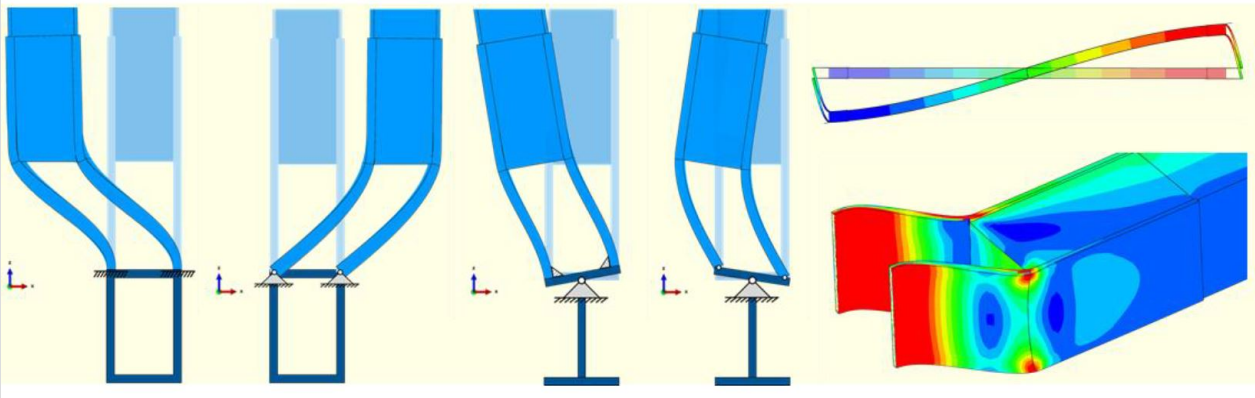
Drucktragfähigkeit von quadratischen Hohlprofilstäben mit beidseits ungestütztem Knotenblechanschluss



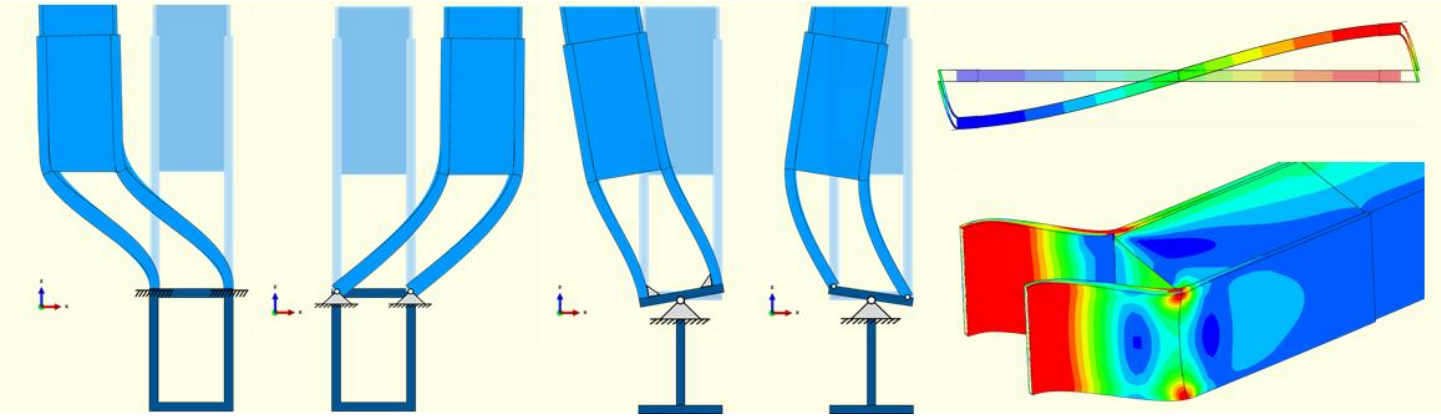
D-5-57/2016

Jank Daniel
Institut für Stahlbau
Technische Universität Graz

Masterarbeiten/Dissertationen | Forschung | Skripten | Vorträge/Tagungen

Technische Universität Graz
Institut für Stahlbau

MASTERARBEIT



Drucktragfähigkeit von quadratischen Hohlprofilstäben mit beidseits ungestütztem Knotenblechanschluss

Verfasser:
Dipl.-Ing. Daniel Jank

Vorgelegt am:
Institut für Stahlbau

Betreuer:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harald Unterweger

Mitbetreuender Assistent:
Dipl.-Ing. Andreas Kampleitner

Graz, am 05. September 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 30.08.2016 .....

(Unterschrift)

STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, 30.08.2016 .....

(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Außerordentlicher Dank berührt Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Harald Unterweger, der mich durch diese Arbeit geleitet und in zahlreichen Besprechungen stets seine fachliche Unterstützung und Hilfestellungen zur weiteren Bearbeitung gegeben hat.

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Andreas Kampleitner hat mich als Betreuer optimal unterstützt und mir vor allem über die ersten programmtechnischen Hürden bei der Durchführung der numerischen Berechnungen hinweggeholfen.

Ein Dankeschön muss auch für sämtliche Mitarbeiter des Stahlbau Institutes der Technischen Universität Graz ausgesprochen werden, deren freundliches Auftreten und Hilfsbereitschaft keines Falls als Selbstverständlichkeit abgetan werden darf.

Natürlich müssen auch die vielen Freundschaften, die ich während meiner Studienzeit in Graz knüpfen konnte, in dieser Danksagung eine Erwähnung finden. Es wurden gemeinsam Lehrveranstaltungen, Projekte und Prüfungen abgelegt, aber auch abseits der Universität viel erlebt und unvergessliche Erfahrungen gesammelt.

Meine größte Dankbarkeit steht meiner Familie zu. Meine Mutter Edith und mein Vater Arno haben stets meine Bedürfnisse über die eigenen gestellt und mich mein gesamtes Leben in jeder erdenklichen Weise unterstützt. Die Leichtigkeit, mit der mir mein Bruder Christoph sowohl in der Ausbildung als auch in anderen Lebenssituationen nacheifert, erfüllt mich mit großem Stolz.

Kurzfassung

Anstoß für die vorliegende Arbeit war eine Reihe von Schadensfällen an Stahlfachwerkkonstruktionen, bei welchen es zum Stabilitätsversagen von druckbeanspruchten Hohlprofil-Diagonalstäben mit angeschlossenen Knotenblechen gekommen ist. Die Ursache wurde dem nicht ausreichend erfassten Einfluss der Knotenbleche zugeschrieben, die in den vergangenen Jahren im Hinblick auf eine einfachere und schnellere Montage zunehmend immer größer werdende freie Längen aufweisen. Aufgrund der damit verbundenen Steifigkeitsreduktion an den Stabenden ist - durch die erhöhte Gefahr seitlichen Ausweichens - eine deutlich geringere Tragfähigkeit im Vergleich zu Stäben mit durchgehendem Querschnitt ohne Knotenblechanschlüsse zu erwarten.

Im Zuge einer Parameterstudie wurden die Traglasten von Hohlprofilen mit den Querschnittsabmessungen 200 x 200 x 10 mm mit beidseits an den Stegen angeschlossenen Knotenblechen, deren Dicken bzw. freien Längen neben der Gesamtstablänge variiert wurden, durch die Anwendung von numerischen Berechnungsverfahren ermittelt. Hierbei wurden geometrisch und materiell nichtlineare Traglastberechnungen mit Imperfektionen (GMNIA) durchgeführt.

Das Ergebnis dieser Systemberechnungen war, dass insbesonders bei zunehmender freien Knotenblechlänge die Tragfähigkeitsreduktion mit konventionellen Bemessungsmethoden (Handrechnungsverfahren) nach derzeitigem Stand der Technik nicht ausreichend erfasst werden kann und es in der Praxis eventuell zu einem erheblichen Überschätzen der aufnehmbaren Traglast kommt.

Es liegt somit in weiterer Folge eindeutig Handlungsbedarf vor, um einfache Handrechnungsverfahren zur besseren Abbildung des Tragverhaltens solcher Systeme zu entwickeln, um zukünftig Schadensfälle zu vermeiden.

Abstract

Impetus for this study were a number of cases of damage to steel truss structures, which failed due to instability of the diagonal bars (hollow profiles). The cause was attributed to the gusset plate lengths, which had been increased in the past in terms of a simpler and quicker installation. Owing to the associated stiffness reduction at the bar ends there is a significantly lower load capacity compared to bars with a constant cross-section.

A parametric study considering the load carrying capacity of hollow profiles was conducted. Thereby the cross-sectional dimensions were 200 x 200 x 10 mm and the webs were connected to the gusset plates at both sides. This calculations were performed by applying geometrically and materially nonlinear analysis with imperfections (GMNIA).

The numerical study showed a reduction of the load carrying capacity with increasing free gusset plate length, which cannot be adequately covered by means of currently used calculations. This leads to a significant overestimation of the ultimate load and consequently to an unsafe design.

So there is a clear need for action in order to develop simple hand calculation methods for a better illustration of the structural behavior of such systems to avoid future claims.

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**1**
1.1	Allgemeines	1
1.2	Ausgangslage/Situationsanalyse	3
1.3	Aufgabenstellung/Zielsetzung	4
1.4	Vorgangsweise	5
2	**Untersuchte Stab-, Knotenblech- und Auflagerkonfiguration**	**7**
2.1	Hohlprofil	8
2.2	Auflagerbedingungen	8
2.3	Knotenblechabmessungen	10
2.4	Systemlänge L	11
2.5	Angesetzte Vorverformung	12
3	**Modellierung und Finite Elemente Berechnung**	**15**
3.1	Allgemeines	15
3.2	Modellbildung	15
3.3	Ansatz der Imperfektionen	19
3.4	Durchführung der Traglastberechnung	20
3.5	Variation der Modellbildung	21
4	**Referenzgrößen zur FE-Tragfähigkeit**	**23**
4.1	Querschnittsnachweise	23
4.2	Stabilitätsnachweise	24
4.3	Zusammenfassung der Referenztraglasten	30
5	**Ergebnisse der Traglastberechnungen**	**35**
5.1	Tabellarische Darstellung der Traglasten	35
6	**Auswertung der Traglastberechnung**	**43**
6.1	Allgemeines	43
6.2	Systeme mit einer Knotenblechdicke t_{KB} = 10 mm	44
6.3	Systeme mit einer Knotenblechdicke t_{KB} = 24 mm	74
7	**Resümee**	**105**
7.1	Allgemein	105
7.2	Vergleich der Ergebnisse mit vorherigen Studien	105
7.3	Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung	108
8	**Anhang A: Ergebnisse der LBA - Eigenformen**	**126**
8.1	Allgemeines	126
8.2	Darstellung der Eigenformen	126
9	**Anhang B: Ergebnisse der GMNIA - Traglasten**	**212**
9.1	Allgemeines	212
9.2	Darstellung der Traglasten und zugehörige Verformungen	212

Abkürzungsverzeichnis

a	Achsabstand
β	Knicklängenbeiwert
b $_{HP}$	Hohlprofilbreite
γ $_{m0}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten
γ $_{m1}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit bei Stabilitätsversagen
E	Elastizitätsmodul
e $_{0,EF}$	Imperfektionsamplitude zufolge einer eigenformaffinen Vorverformung
e $_{0,KB}$	Imperfektionsamplitude zufolge einer Vorverformung aus einem angesetzten Knotenblechknick
EF	Eigenform
EN	Europäische Norm
FE	Finite Elemente
f $_{yd}$	Designwert der Fließgrenze
f $_{yk}$	Charakteristische Fließgrenze von Stahl
GMNIA	Geometrisch, materiell nichtlineare Systemberechnung mit Imperfektionen
ISO	Internationale Norm
I $_{z}$	Trägheitsmoment um die lokale z-Achse
h $_{HP}$	Hohlprofilhöhe
h $_{KB}$	Knotenblechhöhe
KB	Knotenblech
kN	Kilo Newton
L	Systemlänge
$\overline{\lambda}$	Bezogene Schlankheit
λ_1	Bezugsschlankheitsgrad
LBA	Lineare Beulanalyse
L $_{HP}$	Hohlprofillänge
L $_{KB}$	Freie Knotenblechlänge
L $_{KB,ges}$	Gesamtknotenblechlänge
L´ $_{KB}$	Eingebundene Knotenblechlänge
m	Meter
mm	Millimeter
mm²	Quadratmillimeter
MPC	Multiple Point Constraint
N	Newton
ν	Querkontraktionszahl
NAD	Nationales Anwendungsdokument

$N_{min,R}$	minimale Referenztraglast
N_R	Referenztraglast
N_{Pl}	plastische Normalkrafttragfähigkeit
t_{HP}	Hohlprofilstärke
t_{KB}	Knotenblechdicke
χ	Abminderungsfaktor zufolge der Euler´schen Knickspannungslinien

1 Einleitung

Gegenstand dieser Diplomarbeit ist eine Traglastuntersuchung von rein auf Druck beanspruchten Hohlprofilen mit jeweils zwei stirnseitig an den Stegen angeschweißten Knotenblechen, die zum Knotenpunkt weitergeführt werden. Eine weitere Ausführungsvariante ist die alleinige Weiterführung der Stege zum Knotenpunkt, während die Gurte zurückbleiben.

Im Zuge einer Parameterstudie soll der Einfluss der Längen und Dicken dieser Knotenbleche bzw. der Weiterführung der Stege des Hohlprofils sowie der Lagerungsbedingungen auf das Stabilitätsverhalten untersucht werden. Im Vergleich zum Einzelstab mit durchgehend gleicher Biegesteifigkeit ist bei derartigen Systemgeometrien ein ungünstigeres Tragverhalten zu erwarten.

1.1 Allgemeines

Fachwerke sind hinsichtlich der Materialauslastung äußerst effiziente Tragwerke und werden insbesonders bei großen Spannweiten im Industrie- und Brückenbau eingesetzt. Exemplarisch ist in Abbildung 1-1 eine Fachwerkbrücke der Autobahn in Oberhausen (Deutschland) mit einer Spannweite von 133 m über den Rhein-Herne-Kanal abgebildet.

Abbildung 1-1: Fachwerkbrücke der Autobahn A3 über den Rhein-Herne-Kanal (Deutschland) [8]

Die große Konstruktionshöhe mit einer daraus resultierenden hohen Steifigkeit bei geringem Eigengewicht ermöglicht kleine Durchbiegungen. Damit erfüllen Fachwerkkonstruktionen besonders die hohen Anforderungen des Eisenbahnbrückenbaus.

Bei großen Belastungen werden die Fachwerkstäbe meist als quadratische Hohlprofile ausgeführt. Eine derartige Querschnittsform ermöglicht vor allem bei

Druckbeanspruchungen aufgrund der gleichen Steifigkeit sowohl in als auch aus der Fachwerksebene eine optimale Querschnittsausnutzung.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Knotenausbildung, die entweder geschweißt oder geschraubt ausgeführt wird. Um den Anschluss herzustellen, werden Knotenbleche verwendet und die Hohlprofile der Diagonalstäbe an den Enden ausgeschnitten und abgebogen, um eine bessere Zugänglichkeit bei der Herstellung zu ermöglichen. Ein derartiges Konstruktionsdetail sowie die Umsetzung bei einem ähnlichen Tragwerk sind in den Abbildungen 1-2 und 1-3 dargestellt. [1]

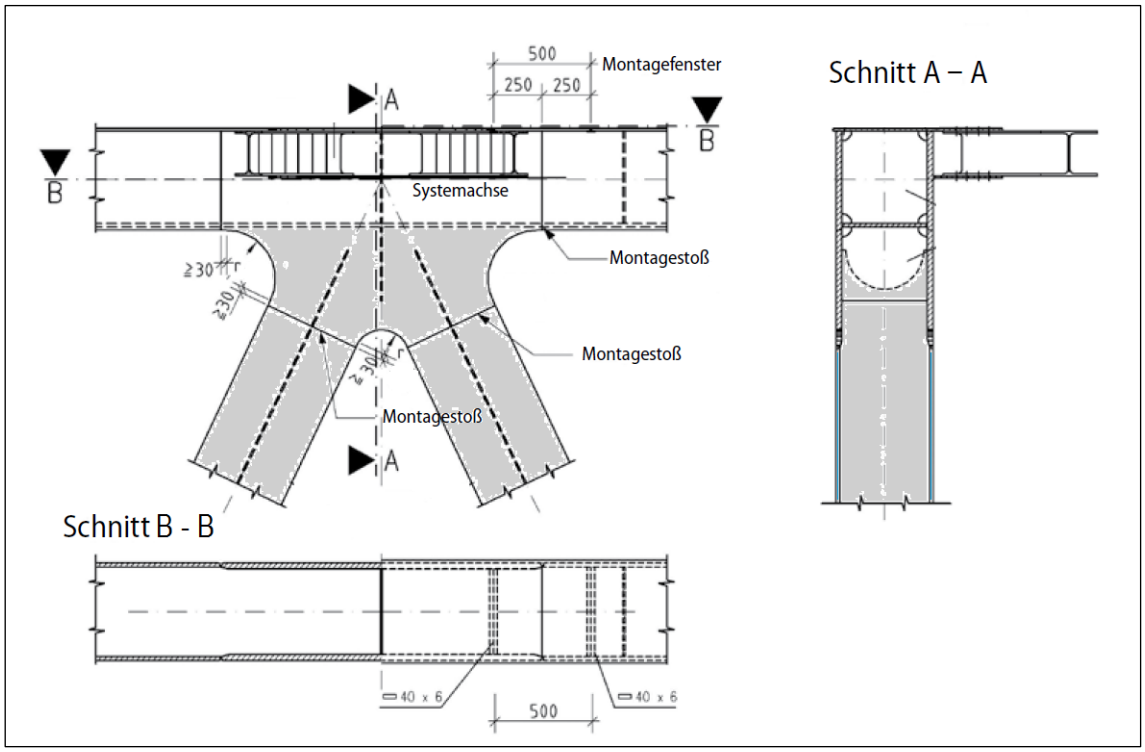


Abbildung 1-2: Konstruktionsdetail einer Knotenausbildung bei einem Fachwerk - Anschluss von Diagonalstäben an den Obergurt [9]

Abbildung 1-3: Detail der Knotenausbildung - Fachwerkbrücke der Autobahn A3 über den Rhein-Herne-Kanal (Deutschland) [8]

1.2 Ausgangslage/Situationsanalyse

Die altbewährte Konstruktionsregel des Stahlbaus für die Ausführung von Fachwerksknoten, die besagt den Anschluss der Stäbe möglichst kompakt zu halten, wurde in den letzten Jahren im Sinne der Montagefreundlichkeit zunehmend vernachlässigt und geriet bei vielen Konstrukteuren in der Praxis allem Anschein nach in Vergessenheit. Dies hatte zur Folge, dass die freien Knotenblechlängen an den Stabenden wesentlich länger wurden, was eine schnellere Montage einer Schraubverbindung bzw. eine bessere Zugänglichkeit im Falle einer Schweißverbindung ermöglichte. Der daraus resultierende verbesserte Baufortschritt hatte jedoch eine teils gravierende Steifigkeitsreduktion des Systems im Randbereich der Druckstäbe zur Folge.

Mit dem Abweichen von dieser altbewährten Grundregel des Stahlbaus kann es somit erforderlich werden neben der Stabilität in Stabmitte auch die Randbereiche zu untersuchen.

Bedauerlicherweise wird diese These durch einen Schadensfall untermauert. Dabei kam es aufgrund von Stabilitätsversagen der Druckdiagonale eines Fachwerkträgers zum plötzlichen Einsturz des gesamten Tragwerks. In dem Fachartikel „Ein ungewöhnliches Stabilitätsproblem verursacht Schadensfall“ [2] wird darauf hingewiesen, dass es dringend erforderlich ist, Handrechenverfahren für die Praxis zu entwickeln, um zukünftig derartige Schadensfälle zu verhindern und die Tragfähigkeit mit einfachen Methoden nachzuweisen.

Dieser Vorfall war unter anderem ein entscheidender Anstoß sich in Fachkreisen verstärkt dieser Thematik zu widmen. Insbesonders am Institut für Stahlbau der Technischen Universität Graz ist das Stabilitätsverhalten von Stahlbauteilen ein Kerngebiet der Forschung und so wurden im Beitrag: „Hohlprofile mit beidseits zentrisch eingeschlitzten Knotenblechen

– Druckverhalten und Bemessungsvorschlag“ [3] bereits Untersuchungen von Hohlprofilen mit jeweils einem in Querschnittsmitte angeschlossenem Knotenblech durchgeführt.

Dabei wurde festgestellt, dass die Tragfähigkeit der Knotenbleche häufig bemessungsbestimmend ist und Verstärkungen erforderlich sind, um eine ausreichende Tragsicherheit zu erreichen.

1.3 Aufgabenstellung/Zielsetzung

Bei einer Bemessung von Hohlprofilen, mit angeschlossenen Knotenblechen an den Stabenden, nach dem derzeitigen Stand der Technik laut Eurocode 3 wird ein Knicknachweis des Gesamtsystems, mit Vernachlässigung der reduzierten Biegesteifigkeit im Bereich der Knotenbleche, durchgeführt. Ein erfahrener Statiker, dem die Stabilitätsgefährdung der Knotenbleche bewusst ist, wird neben den Querschnittsnachweisen zusätzlich einen lokalen Beulnachweis der Knotenbleche durchführen. Im Zuge dieser Arbeit soll überprüft werden, ob eine derartige vereinfachte Betrachtung zu einem Überschätzen der aufnehmbaren Traglasten führt bzw. ab welchen Geometrieverhältnissen eine Detailbetrachtung erforderlich ist.

Neben der Analyse der Ergebnisse aus der durchgeführten Parameterstudie sollen auch die Daten von vorhergehenden Studien miteinbezogen und verglichen werden. Durch die Variation in der Modellbildung der Knotenbleche sollen die Ergebnisse verifiziert und die Abweichungen hinsichtlich einer Modellierung mit Volumenelementen im Vergleich zu Schalenelementen erfasst werden. In Abbildung 1-4 ist die Modellierung des Gesamtsystems dargestellt.

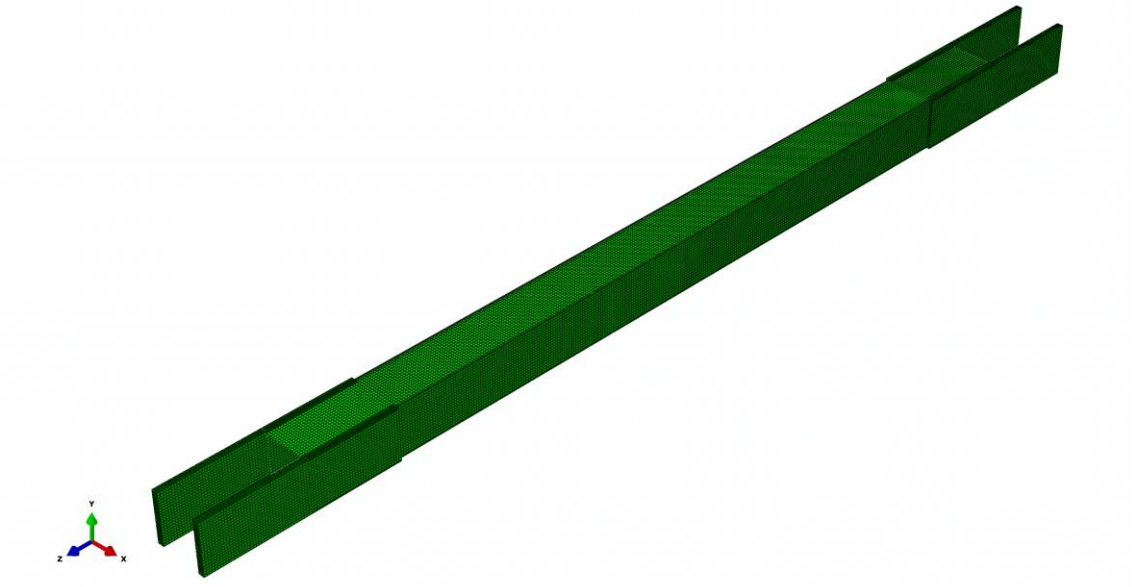


Abbildung 1-4: Modellierung des Gesamtsystems

Um die ermittelten Ergebnisse fachgerecht beurteilen und nachvollziehen zu können, sollen die zugrunde gelegten Eigenformen sämtlicher berechneter Systeme sowie die Spannungen und zugehörigen Verformungen im Traglastzustand grafisch dargestellt werden.

1.4 Vorgangsweise

Am Beginn der Arbeit wurden vorhandene Studien aus Fachartikeln analysiert. Im Anschluss erfolgte die Festlegung der zu untersuchenden Parameter in Abhängigkeit der wesentlichen Einflussfaktoren und eine Definition der anzustrebenden Ziele dieser Arbeit.

Für die Beurteilung welche Abweichung zwischen den Ergebnissen aus einfachen, ingenieurmäßigen Nachweisverfahren und einer numerischen Berechnung vorliegen, wurden Handrechnungen nach dem derzeitigen Stand der Technik laut Eurocode 3 [4] durchgeführt. Diese Referenztraglasten sollen im Zuge einer Gegenüberstellung mit den numerischen Berechnungen der Parameterstudie ein mögliches Überschätzen der Tragfähigkeit bei der Anwendung der Bemessungsverfahren laut aktuellem Stand der Technik untersuchen.

Es erfolgten lineare Beulanalysen (LBA), die zur Bestimmung der Eigenformen dienten. Es wurde bei sämtlichen Systemen die erste und zweite Eigenform ermittelt. Dabei wurde jene Eigenform gesucht, bei der sich die ungünstigste Knotenblechverformung einstellt und somit das System im Bereich der Knotenbleche maximal auslenkt. Dies war in Abhängigkeit von den Geometrien und Auflagerbedingungen in der Regel bereits bei der ersten bzw. zweiten Eigenform der Fall. Zum Teil war es jedoch erforderlich, höhere Eigenformen zu ermitteln, um die gewünschte maximale Knotenblechverformung zu erhalten. Diese Eigenformen wurden anschließend als Vorverformung in Form von geometrischen Imperfektionen am System angesetzt und eine geometrisch, materiell nichtlineare Systemberechnung mit Imperfektionen (GMNIA) durchgeführt.

Alternativ zu den Eigenformen wurde auch ein gleichsinniger und gegensinniger Knotenblechknick als Vorverformung für die Traglastberechnung angesetzt. Dabei führt ein gleichsinniger Knotenblechknick zu einer antimetrischen Verformungsfigur und ein gegensinniger Knotenblechknick zu einer symmetrischen Verformungsfigur.

Die darauffolgend ermittelten Traglasten wurden im Zuge einer Datenauswertung gegenübergestellt und analysiert. Wesentliches Ergebnis sollen Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung darstellen.

Der chronologische Ablauf dieser Arbeit ist in Abbildung 1-5 dargestellt.

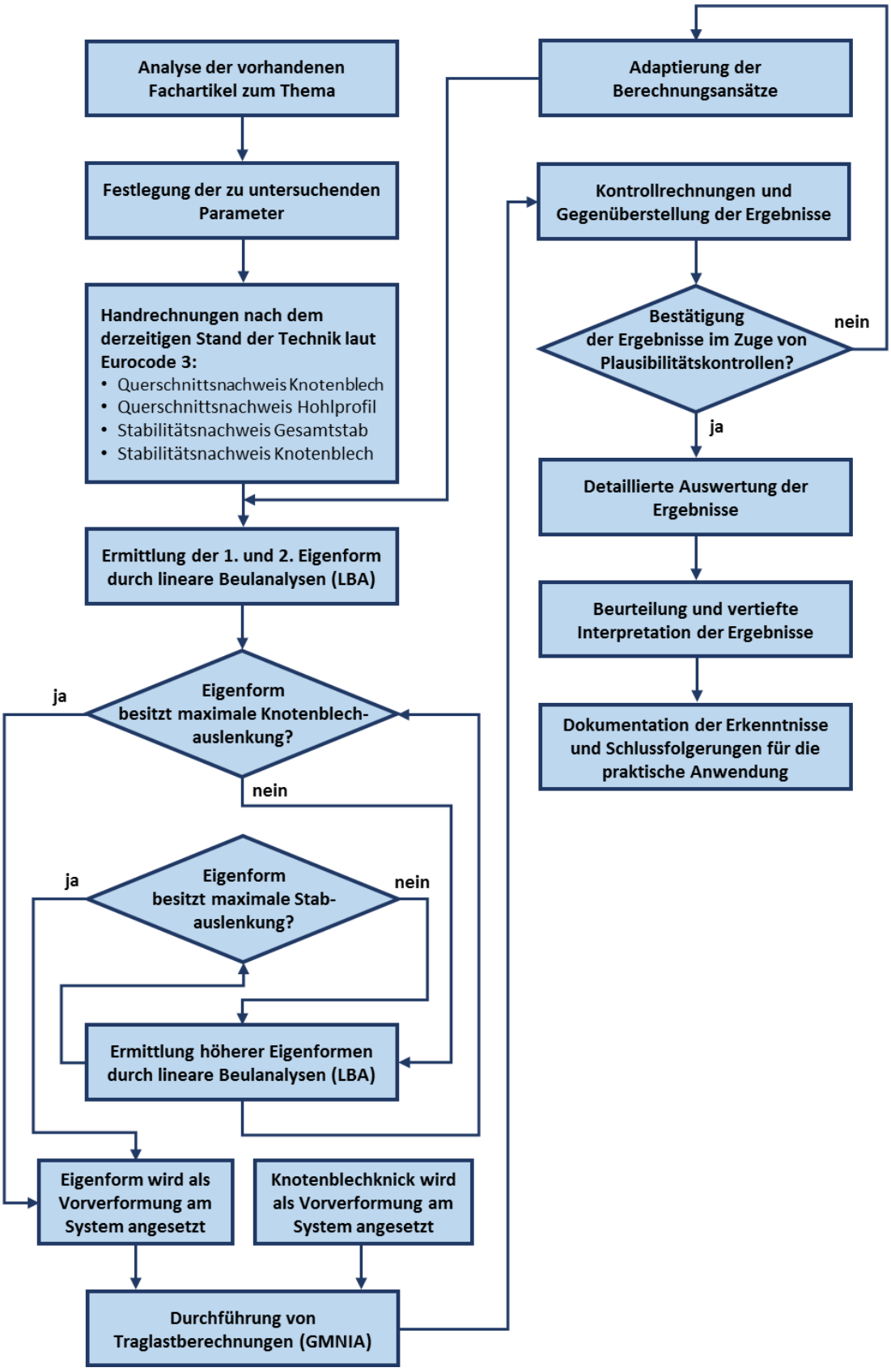


Abbildung 1-5: Darstellung der Vorgangsweise bei der Erstellung der vorliegenden Masterarbeit

2 Untersuchte Stab-, Knotenblech- und Auflagerkonfiguration

Im nachfolgenden Kapitel werden die einzelnen Parameter des festgelegten Systems beschrieben und die Wahl der Variationen erläutert. Die Querschnittsabmessungen des Hohlprofils waren bei sämtlichen Systemen unverändert und es wurden lediglich die Länge des Hohlprofils, die Längen und Dicken der Knotenbleche sowie die Auflagerbedingungen variiert. Für jede Kombination aus äußeren Randbedingungen und Abmessungen wurden ein gleich- und gegensinniger Knotenblechknick sowie mehrere eigenformaffine Vorverformungen für die Traglastrechnungen angesetzt. Somit waren über 500 GMNIA-Analysen im Zuge dieser Arbeit erforderlich, um die vorliegenden Ergebnisse zu erhalten.

Um einen anschaulichen, visuellen Überblick über die untersuchten Systemabmessungen zu erhalten, sind in Abbildung 2-1 die variierten Systemgeometrien dargestellt, auf die in den weiteren Unterkapiteln eingegangen wird. In dieser Abbildung sind die einzelnen Systemelemente farblich getrennt dargestellt und jene Abmessungen, die variiert wurden in roter Schrift hervorgehoben.

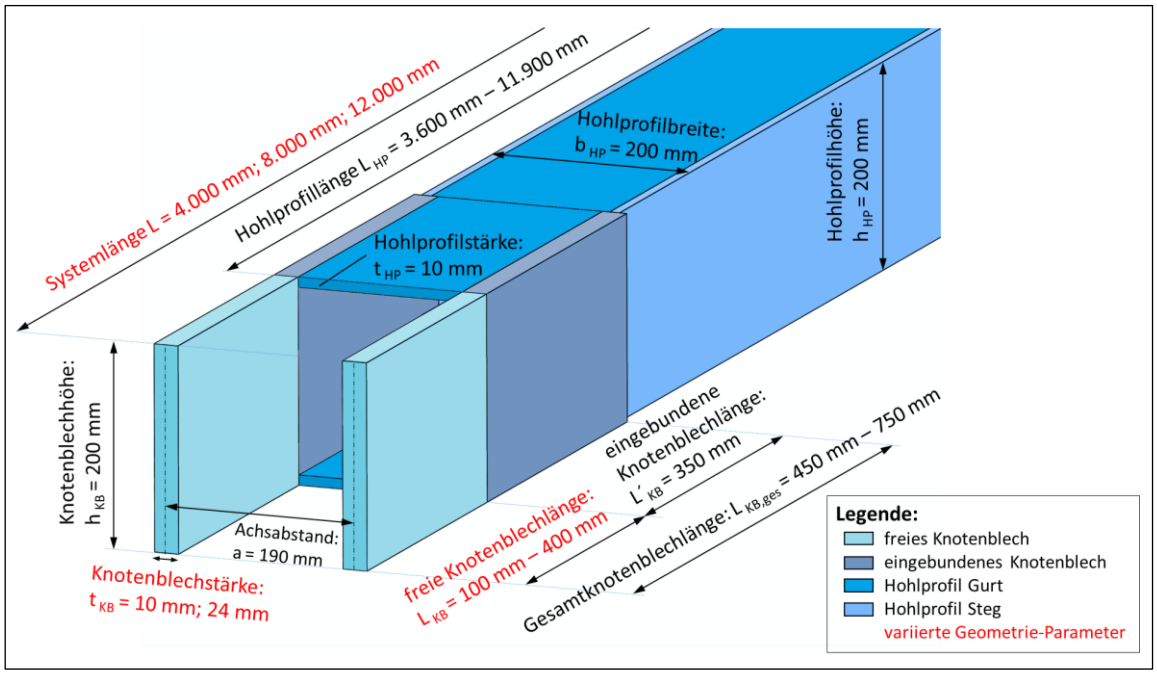


Abbildung 2-1: Untersuchte Systemabmessungen

In Tabelle 2-1 sind sämtliche Varianten der Parameterstudie dargestellt, wobei jeder Zelleneintrag mit sämtlichen Zellen der anderen Spalten kombiniert wurde.

Variierte Parameter bei der Durchführung der Traglastberechnungen				
Knotenblechdicken	Auflagerbedingungen	Systemlängen	freie Knoten-blechlängen	Knotenblechknick bzw. Eigenform
t_{KB} = 10 mm	eingespannt	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	symmetrische Verformung
t_{KB} = 24 mm	gelenkig	L = 8.000 mm	L_{KB} = 200 mm	antimetrische Verformung
	reines Gelenk biegesteif	L = 12.000 mm	L_{KB} = 300 mm	1. EF
	reines Gelenk verdrehweich		L_{KB} = 400 mm	2. EF
				(höhere EF)

Tabelle 2-1: Variierte Parameter bei der Durchführung der Traglastberechnungen

2.1 Hohlprofil

Bei den untersuchten Querschnitten handelt es sich um quadratische Hohlprofile, die entweder warmgefertigt oder geschweißt hergestellt werden können. Bei sämtlichen Systemen der Parameterstudie wurden Hohlprofile mit den gleichen Querschnittsabmessungen verwendet. Diese Querschnittsabmessungen sind in Abbildung 2-1 dargestellt und betragen für die Höhe des Hohlprofils h_{HP} = 200 mm, die Breite des Hohlprofils b_{HP} = 200 mm und für die Wandstärke t_{HP} = 10 mm. Um die Systemlängen von L = 4.000 mm, L = 8.000 mm und L = 12.000 mm zu erreichen, wurden die Hohlprofillängen L_{HP} in Abhängigkeit von der freien Knotenblechlänge L_{KB} variiert.

Da die Knotenbleche um L'_{KB} = 350 mm in das Hohlprofil eingebunden wurden, erfolgte eine Ausnehmung der Stege an den beiden Enden des Hohlprofils. Bei den Systemen mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 24 mm war es erforderlich den Gurt des Hohlprofils in diesem Bereich auf eine Breite von 166 mm zu reduzieren.

2.2 Auflagerbedingungen

Die Knotenbleche wurden an den Stabenden eingespannt, gelenkig und als „reines Gelenk“ modelliert, wobei sich die Modellierung als „reines Gelenk“ in eine biegesteife und verdrehweiche Variante unterscheiden lässt. Dies soll die verschiedenen Anschlusstypen, die in der Praxis auftreten, möglichst vollständig abbilden. Dabei handelt es sich natürlich um eine Grenzwertbetrachtung, da in der Realität, in Abhängigkeit von der Ausführung und den eingesetzten Stahlprofilen, stets eine teilweise Einspannung bzw. Nachgiebigkeit vorliegt.

Eine annähernd eingespannte Lagerung liegt bei einem Anschluss an einen torsionssteifen Gurt (z.B.: Kastenprofil) eines Fachwerksystems vor, wenn ein steifer Anschluss der Knotenbleche ausgeführt ist. Beim Anschluss an einen torsionssteifen Gurt, wobei die Knotenausbildung eher nachgiebig erfolgt, ist die Annahme einer gelenkigen Lagerung der Knotenbleche zutreffend. Die soeben erläuterten Auflagerbedingungen sind in Abbildung 2-2 dargestellt.

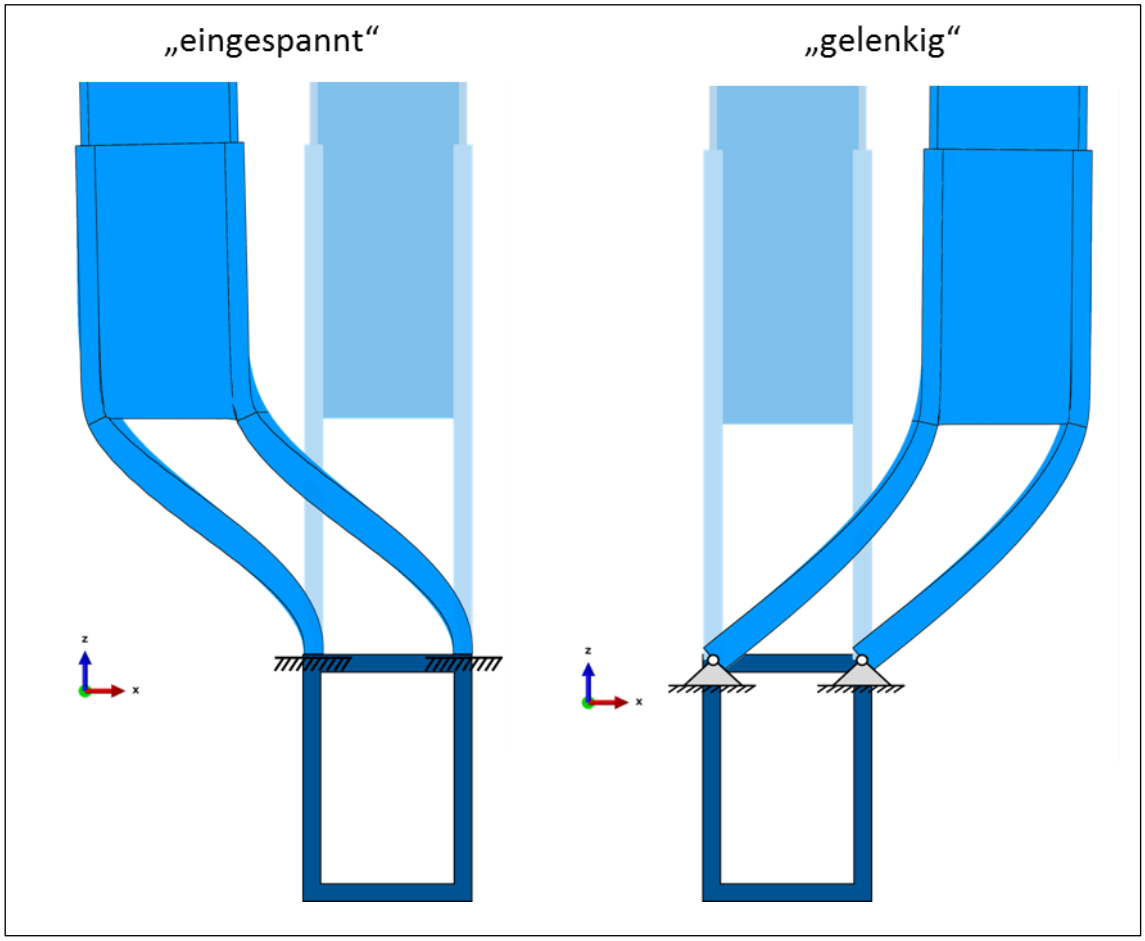


Abbildung 2-2: Grenzwerte der Nachgiebigkeit beim Anschluss der Knotenbleche an einen torsionssteifen Querschnitt

Wird der Druckstab an einen torsionsweichen Querschnitt (z.B.: I-Profil) angeschlossen, bildet die Modellierung als reines Gelenk die realen Verhältnisse am besten ab, wobei eine biegesteife oder eine verdrehweiche Verbindung wiederum von der Anschlussausbildung und der Knotenblechsteifigkeit abhängig ist.

In Abbildung 2-3 ist der Anschluss an ein verdrehweiches I-Profil grafisch dargestellt.

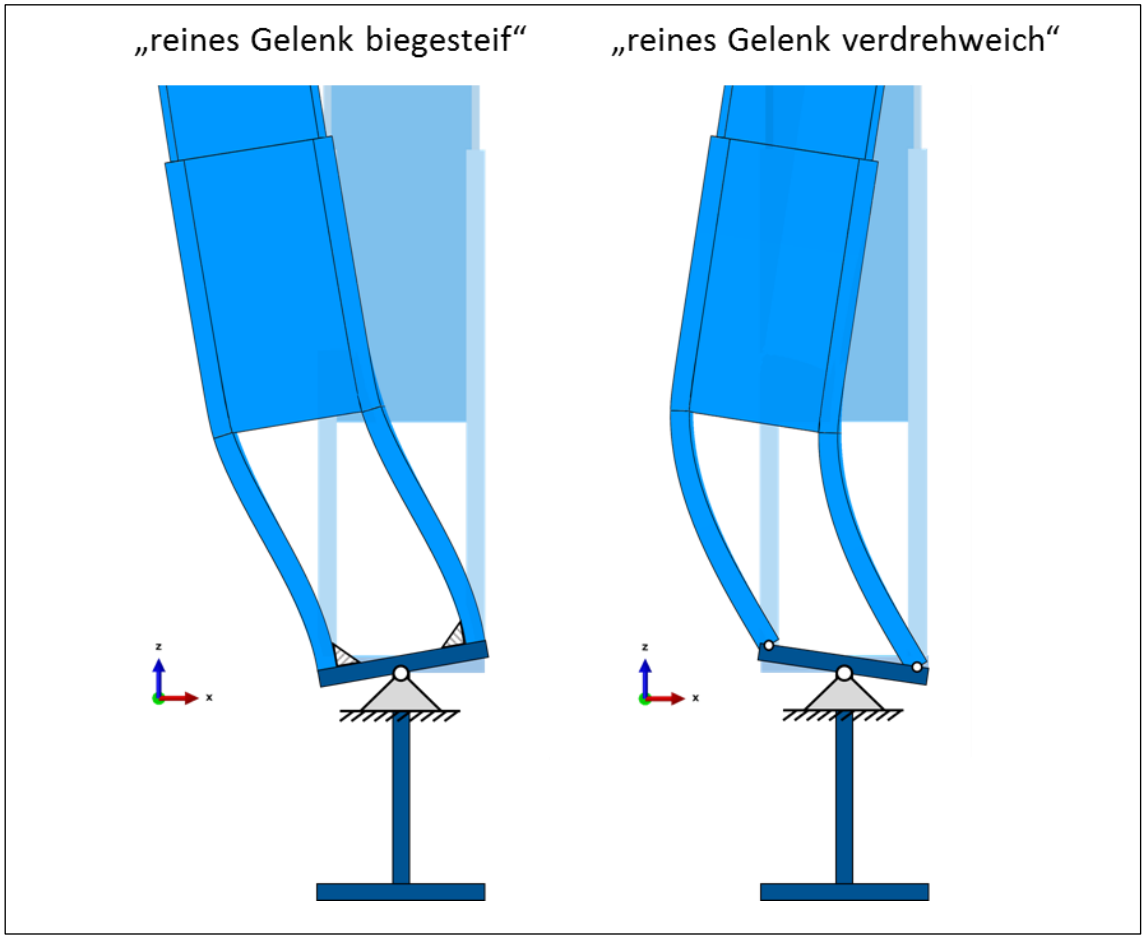


Abbildung 2-3: Grenzwerte der Nachgiebigkeit beim Anschluss der Knotenbleche an einen torsionsweichen Querschnitt

2.3 Knotenblechabmessungen

Die Knotenblechabmessungen haben wesentlichen Einfluss auf das Stabilitätsverhalten des Systems. Um eine vollständige Lasteinleitung der Knotenbleche in das weiterführende Hohlprofil zu gewährleisten, wurden bei sämtlichen Systemen die Knotenbleche 350 mm in das Hohlprofil eingebunden, was bei einem Lastausbreitungswinkel von 30° eine ausreichende Lasteinleitungslänge darstellt, um die Normalkraft vollständig in das Hohlprofil einzuleiten (Abbildung 2-4). Die Gesamtknotenblechlänge $L_{KB,ges}$ gliedert sich somit in eine freie Knotenblechlänge L_{KB} und eine eingebundene Knotenblechlänge L'_{KB}, welche sämtlichen untersuchten Systemen konstant mit 350 mm modelliert wurde: $L_{KB,ges} = L_{KB} + 350\ mm\ (L'_{KB})$.

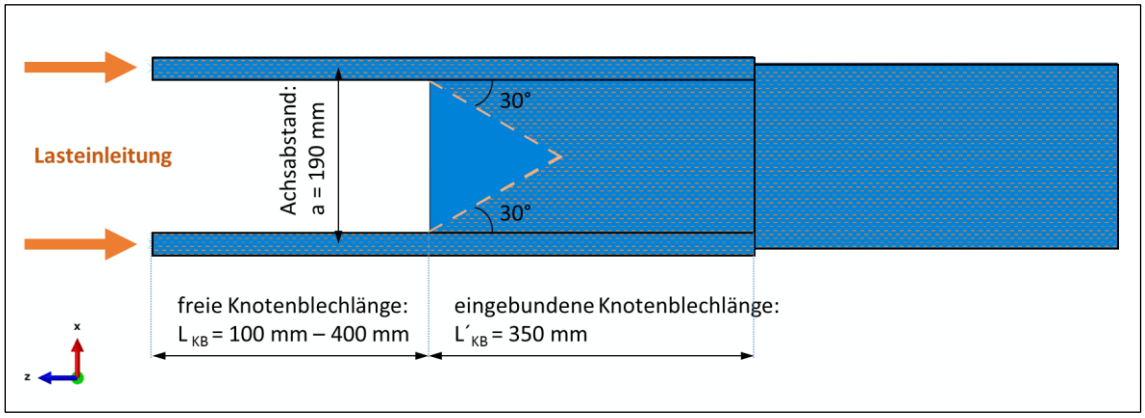


Abbildung 2-4: Lastausbreitung beim Übergang zwischen Knotenblech und Hohlprofil

Der Achsabstand zwischen den Knotenblechen beträgt bei sämtlichen Systemen **a = 190 mm** und ist somit ident mit dem Achsabstand der Stege des Hohlprofils. Das Knotenblech weist die gleiche Höhe wie der Steg des Hohlprofils auf und beträgt **h_{KB} = 200 mm**.

2.3.1 Knotenblechdicke t_{KB}

In Form einer Grenzwertbetrachtung wurden zwei Varianten von Knotenblechdicken untersucht. Dabei stellt die Knotenblechdicke von **t_{KB} = 10 mm** einen unteren Grenzwert und die Knotenblechdicke **t_{KB} = 24,3 mm** eine obere Grenze dar. Der Wert von **t_{KB} = 24,3 mm** wurde bewusst gewählt, da das Trägheitsmoment (I_z) ident mit jenem der mittig eingebundenen Knotenbleche aus vorhergehenden Untersuchungen von [3] ist und somit optimale Voraussetzungen für vergleichende Analysen vorherrschen.

Die Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm entspricht einer Weiterführung der Stege des Hohlprofils und ist in der Praxis häufig anzutreffen, da diese Ausführung einfach herzustellen ist, indem die Gurtbleche des Hohlprofils an den Stabenden ausgeschnitten werden.

2.3.2 Freie Knotenblechlänge L_{KB}

Um die Auswirkungen der Steifigkeitsreduktion im Randbereich der Stabsysteme zu untersuchen, wurden Berechnungen mit einer freien Knotenblechlänge von **L_{KB} = 100 mm**, **L_{KB} = 200 mm**, **L_{KB} = 300 mm** und **L_{KB} = 400 mm** durchgeführt.

2.4 Systemlänge L

Die Systemlänge **L** setzt sich aus zwei Mal der freien Knotenblechlänge **L_{KB}** und der Hohlprofillänge **L_{HP}** zusammen: **$L = 2 * L_{KB} + L_{HP}$**. Bei der Parameterstudie wurden Systemlängen von 4.000 mm, 8.000 mm und 12.000 mm untersucht, um die Auswirkungen der Stabschlankheit auf die Knickstabilität in Kombination mit der Variation der Knotenblechlängen zu analysieren.

2.5 Angesetzte Vorverformung

Für die Durchführung von realitätsnahen Traglastberechnungen ist es erforderlich, dem System eine Vorverformung zur Abbildung der in der Realität vorhandenen Stabimperfektionen anzugeben. Dies erfolgte in Form eines Knotenblechknickes oder einer eigenformaffinen Vorverformung. Diese Imperfektionen haben wesentlichen Einfluss auf das Tragverhalten und die maximal aufnehmbaren Traglasten des Systems. Das Imperfektionsmaß e_0 beschreibt die Abweichung der Stabachse des realen Systems im Vergleich zur ideal geraden Stabachse.

2.5.1 Knotenblechknick

Für die Ermittlung der Traglasten wurden ein gleich- und gegensinniger Knotenblechknick, der jeweils eine antimetrische und symmetrische Verformungsfigur erzeugt, angesetzt. Der Knotenblechknick wurde auf Basis der Ausführungsnorm EN ISO 13920 [7] mit $L_{KB} / 100$ gewählt.

Da diese Imperfektion direkt als Auslenkung am Knotenblech angesetzt wurde, ist sichergestellt, dass die maximale Imperfektionsamplitude von $\mathbf{e_{0,KB,max} = L_{KB} / 100}$ stets im Bereich der Knotenbleche auftritt. Nachfolgend ist in Abbildung 2-5 und 2-6 eine symmetrische und antimetrische Vorverformung zufolge eines Knotenblechknickes dargestellt, wobei die Lage der maximalen Auslenkung in roter Schrift hervorgehoben wurde.

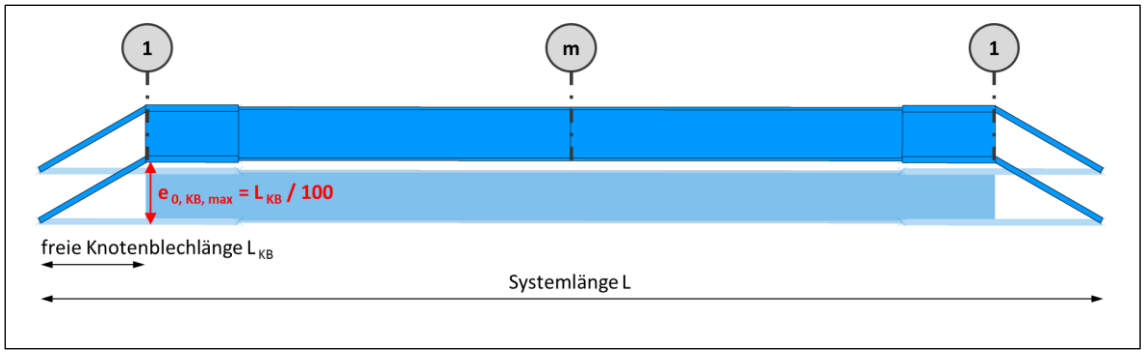


Abbildung 2-5: Gegensinniger Knotenblechknick als symmetrische Vorverformung

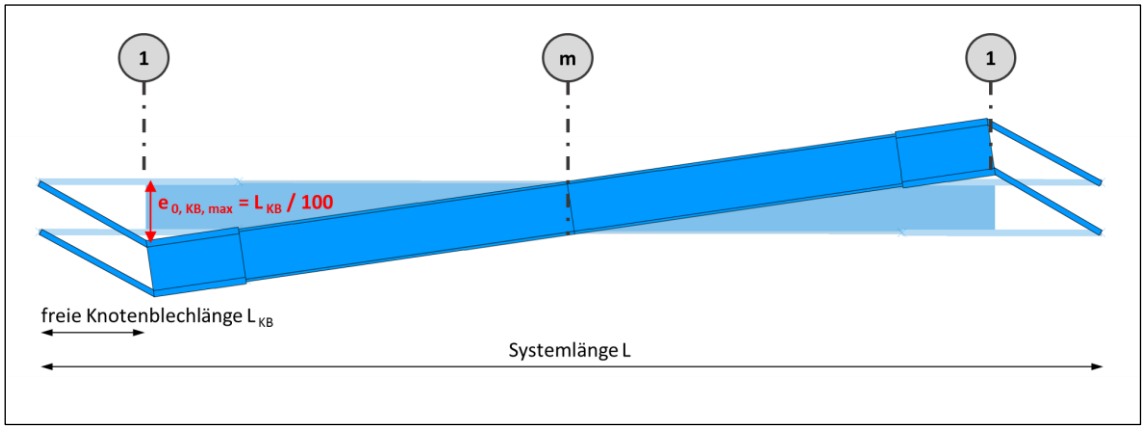


Abbildung 2-6: Gleichsinniger Knotenblechknick als antimetrische Vorverformung

2.5.2 Eigenformaffine Vorverformung

Alternativ zum Knotenblechknick wurden auch eigenformaffine Vorverformungen für die Traglastberechnungen vorgegeben. Hierfür wurden die erste, die zweite und gegebenenfalls höhere Eigenformen ermittelt. Die maximale Amplitude der Eigenformen wurde in Anlehnung an die EN 1090-2 [6] mit L / 750 skaliert.

Die erste Eigenform mit maximaler Auslenkung $e_{0,\,EF,\,max}$ in Stabmitte dient zur Erfassung des globalen Stabilitätsverhaltens mit Versagen in der Stabmitte **m** (Stabknicken). Die zweite (bzw. höhere) Eigenform bildet das Versagen im kritischen Knotenblechquerschnitt **1** ab.

Dabei ist zu beachten, dass abhängig von der angesetzten Eigenformfigur die maximale Imperfektionsamplitude $\mathbf{e_{0,\,EF,\,max} = L / 750}$ nicht immer zwingend im Bereich der Knotenbleche auftritt. Da eine maximale Vorverformung im Bereich der Knotenbleche die ungünstigste Imperfektion hinsichtlich des Tragverhaltens der Knotenbleche darstellt, wurden gegebenenfalls auch höhere Eigenformen ermittelt bis die gesuchte Maximalauslenkung der Knotenbleche gegeben war. Um diesen Sachverhalt zu veranschaulichen, sind in den Abbildungen 2-7 bis 2-10 einige Systeme mit verschiedenen eigenformaffinen Vorverformungen dargestellt.

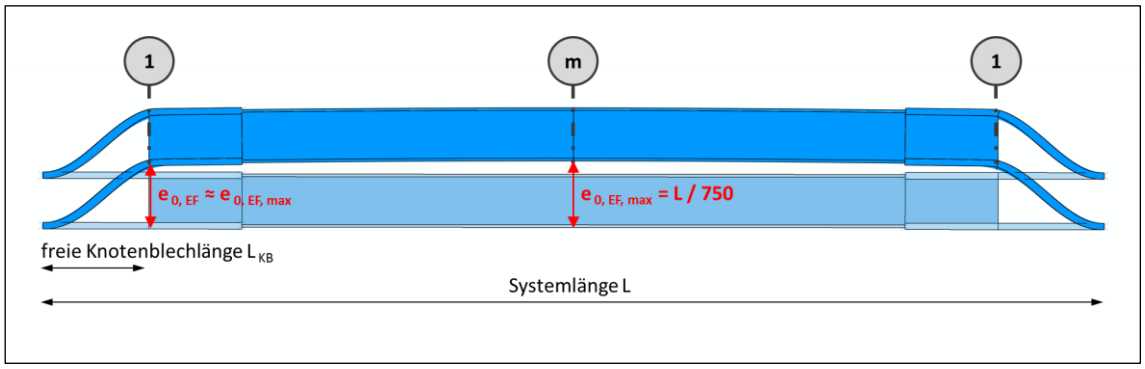


Abbildung 2-7: Vorverformung zufolge EF1 bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm

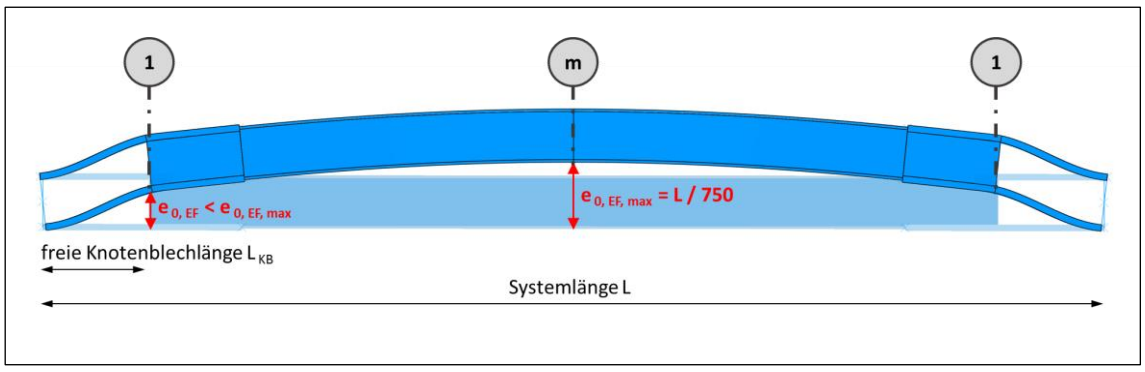


Abbildung 2-8: Vorverformung zufolge EF1 bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm

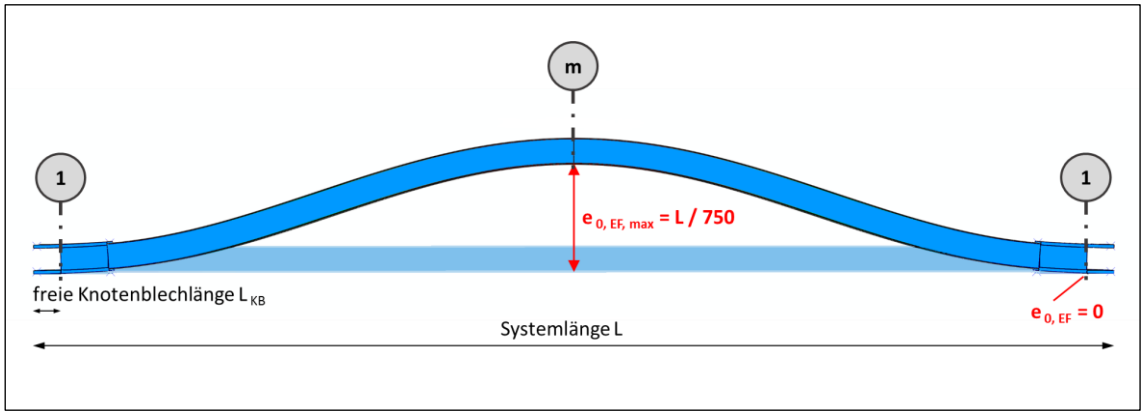


Abbildung 2-9: Vorverformung zufolge EF1 bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm

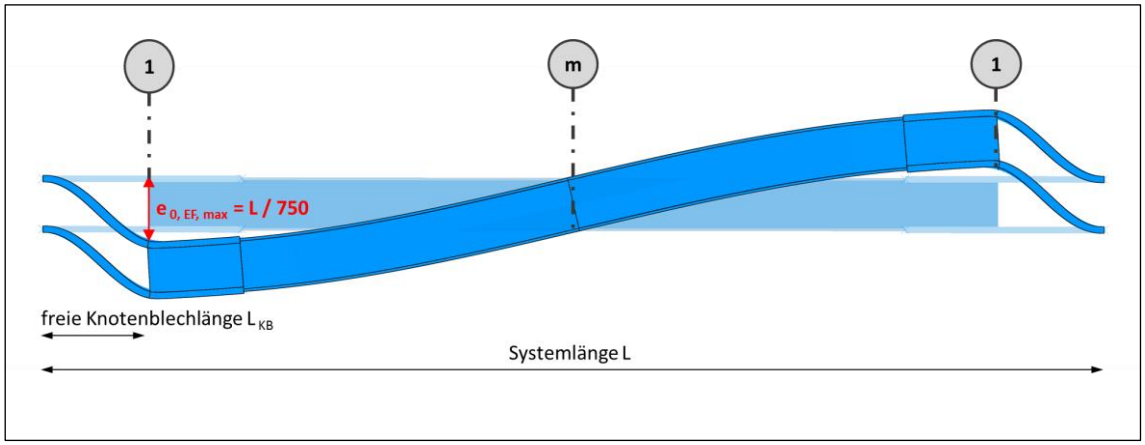


Abbildung 2-10: Vorverformung zufolge EF2 bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm

Im Gegensatz zum Ansatz des Knotenblechknickes ist die eigenformaffine Vorverformung von der Systemlänge abhängig und führt bei Systemen mit zunehmender Länge zu deutlich größeren Auslenkungen in Folge des Skalierfaktors $e_{0, EF, max}$.

Die Gegenüberstellung der Auslenkungen zufolge des Knotenblechknickes und der eigenformaffinen Vorverformung ist für sämtliche Systeme in Tabelle 2-2 dargestellt.

Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden für KB-Knick und EF						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$
L_{KB} = 100 mm	1,0 mm	5,3 mm	1,0 mm	10,7 mm	1,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 200 mm	2,0 mm	5,3 mm	2,0 mm	10,7 mm	2,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 300 mm	3,0 mm	5,3 mm	3,0 mm	10,7 mm	3,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 400 mm	4,0 mm	5,3 mm	4,0 mm	10,7 mm	4,0 mm	16,0 mm

Tabelle 2-2: Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden zufolge Knotenblechknick und eigenformaffiner Vorverformung

3 Modellierung und Finite Elemente Berechnung

In diesem Kapitel wird die Modellierung der numerischen Finite Elemente Berechnung erläutert.

3.1 Allgemeines

Für die numerische Berechnung wurde die Software Abaqus – Version 6.11 – pr3 [10] eingesetzt.

Es wurde für sämtliche Berechnungen Stahl des Typs S235 mit einer charakteristischen Fließgrenze von $f_{yk} = 235$ N / mm² verwendet. Bei Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{M0} = 1{,}0$ bzw. $\gamma_{M1} = 1{,}0$ (NAD Österreich [5]) ergibt sich ein Designwert der Fließgrenze von $f_{yd} = 235$ N / mm². Das Material wurde homogen und isotrop mit einem konstanten Fließplateau ohne Wiederverfestigung modelliert. Somit wurde eine linear elastisch – ideal plastische Arbeitslinie zugrunde gelegt. Die Querkontraktionszahl wurde mit $v = 0{,}3$ angesetzt und der Elastizitätsmodul mit E = 210.000 N / mm² gewählt.

Der Einfluss von Eigenspannungen wurde bei sämtlichen Traglastberechnungen nicht berücksichtigt, was beim Vergleich von Ergebnissen mit anderen Studien oder einfachen Handrechenverfahren beachtet werden muss.

3.2 Modellbildung

Um bei numerischen Untersuchungen Ergebnisse in einer entsprechenden Qualität zu erhalten, ist die Modellbildung ein wesentliches Kriterium. Dabei ist es entscheidend eine Balance zwischen einer detailreichen Modellierung und einem moderaten Berechnungsaufwand zu finden, indem Bereiche, in welchen das Versagen und große Verformungen vermutet werden, mit einer höheren Genauigkeit modelliert werden.

3.2.1 Wahl der finiten Elemente

Die Modellierung erfolgte als Kombination von dreidimensionalen Volumenelementen und zweidimensionalen Schalenelementen.

Die Knotenbleche wurden zur Gänze als lineare Volumenelemente des Typs C3D8R modelliert. Dabei wurden beim Knotenblech mit einer Dicke von $t_{KB} = 24$ mm die Abmessungen der Elemente mit 10 x 10 x 4 mm und beim Knotenblech mit einer Dicke von $t_{KB} = 10$ mm die Abmessungen der Elemente mit 10 x 10 x 2,5 mm gewählt. Somit weist das dicke Knotenblech sechs Elemente in Dickenrichtung und das dünne Knotenblech vier Elemente über die Dicke auf. Die detaillierte Modellierung der Knotenbleche als Volumenelemente wurde durchgeführt, um den Versagensbereich, der bei den überwiegenden Systemen im Bereich der Knotenbleche vermutet wurde und somit dort die maximalen Verformungen auftreten, besser abzubilden und im Anschluss bessere Rückschlüsse auf die Versagensursache schließen zu können.

Für die Modellierung des Steges und Gurtes des Hohlprofils wurden Schalenelemente des Typs S4R mit einer linearen Ansatzfunktion gewählt. Die Abmessungen der Schalenelemente betragen bei sämtlichen Bereichen 10 x 10 mm.

In Abbildung 3-1 ist das Finite Elemente Netz mit den zugehörigen Abmessungen der einzelnen Elemente dargestellt.

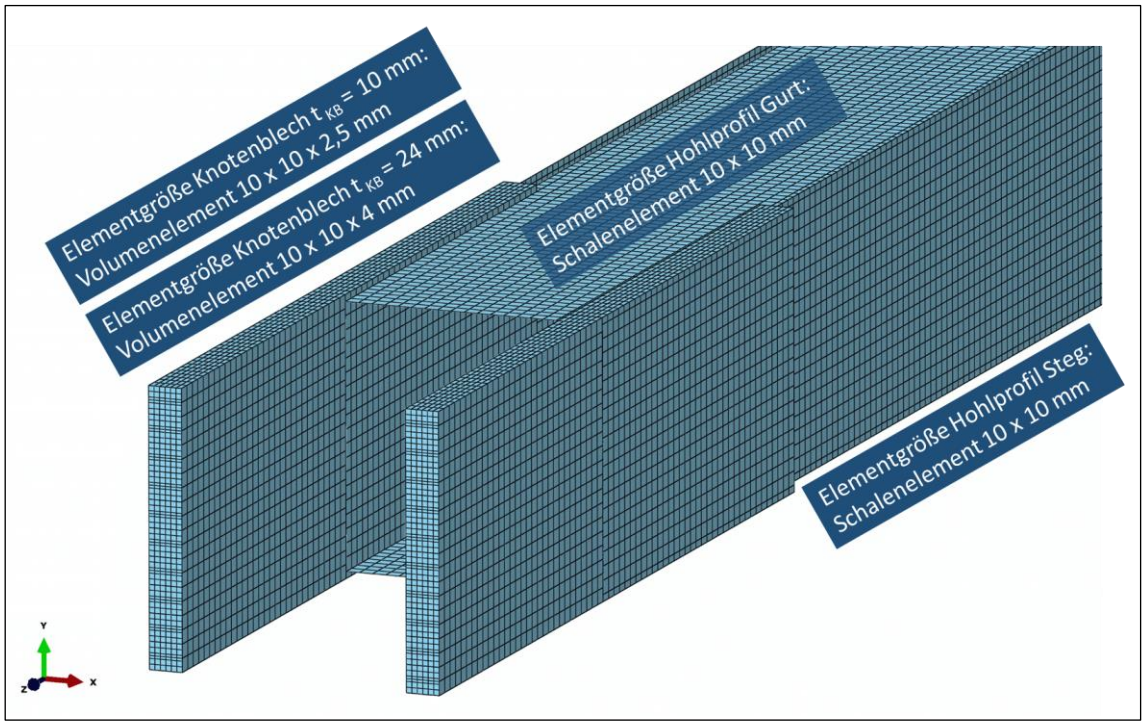


Abbildung 3-1: Finite Elemente-Abmessungen des untersuchten Systems

Um einen besseren Überblick über die Systembereiche des untersuchten Systems zu erhalten, ist in Abbildung 3-2 die Modellierung der einzelnen Bereiche mit dem zugehörigen Elementtyp grafisch in separaten Farben abgebildet und jeweils ein Detail der Volumenelemente der Knotenbleche sowie ein Detail der Schalenelemente des Hohlprofils dargestellt.

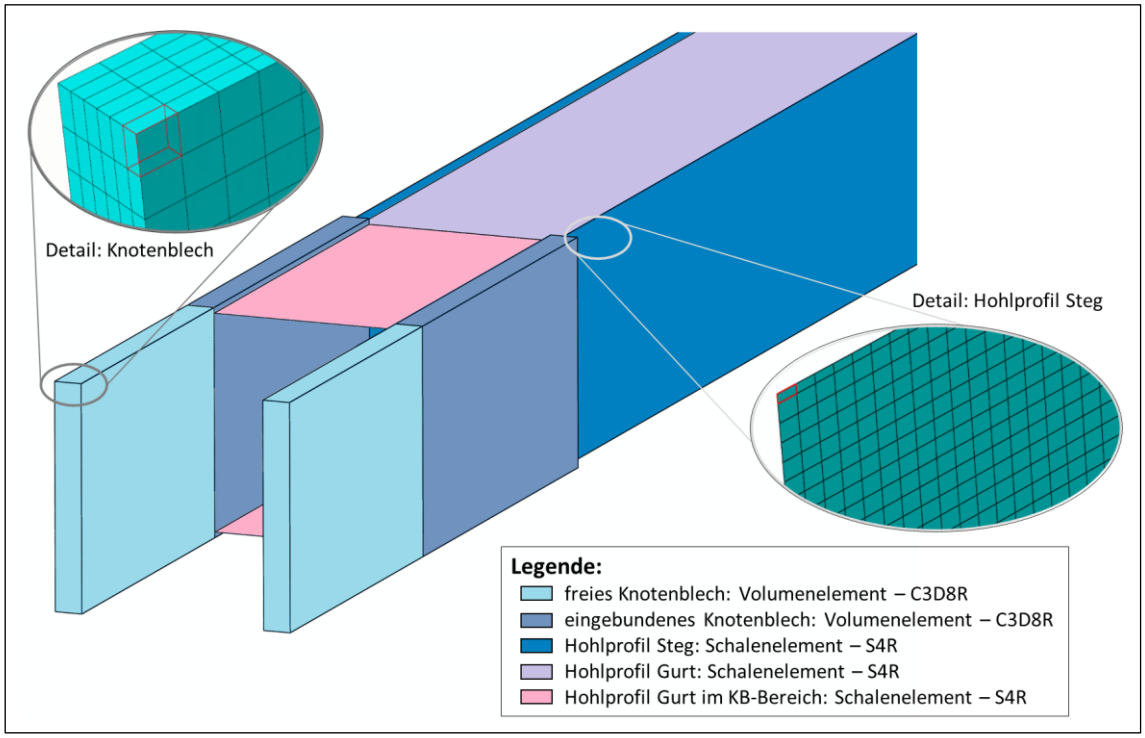


Abbildung 3-2: Modellierung der einzelnen Systemelemente

3.2.2 Auflagerbedingungen und Krafteinleitung

Bei den eingespannten und gelenkigen Auflagerungen wurden am unteren Stabende, welches in Abbildung 3-3 als Bereich **B** dargestellt wird, sämtliche Verschiebungen gesperrt und am oberen Stabende (Bereich **A**) die Verschiebung in Stabrichtung freigegeben. Beim eingespannten System wurden sämtliche Verdrehungen an der Stirnseite der Knotenbleche gesperrt und beim gelenkigen System die Verdrehung um die vertikale Knotenblechachse freigegeben. Die Lage und Ausbildung der Auflager der soeben beschriebenen Randbedingungen ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Die Krafteinleitung erfolgte über einen Multiple Point Constraint (MPC), der am oberen Stabende (Bereich **A**) in der Schwerachse des Systems angeordnet wurde, um die Belastung gleichmäßig auf das System aufzubringen. Hierbei blieb die Kraft stets richtungstreu in Richtung der Stablängsachse des unverformten Systems.

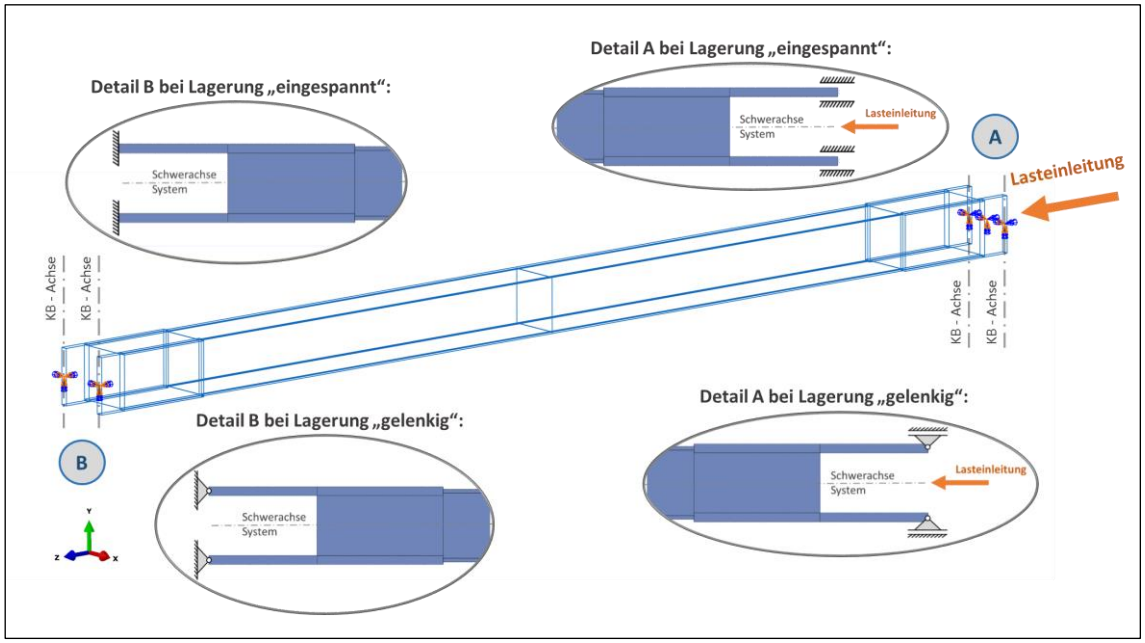


Abbildung 3-3: Anordnung der Auflager bei eingespannter und gelenkiger Lagerung

Um die Auflagerbedingungen des reinen Gelenks abzubilden, wurde zusätzlich ein unverformbarer Stab modelliert, welcher mittig an der vertikalen Knotenblechachse angeschlossen wurde. Dabei stellt eine biegesteife Verbindung zwischen Koppelstab und Knotenblechstirnseite ein „biegesteifes reines Gelenk“ (Bezeichnung für die globale Auflagerbedingung wie sie in der vorliegenden Arbeit gewählt wurde) und eine gelenkige Verbindung ein „verdrehweiches reines Gelenk“ dar. In der Mitte des Starrstabes wurde ein gelenkiges Auflager mit freier Verdrehung um die vertikale Achse erstellt. Dabei wurden wiederum am unteren Stabende (Bereich **B**) sämtliche Verschiebungen gesperrt und am oberen Stabende (Bereich **A**) die Verschiebung in Stabrichtung freigegeben. Die Lage und Ausbildung der Auflager, der soeben beschriebenen Randbedingungen als reines Gelenk, ist in Abbildung 3-4 dargestellt. Die Lasteinleitung erfolgte am oberen Stabende (Bereich **A**) über einen Referenzpunkt, der in der Mitte des Koppelstabes definiert wurde. Da die Verformungen des Koppelstabes an beiden Enden über einen Multiple Point Constraint (MPC) den Stirnseiten der Knotenbleche übergeben wurden, war eine gleichmäßige Kraftübertragung sichergestellt. Hierbei blieb die Kraft stets richtungstreu in Richtung der Stablängsachse des unverformten Systems.

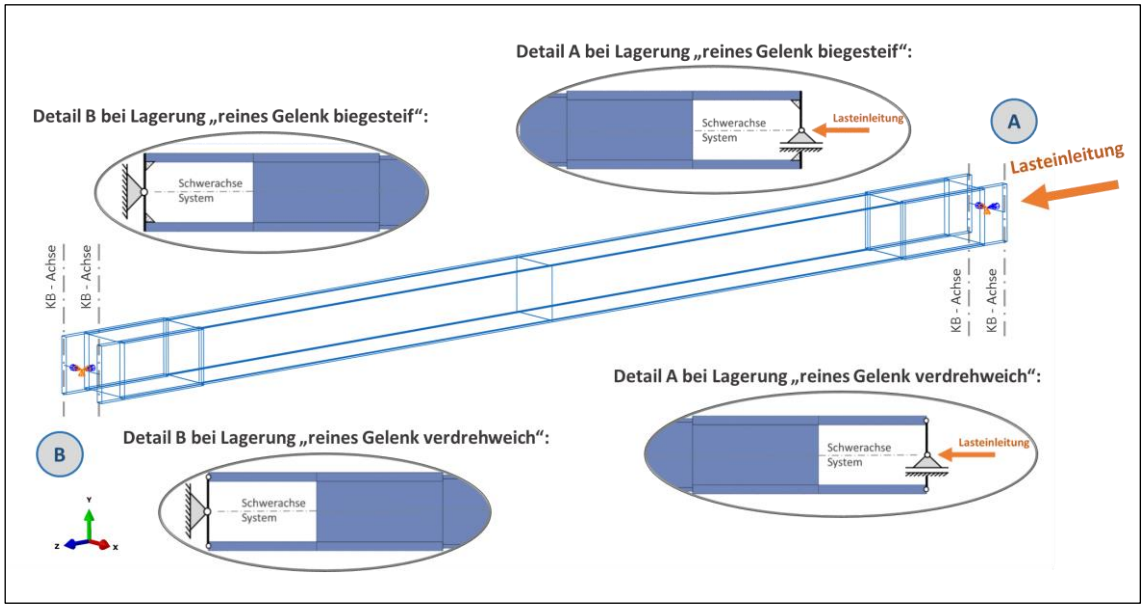


Abbildung 3-4: Anordnung der Auflager bei der Lagerung als reines Gelenk

3.2.3 Verbindungen

Etwaige Schweißnähte des Hohlprofils oder des Anschlusses der Knotenbleche wurden nicht modelliert und als starre Verbindung angenommen. Des Weiteren wurden die Ausrundungsradien in den Ecken des Hohlprofils vernachlässigt und nicht modelliert, da sie keinen nennenswerten Einfluss auf die Berechnungsergebnisse nehmen.

3.3 Ansatz der Imperfektionen

Um die Imperfektion des Knotenblechknickes zu modellieren, wurden für die GMNIA-Berechnungen separate Berechnungsmodelle mit einer gleichsinnigen und gegensinnigen Knotenblechauslenkung von $L_{KB} / 100$ erstellt. Für eigenformaffine Imperfektionen war vor der GMNIA-Berechnung eine lineare Beulanalyse erforderlich. Wie bereits unter Kapitel 2.5.2 erläutert, war es zum Teil notwendig auch höhere Eigenformen zu ermitteln, um die ungünstigste Vorverformung zu erhalten.

Dieser Sachverhalt ist insbesonders bei großen Systemlängen und kleinen Knotenblechlängen beim Knotenblech mit einer Dicke von $t_{KB} = 24$ mm aufgetreten. Abbildung 3-5 veranschaulicht anhand vom System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm, dass die gesuchte maximale Knotenblechauslenkung erst bei der fünften Eigenform auftritt.

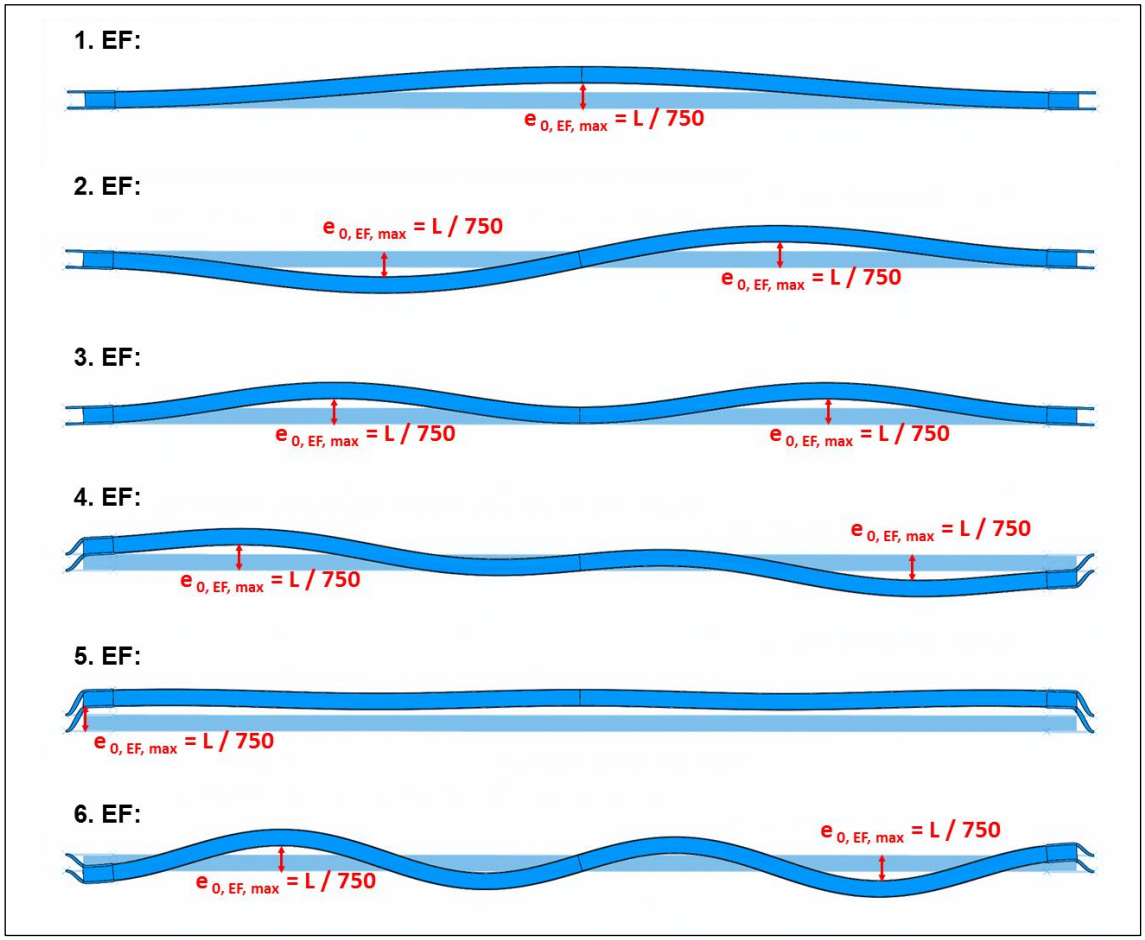


Abbildung 3-5: Eigenformen aus der LBA beim System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm

Für die linearen Beulanalysen wurde als Bezugslast eine Einzellast mit der Größe von 250 kN angesetzt, deren Wirkungslinie durch den Schwerpunkt des Hohlprofils verläuft.

3.4 Durchführung der Traglastberechnung

Bei der GMNIA Traglastberechnung handelt es sich um eine räumliche Systemberechnung nach der Theorie II. Ordnung mit Berücksichtigung der geometrischen Imperfektionen, wodurch lediglich ein Querschnittsnachweis ohne zusätzlichen Stabilitätsnachweis erforderlich ist.

Es wurden bei sämtlichen Systemen der Parameterstudie Traglastberechnungen mit Vorverformungen als gleich- und gegensinniger Knotenblechknick sowie affin zur ersten und zweiten Eigenform durchgeführt. Wenn höhere Eigenformen ermittelt wurden, weil aufgrund der größeren Knotenblechauslenkung eine geringere Traglast vermutet wurde, erfolgten auch Berechnungen mit Vorverformungen affin zu den vorherigen Eigenformen. Dies diente dazu, um im Zuge der Datenauswertung die Annahme der ungünstigen maximalen Knotenblechauslenkung zu überprüfen.

Als Bezugslast wurde wie unter 3.2.2 beschrieben am oberen Stabende eine Einzellast der Größe 2.500 kN angesetzt, deren Wirkungslinie durch den Schwerpunkt des Hohlprofils verläuft. Im Zuge der GMNIA (Geometrisch und Materielle Nichtlineare Traglastanalyse mit

Imperfektionen) wurde die Bezugslast so lange gesteigert, bis kein Gleichgewicht mehr gefunden wurde. Das Ergebnis ist ein Laststeigerungsfaktor, welcher multipliziert mit der Bezugslast die Traglast ergibt.

Die Ergebnisse der Traglastberechnungen sollen in Form von von-Mises Vergleichsspannungen dargestellt werden, welche die maximal aufnehmbare Traglast abbilden. Um den Versagensbereich besser interpretieren zu können, werden auch die Verformungen der Systeme (siehe Anhang B: Ergebnisse der GMNIA - Traglasten) dargestellt.

3.5 Variation der Modellbildung

Um die Abweichung der Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Modellbildung zu erfassen, wurden einige ausgewählte Systeme mit Knotenblechen aus zweidimensionalen Schalenelementen erstellt, deren Ergebnisse in Abbildung 3-6 mit den Traglasten von Systemen mit Knotenblechen aus dreidimensionalen Volumenelementen verglichen wurden. Hierfür wurden die Schalenelemente der Knotenbleche mit 5 Integrationspunkten über die Dicke und in einer zweiten Variante Schalenelemente mit 7 Integrationspunkten über die Dicke erstellt. Die Gegenüberstellung der Traglasten zeigt, dass die Ergebnisse nur eine sehr geringe Abweichung voneinander aufweisen. Diese Tatsache bestätigt die Modellierung mit Volumenelementen, welche innerhalb des geringen Schwankungsbereiches die kleinsten Traglasten ergeben.

Vergleich der Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm								
Randbedingungen:	eingespannt		gelenkig		reines Gelenk biegesteif		reines Gelenk verdrehweich	
Variation der Knotenbleche:	1. EF	2. EF	1. EF	2. EF	1. EF	2. EF	1. EF	2. EF
Volumenelemente	**1.311 kN**	**1.174 kN**	**535 kN**	**574 kN**	**1.054 kN**	**1.308 kN**	**618 kN**	**540 kN**
Schalenelemente mit 7 Integrationspunkten	1.340 kN	1.185 kN	548 kN	580 kN	1.055 kN	1.333 kN	638 kN	550 kN
Schalenelemente mit 5 Integrationspunkten	1.335 kN	1.178 kN	550 kN	585 kN	1.055 kN	1.328 kN	638 kN	555 kN
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte								

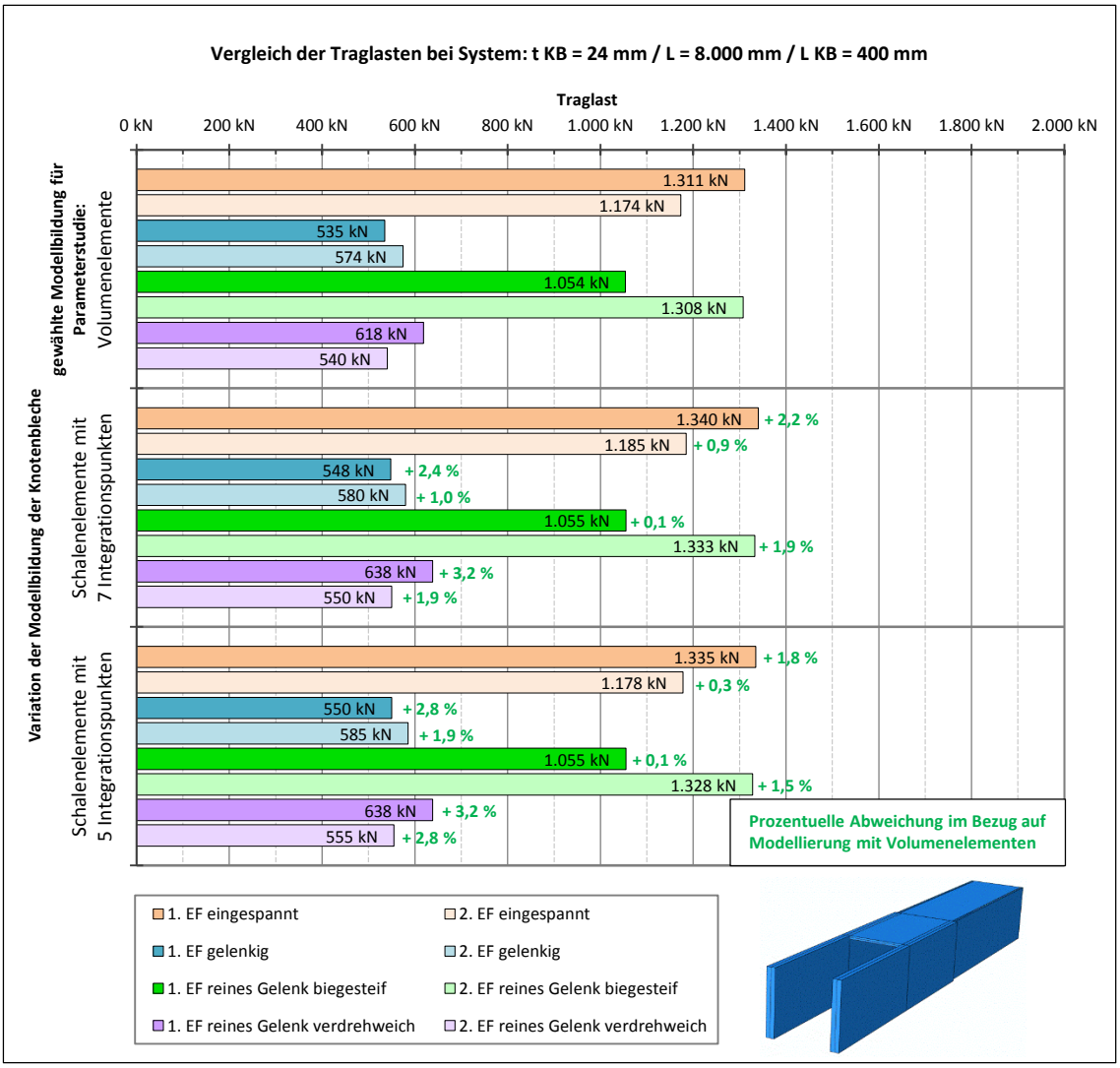


Abbildung 3-6: Vergleich der Ergebnisse der Traglastberechnung bei unterschiedlicher Modellierung der Knotenbleche

4 Referenzgrößen zur FE-Tragfähigkeit

In diesem Kapitel soll auf die Nachweisverfahren nach dem derzeitigen Stand der Technik laut Eurocode 3 [4] eingegangen werden. Dabei soll die Vorgehensweise in der Praxis mit einer ingenieurmäßigen Herangehensweise dargestellt werden. Diese sieht im Anschluss an die Durchführung der erforderlichen Querschnittsnachweise die Untersuchung des globalen und lokalen Stabilitätsverhaltens des Systems vor.

4.1 Querschnittsnachweise

Da es sich um rein druckbeanspruchte Systeme handelt, ist als Querschnittsnachweis lediglich ein Nachweis der Normalkrafttragfähigkeit erforderlich ($M_{Ed} = 0$, $V_{Ed} = 0$). Diese Tragfähigkeit N_{Pl} wird durch die Multiplikation der Querschnittsfläche mit dem Designwert der Fließgrenze f_{yd} ermittelt. Aufgrund der unterschiedlichen Querschnittsflächen im Bereich der Knotenbleche und des Hohlprofils muss die Querschnittstragfähigkeit an zwei Stellen untersucht werden. Diese beiden Bereiche sind in Abbildung 4-1 in Schnitt A-A und Schnitt B-B dargestellt und die jeweilige Querschnittsfläche angeführt. Da Knotenbleche mit zwei Dicken untersucht wurden, sind in dieser Abbildung die Abmessungen und Flächen sowohl für die Knotenbleche mit der Dicke $t_{KB} = 10$ mm als auch für die Knotenbleche mit einer Dicke von $t_{KB} = 24$ mm angegeben.

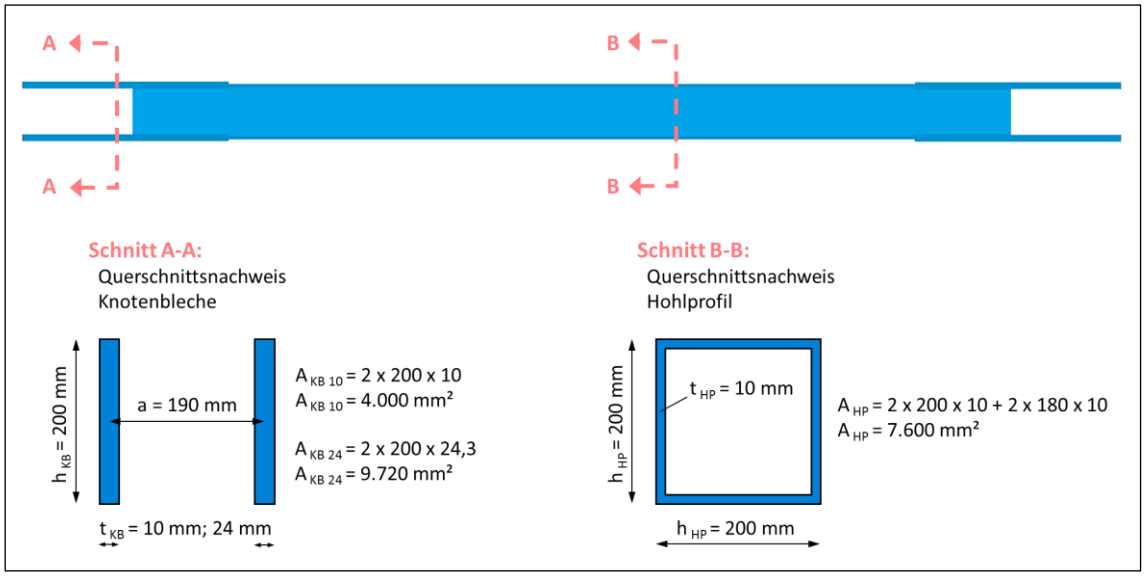


Abbildung 4-1: Stellen an denen ein Querschnittsnachweis geführt wird

4.1.1 Querschnittsnachweis des Hohlprofils

Bei sämtlichen Systemen ist die Querschnittsfläche des Hohlprofils ident und beträgt $A_{HP} = 7.600$ mm². Die plastische Normalkrafttragfähigkeit $N_{Pl, HP} = A_{HP} * f_{yd}$ ergibt sich zu $N_{Pl, HP} = 7.600 * 235 = 1.786.000$ N = 1.786 kN.

Da es sich bei den hier ermittelten Werten um Referenzgrößen handelt, wird ein zusätzlicher Index R geführt $N_{R, Pl, HP}$.

4.1.2 Querschnittsnachweis der Knotenbleche

Bei den untersuchten Knotenblechen mit einer Dicke von $t_{KB} = 10$ mm beträgt die Querschnittsfläche $A_{KB} = 4.000$ mm². Die plastische Normalkrafttragfähigkeit $N_{Pl, KB} = A_{KB} * f_{yd}$ ergibt sich zu $N_{Pl, HP} = 4.000 * 235 = 940.000$ N = 940 kN.

Bei den Knotenblechen mit einer Dicke von $t_{KB} = 24$ mm (exakt 24,3 mm – siehe Kapitel 2.3.1) ist die Querschnittsfläche deutlich größer und beträgt $A_{KB} = 9.720$ mm². Die plastische Normalkrafttragfähigkeit $N_{Pl, KB} = A_{KB} * f_{yd}$ ergibt sich zu $N_{Pl, HP} = 9.720 * 235 = 2.284.000$ N = 2.284 kN.

Da es sich bei den hier ermittelten Werten um Referenzgrößen handelt, wird ein zusätzlicher Index R geführt $N_{R, Pl, KB}$.

4.2 Stabilitätsnachweise

Zusätzlich zu den Querschnittsnachweisen muss bei druckbeanspruchten Systemen das Stabilitätsverhalten untersucht werden. Aufgrund des veränderlichen Trägheitsmomentes des Systems müssen Stabilitätsnachweise im Bereich der Knotenbleche und in Stabmitte im Bereich des Hohlprofils durchgeführt werden. Bei der Ausführung von kurzen Knotenblechen und somit einem kompakten Knotenanschluss, wie er in der Vergangenheit ausgeführt wurde, war der Stabilitätsnachweis der Knotenbleche in der Regel nicht maßgebend. Dies führte dazu, dass die Untersuchung des Stabilitätsverhaltens der Knotenbleche in der Praxis häufig vernachlässigt wurde.

4.2.1 Knicknachweis des Hohlprofils

Da es sich um einen druckbeanspruchten Querschnitt handelt, wird zumindest ein Knicknachweis des Gesamtstabes mit Vernachlässigung der Knotenbleche sicherlich von jedem Ingenieur in der Praxis durchgeführt werden. Dieser wird sich dabei den Euler´schen Knickspannungslinien bedienen. Wie bereits in Kapitel 3.1 erläutert, wurde die numerische Parameterstudie ohne die Berücksichtigung von Eigenspannungen durchgeführt. Da die Knickspannungslinien auch den Einfluss von Eigenspannungen mit abbilden, wurde als Alternative eine separate GMNIA-Berechnung mit einer eigenformaffinen Vorverformung an Hohlprofilen mit den Längen von L = 4.000 mm, L = 8.000 mm und L = 12.000 mm ohne angeschlossenen Knotenblechen durchgeführt. Da es sich hierbei um Querschnitte mit konstantem Trägheitsmoment handelte, war für diese Referenzsysteme lediglich eine Berechnung mit einer Vorverformung affin zur ersten Eigenform erforderlich. Analog zu den Systemen der Parameterstudie wurde diese Eigenform mit einem Wert von $e_{0, EF} = L / 750$ skaliert.

Bei der Modellierung der Referenzsysteme wurden zwei Auflagerbedingungen unterschieden.

- **Eingespannt:** Bei der eingespannten Lagerung sind sämtliche Rotationsmöglichkeiten der Knoten an den Stabenden gesperrt. Diese Randbedingung des Referenzsystems soll der eingespannten und gelenkigen Lagerung der Parameterstudie gegenübergestellt werden. Diese Zuordnung erfolgte, da beide Auflagerbedingungen das globale Rotationsvermögen des Gesamtsystems an den Enden sperren bzw. einschränken. Die Lagerungsbedingung dieses Referenzsystems sowie die Zuordnung zu den jeweiligen Systemen der Parameterstudie sind in Abbildung 4-2 dargestellt.

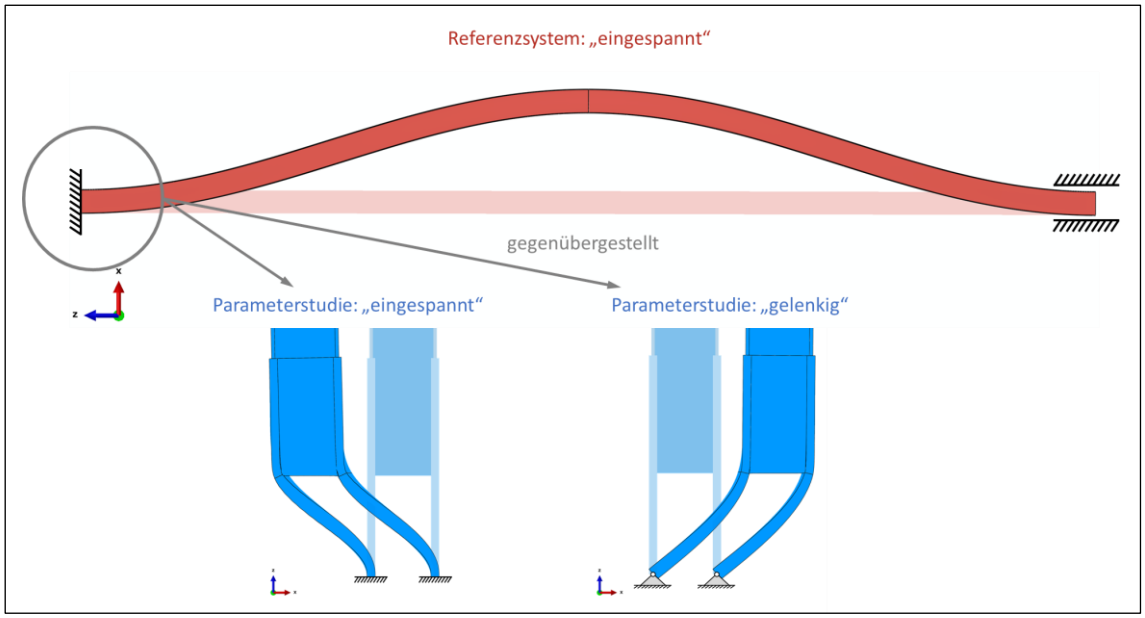


Abbildung 4-2: Zuordnung des eingespannten Referenzsystems zu den Systemen der Parameterstudie

- **Reines Gelenk:** Die Lagerung als reines Gelenk entspricht dem System eines Pendelstabes. Das Hohlprofil wurde an beiden Enden an eine steife Kopfplatte angeschlossen und in deren Zentrum ein gelenkiges Auflager angeordnet. Diese Randbedingung des Referenzsystems soll den Lagerungen als „reines Gelenk biegesteif“ und „reines Gelenk verdrehweich“ der Parameterstudie gegenübergestellt werden, da bei diesen Lagerungen an den Enden ein freies globales Rotationsvermögen des Gesamtsystems vorliegt. Die Lagerungsbedingung dieses Referenzsystems sowie die Zuordnung zu den jeweiligen Systemen der Parameterstudie sind in Abbildung 4-3 dargestellt.

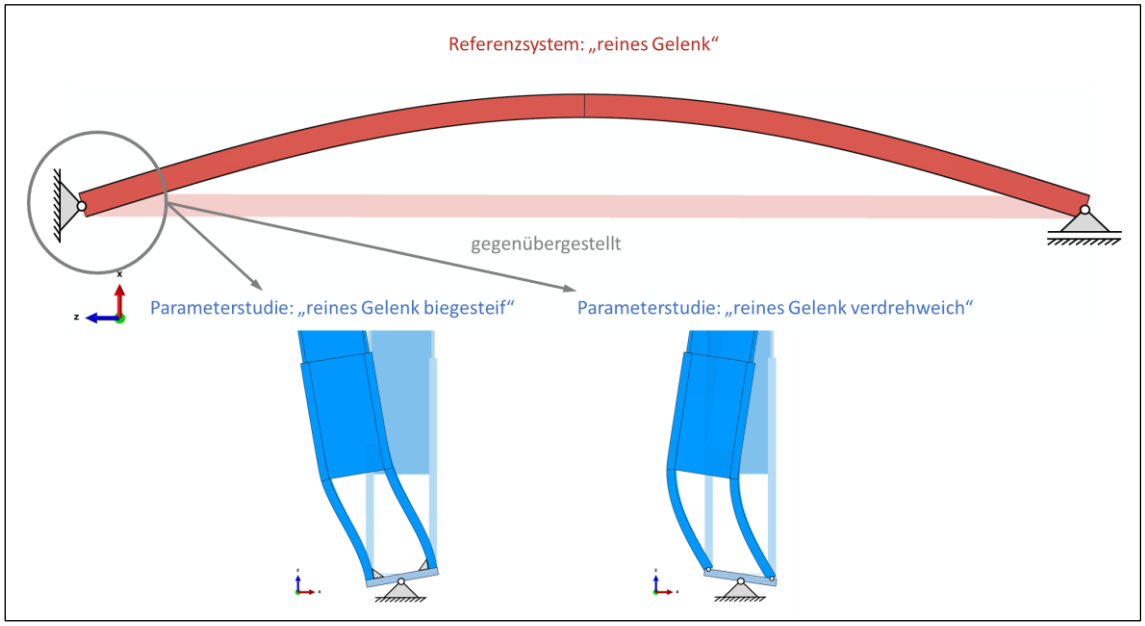


Abbildung 4-3: Zuordnung des Referenzsystems mit reinem Gelenk zu den Systemen der Parameterstudie

Die Ergebnisse der numerischen Berechnung der Referenzsysteme eingespannt und reines Gelenk für die Längen L = 4.000 mm, L = 8.000 mm und L = 12.000 mm sind in Abbildung 4-4 dargestellt.

Referenztraglasten aus numerischer Berechnung für Stabilitätsnachweis der Hohlprofile			
Randbedingungen:	L = 4.000 mm	L = 8.000 mm	L = 12.000 mm
eingespannt	1.729 kN	1.622 kN	1.416 kN
reines Gelenk	1.622 kN	1.090 kN	576 kN
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,EF}$ = L / 750 = 5,3 mm	$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm	$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm

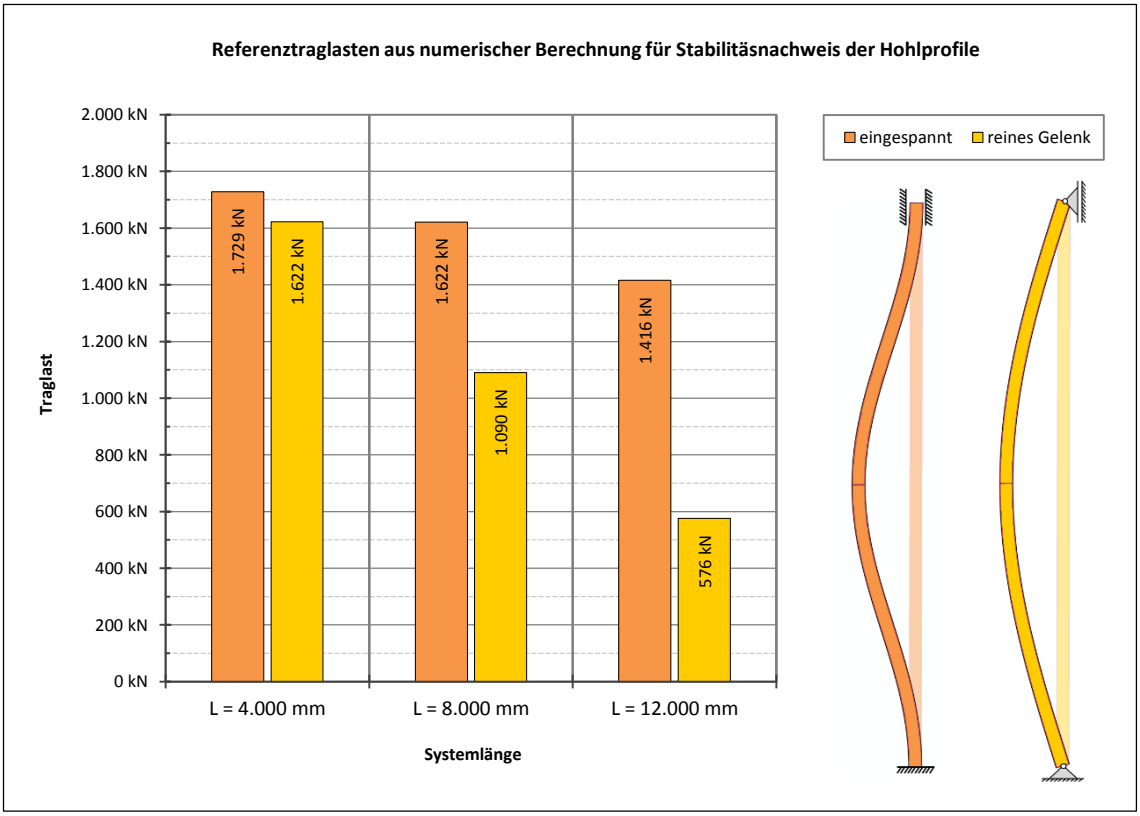


Abbildung 4-4: Ergebnisse der numerischen Tragfähigkeit der Referenzsysteme für durchgehende Hohlprofile ohne Knotenbleche

4.2.2 Beulnachweis der Knotenbleche

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, zählt die Untersuchung des Stabilitätsverhaltens der Knotenbleche nicht zur standardmäßigen Vorgehensweise eines jeden Ingenieurs. Ist er sich jedoch der lokalen Stabilitätsgefährdung im Bereich der Knotenleche bewusst, wird er zumindest einen vereinfachten Beulnachweis mit dem Ansatz eines knickstabähnlichen Verhaltens für die Knotenbleche durchführen. Die Referenzlasten aus dem Beulnachweis der Knotenbleche wurden für die gleichen vier Randbedingungen (eingespannt, gelenkig, reines Gelenk biegesteif, reines Gelenk verdrehweich) wie bei der Parameterstudie ermittelt. Entscheidenden Einfluss bei der Berechnung der Referenzlasten, basierend auf einem vereinfachten Beulnachweis mit knickstabähnlichem Verhalten, hat die Wahl des Knicklängenbeiwertes β. Für die Lagerungsbedingung eingespannt und reines Gelenk biegesteif wurde aufgrund der gesperrten lokalen Rotationsmöglichkeit der einzelnen Knotenbleche Eulerfall IV angenommen und β = 0,5 gewählt. Für die Lagerungsbedingung

gelenkig und reines Gelenk verdrehweich wurde aufgrund der freien lokalen Rotationsmöglichkeit der einzelnen Knotenbleche Eulerfall III angenommen und β = 0,7 gewählt. Die Wahl der Knicklängenbeiwerte ist der praxisnahen Vorgehensweise eines Ingenieurs nachempfunden. Dieser wird eine getrennte Betrachtung der einzelnen Knotenbleche durchführen und die in Abbildung 4-5 und 4-6 dargestellten Verformungen annehmen.

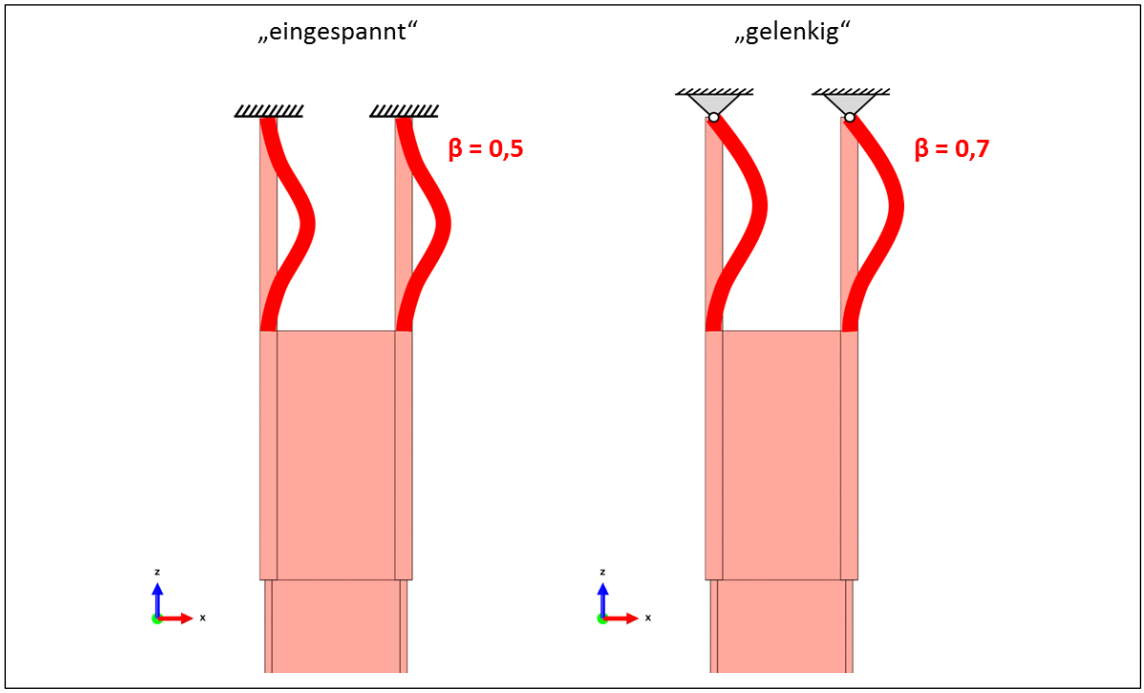


Abbildung 4-5: Ingenieurmäßiger Ansatz der Knicklängenbeiwerte für den vereinfachten Beulnachweis der Knotenbleche

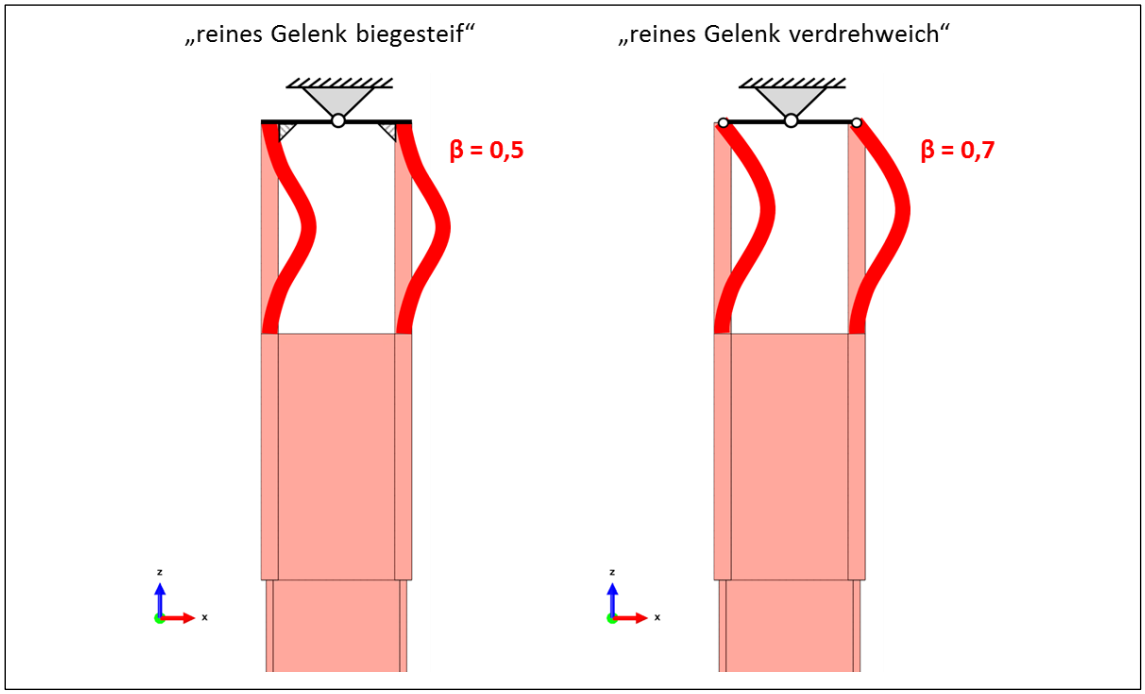


Abbildung 4-6: Ingenieurmäßiger Ansatz der Knicklängenbeiwerte für den vereinfachten Beulnachweis der Knotenbleche

In Weiterer Folge wird beim vereinfachten Beulnachweis mit knickstabähnlichem Verhalten die Knicklänge l_k ermittelt, indem die freie Knotenblechlänge L_{KB} mit dem Knicklängenbeiwert β multipliziert wird. Im Anschluss wird die bezogene Schlankheit $\overline{\lambda}$ berechnet, die sich aus dem Quotienten der Knicklänge und des Trägheitsradius i, welcher mit dem Bezugsschlankheitsgrad λ_1 multipliziert wird, ergibt. Mit der bezogenen Schlankheit kann in den Euler´schen Knickspannungslinien der Faktor χ herausgelesen werden, mit dem die plastische Normalkrafttragfähigkeit abgemindert wird. Die untersuchten Knotenbleche wurden der Knicklinie a zugeordnet. Der Bemessungsablauf bei der Durchführung eines vereinfachten Beulnachnachweises mit knickstabähnlichem Verhalten ist in Abbildung 4-7 dargestellt. Dabei wurden auch die angesetzten Werte der Berechnung in roter Schrift angeführt.

β = 0,5 .... eingespannt, reines Gelenk biegesteif
β = 0,7 .... gelenkig, reines Gelenk verdrehweich

① $l_k = L_{KB} * \beta$ ..... Knicklänge des Knotenbleches

L_{KB} = 100 mm – 400 mm

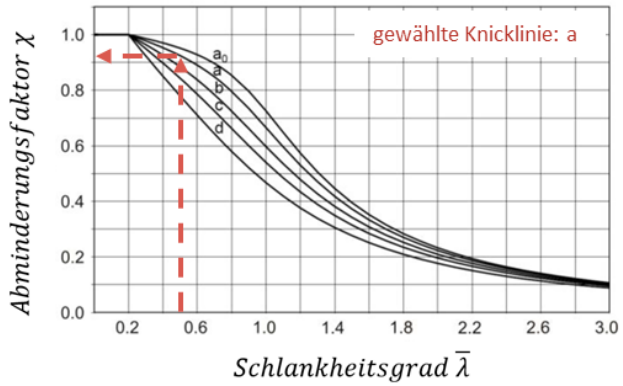
② $\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi * \sqrt{\frac{210.000}{235}} = 93{,}9$ ..... Bezugsschlankheit bei S 235

③ $i = \sqrt{\frac{I_{KB}}{A_{KB}}} = 0{,}289 * t_{KB}$ ..... Trägheitsradius des KB

t_{KB} = 10 mm
t_{KB} = 24 mm

④ $\overline{\lambda} = \frac{l_k}{i * \lambda_1}$ ..... bezogene Schlankheit

⑤



Euler´sche Knicklinien zur Ermittlung des Abminderungsfaktors χ

⑥ $N_{R,b,KB} = N_{R,Pl,KB} * \chi$ ..... Referenztragfähigkeit bei einem Beulnachweis der Knotenbleche mit knickstabähnlichem Verhalten

$N_{R,Pl,KB\ 10}$ = 940 kN
$N_{R,Pl,KB\ 24}$ = 2.284 kN

Abbildung 4-7: Berechnungsablauf bei der Durchführung eines vereinfachtem Beulnachweises mit knickstabähnlichem Verhalten

4.3 Zusammenfassung der Referenztraglasten

Im Zuge der weiteren Datenauswertung und Analyse der Ergebnisse (Kapitel 6) sollen die minimalen und somit maßgebenden Referenztraglasten mit den Ergebnissen der numerischen Berechnungen der Parameterstudie gegenübergestellt werden. In den Tabellen 4-1 und 4-2 werden die Referenztraglasten für sämtliche untersuchte Systeme

angeführt und gegenübergestellt. Des Weiteren sind die maßgebenden Referenztraglasten in roter Schrift und fett gedruckt hervorgehoben.

4.3.1 Knotenblechdicke t_{KB} = 10 mm

Bei den Systemen mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm wird bei den Referenzlasten in den überwiegenden Fällen der Stabilitätsnachweis der Knotenbleche maßgebend. Dies ist auf die geringe Steifigkeit der Knotenbleche zurückzuführen und verdeutlicht, dass eine Untersuchung des Beulverhaltens der Knotenbleche unbedingt erforderlich ist, um bei solchen Systemen die Tagfähigkeit nicht zu überschätzen. Insbesondere mit zunehmender freien Knotenblechlänge ist der Stabilitätsnachweis der Knotenbleche deutlich geringer als der Querschnittsnachweis der Knotenbleche. Erst bei Systemen ab einer Länge von 12.000 mm und einer Lagerung als reines Gelenk wird der globale Stabilitätsnachweis des Gesamtstabes maßgebend.

Referenzlasten N_R bei t_{KB} = 10 mm						
Parameter:			$N_{R, Pl, KB}$	$N_{R, Pl, HP}$	$N_{R, b, KB}$	$N_{R, b, HP}$
eingespannt	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	**940 kN**	1.786 kN	**940 kN**	1.729 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**903 kN**	1.729 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**853 kN**	1.729 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**780 kN**	1.729 kN
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	**940 kN**	1.786 kN	**940 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**903 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**853 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**780 kN**	1.622 kN
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	**940 kN**	1.786 kN	**940 kN**	1.416 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**903 kN**	1.416 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**853 kN**	1.416 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**780 kN**	1.416 kN
gelenkig	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	1.786 kN	**928 kN**	1.729 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**864 kN**	1.729 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**762 kN**	1.729 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**605 kN**	1.729 kN
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	1.786 kN	**928 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**864 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**762 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**605 kN**	1.622 kN
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	1.786 kN	**928 kN**	1.416 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**864 kN**	1.416 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**762 kN**	1.416 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**605 kN**	1.416 kN
reines Gelenk biegesteif	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	**940 kN**	1.786 kN	**940 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**903 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**853 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**780 kN**	1.622 kN
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	**940 kN**	1.786 kN	**940 kN**	1.090 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**903 kN**	1.090 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**853 kN**	1.090 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**780 kN**	1.090 kN
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	1.786 kN	940 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	903 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	853 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	780 kN	**576 kN**
reines Gelenk verdrehweich	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	1.786 kN	**928 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**864 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**762 kN**	1.622 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**605 kN**	1.622 kN
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	1.786 kN	**928 kN**	1.090 kN
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	**864 kN**	1.090 kN
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	**762 kN**	1.090 kN
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	**605 kN**	1.090 kN
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	1.786 kN	928 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 200 mm	940 kN	1.786 kN	864 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 300 mm	940 kN	1.786 kN	762 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 400 mm	940 kN	1.786 kN	605 kN	**576 kN**
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						

Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Ergebnisse der ingenieurmäßigen Nachweisverfahren als Referenzlasten bei System - t_{KB} = 10 mm

4.3.2 Knotenblechdicke $t_{KB} = 24$ mm

Bei den Systemen mit einer Knotenblechdicke von $t_{KB} = 24$ mm wird bei den Referenzlasten in sämtlichen Fällen der Stabilitätsnachweis des Gesamtstabes maßgebend. Dies ist auf die deutlich höhere Steifigkeit der Knotenbleche im Vergleich zu den Knotenblechen mit $t_{KB} = 10$ mm zurückzuführen. Dies führt auch dazu, dass der Stabilitätsnachweis der Knotenbleche nur geringfügig unter dem Querschnittsnachweis der Knotenbleche liegt. Da die dicken Knotenbleche in Summe eine größere Fläche als das Hohlprofil aufweisen, ist der Querschnittsnachweis des Hohlprofils stets geringer.

Referenzlasten N_R bei t_{KB} = 24 mm						
Parameter:			$N_{R,Pl,KB}$	$N_{R,Pl,HP}$	$N_{R,b,KB}$	$N_{R,b,HP}$
eingespannt	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.729 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.729 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.269 kN	**1.729 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.229 kN	**1.729 kN**
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.269 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.229 kN	**1.622 kN**
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.416 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.416 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.269 kN	**1.416 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.229 kN	**1.416 kN**
gelenkig	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.729 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.277 kN	**1.729 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.221 kN	**1.729 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.158 kN	**1.729 kN**
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.277 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.221 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.158 kN	**1.622 kN**
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.416 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.277 kN	**1.416 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.221 kN	**1.416 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.158 kN	**1.416 kN**
reines Gelenk biegesteif	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.269 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.229 kN	**1.622 kN**
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.090 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.090 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.269 kN	**1.090 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.229 kN	**1.090 kN**
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.269 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.229 kN	**576 kN**
reines Gelenk verdrehweich	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.277 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.221 kN	**1.622 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.158 kN	**1.622 kN**
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**1.090 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.277 kN	**1.090 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.221 kN	**1.090 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.158 kN	**1.090 kN**
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.284 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 200 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.277 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 300 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.221 kN	**576 kN**
		L_{KB} = 400 mm	2.284 kN	1.786 kN	2.158 kN	**576 kN**
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						

Tabelle 4-2: Zusammenfassung der Ergebnisse der ingenieurmäßigen Nachweisverfahren als Referenzlasten bei System - t_{KB} = 24 mm

5 Ergebnisse der Traglastberechnungen

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der GMNIA-Traglastberechnungen in tabellarischer Form dargestellt. Diese Daten bilden die Grundlage für die weiteren Analysen und Auswertungen.

5.1 Tabellarische Darstellung der Traglasten

In den nachfolgenden Tabellen sind die Traglasten jeweils für ein System mit den verschiedenen Auflagerbedingungen und der angesetzten Vorverformung gegenübergestellt. Um die Auswirkung der freien Knotenblechlänge zu veranschaulichen, sind die Systeme mit $L_{KB} = 100$ mm, $L_{KB} = 200$ mm, $L_{KB} = 300$ mm und $L_{KB} = 400$ mm untereinander auf einer Seite abgebildet.

Es wurde jeweils das Ergebnis mit der geringsten Traglast fett gedruckt in blauer Schrift hervorgehoben, um die ungünstigste angesetzte Vorverformung zu verdeutlichen. Die Tabellen wurden fortlaufend in der Reihenfolge: Knotenblechdicke t_{KB}, Systemlänge L, und Knotenblechlänge L_{KB} eingefügt.

Beim Vergleich der Ergebnisse sind die unterschiedlichen Imperfektionsansätze hinsichtlich Knotenblechknick und eigenformaffiner Vorverformung zu berücksichtigen. Hierfür sind in sämtlichen Tabellen die angesetzten Imperfektionsamplituden e_0 angeführt.

5.1.1 Knotenblechdicke $t_{KB} = 10$ mm

In den Tabellen 5-1 bis 5-3 sind die Ergebnisse der Traglastberechnungen für sämtliche Systeme der Parameterstudie mit einer Knotenblechdicke von $t_{KB} = 10$ mm dargestellt. Aufgrund der geringen Knotenblechsteifigkeit waren in den überwiegenden Fällen Berechnungen mit der ersten und zweiten eigenformaffinen Vorverformung ausreichend.

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	850 kN	878 kN	**599 kN**	617 kN				
gelenkig	515 kN	640 kN	**282 kN**	352 kN				
reines Gelenk biegesteif	847 kN	863 kN	736 kN	**599 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	512 kN	533 kN	303 kN	**285 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 1,0 mm		$e_{0,EF} = L / 750$ = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	583 kN	725 kN	**418 kN**	519 kN				
gelenkig	219 kN	523 kN	**159 kN**	318 kN				
reines Gelenk biegesteif	574 kN	618 kN	446 kN	**429 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	217 kN	242 kN	**161 kN**	169 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 2,0 mm		$e_{0,EF} = L / 750$ = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	375 kN	662 kN	**304 kN**	492 kN				
gelenkig	116 kN	495 kN	**100 kN**	257 kN				
reines Gelenk biegesteif	370 kN	425 kN	**309 kN**	322 kN				
reines Gelenk verdrehbar	116 kN	136 kN	**100 kN**	110 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 3,0 mm		$e_{0,EF} = L / 750$ = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	253 kN	645 kN	**225 kN**	473 kN				
gelenkig	71 kN	431 kN	**67 kN**	198 kN				
reines Gelenk biegesteif	249 kN	303 kN	**225 kN**	249 kN				
reines Gelenk verdrehbar	71 kN	88 kN	**67 kN**	78 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 4,0 mm		$e_{0,EF} = L / 750$ = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Tabelle 5-1: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	850 kN	856 kN	434 kN	**429 kN**				
gelenkig	515 kN	530 kN	**190 kN**	195 kN				
reines Gelenk biegesteif	837 kN	855 kN	814 kN	509 kN	**448 kN**			
reines Gelenk verdrehbar	504 kN	523 kN	315 kN	**190 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 1,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 =10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	583 kN	602 kN	**304 kN**	309 kN				
gelenkig	219 kN	266 kN	**115 kN**	137 kN				
reines Gelenk biegesteif	560 kN	596 kN	465 kN	**304 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	215 kN	230 kN	129 kN	**117 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 2,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	377 kN	423 kN	**229 kN**	252 kN				
gelenkig	115 kN	190 kN	**78 kN**	112 kN				
reines Gelenk biegesteif	361 kN	396 kN	271 kN	**233 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	115 kN	125 kN	**81 kN**	**81 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 3,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	253 kN	327 kN	**176 kN**	217 kN				
gelenkig	71 kN	156 kN	**56 kN**	93 kN				
reines Gelenk biegesteif	243 kN	274 kN	187 kN	**182 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	71 kN	78 kN	**58 kN**	59 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 4,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Tabelle 5-2: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	850 kN	852 kN	857 kN	340 kN	**337 kN**			
gelenkig	515 kN	516 kN	**144 kN**	**144 kN**				
reines Gelenk biegesteif	637 kN	850 kN	572 kN	713 kN	**351 kN**	388 kN		
reines Gelenk verdrehbar	481 kN	518 kN	411 kN	**144 kN**	257 kN			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 1,0 mm		$e_{0,EF}$ =L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	583 kN	585 kN	243 kN	**234 kN**				
gelenkig	219 kN	232 kN	**93 kN**	97 kN				
reines Gelenk biegesteif	508 kN	585 kN	459 kN	**252 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	211 kN	225 kN	126 kN	**93 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 2,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	377 kN	385 kN	187 kN	**185 kN**				
gelenkig	115 kN	139 kN	**66 kN**	73 kN				
reines Gelenk biegesteif	344 kN	384 kN	290 kN	**185 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	112 kN	122 kN	73 kN	**67 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 3,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	253 kN	271 kN	**147 kN**	154 kN				
gelenkig	71 kN	100 kN	**49 kN**	59 kN				
reines Gelenk biegesteif	234 kN	263 kN	182 kN	**147 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	71 kN	76 kN	**51 kN**	**51 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 4,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Tabelle 5-3: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm

5.1.2 Knotenblechdicke $t_{KB} = 24$ mm

In den Tabellen 5-4 bis 5-6 sind die Ergebnisse der Traglastberechnungen für sämtliche Systeme der Parameterstudie mit einer Knotenblechdicke von $t_{KB} = 24$ mm dargestellt. Aufgrund der hohen Knotenblechsteifigkeit war es bei einigen Systemen erforderlich Berechnungen mit höheren eigenformaffinen Vorverformungen durchzuführen, um die ungünstigste Vorverformung der Knotenbleche zu untersuchen. Im Gegensatz zu den Systemen mit dem dünnen Knotenblech kommt es beim dicken Knotenblech in einigen Fällen zum globalen Stabversagen in Stabmitte. Auf diesen Sachverhalt wird in Kapitel 6 und Kapitel 7 näher eingegangen.

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.787 kN	1.787 kN	**1.731 kN**	1.747 kN	1.773 kN			
gelenkig	1.787 kN	1.787 kN	1.526 kN	**1.514 kN**				
reines Gelenk biegesteif	1.740 kN	1.766 kN	**1.619 kN**	1.671 kN	1.678 kN	1.704 kN	1.692 kN	
reines Gelenk verdrehbar	1.732 kN	1.761 kN	1.614 kN	**1.523 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 1,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.787 kN	1.785 kN	1.775 kN	**1.764 kN**				
gelenkig	1.534 kN	1.663 kN	**1.147 kN**	1.289 kN				
reines Gelenk biegesteif	1.695 kN	1.748 kN	**1.614 kN**	1.663 kN	1.666 kN			
reines Gelenk verdrehbar	1.491 kN	1.614 kN	1.355 kN	**1.158 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 2,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.785 kN	1.784 kN	1.707 kN	**1.664 kN**				
gelenkig	1.075 kN	1.499 kN	**885 kN**	1.226 kN				
reines Gelenk biegesteif	1.644 kN	1.731 kN	**1.597 kN**	1.657 kN				
reines Gelenk verdrehbar	1.039 kN	1.207 kN	938 kN	**929 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 3,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.666 kN	1.721 kN	**1.532 kN**	1.592 kN				
gelenkig	758 kN	1.435 kN	**684 kN**	1.211 kN				
reines Gelenk biegesteif	1.556 kN	1.710 kN	1.557 kN	**1.553 kN**				
reines Gelenk verdrehbar	735 kN	912 kN	**693 kN**	756 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 4,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 5,3 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Tabelle 5-4: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.785 kN	1.787 kN	1.622 kN	**1.613 kN**	1.680 kN			
gelenkig	1.787 kN	1.787 kN	1.624 kN	1.279 kN	**1.103 kN**			
reines Gelenk biegesteif	1.376 kN	1.756 kN	**1.092 kN**	1.494 kN	1.553 kN	1.575 kN	1.601 kN	
reines Gelenk verdrehbar	1.362 kN	1.750 kN	**1.087 kN**	1.488 kN	1.262 kN	1.103 kN		
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 1,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.787 kN	1.787 kN	1.627 kN	1.627 kN	1.578 kN	**1.531 kN**		
gelenkig	1.533 kN	1.548 kN	891 kN	**816 kN**				
reines Gelenk biegesteif	1.303 kN	1.727 kN	**1.087 kN**	1.491 kN	1.546 kN	1.532 kN		
reines Gelenk verdrehbar	1.218 kN	1.549 kN	1.059 kN	940 kN	**898 kN**			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 2,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.785 kN	1.783 kN	1.635 kN	**1.341 kN**	1.360 kN			
gelenkig	1.075 kN	1.123 kN	674 kN	**669 kN**				
reines Gelenk biegesteif	1.232 kN	1.696 kN	**1.078 kN**	1.476 kN	1.272 kN			
reines Gelenk verdrehbar	912 kN	1.116 kN	862 kN	**659 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 3,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.664 kN	1.669 kN	1.311 kN	**1.174 kN**				
gelenkig	758 kN	850 kN	**535 kN**	574 kN				
reines Gelenk biegesteif	1.158 kN	1.643 kN	**1.054 kN**	1.308 kN	1.170 kN			
reines Gelenk verdrehbar	669 kN	813 kN	618 kN	**540 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 4,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 10,7 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Tabelle 5-5: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.764 kN	1.787 kN	**1.427 kN**	1.472 kN	1.576 kN	1.580 kN	1.586 kN	
gelenkig	1.761 kN	1.787 kN	1.427 kN	1.474 kN	1.604 kN	**857 kN**	982 kN	
reines Gelenk biegesteif	650 kN	1.729 kN	**579 kN**	1.232 kN	1.390 kN	1.446 kN	1.470 kN	1.494 kN
reines Gelenk verdrehbar	650 kN	1.721 kN	**576 kN**	1.231 kN	1.388 kN	1.238 kN	874 kN	1.075 kN
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 1,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.761 kN	1.785 kN	1.432 kN	1.477 kN	1.585 kN	1.534 kN	**1.325 kN**	1.532 kN
gelenkig	1.533 kN	1.528 kN	1.435 kN	667 kN	**653 kN**			
reines Gelenk biegesteif	642 kN	1.680 kN	**576 kN**	1.231 kN	1.388 kN	1.441 kN	1.428 kN	
reines Gelenk verdrehbar	633 kN	1.491 kN	**571 kN**	1.123 kN	623 kN			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 2,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.756 kN	1.783 kN	1.439 kN	1.488 kN	1.205 kN	**1.122 kN**		
gelenkig	1.075 kN	1.073 kN	590 kN	**512 kN**				
reines Gelenk biegesteif	630 kN	1.628 kN	**574 kN**	1.222 kN	1.375 kN	1.156 kN		
reines Gelenk verdrehbar	598 kN	1.064 kN	557 kN	634 kN	**540 kN**			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 3,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
eingespannt	1.662 kN	1.652 kN	1.448 kN	1.063 kN	**1.023 kN**			
gelenkig	756 kN	766 kN	453 kN	**430 kN**				
reines Gelenk biegesteif	617 kN	1.547 kN	**569 kN**	1.204 kN	1.103 kN	1.048 kN		
reines Gelenk verdrehbar	525 kN	768 kN	498 kN	**446 kN**	551 kN			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$ = 4,0 mm		$e_{0,EF}$ = L / 750 = 16,0 mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

Tabelle 5-6: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm

6 Auswertung der Traglastberechnung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Traglastberechnung ausgewertet und sowohl tabellarisch als auch in Diagrammen dargestellt. Je nach Auswertung können verschiedene Rückschlüsse auf die vorliegenden Ergebnisse gezogen werden. Diese sind in den nachfolgenden Unterkapiteln erläutert und die wesentlichen Schlussfolgerungen in Kapitel 7 zusammengefasst.

6.1 Allgemeines

Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung, ob die aufnehmbaren Traglasten mit ingenieurmäßigen Nachweisverfahren nach derzeitigem Stand der Technik überschätzt werden und dadurch auf der unsicheren Seite liegen. Hierzu wurden in Kapitel 4 Referenzlasten ermittelt und sollen in weiterer Folge den Ergebnissen der numerischen Parameterstudie gegenübergestellt werden. Die maßgebenden Referenzlasten sind in den nachfolgenden Diagrammen als rot-strichlierte Line dargestellt, deren Differenz zu den Ergebnissen der numerischen Berechnungen die Abweichung bzw. ein Überschätzen der aufnehmbaren Traglasten veranschaulichen soll.

Bei sämtlichen Systemen sind die Ergebnisse aus den Berechnungen mit eigenformaffiner Vorverformung geringer als jene mit dem Ansatz eines Knotenblechknickes. Dies ist auf die angesetzte Imperfektionsamplitude zurückzuführen, welche beim Knotenblechknick stets geringer war als bei der eigenformaffinen Vorverformung. Eine ausführliche Erläuterung zum Ansatz der Imperfektionen ist unter Kapitel 2.5 nachzulesen. Die in der Realität aufnehmbaren Traglasten werden in der Regel im Bereich zwischen den Ergebnissen aus Knotenblechknick und eigenformaffiner Vorverformung liegen, sofern bei der Herstellung die Ausführungstoleranzen laut EN ISO 13920 [7] und EN 1090-2 [6] eingehalten werden. Dadurch ist die Durchführung der Traglastberechnungen mit dem Ansatz des Knotenblechknickes gerechtfertigt, obwohl dieser nie maßgebend wurde.

Wie bereits in Kapitel 2.5.2 erläutert, ist die ungünstigste Vorverformung für das Tragverhalten der Knotenbleche eine maximale Auslenkung im Knotenblechbereich. Für die Beurteilung, ob es notwendig ist höhere Eigenformen als Vorverformung zu untersuchen, wurde im Zuge der Interpretation festgelegt, dass der Ansatz der höheren Eigenform nur erforderlich ist, wenn die Tragfähigkeiten mehr als 5 % unter den Ergebnissen mit niedrigeren eigenformaffinen Vorverformungen liegen. Dies erfolgte insbesonders im Hinblick auf die weiteren Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung.

Die in den Abbildungen angeführten „maßgebenden“ Tragfähigkeiten ergeben sich jeweils aus der geringsten Traglast aus den Berechnungen mit eigenformaffinen Vorverformungen sowie der geringsten Traglast aus den Berechnungen mit dem Ansatz des gleich- und gegensinnigen Knotenblechknickes.

6.2 Systeme mit einer Knotenblechdicke t_{KB} = 10 mm

Die Auswertung der Ergebnisse der numerischen Traglastberechnungen zeigt, dass bei sämtlichen Systemen mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm das Versagen der Knotenbleche für die Gesamttragfähigkeit des Systems maßgebend wird. Es ist bei den gesamten Berechnungen lediglich eine Parameterkonfiguration aufgetreten, wo bei der Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm Stabversagen eingetreten ist. Dies war das System t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1, wobei die ermittelte Traglast nicht maßgebend wurde, sondern jene Traglast mit einer Vorverformung affin zur dritten Eigenform, welche wegen der maximalen Auslenkung im Knotenblechbereich zu Knotenblechversagen führte.

Des Weiteren liegen die maßgebenden Ergebnisse sämtlicher Berechnungen deutlich unter den Referenzlasten. Mit zunehmender freien Knotenblechlänge weichen die Referenzlasten noch deutlicher von den Ergebnissen der numerischen Berechnung ab, was in der Praxis zu einem gravierenden Überschätzen der Tragfähigkeit bei der Anwendung von ingenieurmäßigen Nachweisverfahren führen würde.

Beim dünnen Knotenblech mit einer Dicke von t_{KB} = 10 mm ist bei der eingespannten und gelenkigen Lagerung eine Untersuchung der Vorverformung affin zur ersten Eigenform ausreichend, um die maßgebenden Traglasten zu ermitteln. Einzige Ausnahme stellt das System t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm dar. Diese Parameterkonfiguration ergibt jenen Übergangsbereich, bei dem die gedrungenen Knotenbleche im Vergleich zum schlanken Stab bei der LBA nur sehr gering ausgelenkt werden und zumindest die Ermittlung der zweiten Eigenform erforderlich ist. Ein derartiges Verhalten ist auch bei der gelenkigen Lagerung zu erwarten, jedoch erst bei höheren Stabschlankheiten bzw. einer Reduktion der freien Knotenblechlänge.

Bei der Lagerung „reines Gelenk biegesteif“ und „reines Gelenk verdrehweich“ ist es in den überwiegenden Fällen erforderlich die zweite Eigenform als Vorverformung anzusetzen, um die maßgebende Traglast zu ermitteln. Die Ursache hierfür liegt in der freien Rotationsmöglichkeit an den Rändern, welche zu einer sehr geringen Auslenkung der Knotenbleche bzw. einem sehr geringen Knick zwischen Knotenblech und Hohlprofil bei der Ermittlung der ersten Eigenform führt. Mit abnehmender Knotenblechschlankheit und zunehmender Stabschlankheit wird dieser Effekt weiter verstärkt. Somit ist beim System t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm jener Übergangsbereich erreicht, wo es erforderlich wird sogar die dritte Eigenform zu untersuchen. Diese These wird durch das System t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm bestätigt, wo ebenso die Traglastberechnung mit einer Vorverformung affin zur dritten Eigenform maßgebend wird. Analog zum zuvor erläuterten ähnlichen Tragverhalten zwischen eingespannter und gelenkiger Lagerung ist auch für den Fall „reines Gelenk verdrehweich“ eine erforderliche Untersuchung höherer Eigenformen zu erwarten, wenn die Stabschlankheit weiter gesteigert bzw. die freie Knotenblechlänge weiter reduziert wird.

6.2.1 Darstellung und Analyse der Traglasten in Abhängigkeit der angesetzten Vorverformung und der Knotenblechlänge

In den nachfolgenden Abbildungen 6-1 bis 6-12 sind die Traglasten für verschiedene Knotenblechlängen und Vorverformungen tabellarisch sowie als Balkendiagramm dargestellt. Bei der tabellarischen Darstellung sind die maßgebenden Traglasten zufolge der jeweiligen Vorverformung fett gedruckt in grüner Schrift hervorgehoben und die angesetzte Imperfektionsamplitude angeführt.

Es wurden die verschiedenen Knotenblechlängen und die variierten Vorverformungen bei gleichen Auflagerbedingungen und identer Systemlänge gegenübergestellt. Dies soll die Auswirkung einer großen freien Knotenblechlänge auf die Tragfähigkeit verdeutlichen.

Des Weiteren ist in den Diagrammen die minimale Referenzlast als rot-strichlierte Linie angeführt. Diese Referenzlast ergibt sich aus dem maßgebenden Nachweis laut dem derzeitigen Stand der Technik, wie ihn ein Ingenieur in der Praxis führen würde. Eine detaillierte Erläuterung der Referenzlasten ist in Kapitel 4 nachzulesen. Der Vergleich der minimalen Referenzlast mit den Ergebnissen der numerischen Berechnung soll darstellen, wie stark die Nachweisverfahren nach Eurocode 3 [4] von den tatsächlich aufnehmbaren Traglasten abweichen und untersuchen, ob ein Überschätzen der Tragfähigkeit vorliegt.

In den Diagrammen ist auf der Abszisse die Tragfähigkeit und auf der Ordinate die variierte freie Knotenblechlänge L_{KB} aufgetragen. Um die angesetzte Vorverformung in den Diagrammen visuell gut zu differenzieren, wurden die Ergebnisse der Berechnungen mit angesetztem Knotenblechknick farblich grün und die Ergebnisse der Berechnungen mit eigenformaffiner Vorverformung in Blautönen dargestellt.

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt**

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	850 kN	878 kN	**599 kN**	617 kN				
L_{KB} = 200 mm	583 kN	725 kN	**418 kN**	519 kN				
L_{KB} = 300 mm	375 kN	662 kN	**304 kN**	492 kN				
L_{KB} = 400 mm	253 kN	645 kN	**225 kN**	473 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

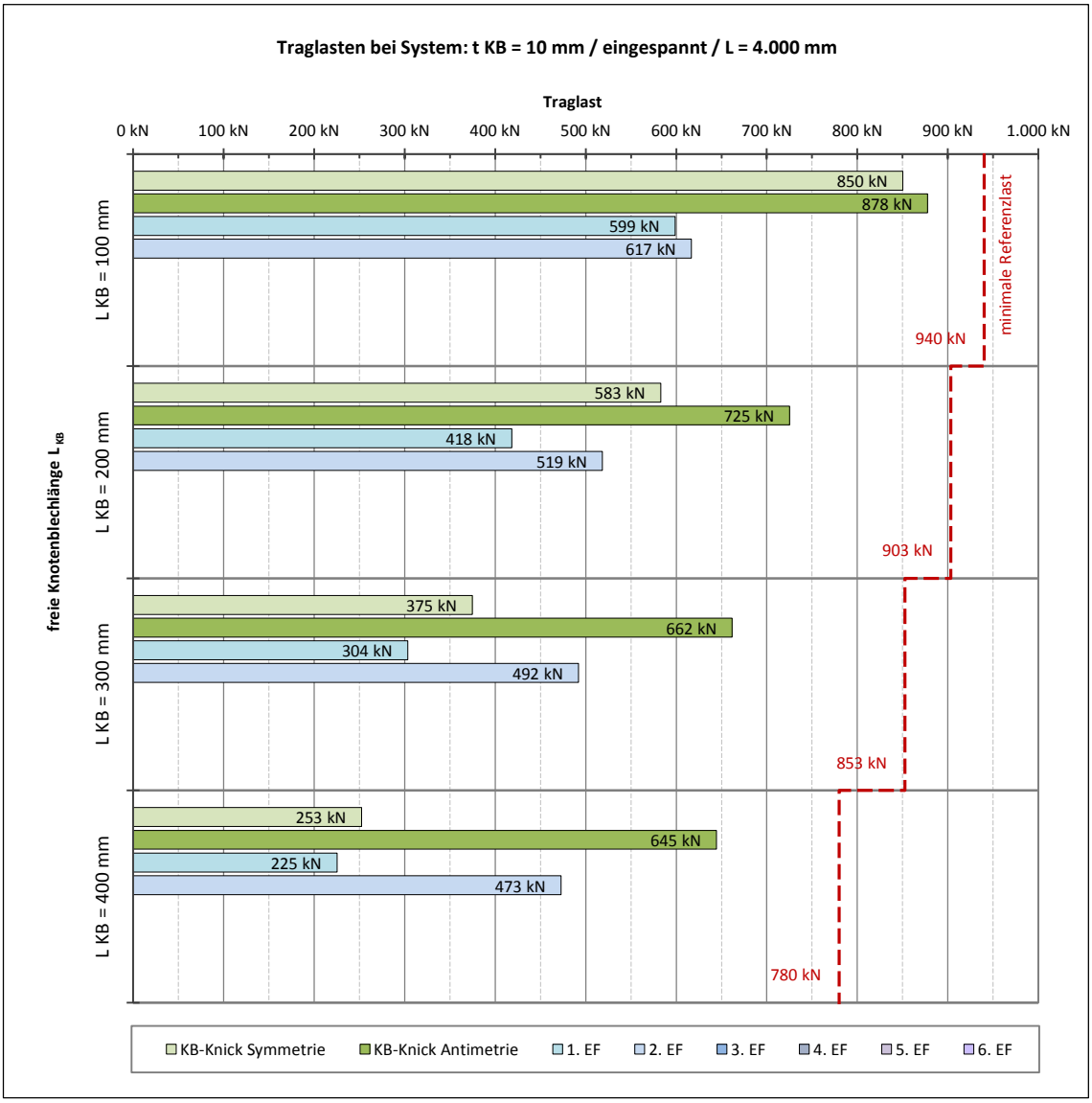


Abbildung 6-1: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	850 kN	856 kN	434 kN	**429 kN**				
L_{KB} = 200 mm	583 kN	602 kN	**304 kN**	309 kN				
L_{KB} = 300 mm	377 kN	423 kN	**229 kN**	252 kN				
L_{KB} = 400 mm	253 kN	327 kN	**176 kN**	217 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

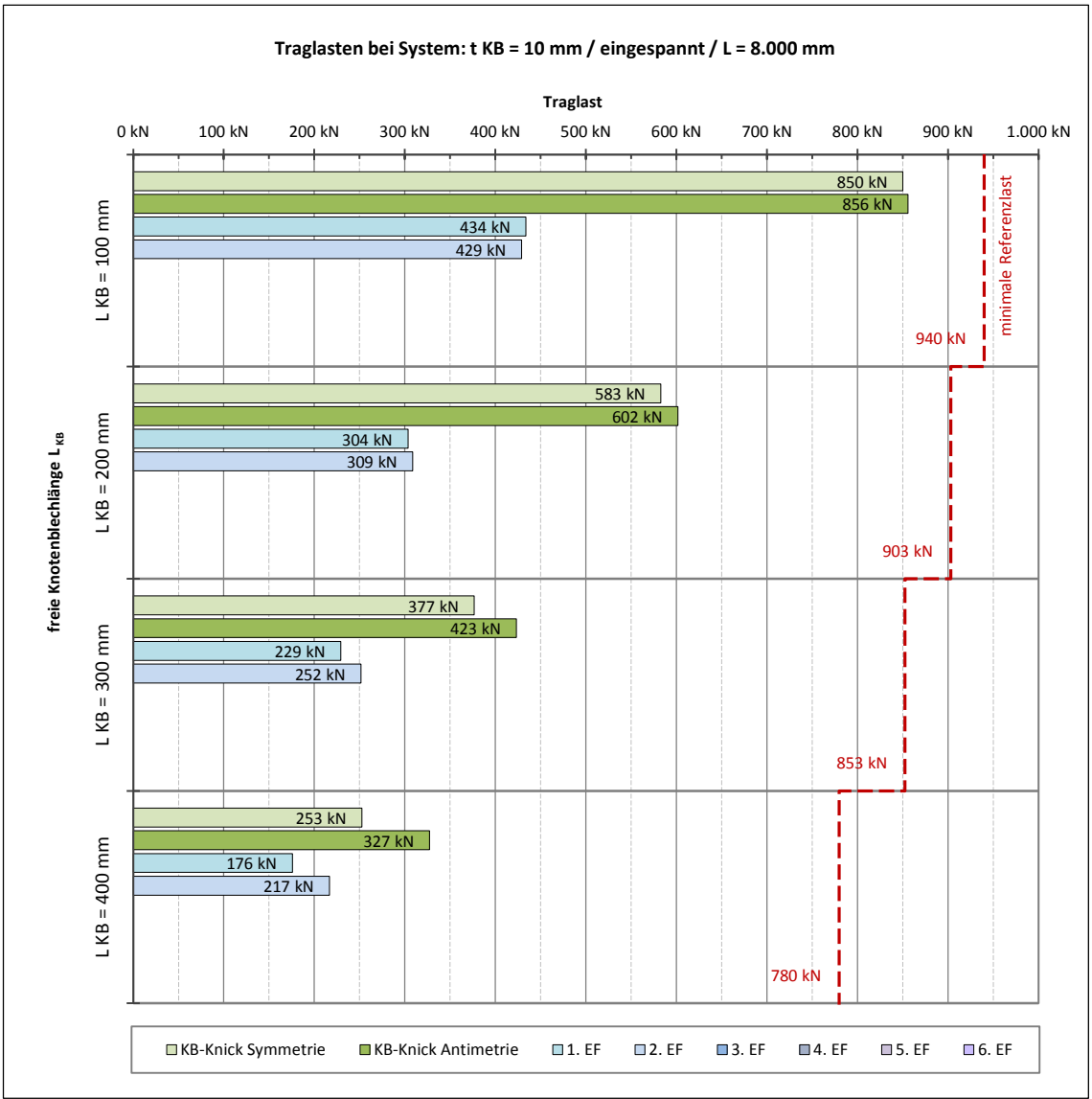


Abbildung 6-2: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	850 kN	852 kN	857 kN	340 kN	**337 kN**			
L_{KB} = 200 mm	583 kN	585 kN	243 kN	**234 kN**				
L_{KB} = 300 mm	377 kN	385 kN	187 kN	**185 kN**				
L_{KB} = 400 mm	253 kN	271 kN	**147 kN**	154 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

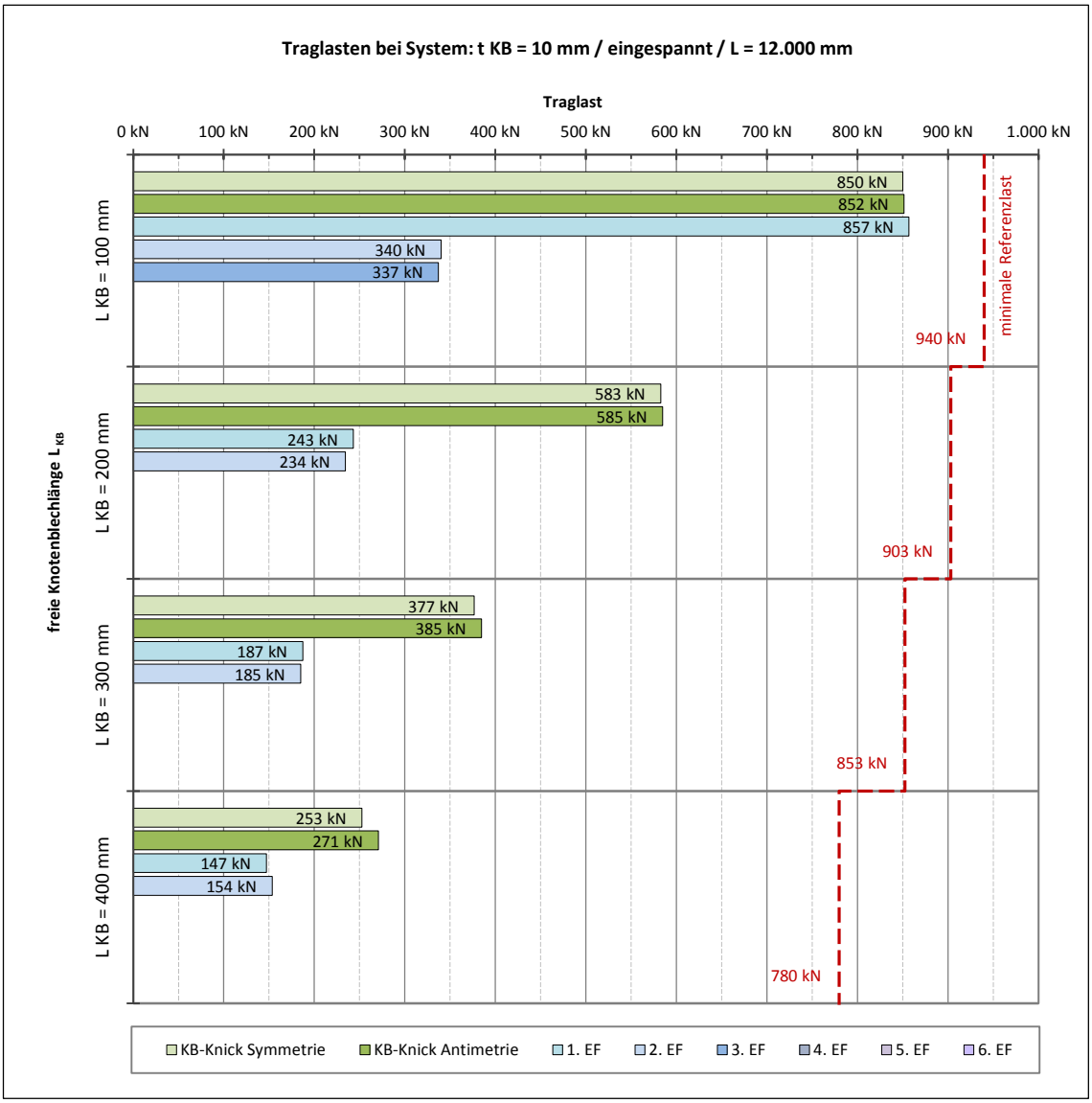


Abbildung 6-3: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig**

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	515 kN	640 kN	**282 kN**	352 kN				
L_{KB} = 200 mm	219 kN	523 kN	**159 kN**	318 kN				
L_{KB} = 300 mm	116 kN	495 kN	**100 kN**	257 kN				
L_{KB} = 400 mm	71 kN	431 kN	**67 kN**	198 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

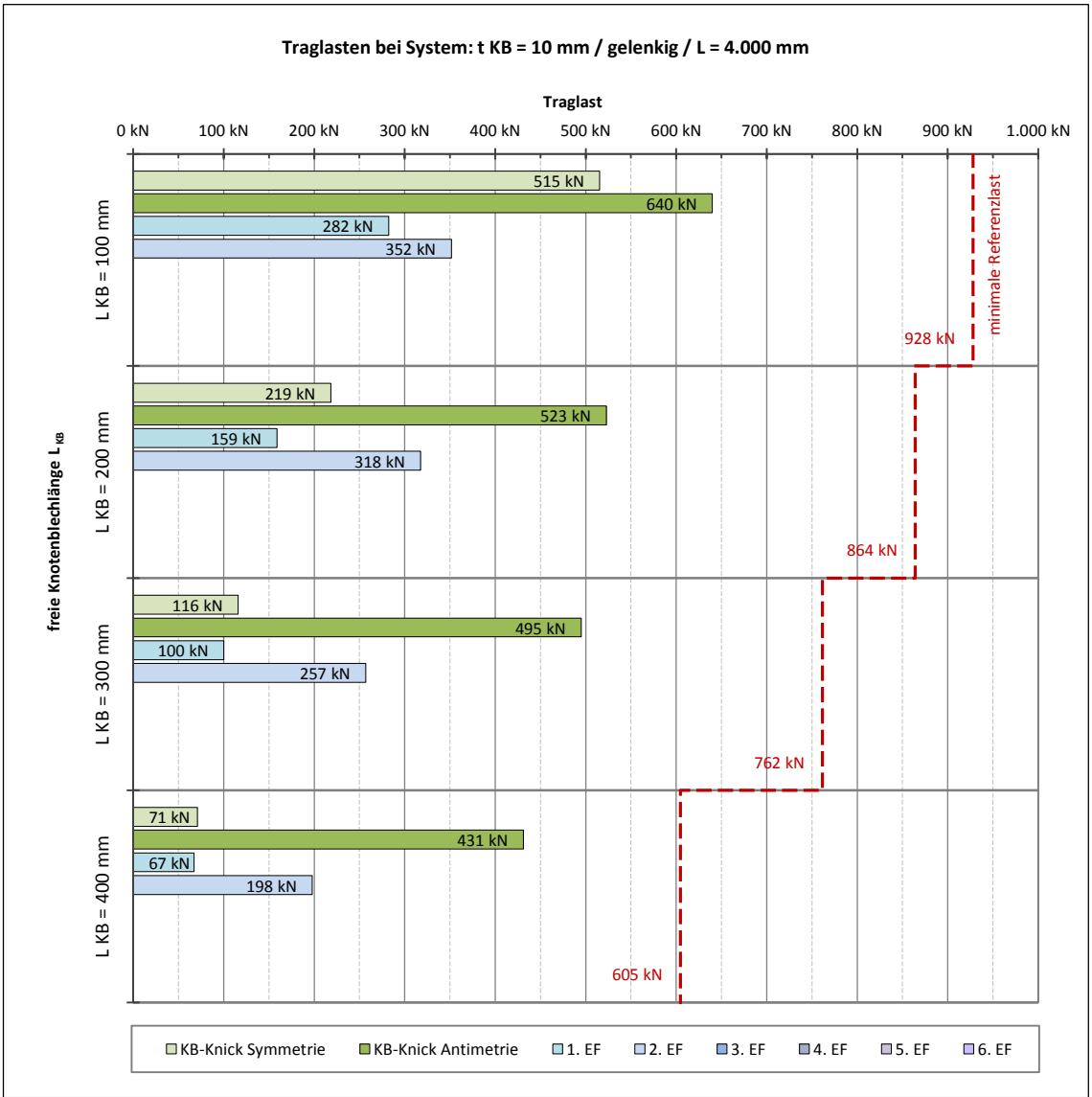


Abbildung 6-4: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	515 kN	530 kN	**190 kN**	195 kN				
L_{KB} = 200 mm	219 kN	266 kN	**115 kN**	137 kN				
L_{KB} = 300 mm	115 kN	190 kN	**78 kN**	112 kN				
L_{KB} = 400 mm	71 kN	156 kN	**56 kN**	93 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

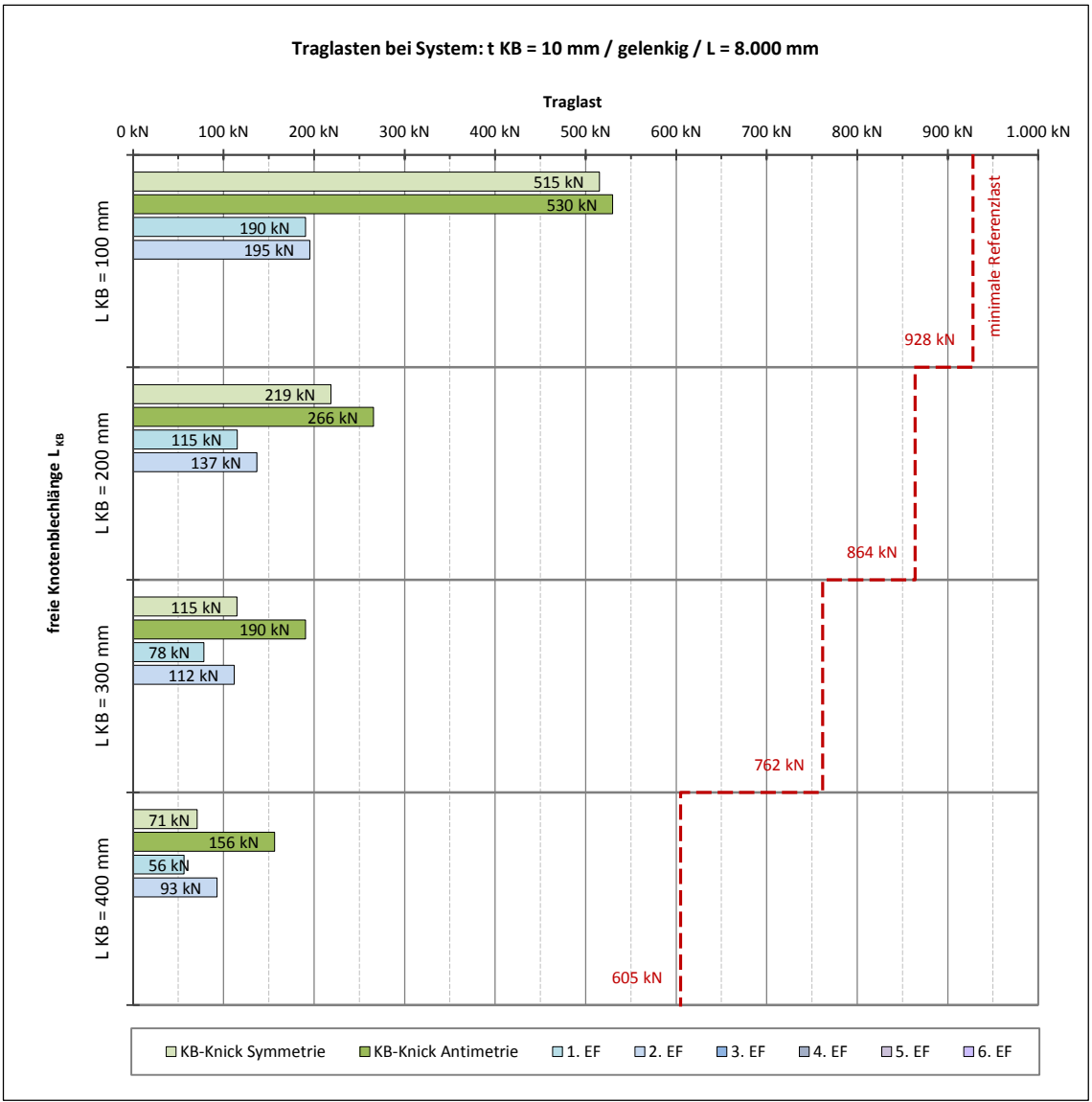


Abbildung 6-5: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	515 kN	516 kN	**144 kN**	**144 kN**				
L_{KB} = 200 mm	219 kN	232 kN	**93 kN**	97 kN				
L_{KB} = 300 mm	115 kN	139 kN	**66 kN**	73 kN				
L_{KB} = 400 mm	71 kN	100 kN	**49 kN**	59 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

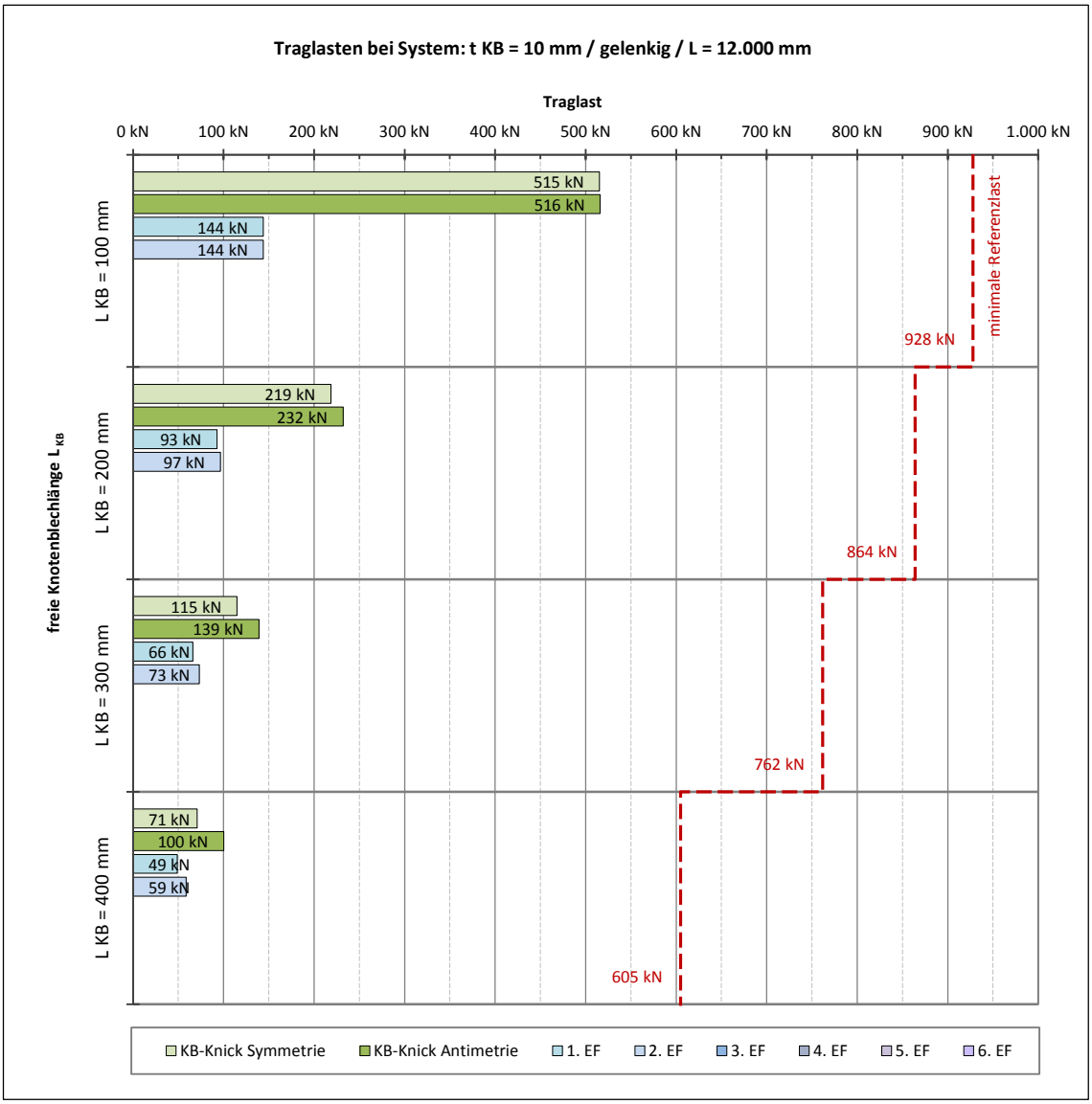


Abbildung 6-6: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif**

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	847 kN	863 kN	736 kN	**599 kN**				
L_{KB} = 200 mm	574 kN	618 kN	446 kN	**429 kN**				
L_{KB} = 300 mm	370 kN	425 kN	**309 kN**	322 kN				
L_{KB} = 400 mm	249 kN	303 kN	**225 kN**	249 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

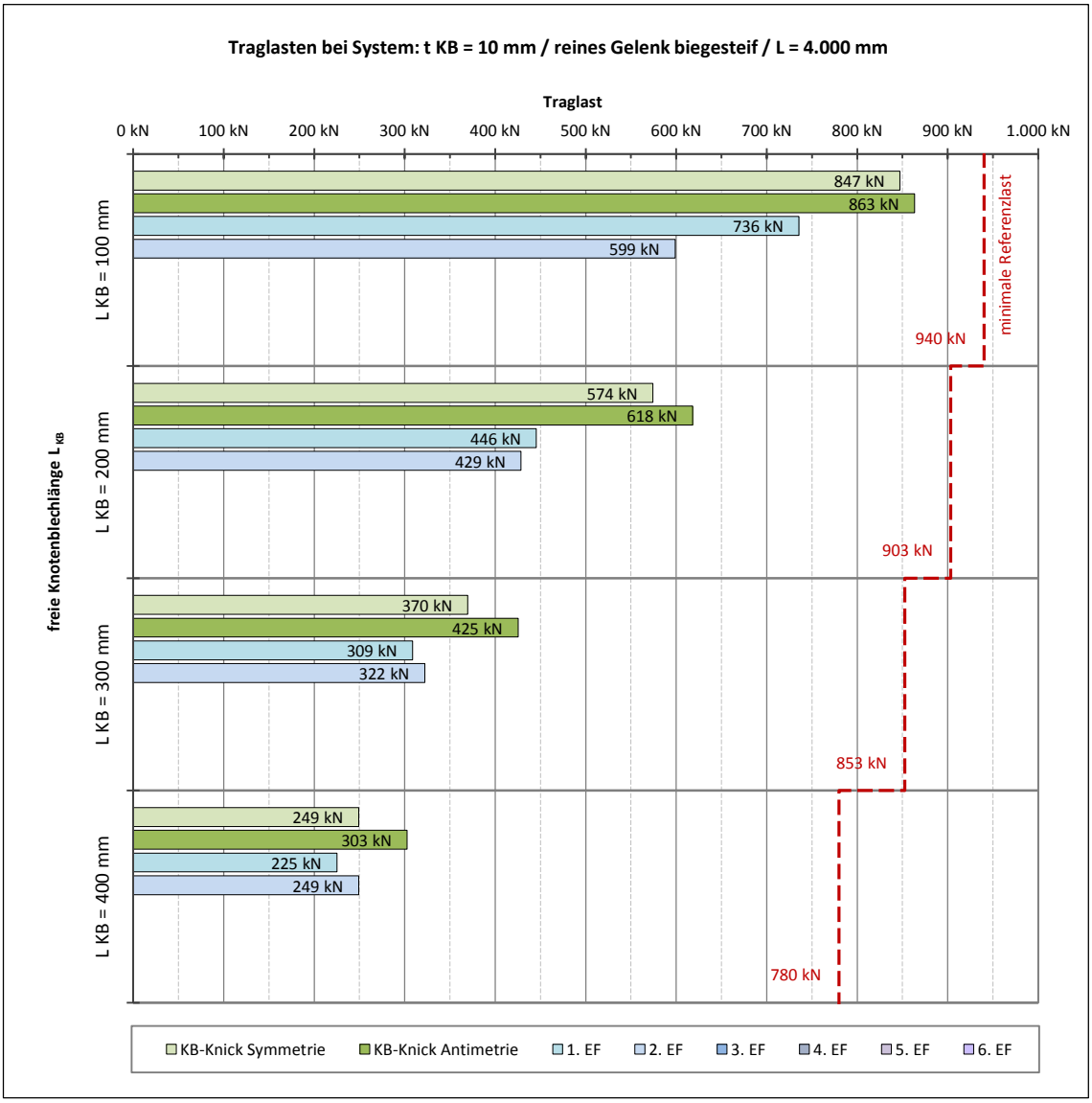


Abbildung 6-7: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	837 kN	855 kN	814 kN	509 kN	**448 kN**			
L_{KB} = 200 mm	560 kN	596 kN	465 kN	**304 kN**				
L_{KB} = 300 mm	361 kN	396 kN	271 kN	**233 kN**				
L_{KB} = 400 mm	243 kN	274 kN	187 kN	**182 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

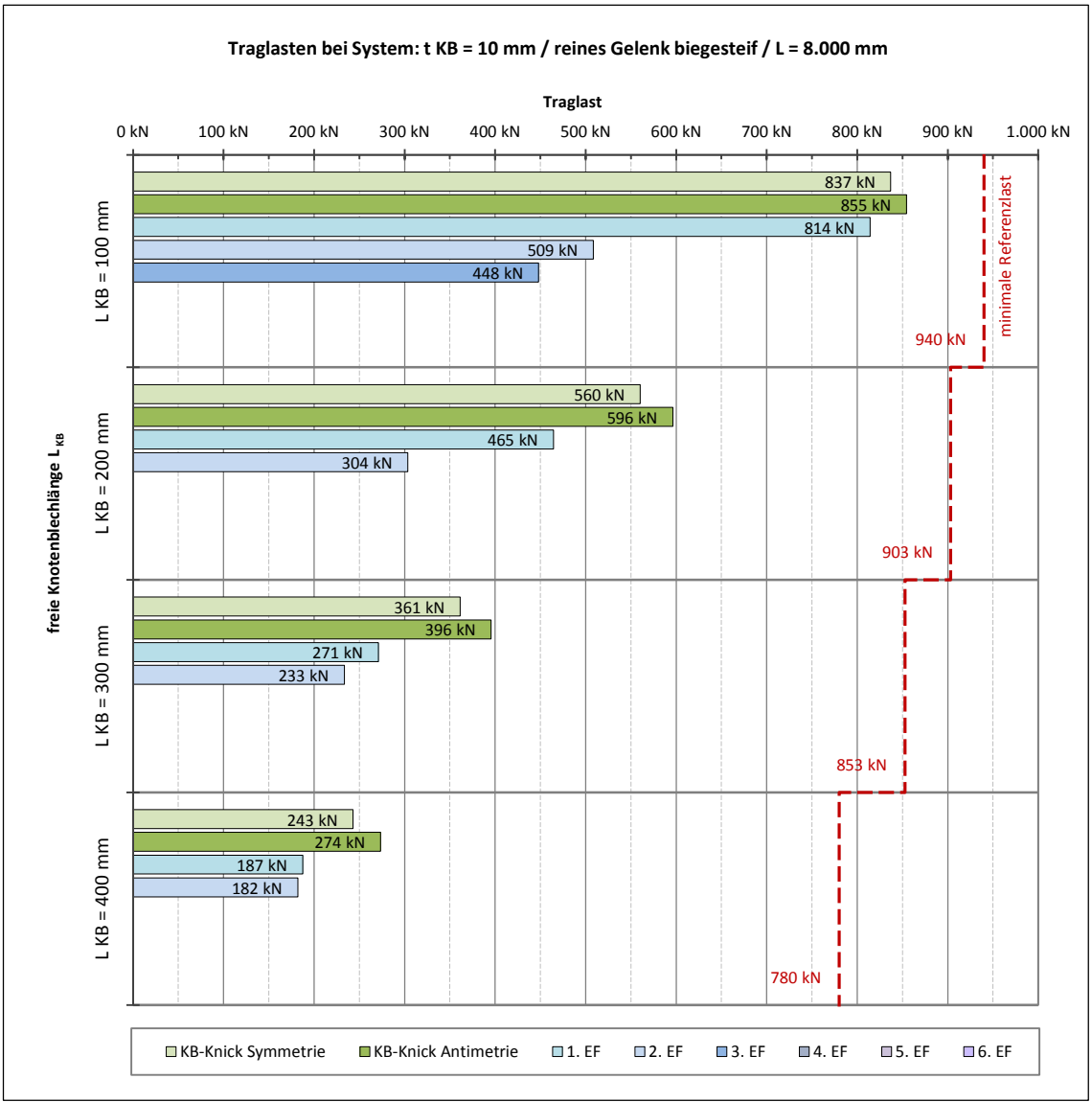


Abbildung 6-8: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	637 kN	850 kN	572 kN	713 kN	**351 kN**	388 kN		
L_{KB} = 200 mm	508 kN	585 kN	459 kN	**252 kN**				
L_{KB} = 300 mm	344 kN	384 kN	290 kN	**185 kN**				
L_{KB} = 400 mm	234 kN	263 kN	182 kN	**147 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

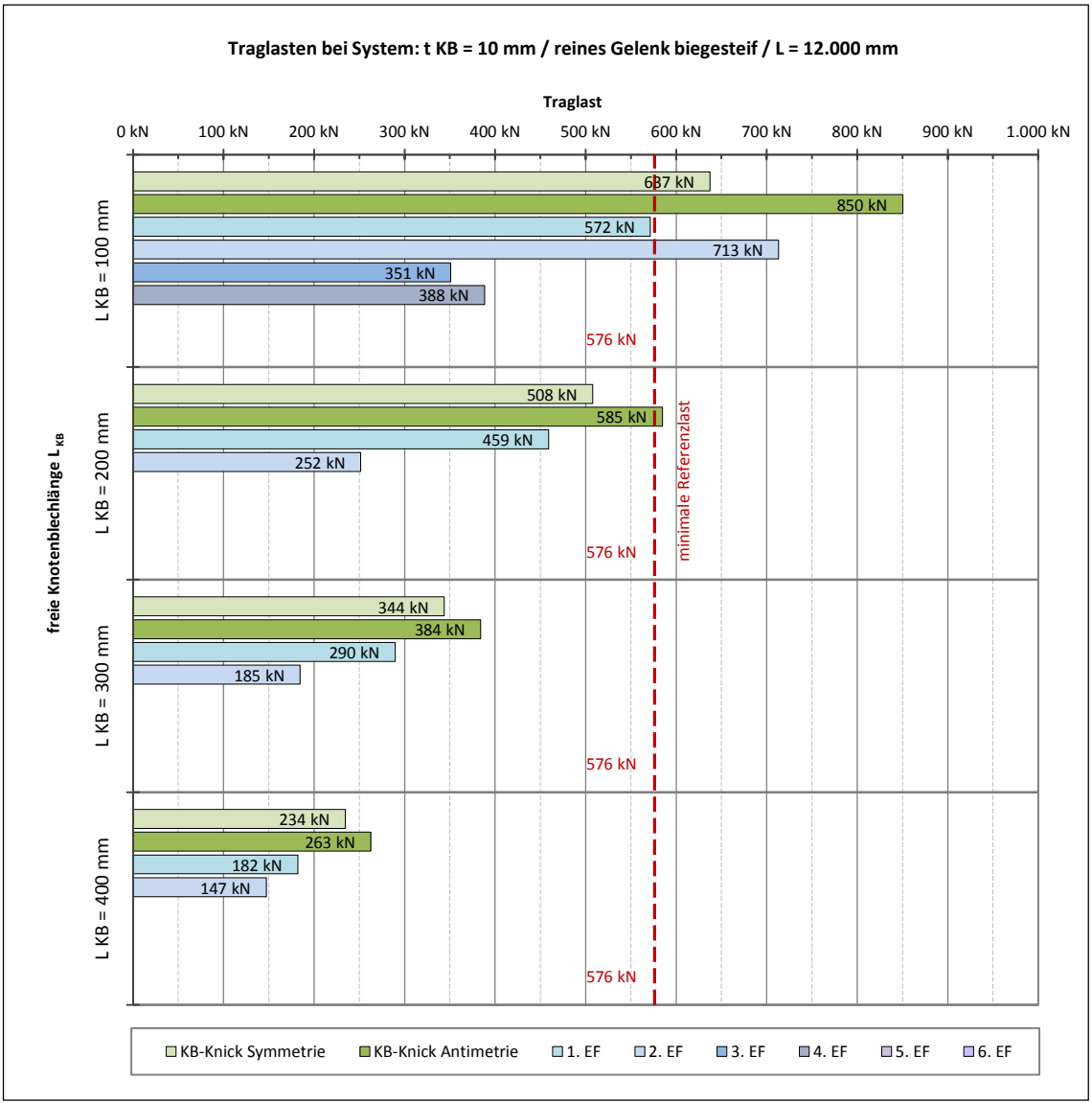


Abbildung 6-9: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdehweich**

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehbar / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	512 kN	533 kN	303 kN	**285 kN**				
L_{KB} = 200 mm	217 kN	242 kN	**161 kN**	169 kN				
L_{KB} = 300 mm	116 kN	136 kN	**100 kN**	110 kN				
L_{KB} = 400 mm	71 kN	88 kN	**67 kN**	78 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

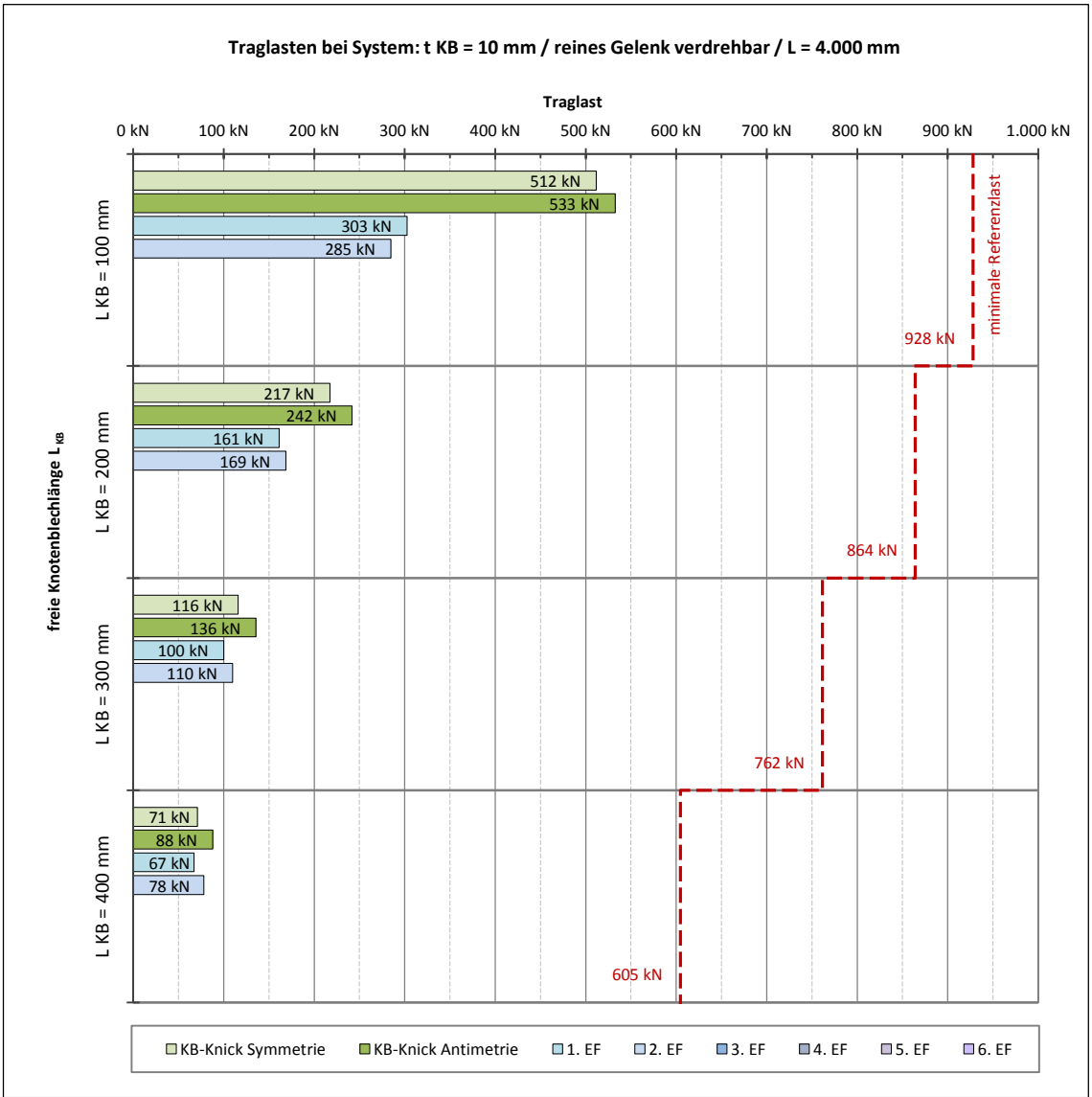


Abbildung 6-10: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehbar / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	504 kN	523 kN	315 kN	**190 kN**				
L_{KB} = 200 mm	215 kN	230 kN	129 kN	**117 kN**				
L_{KB} = 300 mm	115 kN	125 kN	**81 kN**	**81 kN**				
L_{KB} = 400 mm	71 kN	78 kN	**58 kN**	59 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

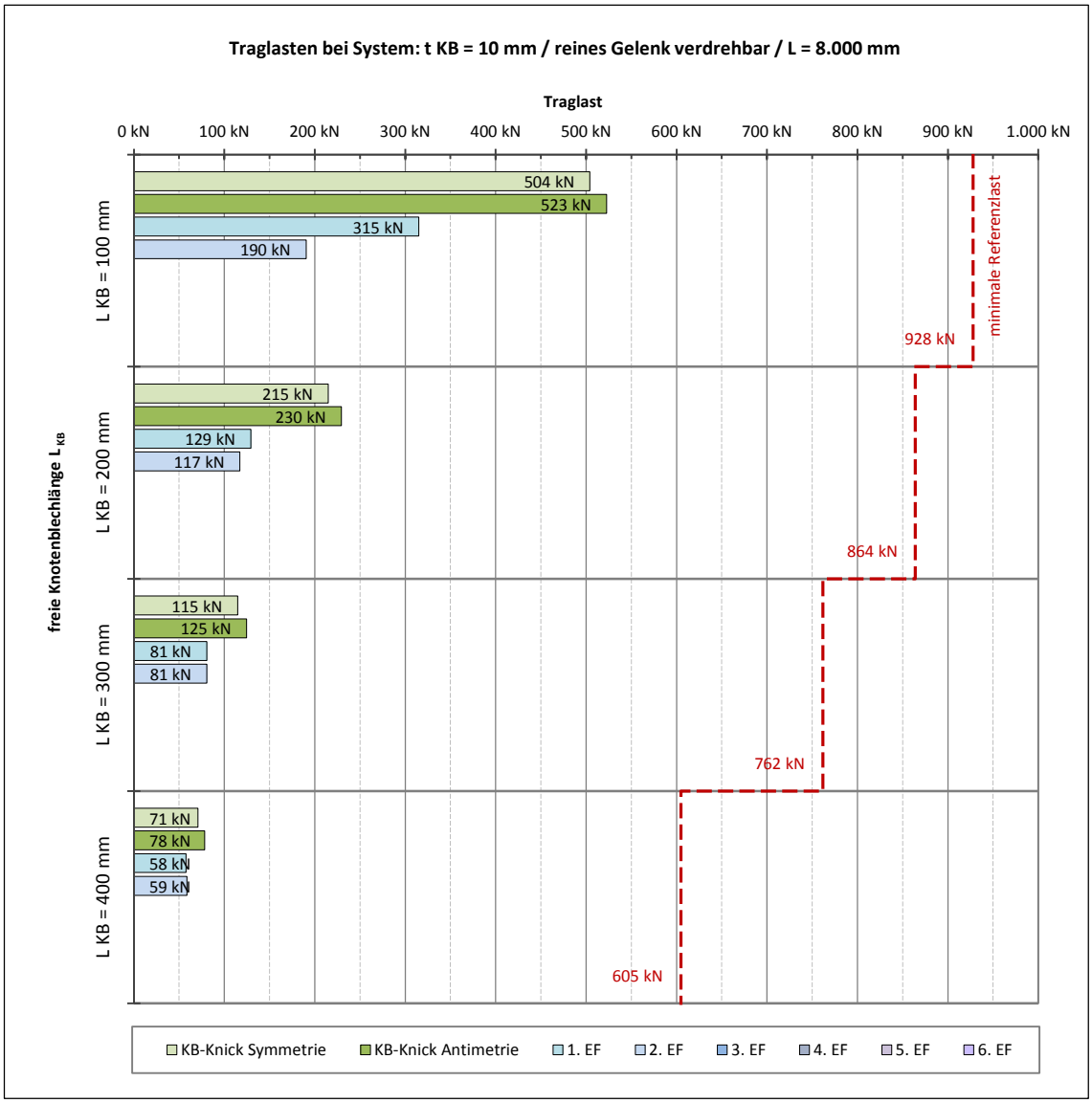


Abbildung 6-11: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehbar / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	481 kN	518 kN	411 kN	**144 kN**	257 kN			
L_{KB} = 200 mm	211 kN	225 kN	126 kN	**93 kN**				
L_{KB} = 300 mm	112 kN	122 kN	73 kN	**67 kN**				
L_{KB} = 400 mm	71 kN	76 kN	**51 kN**	**51 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile								

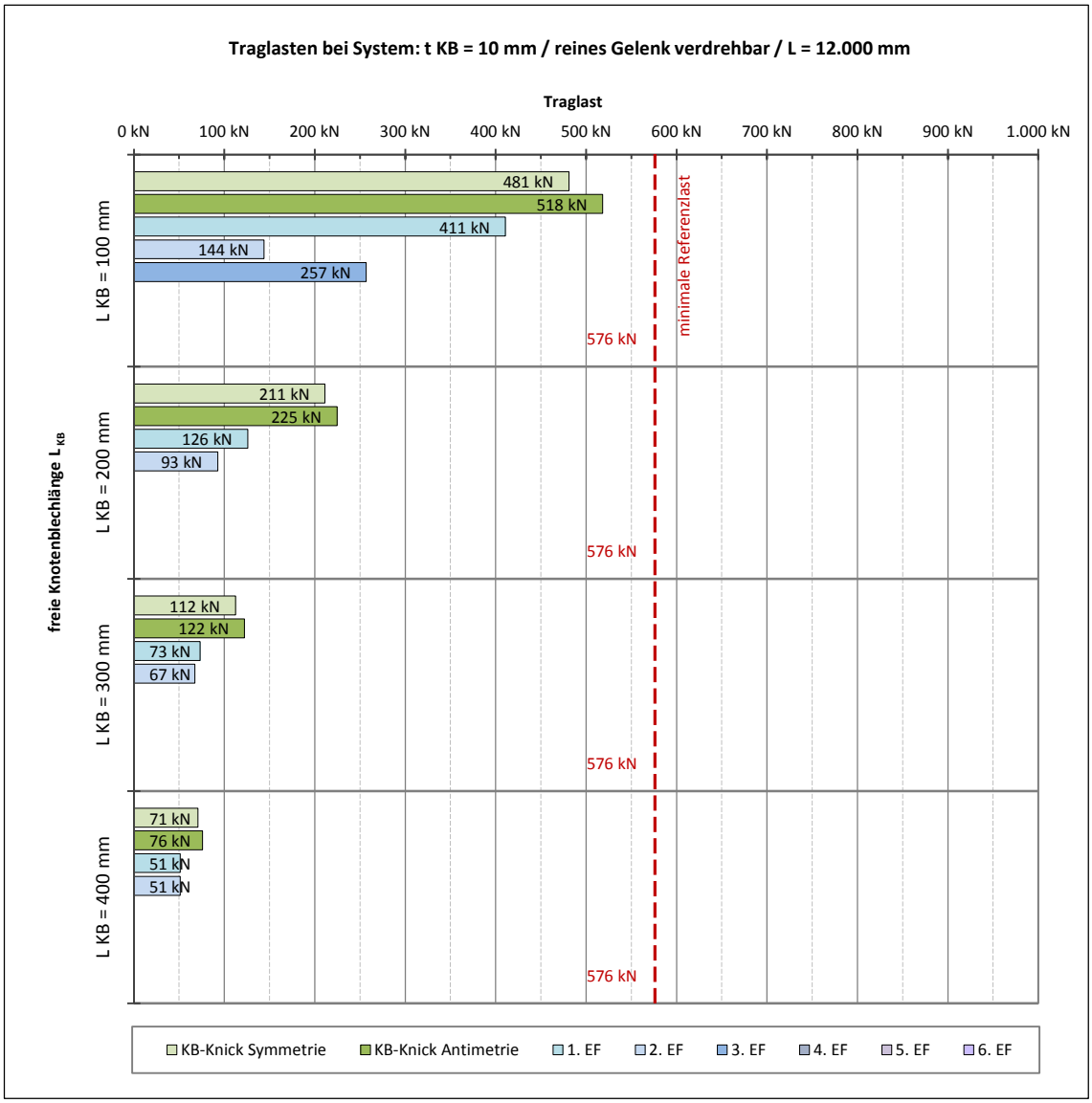


Abbildung 6-12: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm

6.2.2 Darstellung und Analyse der maßgebenden Traglasten in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und Knotenblechlängen

In den nachfolgenden Abbildungen 6-13 bis 6-15 soll die ungünstigste Ausbildung der Auflager untersucht werden. Hierfür ist in der tabellarischen Darstellung die geringste Traglast bei identen Systemgeometrien und variierten Auflagerbedingungen fett gedruckt in oranger Schrift hervorgehoben. In Abhängigkeit der Auflagerbedingung soll auch das Absinken der Tragfähigkeit bei zunehmender freien Knotenblechlänge dargestellt werden. Dabei wurde stets die geringste (maßgebende) Traglast aus den Analysen der verschiedenen Vorverformungen aus Kapitel 6.2.1 angeführt.

In den Liniendiagrammen ist auf der Ordinate die maßgebende Traglast aus der jeweiligen maßgebenden Vorverformung aufgetragen. Auf der Abszisse ist die Variation der freien Knotenblechlänge dargestellt.

Bei der Analyse der Datenauswertung aus den Abbildungen 6-13 bis 6-15 wird ersichtlich, dass bei sämtlichen Systemen die Auflagerbedingungen „eingespannt“ und „reines Gelenk biegesteif“ zu sehr ähnlichen Traglasten führen. Das Gleiche gilt für die Auflagerbedingungen „gelenkig“ und „reines Gelenk verdrehweich“, wo ebenso deutliche Ähnlichkeiten vorliegen.

Des Weiteren liegen die Traglasten von der Lagerung „gelenkig“ und „reines Gelenk verdrehweich“ deutlich unter jenen der Lagerung „eingespannt“ und „reines Gelenk biegesteif“. Dies ist insbesonders deshalb interessant, da bei der eingespannten und gelenkigen Lagerung die Berechnungen mit Vorverformungen affin zur ersten Eigenform maßgebend wurden, im Gegensatz zu den Berechnungen mit der Lagerung als reines Gelenk biegesteif / verdrehweich, wo in den überwiegenden Fällen Vorverformungen affin zur zweiten Eigenform die geringste Traglast erreichten.

Die Begründung hierfür ist in der Knotenblechauslenkung zu suchen. Bei der eingespannten und gelenkigen Lagerung tritt bei sämtlichen Systemen sowohl bei Vorverformungen affin zur ersten als auch affin zur zweiten Eigenform die maximale Amplitude im Bereich der Knotenbleche auf. Aus diesem Grund liefern bei diesen Systemen Berechnungen affin zur ersten als auch affin zur zweiten Eigenform in der Regel sehr ähnliche Ergebnisse. Bei der Lagerung als reines Gelenk biegesteif / verdrehweich sind die Verdrehungen an den Stabenden freigegeben und führen bei der ersten Eigenform bei einigen Systemen zu deutlich größeren Verformungen in Stabmitte als im Bereich der Knotenbleche. Aufgrund der wesentlich geringeren Querschnittsfläche der dünnen Knotenbleche tritt das Versagen zwar trotzdem im Knotenblechbereich auf, die aufnehmbaren Traglasten sind jedoch höher und somit nicht maßgebend. Beim Ansatz der zweiten Eigenform wird der Knotenblechbereich in den überwiegenden Fällen maximal ausgelenkt und liefert dadurch die maßgebende Traglast. (Die Abbildungen des Versagensbereichs der jeweiligen Systeme sind in Kapitel 9 ersichtlich.) Somit können die ähnlichen Ergebnisse für die Lagerung eingespannt und reines Gelenk biegesteif sowie die Lagerung gelenkig und reines Gelenk verdrehweich trotz der unterschiedlichen maßgebenden Eigenformen nachvollzogen werden.

Ausschlaggebend für die aufnehmbare Traglast der Knotenbleche ist bei gleicher maximalen Auslenkung der Vorverformung, die bei sämtlichen Systemen auf L / 750 skaliert wurde, die lokale Rotationsmöglichkeit an den einzelnen Knotenblechenden. Da bei der Lagerung gelenkig und reines Gelenk verdrehweich ein freies lokales Rotationsvermögen am Ende

jedes Knotenblechs vorliegt, sind die aufnehmbaren Traglasten annähernd identisch und liegen deutlich unter jenen der Lagerung eingespannt und reines Gelenk beigesteif, wo die lokale Rotationsmöglichkeit an den Knotenblechenden gesperrt ist.

Maßgebende Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm				
Randbedingungen:	eingespannt	gelenkig	reines Gelenk biegesteif	reines Gelenk verdrehbar
L_{KB} = 100 mm	599 kN	**282 kN**	599 kN	285 kN
L_{KB} = 200 mm	418 kN	**159 kN**	429 kN	161 kN
L_{KB} = 300 mm	304 kN	**100 kN**	309 kN	**100 kN**
L_{KB} = 400 mm	225 kN	**67 kN**	225 kN	**67 kN**
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile				

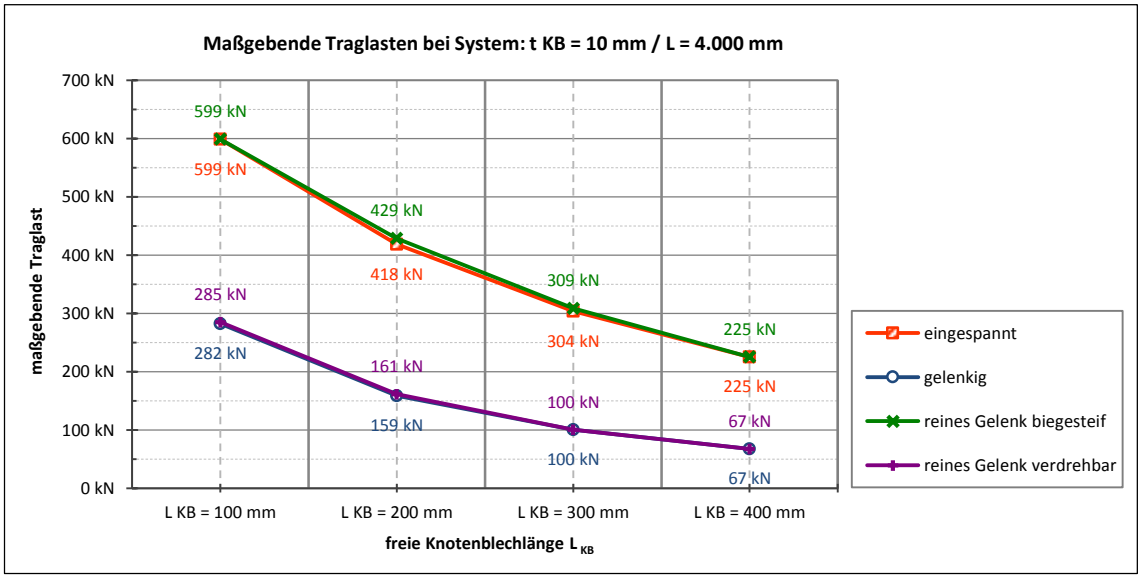


Abbildung 6-13: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen

Maßgebende Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm				
Randbedingungen:	eingespannt	gelenkig	reines Gelenk biegesteif	reines Gelenk verdrehbar
L_{KB} = 100 mm	429 kN	**190 kN**	448 kN	**190 kN**
L_{KB} = 200 mm	304 kN	**115 kN**	304 kN	117 kN
L_{KB} = 300 mm	229 kN	**78 kN**	233 kN	81 kN
L_{KB} = 400 mm	176 kN	**56 kN**	182 kN	58 kN
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile				

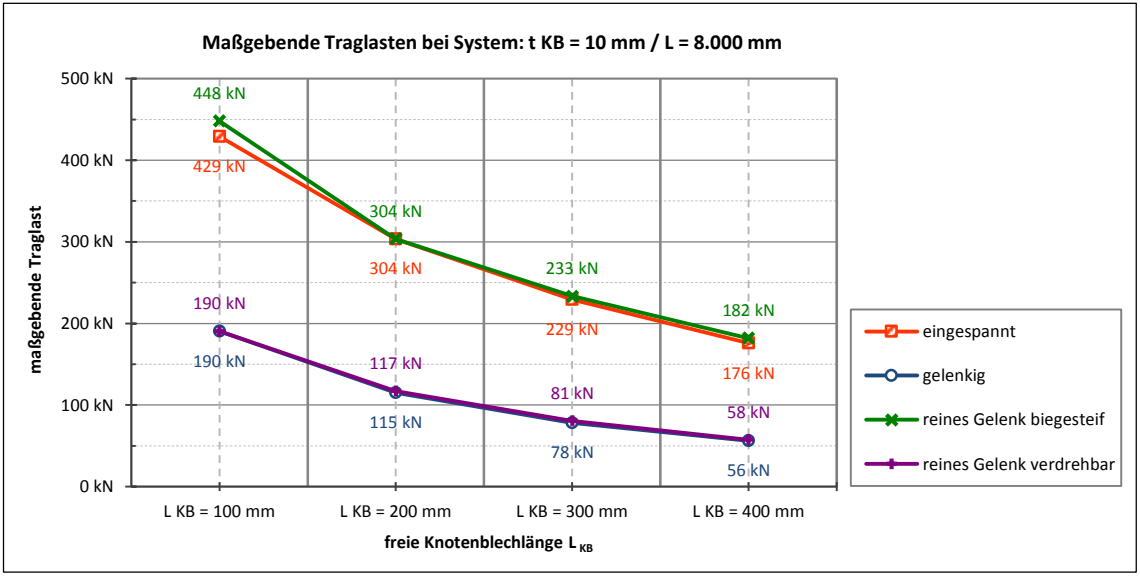


Abbildung 6-14: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen

Maßgebende Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm				
Randbedingungen:	eingespannt	gelenkig	reines Gelenk biegesteif	reines Gelenk verdrehbar
L_{KB} = 100 mm	337 kN	**144 kN**	351 kN	**144 kN**
L_{KB} = 200 mm	234 kN	**93 kN**	252 kN	**93 kN**
L_{KB} = 300 mm	185 kN	**66 kN**	185 kN	67 kN
L_{KB} = 400 mm	147 kN	**49 kN**	147 kN	51 kN
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile				

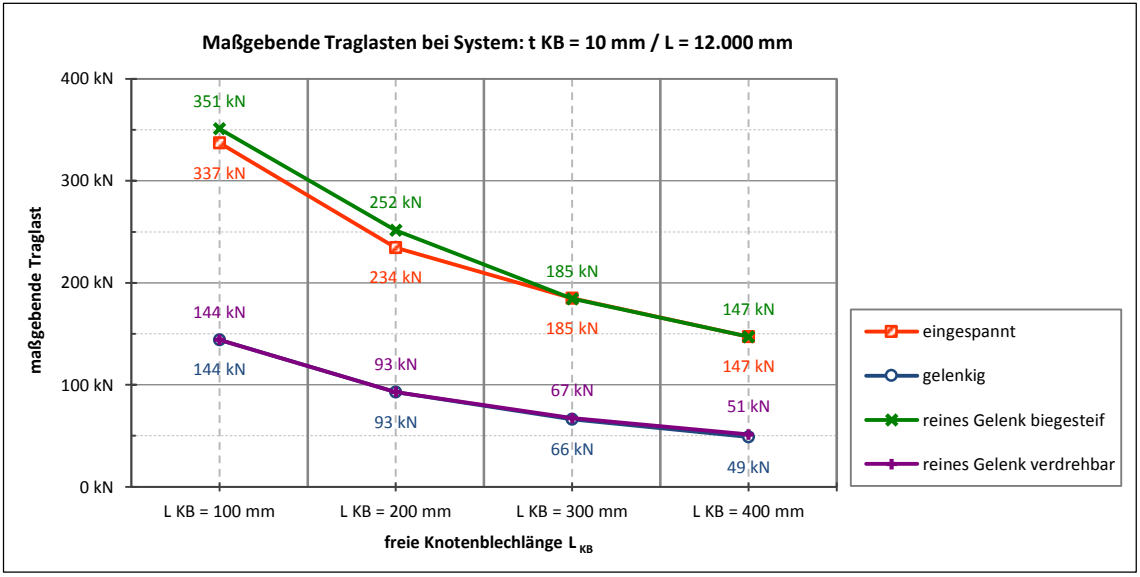


Abbildung 6-15: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen

6.2.3 Darstellung und Analyse der maßgebenden Traglasten beim Ansatz eines Knotenblechknicks im Vergleich mit einer eigenformaffinen Vorverformung als Imperfektionsfigur

In den nachfolgenden Abbildungen 6-17 bis 6-20 soll die Tragfähigkeit beim Ansatz eines Knotenblechknickes mit der Tragfähigkeit beim Ansatz einer eigenformaffinen Vorverformung verglichen werden. Wesentlichen Einfluss hat hierbei der Ansatz der Imperfektionsamplituden, die in Abbildung 6-16 für sämtliche Systeme mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm dargestellt sind. Um die weiteren Auswertungen besser beurteilen zu können, sind in dieser Abbildung die Imperfektionsamplitude beim Ansatz des Knotenblechknickes $e_{0,KB} = L_{KB} / 100$, welche abhängig von der freien Knotenblechlänge ist, und die Imperfektionsamplitude beim Ansatz der eigenformaffinen Vorverformung $e_{0,EF} = L / 750$, welche abhängig von der Systemlänge ist, gegenübergestellt.

Eine detaillierte Erläuterung zur Wahl und zum Ansatz der Imperfektionen ist in Kapitel 2.5 angeführt.

Insbesonders bei Systemen mit einer kurzen freien Knotenblechlänge und großer Systemlänge weisen die Imperfektionsamplituden der eigenformaffinen Vorverformung und der Vorverformung zufolge des Knotenblechknickes eine sehr große Differenz auf. In Abbildung 6-16 ist diese Differenz visuell als Säulendiagramm dargestellt. Dabei sind auf der Ordinate die Imperfektionsamplituden und auf der Abszisse die freien Knotenblechlängen aufgetragen. Zusätzlich sind die Imperfektionsamplituden für sämtliche Systemlängen gegenübergestellt.

In den Abbildungen 6-17 bis 6-20 sind die maßgebenden Tragfähigkeiten für die jeweiligen Systeme zufolge des Knotenblechknickes und der eigenformaffinen Vorverformung tabellarisch und auf der Ordinate des Diagramms gegenübergestellt. Pro Abbildung werden hierbei stets Systeme mit der gleichen freien Knotenblechlänge mit verschiedenen Auflagerbedingungen, welche auf der Abszisse des Säulendiagramms aufgetragen sind, untersucht. In der Tabelle sind die geringsten Traglasten bezogen auf die Variation der Auflagerbedingungen fett gedruckt in violetter Schrift hervorgehoben. Wie in der Legende des Säulendiagramms dargestellt, sind die Ergebnisse von Systemen mit einer Länge von L = 4.000 mm in blau, Systeme mit einer Länge von L = 8.000 mm in violett und Systeme mit einer Länge von L = 12.000 mm in rot abgebildet.

Abbildungen 6-17 bis 6-20 zeigen den Einfluss der angesetzten Imperfektionsamplitude auf die erreichbare Traglast. Bei Systemen mit einer Länge von L = 12.000 mm und der kürzesten freien Knotenblechlänge von L_{KB} = 100 mm ist die Differenz zwischen den Ergebnissen der Berechnungen mit angesetztem Knotenblechknick und eigenformaffinen Vorverformungen am größten, was auf den deutlichen Unterschied der angesetzten Imperfektionsamplitude zurückzuführen ist (siehe Abbildung 6-17).

Abbildung 6-20 zeigt die Ergebnisse der Traglastberechnung für sämtliche Systeme mit einer freien Knotenblechlänge von L_{KB} = 400 mm. Die angesetzten Imperfektionen beim Knotenblechknick sind aufgrund der längeren Knotenbleche deutlich größer als bei Systemen mit einer freien Knotenblechlänge von L_{KB} = 100 mm. Aus diesem Grund sind die Differenzen zwischen den Berechnungen mit angesetztem Knotenblechknick und Berechnungen mit eigenformaffiner Vorverformung deutlich geringer.

Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden für KB-Knick und EF						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$
L_{KB} = 100 mm	1,0 mm	5,3 mm	1,0 mm	10,7 mm	1,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 200 mm	2,0 mm	5,3 mm	2,0 mm	10,7 mm	2,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 300 mm	3,0 mm	5,3 mm	3,0 mm	10,7 mm	3,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 400 mm	4,0 mm	5,3 mm	4,0 mm	10,7 mm	4,0 mm	16,0 mm

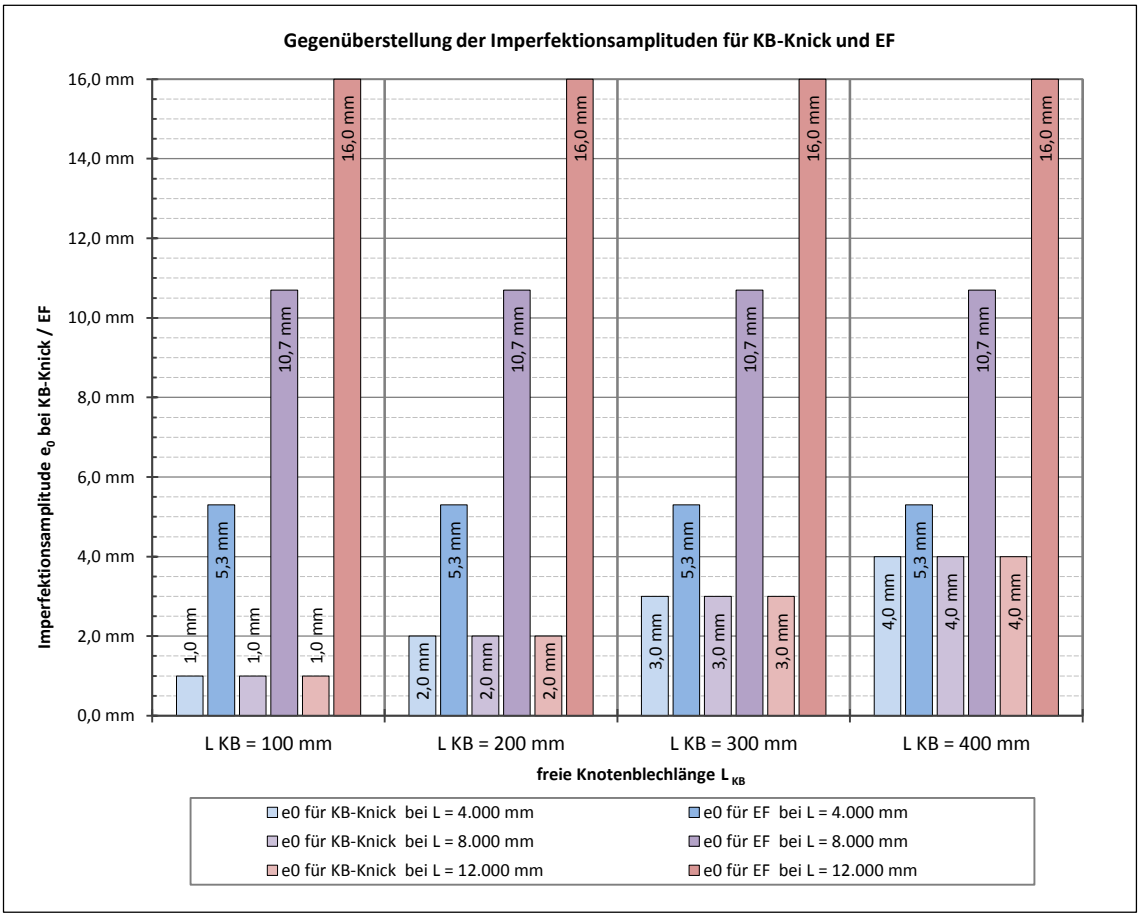


Abbildung 6-16: Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden für KB-Knick und EF

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 100 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	850 kN	599 kN	850 kN	429 kN	850 kN	337 kN
gelenkig	515 kN	**282 kN**	515 kN	**190 kN**	515 kN	**144 kN**
reines Gelenk biegesteif	847 kN	599 kN	837 kN	448 kN	637 kN	351 kN
reines Gelenk verdrehbar	**512 kN**	285 kN	**504 kN**	**190 kN**	**481 kN**	**144 kN**
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 1,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 1,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 1,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

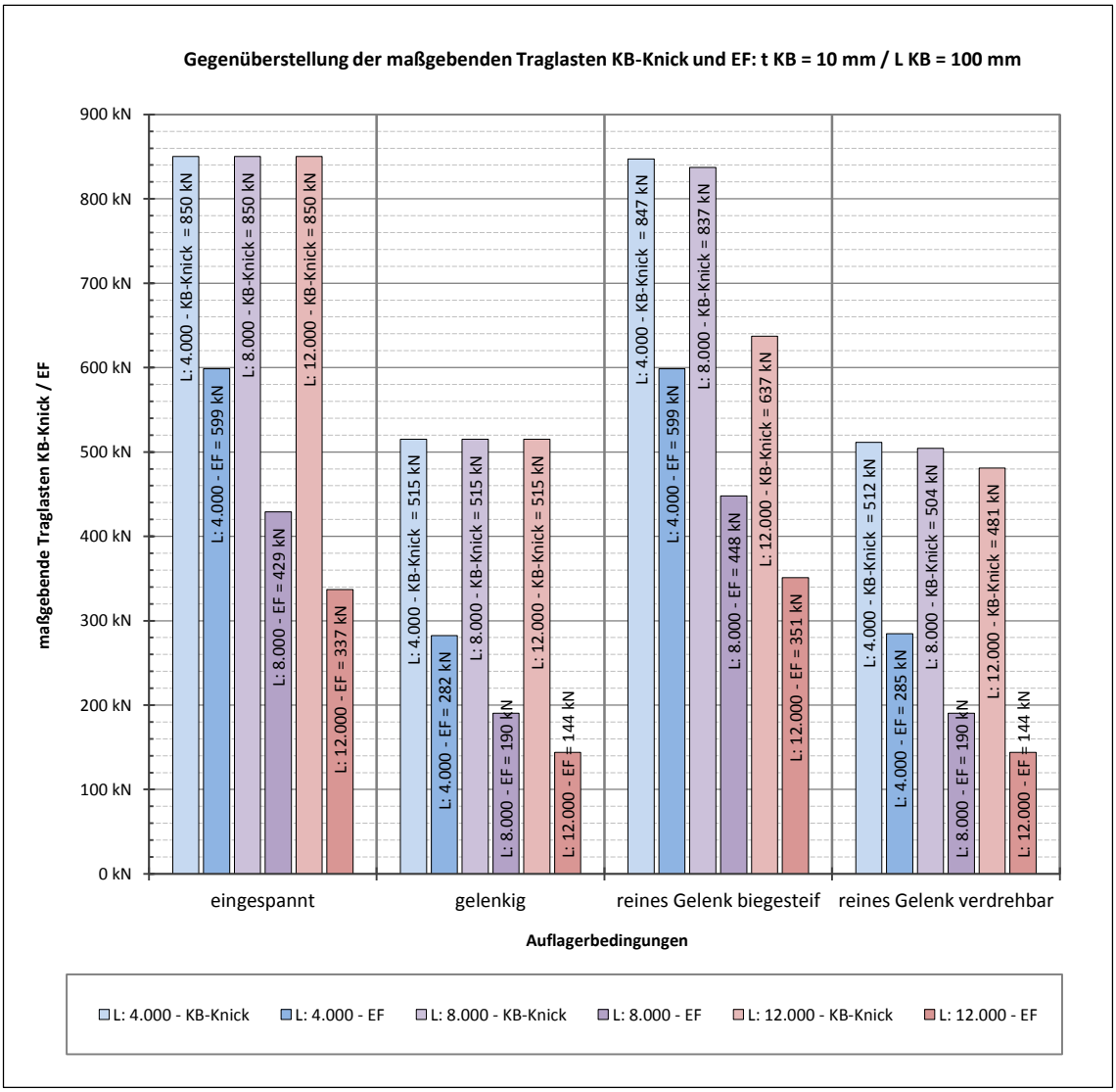


Abbildung 6-17: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 100 mm

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 200 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	583 kN	418 kN	583 kN	304 kN	583 kN	234 kN
gelenkig	219 kN	**159 kN**	219 kN	**115 kN**	219 kN	**93 kN**
reines Gelenk biegesteif	574 kN	429 kN	560 kN	304 kN	508 kN	252 kN
reines Gelenk verdrehbar	**217 kN**	161 kN	**215 kN**	117 kN	**211 kN**	**93 kN**
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 2,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 2,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 2,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

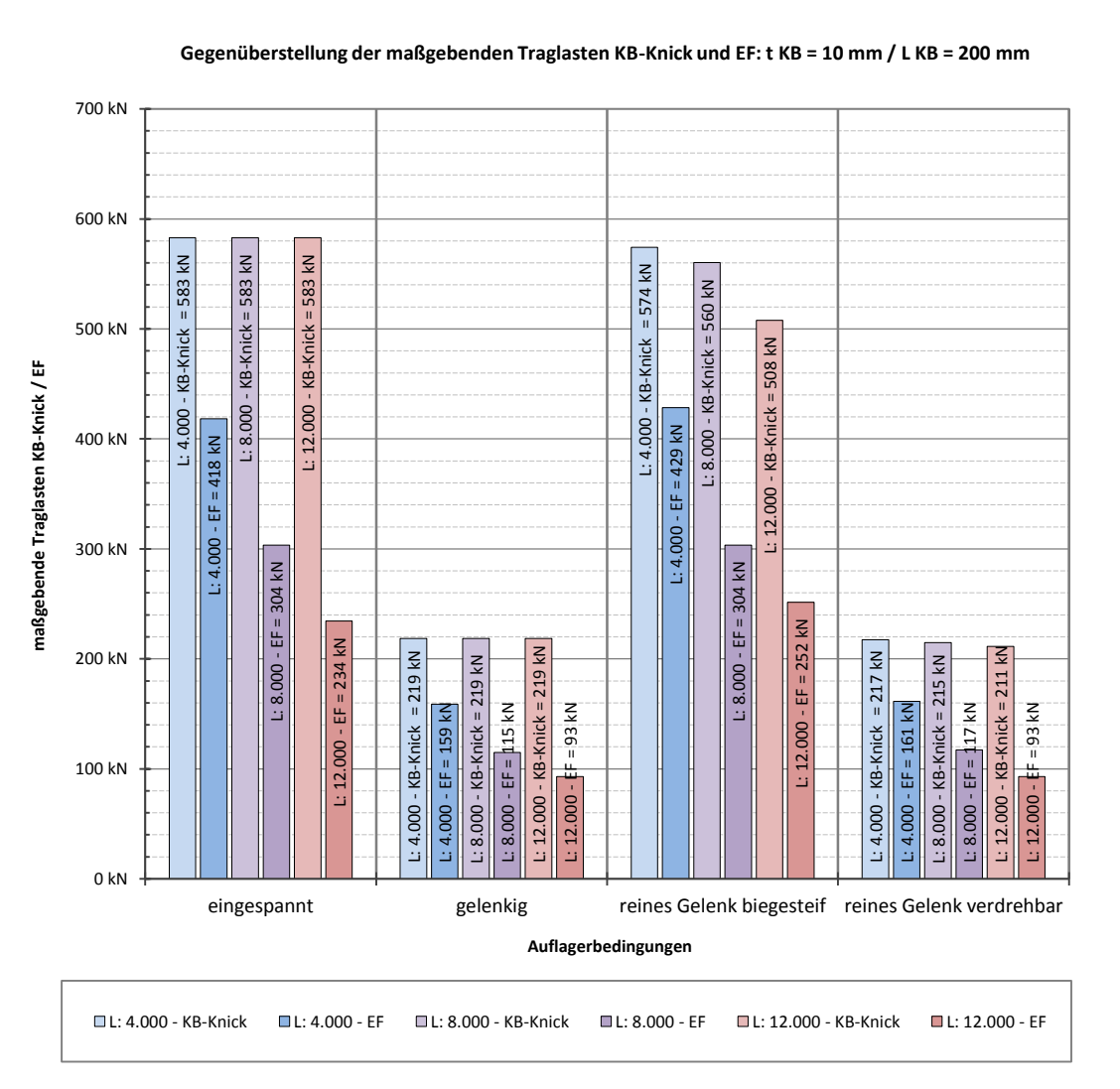


Abbildung 6-18: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 200 mm

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 300 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	375 kN	304 kN	377 kN	229 kN	377 kN	185 kN
gelenkig	**116 kN**	**100 kN**	**115 kN**	**78 kN**	115 kN	**66 kN**
reines Gelenk biegesteif	370 kN	309 kN	361 kN	233 kN	344 kN	185 kN
reines Gelenk verdrehbar	**116 kN**	**100 kN**	115 kN	81 kN	**112 kN**	67 kN
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 3,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 3,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 3,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

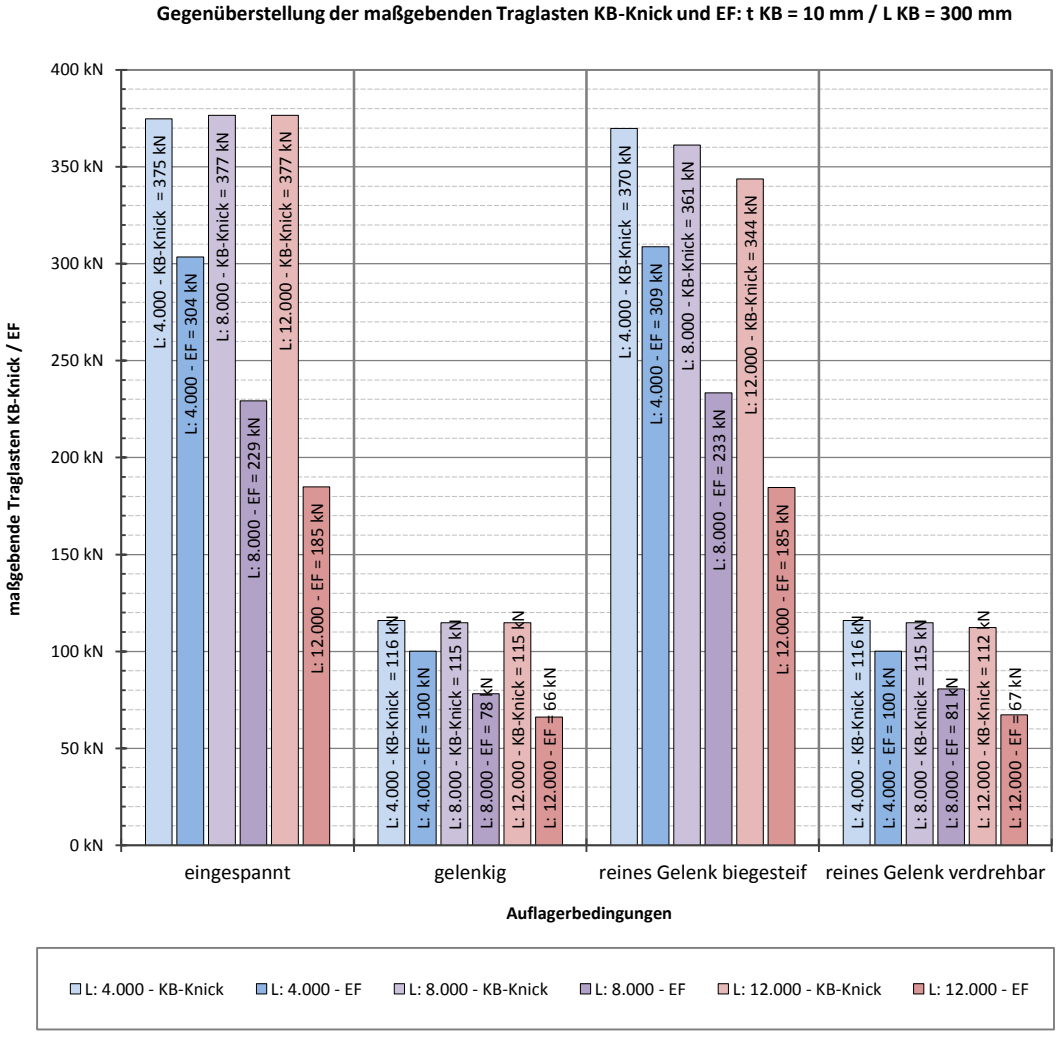


Abbildung 6-19: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 300 mm

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 400 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	253 kN	225 kN	253 kN	176 kN	253 kN	147 kN
gelenkig	**71 kN**	**67 kN**	**71 kN**	**56 kN**	**71 kN**	**49 kN**
reines Gelenk biegesteif	249 kN	225 kN	243 kN	182 kN	234 kN	147 kN
reines Gelenk verdrehbar	**71 kN**	**67 kN**	**71 kN**	58 kN	**71 kN**	51 kN
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 4,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 4,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 4,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

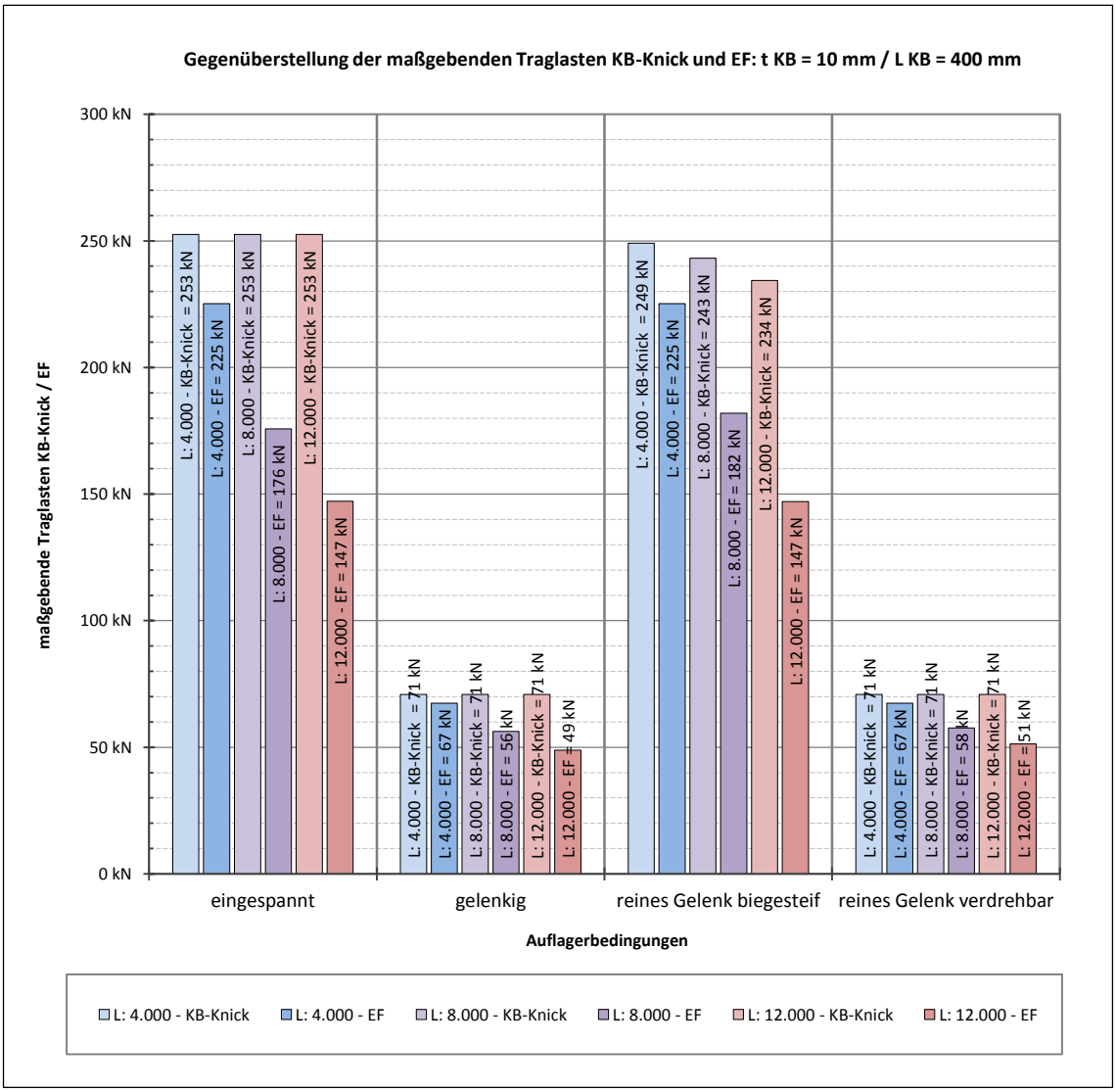


Abbildung 6-20: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 400 mm

6.2.4 Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus dem Ansatz des Knotenblechknickes und der eigenformaffinen Vorverformung sowie der Referenztraglasten

Um zu überprüfen, ob bei der praktischen Anwendung von ingenieurmäßigen Nachweisverfahren im Vergleich zu realitätsnahen numerischen Berechnungen ein Überschätzen der aufnehmbaren Tragfähigkeit vorliegt, wurden in Tabelle 6-1 für sämtliche Systeme mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm die minimalen Referenzlasten (siehe Kapitel 4) mit den maßgebenden Ergebnissen aus den Traglastberechnungen bei eigenformaffiner Vorverformung und beim Ansatz des Knotenblechknickes gegenübergestellt. Dabei ist in den Klammern die prozentuelle Abweichung von der minimalen Referenztraglast $N_{min, R}$ angegeben.

Die nachfolgenden Abbildungen 6-21 bis 6-24 basieren auf den Daten der Tabelle 6-1 und sollen in Form von Liniendiagrammen die Referenzlasten mit den Ergebnissen der eigenformaffinen Vorverformung bzw. mit dem Ansatz eines Knotenblechknickes gegenüberstellen. Um die Auswirkung einer zunehmenden freien Knotenblechlänge darzustellen, wurde auf der Ordinate die maßgebende Traglast und auf der Abszisse die freie Knotenblechlänge aufgetragen.

Tabelle 6-1 veranschaulicht, dass bei der Anwendung von ingenieurmäßigen Verfahren nach Eurocode 3 bei sämtlichen Systemen mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm die aufnehmbaren Traglasten deutlich überschätzt werden. Einzige Ausnahme bildet das System t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick, was auf die geringe Imperfektionsamplitude von $e_{0, KB, max}$ = 1,0 mm, die sehr gedrungenen Knotenbleche und die geringe maßgebende Referenzlast beim Stabilitätsnachweis des Gesamtstabes zurückzuführen ist.

Die Abbildungen 6-21 bis 6-24 zeigen sehr anschaulich, welch große Differenzen die Ergebnisse der numerischen Berechnungen zu den Referenzlasten aufweisen. Insbesondere bei zunehmender freien Knotenblechlänge kann lediglich ein Bruchteil, der mit ingenieurmäßigen Verfahren ermittelten Traglasten, aufgenommen werden. Die Unterschiede zwischen Traglastberechnungen mit eigenformaffinen Vorverformungen und dem Ansatz des Knotenblechknickes nehmen mit zunehmender Knotenblechlänge ab. Dies ist auf die geringere Differenz der Imperfektionsamplituden zurückzuführen, welche in Kapitel 6.2.3 ausführlich erläutert ist.

Gegenüberstellung der minimalen Werte für N_R, $N_{KB\text{-}Knick}$, N_{EF} bei t_{KB} = 10 mm					
Abweichung von Referenzlast $N_{min,R}$ (± %) / Parameter:			$N_{min,R}$	$N_{min,KB\text{-}Knick}$ $e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$N_{min,EF}$ $e_{0,EF} = L / 750$
eingespannt	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	850 kN (- 9,5 %)	599 kN (- 36,3 %)
		L_{KB} = 200 mm	903 kN	583 kN (- 35,5 %)	418 kN (- 53,7 %)
		L_{KB} = 300 mm	853 kN	375 kN (- 56,0 %)	304 kN (- 64,4 %)
		L_{KB} = 400 mm	780 kN	253 kN (- 67,6 %)	225 kN (- 71,1 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	850 kN (- 9,5 %)	429 kN (- 54,4 %)
		L_{KB} = 200 mm	903 kN	583 kN (- 35,5 %)	304 kN (- 66,4 %)
		L_{KB} = 300 mm	853 kN	377 kN (- 55,8 %)	229 kN (- 73,1 %)
		L_{KB} = 400 mm	780 kN	253 kN (- 67,6 %)	176 kN (- 77,5 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	850 kN (- 9,5 %)	337 kN (- 64,1 %)
		L_{KB} = 200 mm	903 kN	583 kN (- 35,5 %)	234 kN (- 74,0 %)
		L_{KB} = 300 mm	853 kN	377 kN (- 55,8 %)	185 kN (- 78,3 %)
		L_{KB} = 400 mm	780 kN	253 kN (- 67,6 %)	147 kN (- 81,1 %)
gelenkig	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	928 kN	515 kN (- 44,5 %)	282 kN (- 69,6 %)
		L_{KB} = 200 mm	864 kN	219 kN (- 74,7 %)	159 kN (- 81,6 %)
		L_{KB} = 300 mm	762 kN	116 kN (- 84,8 %)	100 kN (- 86,9 %)
		L_{KB} = 400 mm	605 kN	71 kN (- 88,3 %)	67 kN (- 88,9 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	928 kN	515 kN (- 44,5 %)	190 kN (- 79,5 %)
		L_{KB} = 200 mm	864 kN	219 kN (- 74,7 %)	115 kN (- 86,7 %)
		L_{KB} = 300 mm	762 kN	115 kN (- 84,9 %)	78 kN (- 89,7 %)
		L_{KB} = 400 mm	605 kN	71 kN (- 88,3 %)	56 kN (- 90,7 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	928 kN	515 kN (- 44,5 %)	144 kN (- 84,5 %)
		L_{KB} = 200 mm	864 kN	219 kN (- 74,7 %)	93 kN (- 89,2 %)
		L_{KB} = 300 mm	762 kN	115 kN (- 84,9 %)	66 kN (- 91,3 %)
		L_{KB} = 400 mm	605 kN	71 kN (- 88,3 %)	49 kN (- 91,9 %)
reines Gelenk biegesteif	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	847 kN (- 9,9 %)	599 kN (- 36,3 %)
		L_{KB} = 200 mm	903 kN	574 kN (- 36,4 %)	429 kN (- 52,6 %)
		L_{KB} = 300 mm	853 kN	370 kN (- 56,6 %)	309 kN (- 63,8 %)
		L_{KB} = 400 mm	780 kN	249 kN (- 68,1 %)	225 kN (- 71,1 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	940 kN	837 kN (- 11,0 %)	448 kN (- 52,3 %)
		L_{KB} = 200 mm	903 kN	560 kN (- 38,0 %)	304 kN (- 66,4 %)
		L_{KB} = 300 mm	853 kN	361 kN (- 57,6 %)	233 kN (- 72,6 %)
		L_{KB} = 400 mm	780 kN	243 kN (- 68,8 %)	182 kN (- 76,7 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	576 kN	637 kN (+ 10,6 %)	351 kN (- 39,1 %)
		L_{KB} = 200 mm	576 kN	508 kN (- 11,9 %)	252 kN (- 56,4 %)
		L_{KB} = 300 mm	576 kN	344 kN (- 40,3 %)	185 kN (- 68,0 %)
		L_{KB} = 400 mm	576 kN	234 kN (- 59,3 %)	147 kN (- 74,5 %)
reines Gelenk verdrehweich	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	928 kN	512 kN (- 44,9 %)	285 kN (- 69,3 %)
		L_{KB} = 200 mm	864 kN	217 kN (- 74,8 %)	161 kN (- 81,3 %)
		L_{KB} = 300 mm	762 kN	116 kN (- 84,8 %)	100 kN (- 86,9 %)
		L_{KB} = 400 mm	605 kN	71 kN (- 88,3 %)	67 kN (- 88,9 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	928 kN	504 kN (- 45,7 %)	190 kN (- 79,5 %)
		L_{KB} = 200 mm	864 kN	215 kN (- 75,1 %)	117 kN (- 86,4 %)
		L_{KB} = 300 mm	762 kN	115 kN (- 84,9 %)	81 kN (- 89,4 %)
		L_{KB} = 400 mm	605 kN	71 kN (- 88,3 %)	58 kN (- 90,5 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	576 kN	481 kN (- 16,5 %)	144 kN (- 75,0 %)
		L_{KB} = 200 mm	576 kN	211 kN (- 63,3 %)	93 kN (- 83,9 %)
		L_{KB} = 300 mm	576 kN	112 kN (- 80,5 %)	67 kN (- 88,3 %)
		L_{KB} = 400 mm	576 kN	71 kN (- 87,7 %)	51 kN (- 91,1 %)

Tabelle 6-1: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm

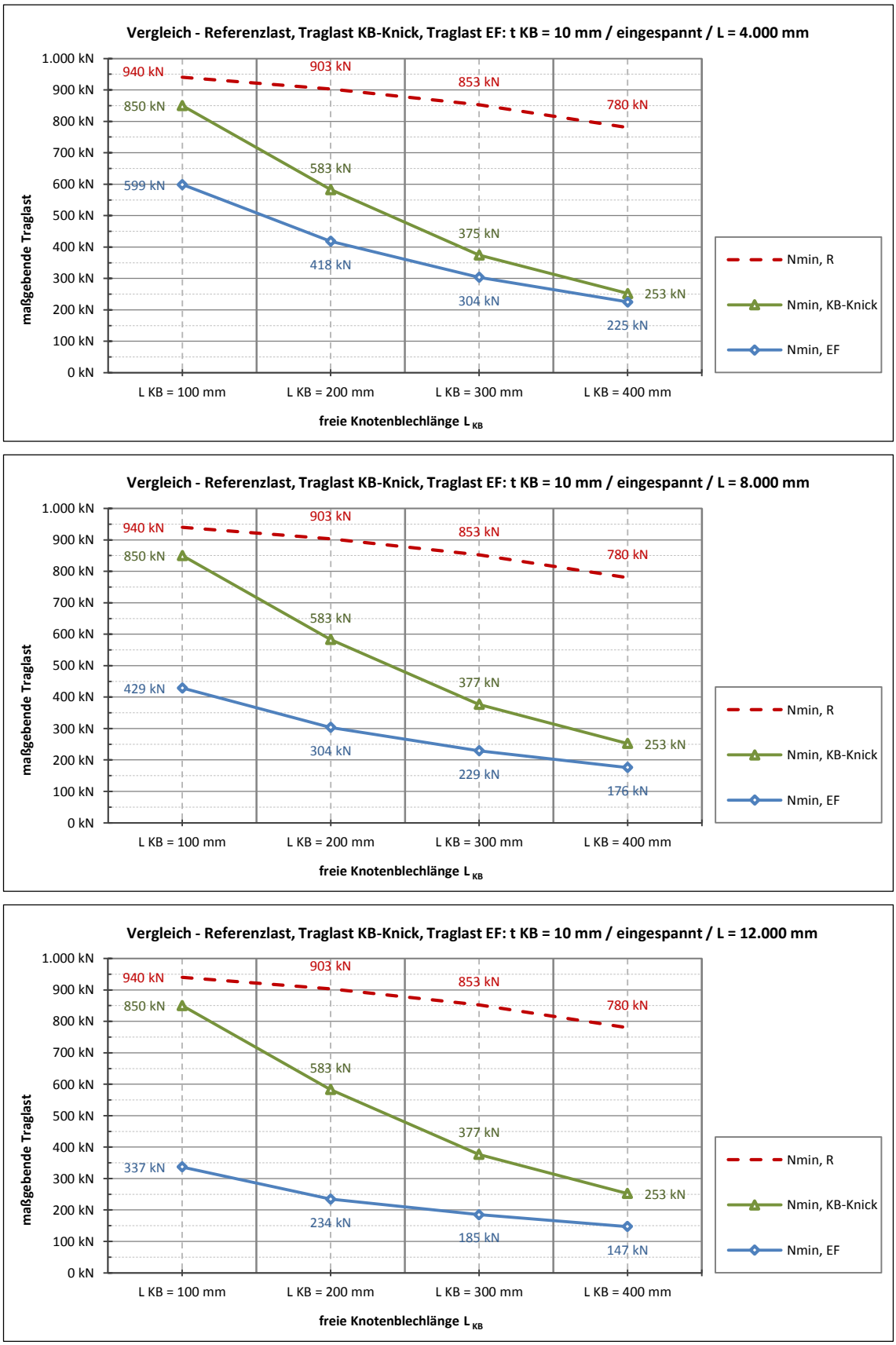


Abbildung 6-21: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt

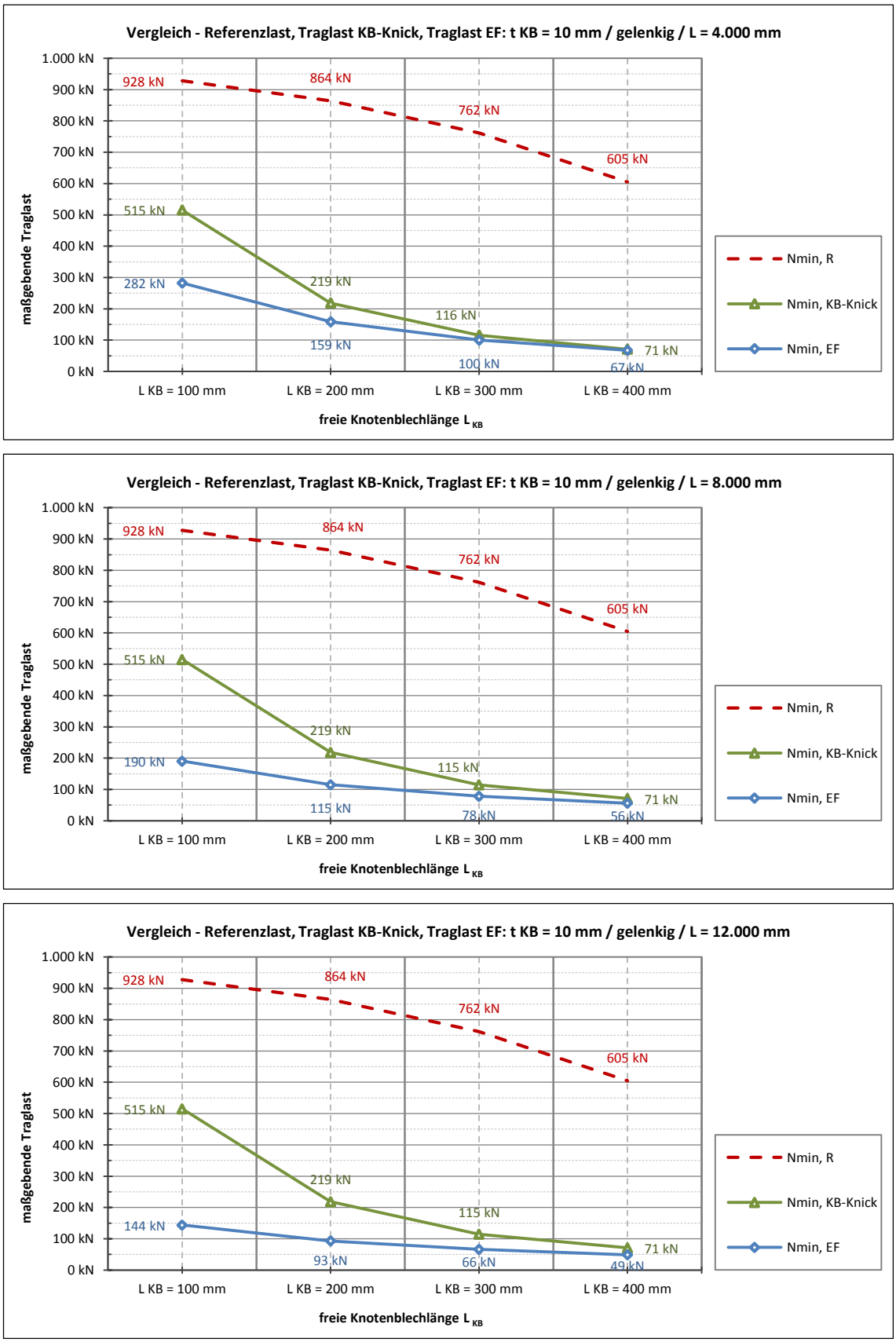
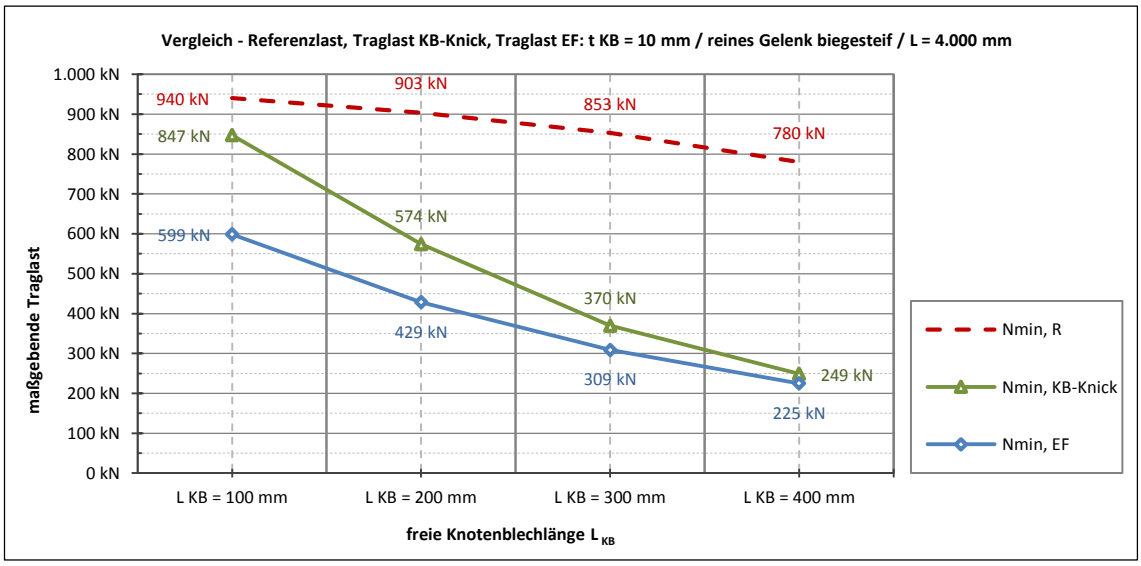
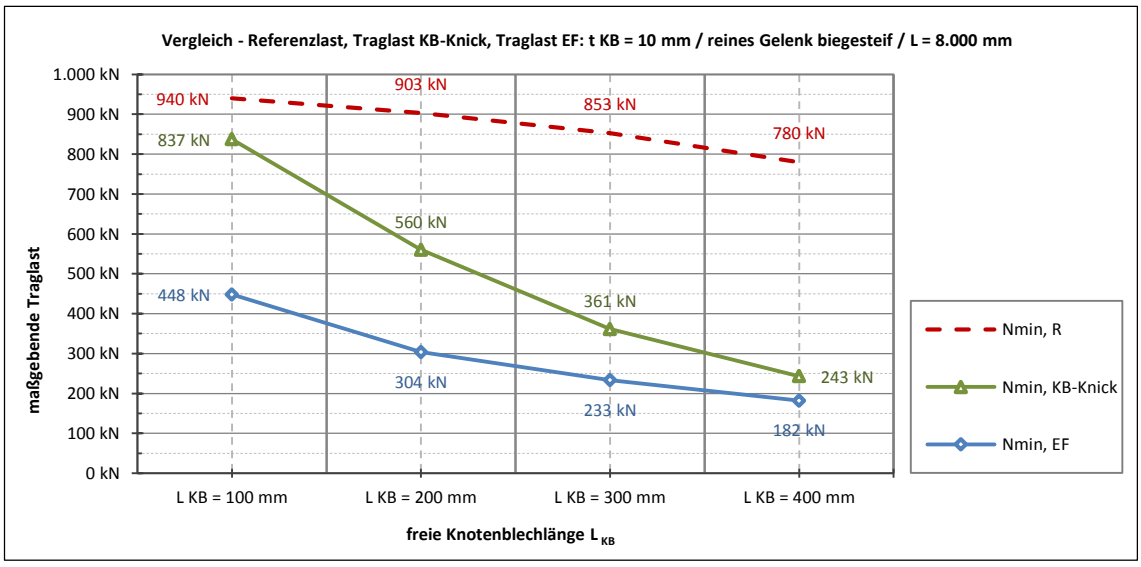


Abbildung 6-22: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig





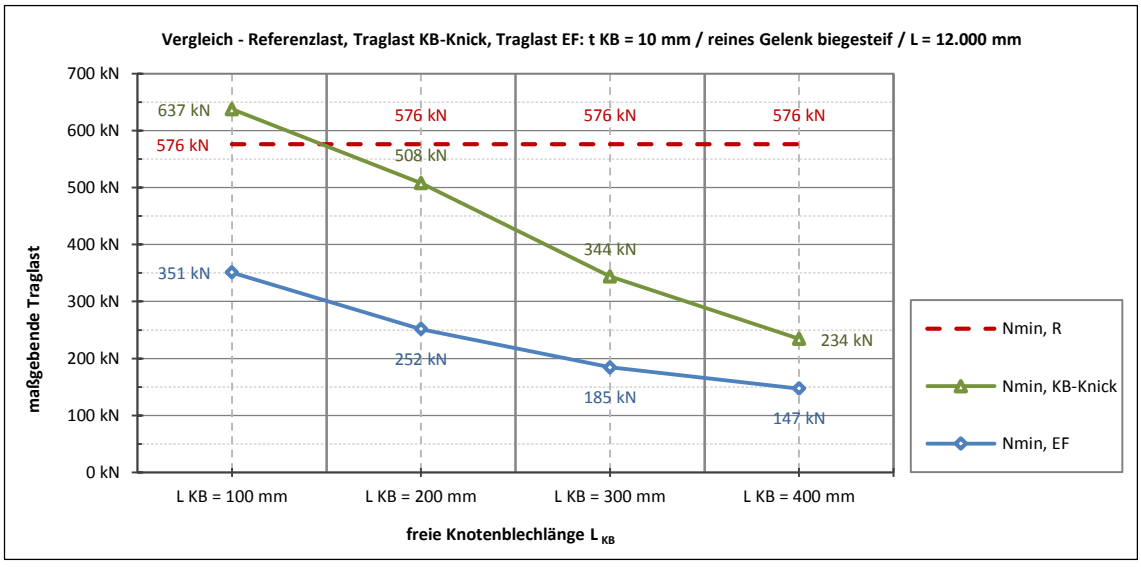


Abbildung 6-23: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif

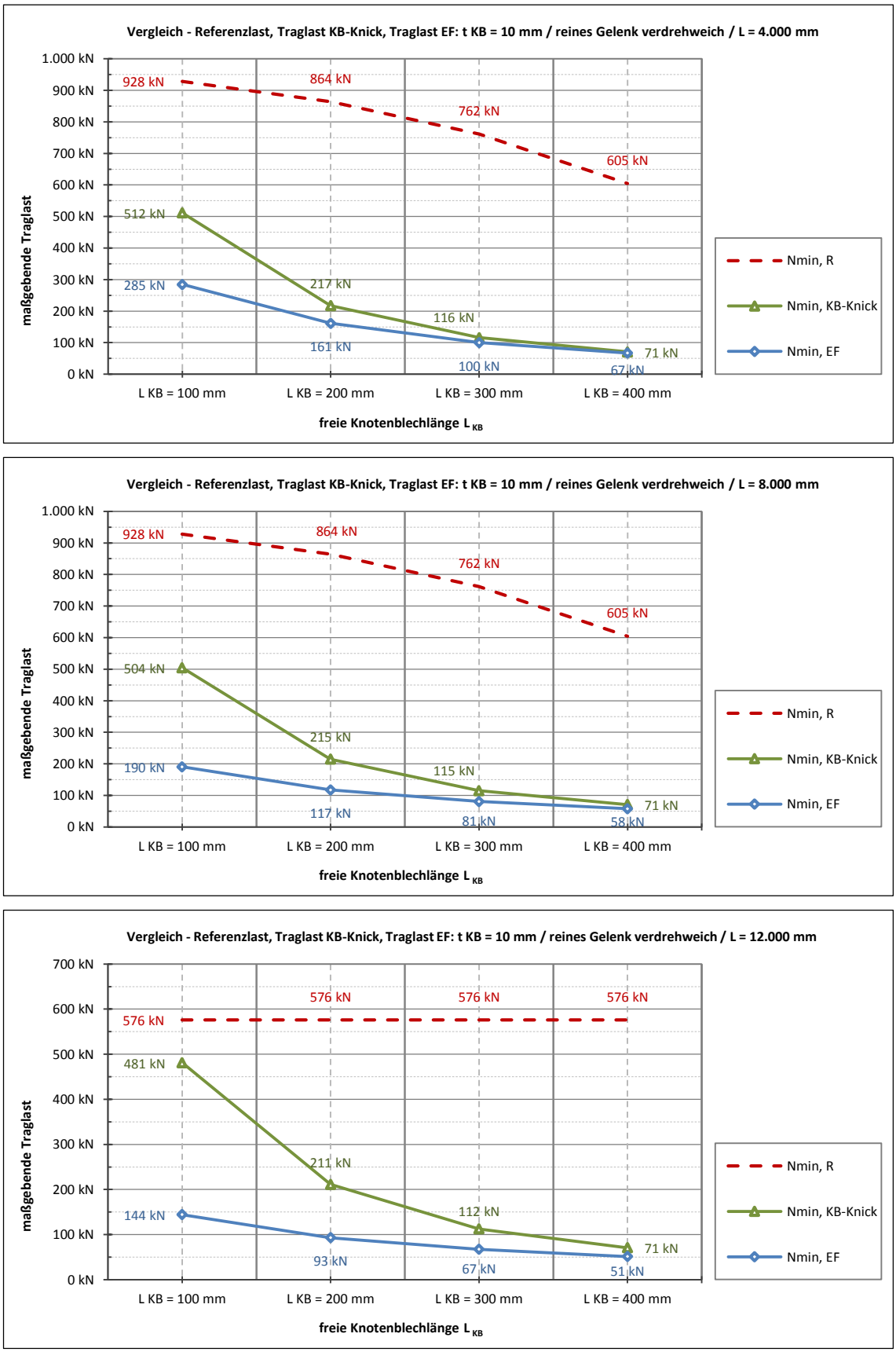


Abbildung 6-24: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich

6.3 Systeme mit einer Knotenblechdicke t_{KB} = 24 mm

Im Gegensatz zu Systemen mit dem dünnen Knotenblech (t_{KB} = 10 mm) muss beim Knotenblech mit einer Dicke von t_{KB} = 24 mm bei der Interpretation der Ergebnisse zwischen lokalem Knotenblech- und globalem Stabversagen unterschieden werden.

Aufgrund der deutlich höheren Knotenblechsteifigkeit können wesentlich höhere Traglasten im Vergleich zu den Ergebnissen aus Kapitel 6.2 erreicht werden. Vor allem bei Stabversagen weichen die Ergebnisse der Systeme mit t_{KB} = 24 mm nur geringfügig von den Referenzlasten ab, was auf eine ausreichende Tragsicherheit bei der Anwendung von ingenieurmäßigen Berechnungsverfahren schließen lässt. Bei zunehmender Knotenblechlänge ist jedoch auch bei dieser Knotenblechdicke in der Praxis ein Überschätzen der Tragfähigkeit nicht mehr ausgeschlossen. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass der Einfluss der freien Knotenblechlänge mit Verfahren nach Eurocode 3 nicht ausreichend erfasst werden kann und somit bei sämtlichen Systemen als minimale Referenzlast stets der globale Stabilitätsnachweis des Gesamtstabes maßgebend wird.

Bei einigen Stab-Knotenblechkonfigurationen ist in Abhängigkeit von der angesetzten Vorverformung sowohl Knotenblechversagen als auch Stabversagen eingetreten. Dabei führte eine Vorverformung affin zur ersten Eigenform stets zu der minimalen Traglast hinsichtlich Stabversagens. Wie bereits in Kapitel 2.5.2 erläutert, war es aufgrund der großen Knotenblechsteifigkeit in einigen Fällen erforderlich höhere Eigenformen zu untersuchen, um die ungünstigste Knotenblechauslenkung als Vorverformung zu erhalten. Abhängig von der Parameterkonfiguration ist bei einigen Systemen trotz der maximalen Auslenkung der Knotenbleche dennoch Stabversagen eingetreten. Zum Teil führte die maximale Imperfektionsamplitude im Knotenblechbereich allerdings zu Knotenblechversagen, welches deutlich geringere Traglasten als das globale Stabversagen aufwies.

6.3.1 Darstellung und Analyse der Traglasten in Abhängigkeit von der angesetzten Vorverformung und der Knotenblechlänge

In den nachfolgenden Abbildungen 6-25 bis 6-36 sind die Traglasten für verschiedene Knotenblechlängen und Vorverformungen tabellarisch sowie als Balkendiagramm dargestellt. Bei der tabellarischen Darstellung sind die maßgebenden Traglasten zufolge der jeweiligen Vorverformung fett gedruckt in grüner Schrift hervorgehoben und die angesetzte Imperfektionsamplitude angeführt.

Es wurden die verschiedenen Knotenblechlängen und die variierten Vorverformungen bei gleichen Auflagerbedingungen und identer Systemlänge gegenübergestellt. Dies soll die Auswirkung einer großen freien Knotenblechlänge auf die Tragfähigkeit verdeutlichen.

Des Weiteren ist in den Diagrammen die minimale Referenzlast als rot-strichlierte Linie angeführt. Diese Referenzlast ergibt sich aus dem maßgebenden Nachweis laut dem derzeitigen Stand der Technik, wie ihn ein Ingenieur in der Praxis führen würde. Eine detaillierte Erläuterung der Referenzlasten ist in Kapitel 4 nachzulesen. Der Vergleich der minimalen Referenzlast mit den Ergebnissen der numerischen Berechnung soll darstellen, wie stark die Nachweisverfahren nach Eurocode 3 [4] von den tatsächlich aufnehmbaren Traglasten abweichen und untersuchen, ob ein Überschätzen der Tragfähigkeit vorliegt.

In den Diagrammen ist auf der Abszisse die Tragfähigkeit und auf der Ordinate die variierte freie Knotenblechlänge L_{KB} aufgetragen. Um die angesetzte Vorverformung in den Diagrammen visuell gut zu differenzieren, wurden die Ergebnisse der Berechnungen mit angesetztem Knotenblechknick farblich grün und die Ergebnisse der Berechnungen mit eigenformaffiner Vorverformung in Blautönen dargestellt.

Der gelb schraffierte Bereich der Tabellen hebt jene Parameterkonfigurationen hervor, bei welchen globales Stabversagen eingetreten ist.

Abbildung 6-30 verdeutlicht die Erfordernis der Untersuchung höherer eigenformaffiner Vorverformungen. Beim Knotenblech mit einer freien Länge von L_{KB} = 100 mm tritt bei der ersten, zweiten und dritten eigenformaffinen Vorverformung globales Stabversagen ein und erst beim Ansatz der vierten Eigenform versagt das System zufolge Knotenblechversagen. Die erreichbare Traglast liegt bei Knotenblechversagen jedoch deutlich unter jener des globalen Stabversagens. Eine Untersuchung lediglich der ersten beiden Eigenformen würde zu einem deutlichen Überschätzen der aufnehmbaren Traglast führen, da erst die vierte Eigenform maßgebend wird.

Wie in Abbildung 6-31 ersichtlich, bildet das System t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm genau jenen Übergangsbereich ab, wo bei der Lagerungsbedingung reines Gelenk biegesteif Knotenblechversagen maßgebend wird. Da dies die kürzeste Systemlänge und längste Knotenblechlänge der Parameterstudie ist und somit die ungünstigste Konfiguration hinsichtlich Knotenblechversagen darstellt, ist die logische Schlussfolgerung, dass bei sämtlichen anderen Systemen mit dieser Lagerungsbedingung Stabversagen maßgebend wird. Diese These wird durch die Abbildungen 6-32 und 6-33 bestätigt.

- **System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt**

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.787 kN	1.787 kN	**1.731 kN**	1.747 kN	1.773 kN			
L_{KB} = 200 mm	1.787 kN	1.785 kN	1.775 kN	**1.764 kN**				
L_{KB} = 300 mm	1.785 kN	1.784 kN	1.707 kN	**1.664 kN**				
L_{KB} = 400 mm	1.666 kN	1.721 kN	**1.532 kN**	1.592 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

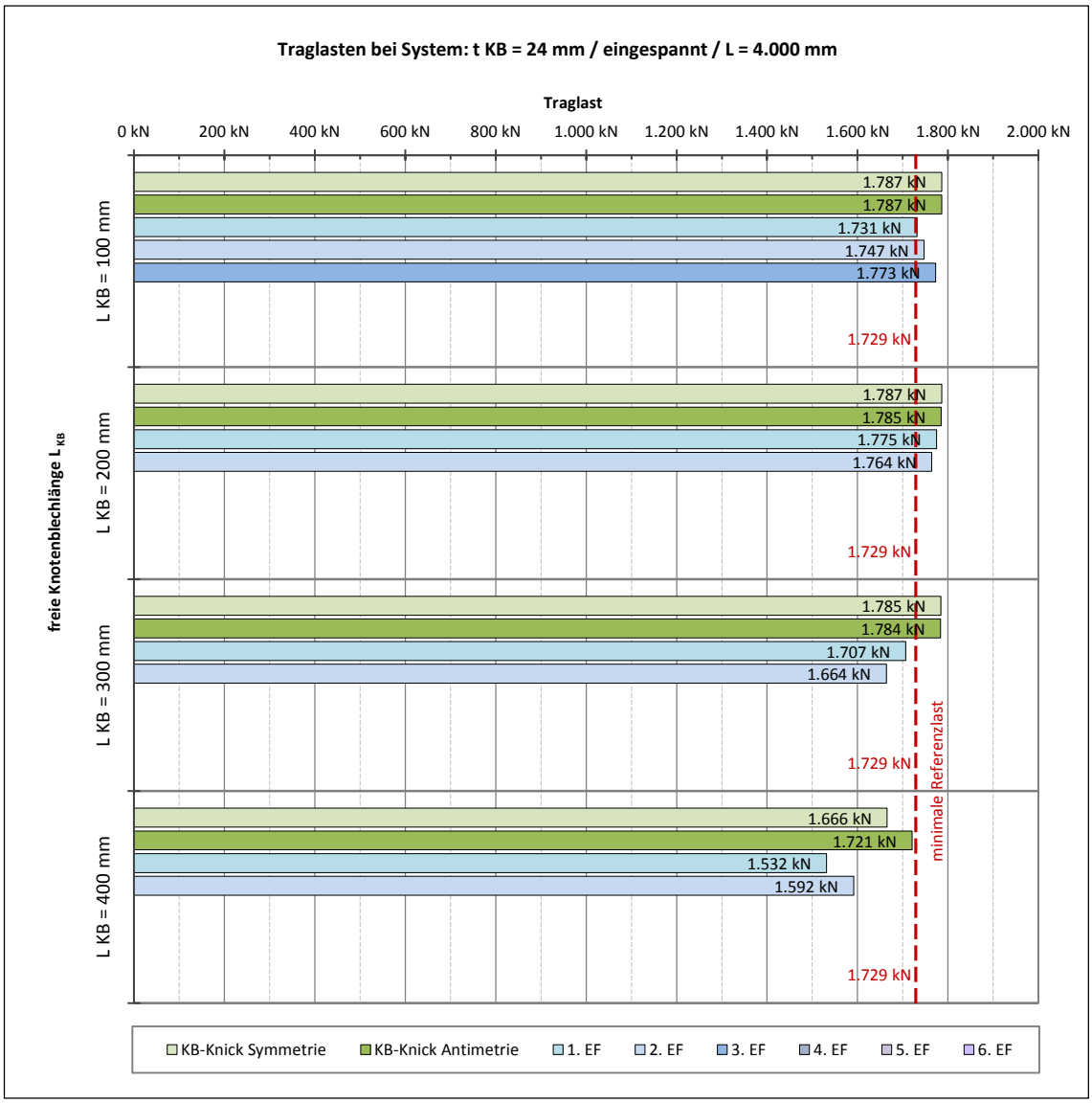


Abbildung 6-25: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.785 kN	1.787 kN	1.622 kN	**1.613 kN**	1.680 kN			
L_{KB} = 200 mm	1.787 kN	1.787 kN	1.627 kN	1.627 kN	1.578 kN	**1.531 kN**		
L_{KB} = 300 mm	1.785 kN	1.783 kN	1.635 kN	**1.341 kN**	1.360 kN			
L_{KB} = 400 mm	1.664 kN	1.669 kN	1.311 kN	**1.174 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

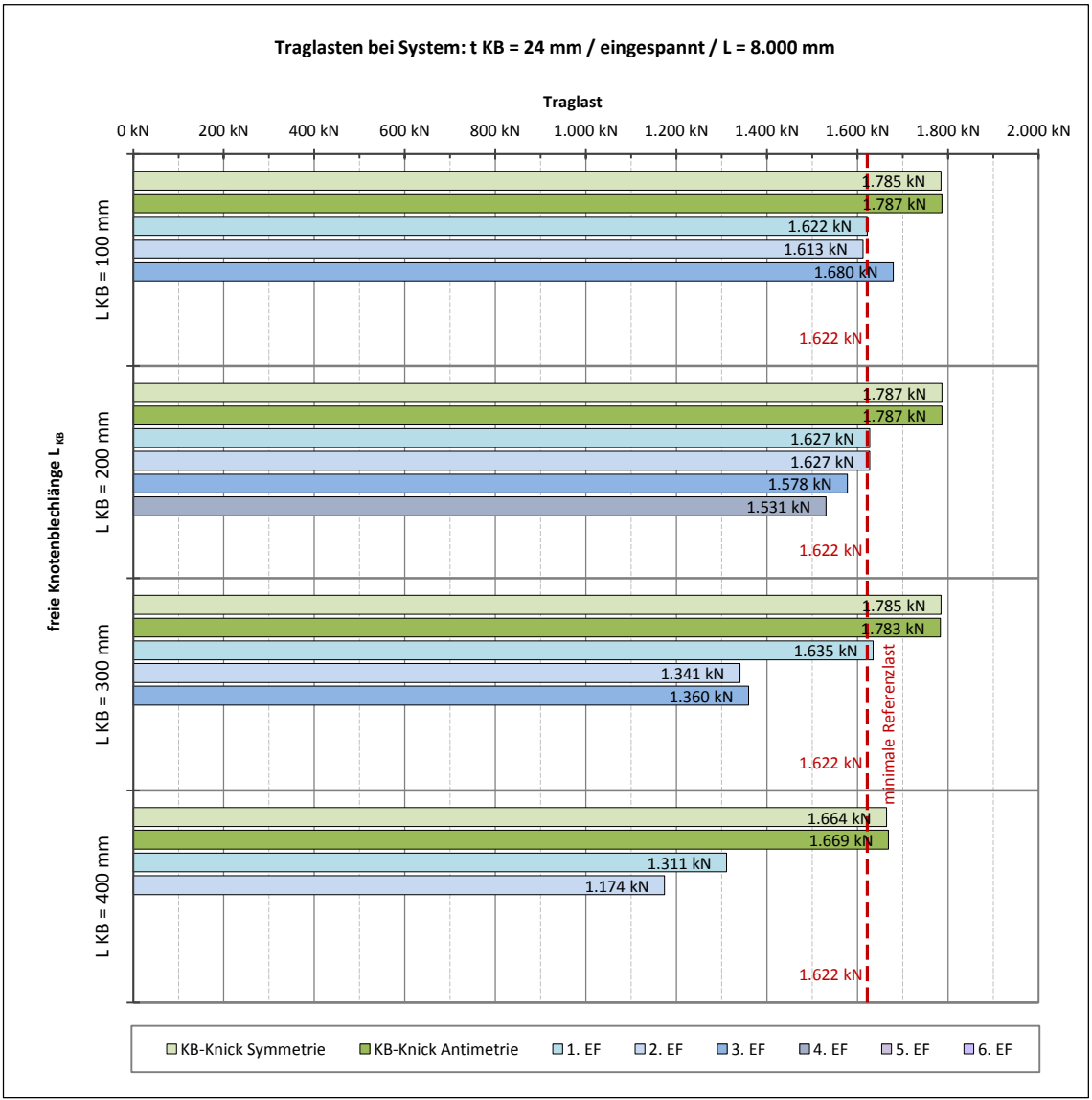


Abbildung 6-26: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.764 kN	1.787 kN	**1.427 kN**	1.472 kN	1.576 kN	1.580 kN	1.586 kN	
L_{KB} = 200 mm	1.761 kN	1.785 kN	1.432 kN	1.477 kN	1.585 kN	1.534 kN	**1.325 kN**	1.532 kN
L_{KB} = 300 mm	1.756 kN	1.783 kN	1.439 kN	1.488 kN	1.205 kN	**1.122 kN**		
L_{KB} = 400 mm	1.662 kN	1.652 kN	1.448 kN	1.063 kN	**1.023 kN**			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

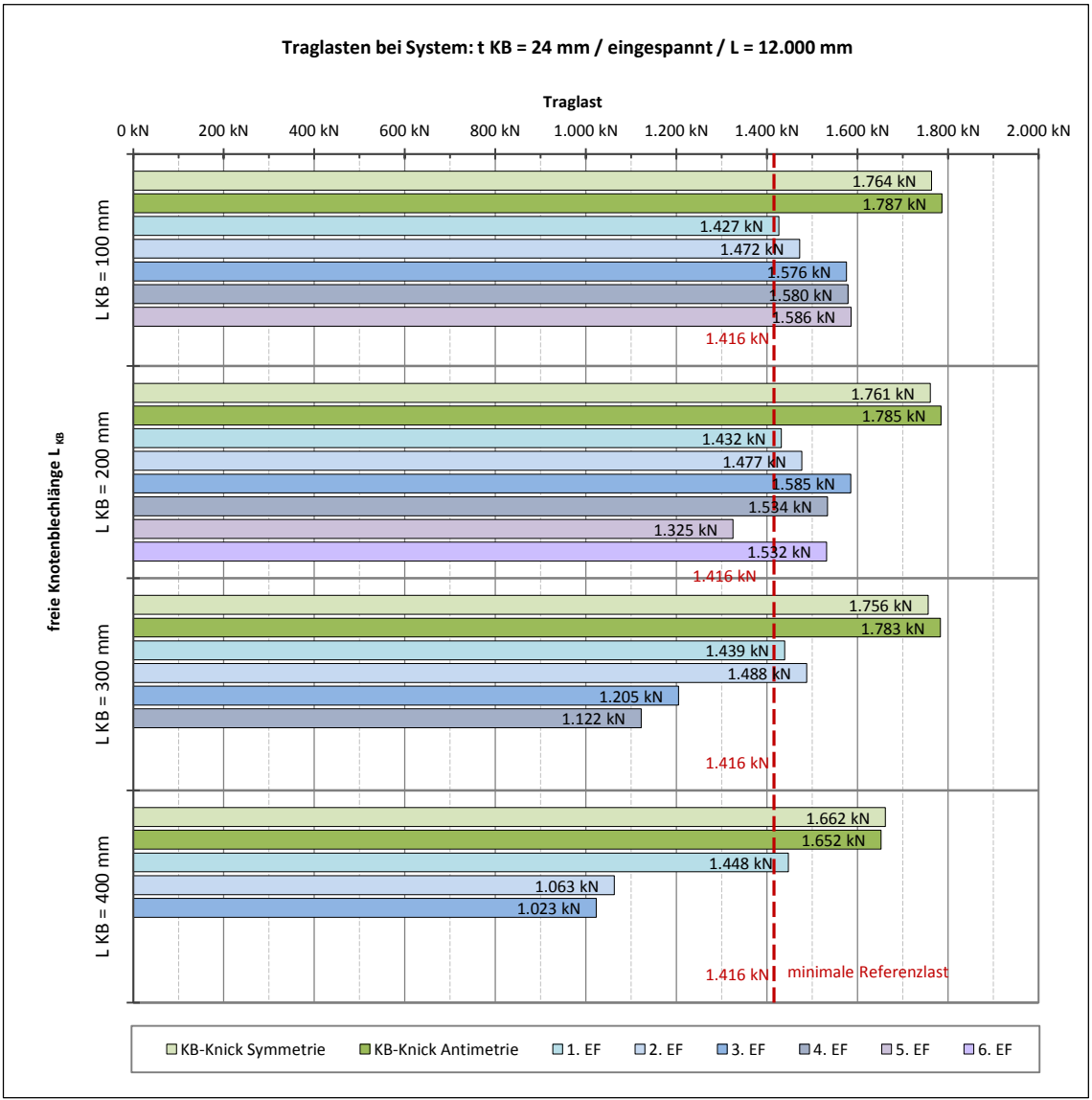


Abbildung 6-27: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm

- **System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig**

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.787 kN	1.787 kN	1.526 kN	**1.514 kN**				
L_{KB} = 200 mm	1.534 kN	1.663 kN	**1.147 kN**	1.289 kN				
L_{KB} = 300 mm	1.075 kN	1.499 kN	**885 kN**	1.226 kN				
L_{KB} = 400 mm	758 kN	1.435 kN	**684 kN**	1.211 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile					= Stabversagen			

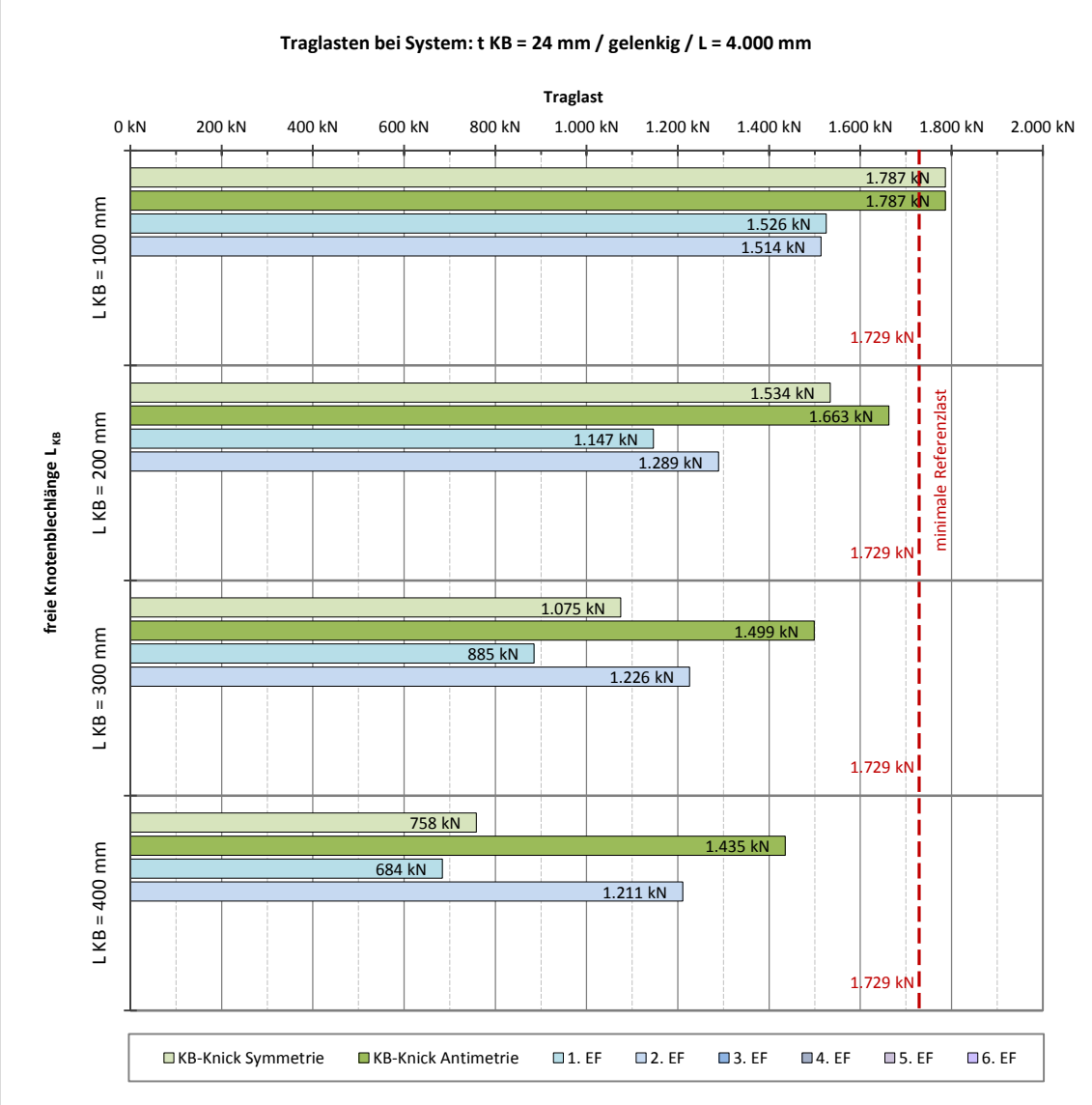


Abbildung 6-28: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.787 kN	1.787 kN	1.624 kN	1.279 kN	**1.103 kN**			
L_{KB} = 200 mm	1.533 kN	1.548 kN	891 kN	**816 kN**				
L_{KB} = 300 mm	1.075 kN	1.123 kN	674 kN	**669 kN**				
L_{KB} = 400 mm	758 kN	850 kN	**535 kN**	574 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

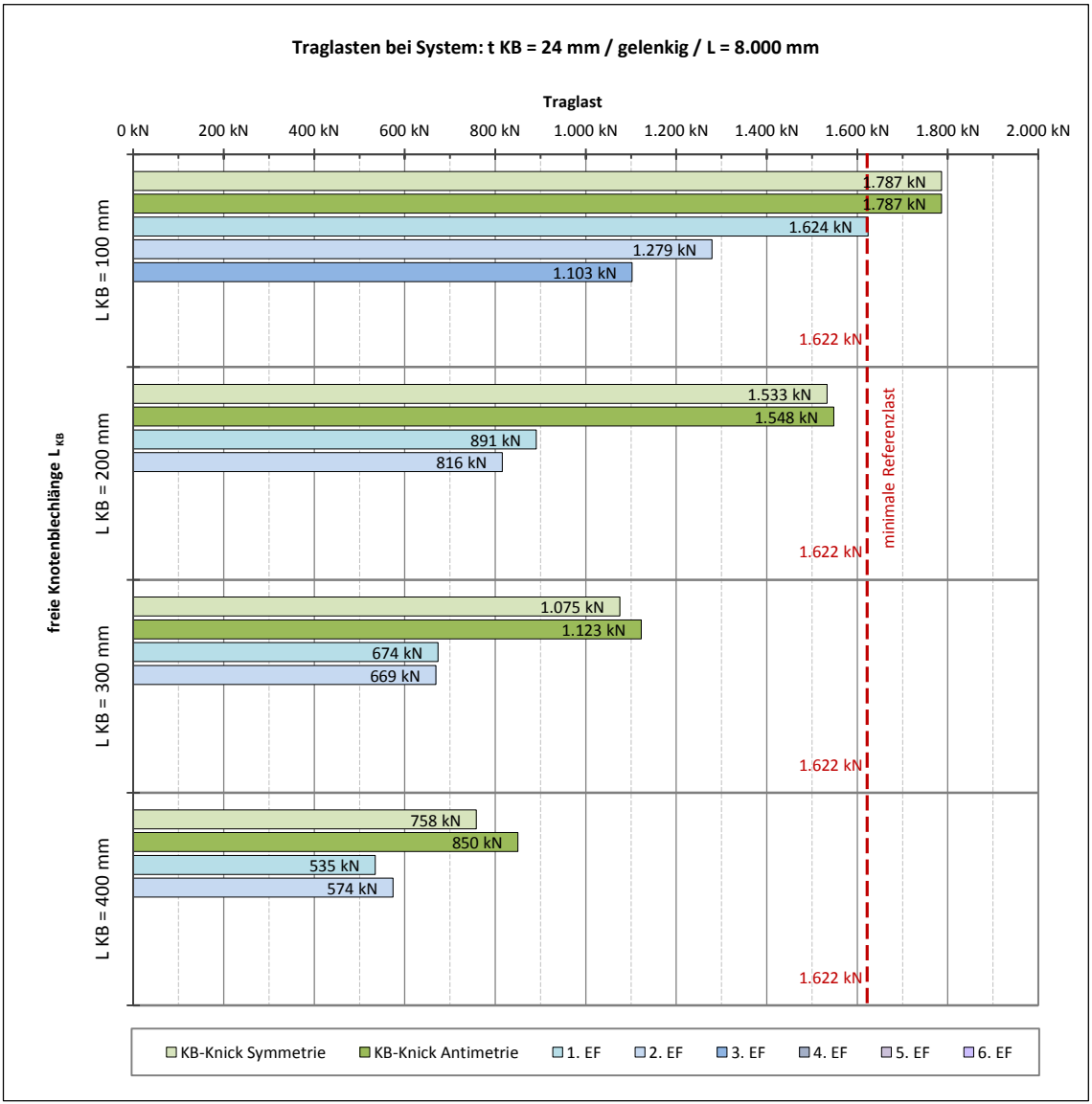


Abbildung 6-29: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.761 kN	1.787 kN	1.427 kN	1.474 kN	1.604 kN	**857 kN**	982 kN	
L_{KB} = 200 mm	1.533 kN	1.528 kN	1.435 kN	667 kN	**653 kN**			
L_{KB} = 300 mm	1.075 kN	1.073 kN	590 kN	**512 kN**				
L_{KB} = 400 mm	756 kN	766 kN	453 kN	**430 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

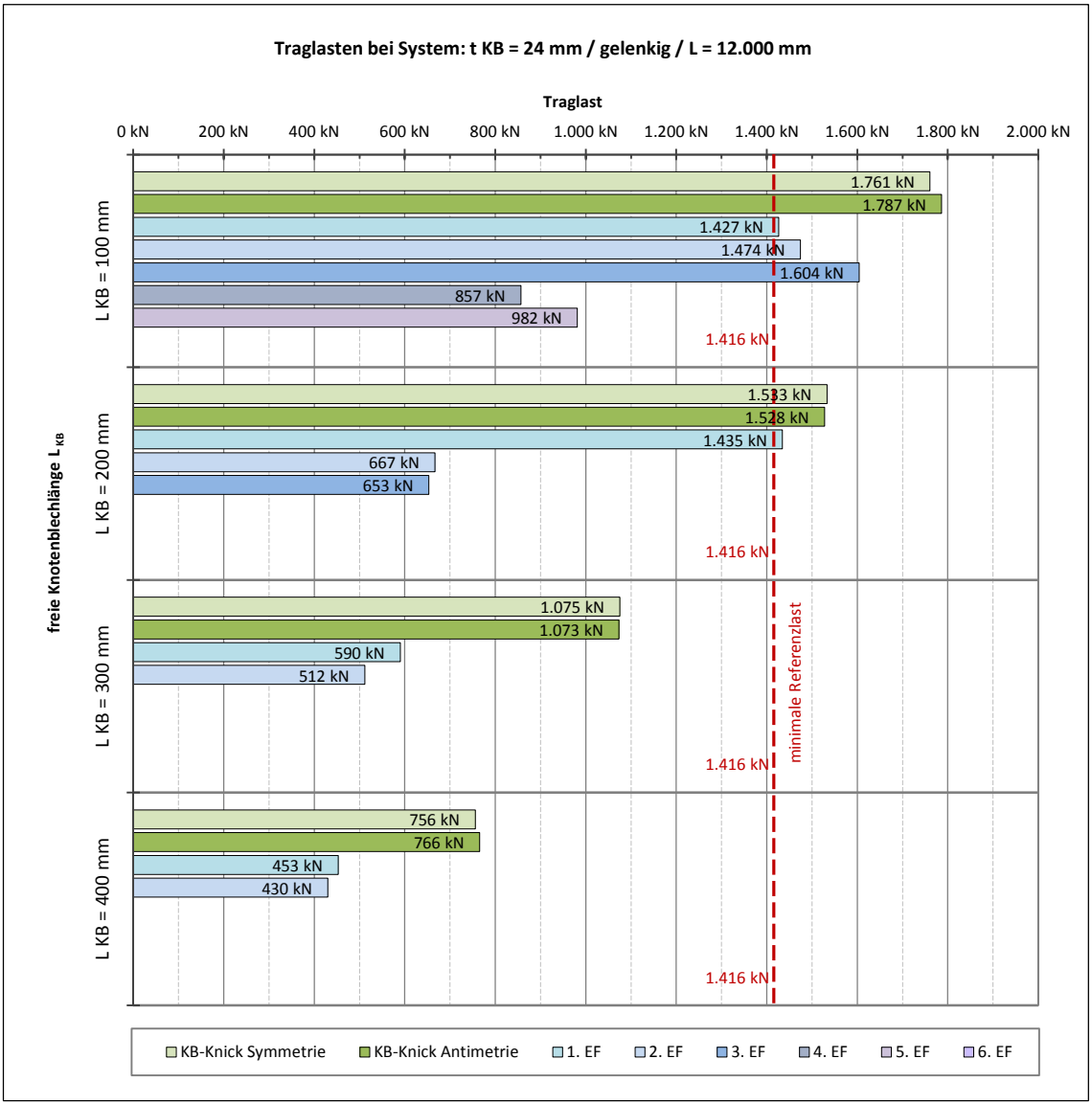


Abbildung 6-30: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif**

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.740 kN	1.766 kN	**1.619 kN**	1.671 kN	1.678 kN	1.704 kN	1.692 kN	
L_{KB} = 200 mm	1.695 kN	1.748 kN	**1.614 kN**	1.663 kN	1.666 kN			
L_{KB} = 300 mm	1.644 kN	1.731 kN	**1.597 kN**	1.657 kN				
L_{KB} = 400 mm	1.556 kN	1.710 kN	1.557 kN	**1.553 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					

Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile = Stabversagen

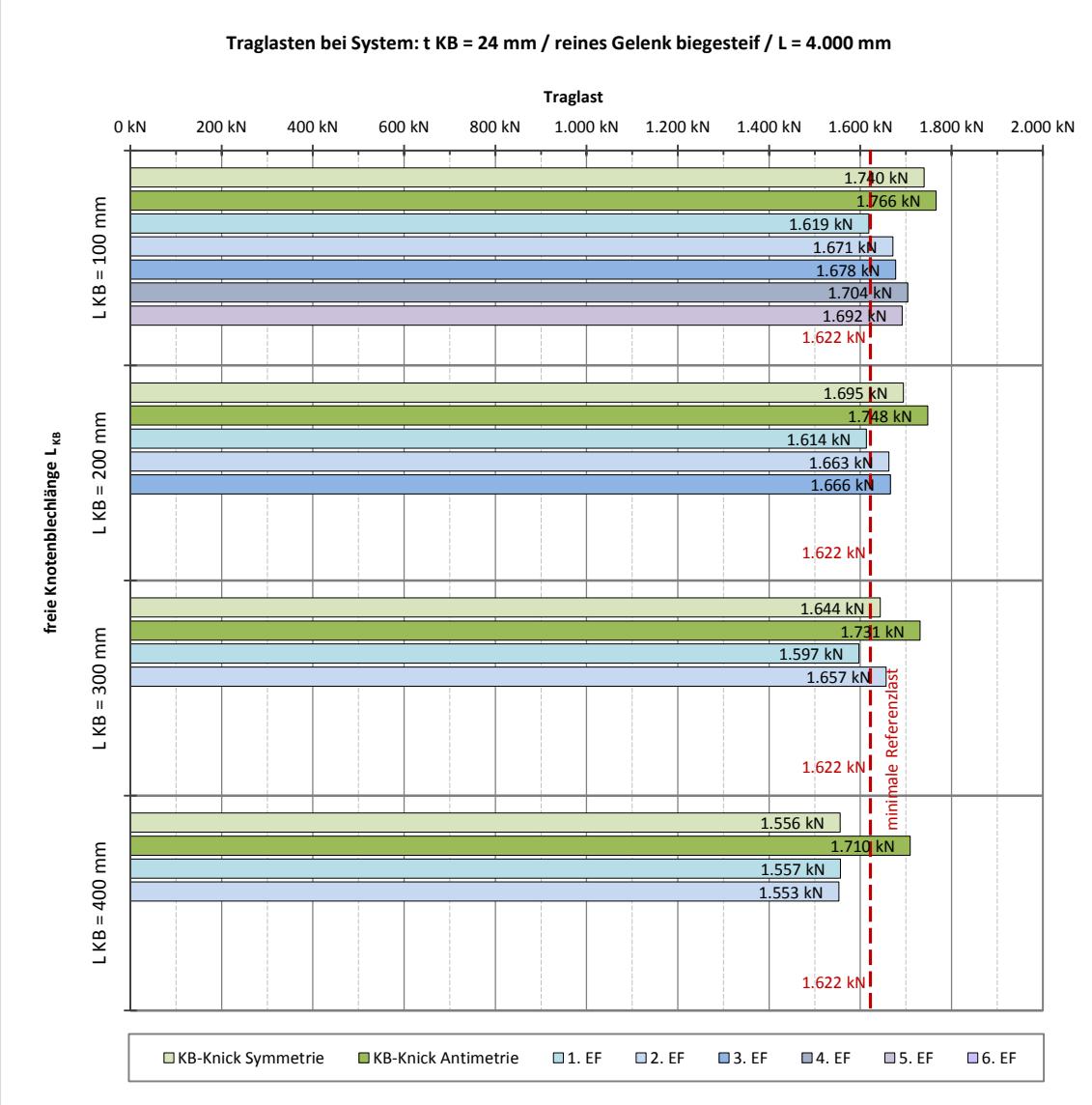


Abbildung 6-31: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.376 kN	1.756 kN	**1.092 kN**	1.494 kN	1.553 kN	1.575 kN	1.601 kN	
L_{KB} = 200 mm	1.303 kN	1.727 kN	**1.087 kN**	1.491 kN	1.546 kN	1.532 kN		
L_{KB} = 300 mm	1.232 kN	1.696 kN	**1.078 kN**	1.476 kN	1.272 kN			
L_{KB} = 400 mm	1.158 kN	1.643 kN	**1.054 kN**	1.308 kN	1.170 kN			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

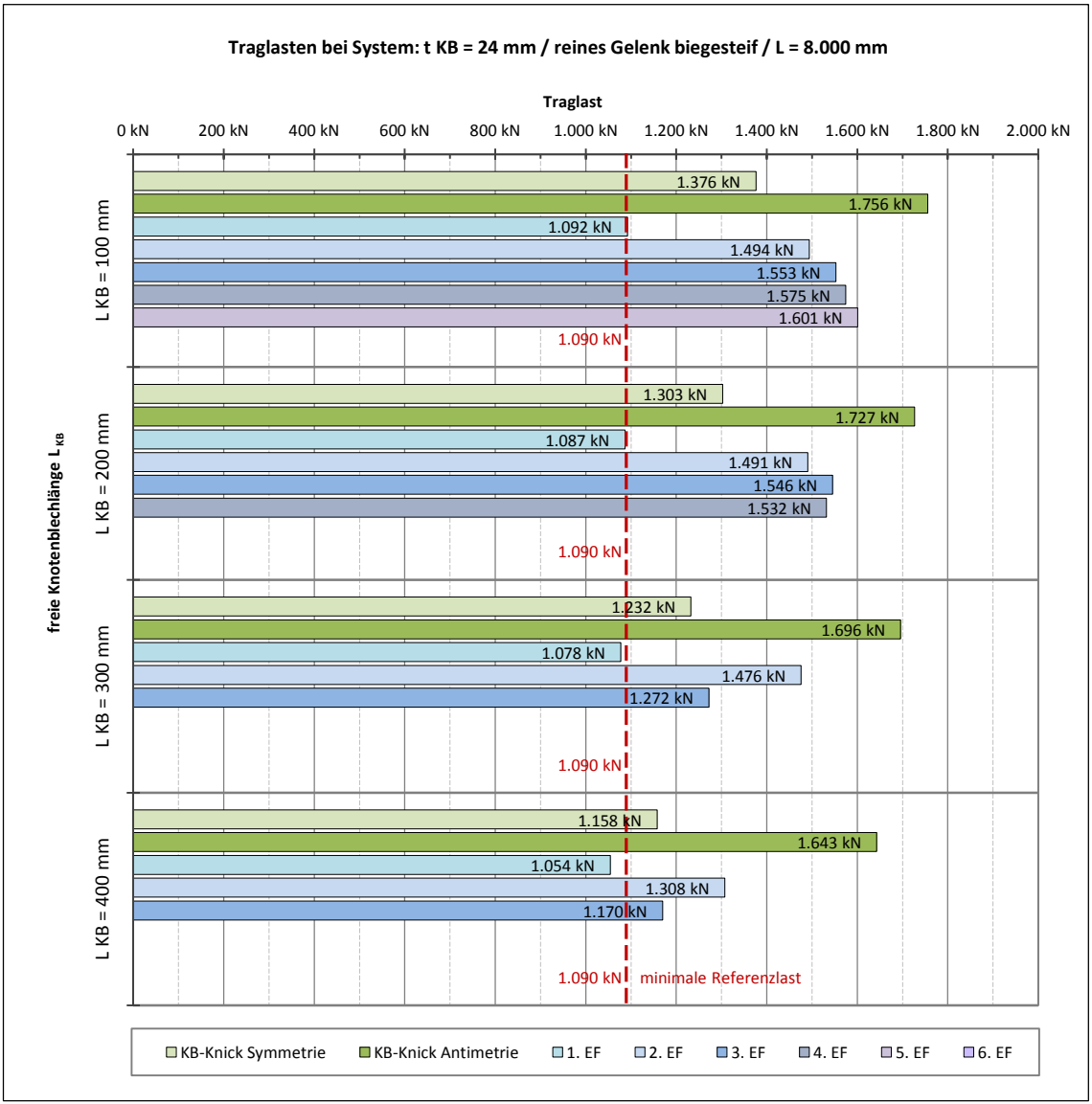


Abbildung 6-32: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	650 kN	1.729 kN	**579 kN**	1.232 kN	1.390 kN	1.446 kN	1.470 kN	1.494 kN
L_{KB} = 200 mm	642 kN	1.680 kN	**576 kN**	1.231 kN	1.388 kN	1.441 kN	1.428 kN	
L_{KB} = 300 mm	630 kN	1.628 kN	**574 kN**	1.222 kN	1.375 kN	1.156 kN		
L_{KB} = 400 mm	617 kN	1.547 kN	**569 kN**	1.204 kN	1.103 kN	1.048 kN		
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

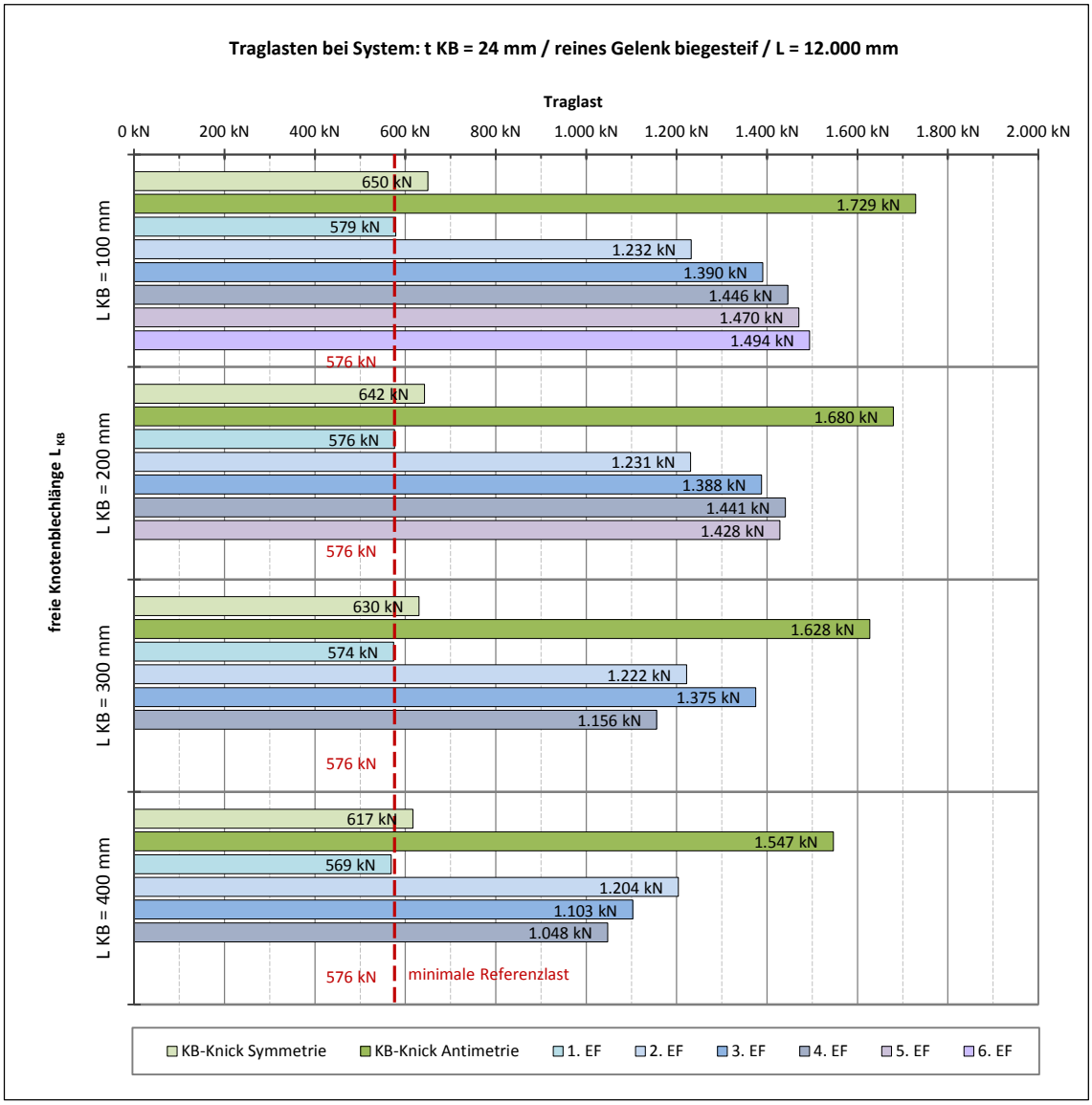


Abbildung 6-33: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdehweich**

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.732 kN	1.761 kN	1.614 kN	**1.523 kN**				
L_{KB} = 200 mm	1.491 kN	1.614 kN	1.355 kN	**1.158 kN**				
L_{KB} = 300 mm	1.039 kN	1.207 kN	938 kN	**929 kN**				
L_{KB} = 400 mm	735 kN	912 kN	**693 kN**	756 kN				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 5{,}3$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile					= Stabversagen			

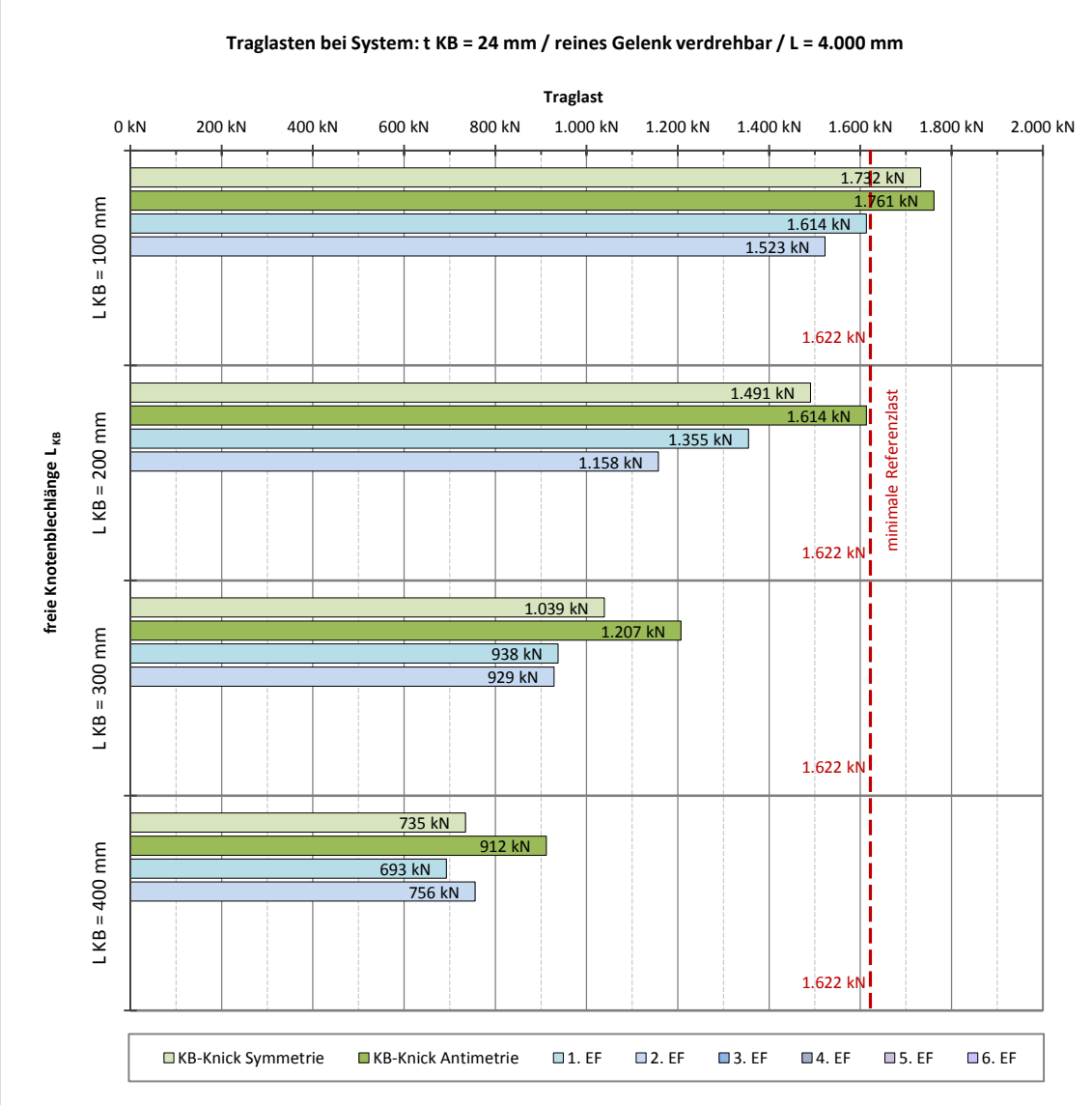


Abbildung 6-34: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	1.362 kN	1.750 kN	**1.087 kN**	1.488 kN	1.262 kN	1.103 kN		
L_{KB} = 200 mm	1.218 kN	1.549 kN	1.059 kN	940 kN	**898 kN**			
L_{KB} = 300 mm	912 kN	1.116 kN	862 kN	**659 kN**				
L_{KB} = 400 mm	669 kN	813 kN	618 kN	**540 kN**				
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 10{,}7$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

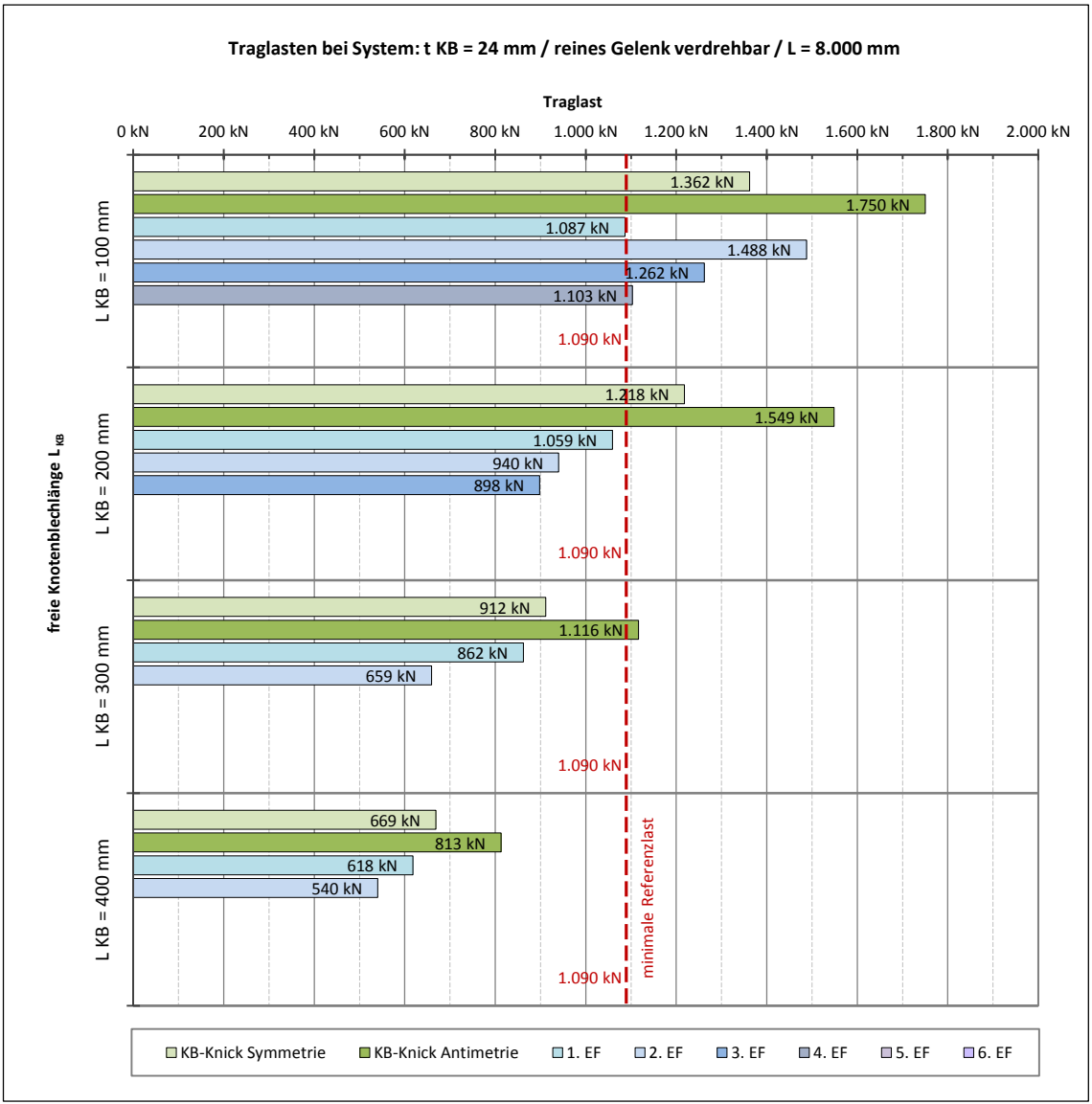


Abbildung 6-35: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm

Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm								
Randbedingungen:	KB-Knick Symmetrie	KB-Knick Antimetrie	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L_{KB} = 100 mm	650 kN	1.721 kN	**576 kN**	1.231 kN	1.388 kN	1.238 kN	874 kN	1.075 kN
L_{KB} = 200 mm	633 kN	1.491 kN	**571 kN**	1.123 kN	623 kN			
L_{KB} = 300 mm	598 kN	1.064 kN	557 kN	634 kN	**540 kN**			
L_{KB} = 400 mm	525 kN	768 kN	498 kN	**446 kN**	551 kN			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$		$e_{0,EF} = L / 750 = 16{,}0$ mm					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						= Stabversagen		

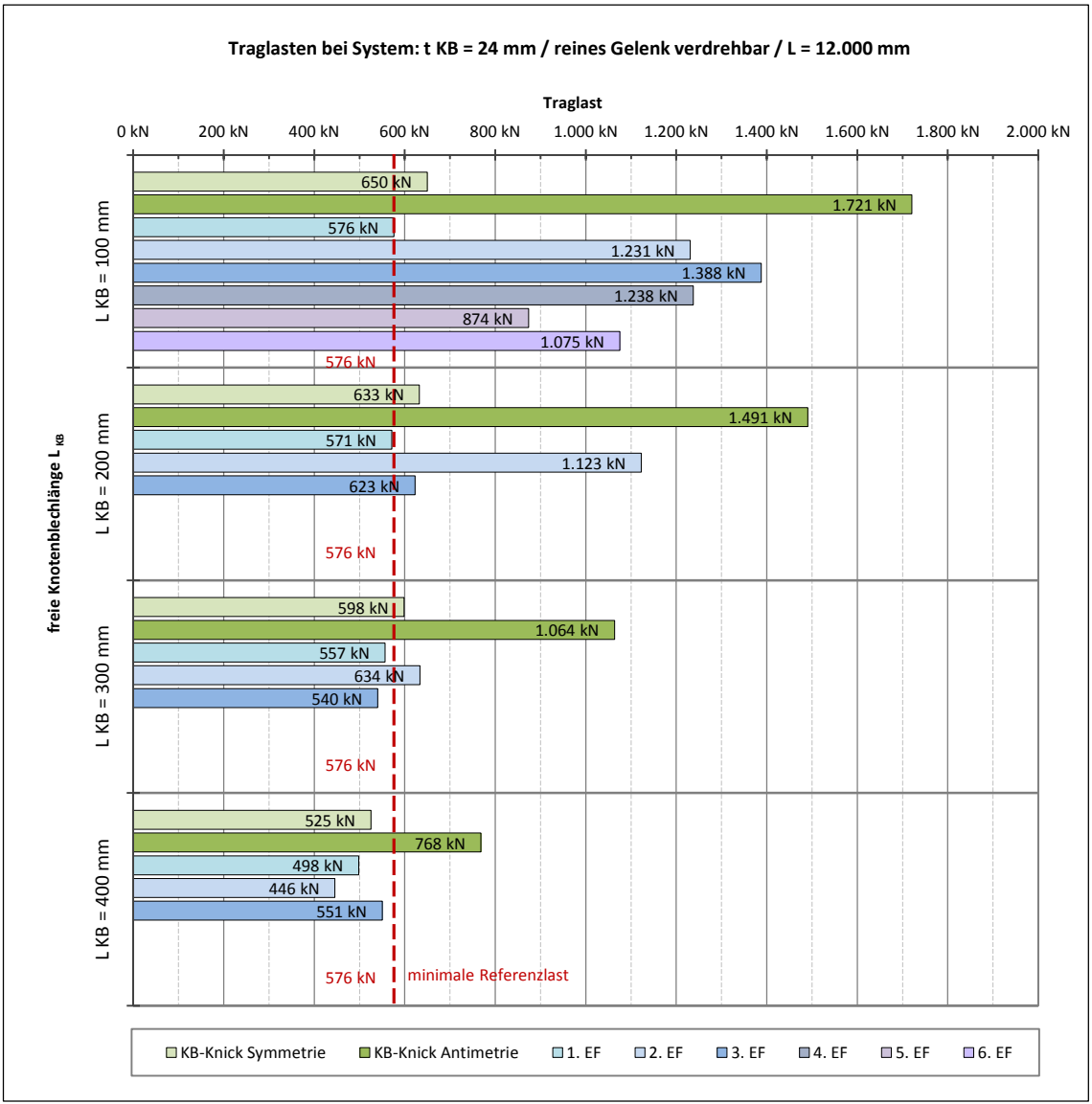


Abbildung 6-36: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm

6.3.2 Darstellung und Analyse der maßgebenden Traglasten in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und Knotenblechlängen

In den nachfolgenden Abbildungen 6-37 bis 6-39 soll die ungünstigste Ausbildung der Auflager untersucht werden. Hierfür ist in der tabellarischen Darstellung die geringste Traglast bei identen Systemgeometrien und variierten Auflagerbedingungen fett gedruckt in oranger Schrift hervorgehoben. In Abhängigkeit der Auflagerbedingung soll auch das Absinken der Tragfähigkeit bei zunehmender freien Knotenblechlänge dargestellt werden. Dabei wurde stets die geringste (maßgebende) Traglast aus den Analysen der verschiedenen Vorverformungen aus Kapitel 6.3.1 angeführt.

In den Liniendiagrammen ist auf der Ordinate die maßgebende Traglast aus der jeweiligen maßgebenden Vorverformung aufgetragen. Auf der Abszisse ist die Variation der freien Knotenblechlänge dargestellt.

Wie in den Abbildungen 6-37 bis 6-39 ersichtlich ist, weichen die maßgebenden Traglasten der Auflagerbedingung eingespannt deutlich von der Auflagerbedingung reines Gelenk biegesteif ab. Somit liegt ein wesentlich anderes Verhalten als bei Systemen mit dem dünnen Knotenblech, wie es in Kapitel 6.2.2 beschrieben wird, vor. Dies ist auf die unterschiedliche Versagensart zurückzuführen. Bei der Lagerung reines Gelenk biegesteif ist bei sämtlichen Systemen globales Stabversagen maßgebend, im Gegensatz zur eingespannten Lagerung, wo in den überwiegenden Fällen Knotenblechversagen maßgebend wird.

Aus der weiteren Analyse der Ergebnisse kann folgende Schlussfolgerung hinsichtlich des Einflusses der Lagerungsbedingungen auf die erreichbare Traglast gezogen werden: Wenn bei sämtlichen Systemen Knotenblechversagen vorliegt, liefern die Lagerungsbedingungen eingespannt und reines Gelenk biegesteif ähnliche Traglastergebnisse. Gleiches gilt für die Lagerungsbedingung gelenkig und reines Gelenk verdrehweich. Wenn allerdings bei sämtlichen Systemen Stabversagen vorliegt, führt die eingeschränkte globale Rotationsmöglichkeit des Gesamtsystems an den Enden zu ähnlichen Traglastergebnissen bei der Lagerung eingespannt und gelenkig. Diese Traglasten liegen dann deutlich über den Ergebnissen aus den Berechnungen mit der Lagerung reines Gelenk biegesteif / verdrehweich, wo eine freie globale Rotation an den Systemenden vorliegt.

Insbesondere bei der eingespannten Lagerung tritt in Abhängigkeit von der Knotenblechlänge sowohl Stabversagen als auch Knotenblechversagen auf. Sämtliche Ergebnisse liegen dabei über den Systemberechnungen mit der Lagerung reines Gelenk biegesteif, welche zu globalem Stabversagen führt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die eingespannte Lagerung sowohl die globale Rotationsmöglichkeit des Stabes als auch die lokale Rotationsmöglichkeit der einzelnen Knotenbleche einschränkt und dadurch höhere Traglasten erreicht werden können.

Abbildung 6-39 zeigt bei den freien Knotenblechlängen von $L_{KB} = 100$ mm und $L_{KB} = 200$ mm eine Abweichung der Traglastergebnisse zwischen den Lagerungsbedingungen gelenkig und reines Gelenk verdrehweich. Ursache hierfür ist wiederum die Versagensart. Bei diesen beiden Systemen tritt bei der Lagerung reines Gelenk verdrehweich globales Stabversagen ein und liefert somit ähnliche Ergebnisse wie die Lagerung reines Gelenk biegesteif, die unter den Traglasten der gelenkigen Lagerung liegen, wo Knotenblechversagen auftritt.

Maßgebende Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm				
Randbedingungen:	eingespannt	gelenkig	reines Gelenk biegesteif	reines Gelenk verdrehbar
L_{KB} = 100 mm	1.731 kN	**1.514 kN**	1.619 kN	1.523 kN
L_{KB} = 200 mm	1.764 kN	**1.147 kN**	1.614 kN	1.158 kN
L_{KB} = 300 mm	1.664 kN	**885 kN**	1.597 kN	929 kN
L_{KB} = 400 mm	1.532 kN	**684 kN**	1.553 kN	693 kN
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile				

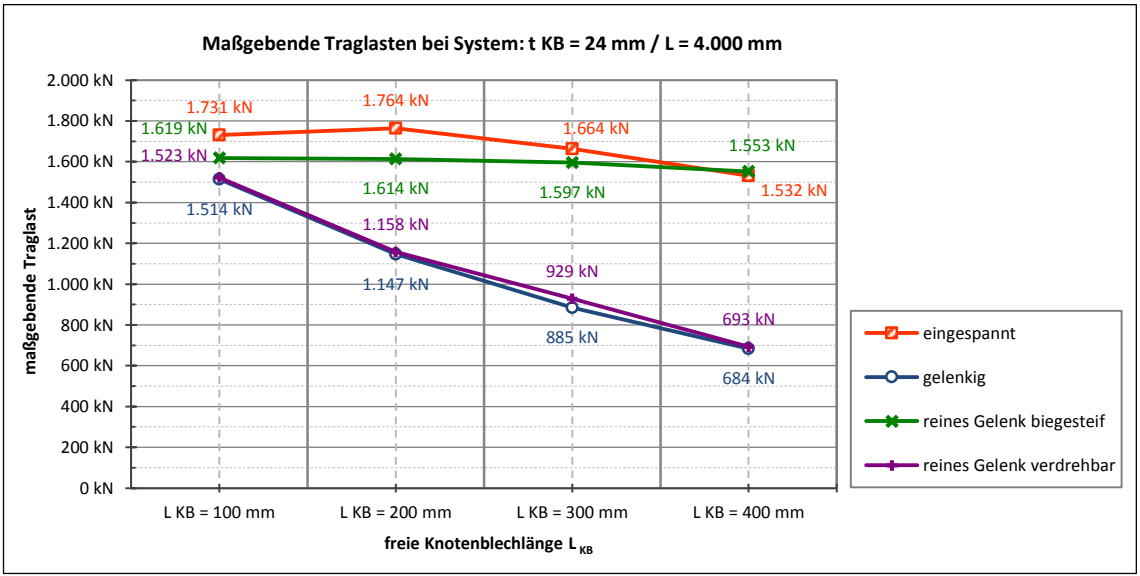


Abbildung 6-37: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen

Maßgebende Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm				
Randbedingungen:	eingespannt	gelenkig	reines Gelenk biegesteif	reines Gelenk verdrehbar
L_{KB} = 100 mm	1.613 kN	1.103 kN	1.092 kN	**1.087 kN**
L_{KB} = 200 mm	1.531 kN	**816 kN**	1.087 kN	898 kN
L_{KB} = 300 mm	1.341 kN	669 kN	1.078 kN	**659 kN**
L_{KB} = 400 mm	1.174 kN	**535 kN**	1.054 kN	540 kN
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile				

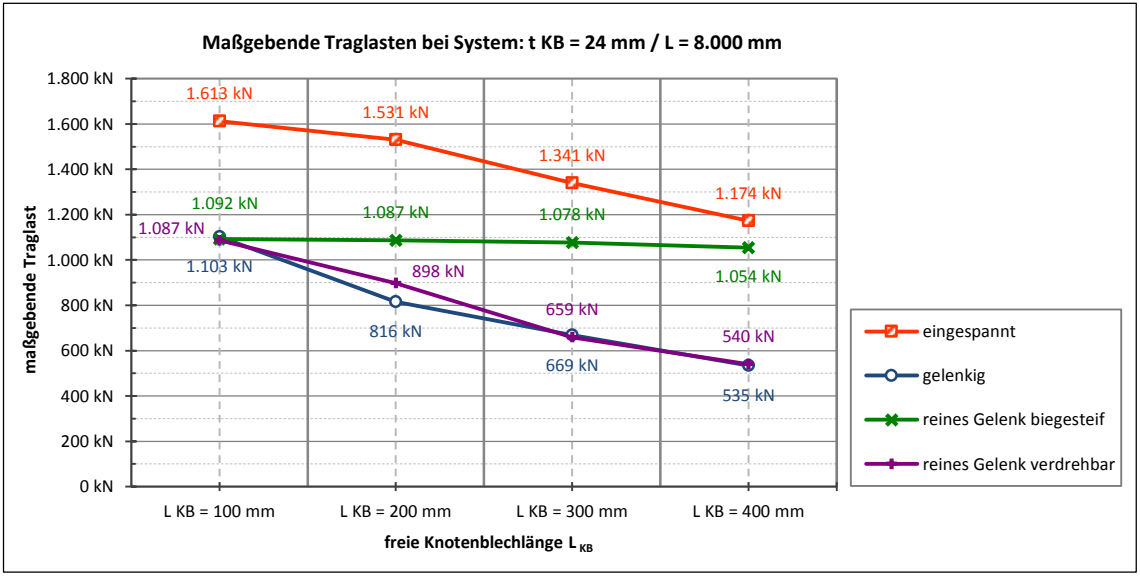


Abbildung 6-38: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen

Maßgebende Traglasten bei System: t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm				
Randbedingungen:	eingespannt	gelenkig	reines Gelenk biegesteif	reines Gelenk verdrehbar
L_{KB} = 100 mm	1.427 kN	857 kN	579 kN	**576 kN**
L_{KB} = 200 mm	1.325 kN	653 kN	576 kN	**571 kN**
L_{KB} = 300 mm	1.122 kN	**512 kN**	574 kN	540 kN
L_{KB} = 400 mm	1.023 kN	**430 kN**	569 kN	446 kN
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile				

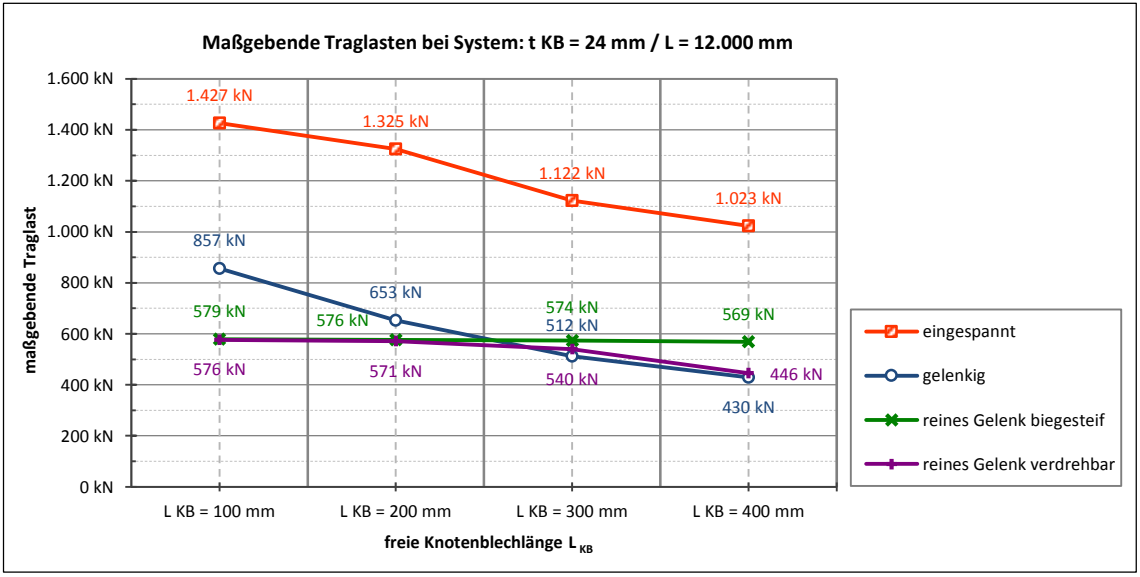


Abbildung 6-39: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen

6.3.3 Darstellung und Analyse der maßgebenden Traglasten beim Ansatz eines Knotenblechknicks im Vergleich mit einer eigenformaffinen Vorverformung als Imperfektionsfigur

In den nachfolgenden Abbildungen 6-41 bis 6-44 soll die Tragfähigkeit beim Ansatz eines Knotenblechknickes mit der Tragfähigkeit beim Ansatz einer eigenformaffinen Vorverformung verglichen werden. Wesentlichen Einfluss hat hierbei der Ansatz der Imperfektionsamplituden, die in Abbildung 6-40 für sämtliche Systeme mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 24 mm dargestellt sind. Um die weiteren Auswertungen besser beurteilen zu können, sind in dieser Abbildung die Imperfektionsamplitude beim Ansatz des Knotenblechknickes $e_{0,KB} = L_{KB} / 100$, welche abhängig von der freien Knotenblechlänge ist, und die Imperfektionsamplitude beim Ansatz der eigenformaffinen Vorverformung $e_{0,EF} = L / 750$, welche abhängig von der Systemlänge ist, gegenübergestellt.

Eine detaillierte Erläuterung zur Wahl und zum Ansatz der Imperfektionen ist in Kapitel 2.5 angeführt.

Insbesonders bei Systemen mit einer kurzen freien Knotenblechlänge und großer Systemlänge weisen die Imperfektionsamplituden der eigenformaffinen Vorverformung und der Vorverformung zufolge des Knotenblechknickes eine sehr große Differenz auf. In Abbildung 6-40 ist diese Differenz visuell als Säulendiagramm dargestellt. Dabei sind auf der Ordinate die Imperfektionsamplituden und auf der Abszisse die freien Knotenblechlängen aufgetragen. Zusätzlich sind die Imperfektionsamplituden für sämtliche Systemlängen gegenübergestellt.

In den Abbildungen 6-41 bis 6-44 sind die maßgebenden Tragfähigkeiten für die jeweiligen Systeme zufolge des Knotenblechknickes und der eigenformaffinen Vorverformung tabellarisch und auf der Ordinate des Diagramms gegenübergestellt. Pro Abbildung werden hierbei stets Systeme mit der gleichen freien Knotenblechlänge mit verschiedenen Auflagerbedingungen, welche auf der Abszisse des Säulendiagramms aufgetragen sind, untersucht. In der Tabelle sind die geringsten Traglasten bezogen auf die Variation der Auflagerbedingungen fett gedruckt in violetter Schrift hervorgehoben. Wie in der Legende des Säulendiagramms dargestellt, sind die Ergebnisse von Systemen mit einer Länge von L = 4.000 mm in blau, Systeme mit einer Länge von L = 8.000 mm in violett und Systeme mit einer Länge von L = 12.000 mm in rot abgebildet.

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Systeme mit der Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm ist bei den Systemen mit t_{KB} = 24 mm die Interpretation der Traglasten auf Basis der angesetzten Imperfektionsamplitude deutlich komplexer und nicht mehr derart eindeutig. Da bei einigen Systemen auch Stabversagen maßgebend wird, ist bei der Systemlänge von L = 12.000 mm und der Lagerung reines Gelenk biegesteif / verdrehweich trotz einer deutlichen Abweichung der angesetzten Imperfektionsamplituden zwischen Knotenblechknick und eigenformaffiner Vorverformung lediglich eine geringe Differenz bei den Ergebnissen aufgetreten. (siehe Abbildung 6-41 bis 6-44)

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass bei globalem Stabversagen die angesetzte Imperfektionsamplitude einen deutlich geringeren Einfluss als bei Knotenblechversagen hat.

Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden für KB-Knick und EF						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$e_{0,EF} = L / 750$
L_{KB} = 100 mm	1,0 mm	5,3 mm	1,0 mm	10,7 mm	1,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 200 mm	2,0 mm	5,3 mm	2,0 mm	10,7 mm	2,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 300 mm	3,0 mm	5,3 mm	3,0 mm	10,7 mm	3,0 mm	16,0 mm
L_{KB} = 400 mm	4,0 mm	5,3 mm	4,0 mm	10,7 mm	4,0 mm	16,0 mm

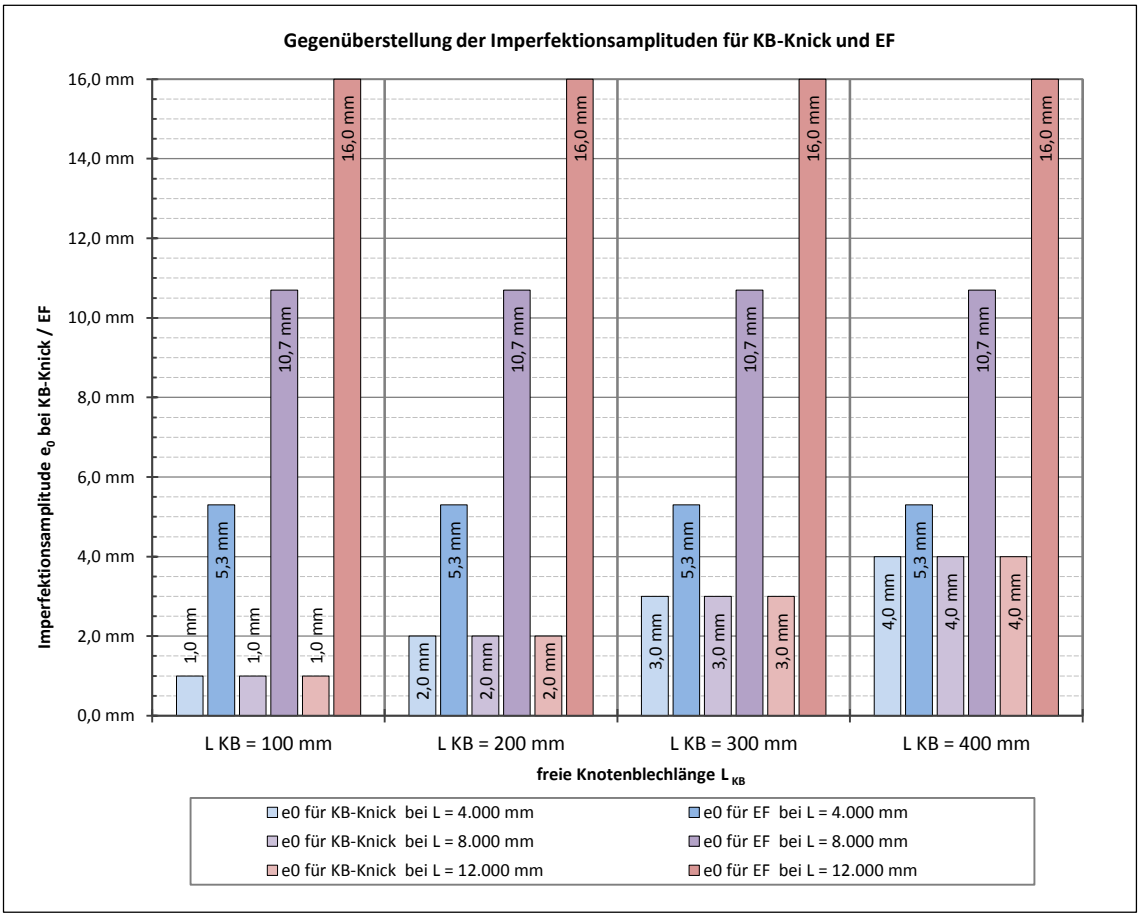


Abbildung 6-40: Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden für KB-Knick und EF

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 100 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	1.787 kN	1.731 kN	1.785 kN	1.613 kN	1.764 kN	1.427 kN
gelenkig	1.787 kN	**1.514 kN**	1.787 kN	1.103 kN	1.761 kN	857 kN
reines Gelenk biegesteif	1.740 kN	1.619 kN	1.376 kN	1.092 kN	**650 kN**	579 kN
reines Gelenk verdrehbar	**1.732 kN**	1.523 kN	**1.362 kN**	**1.087 kN**	**650 kN**	**576 kN**
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 1,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 1,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 1,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

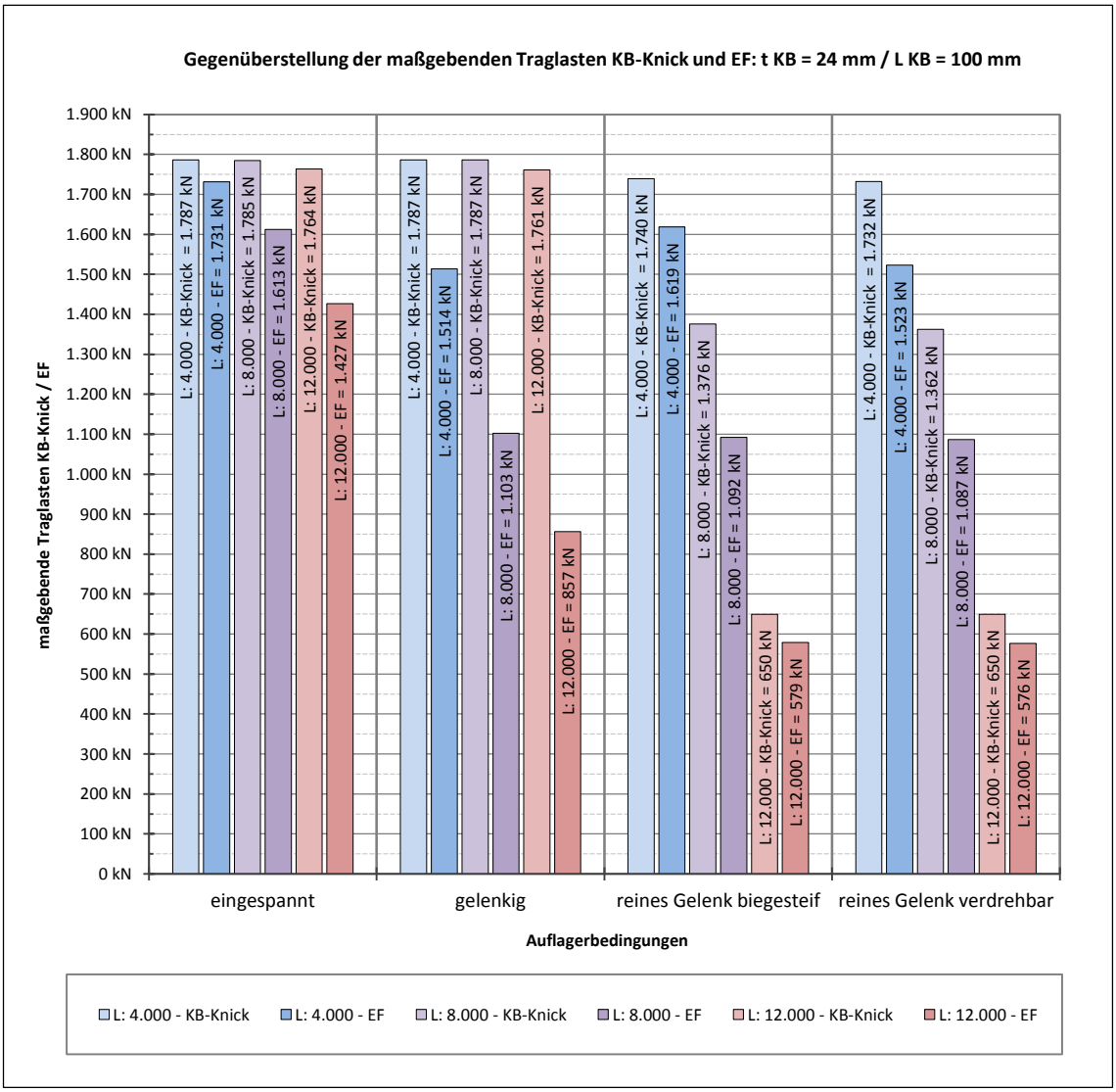


Abbildung 6-41: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 100 mm

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 200 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	1.785 kN	1.764 kN	1.787 kN	1.531 kN	1.761 kN	1.325 kN
gelenkig	1.534 kN	**1.147 kN**	1.533 kN	**816 kN**	1.528 kN	653 kN
reines Gelenk biegesteif	1.695 kN	1.614 kN	1.303 kN	1.087 kN	642 kN	576 kN
reines Gelenk verdrehbar	**1.491 kN**	1.158 kN	**1.218 kN**	898 kN	**633 kN**	**571 kN**
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 2,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 2,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 2,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

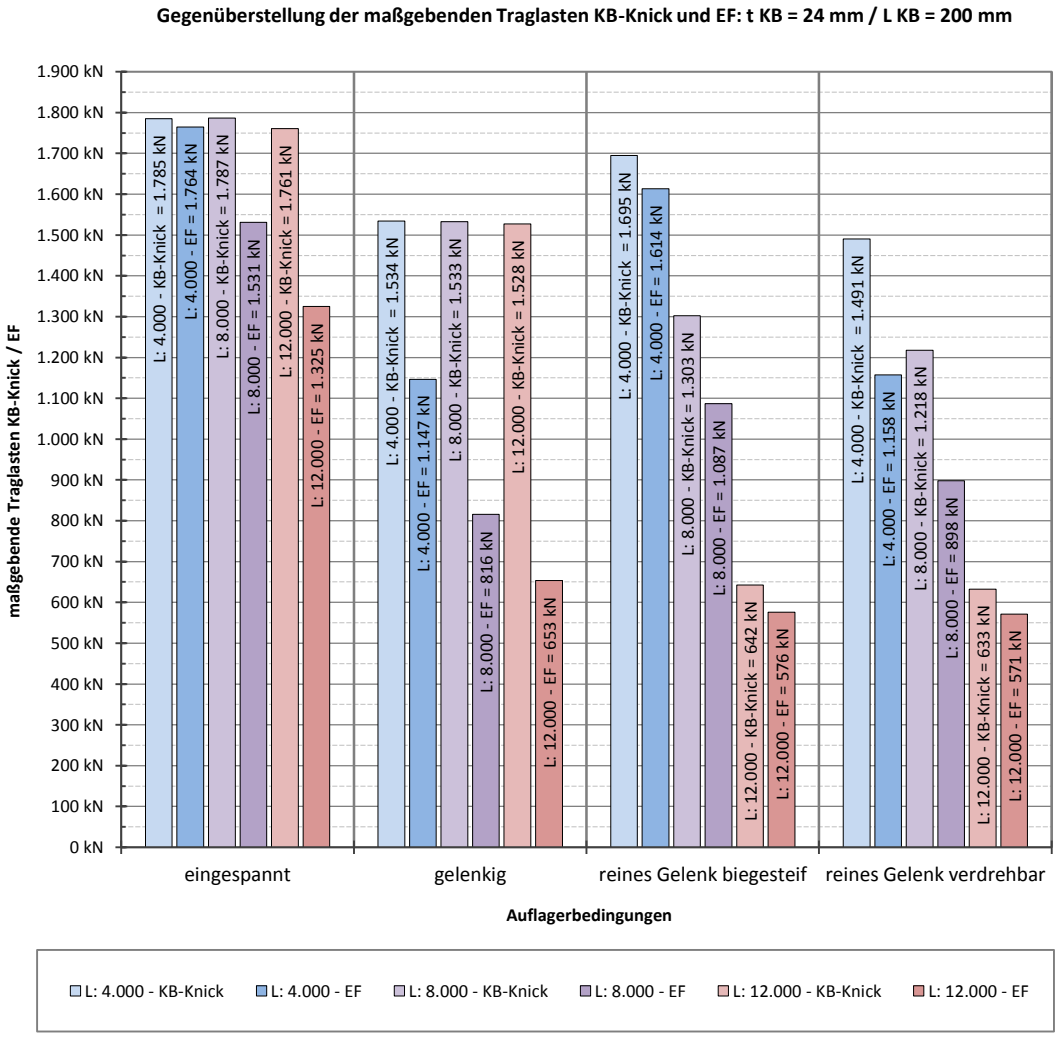


Abbildung 6-42: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 200 mm

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 300 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	1.784 kN	1.664 kN	1.783 kN	1.341 kN	1.756 kN	1.122 kN
gelenkig	1.075 kN	**885 kN**	1.075 kN	669 kN	1.073 kN	**512 kN**
reines Gelenk biegesteif	1.644 kN	1.597 kN	1.232 kN	1.078 kN	630 kN	574 kN
reines Gelenk verdrehbar	**1.039 kN**	929 kN	**912 kN**	**659 kN**	**598 kN**	540 kN
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 3,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 3,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 3,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

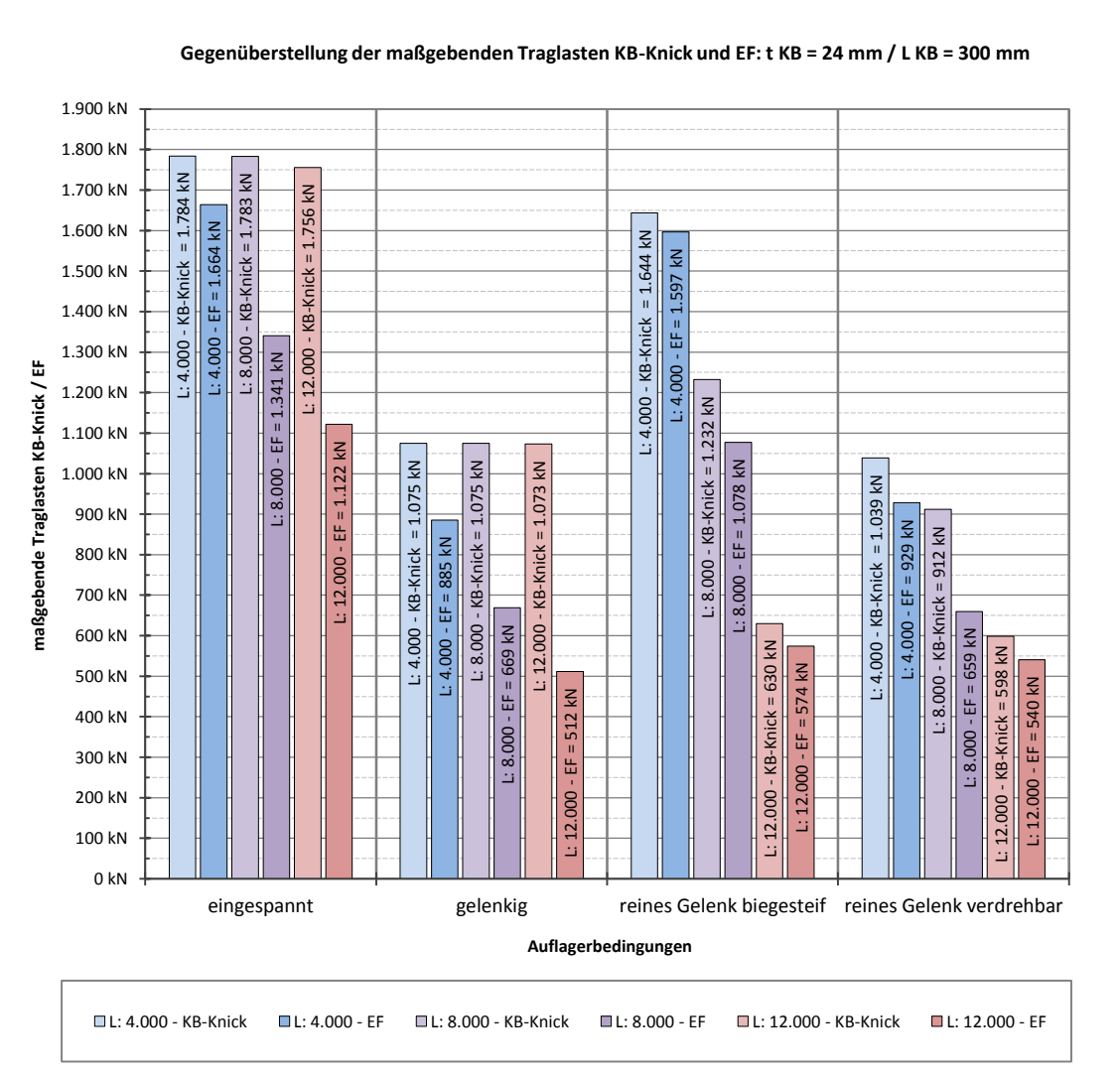


Abbildung 6-43: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 300 mm

Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten KB-Knick und EF: t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 400 mm						
Systemlängen:	**L = 4.000 mm**		**L = 8.000 mm**		**L = 12.000 mm**	
Randbedingungen:	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF	KB-Knick	EF
eingespannt	1.666 kN	1.532 kN	1.664 kN	1.174 kN	1.652 kN	1.023 kN
gelenkig	758 kN	**684 kN**	758 kN	**535 kN**	756 kN	**430 kN**
reines Gelenk biegesteif	1.556 kN	1.553 kN	1.158 kN	1.054 kN	617 kN	569 kN
reines Gelenk verdrehbar	**735 kN**	693 kN	**669 kN**	540 kN	**525 kN**	446 kN
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB}$ = 4,0 mm	$e_{0,EF}$ = 5,3 mm	$e_{0,KB}$ = 4,0 mm	$e_{0,EF}$ = 10,7 mm	$e_{0,KB}$ = 4,0 mm	$e_{0,EF}$ = 16,0 mm
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Spalte						

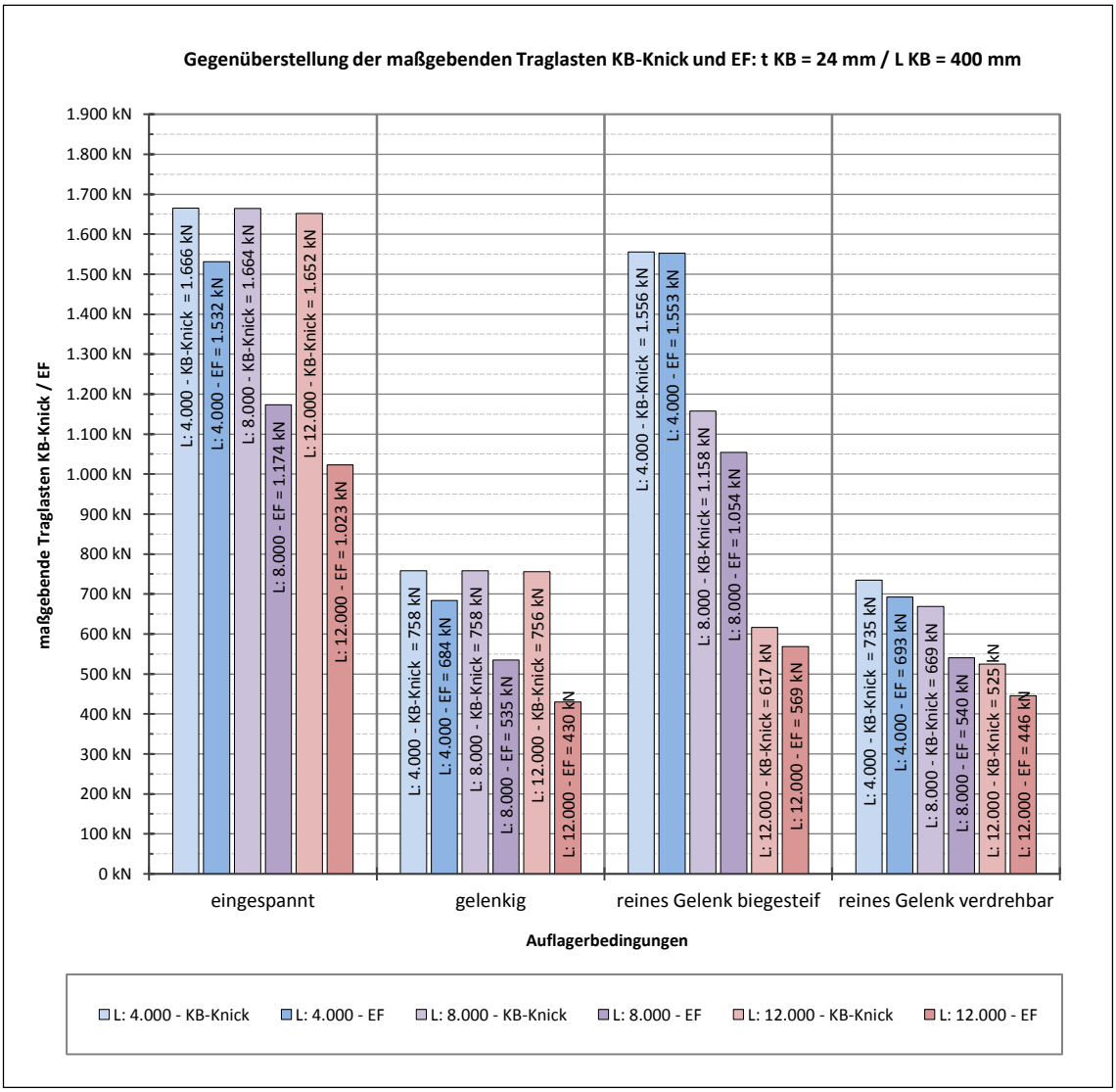


Abbildung 6-44: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 400 mm

6.3.4 Gegenüberstellung der maßgebenden Traglast aus dem Ansatz des Knotenblechknickes und der eigenformaffinen Vorverformung sowie der Referenztraglasten

Um zu überprüfen, ob bei der praktischen Anwendung von ingenieurmäßigen Nachweisverfahren im Vergleich zu realitätsnahen numerischen Berechnungen ein Überschätzen der aufnehmbaren Tragfähigkeit vorliegt, wurden in Tabelle 6-2 für sämtliche Systeme mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 24 mm die minimalen Referenzlasten (siehe Kapitel 4) mit den maßgebenden Ergebnissen aus den Traglastberechnungen bei eigenformaffiner Vorverformung und beim Ansatz des Knotenblechknickes gegenübergestellt. Dabei ist in den Klammern die prozentuelle Abweichung von der minimalen Referenztraglast $N_{min, R}$ angegeben.

Die nachfolgenden Abbildungen 6-45 bis 6-48 basieren auf den Daten der Tabelle 6-2 und sollen in Form von Liniendiagrammen die Referenzlasten mit den Ergebnissen der eigenformaffinen Vorverformung bzw. mit dem Ansatz eines Knotenblechknickes gegenüberstellen. Um die Auswirkung einer zunehmenden freien Knotenblechlänge darzustellen, wurde auf der Ordinate die maßgebende Traglast und auf der Abszisse die freie Knotenblechlänge aufgetragen.

Die Tabelle 6-2 veranschaulicht, dass auch beim Knotenblech mit einer Dicke von t_{KB} = 24 mm die numerischen Berechnungen mit eigenformaffinen Vorverformungen in den überwiegenden Fällen unter den maßgebenden Referenzlasten liegen. Einzig bei den Berechnungen mit der Lagerungsbedingung reines Gelenk biegesteif liegt bei allen untersuchten System- und Knotenblechlängen eine ausreichende Tragsicherheit bei der Anwendung von ingenieurmäßigen Berechnungsverfahren vor (sämtliche Ergebnisse liegen maximal 5 % unter den Referenzlasten). Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesen Systemen stets Stabversagen aufgetreten ist und somit die freie Knotenblechlänge keinen bemessungsbestimmenden Einfluss auf die Tragfähigkeit hatte.

Bei der Auflagerbedingung eingespannt, gelenkig und reines Gelenk verdrehweich ist jedoch auch bei der Knotenblechdicke von t_{KB} = 24 mm in einigen Fällen Knotenblechversagen eingetreten, was zu einer deutlichen Reduktion der Tragfähigkeit bei zunehmender freien Knotenblechlänge führte.

Ingenieurmäßige Verfahren nach derzeitigem Stand der Technik können diese Tragfähigkeitsreduktion nicht berücksichtigen und führen somit auch bei einer hohen Knotenblechsteifigkeit zu einem Überschätzen der aufnehmbaren Traglasten. Dies wird in den nachfolgenden Abbildungen 6-45 bis 6-48 an der horizontal verlaufenden rot-strichlierten Linie der minimalen Referenzlast ersichtlich. Als minimale Referenzlast wird bei sämtlichen Systemen der Knotenblechdicke von t_{KB} = 24 mm der globale Stabilitätsnachweis des Gesamtstabes maßgebend, da der Einfluss der freien Knotenblechlänge durch die Methoden nach Eurocode 3 nicht ausreichend erfasst werden können.

Sobald aufgrund der zunehmenden freien Knotenblechlänge bei den Systemen Knotenblechversagen eintritt, sinken die aufnehmbaren Traglasten stark ab und liegen deutlich unter den Referenzlasten.

Besonders hoch ist die Differenz der Referenzlasten zu den Ergebnissen der numerischen Berechnungen bei der gelenkigen Lagerung (siehe Abbildung 6-46). Bereits ab einer freien

Knotenblechlänge von $L_{KB} = 200$ mm kann lediglich eine wesentlich geringere Traglast aufgenommen werden als die Berechnungen der minimalen Referenzlasten ergeben. Bei einer freien Knotenblechlänge von $L_{KB} = 400$ mm ist bei sämtlichen Systemlängen mit dieser Auflagerbedingung die Tragfähigkeit auf weniger als die Hälfte abgesunken. Bei der gelenkigen Lagerung liegt die Ursache für die derart große Differenz zwischen Traglasten und Referenzlasten bei der unterschiedlichen Versagensart. Wie bereits erwähnt wird bei den Berechnungen der Referenzlasten bei sämtlichen Systemen globales Stabversagen maßgebend, wobei hierfür bei der gelenkigen Lagerung aufgrund des eingeschränkten globalen Rotationsvermögens des Systems ein eingespannter Referenzstab für die Durchführung des Stabilitätsnachweises des Gesamtstabs zugrunde gelegt wurde. (Eine ausführliche Erläuterung hierzu ist in Kapitel 4 nachzulesen.) Bei den numerischen Traglastberechnungen wird jedoch Knotenblechversagen maßgebend, wobei nicht das globale Rotationsvermögen des Systems sondern das lokale Rotationsvermögen der einzelnen Knotenbleche entscheidenden Einfluss auf die Tragfähigkeit hat. Bei der gelenkigen Lagerung liegt ein freies lokales Rotationsvermögen der einzelnen Knotenbleche vor und führt dadurch zu deutlich geringeren Traglasten.

Bei der Lagerung als reines Gelenk verdrehweich liegen die Traglasten zwar auch unter den Referenzlasten, die Differenz ist jedoch insbesonders bei der Systemlänge von $L = 12.000$ mm deutlich geringer als bei der gelenkigen Lagerung. Ursache hierfür ist die geringere Referenzlast, da bei der Lagerung als reines Gelenk verdrehweich sowohl ein freies globales Rotationsvermögen des Systems als auch ein freies lokales Rotationsvermögen der einzelnen Knotenbleche vorliegt. Bei der Durchführung des Stabilitätsnachweises des Systems wurde somit als Referenzsystem ein Pendelstab zugrunde gelegt, wodurch geringere Referenzlasten im Vergleich zu den Lagerungen eingespannt und gelenkig erreicht wurden. Dennoch ist hierbei anzumerken, dass mit ingenieurmäßigen Verfahren die Traglasten dieser Systeme zwar eine geringere Abweichung zu den numerischen Ergebnissen aufweisen, das Tragverhalten jedoch nicht korrekt abgebildet werden kann.

Gegenüberstellung der minimalen Werte für N_R, $N_{KB\text{-}Knick}$, N_{EF} bei t_{KB} = 24 mm					
Abweichung von Referenzlast $N_{min,R}$ (± %)			$N_{min,R}$	$N_{min,KB\text{-}Knick}$ $e_{0,KB} = L_{KB} / 100$	$N_{min,EF}$ $e_{0,EF} = L / 750$
Parameter:					
eingespannt	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.729 kN	1.787 kN (+ 3,3 %)	1.731 kN (+ 0,1 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.729 kN	1.785 kN (+ 3,3 %)	1.764 kN (+ 2,1 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.729 kN	1.784 kN (+ 3,2 %)	1.664 kN (- 3,8 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.729 kN	1.666 kN (- 3,7 %)	1.532 kN (- 11,4 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.622 kN	1.785 kN (+ 10,0 %)	1.613 kN (- 0,6 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.622 kN	1.787 kN (+ 10,2 %)	1.531 kN (- 5,6 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.622 kN	1.783 kN (+ 10,0 %)	1.341 kN (- 17,3 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.622 kN	1.664 kN (+ 2,6 %)	1.174 kN (- 27,6 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.416 kN	1.764 kN (+ 24,6 %)	1.427 kN (+ 0,8 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.416 kN	1.761 kN (+ 24,4 %)	1.325 kN (- 6,4 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.416 kN	1.756 kN (+ 24,1 %)	1.122 kN (- 20,7 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.416 kN	1.652 kN (+ 16,7 %)	1.023 kN (- 27,7 %)
gelenkig	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.729 kN	1.787 kN (+ 3,3 %)	1.514 kN (- 12,4 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.729 kN	1.534 kN (- 11,3 %)	1.147 kN (- 33,7 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.729 kN	1.075 kN (- 37,8 %)	885 kN (- 48,8 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.729 kN	758 kN (- 56,1 %)	684 kN (- 60,5 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.622 kN	1.787 kN (+ 10,2 %)	1.103 kN (- 32,0 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.622 kN	1.533 kN (- 5,5 %)	816 kN (- 49,7 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.622 kN	1.075 kN (- 33,7 %)	669 kN (- 58,7 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.622 kN	758 kN (- 53,2 %)	535 kN (- 67,0 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.416 kN	1.761 kN (+ 24,4 %)	857 kN (- 39,5 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.416 kN	1.528 kN (+ 7,9 %)	653 kN (- 53,9 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.416 kN	1.073 kN (- 24,2 %)	512 kN (- 63,9 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.416 kN	756 kN (- 46,6 %)	430 kN (- 69,6 %)
reines Gelenk biegesteif	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.622 kN	1.740 kN (+ 7,2 %)	1.619 kN (- 0,2 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.622 kN	1.695 kN (+ 4,5 %)	1.614 kN (- 0,5 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.622 kN	1.644 kN (+ 1,3 %)	1.597 kN (- 1,6 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.622 kN	1.556 kN (- 4,1 %)	1.553 kN (- 4,3 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.090 kN	1.376 kN (+ 26,3 %)	1.092 kN (+ 0,2 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.090 kN	1.303 kN (+ 19,6 %)	1.087 kN (- 0,3 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.090 kN	1.232 kN (+ 13,1 %)	1.078 kN (- 1,1 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.090 kN	1.158 kN (+ 6,3 %)	1.054 kN (- 3,3 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	576 kN	650 kN (+ 12,7 %)	579 kN (+ 0,4 %)
		L_{KB} = 200 mm	576 kN	642 kN (+ 11,5 %)	576 kN (+ 0,0 %)
		L_{KB} = 300 mm	576 kN	630 kN (+ 9,3 %)	574 kN (- 0,3 %)
		L_{KB} = 400 mm	576 kN	617 kN (+ 7,0 %)	569 kN (- 1,3 %)
reines Gelenk verdrehweich	L = 4.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.622 kN	1.732 kN (+ 6,8 %)	1.523 kN (- 6,1 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.622 kN	1.491 kN (- 8,1 %)	1.158 kN (- 28,6 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.622 kN	1.039 kN (- 36,0 %)	929 kN (- 42,8 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.622 kN	735 kN (- 54,7 %)	693 kN (- 57,3 %)
	L = 8.000 mm	L_{KB} = 100 mm	1.090 kN	1.362 kN (+ 25,0 %)	1.087 kN (- 0,3 %)
		L_{KB} = 200 mm	1.090 kN	1.218 kN (+ 11,8 %)	898 kN (- 17,6 %)
		L_{KB} = 300 mm	1.090 kN	912 kN (- 16,3 %)	659 kN (- 39,5 %)
		L_{KB} = 400 mm	1.090 kN	669 kN (- 38,6 %)	540 kN (- 50,4 %)
	L = 12.000 mm	L_{KB} = 100 mm	576 kN	650 kN (+ 12,7 %)	576 kN (+ 0,0 %)
		L_{KB} = 200 mm	576 kN	633 kN (+ 9,8 %)	571 kN (- 0,9 %)
		L_{KB} = 300 mm	576 kN	598 kN (+ 3,8 %)	540 kN (- 6,2 %)
		L_{KB} = 400 mm	576 kN	525 kN (- 8,9 %)	446 kN (- 22,6 %)

Tabelle 6-2: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm

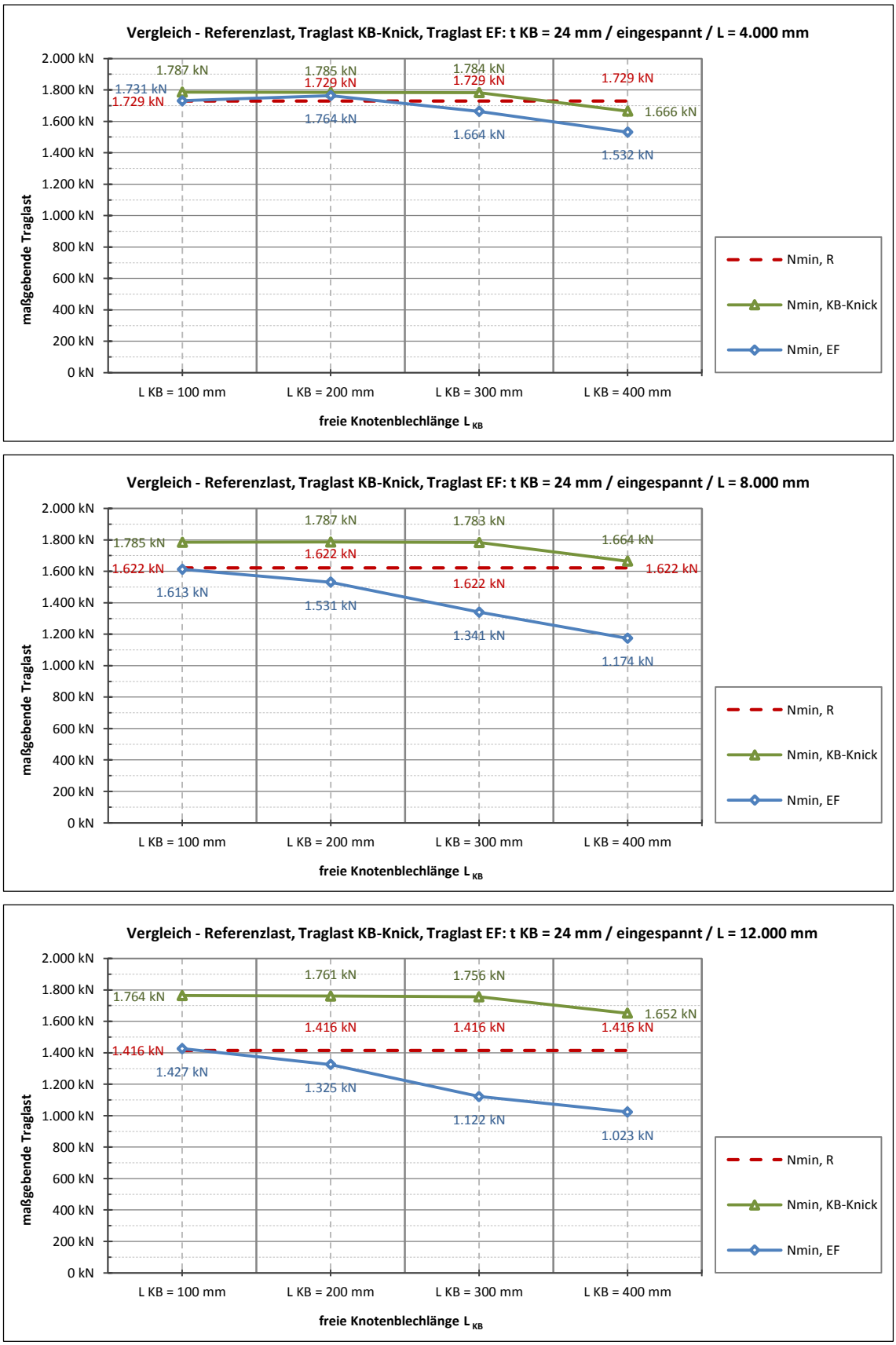


Abbildung 6-45: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt

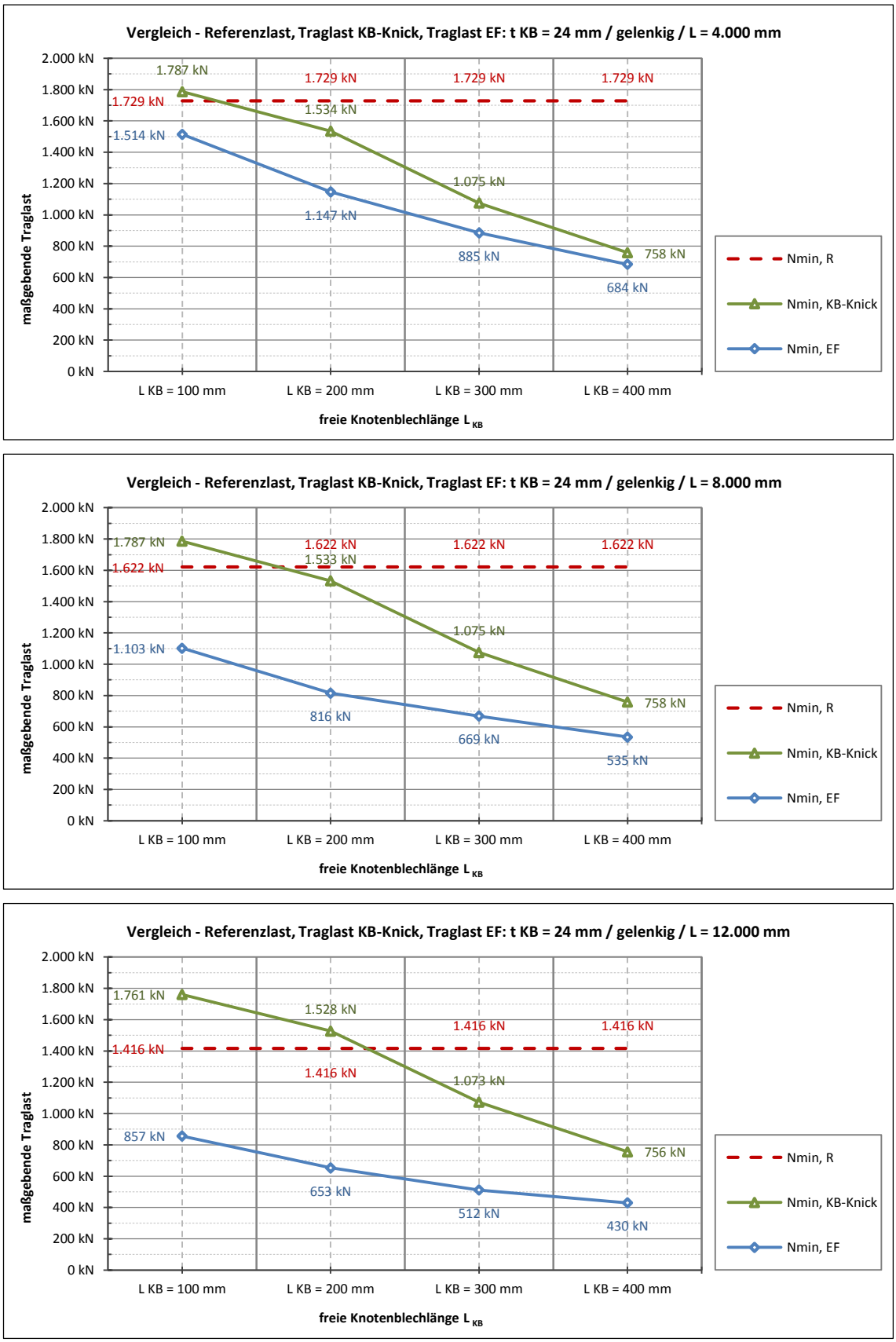
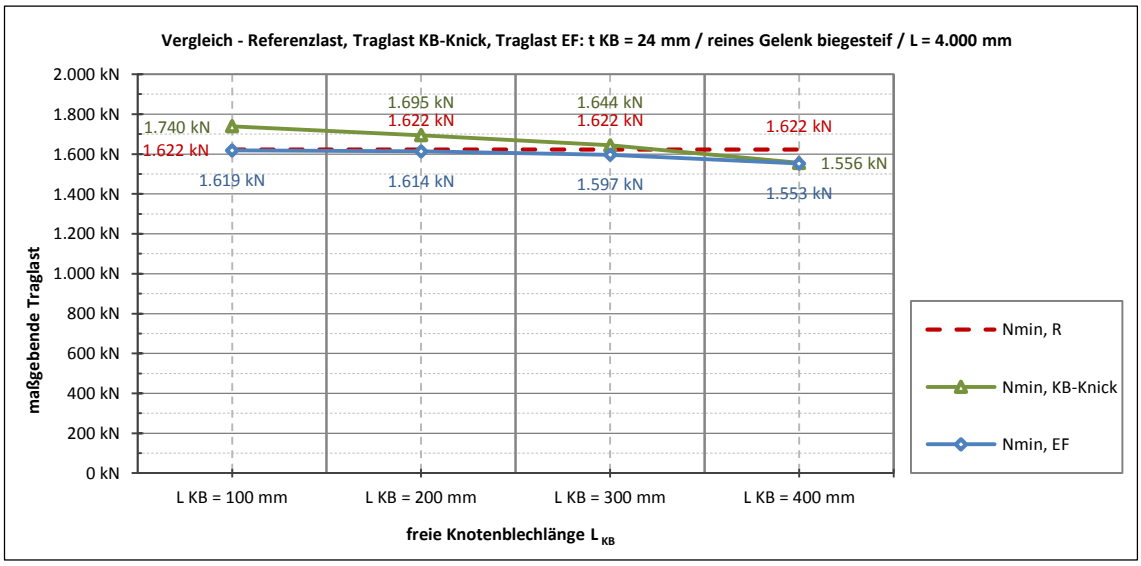
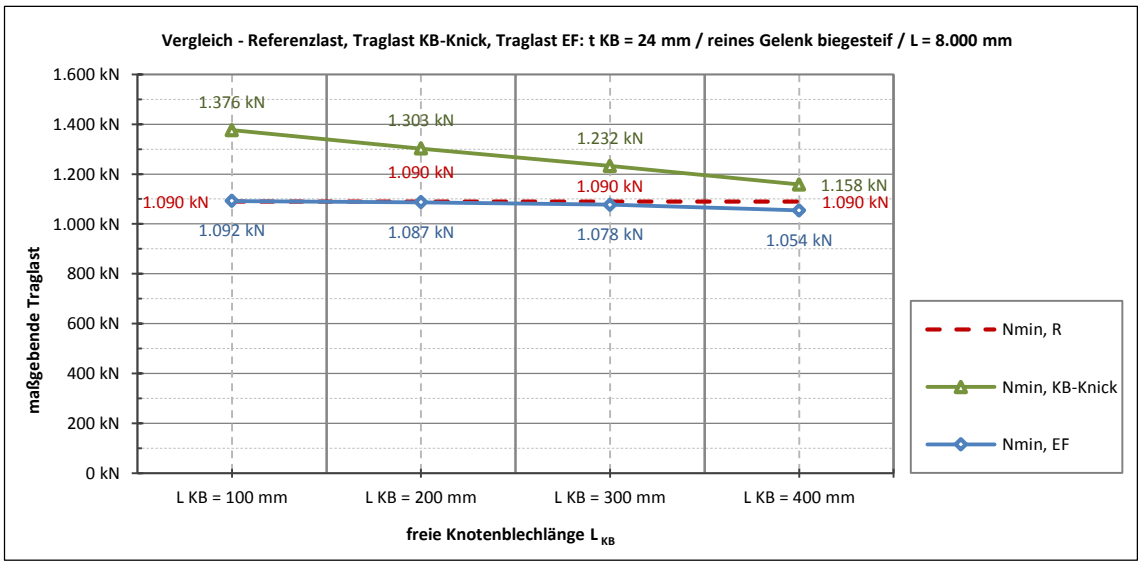


Abbildung 6-46: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig





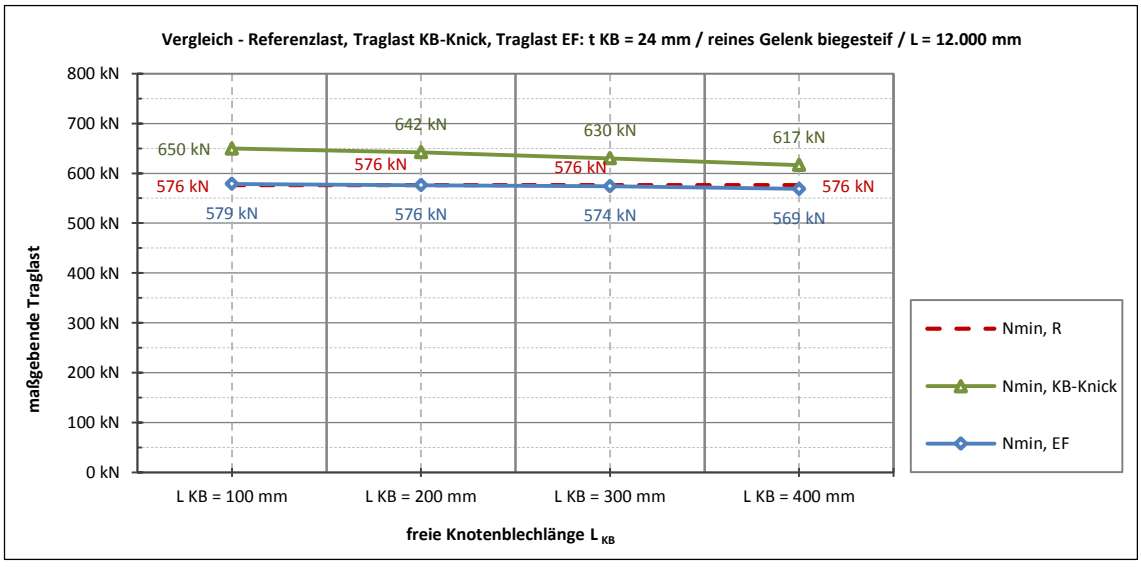
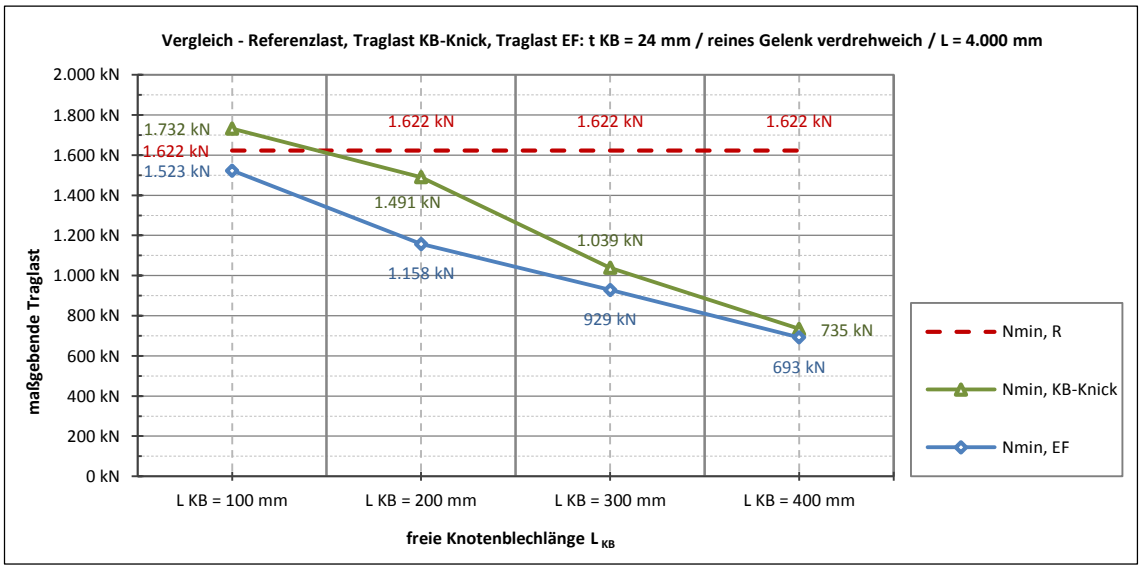
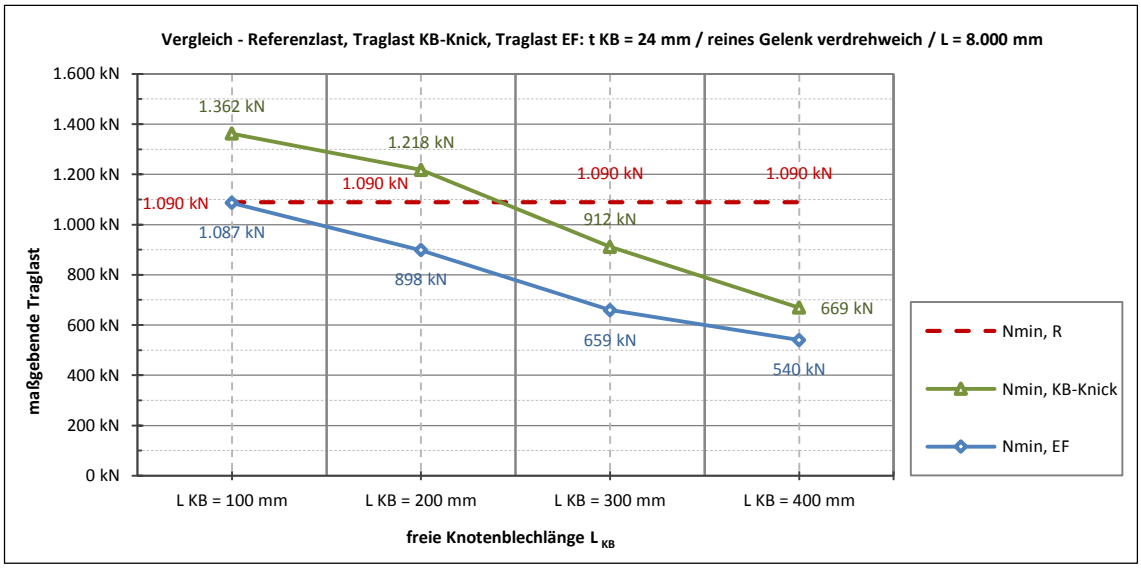


Abbildung 6-47: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif





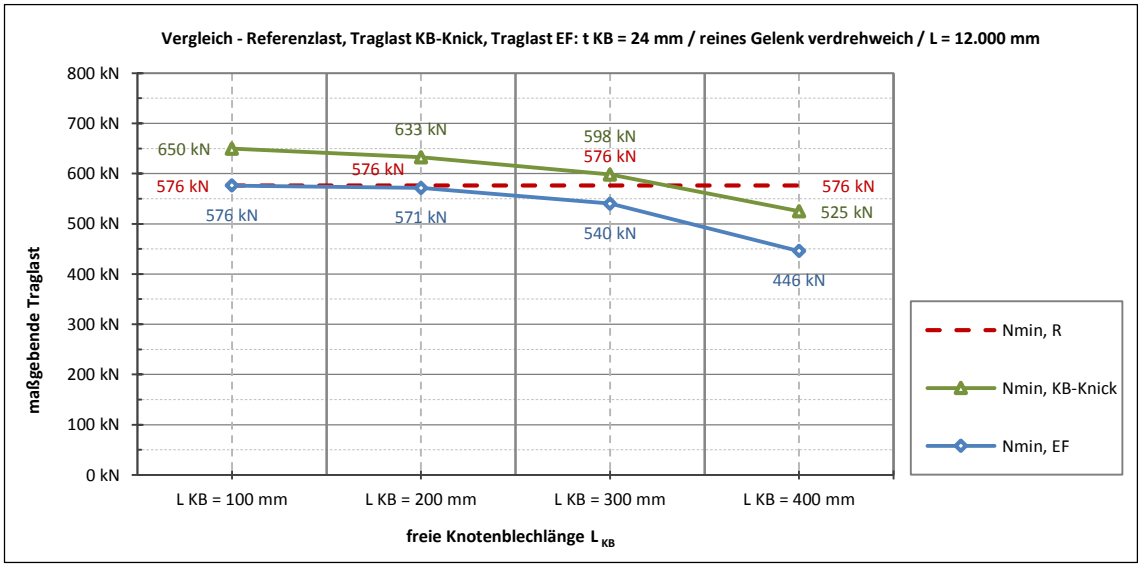


Abbildung 6-48: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich

7 Resümee

Abschließend werden in diesem Kapitel die wesentlichen Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung auf Basis der Analyse der Ergebnisse zusammengefasst. Des Weiteren sollen die Ergebnisse mit vorherigen Studien verglichen und so ihre Richtigkeit verifiziert werden.

7.1 Allgemein

Wesentliches Ergebnis dieser Arbeit ist die mit umfangreichen Traglastberechnungen bestätigte Erkenntnis, dass die aufnehmbaren Traglasten von Hohlprofilen mit angeschlossenen Knotenblechen bei der Anwendung von Berechnungsverfahren nach derzeitigem Stand der Technik zum Teil deutlich überschätzt werden. Insbesonders wenn nur die Stege des Hohlprofils ohne etwaige Verstärkung zum Knotenanschluss weitergeführt werden, kann in den überwiegenden Fällen lediglich ein Bruchteil der Tragfähigkeit eines Stabes mit konstantem Trägheitsmoment aufgenommen werden.

Aufgrund dieser Tatsache liegt absoluter Handlungsbedarf für die Überarbeitung der derzeit in der Praxis üblichen Berechnungsansätze vor. Das Verhältnis der Schlankheiten des Hohlprofils und der angeschlossenen Knotenbleche hat gravierende Auswirkung auf die Tragfähigkeit, die sich bei zunehmender Knotenblechschlankheit deutlich reduziert.

7.2 Vergleich der Ergebnisse mit vorherigen Studien

In Abbildung 7-1 und 7-2 sollen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit den Auswertungen der Traglasten von Hohlprofilen mit beidseits zentrisch eingeschlitzten Knotenblechen aus [3] gegenübergestellt werden. Bei dieser Untersuchung war jeweils ein Knotenblech an den Stabenden angeordnet, welches mittig in das Hohlprofil eingebunden wurde. Dadurch wurden eine eingespannte und eine gelenkige Auflagerung, die im Zuge von eigenformaffinen (erste und zweite Eigenform) Traglastberechnungen sowie Berechnungen mit dem Ansatz eines gleich- und gegensinnigen Knotenblechknickes untersucht. Die freie Knotenblechlänge war bei sämtlichen Berechnungen $L_{KB} = 400$ mm und es sind sämtliche Ergebnisse für maßgebendes Knotenblechversagen angeführt.

Die in Abbildung 7-1 angeführte Randbedingung „Eingespannt“ vergleicht Ergebnisse der eingespannten Lagerung der vorliegenden Arbeit mit den Ergebnissen der eingespannten Lagerung aus [3].

Abbildung 7-2 stellt die Ergebnisse der gelenkigen Lagerung aus [3] mit den Ergebnissen der Lagerung reines Gelenk verdrehweich aus der vorliegenden Parameterstudie gegenüber. Die Gegenüberstellung dieser beiden Systeme erfolgte, da jeweils sowohl ein freies globales Rotationsvermögen des Gesamtsystems als auch ein freies lokales Rotationsvermögen der Knotenbleche vorlag.

Der Vergleich der Traglasten aus Abbildung 7-1 zeigt, dass die Ausführung eines mittig eingebundenen Knotenblechs zu einem noch ungünstigeren Tragverhalten führt als die Ausführung von zwei an den Stegachsen angeschlossenen Knotenblechen. Da in [3] bei der

eingespannten Lagerung und einer Systemlänge von L = 12.000 mm globales Stabversagen eingetreten ist, wurden die Ergebnisse in der Veröffentlichung nicht angeführt.

Vergleich der Traglasten von beidseitigem und mittigem Knotenblech: Einspannung / L_{KB} = 400 mm								
Vorverformungen:	KB-Knick Symmetrie		KB-Knick Antimetrie		1. EF		2. EF	
Systemlängen:	KB beidseitig	KB mittig	KB beidseitig	KB mittig	KB beidseitig	KB mittig	KB beidseitig	KB mittig
L = 4.000 mm	1666 kN	1.373 kN	1721 kN	1.340 kN	1532 kN	1.386 kN	1592 kN	1.241 kN
L = 8.000 mm	1664 kN	1.312 kN	1669 kN	1.351 kN	1311 kN	1.213 kN	1174 kN	1.086 kN
L = 12.000 mm								
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$				$e_{0,EF} = L / 750$			

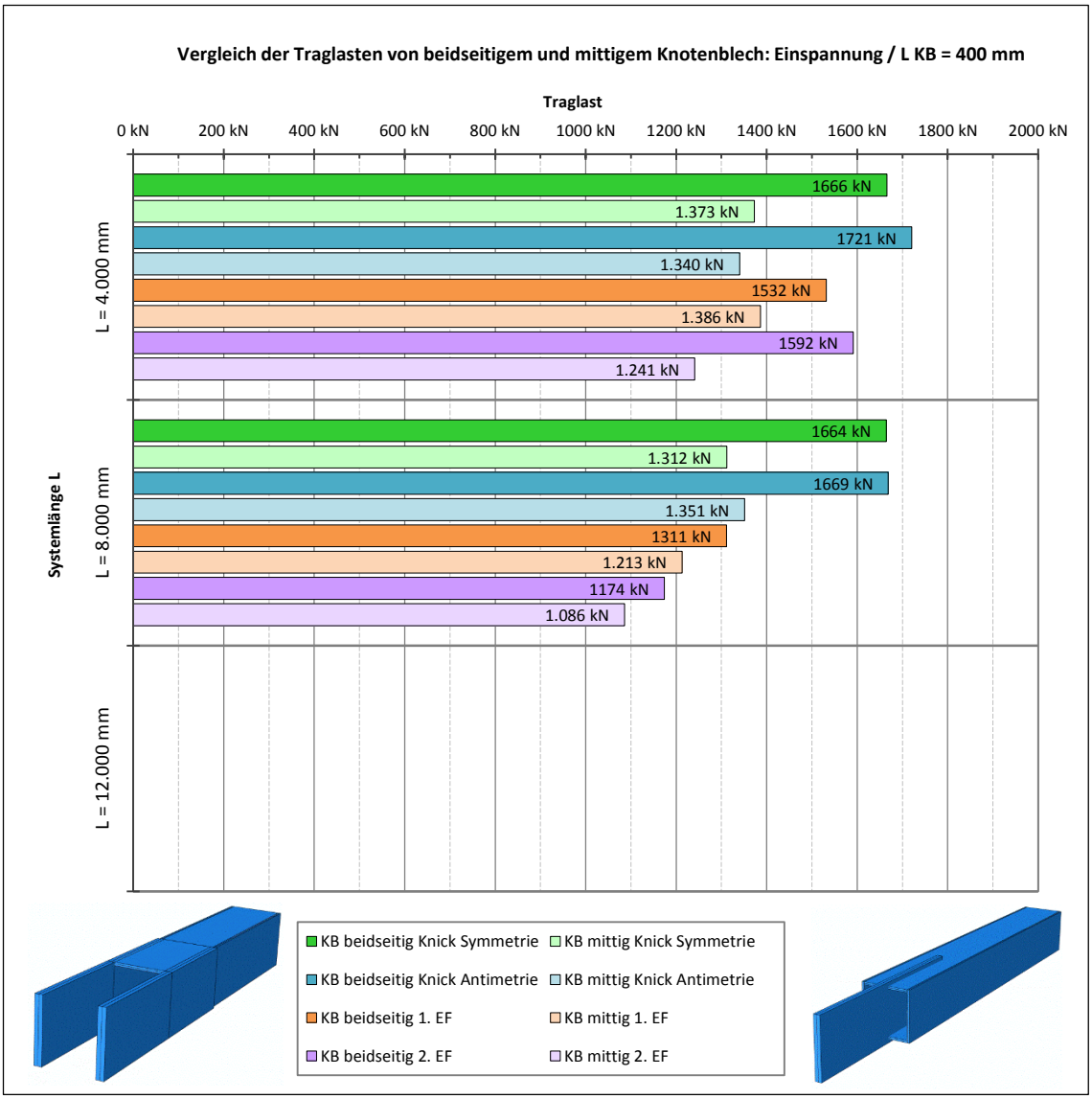


Abbildung 7-1: Vergleich der Ergebnisse aus der Parameterstudie mit der Studie aus [3] für eine eingespannte Auflagerung

Vergleich der Traglasten von beidseitigem und mittigem Knotenblech: Gelenk / L_{KB} = 400 mm								
Vorverformungen:	KB-Knick Symmetrie		KB-Knick Antimetrie		1. EF		2. EF	
Systemlängen :	KB beidseitig	KB mittig	KB beidseitig	KB mittig	KB beidseitig	KB mittig	KB beidseitig	KB mittig
L = 4.000 mm	735 kN	697 kN	912 kN	772 kN	693 kN	670 kN	756 kN	707 kN
L = 8.000 mm	669 kN	646 kN	813 kN	726 kN	618 kN	611 kN	540 kN	514 kN
L = 12.000 mm	525 kN	521 kN	768 kN	700 kN	498 kN	497 kN	446 kN	430 kN
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,KB} = L_{KB} / 100$				$e_{0,EF} = L / 750$			

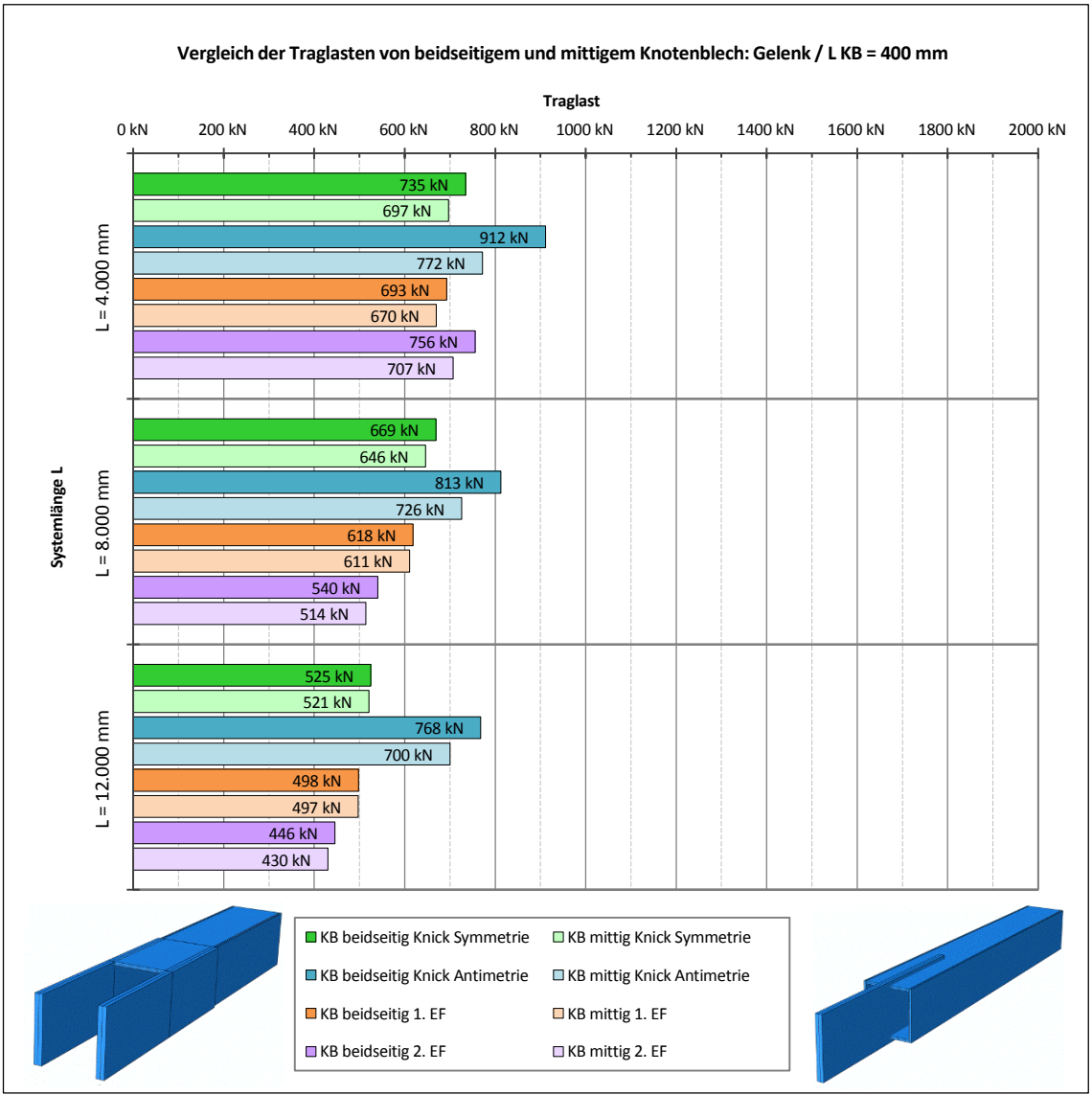


Abbildung 7-2: Vergleich der Ergebnisse aus der Parameterstudie mit der Studie aus [3] für eine gelenkige Auflagerung

Die Analyse von Abbildung 7-2 zeigt, dass sehr ähnliche Ergebnisse vorliegen und die Ausführung eines mittig angeschlossenen Knotenblechs bei einer gelenkigen Lagerung zu

geringfügig niedrigeren Traglasten als bei zwei außenliegenden Knotenblechen führt. Die derart gute Übereinstimmung bestätigt außerdem die Ansätze in der Finiten Elemente Modellierung und verifiziert die vorliegenden Ergebnisse.

7.3 Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung

Für die Entwicklung von einfachen für die Praxis mit moderatem Aufwand durchführbaren Handrechenverfahren, sollen nachfolgend die wesentlichen Einflüsse der Parameterkonfigurationen erläutert werden.

Neben den Knotenblechabmessungen haben die Auflagerbedingung und die angesetzte Vorverformung entscheidende Auswirkung auf das Tragverhalten und die aufnehmbare Traglast.

7.3.1 Knotenblechdicke $t_{KB} = 10$ mm

Für die weitere Herleitung von Handrechenverfahren ist es erforderlich festzustellen, mit dem Ansatz welcher eigenformaffinen Vorverformung das Auslangen gefunden werden kann und ab welcher Parameterkonfiguration es erforderlich ist höhere Eigenformen zu ermitteln, um das Tragverhalten nicht zu überschätzen bzw. falsch abzubilden. Hierfür wurde im Zuge der Interpretation festgelegt, dass der Ansatz der höheren Eigenform nur erforderlich ist, wenn die Tragfähigkeiten mehr als 5 % unter den Ergebnissen mit niedrigeren eigenformaffinen Vorverformungen liegen. Die Auswertung dieser Untersuchungen ist in Tabelle 7-1 dargestellt.

Dabei zeigt sich, dass bei sämtlichen Systemen hinsichtlich einer Vorverformung mit dem Ansatz eines Knotenblechknickes Systeme mit einer symmetrischen Knotenblechauslenkung geringere Traglasten erreichen als jene mit einer antimetrischen Knotenblechauslenkung.

Bei einer eigenformaffinen Vorverformung ist bei sämtlichen Systemen mit der eingespannten und gelenkigen Lagerung die Ermittlung der ersten Eigenform ausreichend. Einzige Ausnahme bildet das System $t_{KB} = 10$ mm / eingespannt / $L = 12.000$ mm / $L_{KB} = 100$ mm, bei dem aufgrund der großen Systemlänge in Kombination mit den kurzen Knotenblechen erst bei der Ermittlung der zweiten Eigenform die maximale Auslenkung im Bereich der Knotenbleche auftritt. Mit zunehmender Systemlänge bzw. Reduktion der freien Knotenblechlänge ist für die gelenkige Lagerung ein ähnliches Verhalten zu erwarten, auf das nachfolgend im Zuge von zusätzlichen numerischen Berechnungen noch genauer eingegangen wird.

Bei der Lagerung reines Gelenk biegesteif / verdrehweich ist es in den überwiegenden Fällen erforderlich die zweite Eigenform anzusetzen, um die maßgebende Traglast zu ermitteln. Aufgrund der freien globalen Rotationsmöglichkeit an den Systemenden wird bei der Ermittlung der ersten Eigenform in den meisten Fällen die Stabmitte deutlich stärker ausgelenkt als die Knotenbleche. Da eine wesentlich geringere Querschnittsfläche der Knotenbleche vorliegt, kommt es dennoch zu Knotenblechversagen, aber die Traglasten sind deutlich höher als bei einer für das Tragverhalten der Knotenbleche ungünstigen maximalen Vorverformung im Knotenblechbereich. Mit zunehmender Systemlänge bzw.

Reduktion der freien Knotenblechlänge tritt diese Maximalauslenkung der Knotenbleche erst bei höheren Eigenformen auf.

Maßgebender KB-Knick und erforderliche EF zur Ermittlung der maßgebenden Tragfähigkeit bei t_{KB} = 10 mm							
		maßgebende Vorverformung bei $N_{min, KB-Knick}$ $e_{0,KB} = L_{KB} / 100$			maßgebende Vorverformung bei $N_{min, EF}$ $e_{0,EF} = L / 750$		
Parameter:		L = 4.000 mm	L = 8.000 mm	L = 12.000 mm	L = 4.000 mm	L = 8.000 mm	L = 12.000 mm
eingespannt	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	2. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
gelenkig	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
reines Gelenk biegesteif	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	2. EF	3. EF	3. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	2. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	2. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	2. EF
reines Gelenk verdrehweich	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	2. EF	2. EF	2. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	2. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	2. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
Anmerkung: ☐ lokales KB-Versagen (wird bei sämtlichen Systemen mit einer KB-Dicke von t_{KB} = 10 mm maßgebend)							

Tabelle 7-1: Maßgebende Vorverformung aus KB-Knick und EF zur Ermittlung der maßgebenden Tragfähigkeit bei t_{KB} = 10 mm

In den nachfolgenden Abbildungen 7-3 bis 7-10 sollen für sämtliche Lagerungsbedingungen die Ergebnisse der Traglastberechnungen für jeweils die maßgebende Vorverformung aus Knotenblechknick und Eigenform in Form von von-Mises Spannungen dargestellt werden. Das Detail des Versagensbereichs ist in jeder Abbildung vergrößert hervorgehoben. Dabei wurden für alle vier Lagerungsbedingungen jene Systeme mit der größten Systemlänge von L = 12.000 mm und der kürzesten Knotenblechlänge von L_{KB} = 100 mm ausgewählt. Sogar bei diesen für globales Stabversagen ungünstigsten Parameterkonfigurationen, die im Zuge dieser Arbeit untersucht wurden, tritt Knotenblechversagen auf, was auf die geringe Querschnittsfläche der Knotenbleche im Vergleich zum Hohlprofil zurückzuführen ist.

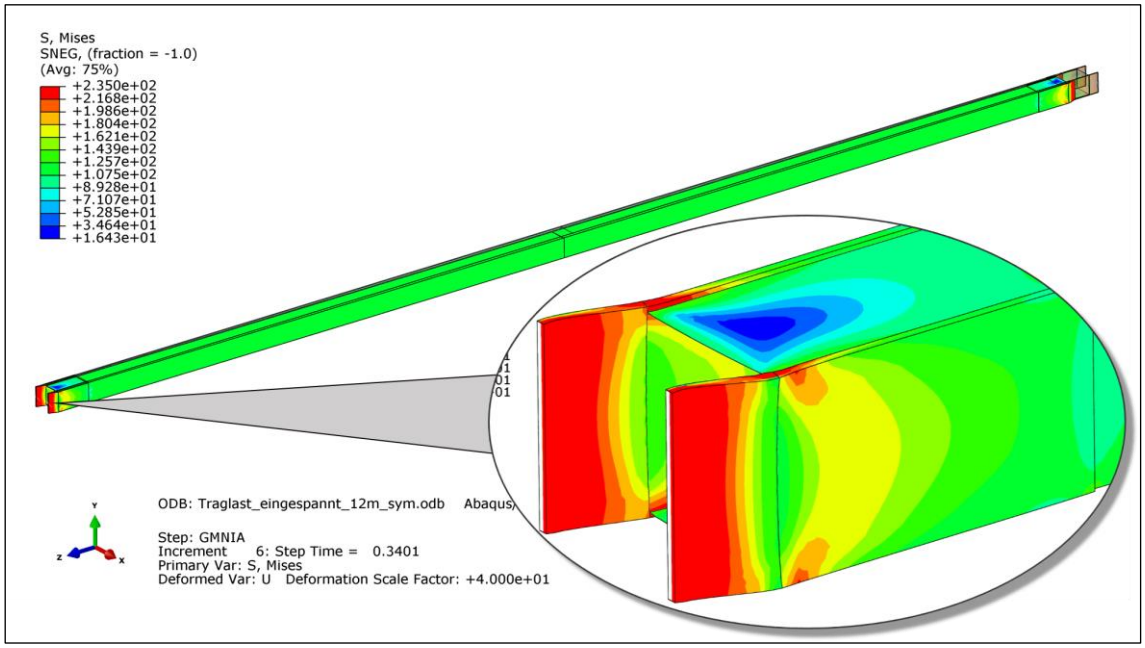


Abbildung 7-3: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)

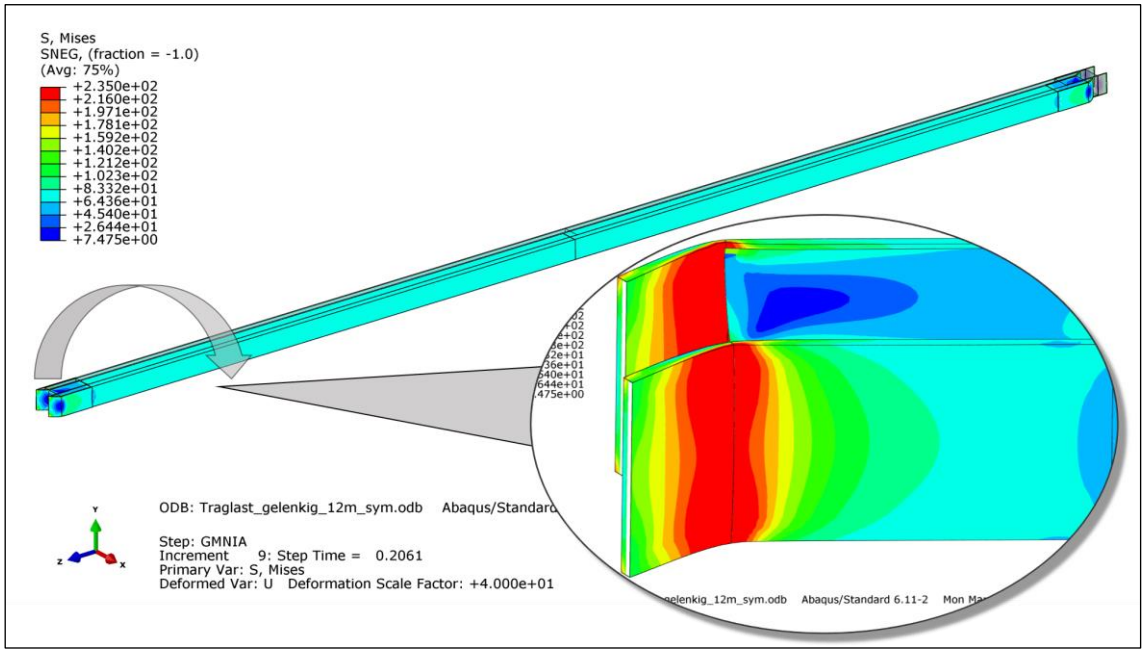


Abbildung 7-4: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)

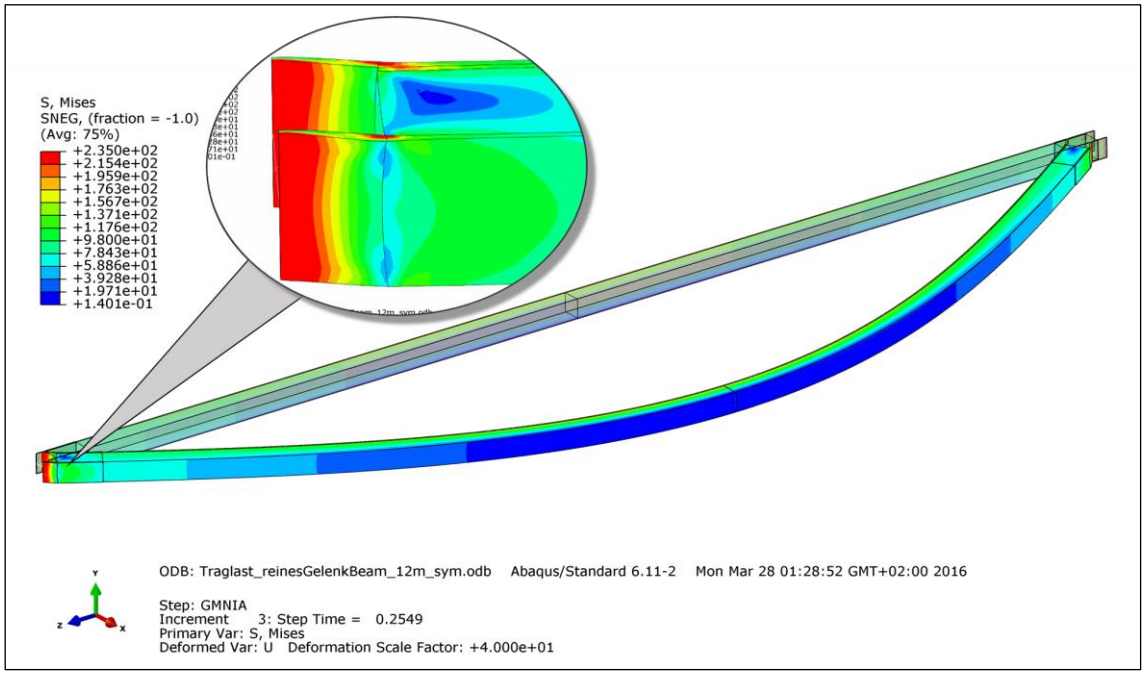


Abbildung 7-5: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)

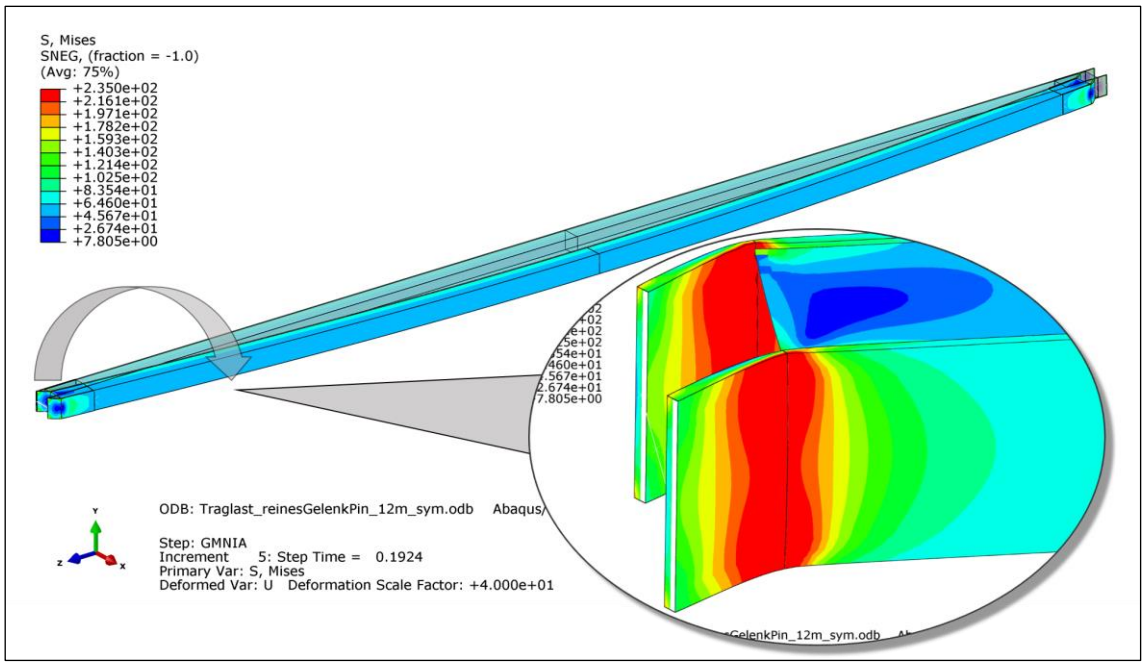


Abbildung 7-6: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)

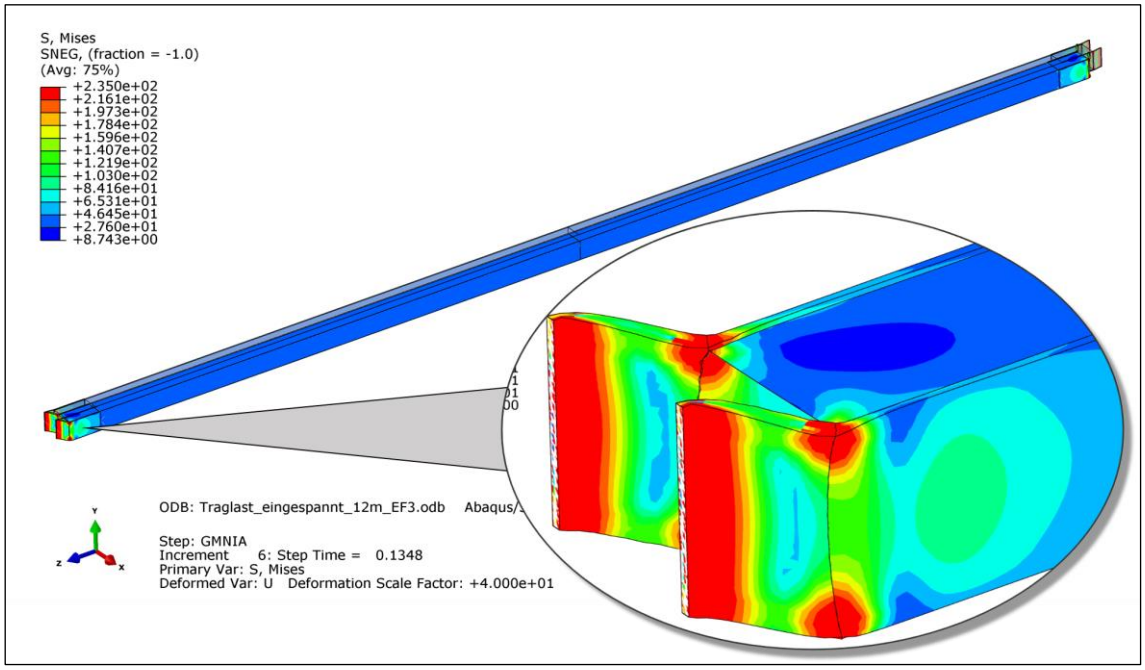


Abbildung 7-7: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

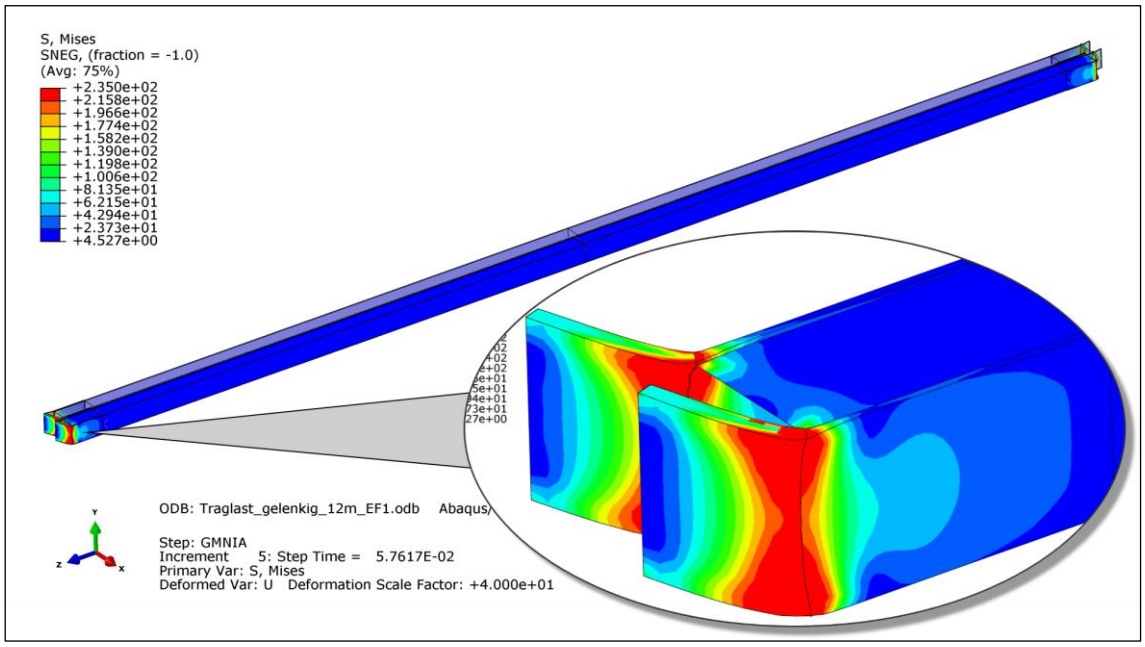


Abbildung 7-8: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

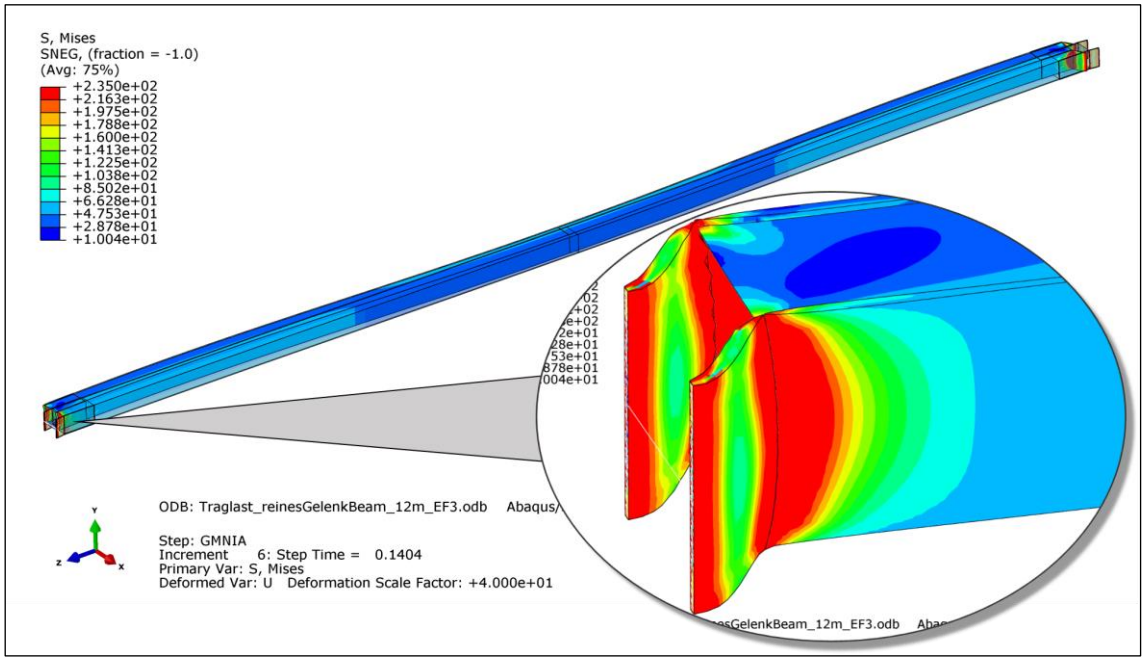


Abbildung 7-9: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

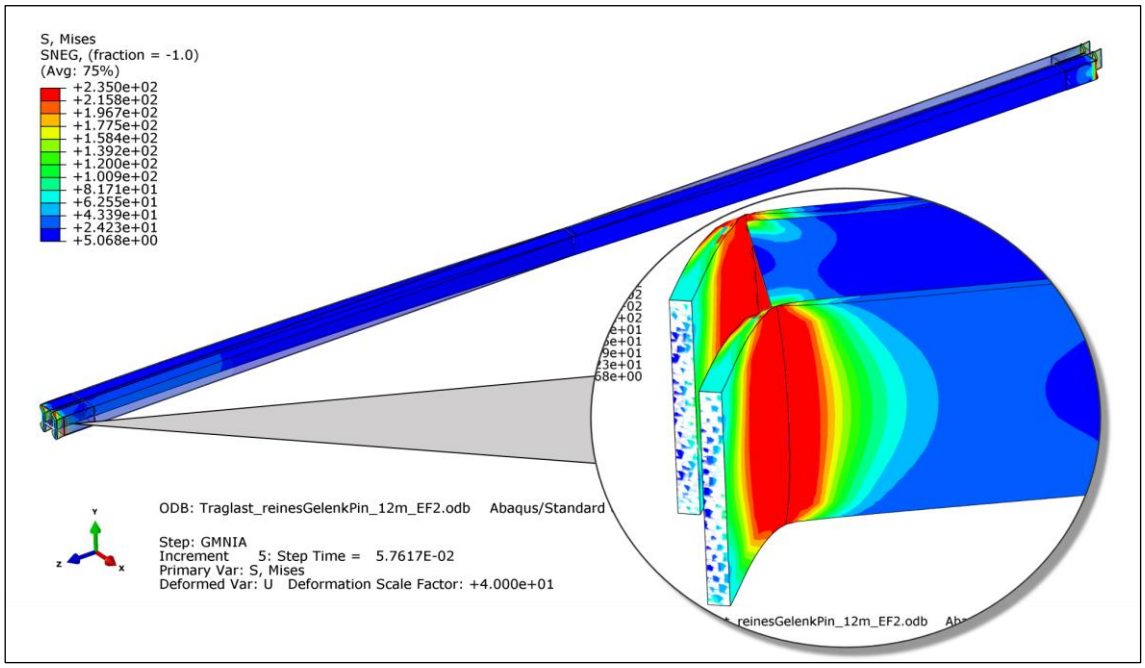


Abbildung 7-10: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

Da bei sämtlichen Systemen mit der Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm Knotenblechversagen aufgetreten ist, wurden zusätzliche numerische Berechnungen durchgeführt, um festzustellen ob bei einer Erhöhung der Systemlänge auf L = 16.000 mm bei L_{KB} = 100 mm bzw. einer Reduktion der freien Knotenblechlänge auf L_{KB} = 50 mm bei L = 12.000 mm globales Stabversagen maßgebend wird.

Des Weiteren sollen die zusätzlichen Berechnungen dazu dienen, um die aufgestellten Thesen aus 6.2 zu überprüfen bzw. zu bestätigen. Dabei wurde die Schlussfolgerung aufgestellt, dass bei zunehmender Stablänge bzw. einer Reduktion der freien Knotenblechlänge die Untersuchung von höheren eigenformaffinen Vorverformungen erforderlich ist, um die maßgebende Traglast zu erhalten. Dies gilt natürlich unter der Voraussetzung, dass Knotenblechversagen vorliegt und noch kein globales Stabversagen maßgebend wird.

Als Vergleich wurden in den Abbildungen 7-11 bis 7-14 die Ergebnisse für das System L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm für die jeweilige Auflagerbedingung mit den Ergebnissen der zusätzlichen Berechnungen gegenübergestellt. Dabei ist die bereits aus Kapitel 6 bekannte Darstellungsform als Tabelle mit hervorgehobenen maßgebenden Traglasten und dem zugehörigen Balkendiagramm gewählt worden. Auf die Ermittlung der Traglasten zufolge eines Knotenblechknickes wurde hierbei allerdings verzichtet, da die Ergebnisse für die hier geführten Schlussfolgerungen nicht relevant sind.

Die Ergebnisse der zusätzlichen Berechnungen zeigen, dass bei abnehmender Knotenblechschlankheit bzw. zunehmender Stabschlankheit höhere eigenformaffine Vorverformungen maßgebend für die Ermittlung der Traglast werden und bestätigen somit die Schlussfolgerungen aus Kapitel 6.2.

Bei den Systemen mit einer Lagerung als reines Gelenk biegesteif / verdrehweich tritt bei der Vorverformung affin zur ersten Eigenform Stabversagen ein, jedoch ist dies trotz der erhöhten Stablänge bzw. der Reduktion der freien Knotenblechlänge nicht maßgebend.

Vergleich der Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / eingespannt						
Randbedingungen:	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L = 12.000 mm L_{KB} = 100 mm	857 kN	340 kN	**337 kN**			
L = 16.000 mm L_{KB} = 100 mm	775 kN	794 kN	279 kN	**276 kN**		
L = 12.000 mm L_{KB} = 50 mm	895 kN	988 kN	921 kN	**508 kN**	512 kN	
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,EF}$ = L / 750					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						

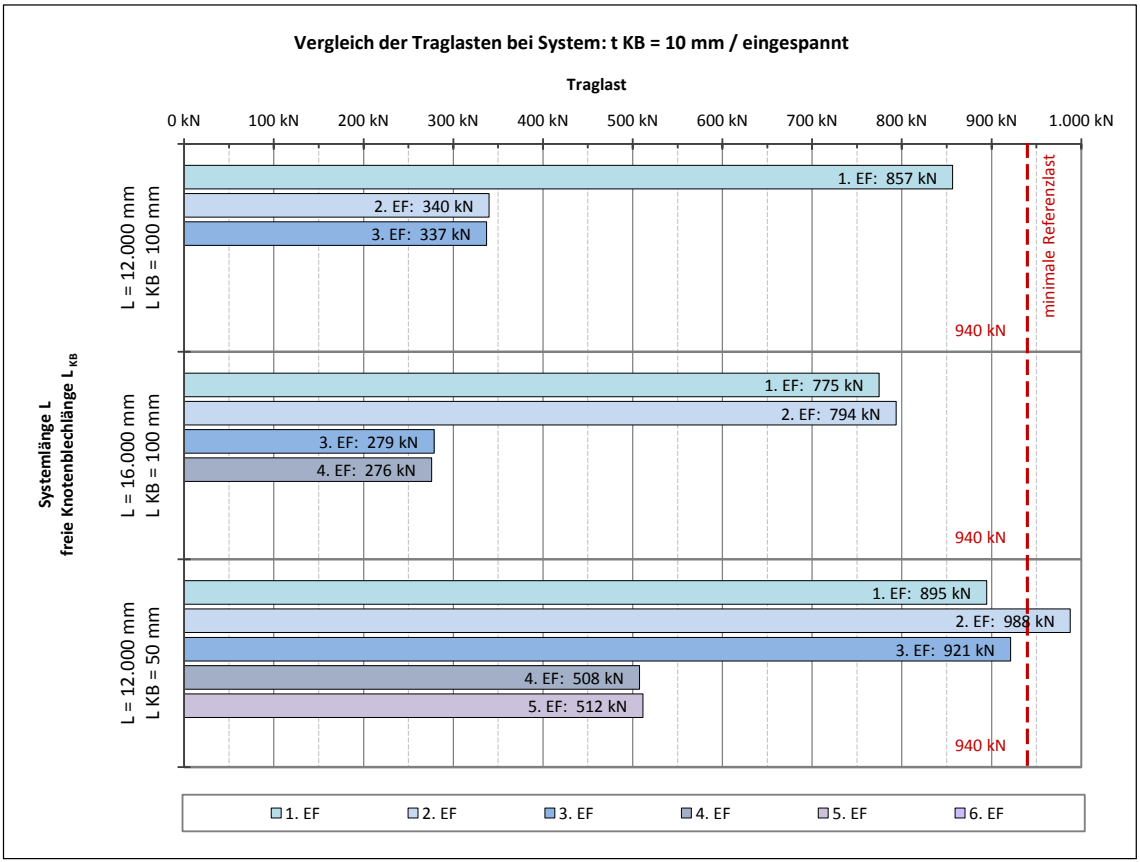


Abbildung 7-11: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt

Vergleich der Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / gelenkig						
Randbedingungen:	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L = 12.000 mm L_{KB} = 100 mm	**144 kN**	**144 kN**				
L = 16.000 mm L_{KB} = 100 mm	120 kN	**116 kN**				
L = 12.000 mm L_{KB} = 50 mm	872 kN	**210 kN**	**210 kN**			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,EF}$ = L / 750					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile						

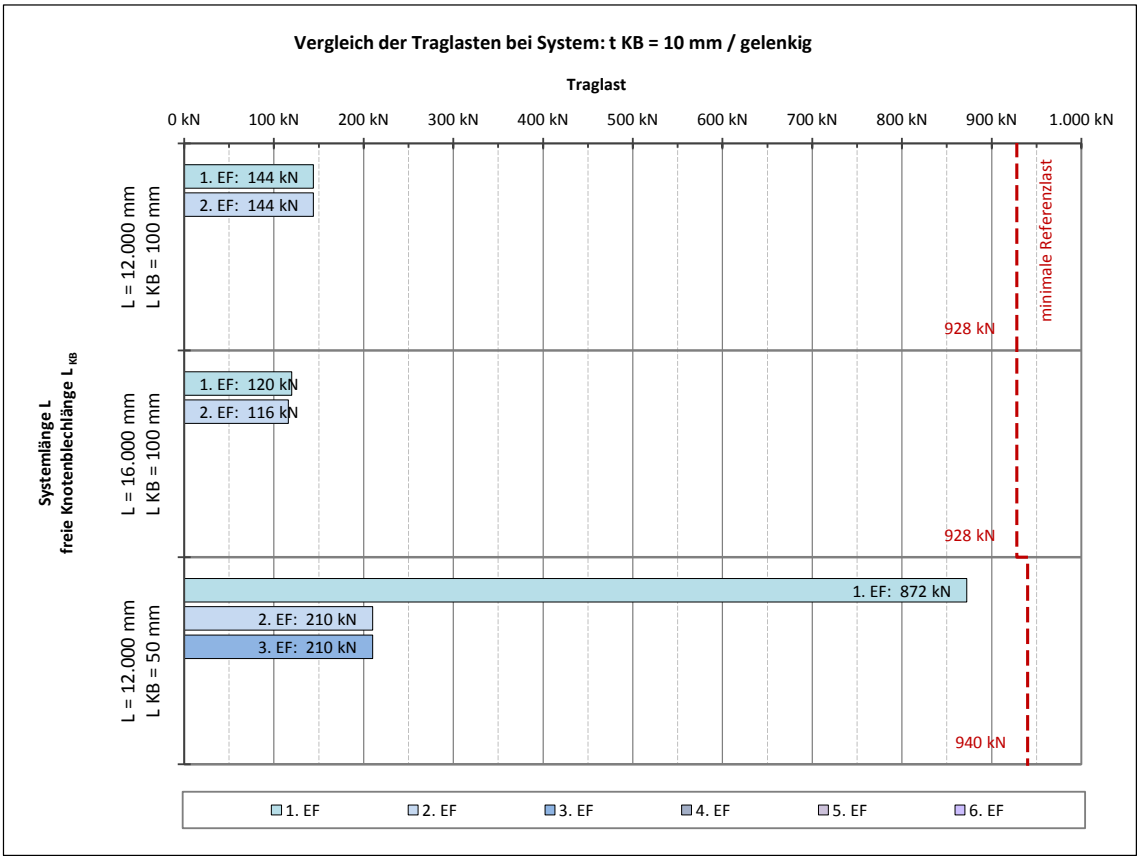


Abbildung 7-12: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig

Vergleich der Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif						
Randbedingungen:	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L = 12.000 mm L_{KB} = 100 mm	572 kN	713 kN	**351 kN**	388 kN		
L = 16.000 mm L_{KB} = 100 mm	340 kN	730 kN	565 kN	**279 kN**		
L = 12.000 mm L_{KB} = 50 mm	576 kN	946 kN	896 kN	585 kN	**506 kN**	
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,EF}$ = L / 750					

Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile = Stabversagen

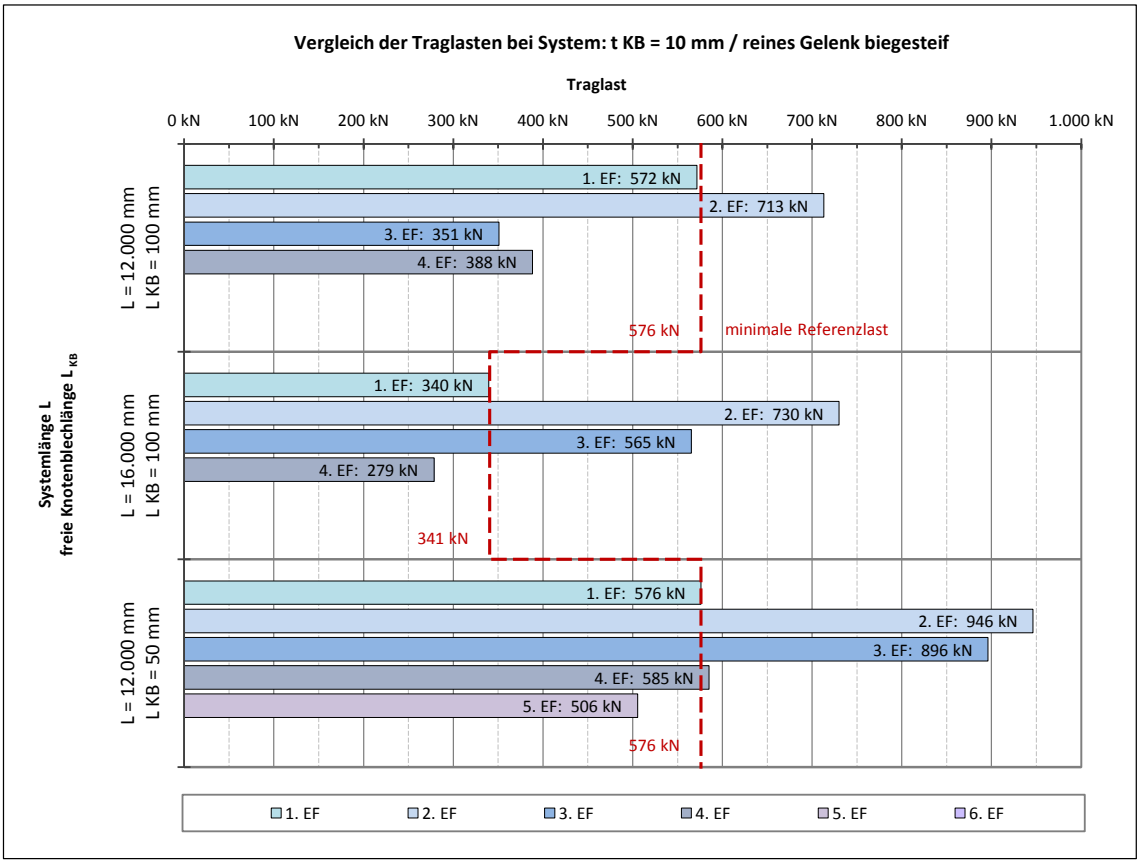


Abbildung 7-13: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif

Vergleich der Traglasten bei System: t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehbar						
Randbedingungen:	1. EF	2. EF	3. EF	4. EF	5. EF	6. EF
L = 12.000 mm L_{KB} = 100 mm	411 kN	**144 kN**	257 kN			
L = 16.000 mm L_{KB} = 100 mm	315 kN	161 kN	**129 kN**			
L = 12.000 mm L_{KB} = 50 mm	571 kN	516 kN	**211 kN**			
Imperfektions-amplitude e_0	$e_{0,EF}$ = L / 750					
Anmerkung: **Wert** = Minimum in der jeweiligen Zeile				= Stabversagen		

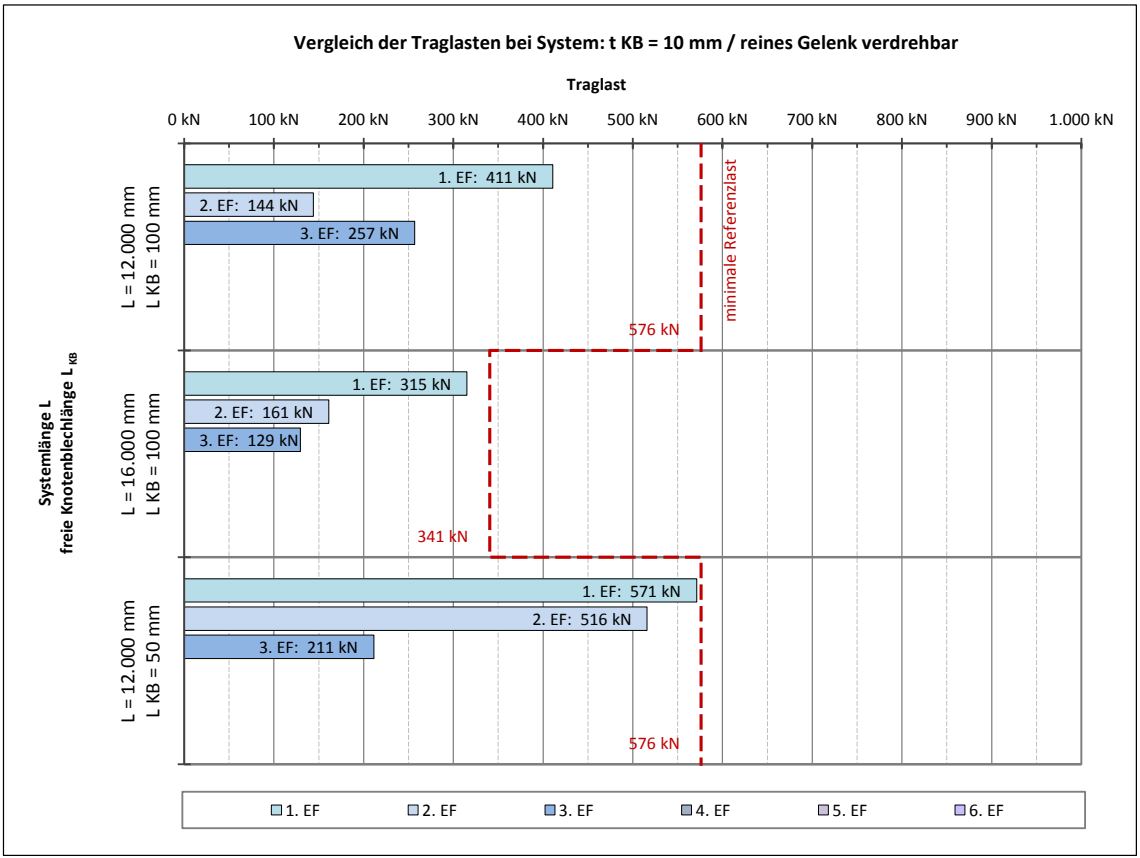


Abbildung 7-14: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich

7.3.2 Knotenblechdicke t_{KB} = 24 mm

Analog zur Vorgehensweise bei der Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm ist die Auswertung der maßgebenden Vorverformung für die Knotenblechdicke von t_{KB} = 24 mm in Tabelle 7-2 dargestellt. Da bei dieser Knotenblechdicke auch Stabversagen maßgebend wurde, sind in der Tabelle jene Ergebnisse, bei denen Stabversagen eingetreten ist, mit einer gelben Schraffur hervorgehoben.

Dabei zeigt sich, dass bei sämtlichen Systemen hinsichtlich einer Vorverformung mit dem Ansatz eines Knotenblechknickes Systeme mit einer symmetrischen Knotenblechauslenkung geringere Traglasten erreichen als jene mit einer antimetrischen Knotenblechauslenkung.

Bei den eigenformaffinen Vorverformungen war es bei sämtlichen Systemen, wo Stabversagen maßgebend wurde, ausreichend die erste Eigenform zu ermitteln. Ist allerdings Knotenblechversagen eingetreten, war es aufgrund der hohen Biegesteifigkeit der Knotenbleche, insbesonders bei der eingespannten Lagerung, bei einigen Systemen erforderlich deutlich höhere Eigenformen zu ermitteln, um die ungünstigste Vorverformung im Bereich der Knotenbleche zu erhalten. Dabei trifft wiederum die gleiche Schlussfolgerung wie bei der Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm zu, die besagt, dass bei einer Erhöhung der Systemlänge bzw. Reduktion der freien Knotenblechlänge höhere Eigenformen untersucht werden müssen, um die ungünstigste Vorverformung für die Tragfähigkeit der Knotenbleche zu erhalten.

Bei den Systemen mit der Lagerung als reines Gelenk biegesteif / verdrehweich ist bei dieser Stab-Knotenblechkonfiguration die Ermittlung der zweiten Eigenform ausreichend, da aufgrund der freien globalen Rotationsmöglichkeit an den Systemenden Stabversagen wesentlich früher eintritt. Die Erhöhung der Systemlänge bzw. Reduktion der freien Knotenblechlänge bei diesen Systemen würde zwar die Ermittlung von höheren Eigenformen erfordern, um die maximale Knotenblechauslenkung zu erhalten, allerdings wäre das Knotenblechversagen im Vergleich zum globalen Stabversagen nicht maßgebend.

Maßgebender KB-Knick und erforderliche EF zur Ermittlung der maßgebenden Tragfähigkeit bei t_{KB} = 24 mm							
		maßgebende Vorverformung bei $N_{min, KB\text{-}Knick}$ $e_{0,KB} = L_{KB} / 100$			maßgebende Vorverformung bei $N_{min, EF}$ $e_{0,EF} = L / 750$		
Parameter:		L = 4.000 mm	L = 8.000 mm	L = 12.000 mm	L = 4.000 mm	L = 8.000 mm	L = 12.000 mm
eingespannt	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	1. EF	3. EF	5. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	4. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	2. EF
gelenkig	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	1. EF	3. EF	4. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	2. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	2. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	2. EF
reines Gelenk biegesteif	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	1. EF	1. EF
reines Gelenk verdrehweich	L_{KB} = 100 mm	sym	sym	sym	2. EF	1. EF	1. EF
	L_{KB} = 200 mm	sym	sym	sym	2. EF	2. EF	1. EF
	L_{KB} = 300 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	1. EF
	L_{KB} = 400 mm	sym	sym	sym	1. EF	2. EF	2. EF
Anmerkung: globales Stabversagen; lokales KB-Versagen; Übergangsbereich							

Tabelle 7-2: Maßgebende Vorverformung aus KB-Knick und EF zur Ermittlung der maßgebenden Tragfähigkeit bei t_{KB} = 24 mm

Um die Unterschiede zwischen aufnehmbarer Traglast bei Stabversagen oder Knotenblechversagen zu veranschaulichen, wurde zusätzlich zu der maßgebenden Vorverformung aus Tabelle 7-2 auch in Tabelle 7-3 die maßgebende Traglast für jedes System angeführt.

Maßgebende Traglasten bei lokalem KB-Versagen oder globalem Stabversagen bei t_{KB} = 24 mm							
		$N_{min, KB-Knick}$ $e_{0,KB} = L_{KB} / 100$			$N_{min, EF}$ $e_{0,EF} = L / 750$		
Parameter:		L = 4.000 mm	L = 8.000 mm	L = 12.000 mm	L = 4.000 mm	L = 8.000 mm	L = 12.000 mm
eingespannt	L_{KB} = 100 mm	1.787 kN	1.785 kN	1.764 kN	1.731 kN	1.613 kN	1.427 kN
	L_{KB} = 200 mm	1.785 kN	1.787 kN	1.761 kN	1.764 kN	1.531 kN	1.325 kN
	L_{KB} = 300 mm	1.784 kN	1.783 kN	1.756 kN	1.664 kN	1.341 kN	1.122 kN
	L_{KB} = 400 mm	1.666 kN	1.664 kN	1.652 kN	1.532 kN	1.174 kN	1.023 kN
gelenkig	L_{KB} = 100 mm	1.787 kN	1.787 kN	1.761 kN	1.514 kN	1.103 kN	857 kN
	L_{KB} = 200 mm	1.534 kN	1.533 kN	1.528 kN	1.147 kN	816 kN	653 kN
	L_{KB} = 300 mm	1.075 kN	1.075 kN	1.073 kN	885 kN	669 kN	512 kN
	L_{KB} = 400 mm	758 kN	758 kN	756 kN	684 kN	535 kN	430 kN
reines Gelenk biegesteif	L_{KB} = 100 mm	1.740 kN	1.376 kN	650 kN	1.619 kN	1.092 kN	579 kN
	L_{KB} = 200 mm	1.695 kN	1.303 kN	642 kN	1.614 kN	1.087 kN	576 kN
	L_{KB} = 300 mm	1.644 kN	1.232 kN	630 kN	1.597 kN	1.078 kN	574 kN
	L_{KB} = 400 mm	1.556 kN	1.158 kN	617 kN	1.553 kN	1.054 kN	569 kN
reines Gelenk verdrehweich	L_{KB} = 100 mm	1.732 kN	1.362 kN	650 kN	1.523 kN	1.087 kN	576 kN
	L_{KB} = 200 mm	1.491 kN	1.218 kN	633 kN	1.158 kN	898 kN	571 kN
	L_{KB} = 300 mm	1.039 kN	912 kN	598 kN	929 kN	659 kN	540 kN
	L_{KB} = 400 mm	735 kN	669 kN	525 kN	693 kN	540 kN	446 kN
Anmerkung: globales Stabversagen		lokales KB-Versagen			Übergangsbereich		

Tabelle 7-3: Maßgebende Traglasten aus KB-Knick und EF zur Ermittlung der maßgebenden Tragfähigkeit bei t_{KB} = 24 mm

Für die Darstellung der Traglasten von den ausgewählten Systemen mit der Knotenblechdicke von $t_{KB} = 24$ mm wurde für jede Auflagerbedingung jene Stab-Knotenblechkonfiguration gewählt, die in Abhängigkeit von der angesetzten Vorverformung den Übergangsbereich zwischen globalem Stabversagen und lokalem Knotenblechversagen bildet. Diese sind in den nachfolgenden Abbildungen 7-15 bis 7-22 in Form von von-Mises Spannungen dargestellt.

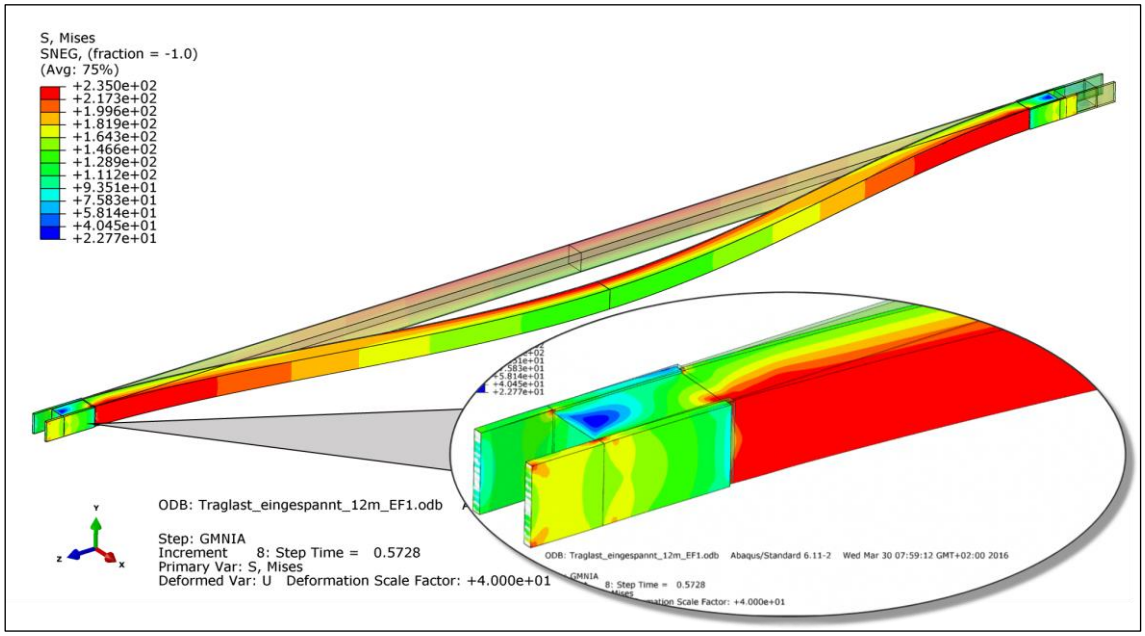


Abbildung 7-15: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

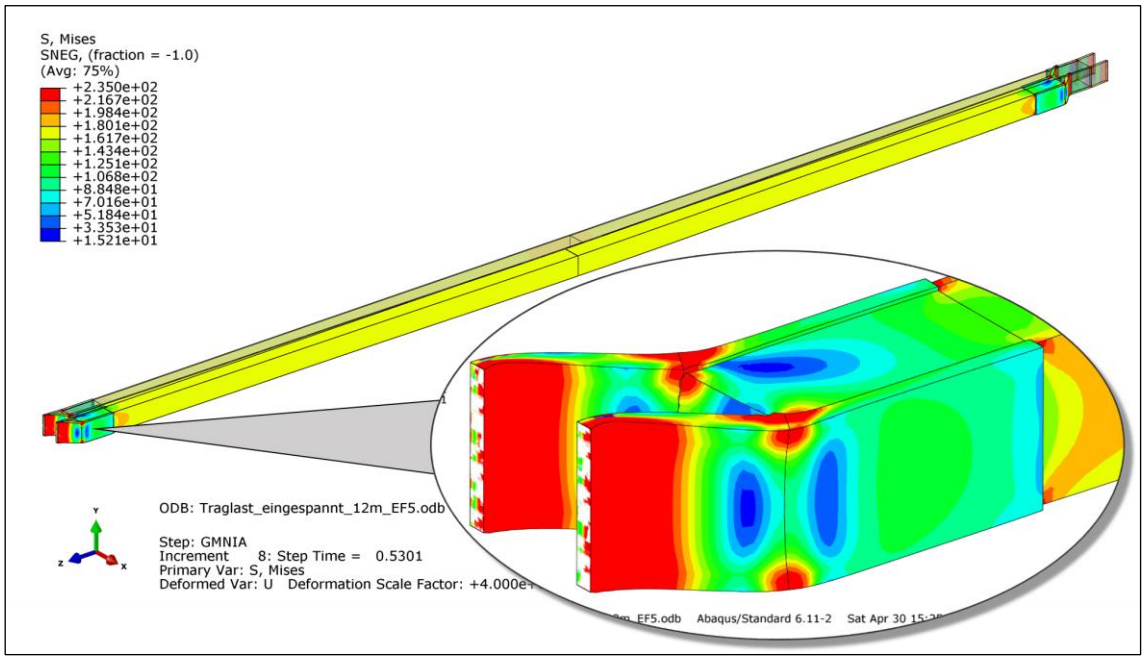


Abbildung 7-16: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5

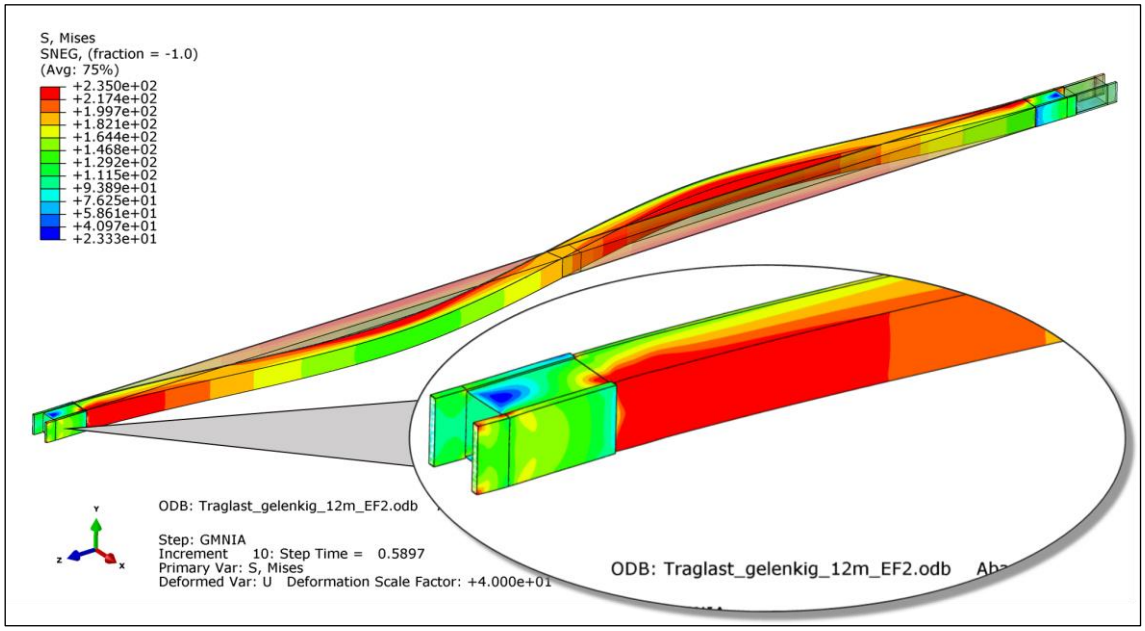


Abbildung 7-17: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

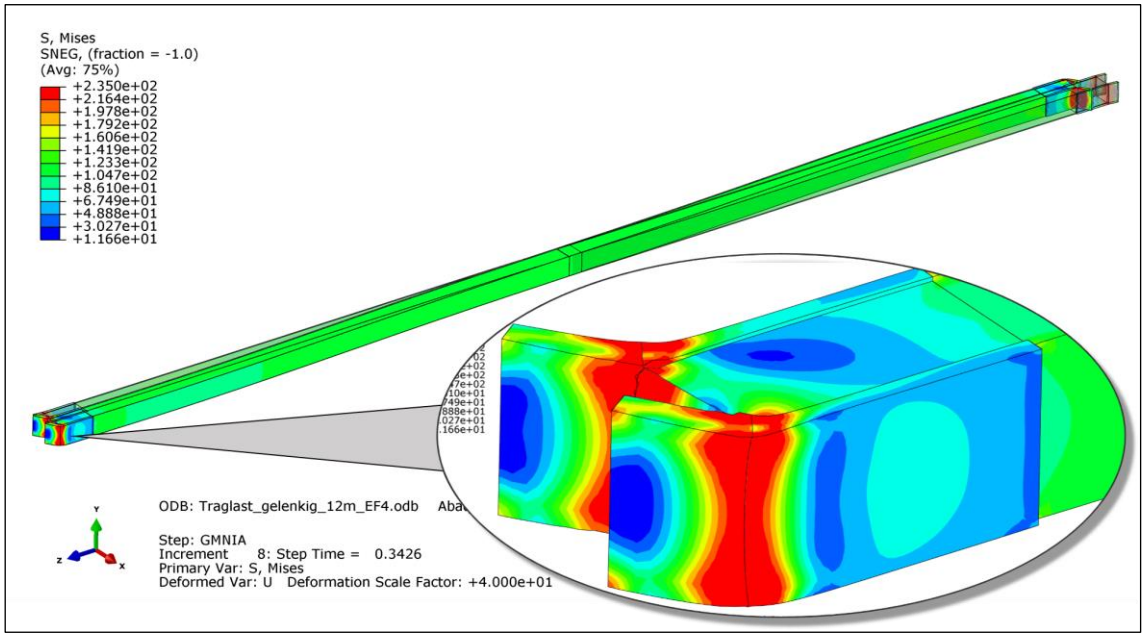


Abbildung 7-18: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

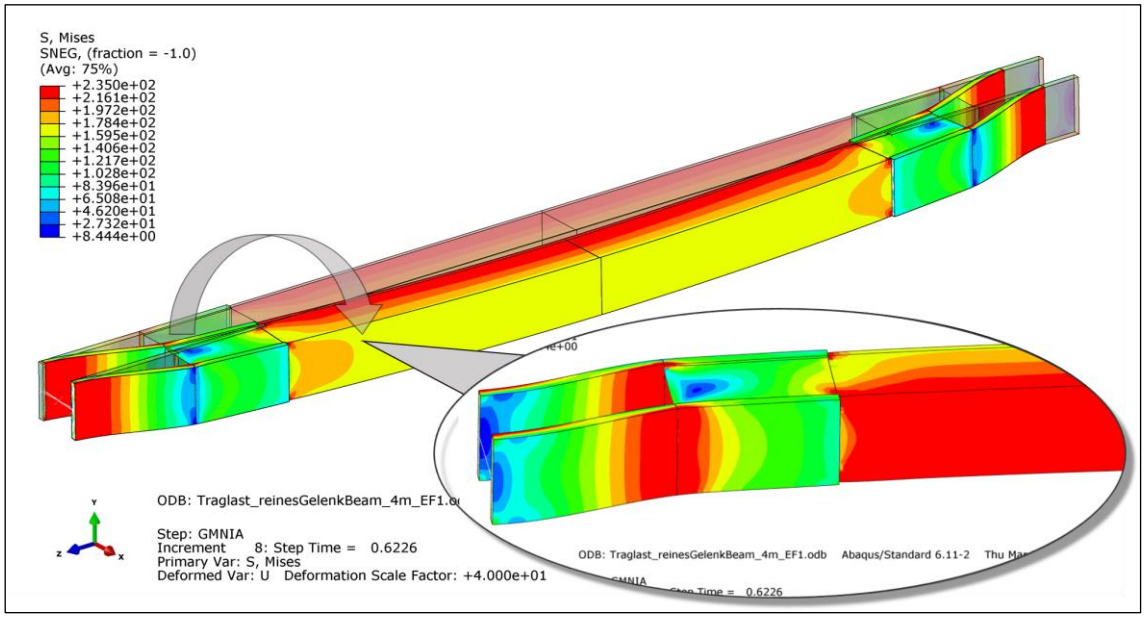


Abbildung 7-19: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

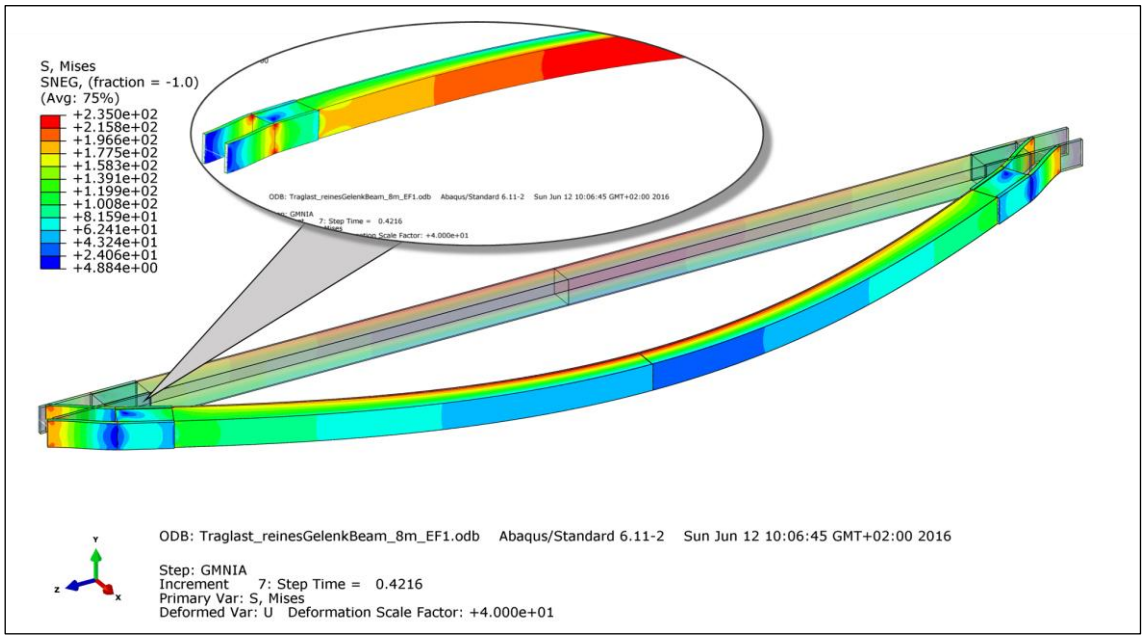


Abbildung 7-20: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

Bei der Lagerungsbedingung reines Gelenk biegesteif wird bei sämtlichen Systemen Stabversagen maßgebend. System t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm stellt genau jenen Grenzfall dar, bei dem gerade noch nicht Knotenblechversagen eintritt (siehe Abbildung 7-19). Sämtliche andere Parameterkonfigurationen mit dieser Lagerung stellen günstigere Bedingungen für die Knotenblechtragfähigkeit dar und führen somit zu globalem Stabversagen, wie beim System t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm aus Abbildung 7-20 ersichtlich ist.

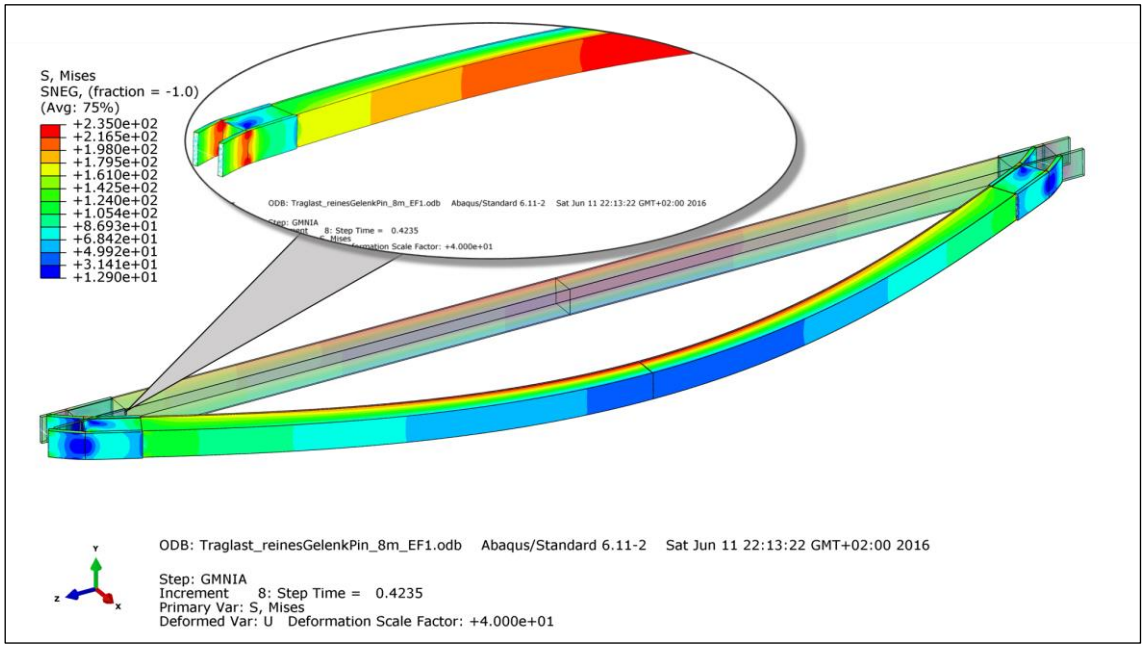


Abbildung 7-21: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

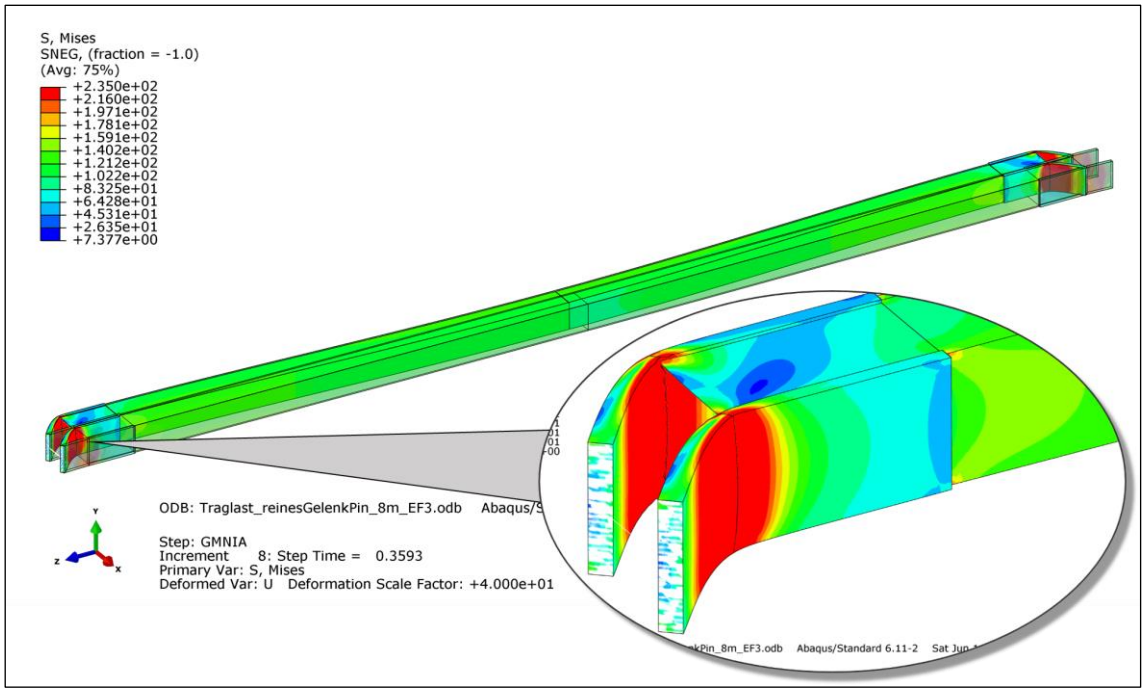


Abbildung 7-22: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass auch bei der Ausführung von Knotenblechen, die eine deutlich größere Dicke als die Stege der Hohlprofile aufweisen, ein Knotenblechversagen nicht ausgeschlossen ist und bei zunehmender freien Knotenblechlänge die Traglasten überschätzt werden. Allerdings liegt zumindest nicht eine derart gravierende Differenz zwischen den tatsächlich aufnehmbaren Traglasten und den Ergebnissen der Berechnungen nach derzeitigem Stand der Technik vor wie bei der Ausführung von Knotenblechen, die die gleiche Dicke wie die Stege des angeschlossenen Hohlprofils aufweisen. Grundsätzlich sollte ein starker Abfall der Biegesteifigkeit der Knotenbleche im Vergleich zum Hohlprofil und die Ausführung von großen freien Knotenblechlängen tunlichst vermieden werden.

Abschließend soll nochmals auf die Notwendigkeit der Entwicklung von Handrechenverfahren für die praktische Anwendung hingewiesen werden, um zukünftig bedauerliche Schadensfälle wie aus [2] zu verhindern.

Mit den umfangreichen Ergebnissen dieser Parameterstudie sind jedenfalls die Voraussetzungen hierfür geschaffen.

8 Anhang A: Ergebnisse der LBA - Eigenformen

In diesem Kapitel werden die Eigenformen, welche als Vorverformung für die GMNIA-Berechnungen am System angesetzt wurden, dargestellt.

8.1 Allgemeines

Als Bezugslast wurde eine durch den Schwerpunkt des Hohlprofils verlaufende Einzellast mit einer Größe von 250 kN angesetzt. Hierbei blieb die Belastung stets richtungstreu in Richtung der Stablängsachse des unverformten Systems.

Der Eigenwert (in den Abbildungen als „EigenValue“ angeführt) ist jener Faktor, mit dem die Bezugslast multipliziert werden muss, um die vorliegende Verformung hervorzurufen. Die maximale Auslenkung der Eigenform beträgt den Wert ± 1,0. In weiterer Folge wurden die Eigenformen als Vorverformung angesetzt und mit dem Wert L / 750 skaliert.

8.2 Darstellung der Eigenformen

Bei der Darstellung der Eigenformen wurde die Verformung in die lokale x-Richtung abgebildet. Da bei jeder Eigenform der Maximalwert ± 1,0 beträgt wurde auf die Darstellung einer Legende verzichtet und stattdessen die Lage der Maximalauslenkung beschriftet.

Die Eigenformen wurden fortlaufend in der Reihenfolge: Knotenblechdicke t_{KB}, Auflagerbedingung, Systemlänge L, Knotenblechlänge L_{KB} und Eigenform eingefügt.

8.2.1 Knotenblechdicke t_{KB} = 10 mm

In den Abbildungen 8-1 bis 8-101 sind sämtliche Eigenformen der Parameterstudie von Systemen mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 10 mm dargestellt. Bei diesen Systemen war aufgrund der geringen Knotenblechsteifigkeit in den überwiegenden Fällen die Ermittlung der ersten und zweiten Eigenform ausreichend, um die gesuchte maximale Knotenblechauslenkung zu erhalten.

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm**

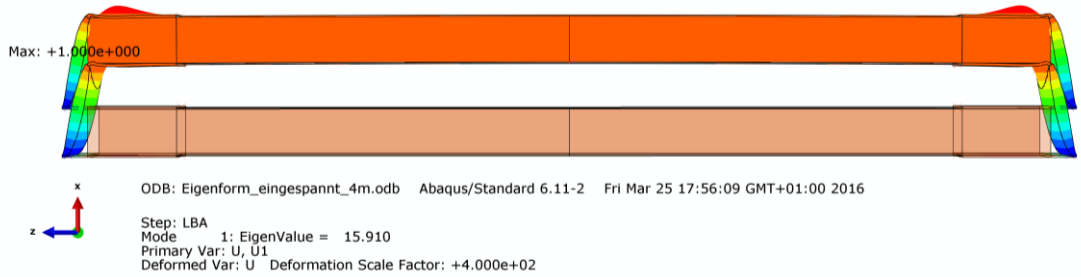


Abbildung 8-1: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

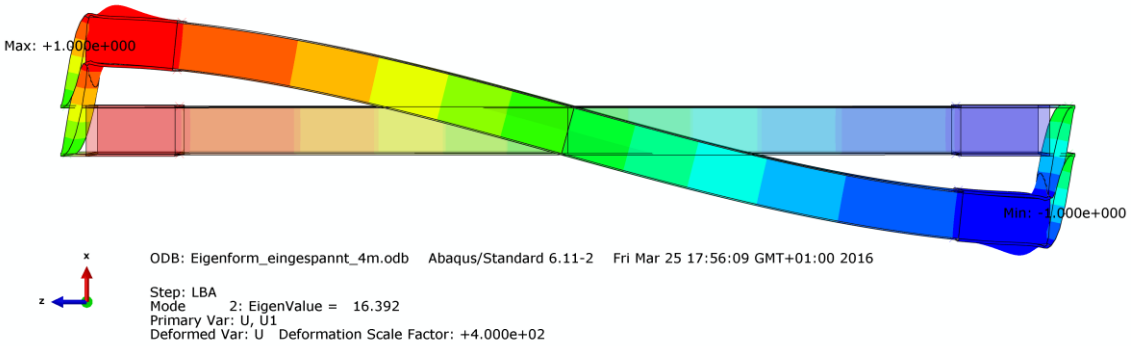


Abbildung 8-2: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

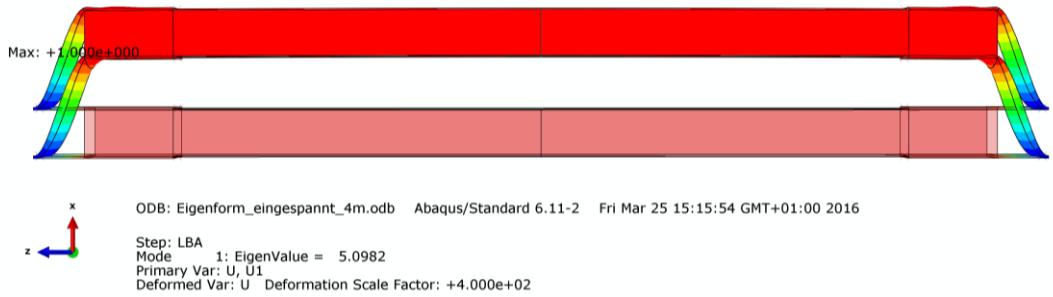


Abbildung 8-3: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

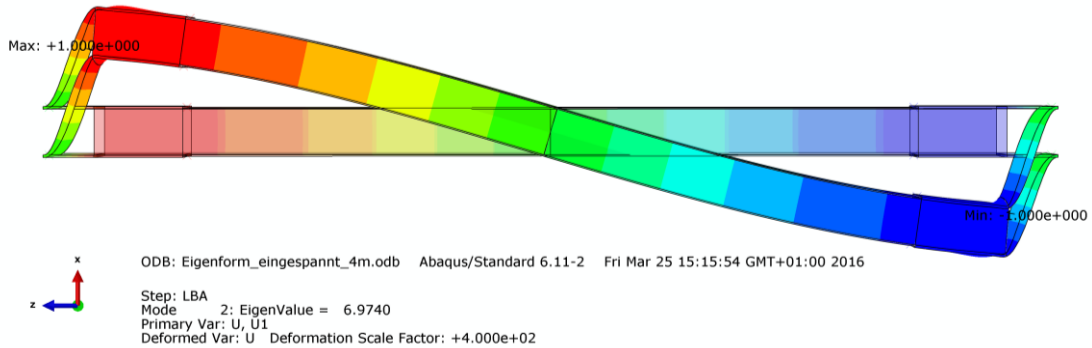


Abbildung 8-4: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

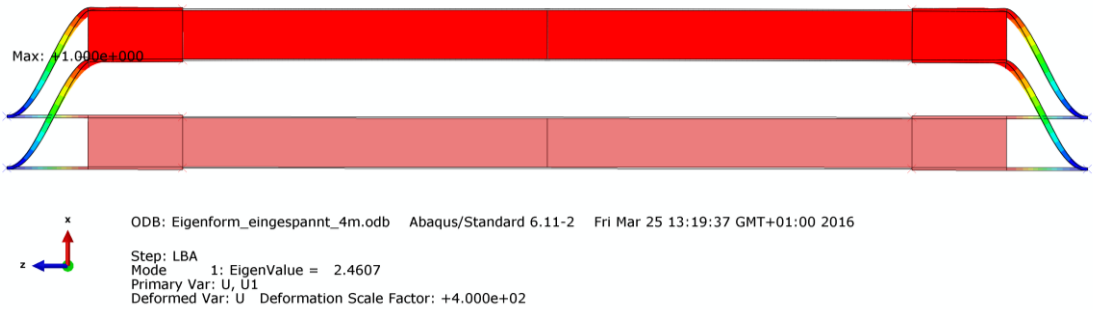


Abbildung 8-5: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

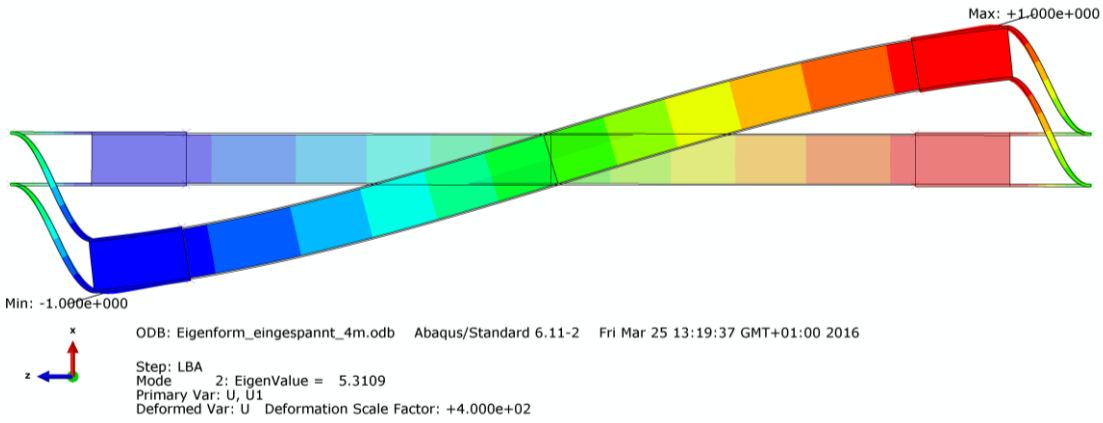


Abbildung 8-6: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

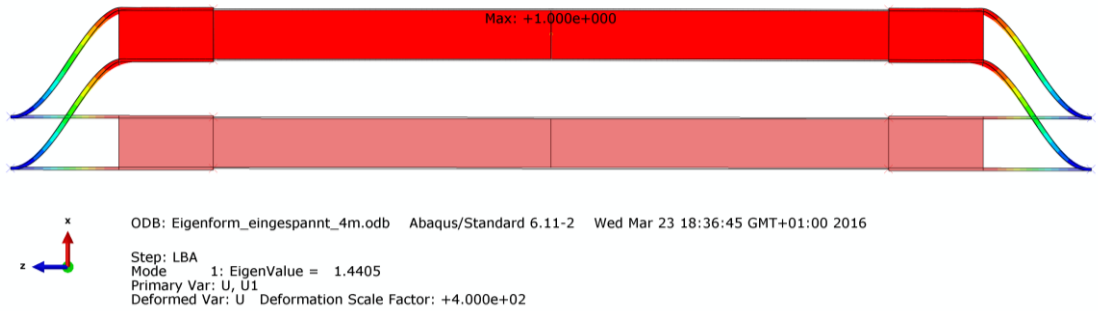


Abbildung 8-7: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

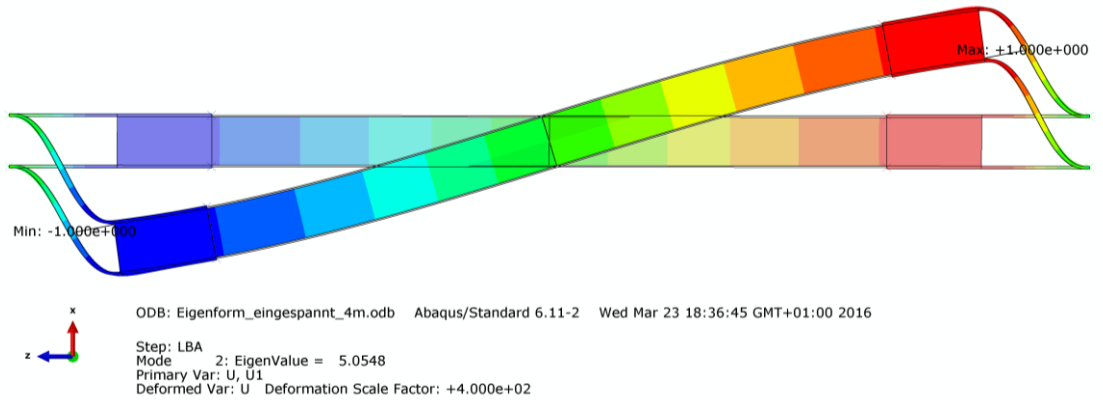


Abbildung 8-8: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm**

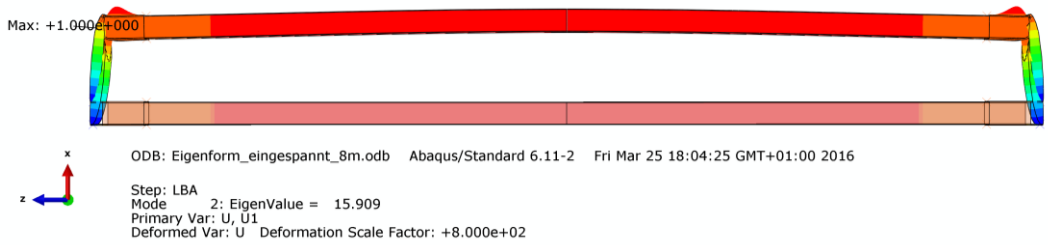


Abbildung 8-9: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

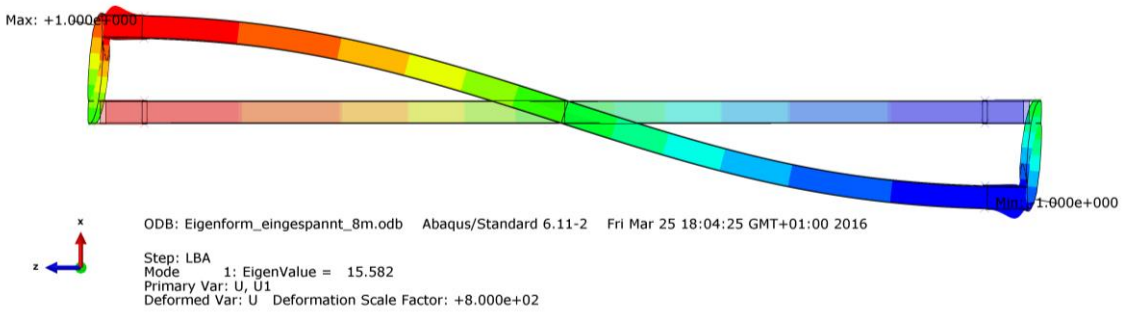


Abbildung 8-10: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

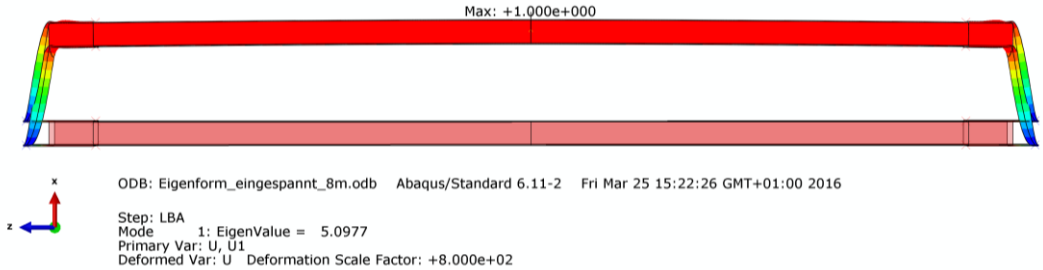


Abbildung 8-11: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

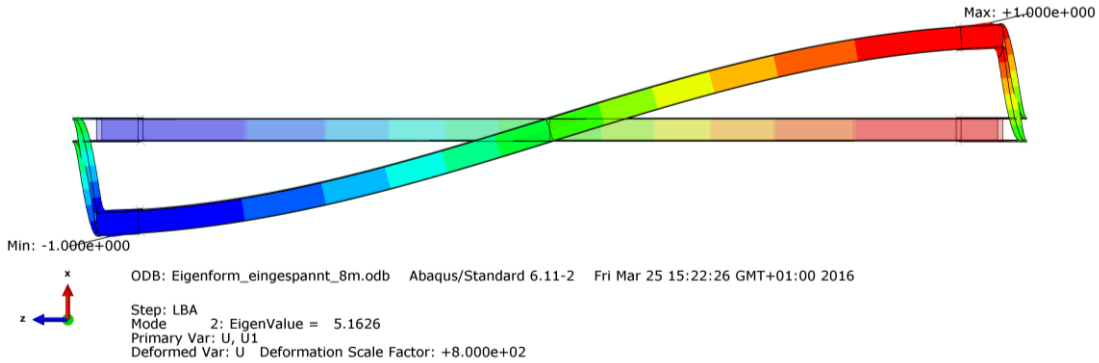


Abbildung 8-12: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

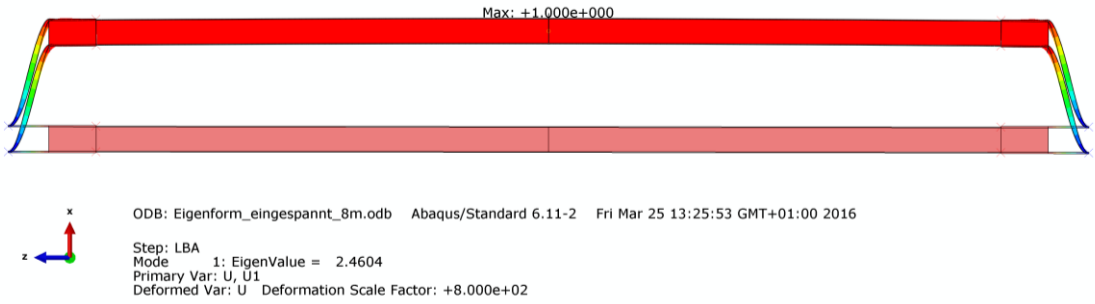


Abbildung 8-13: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

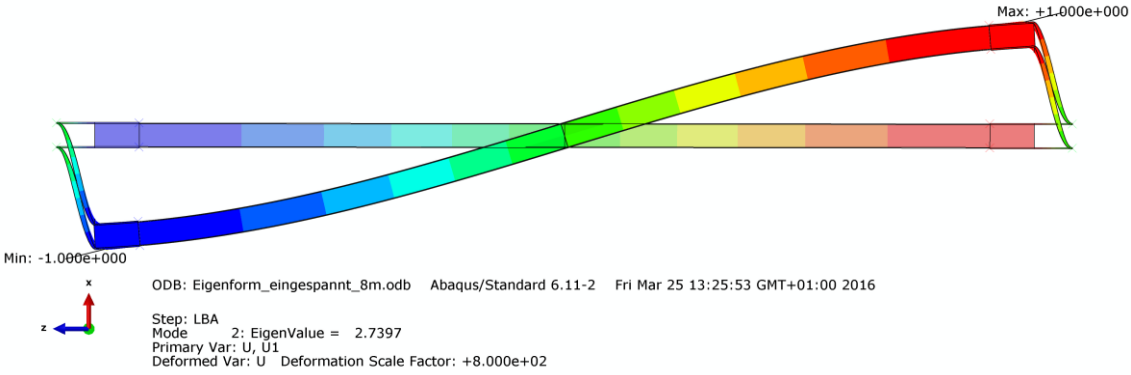


Abbildung 8-14: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

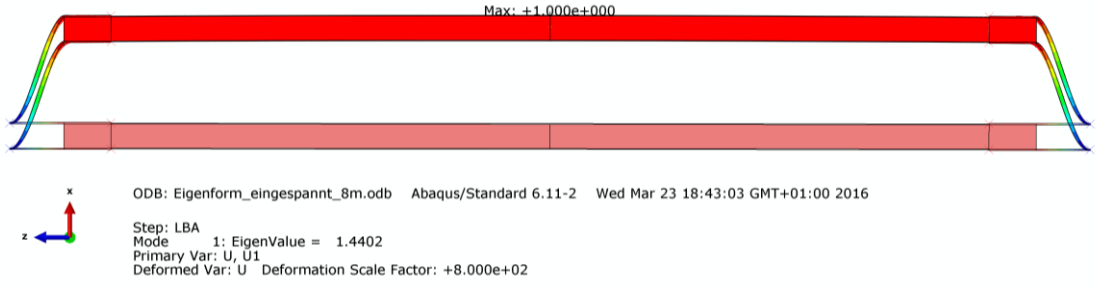


Abbildung 8-15: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

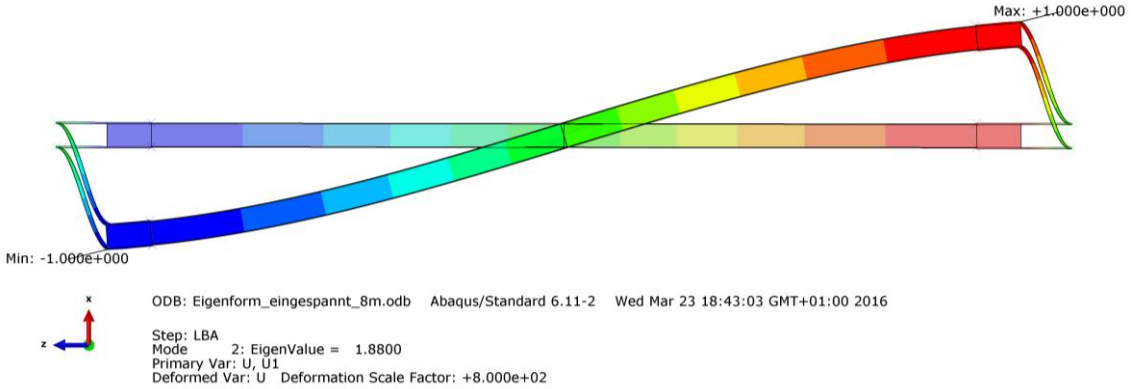


Abbildung 8-16: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm**

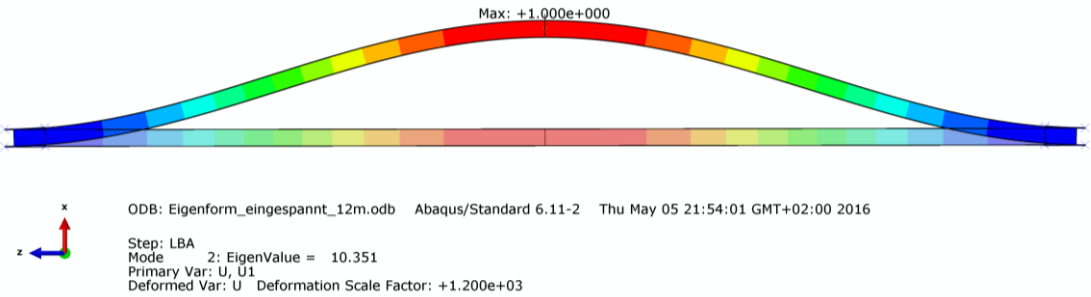


Abbildung 8-17: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

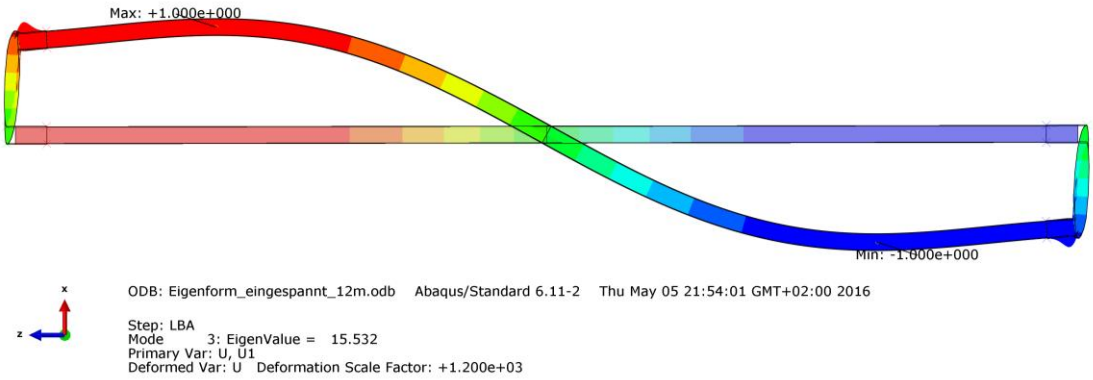


Abbildung 8-18: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

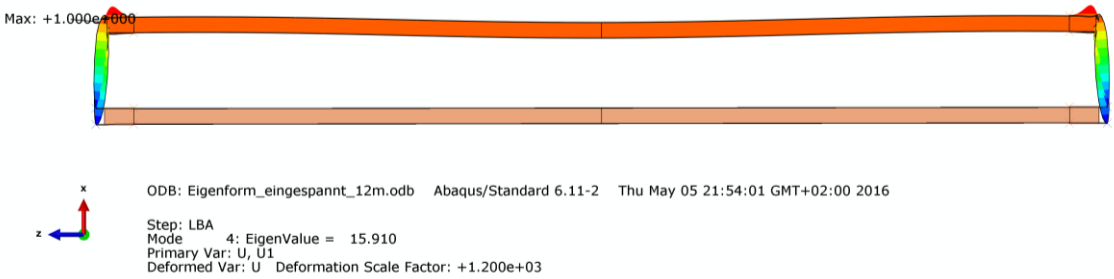


Abbildung 8-19: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

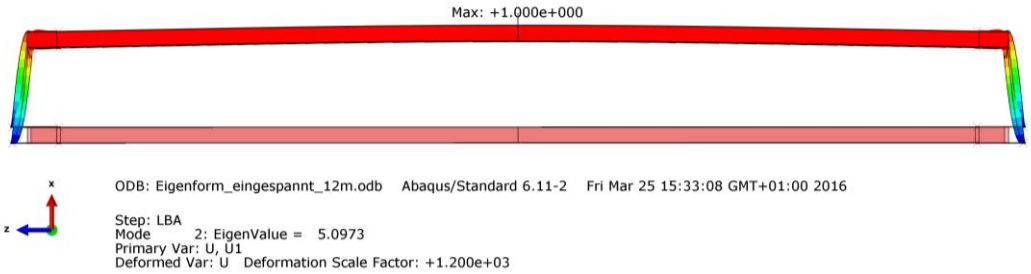


Abbildung 8-20: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

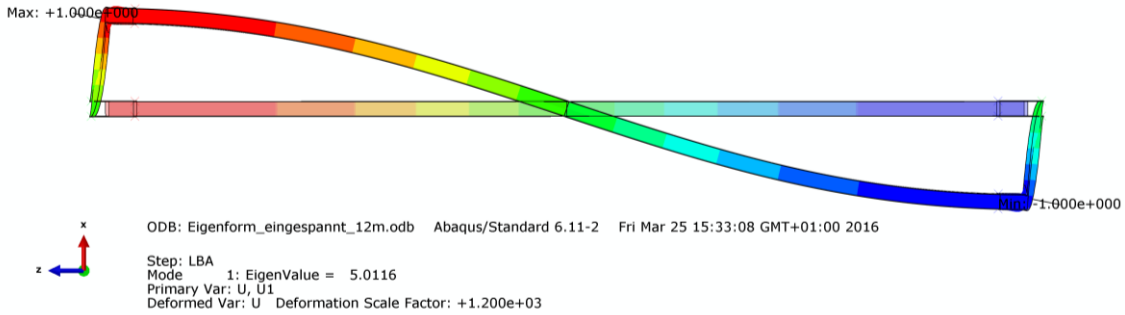


Abbildung 8-21: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

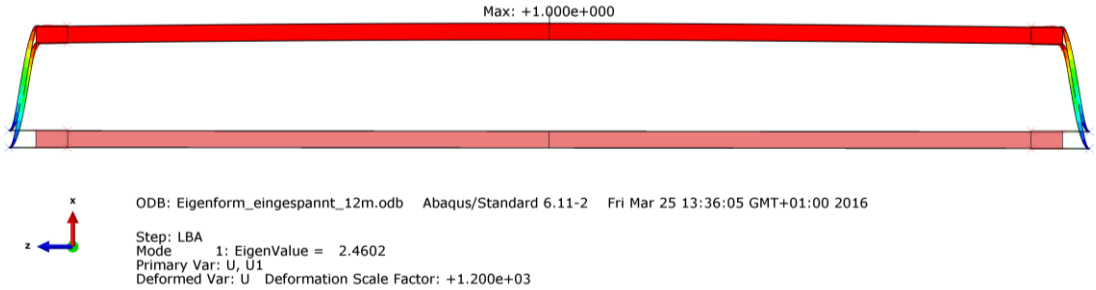


Abbildung 8-22: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

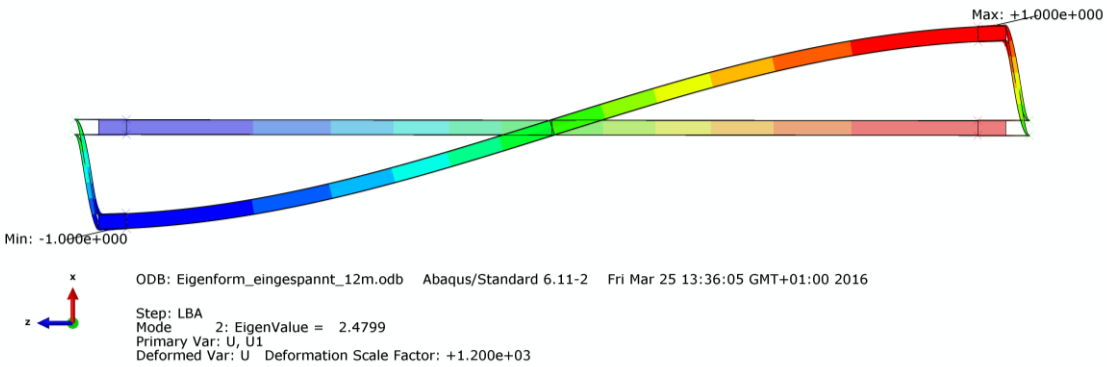


Abbildung 8-23: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

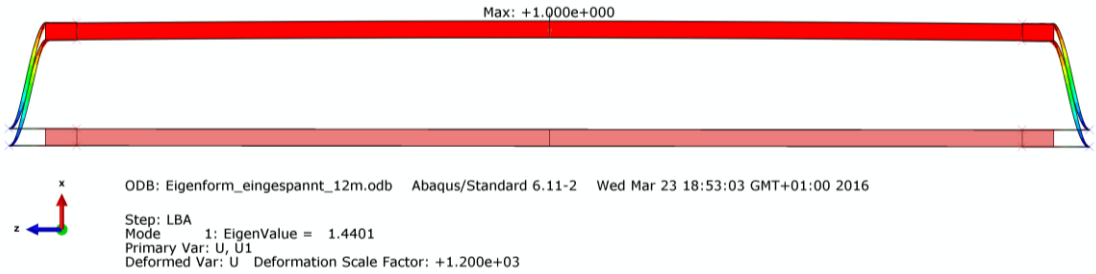


Abbildung 8-24: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

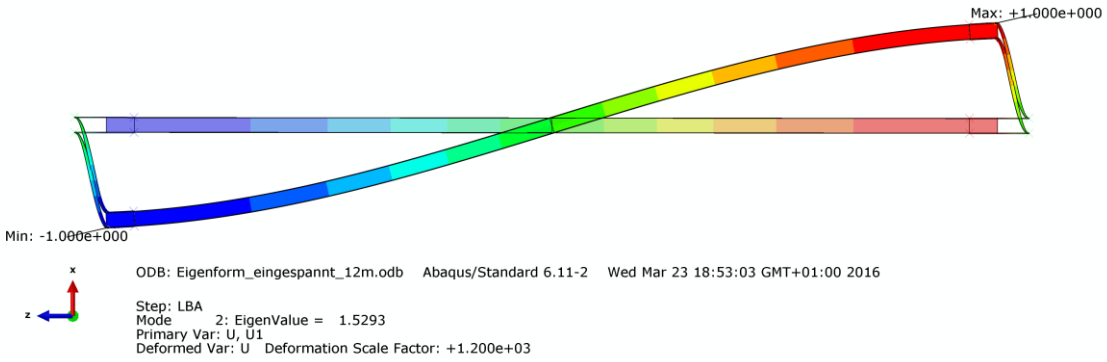


Abbildung 8-25: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm**

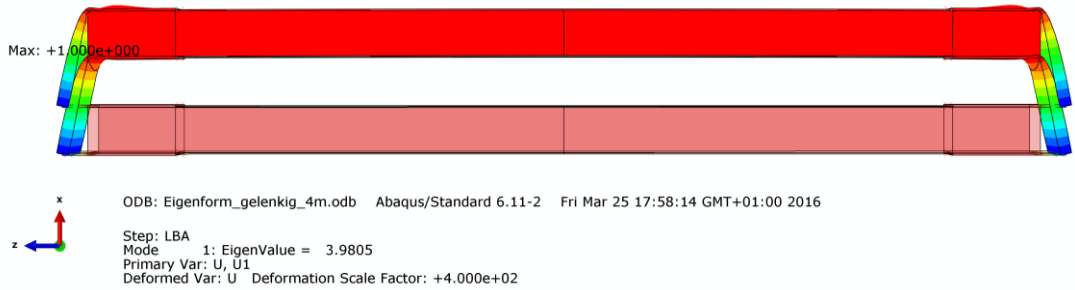


Abbildung 8-26: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

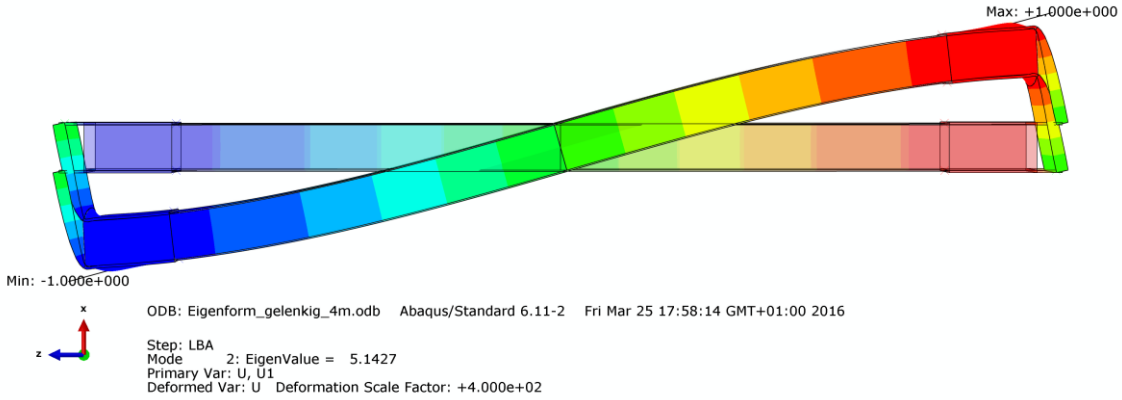


Abbildung 8-27: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

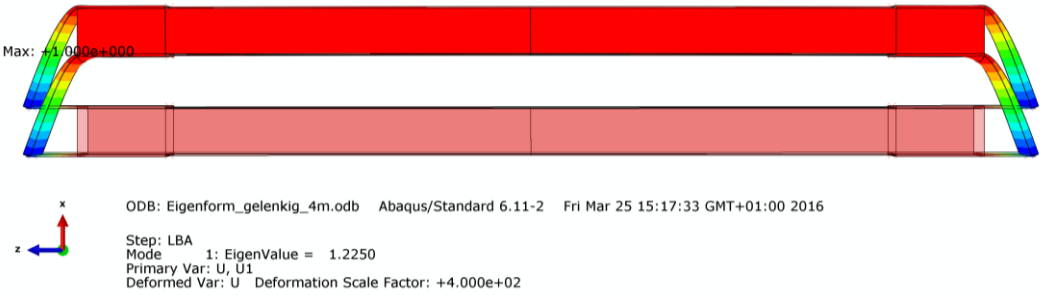


Abbildung 8-28: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

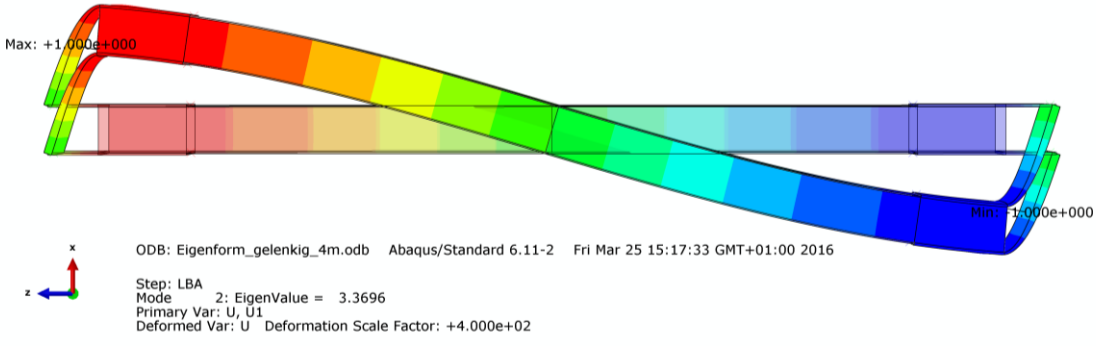


Abbildung 8-29: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

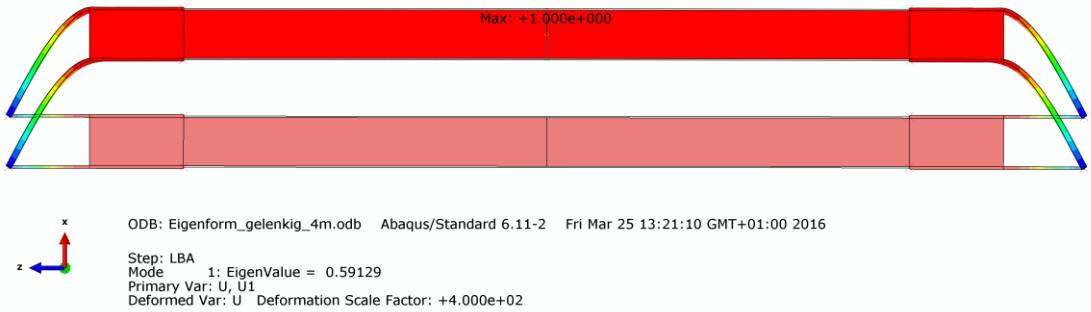


Abbildung 8-30: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

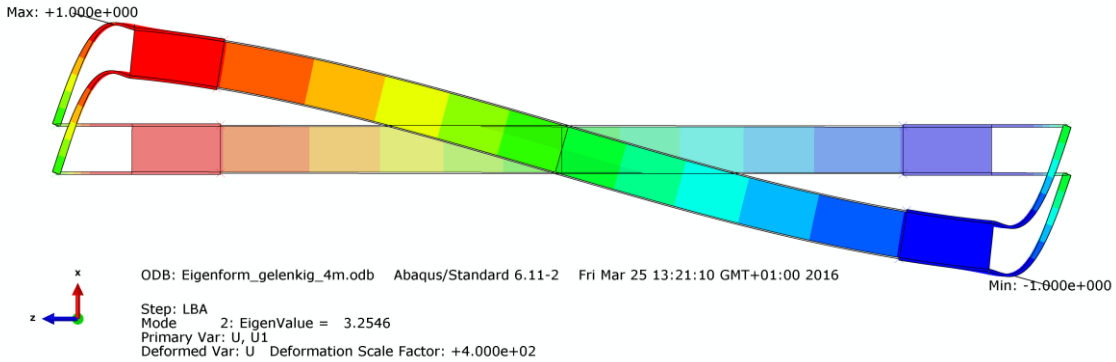


Abbildung 8-31: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

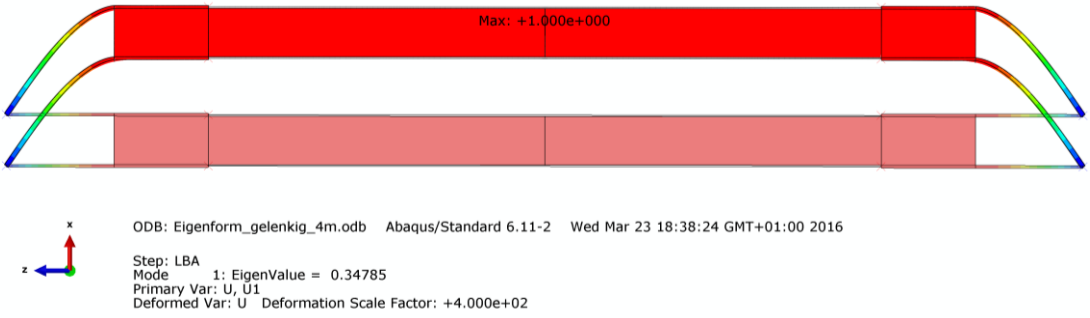


Abbildung 8-32: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

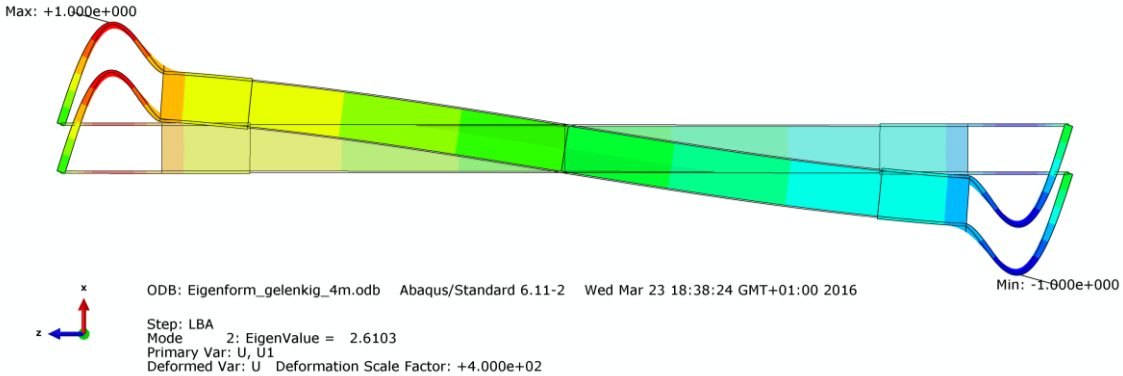


Abbildung 8-33: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm**

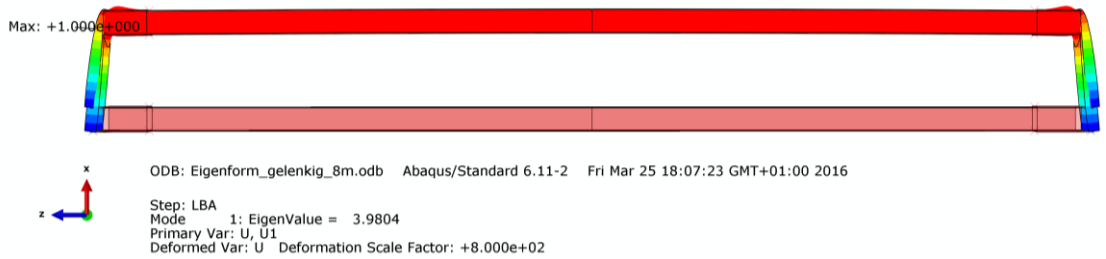


Abbildung 8-34: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

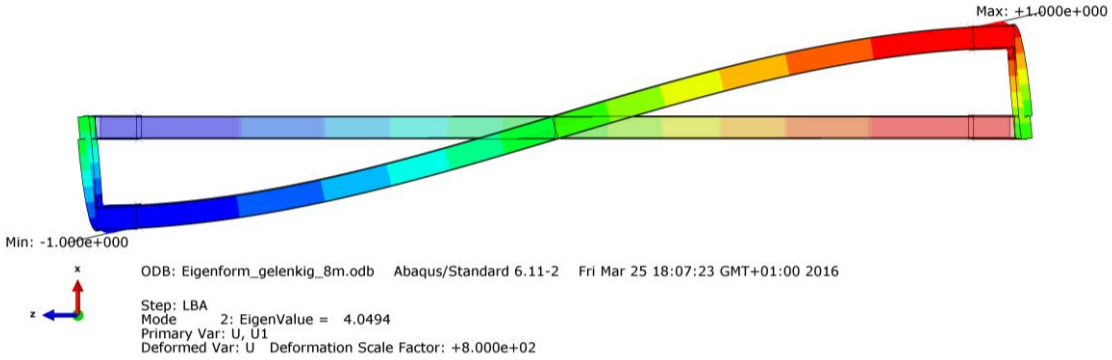


Abbildung 8-35: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

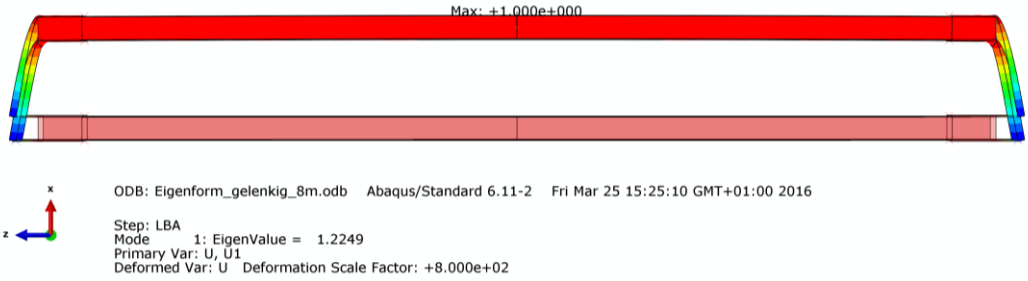


Abbildung 8-36: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

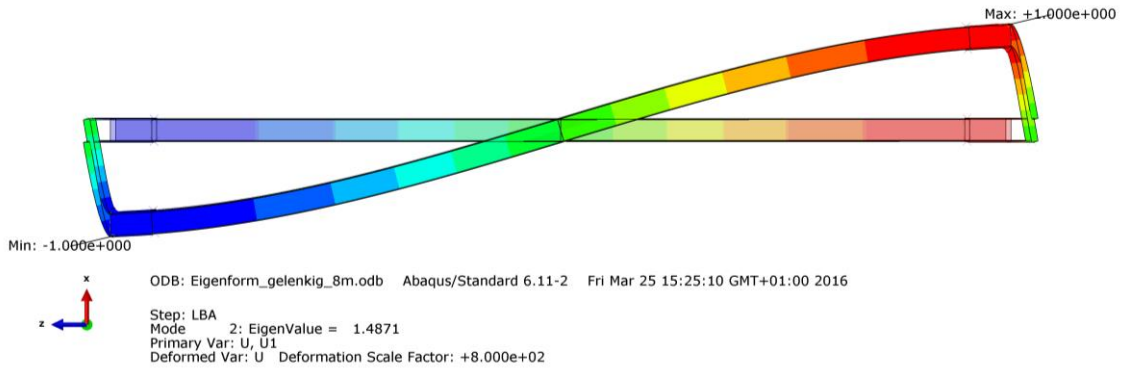


Abbildung 8-37: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

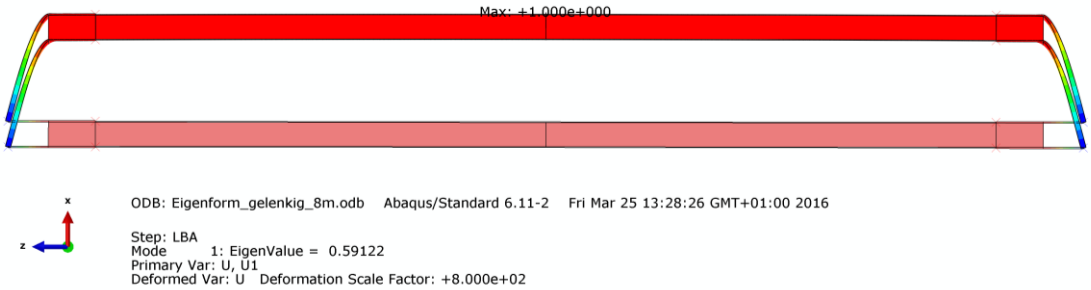


Abbildung 8-38: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

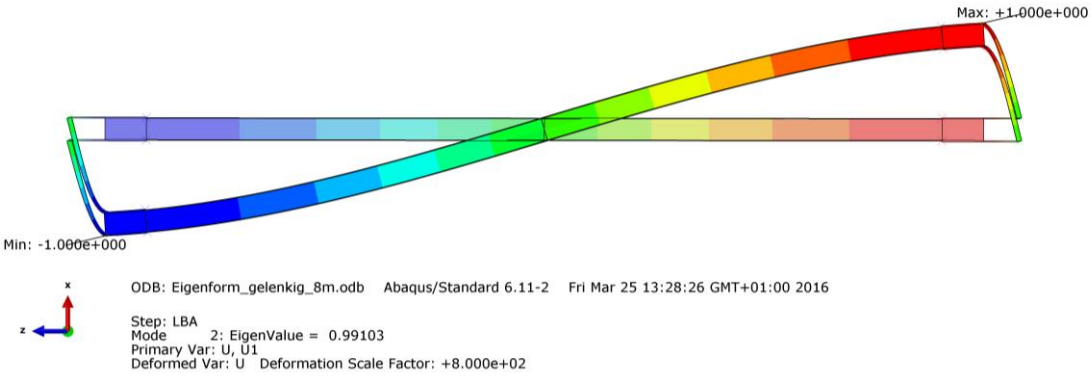


Abbildung 8-39: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

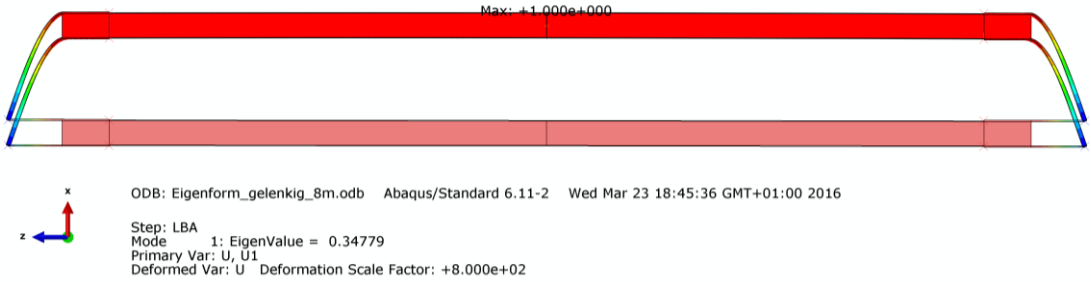


Abbildung 8-40: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

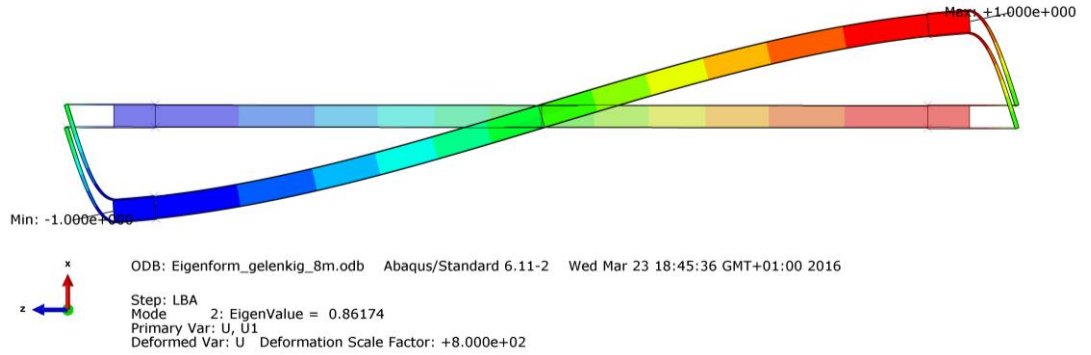


Abbildung 8-41: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm**

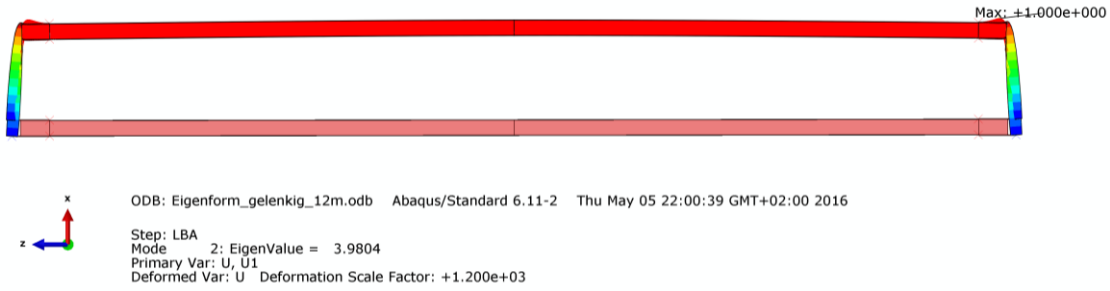


Abbildung 8-42: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

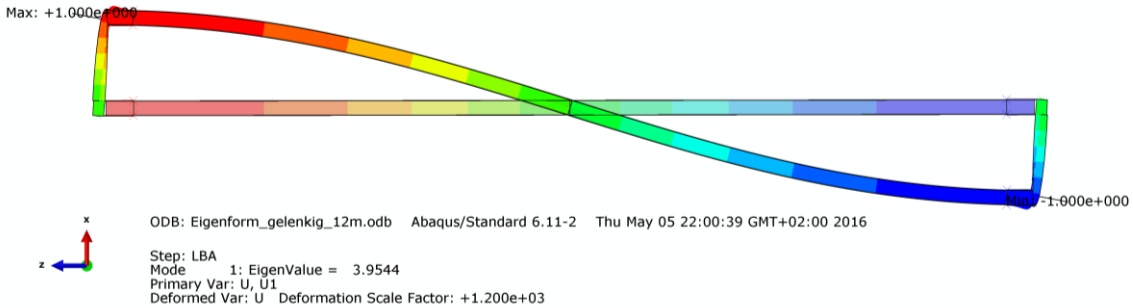


Abbildung 8-43: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

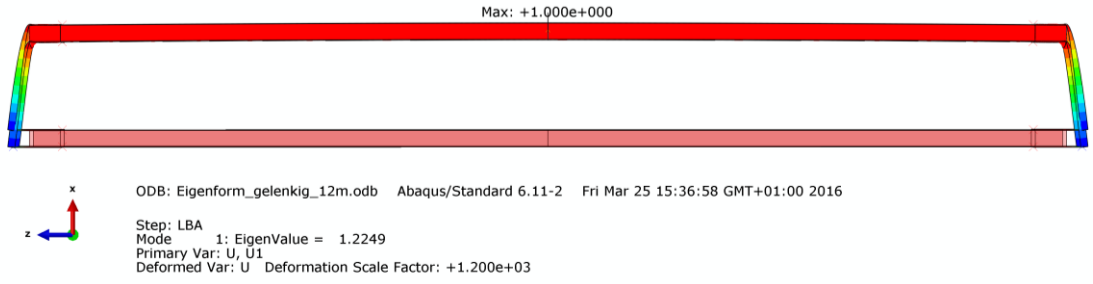


Abbildung 8-44: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

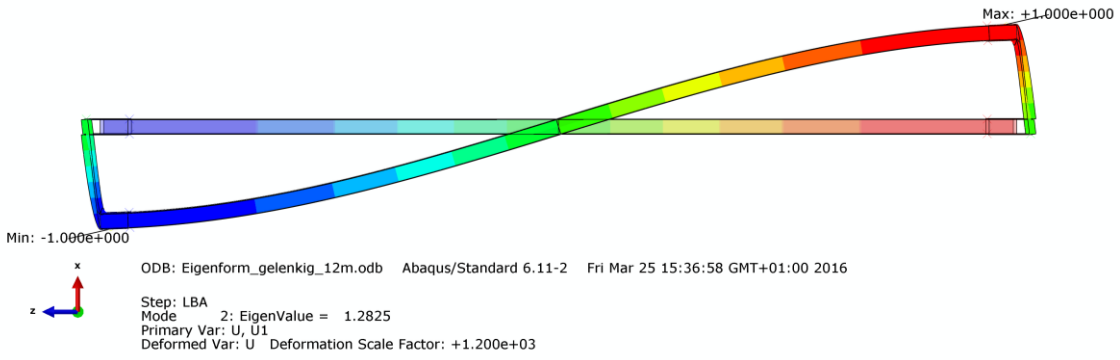


Abbildung 8-45: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

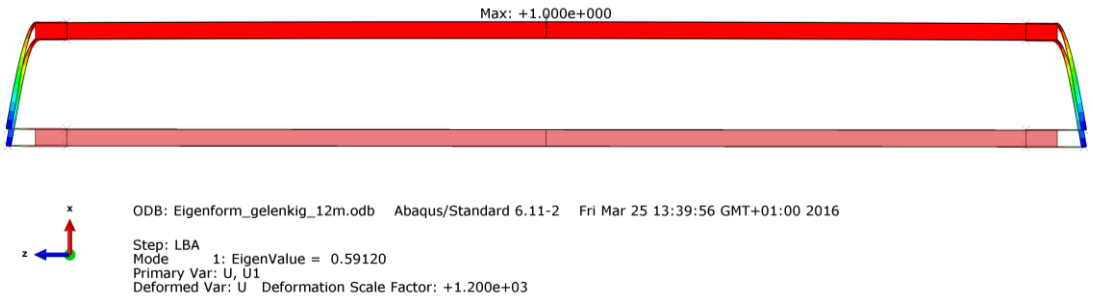


Abbildung 8-46: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

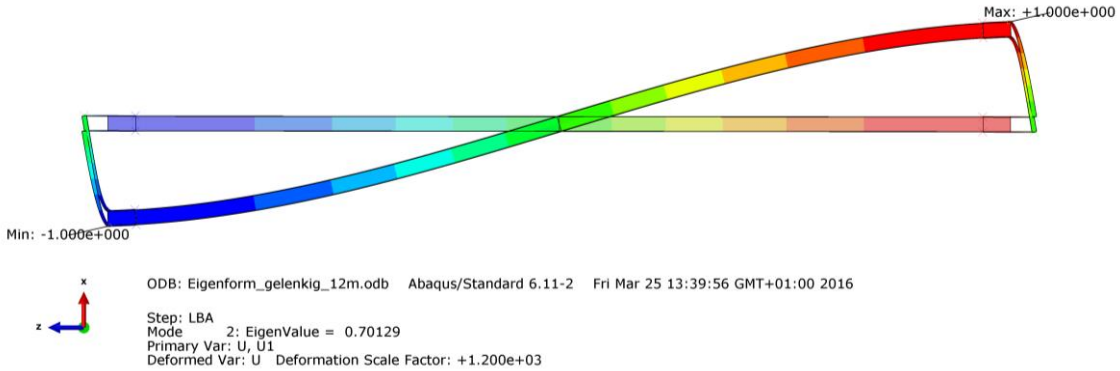


Abbildung 8-47: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

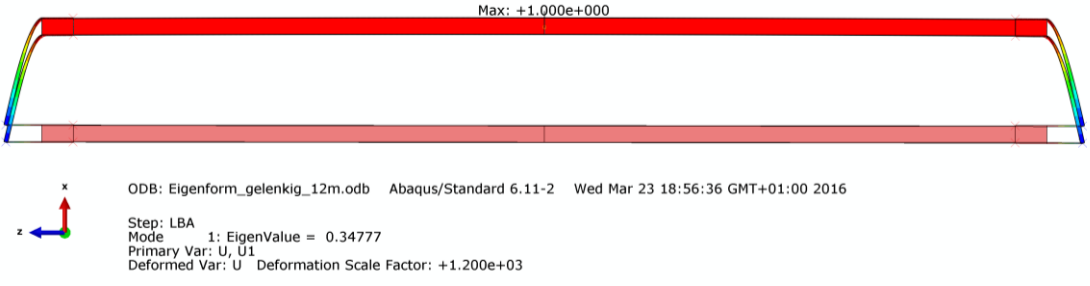


Abbildung 8-48: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

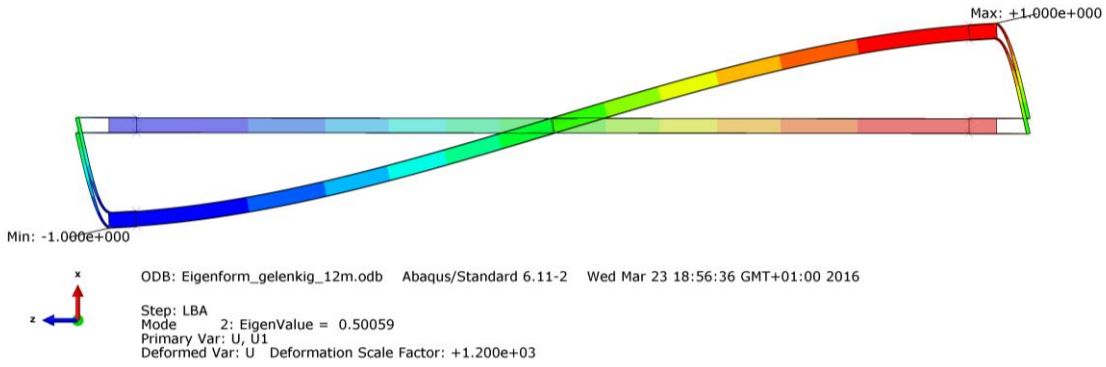


Abbildung 8-49: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm**

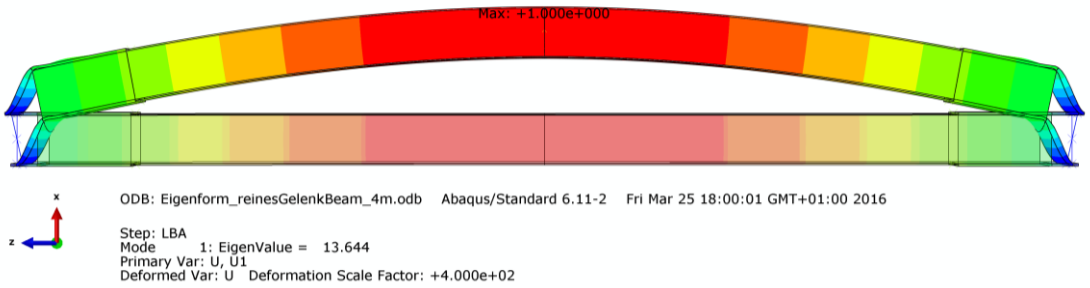


Abbildung 8-50: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

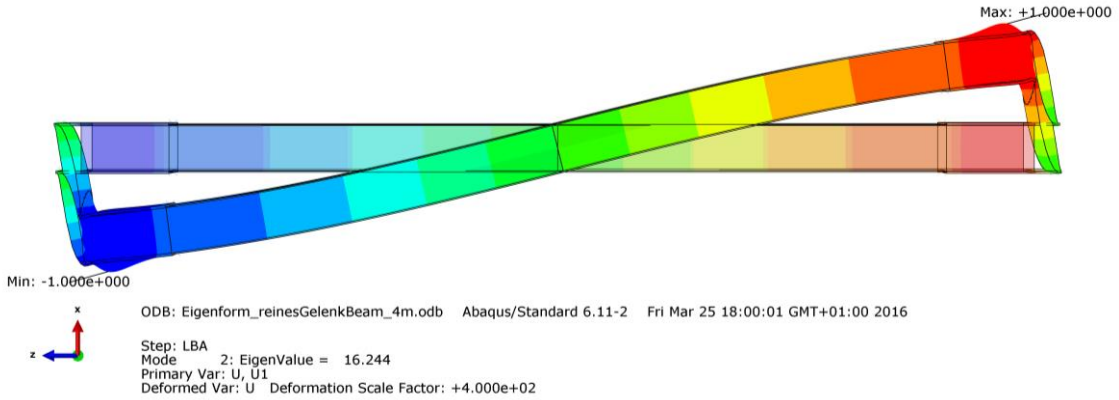


Abbildung 8-51: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

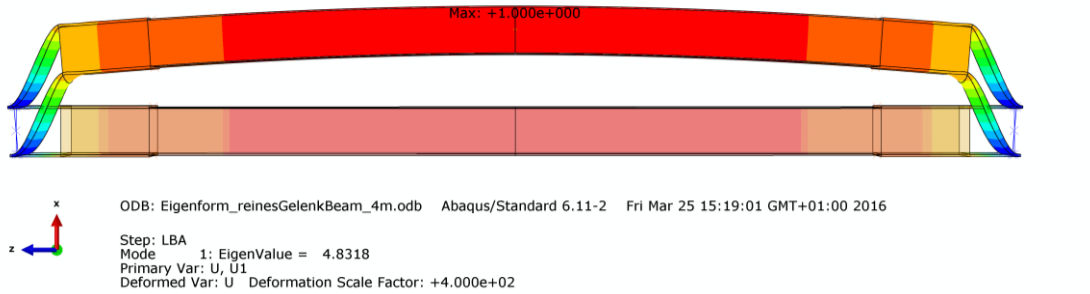


Abbildung 8-52: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

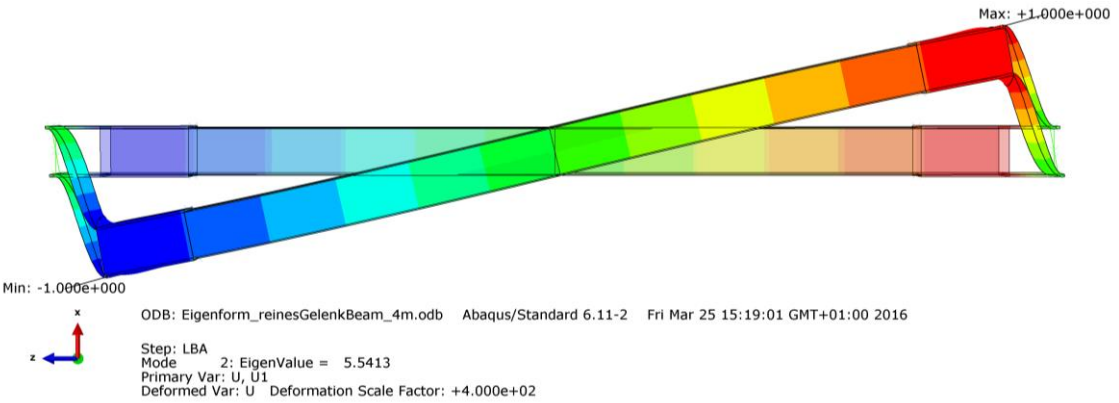


Abbildung 8-53: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

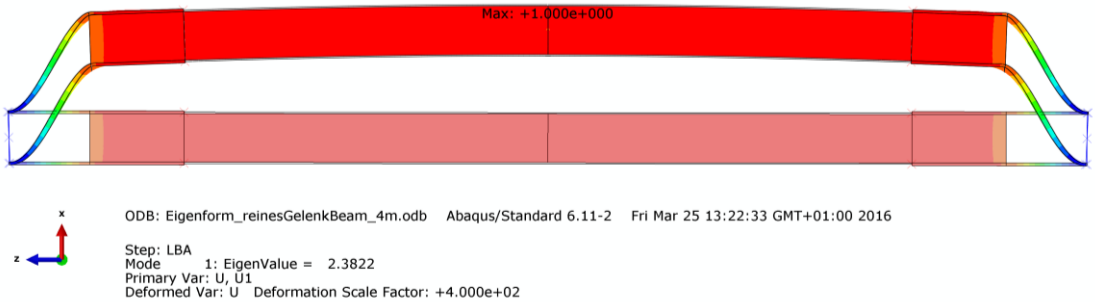


Abbildung 8-54: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

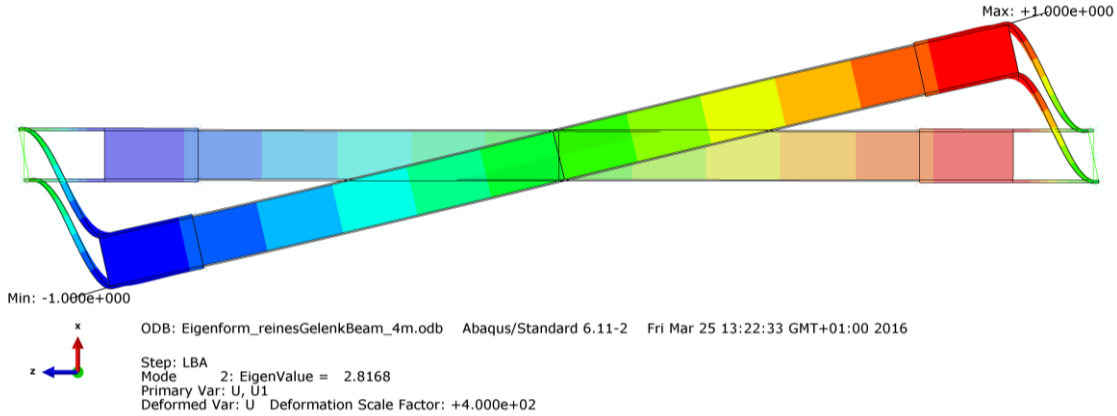


Abbildung 8-55: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

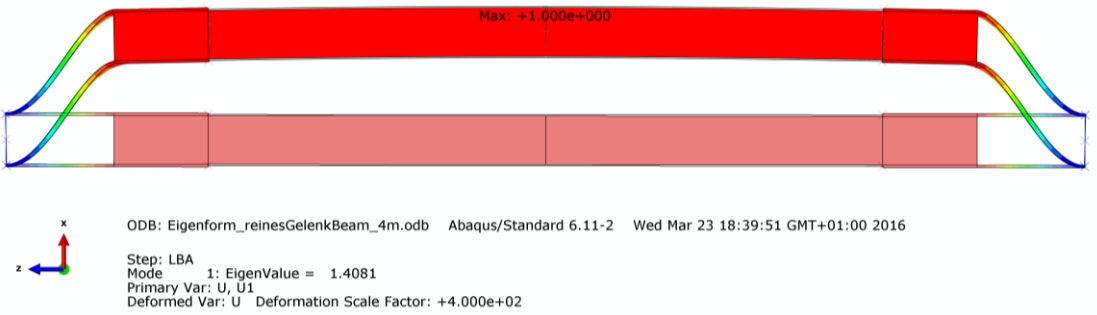


Abbildung 8-56: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

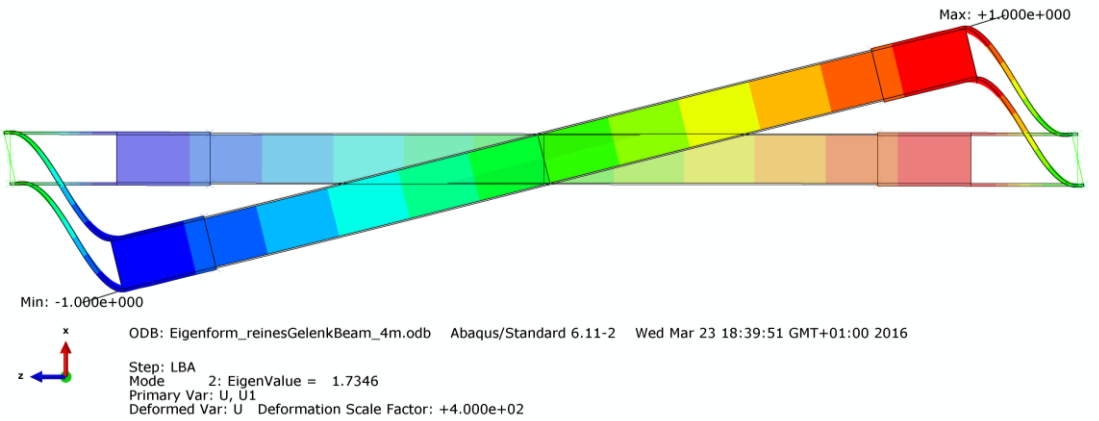


Abbildung 8-57: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm**

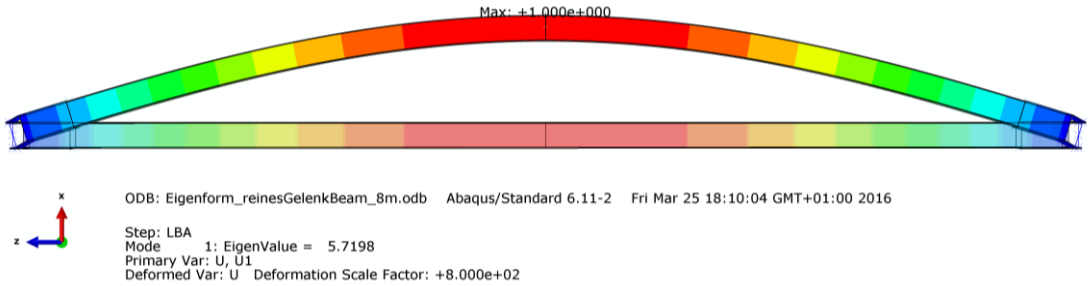


Abbildung 8-58: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

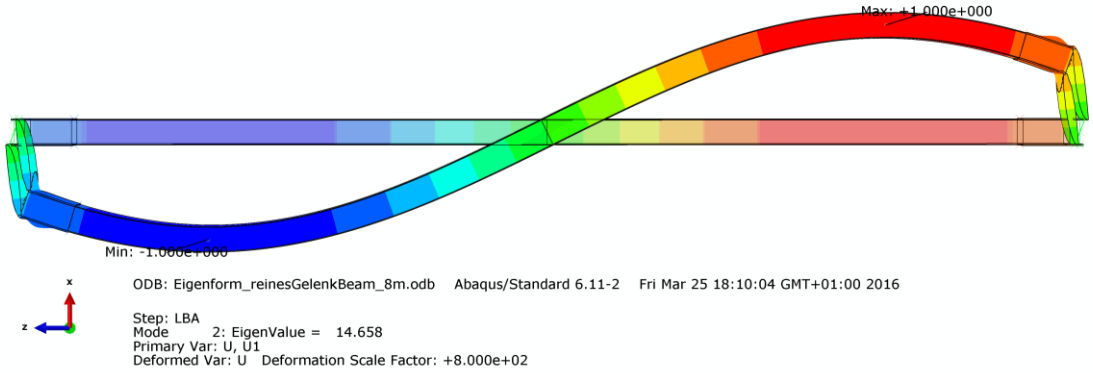


Abbildung 8-59: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

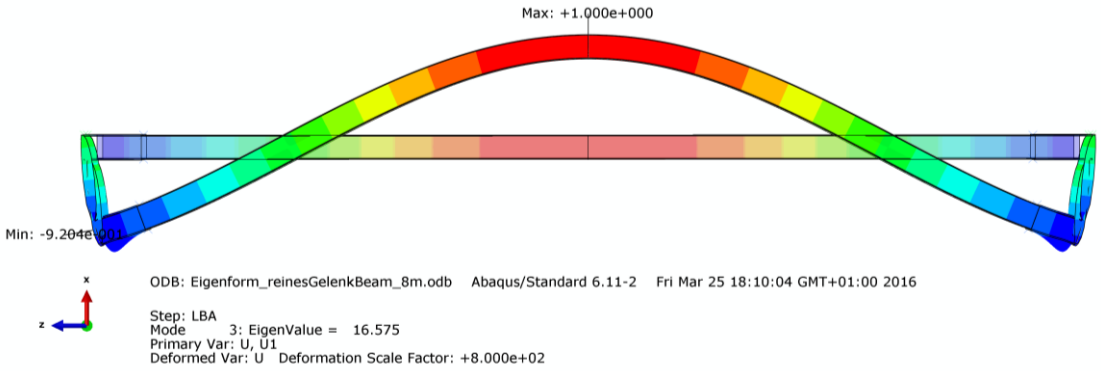


Abbildung 8-60: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

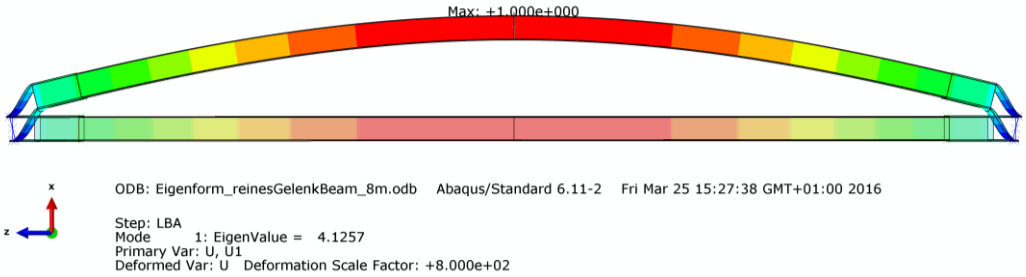


Abbildung 8-61: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

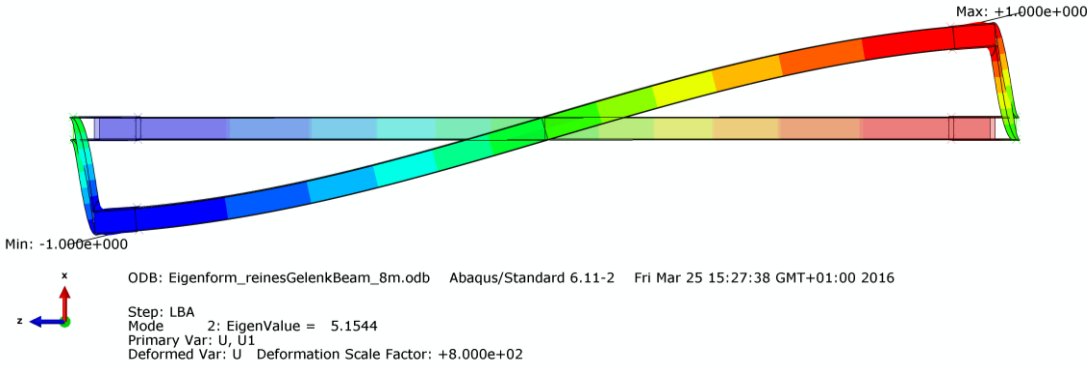


Abbildung 8-62: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

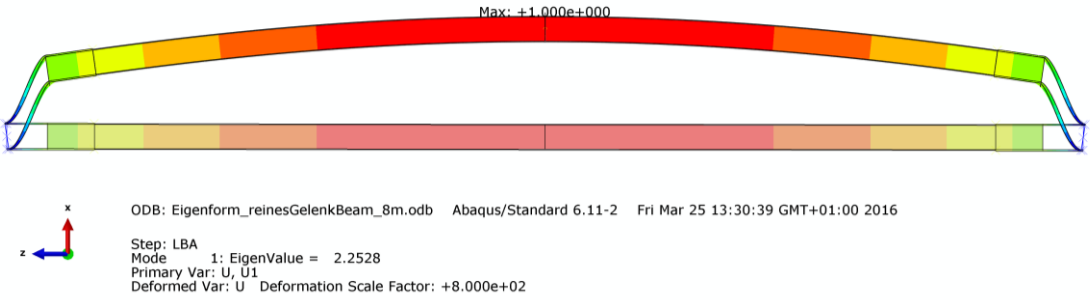


Abbildung 8-63: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

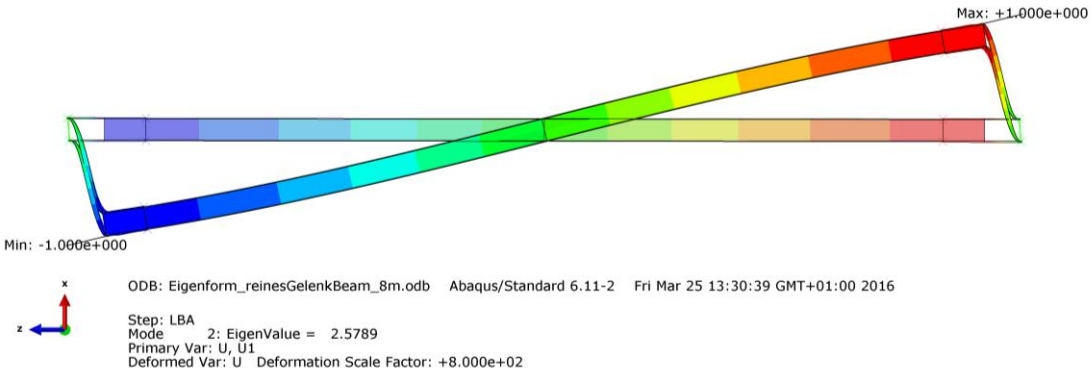


Abbildung 8-64: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

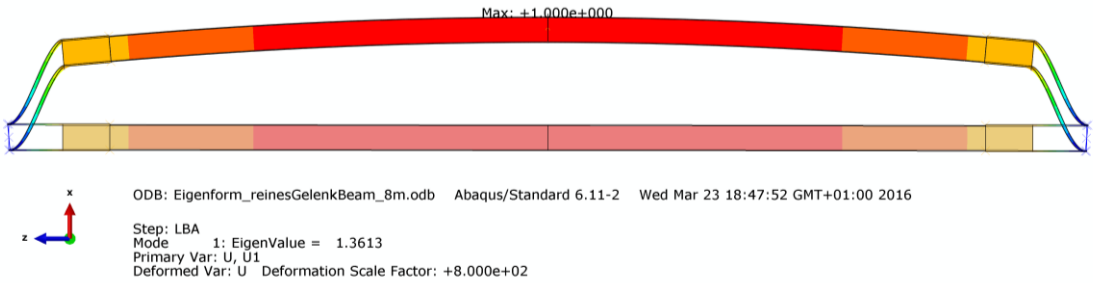


Abbildung 8-65: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

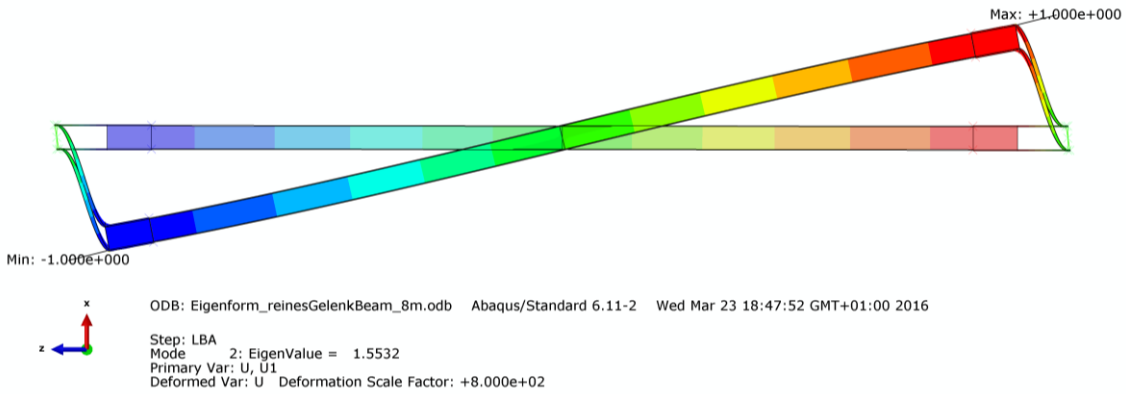


Abbildung 8-66: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm**

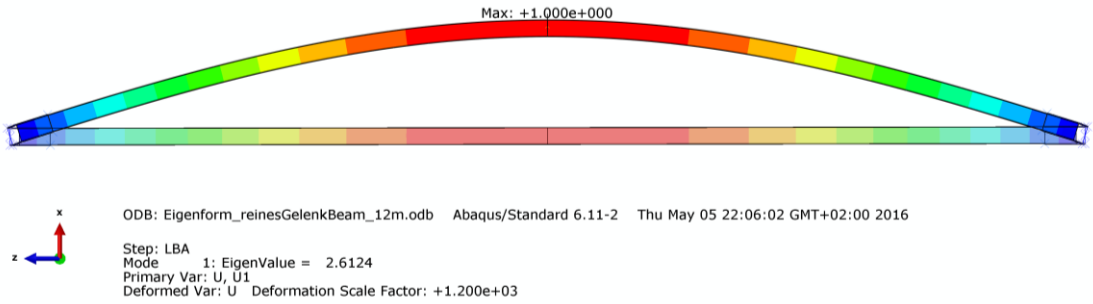


Abbildung 8-67: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

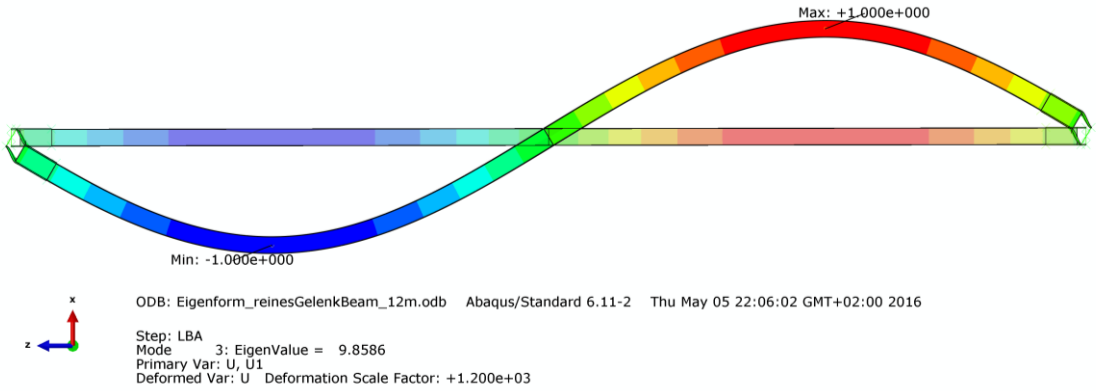


Abbildung 8-68: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

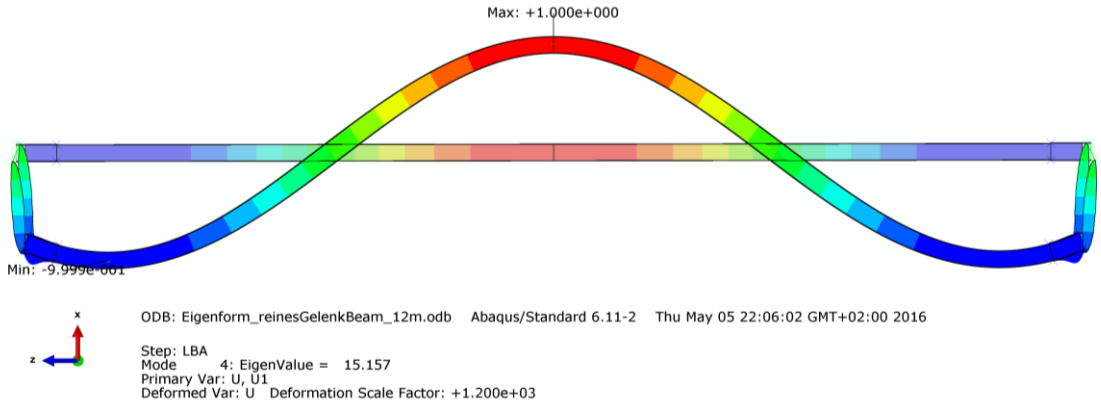


Abbildung 8-69: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

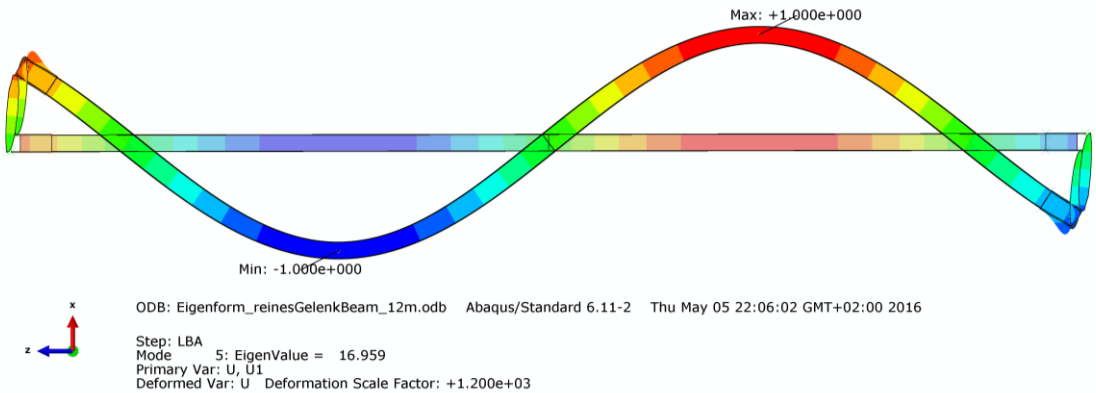


Abbildung 8-70: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

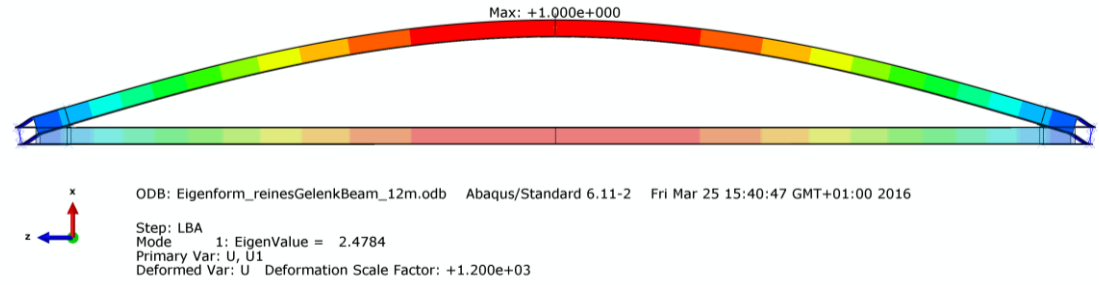


Abbildung 8-71: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

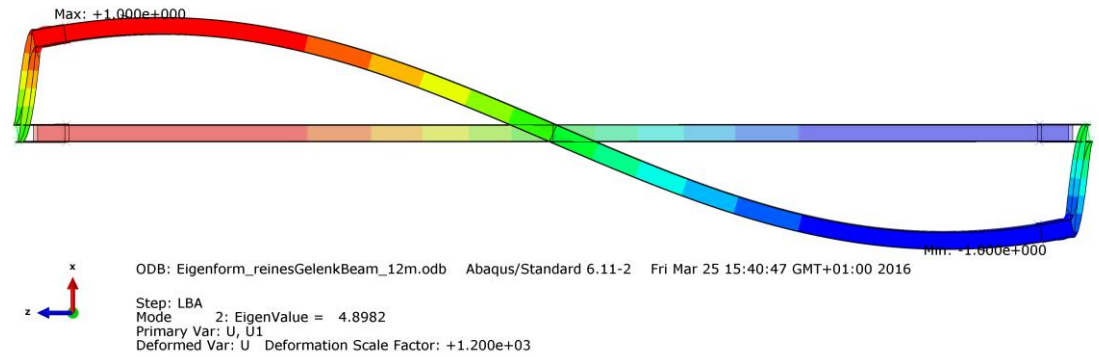


Abbildung 8-72: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

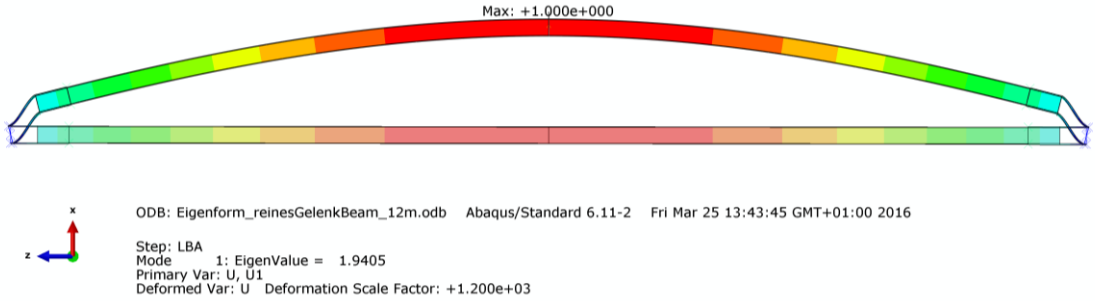


Abbildung 8-73: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

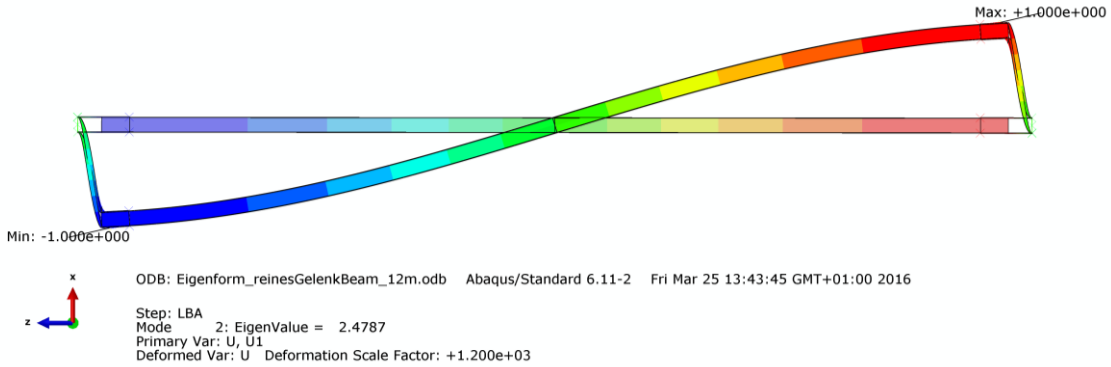


Abbildung 8-74: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

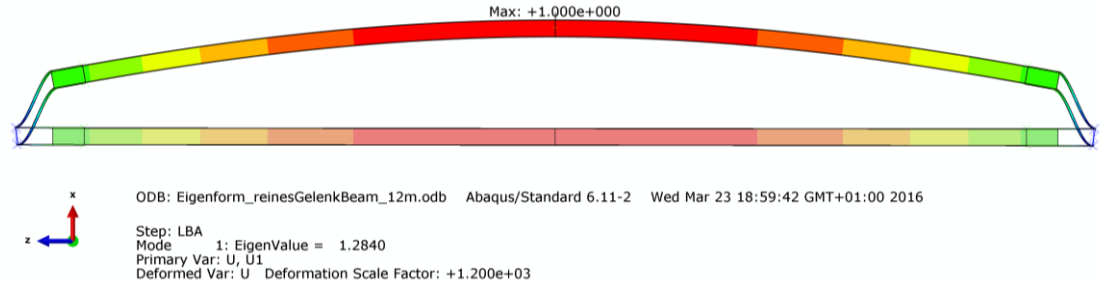


Abbildung 8-75: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

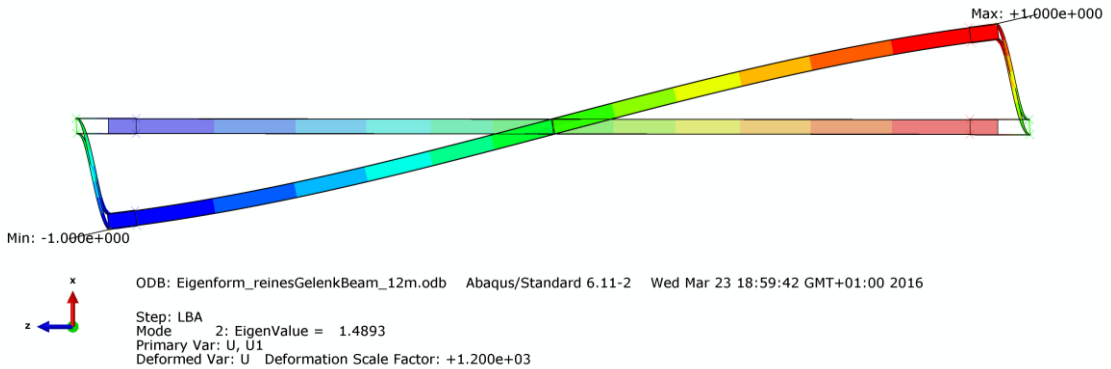


Abbildung 8-76: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdehweich / L = 4.000 mm**

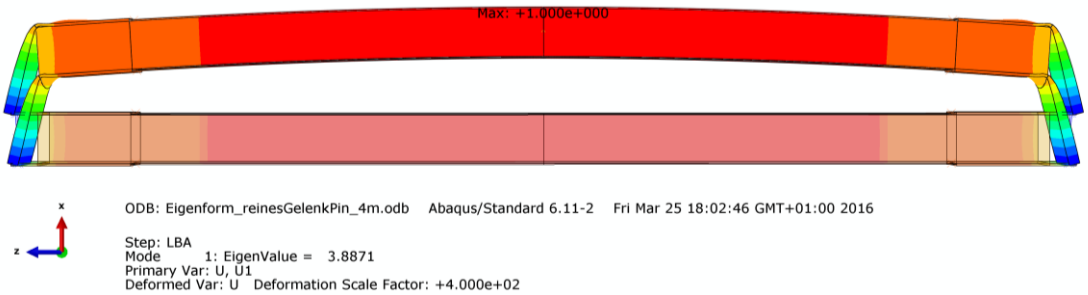


Abbildung 8-77: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

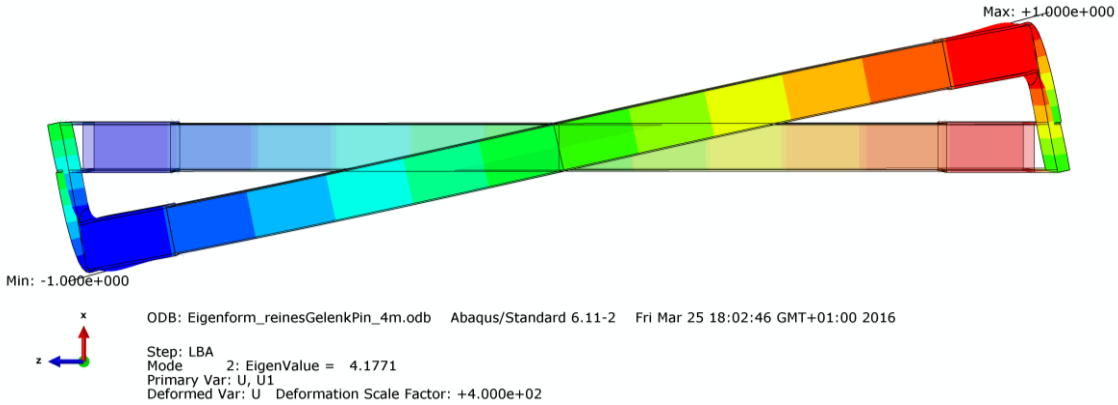


Abbildung 8-78: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

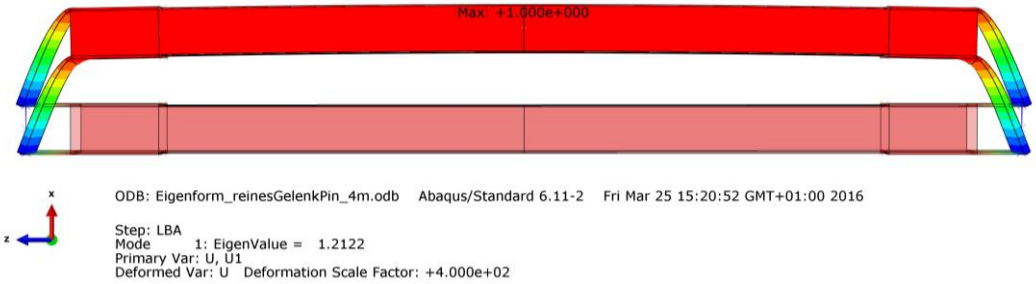


Abbildung 8-79: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

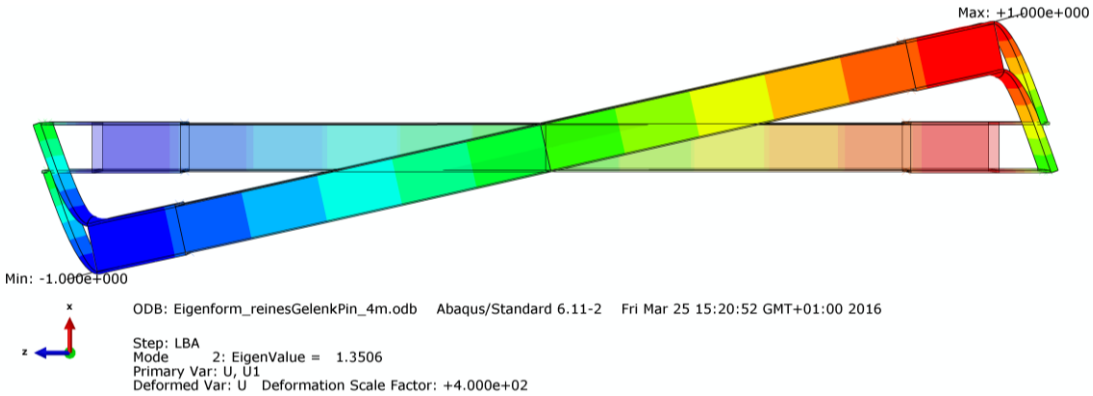


Abbildung 8-80: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

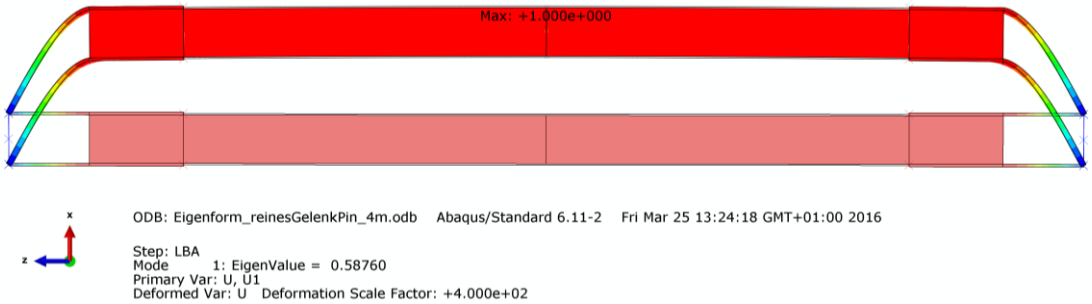


Abbildung 8-81: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

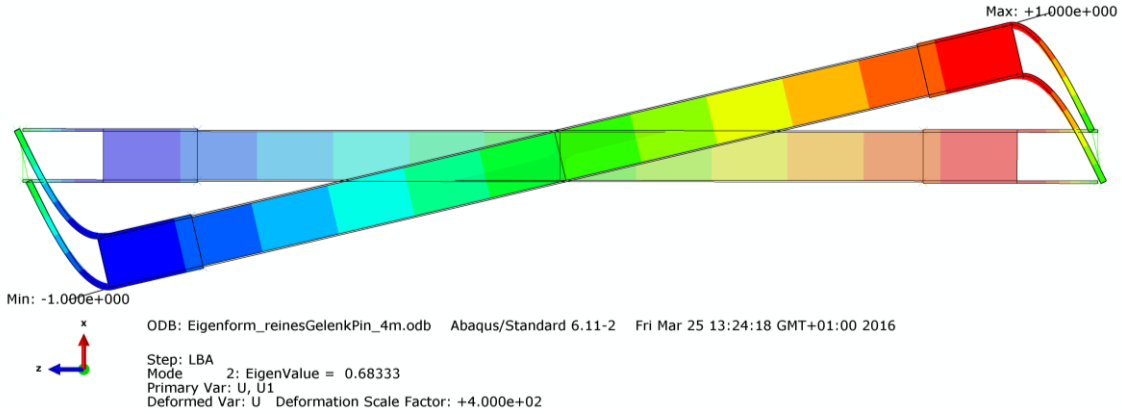


Abbildung 8-82: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

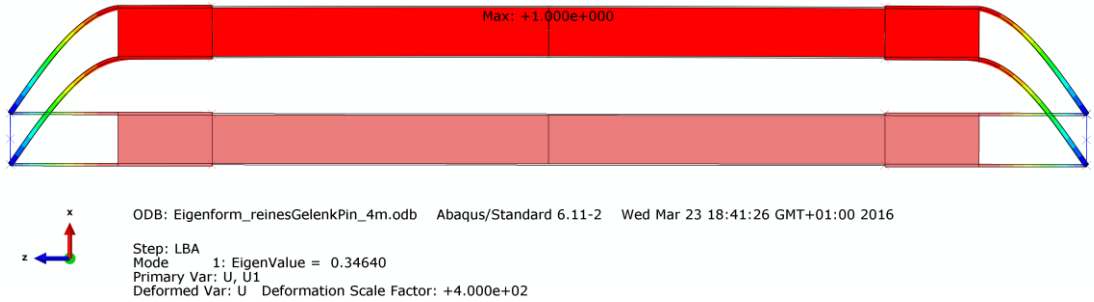


Abbildung 8-83: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

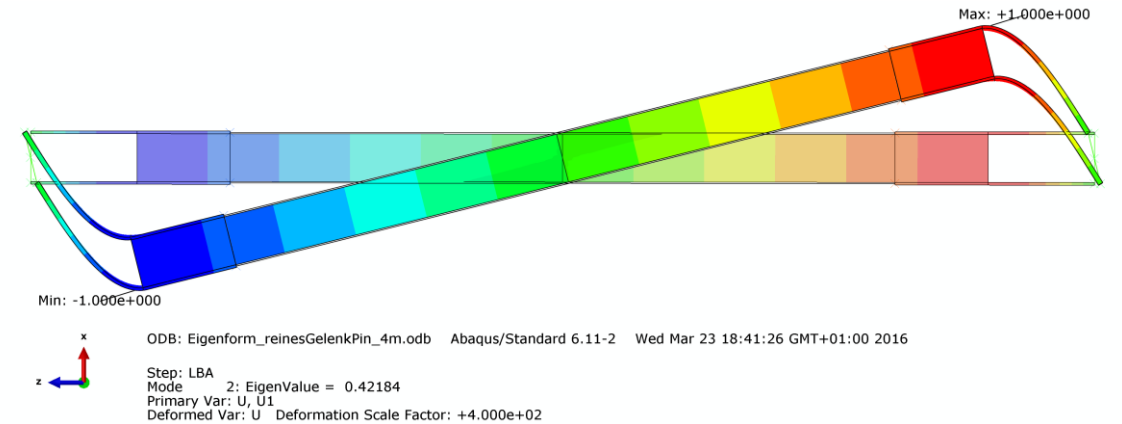


Abbildung 8-84: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdehweich / L = 8.000 mm**

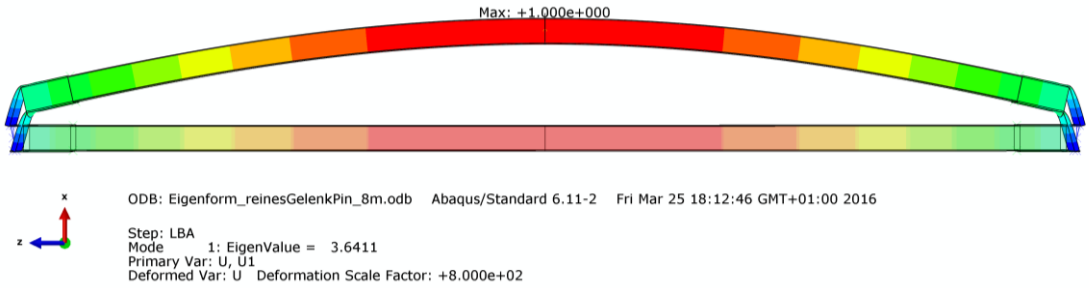


Abbildung 8-85: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

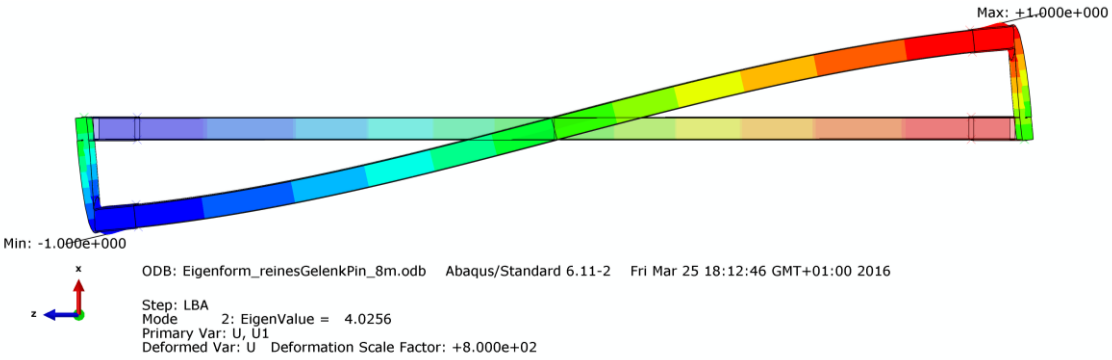


Abbildung 8-86: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

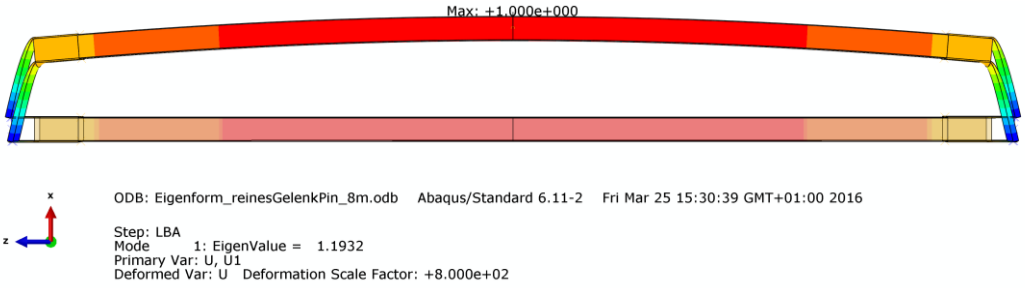


Abbildung 8-87: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

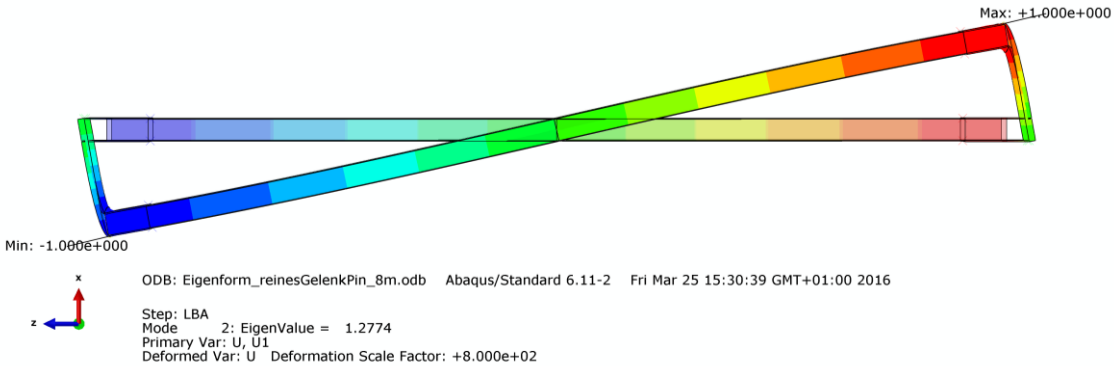


Abbildung 8-88: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

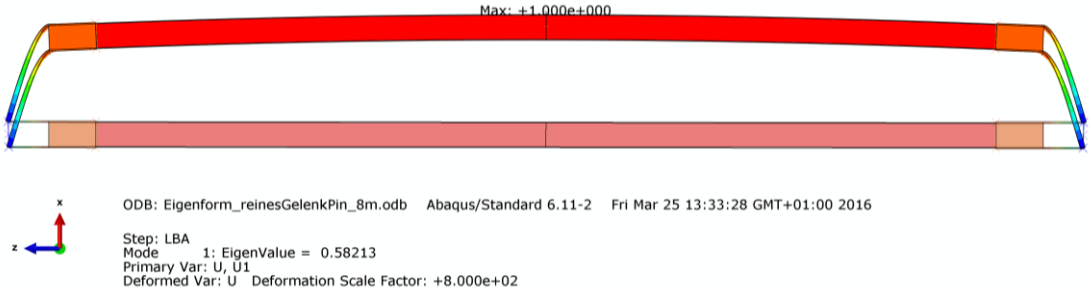


Abbildung 8-89: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

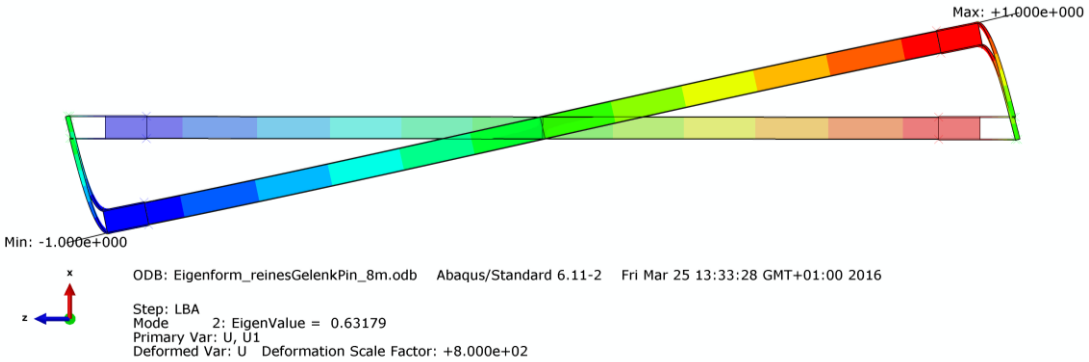


Abbildung 8-90: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

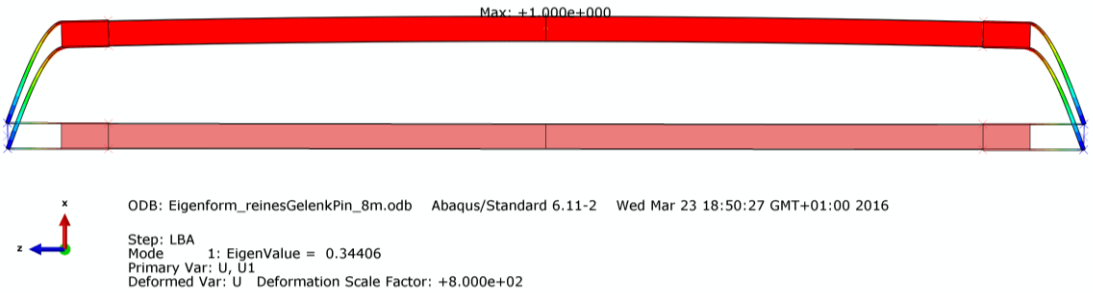


Abbildung 8-91: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

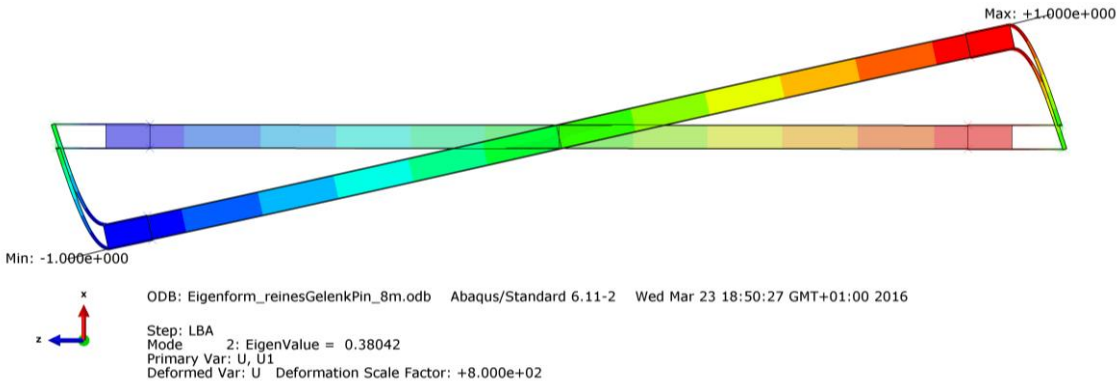


Abbildung 8-92: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdehweich / L = 12.000 mm**

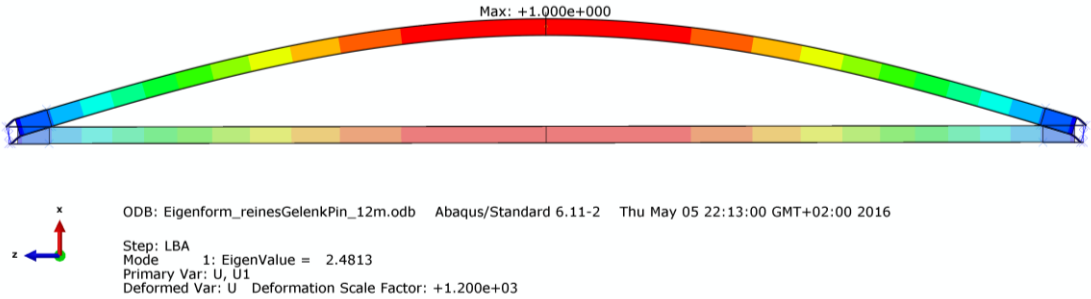


Abbildung 8-93: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

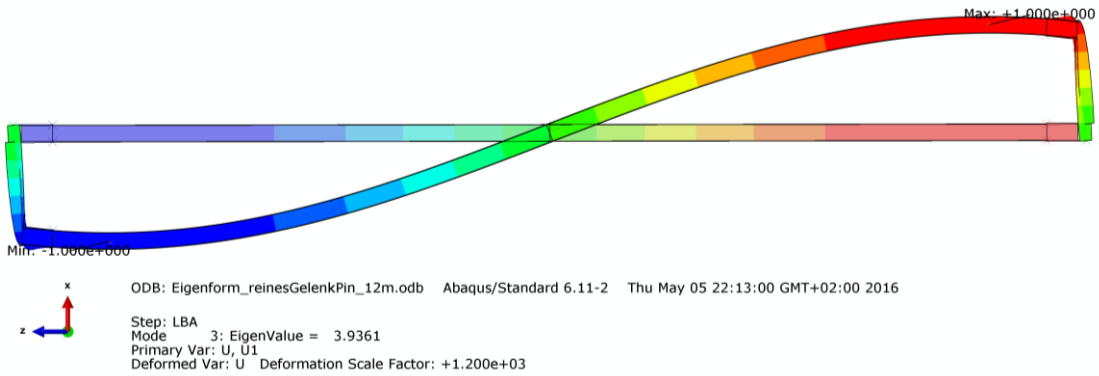


Abbildung 8-94: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

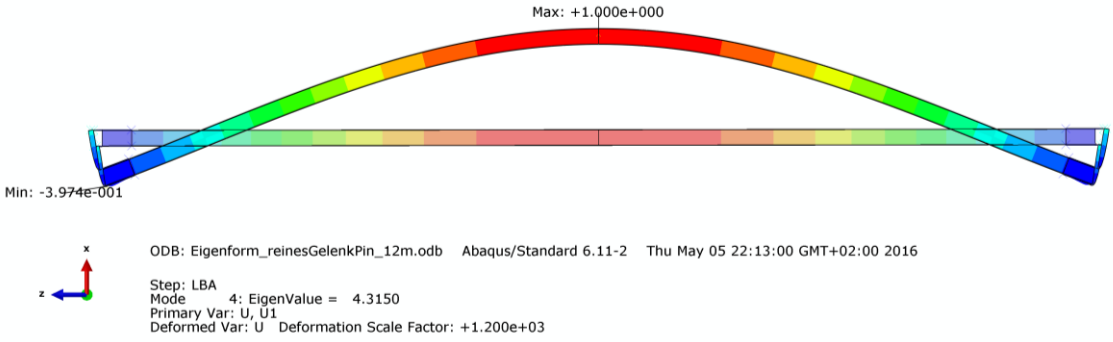


Abbildung 8-95: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

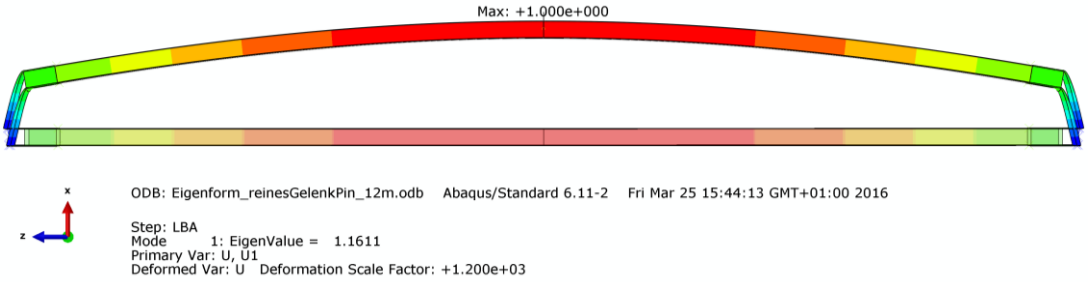


Abbildung 8-96: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

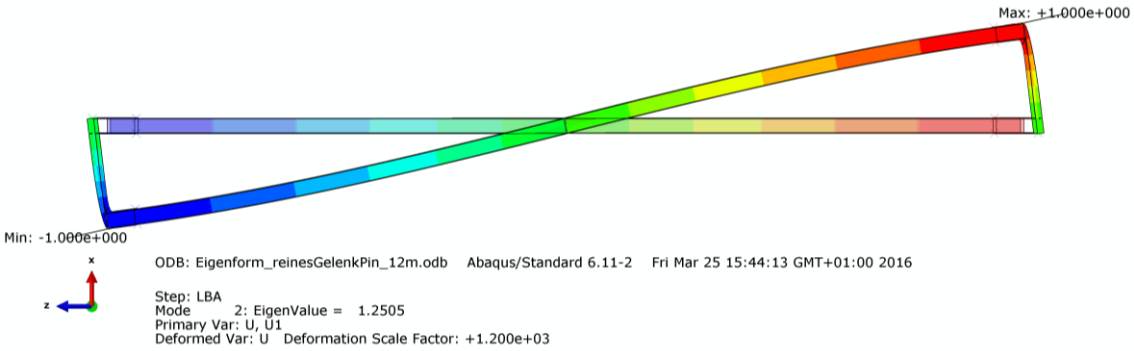


Abbildung 8-97: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

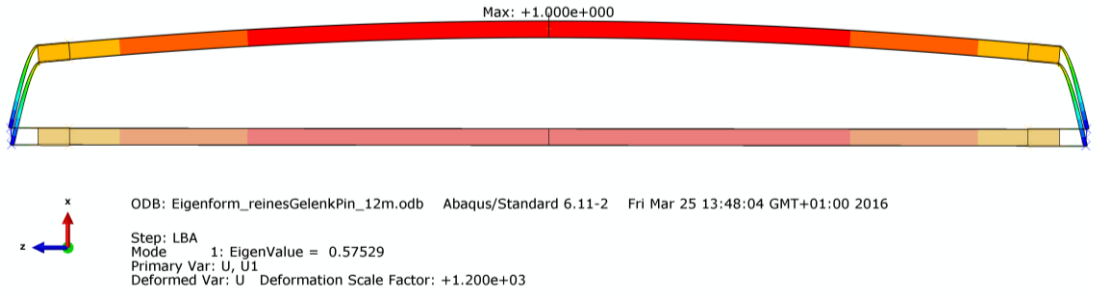


Abbildung 8-98: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

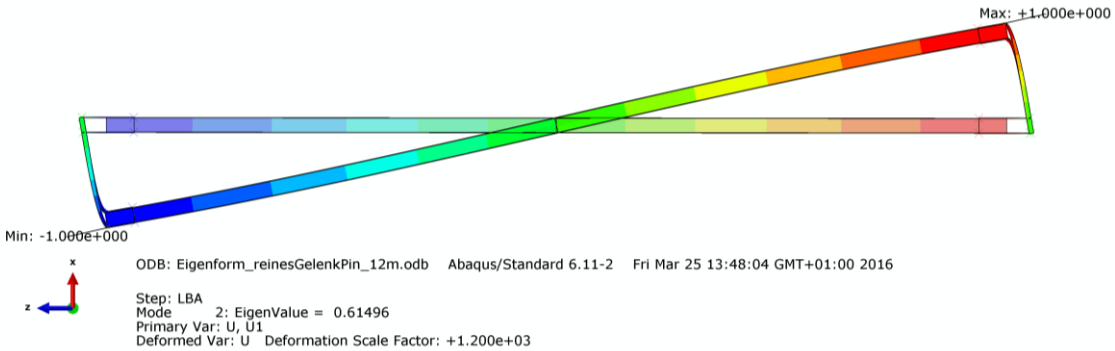


Abbildung 8-99: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

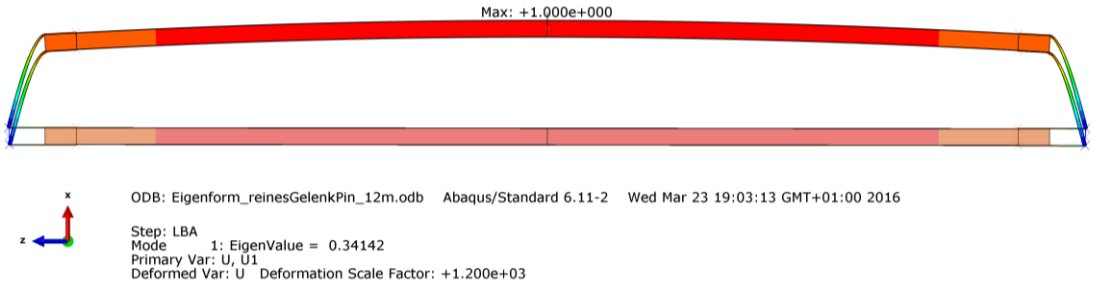


Abbildung 8-100: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

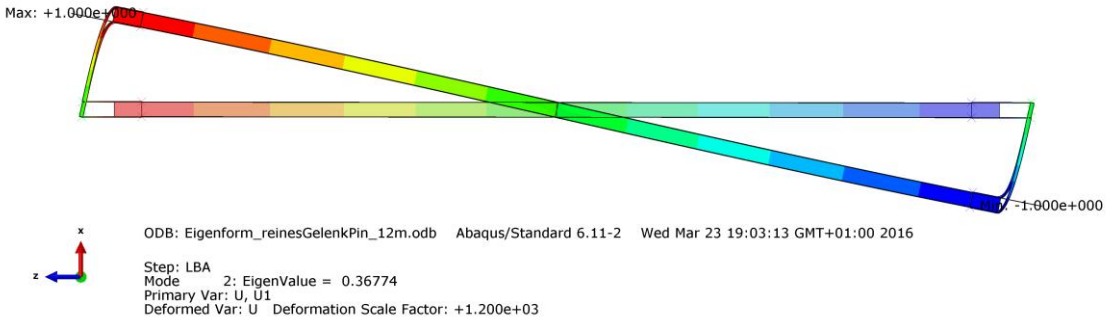


Abbildung 8-101: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

8.2.2 Knotenblechdicke t_{KB} = 24 mm

In den Abbildungen 8-102 bis 8-248 sind sämtliche Eigenformen der Parameterstudie von Systemen mit einer Knotenblechdicke von t_{KB} = 24 mm dargestellt. Da dieses Knotenblech eine deutlich höhere Steifigkeit als jenes mit einer Dicke von t_{KB} = 10 mm aufweist, war es bei einigen Systemen erforderlich höhere Eigenformen zu ermitteln, um die maximale Knotenblechauslenkung zu erhalten, bei der die geringste Traglast vermutet wurde.

Vereinzelt war es bei Systemen mit sehr gedrungenen Knotenblechen und kurzen Systemlängen nicht möglich die maximale Auslenkung im Bereich der Knotenbleche zu ermitteln, weil das System aufgrund seiner geringen Schlankheit keine eindeutige, höhere Eigenform mehr ausbildete, sondern sich lokal in mehreren Bereichen Beulversagen einstellte. Da derartige Parameterkombinationen aufgrund ihrer geringen Schlankheit keinerlei Stabilitätsgefährdung darstellen, zählen sie ohnehin nicht zu den für diese Studie relevanten Systemen.

- **System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm**

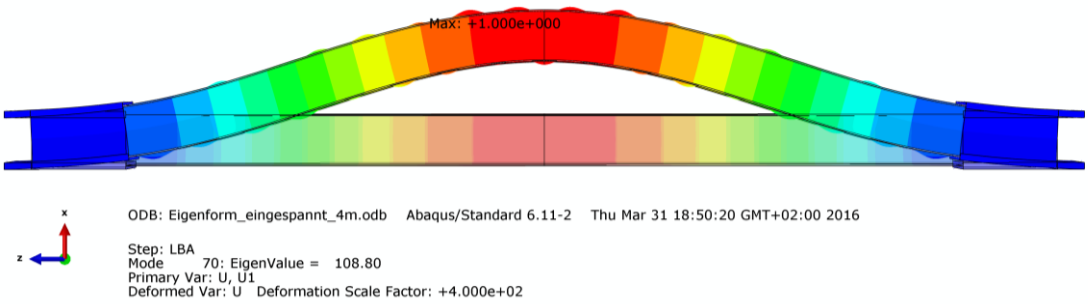


Abbildung 8-102: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

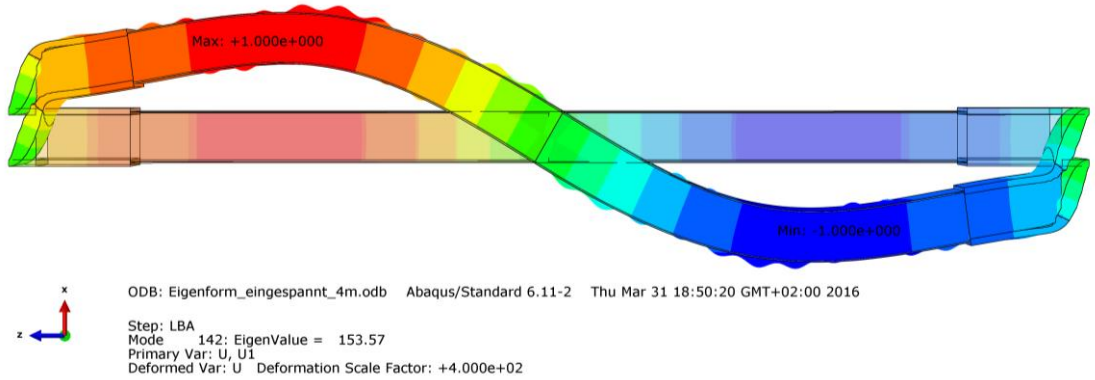


Abbildung 8-103: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

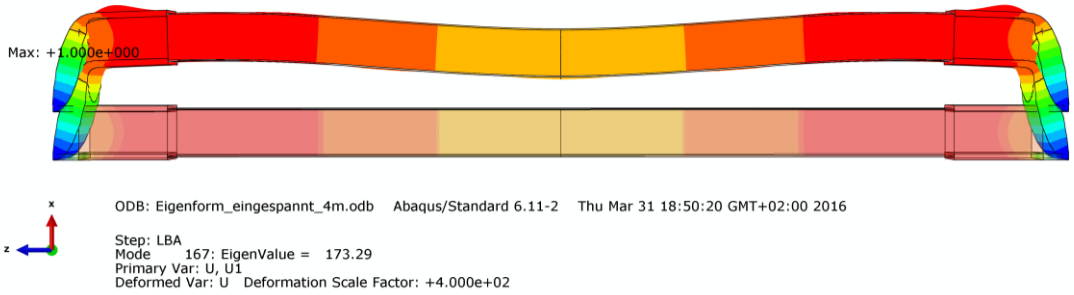


Abbildung 8-104: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

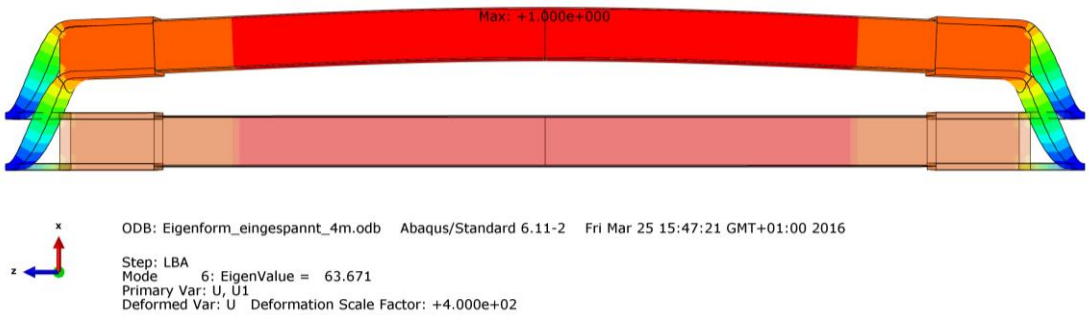


Abbildung 8-105: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

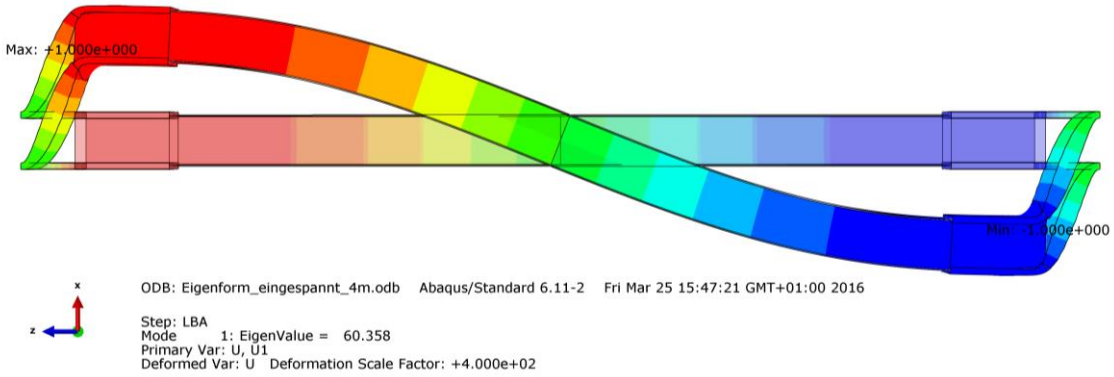


Abbildung 8-106: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

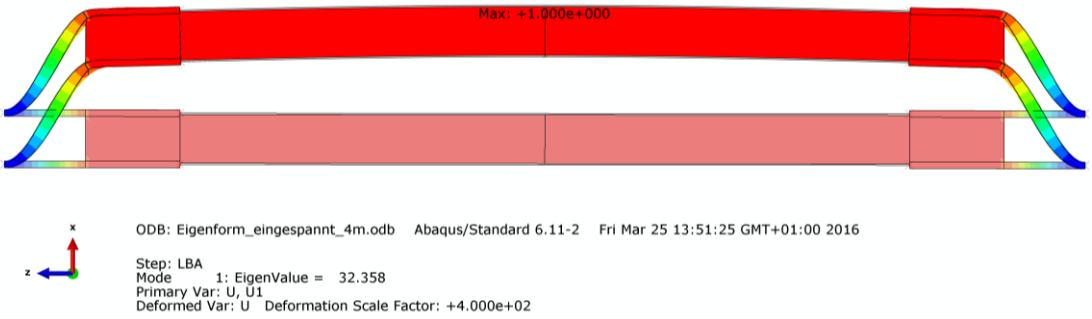


Abbildung 8-107: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

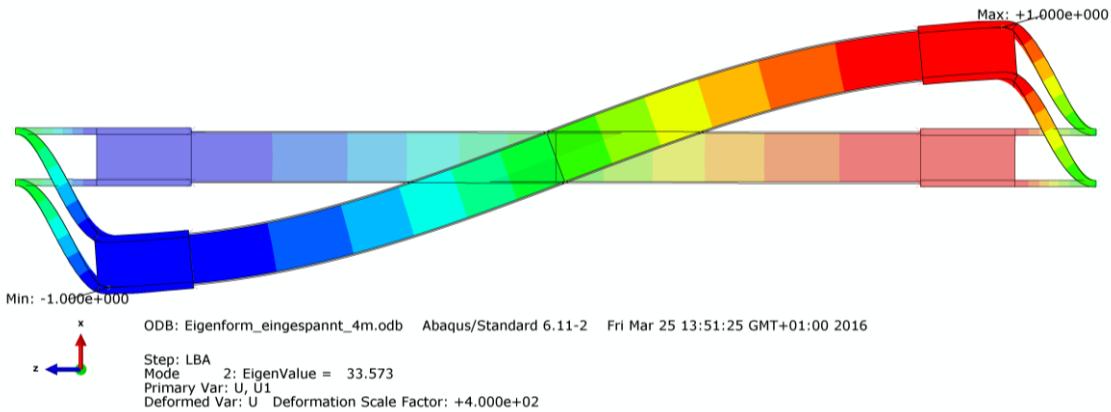


Abbildung 8-108: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

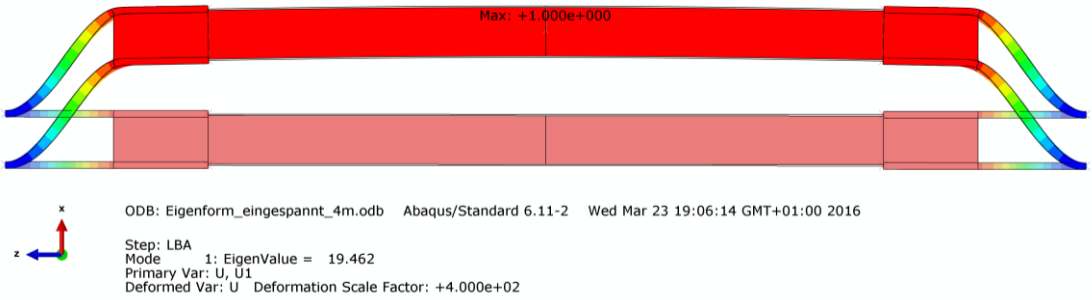


Abbildung 8-109: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

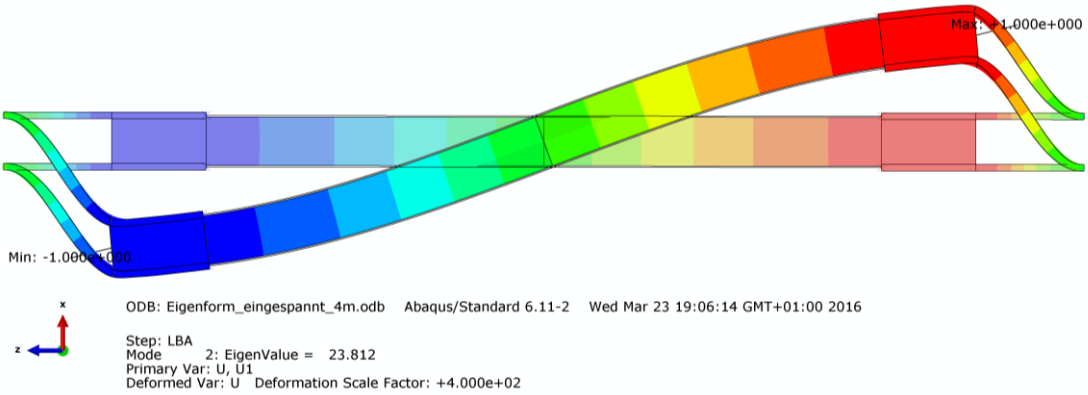


Abbildung 8-110: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm**

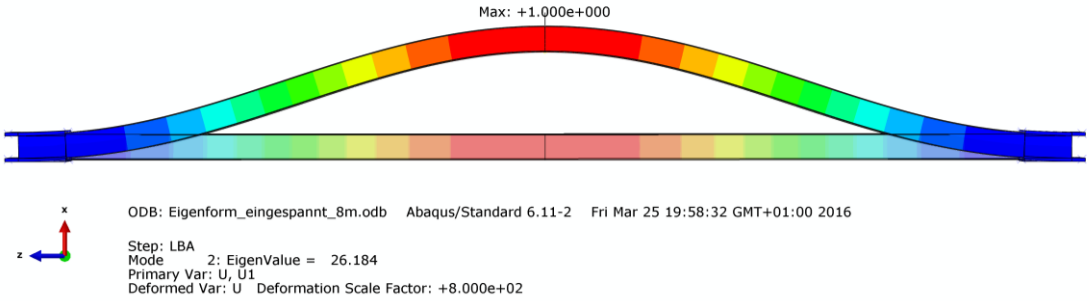


Abbildung 8-111: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

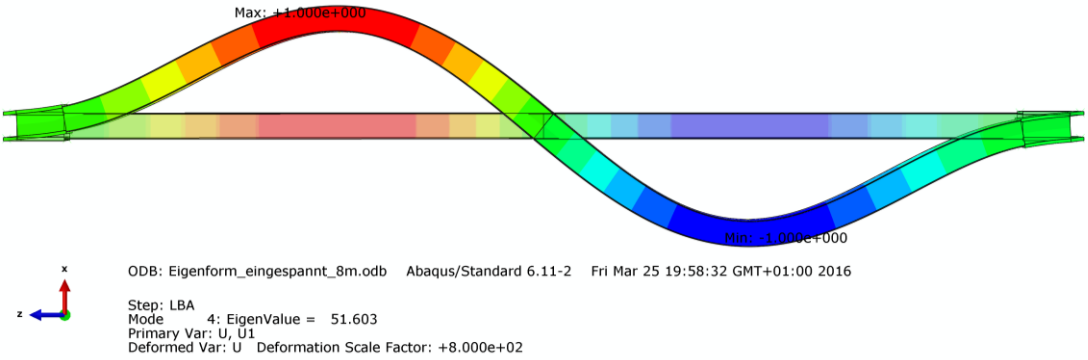


Abbildung 8-112: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

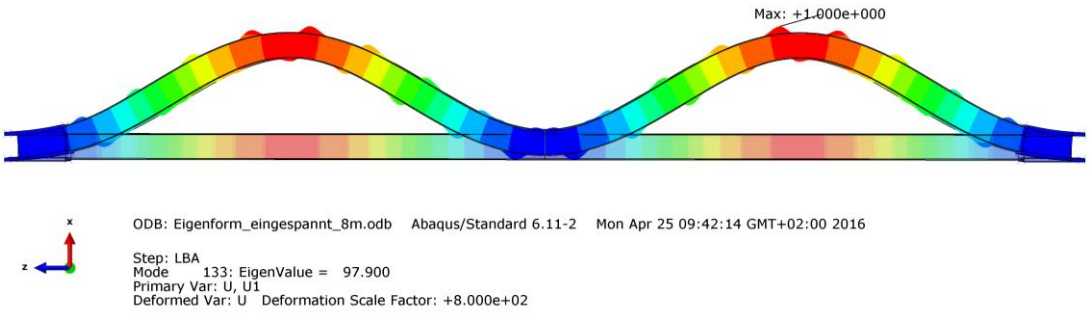


Abbildung 8-113: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

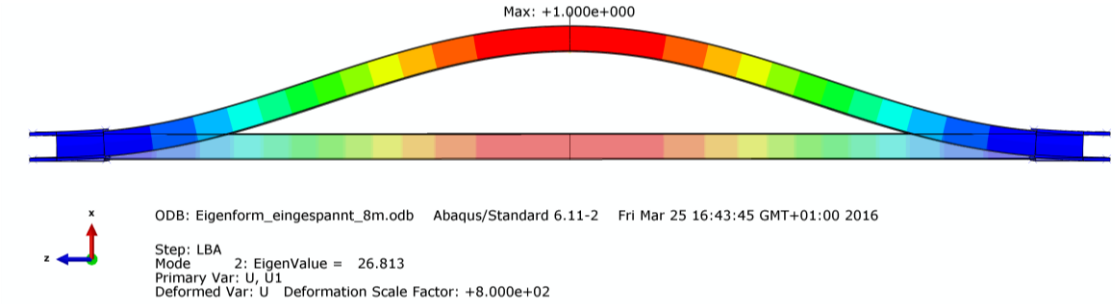


Abbildung 8-114: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

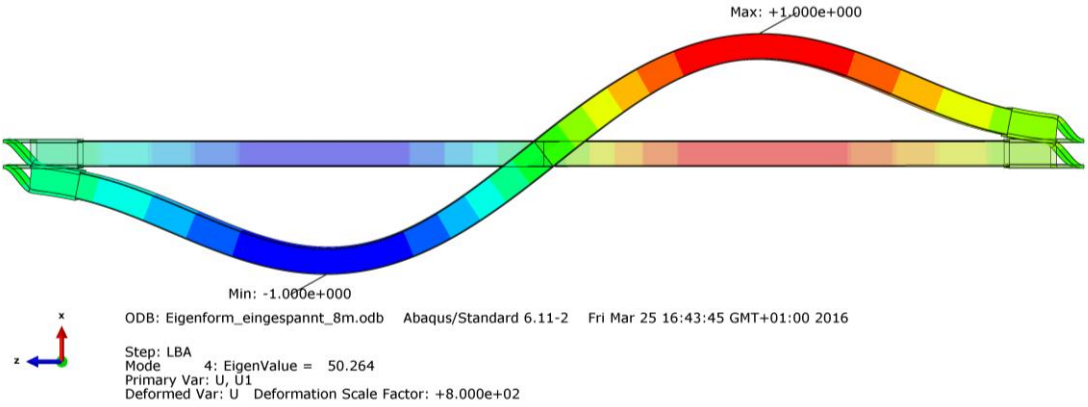


Abbildung 8-115: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

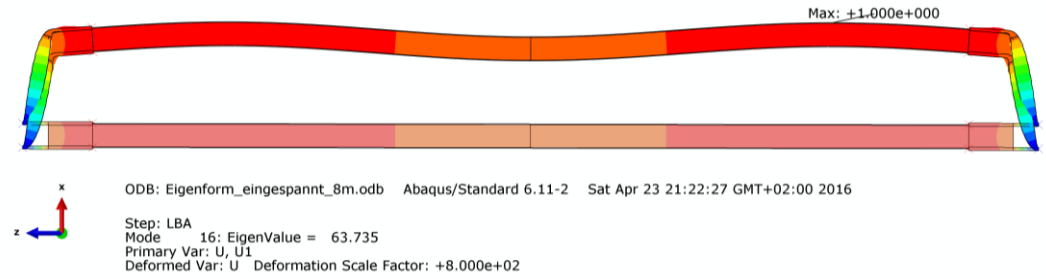


Abbildung 8-116: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

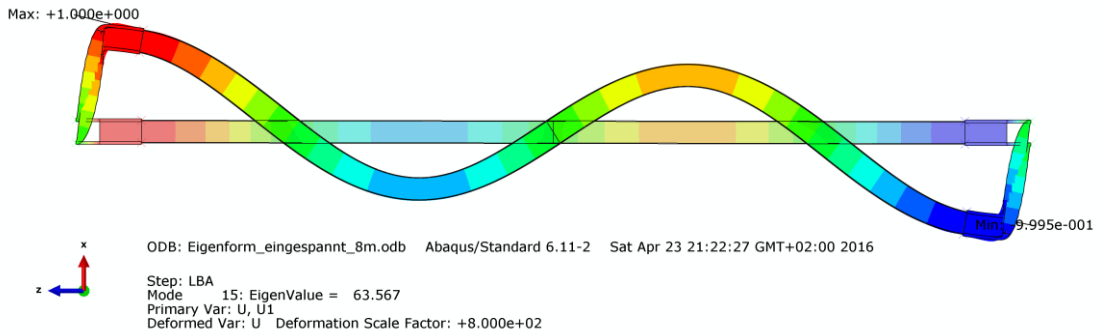


Abbildung 8-117: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4

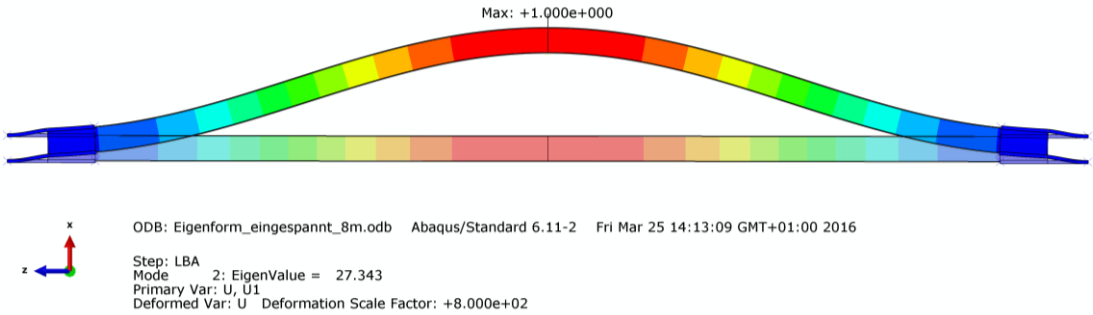


Abbildung 8-118: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

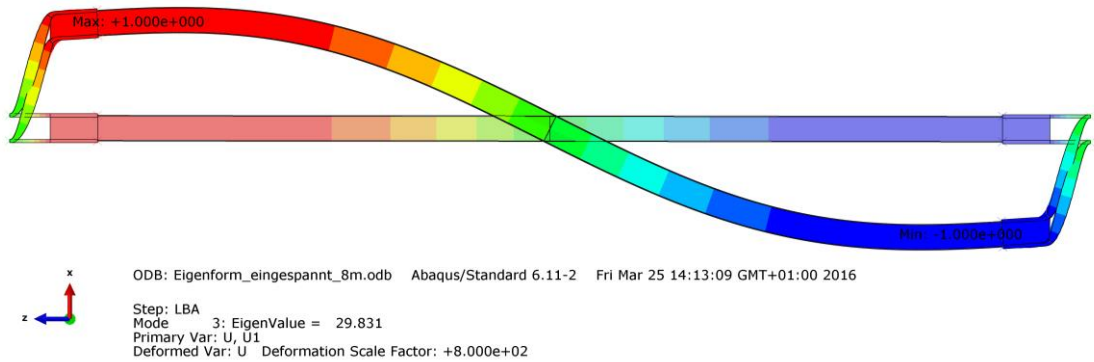


Abbildung 8-119: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

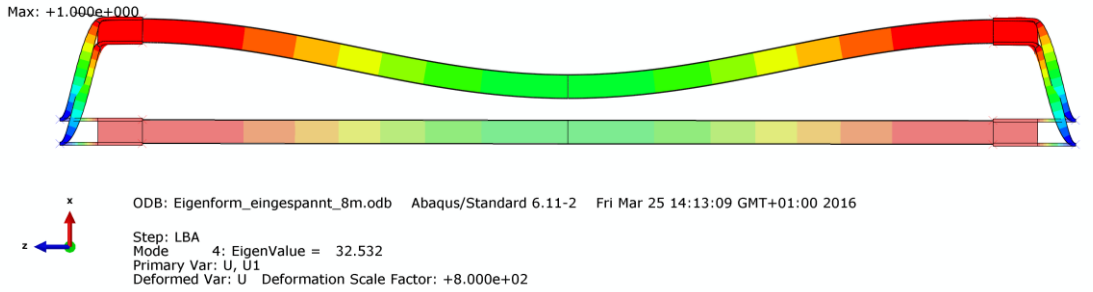


Abbildung 8-120: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3

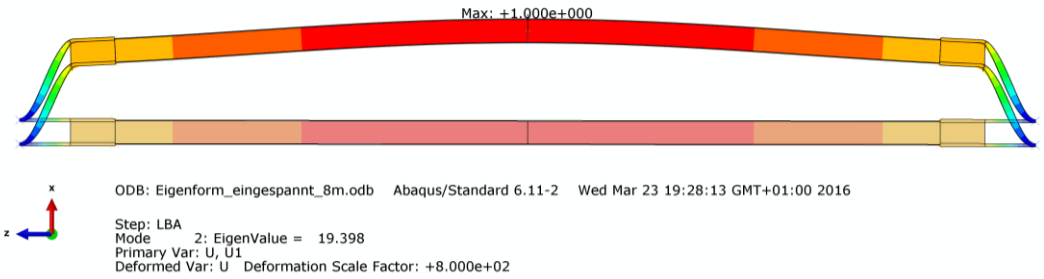


Abbildung 8-121: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

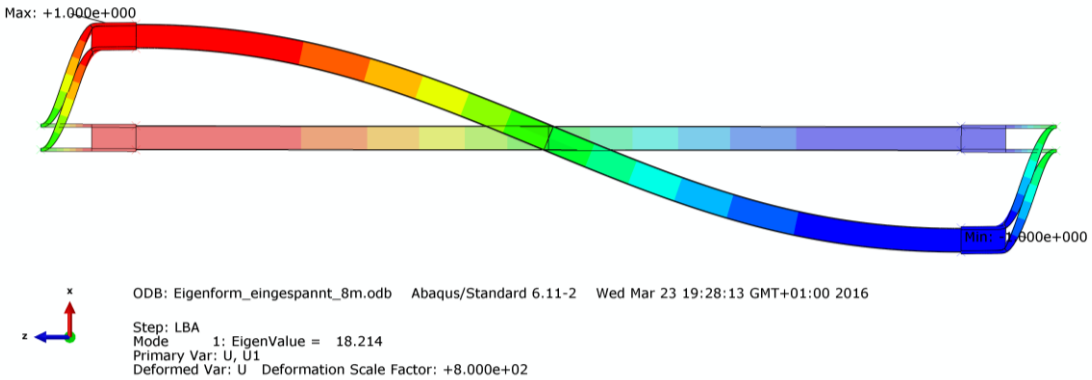


Abbildung 8-122: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm**

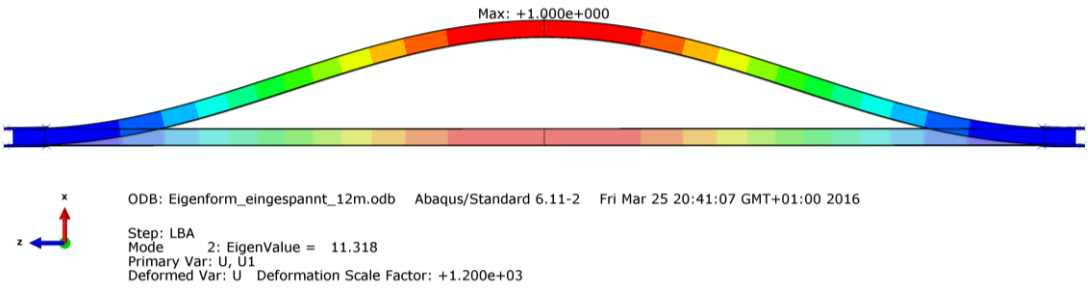


Abbildung 8-123: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

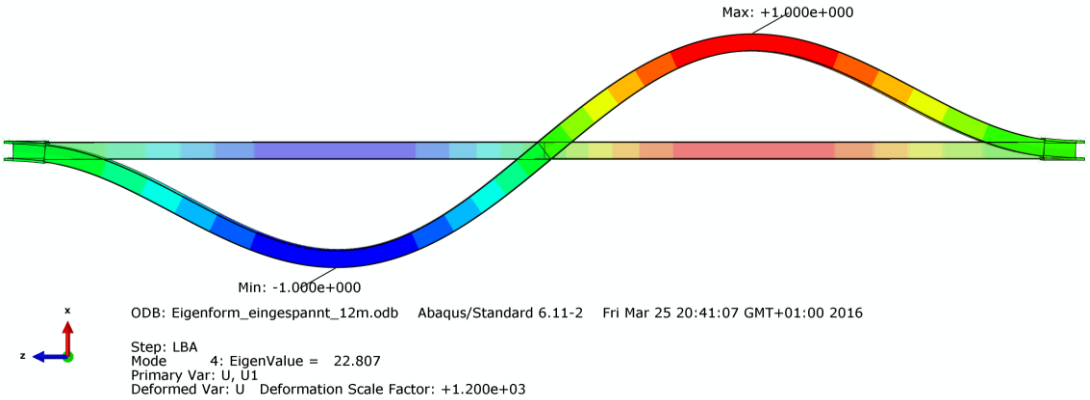


Abbildung 8-124: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

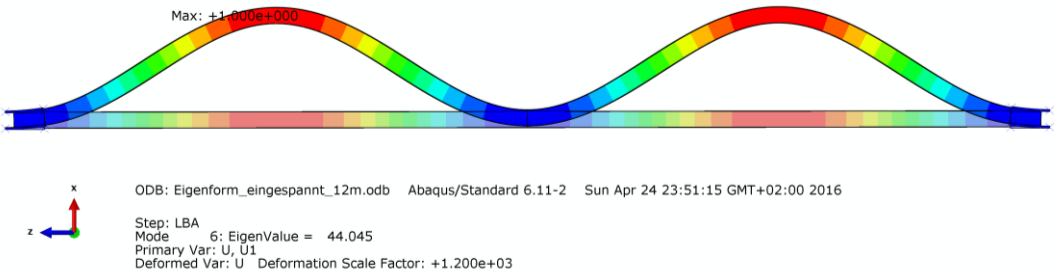


Abbildung 8-125: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

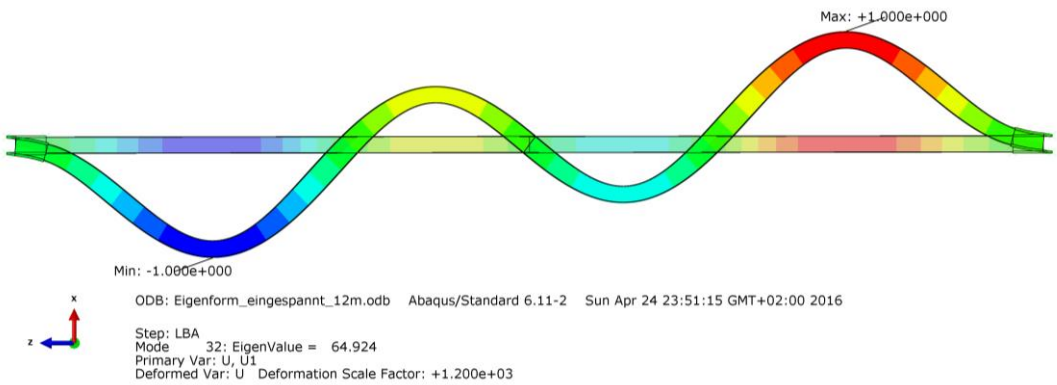


Abbildung 8-126: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

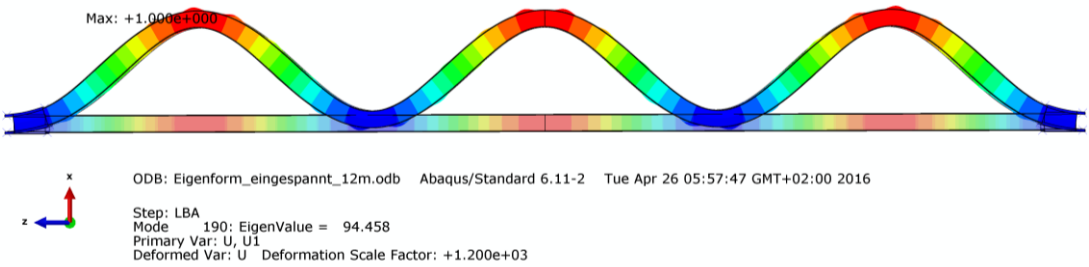


Abbildung 8-127: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5

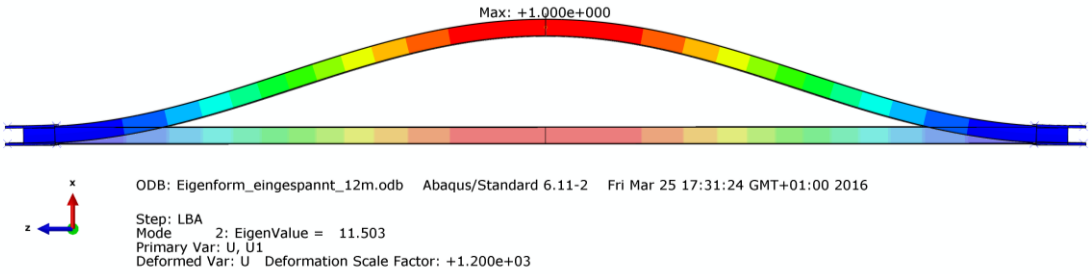


Abbildung 8-128: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

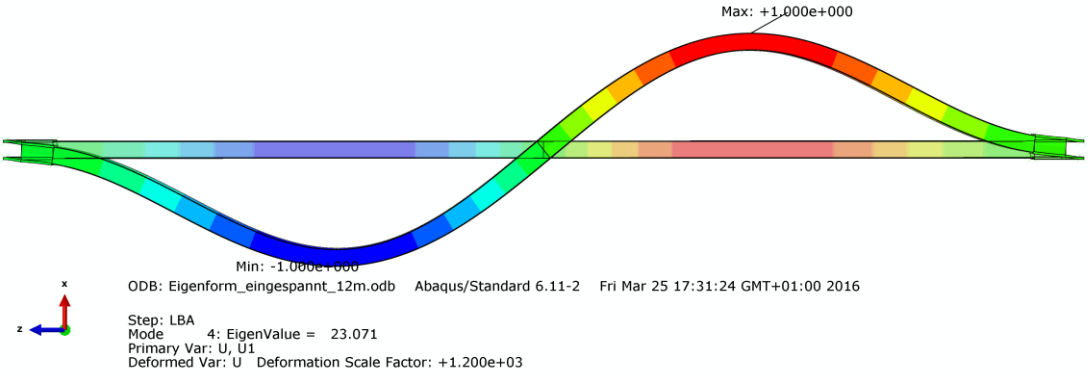


Abbildung 8-129: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

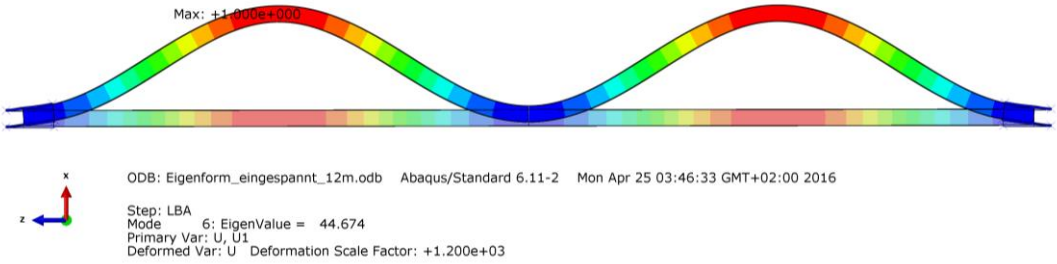


Abbildung 8-130: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

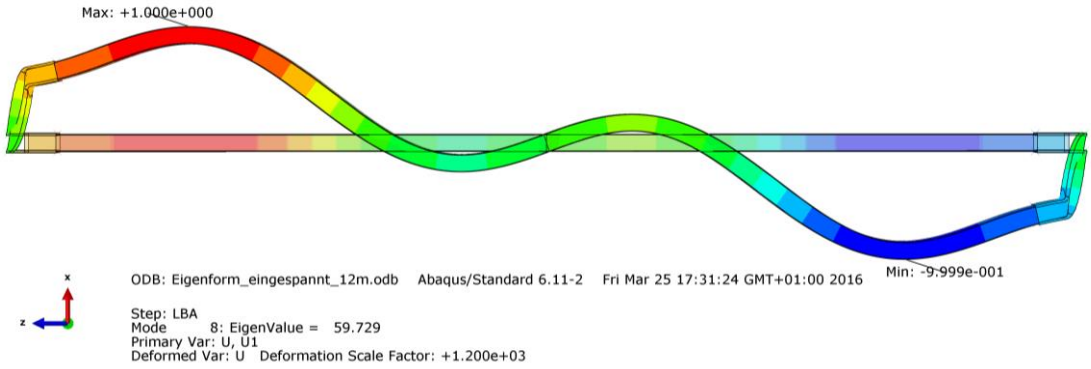


Abbildung 8-131: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4

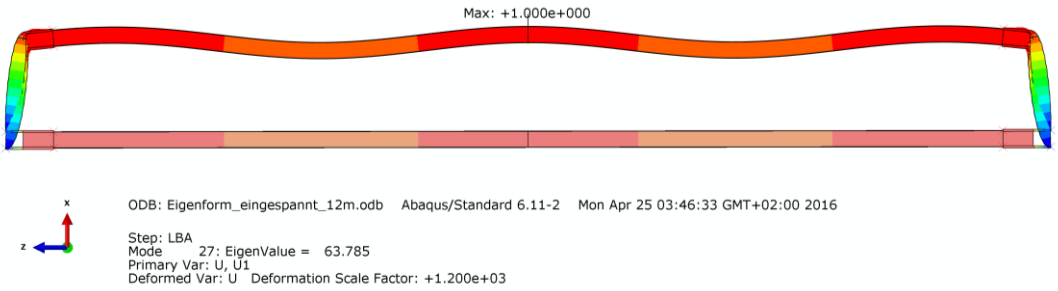


Abbildung 8-132: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5

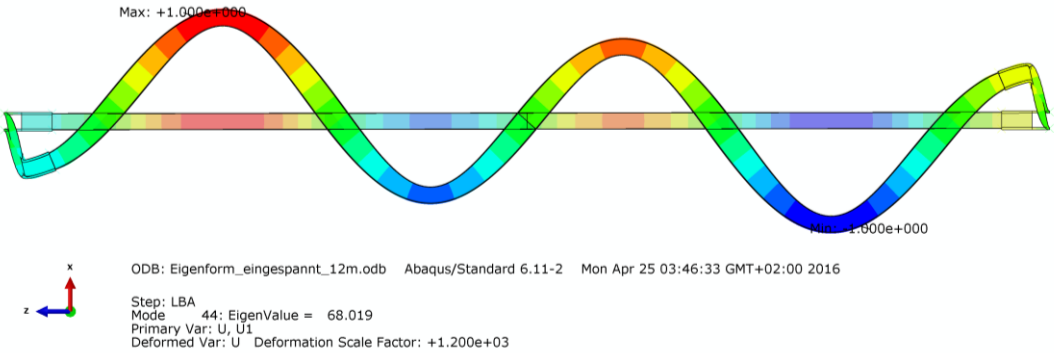


Abbildung 8-133: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF6

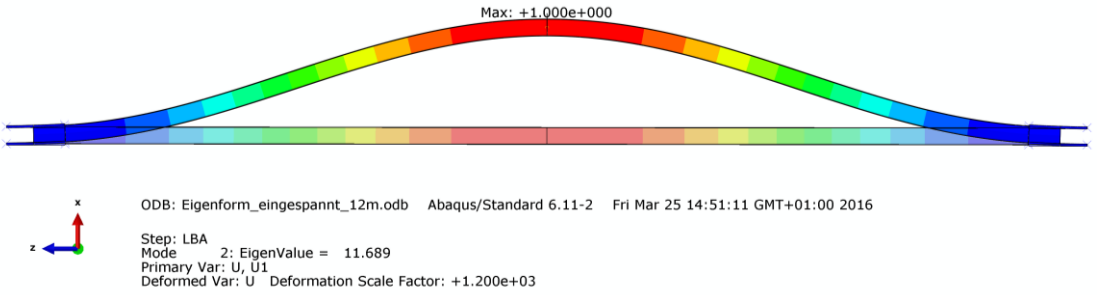


Abbildung 8-134: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

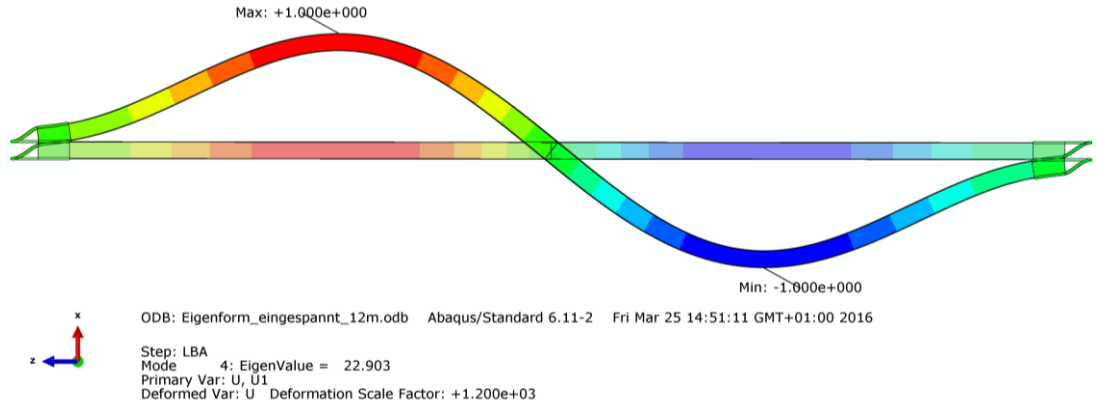


Abbildung 8-135: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

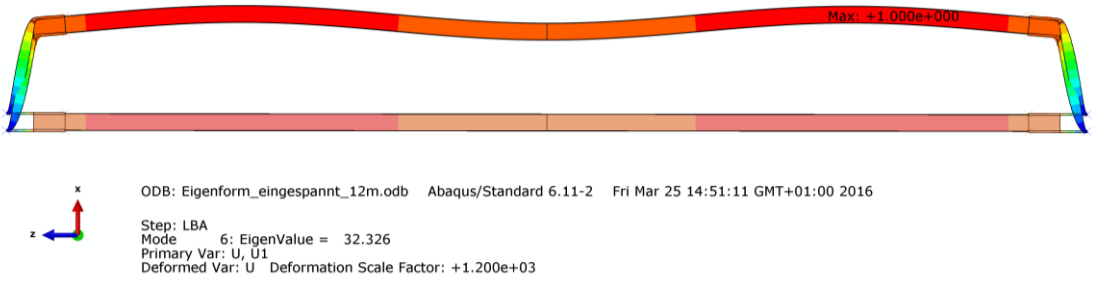


Abbildung 8-136: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3

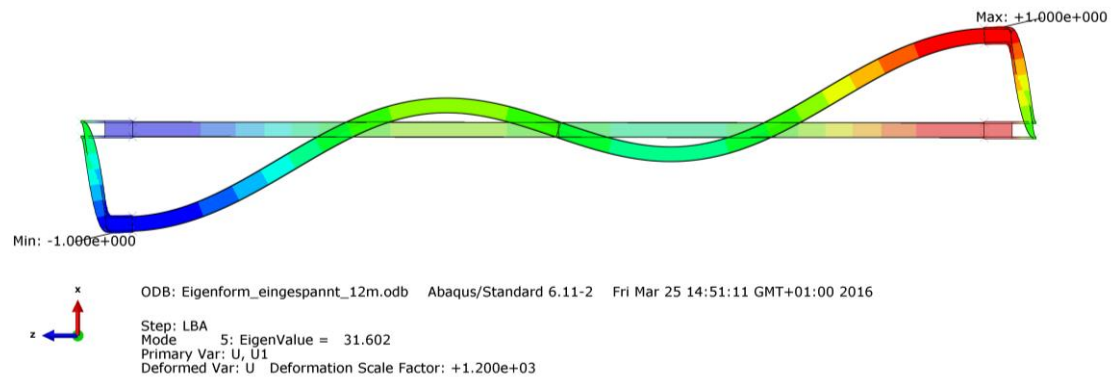


Abbildung 8-137: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4

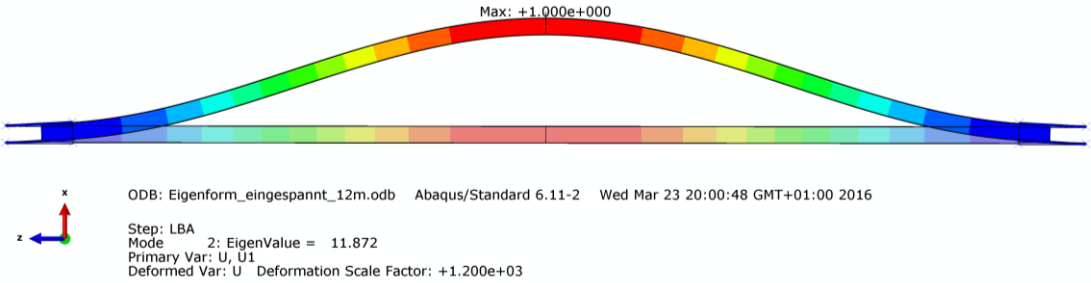


Abbildung 8-138: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

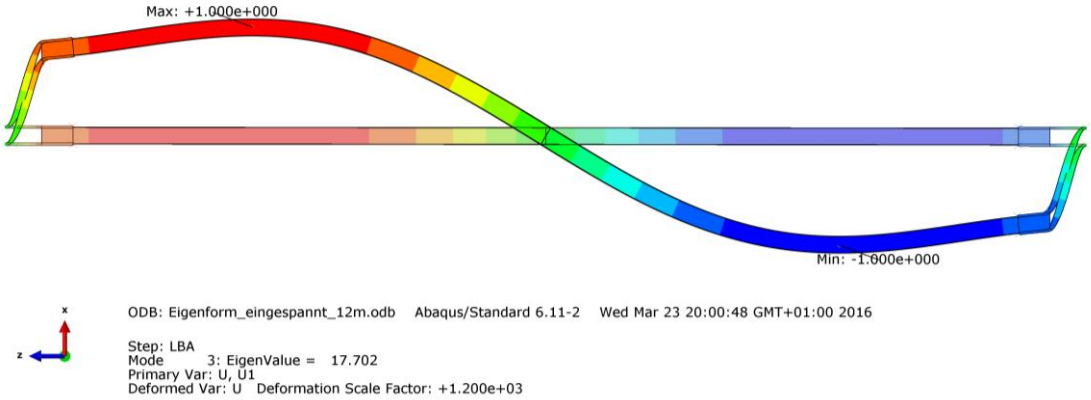


Abbildung 8-139: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

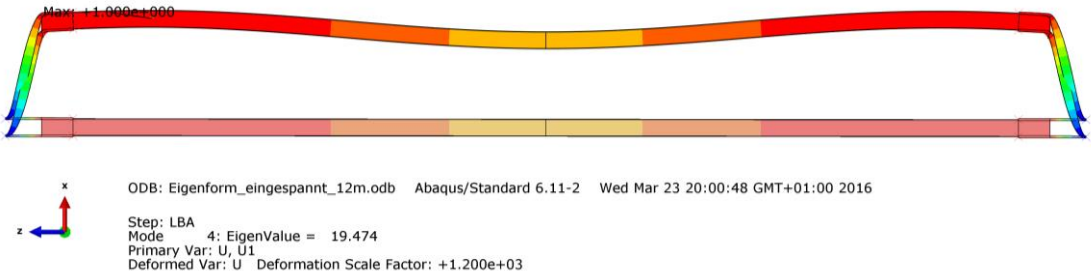


Abbildung 8-140: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm**

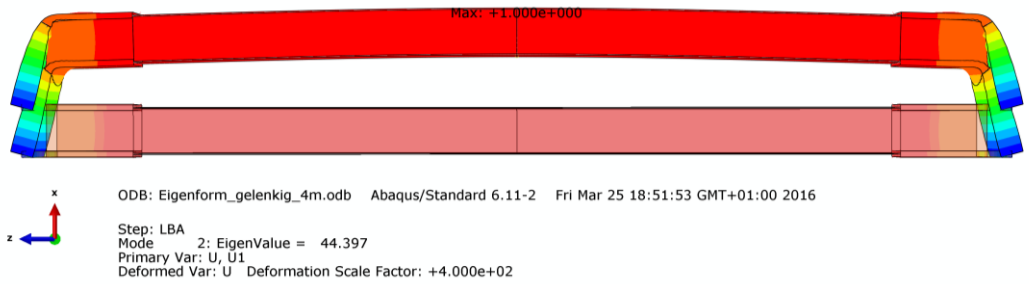


Abbildung 8-141: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

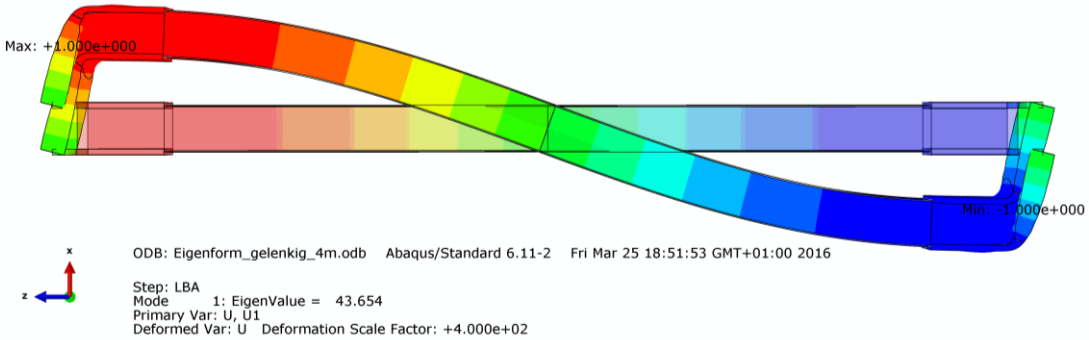


Abbildung 8-142: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

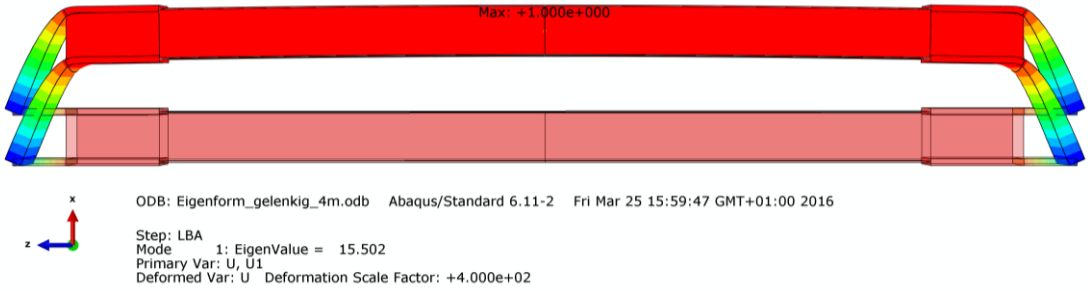


Abbildung 8-143: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

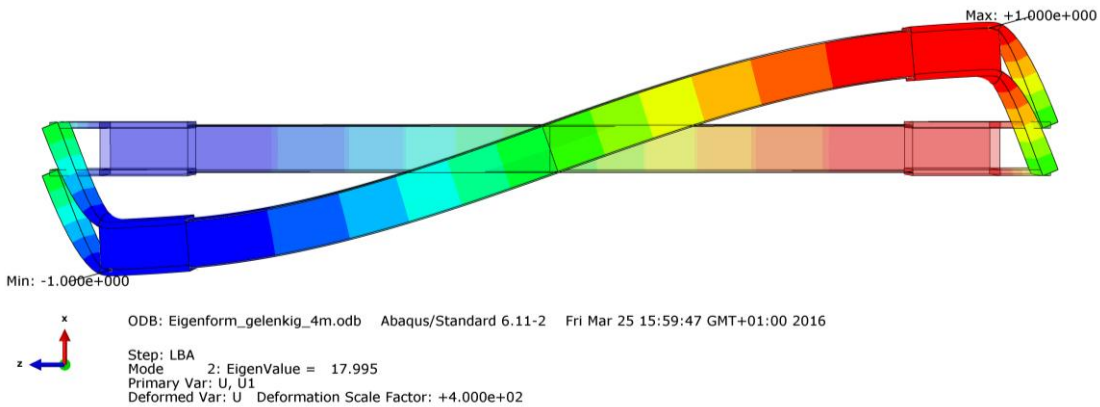


Abbildung 8-144: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

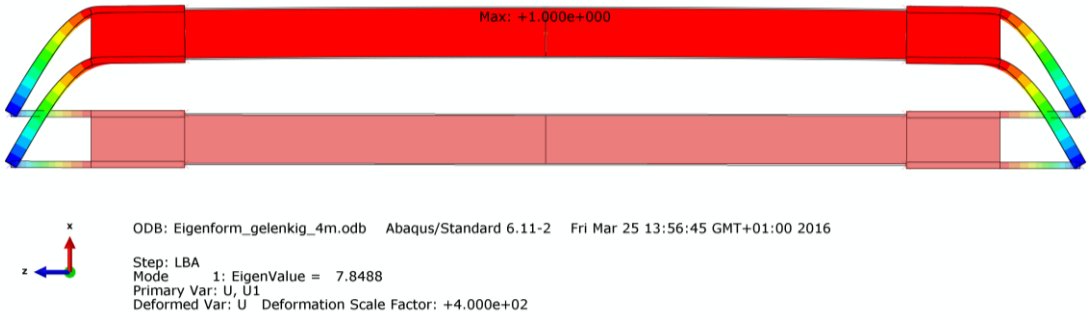


Abbildung 8-145: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

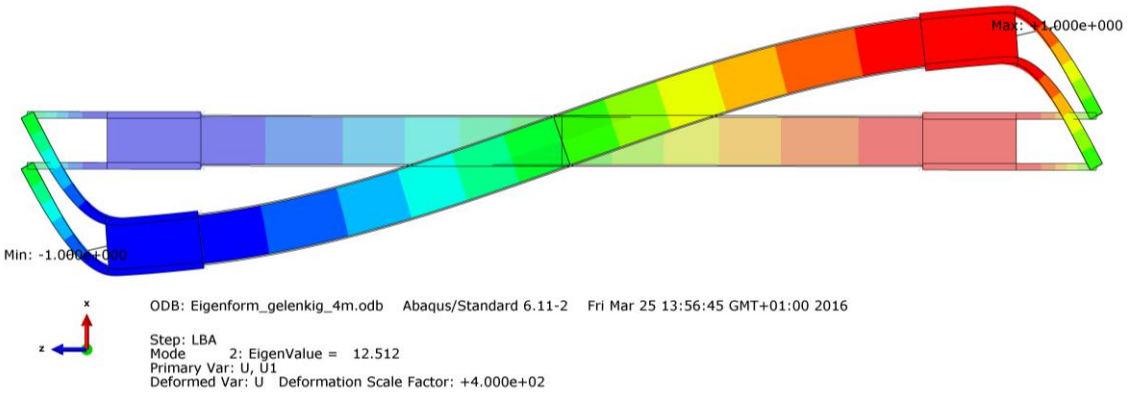


Abbildung 8-146: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

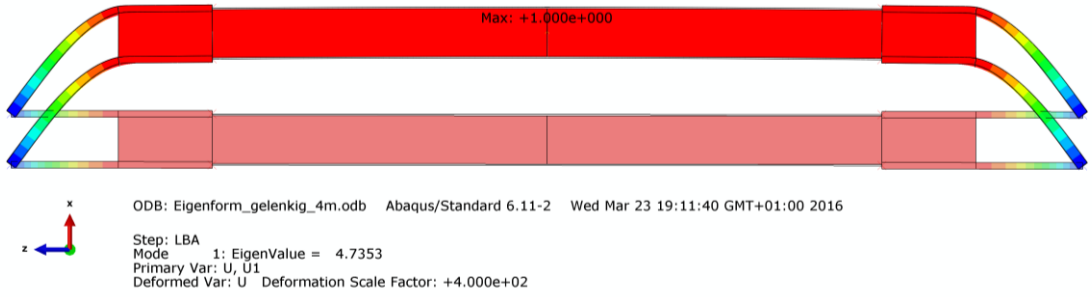


Abbildung 8-147: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

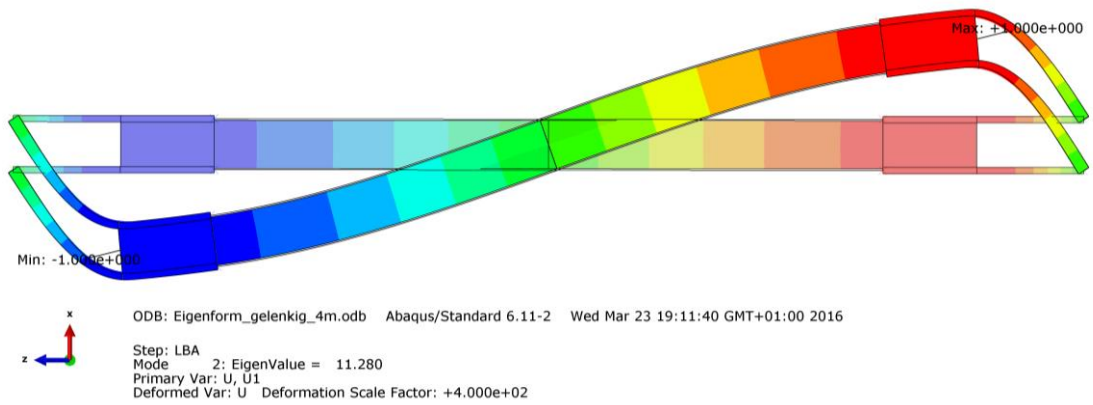


Abbildung 8-148: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm**

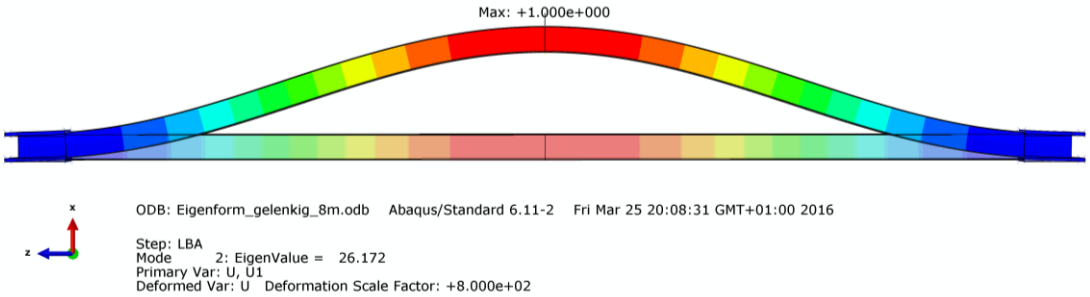


Abbildung 8-149: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

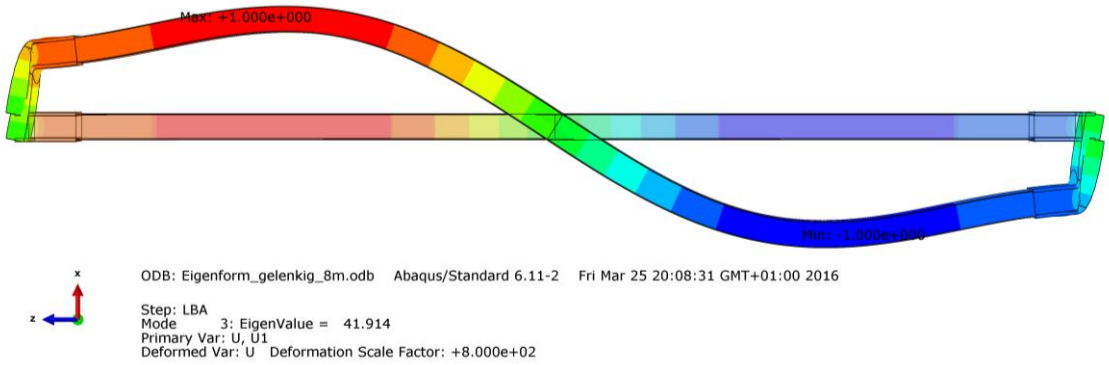


Abbildung 8-150: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

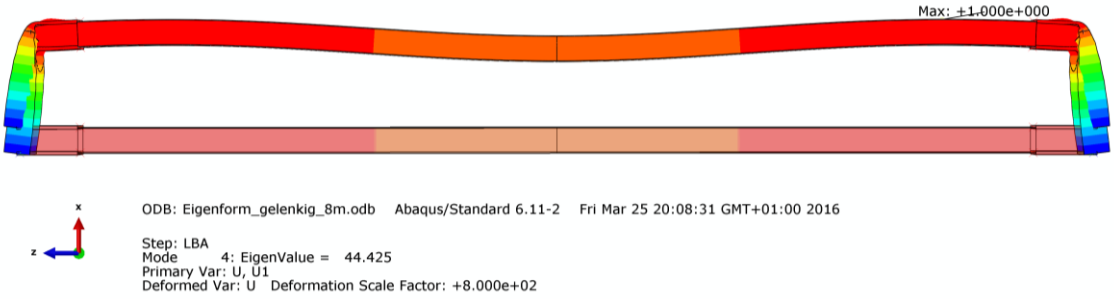


Abbildung 8-151: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

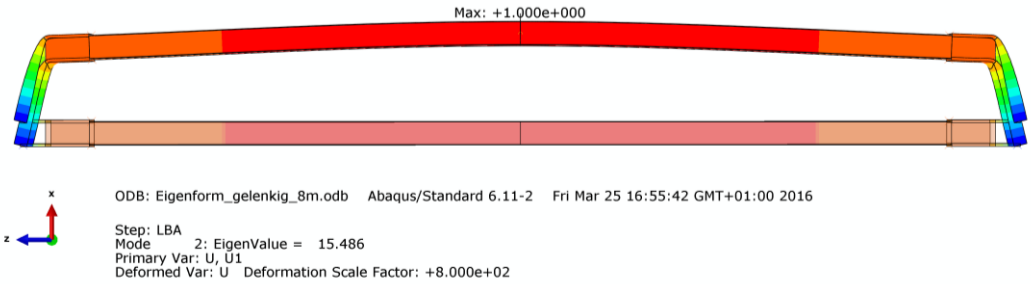


Abbildung 8-152: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

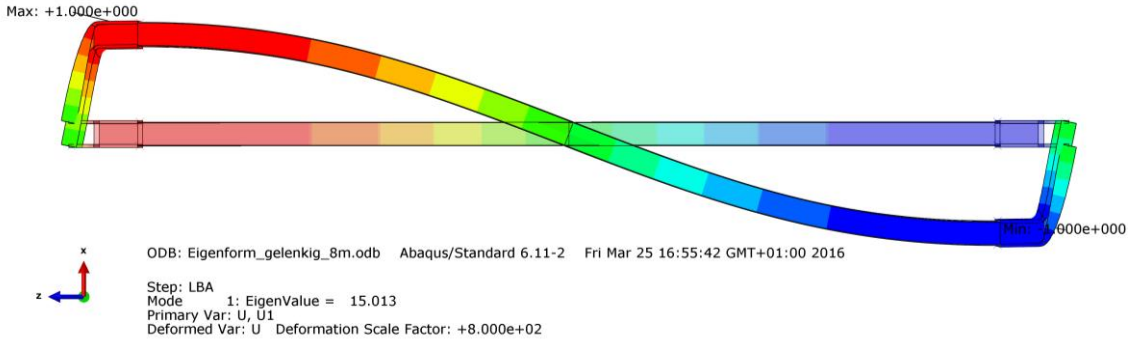


Abbildung 8-153: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

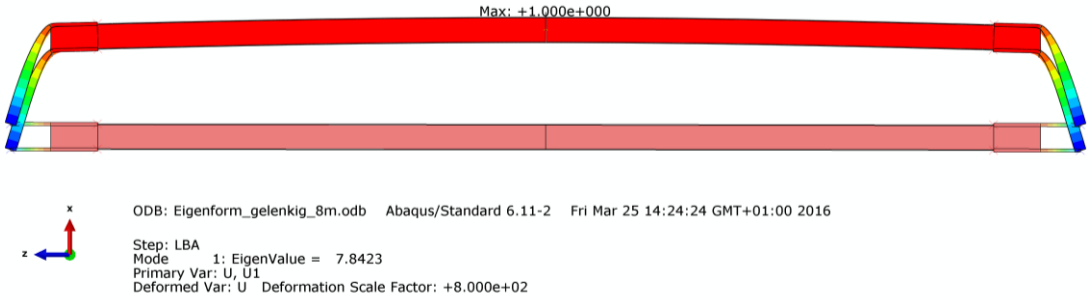


Abbildung 8-154: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

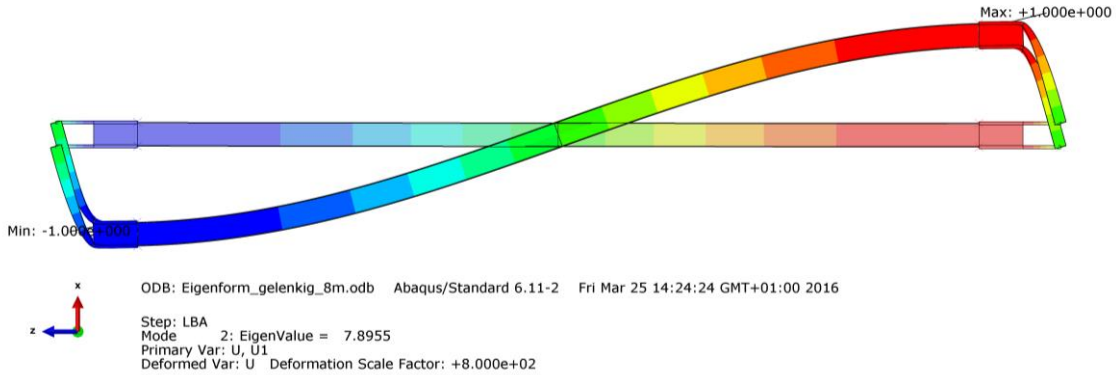


Abbildung 8-155: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

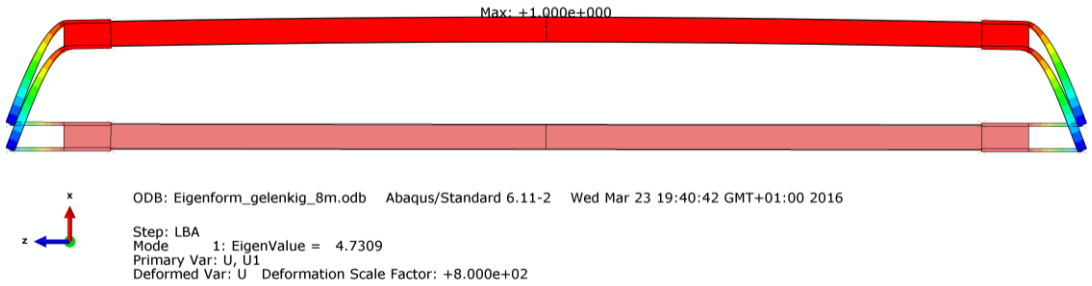


Abbildung 8-156: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

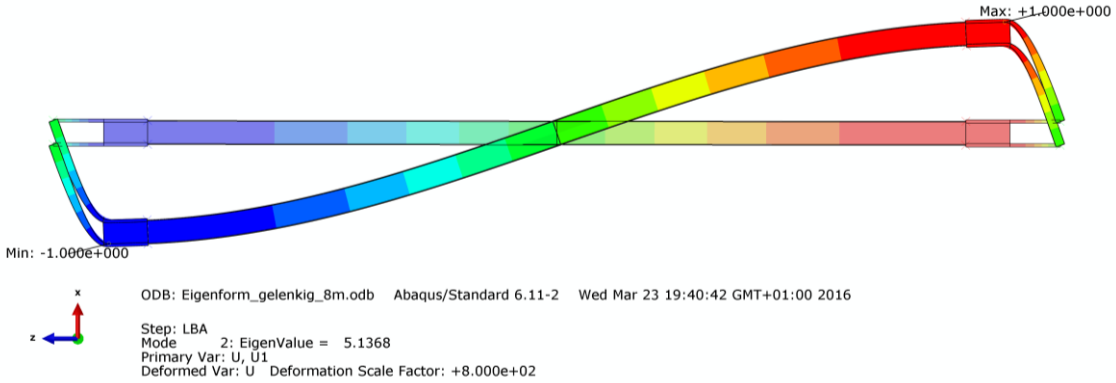


Abbildung 8-157: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm**

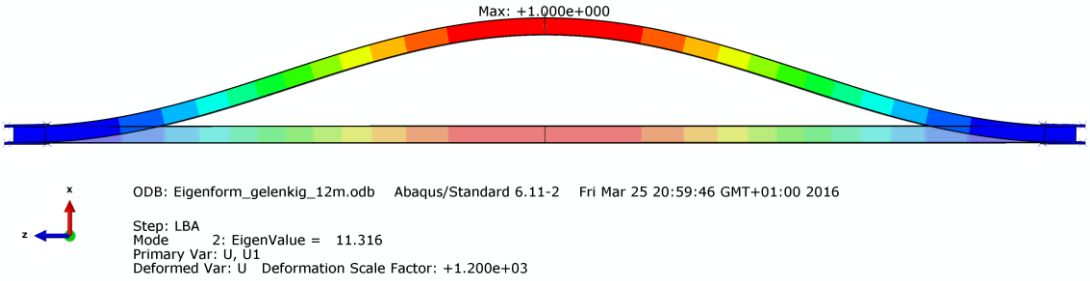


Abbildung 8-158: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

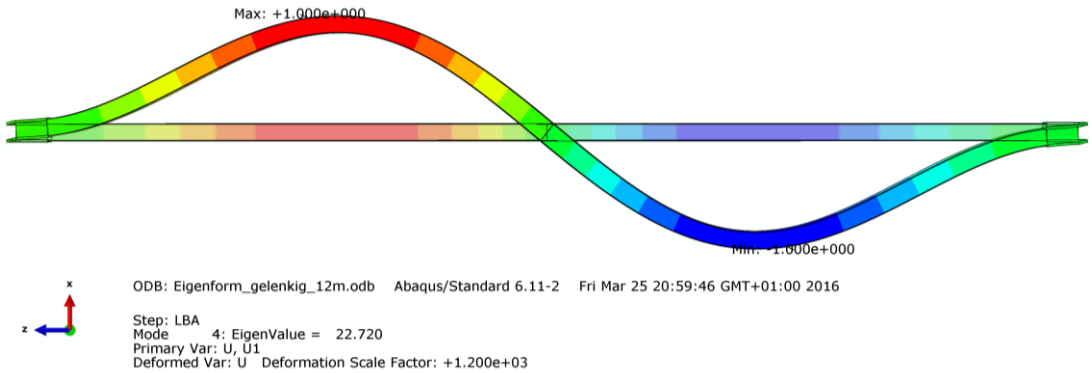


Abbildung 8-159: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

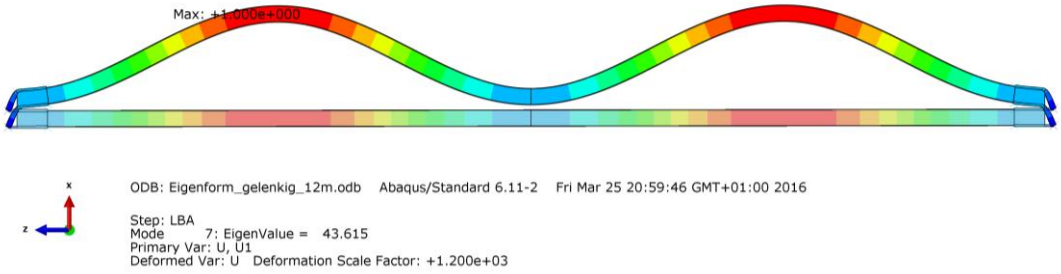


Abbildung 8-160: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

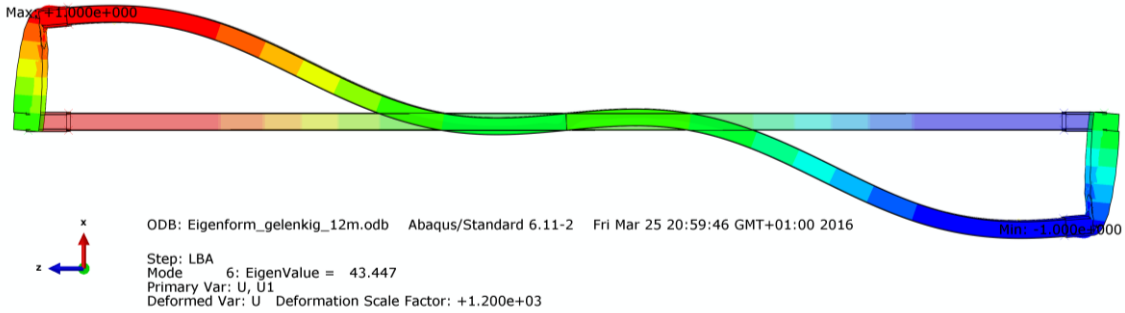


Abbildung 8-161: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

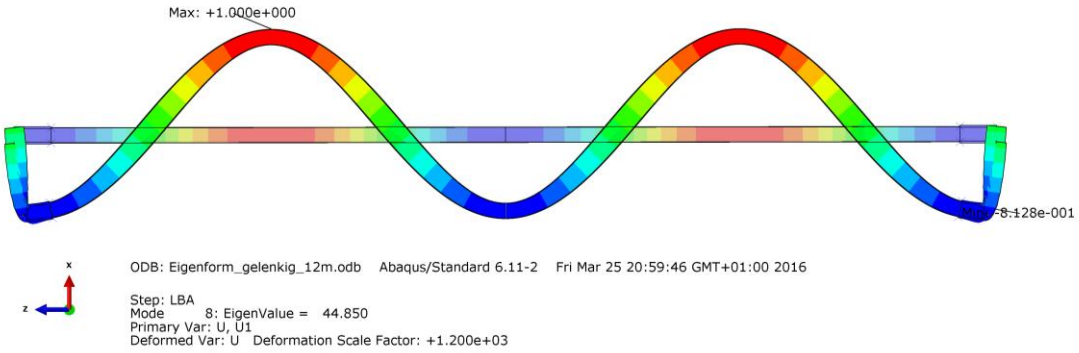


Abbildung 8-162: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5

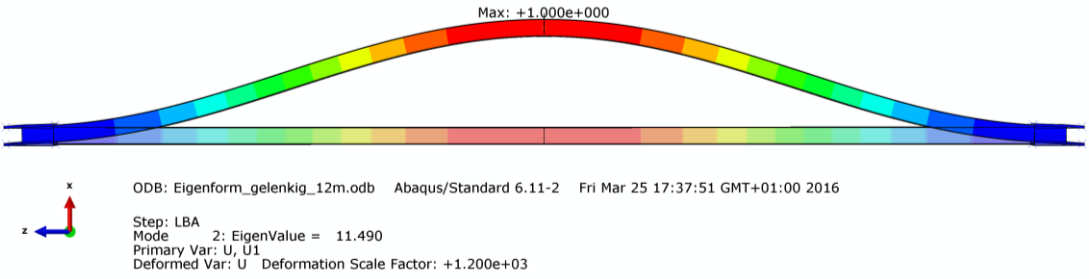


Abbildung 8-163: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

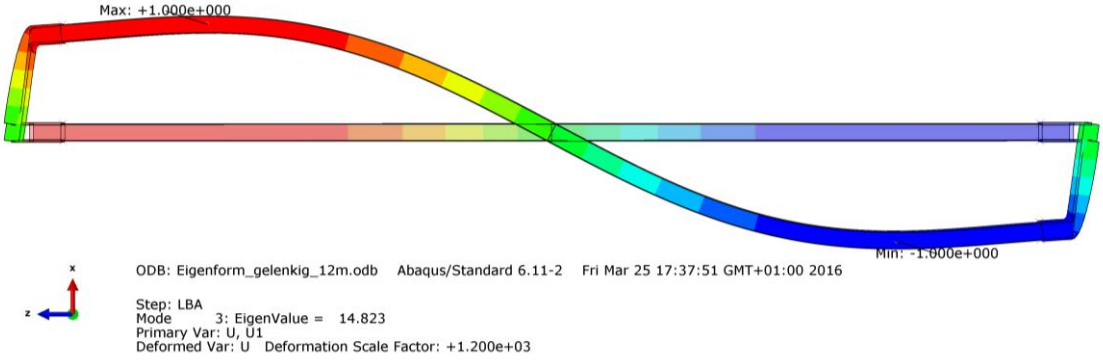


Abbildung 8-164: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

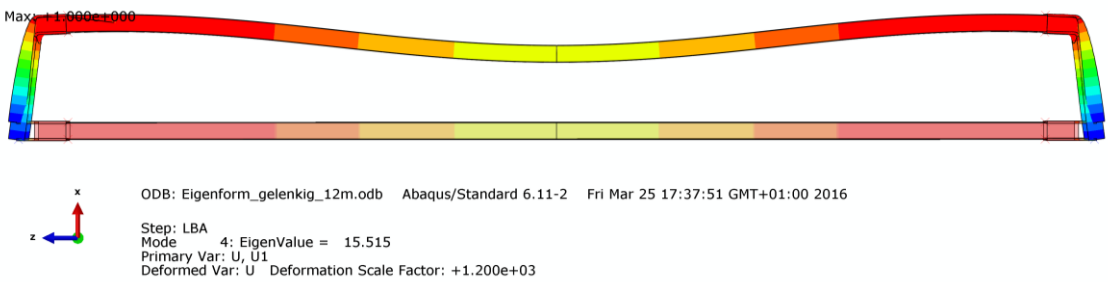


Abbildung 8-165: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

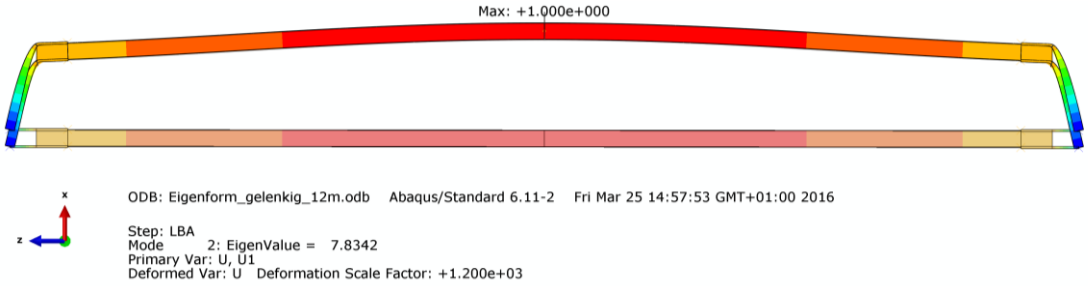


Abbildung 8-166: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

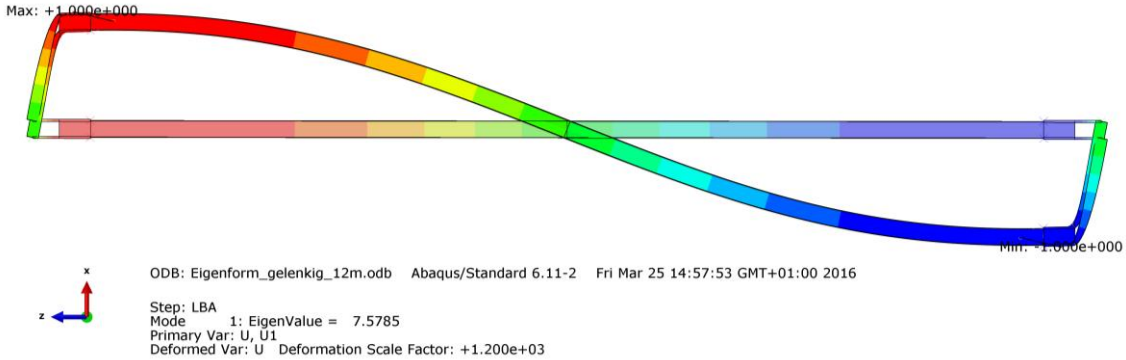


Abbildung 8-167: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

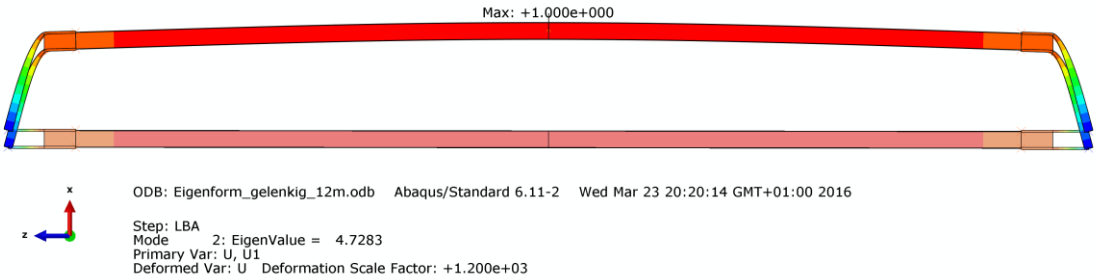


Abbildung 8-168: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

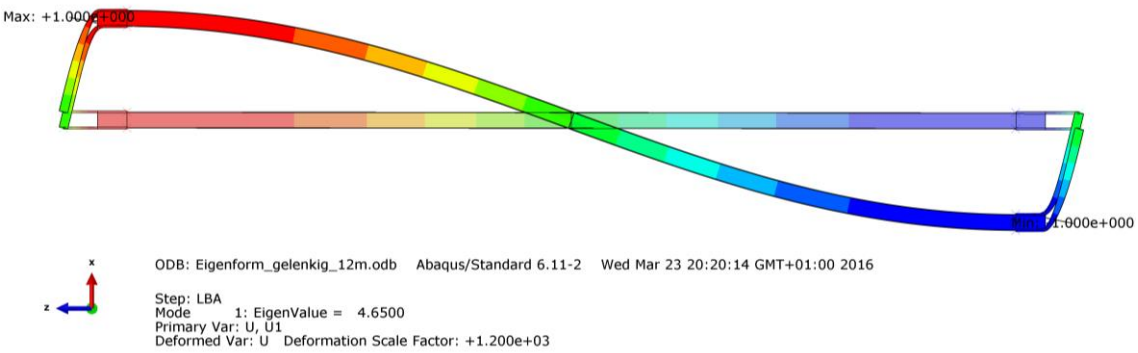


Abbildung 8-169: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm**

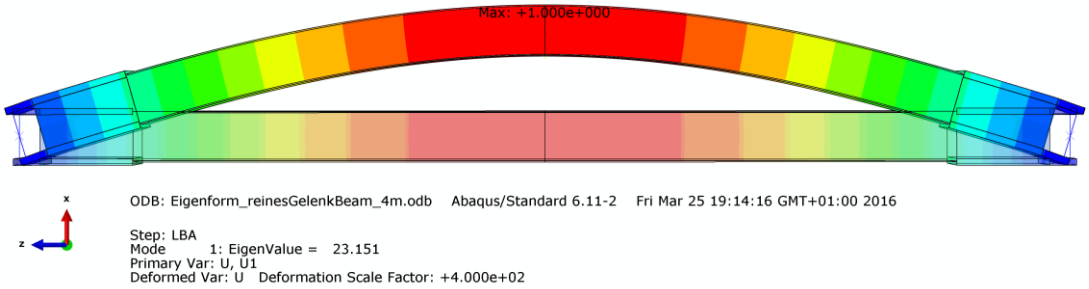


Abbildung 8-170: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

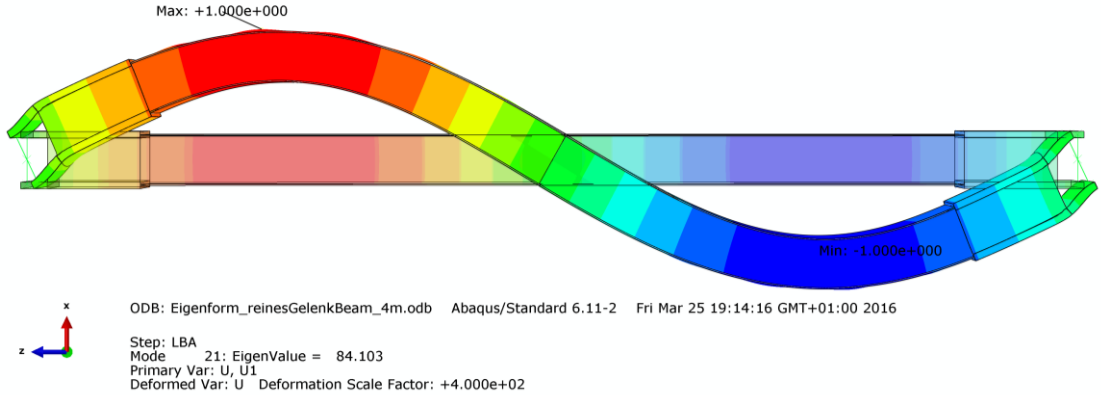


Abbildung 8-171: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

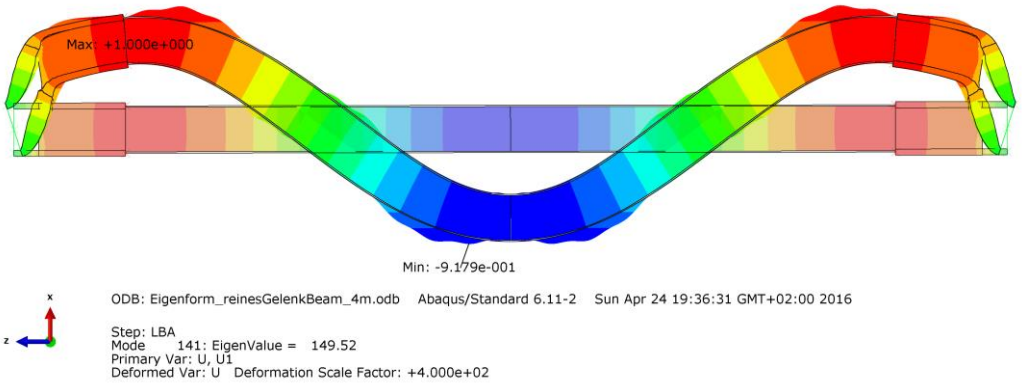


Abbildung 8-172: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

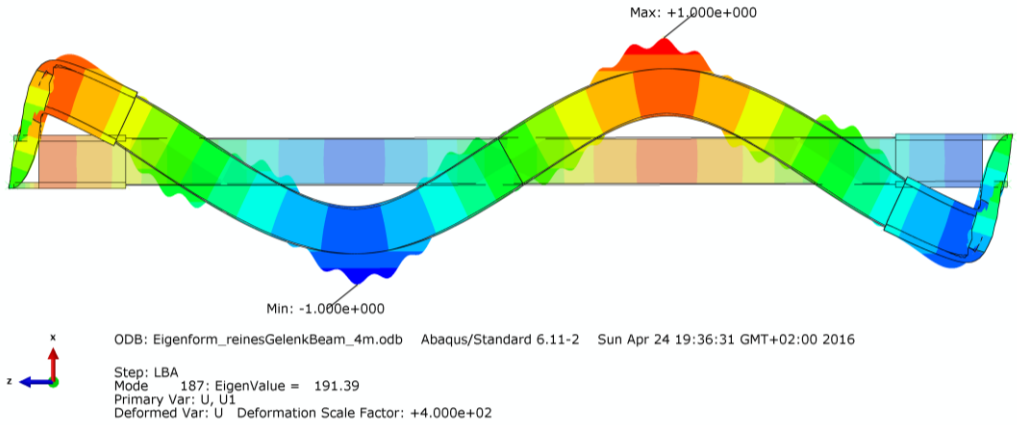


Abbildung 8-173: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

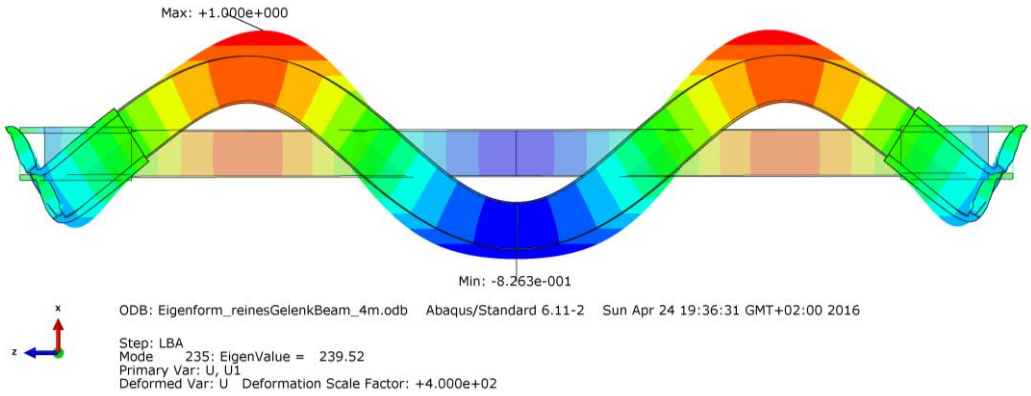


Abbildung 8-174: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5

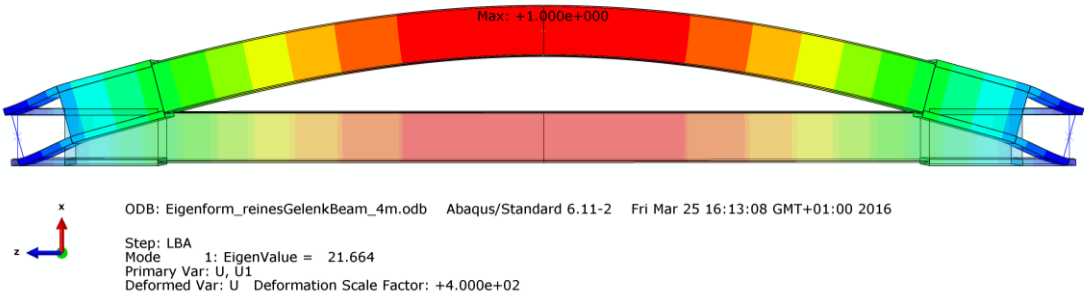


Abbildung 8-175: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

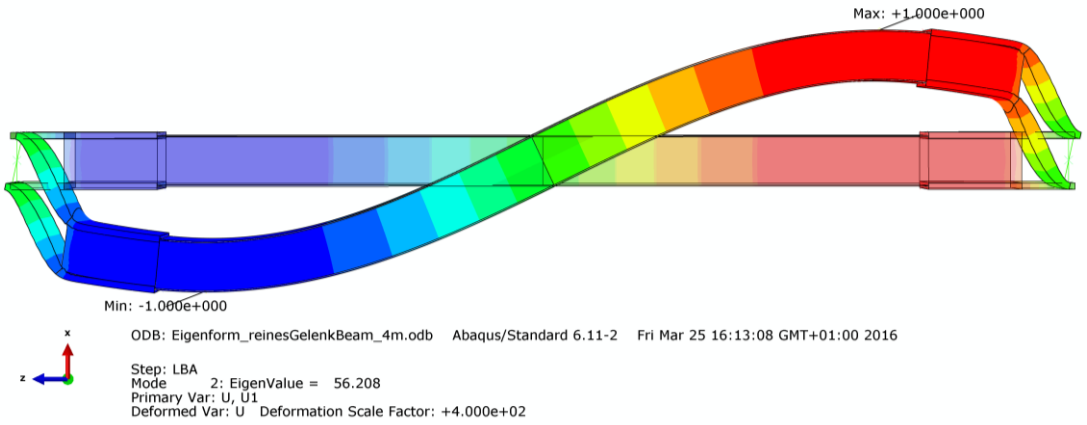


Abbildung 8-176: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

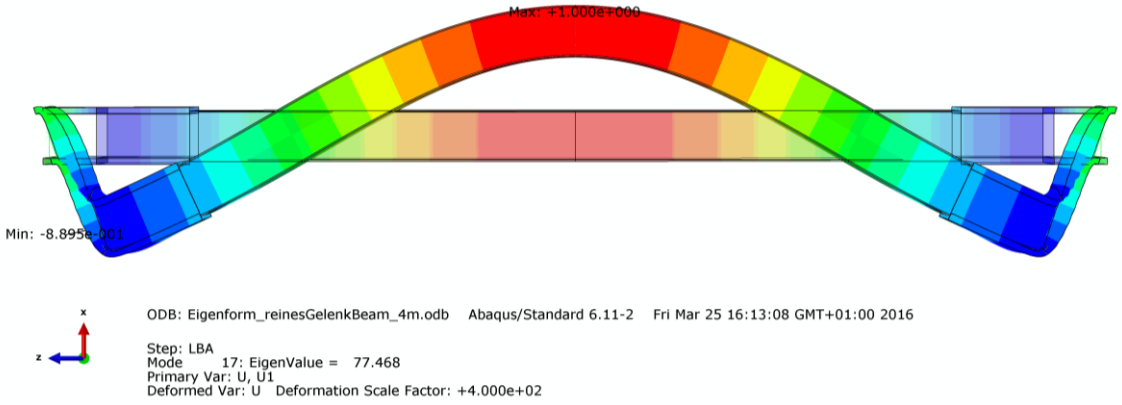


Abbildung 8-177: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

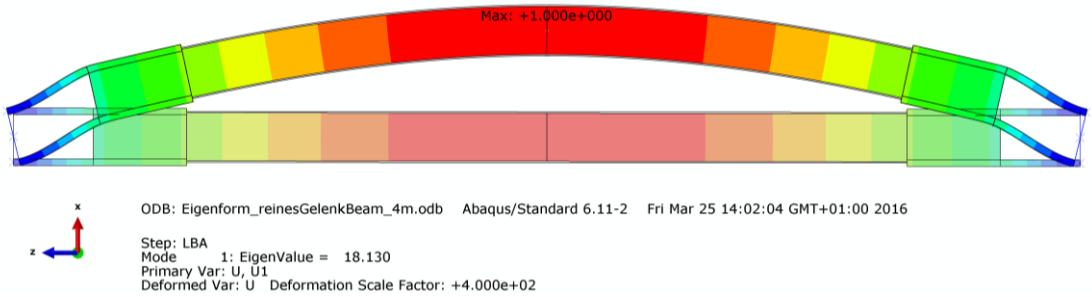


Abbildung 8-178: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

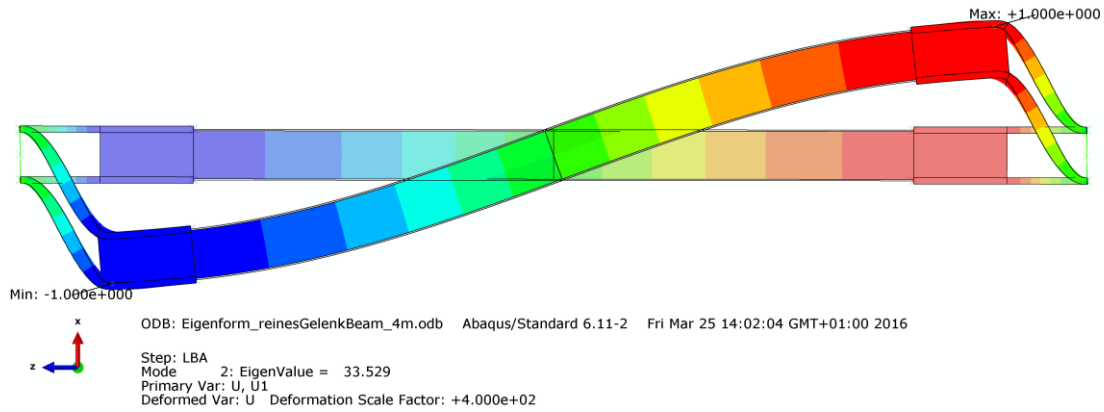


Abbildung 8-179: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

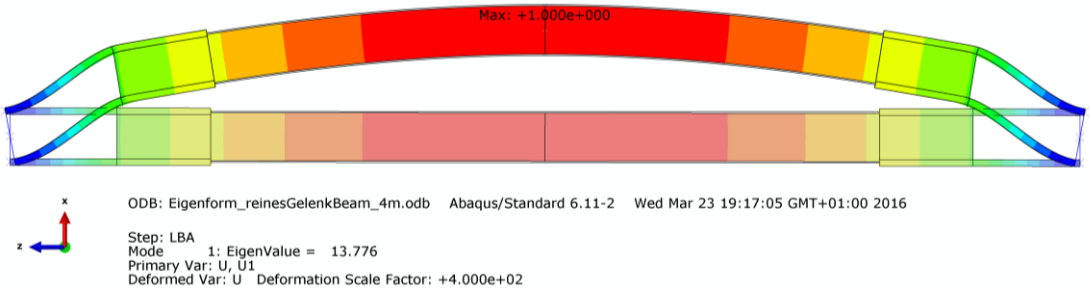


Abbildung 8-180: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

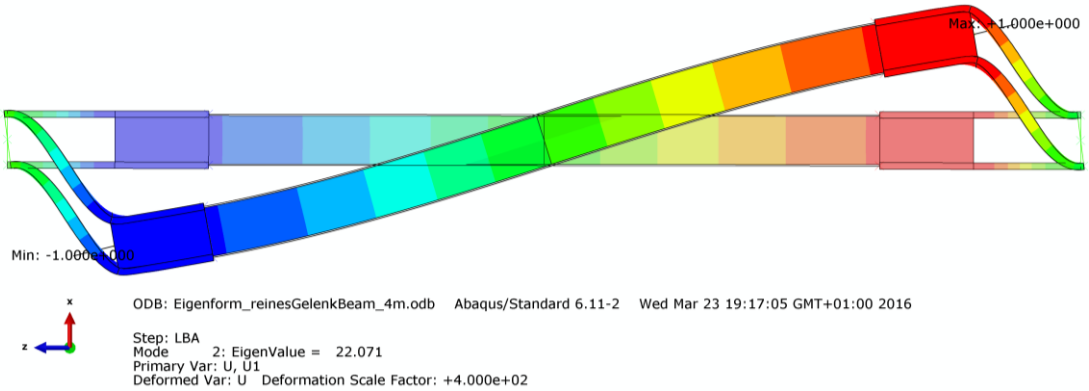


Abbildung 8-181: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm**

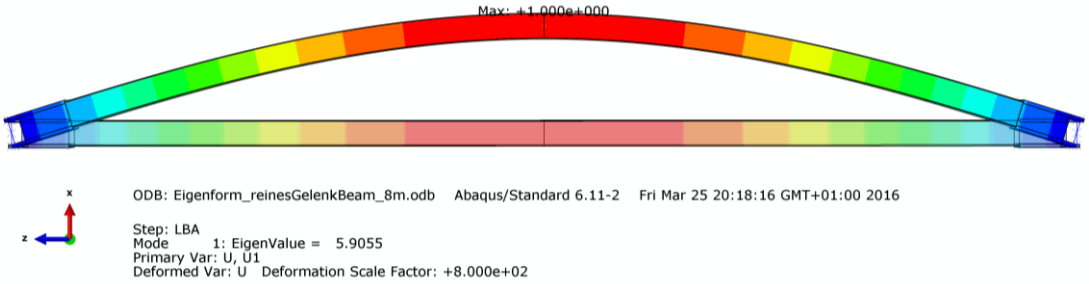


Abbildung 8-182: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

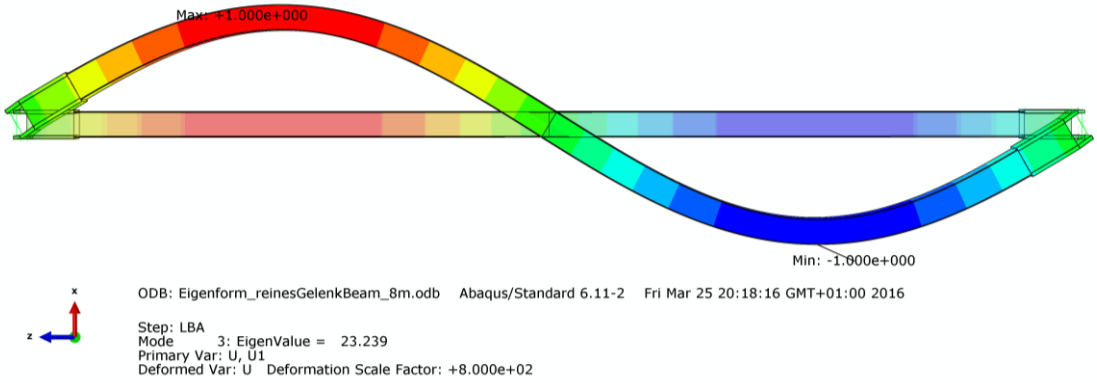


Abbildung 8-183: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

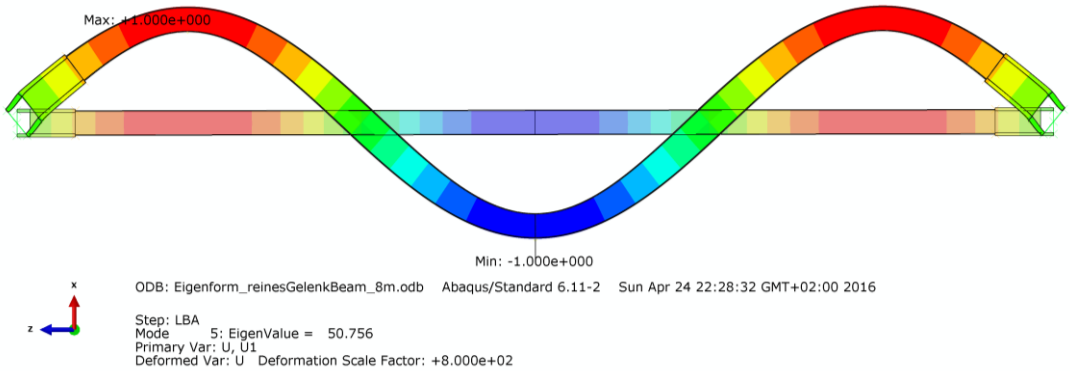


Abbildung 8-184: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

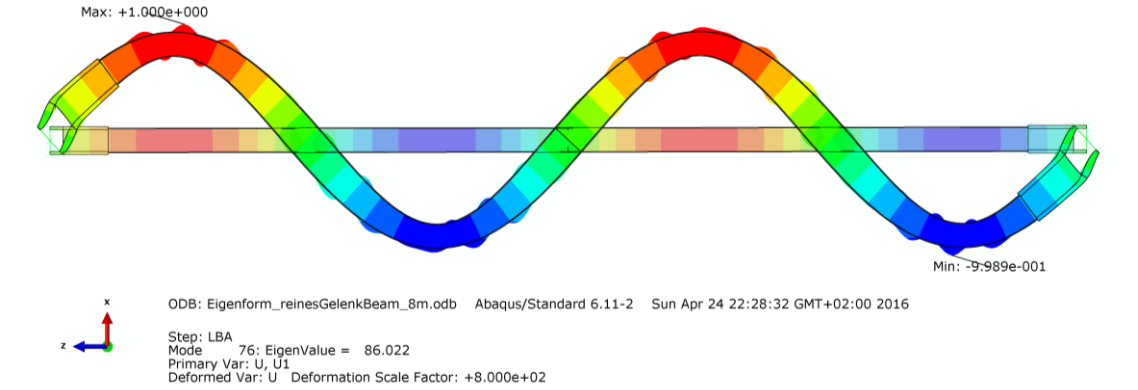


Abbildung 8-185: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

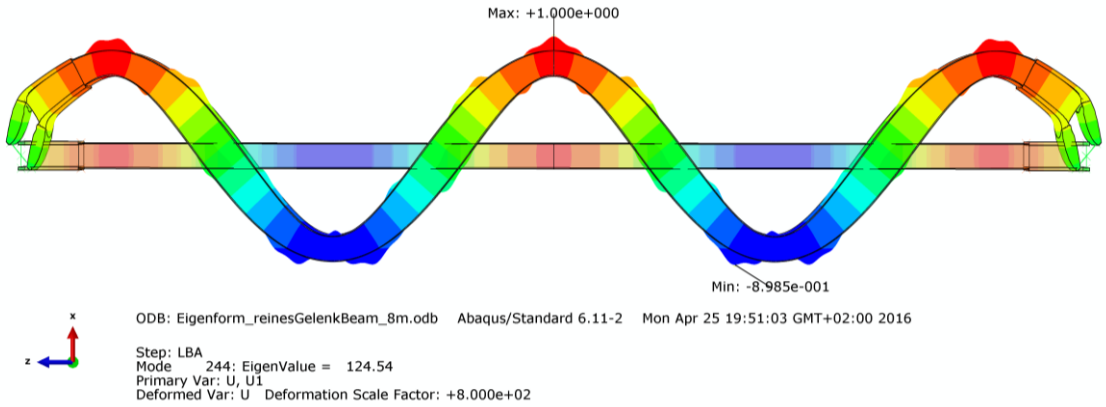


Abbildung 8-186: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5

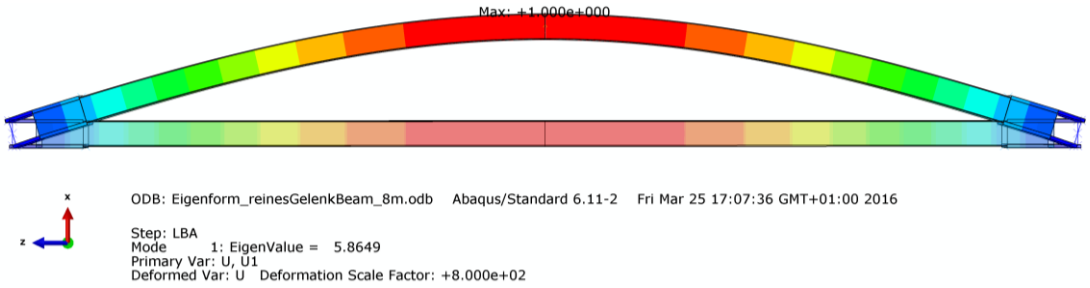


Abbildung 8-187: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

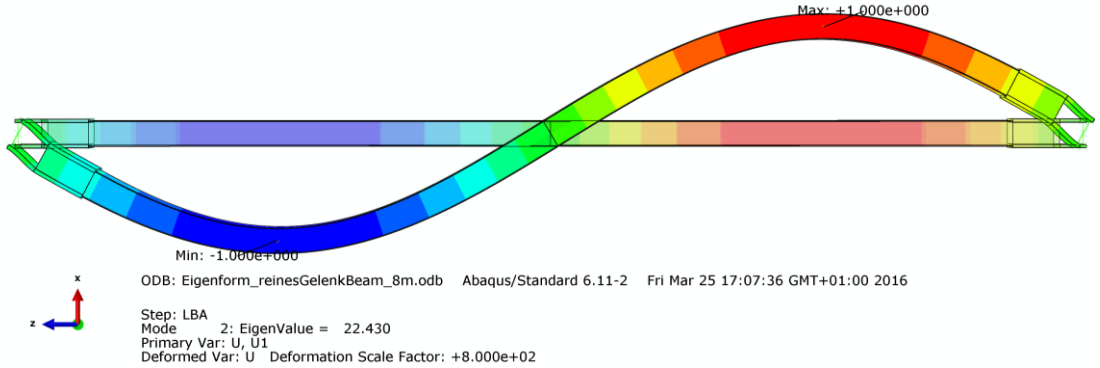


Abbildung 8-188: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

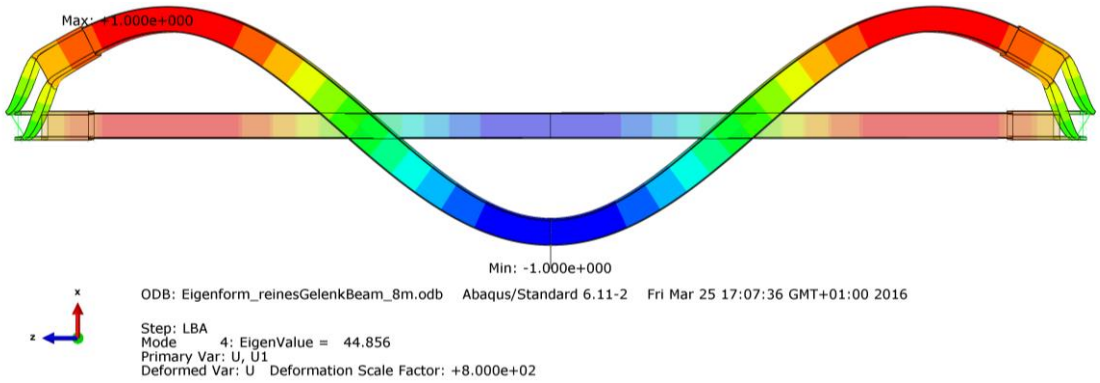


Abbildung 8-189: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

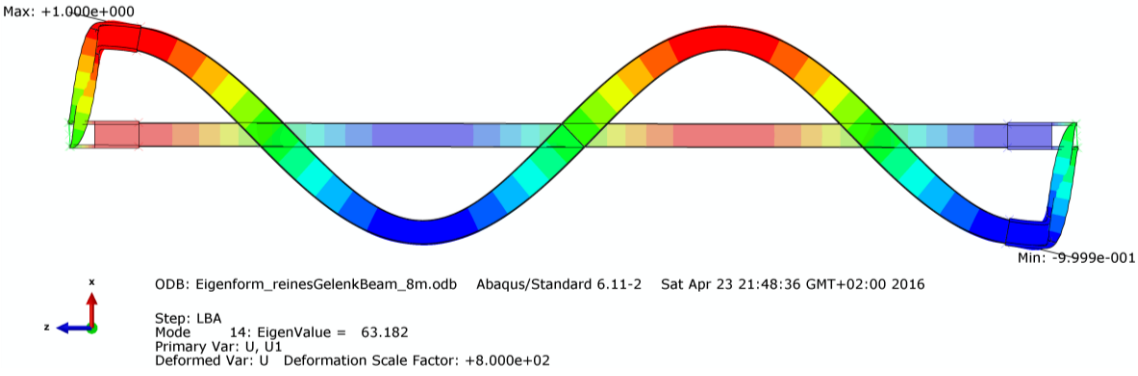


Abbildung 8-190: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4

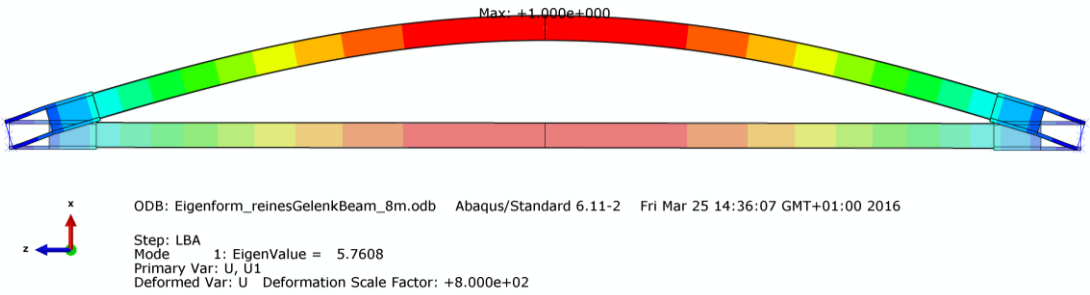


Abbildung 8-191: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

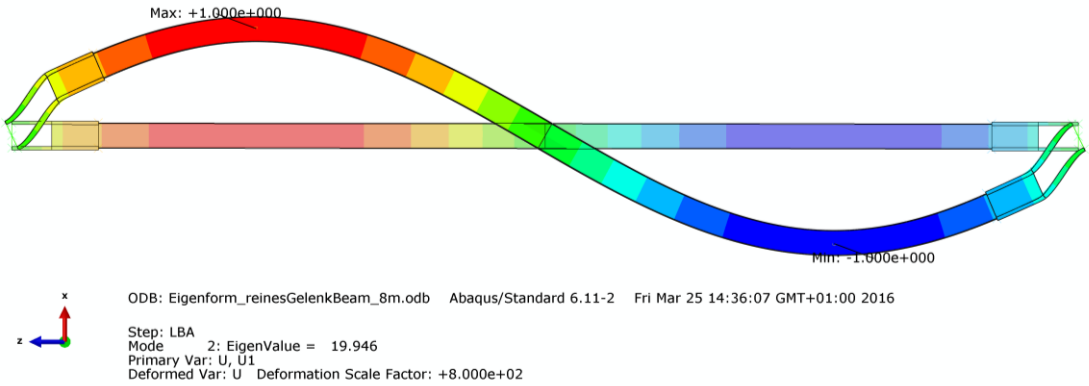


Abbildung 8-192: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

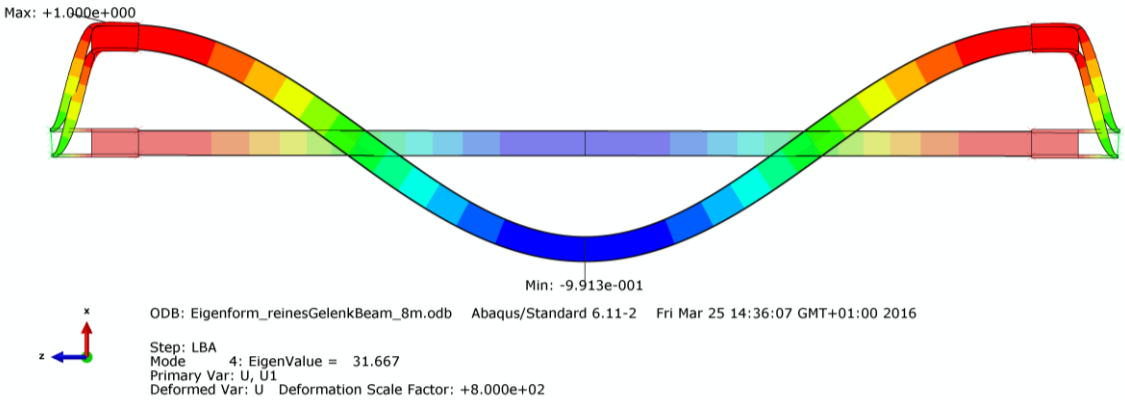


Abbildung 8-193: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3

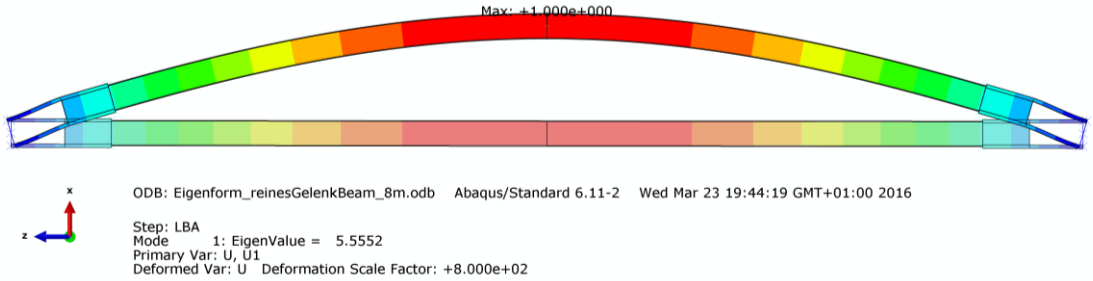


Abbildung 8-194: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

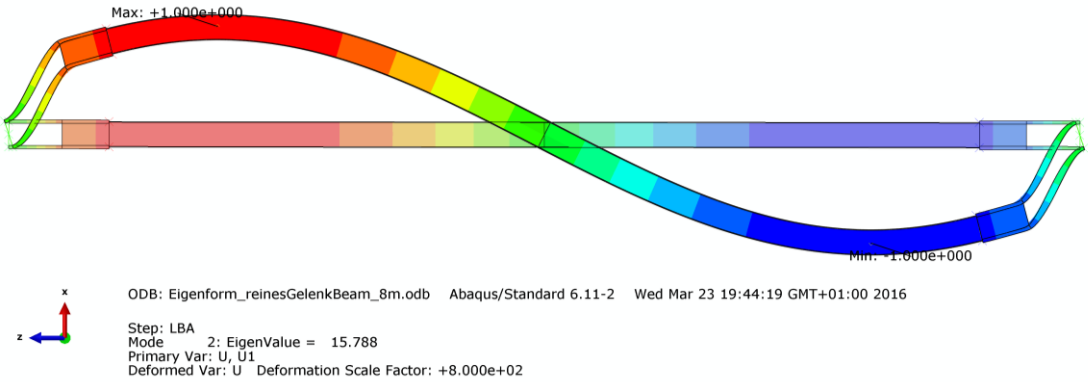


Abbildung 8-195: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

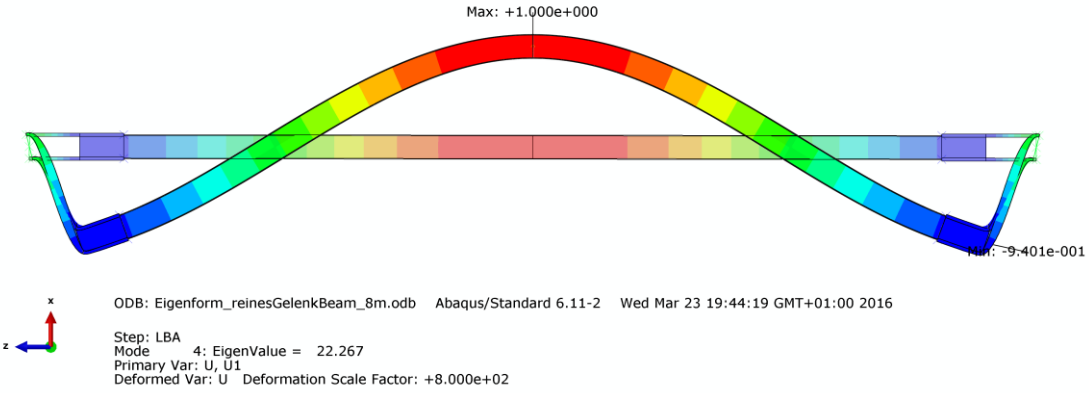


Abbildung 8-196: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm**

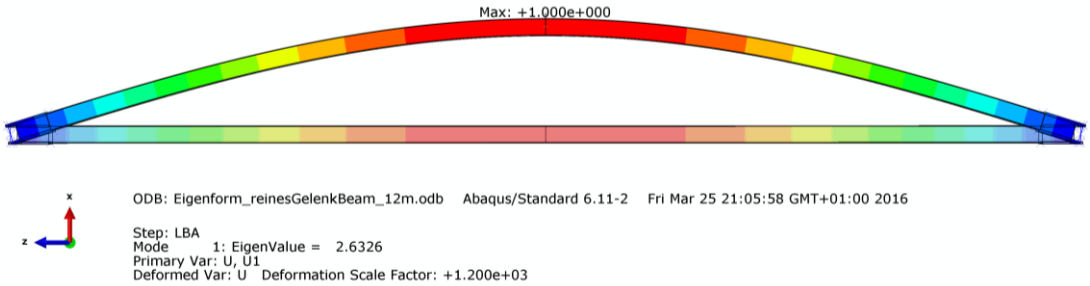


Abbildung 8-197: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

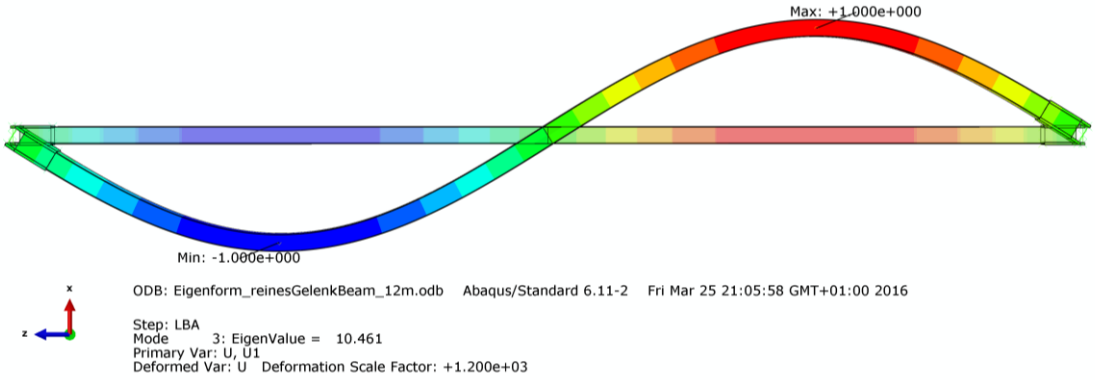


Abbildung 8-198: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

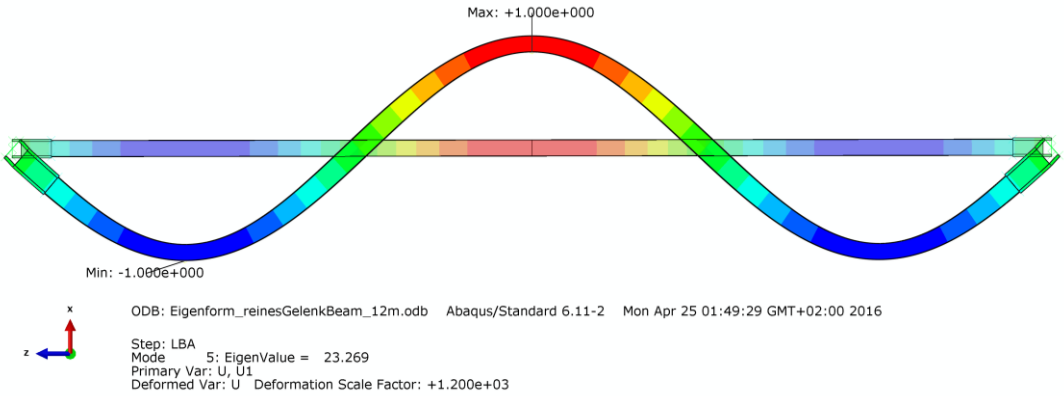


Abbildung 8-199: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

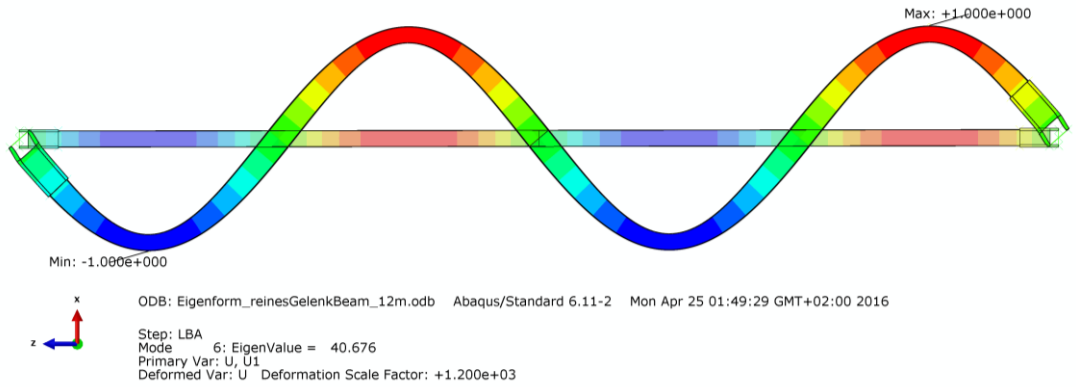


Abbildung 8-200: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

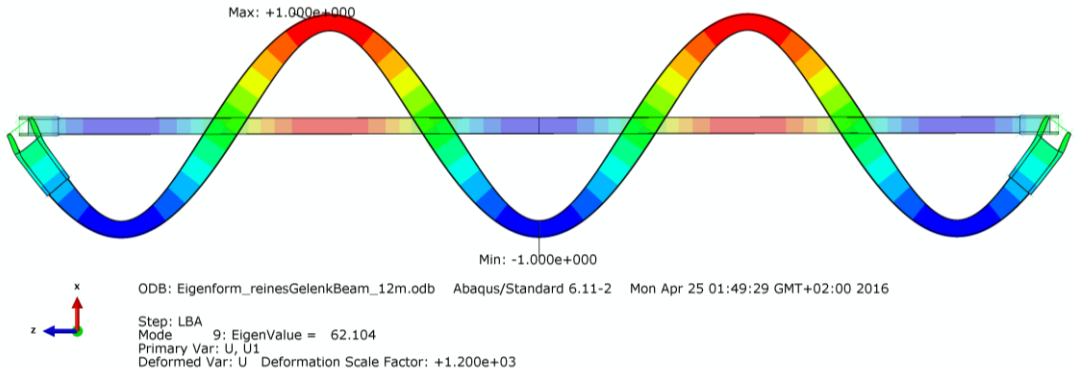


Abbildung 8-201: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5

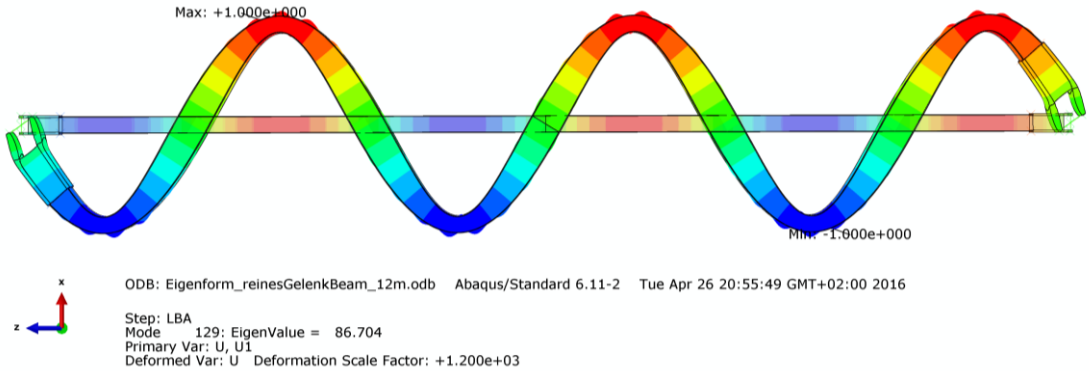


Abbildung 8-202: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6

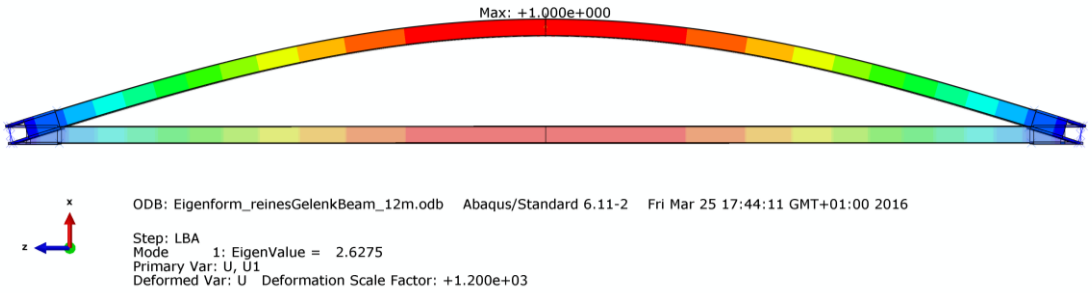


Abbildung 8-203: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

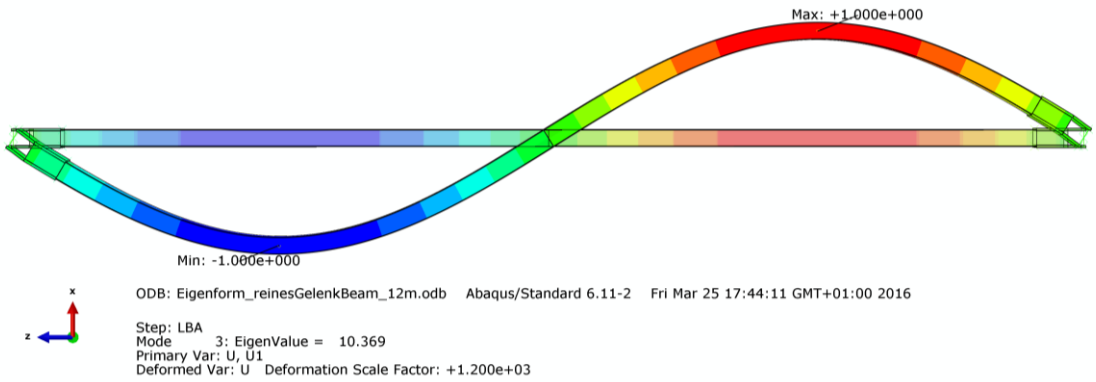


Abbildung 8-204: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

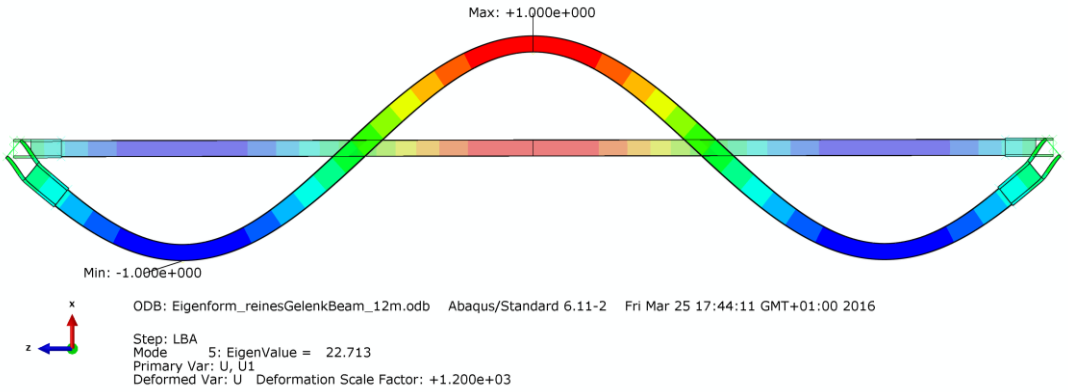


Abbildung 8-205: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

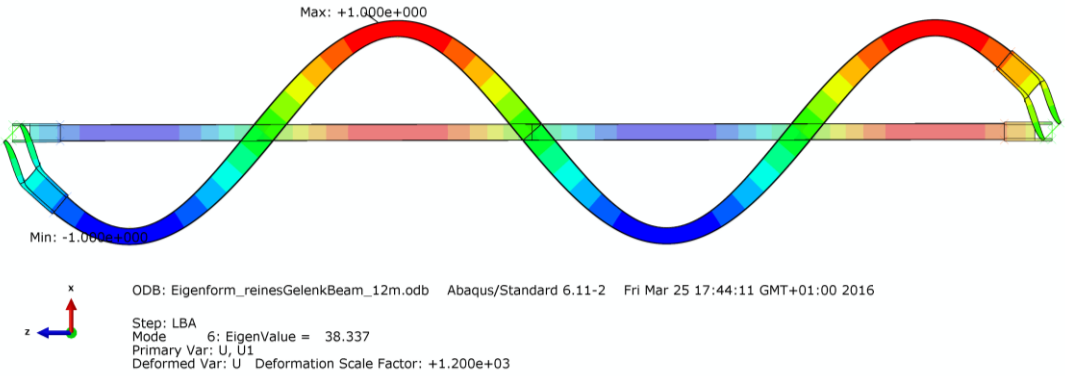


Abbildung 8-206: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4

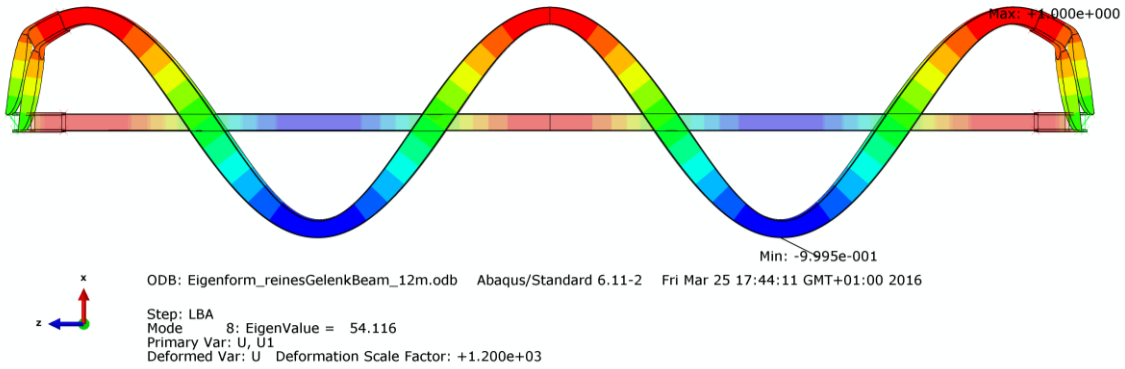


Abbildung 8-207: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5

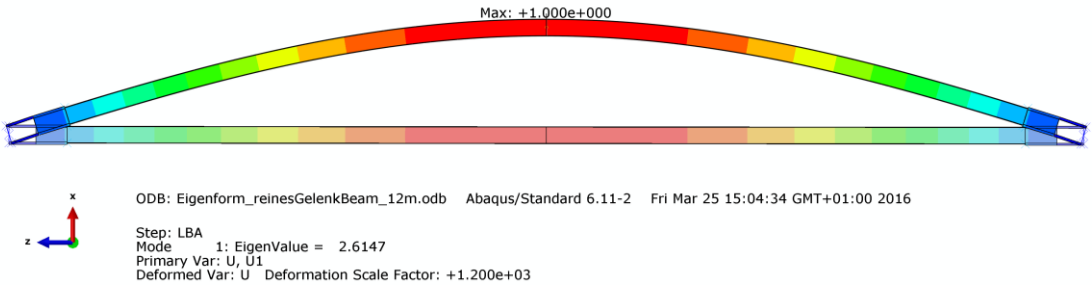


Abbildung 8-208: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

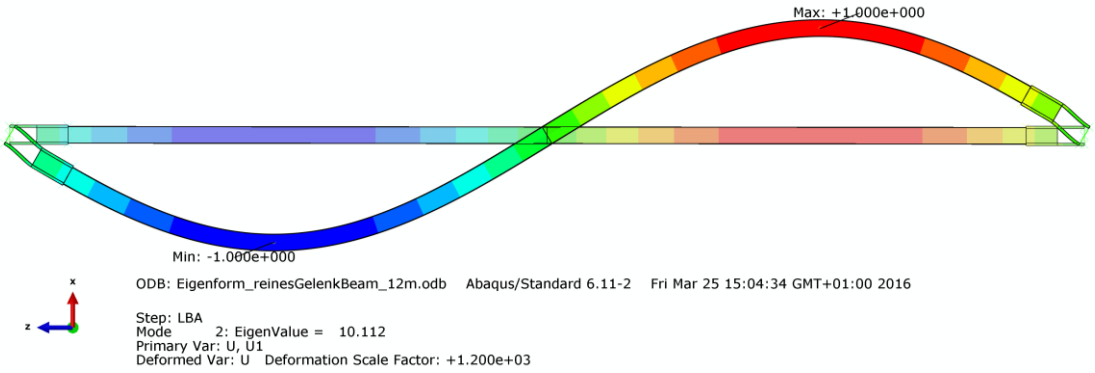


Abbildung 8-209: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

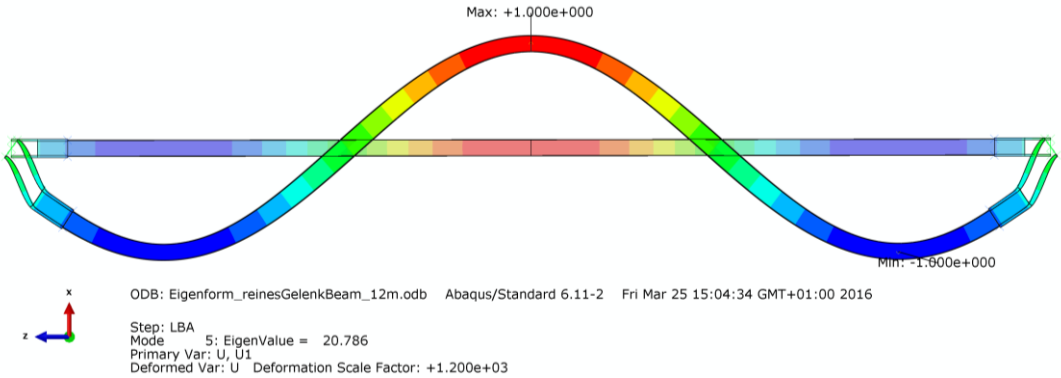


Abbildung 8-210: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3

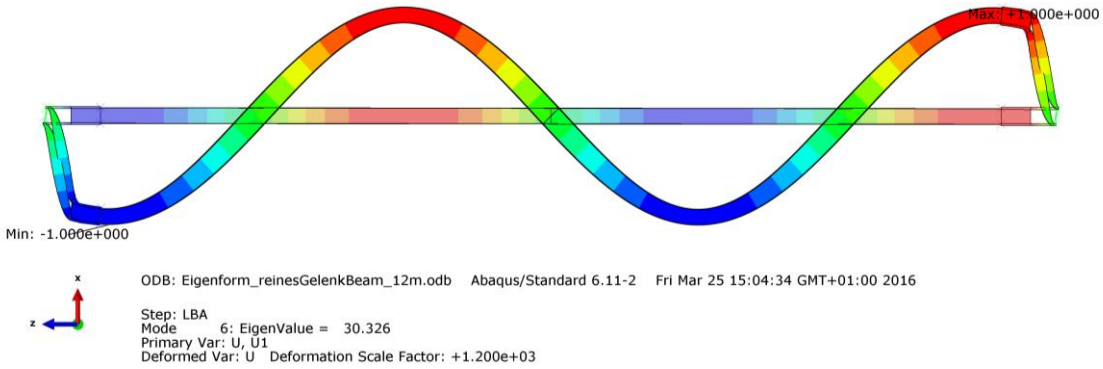


Abbildung 8-211: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4

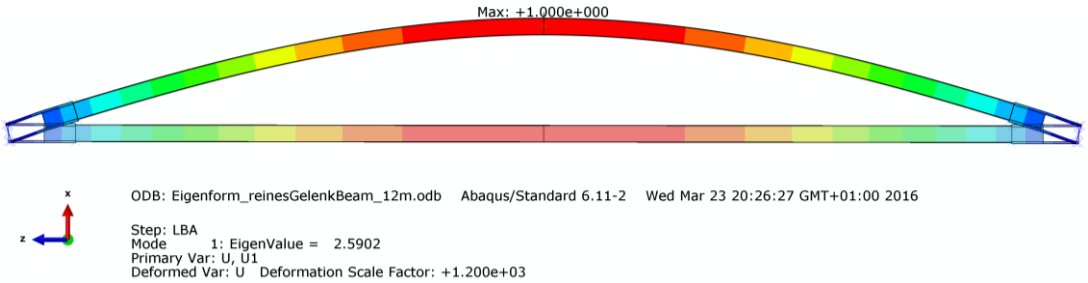


Abbildung 8-212: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

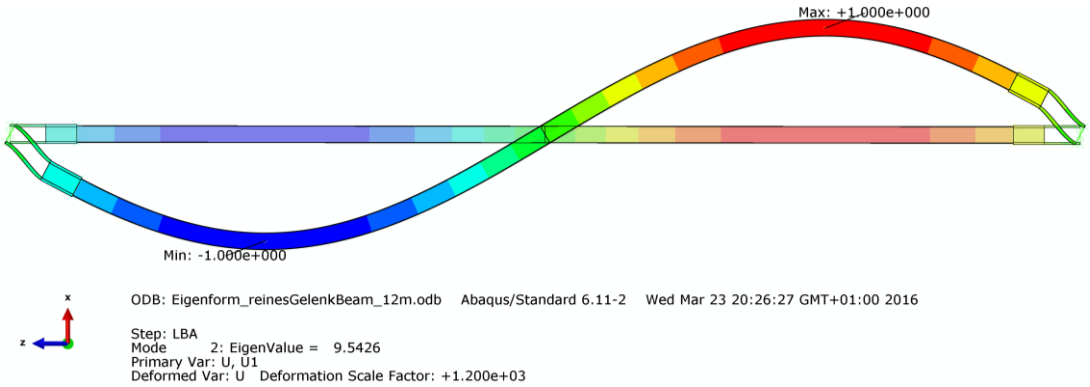


Abbildung 8-213: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

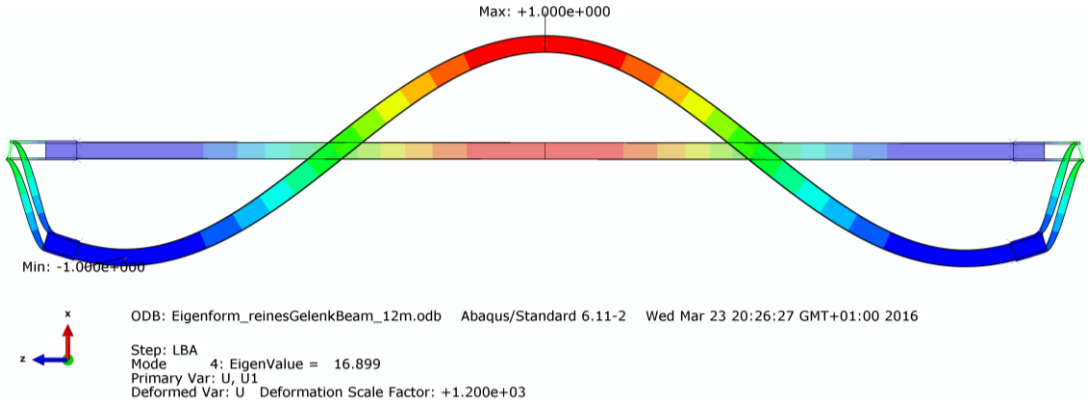


Abbildung 8-214: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3

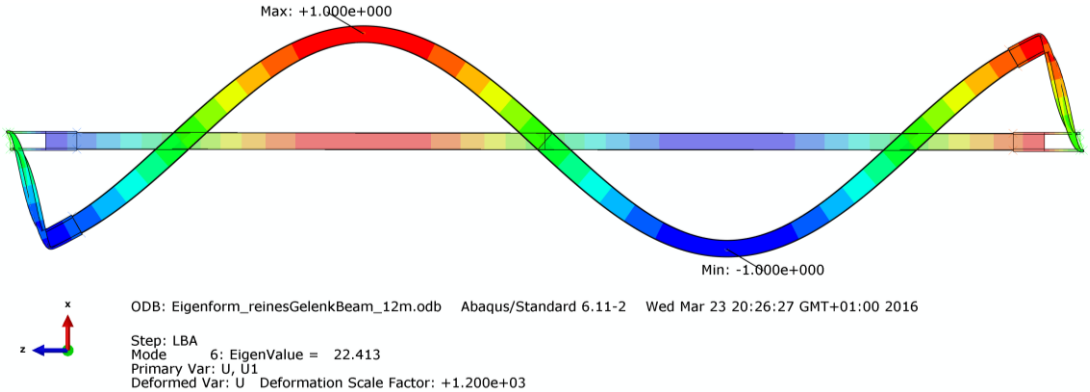


Abbildung 8-215: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF4

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm**

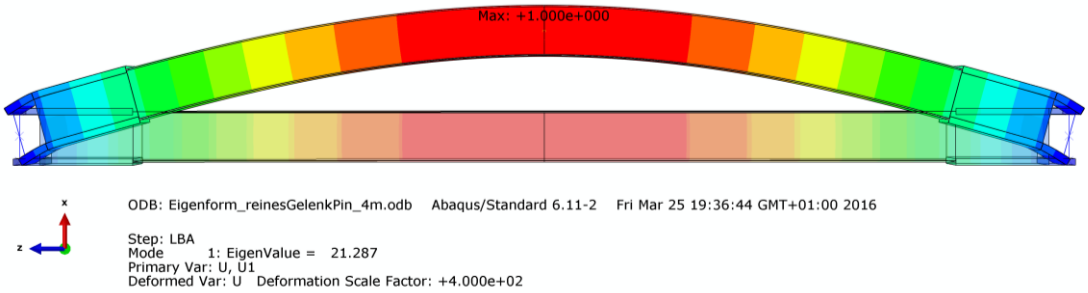


Abbildung 8-216: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

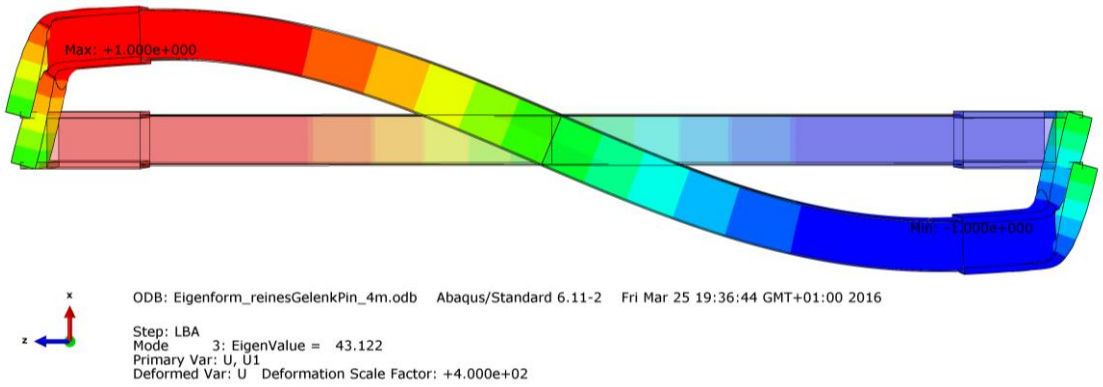


Abbildung 8-217: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

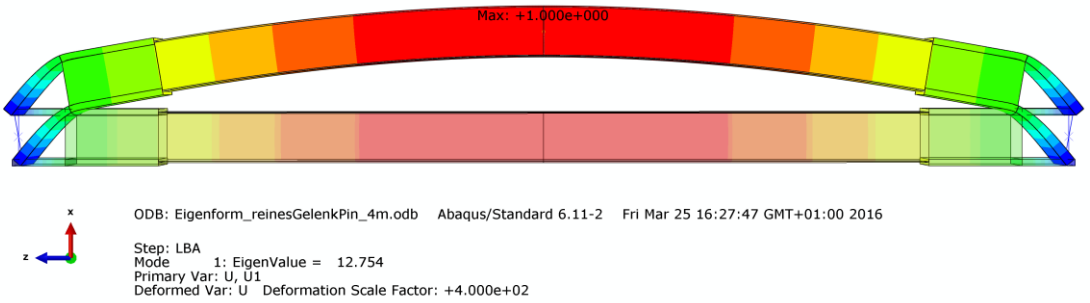


Abbildung 8-218: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

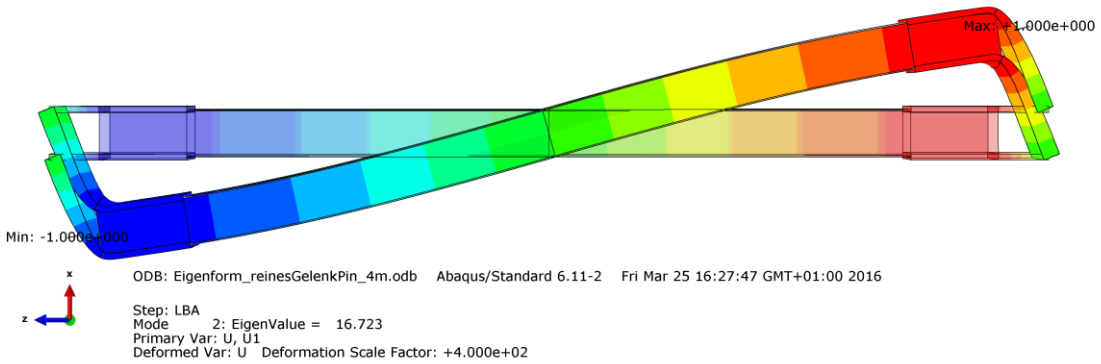


Abbildung 8-219: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

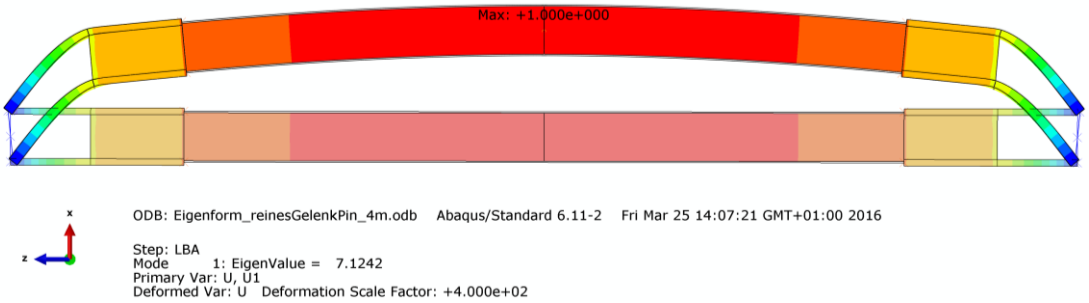


Abbildung 8-220: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

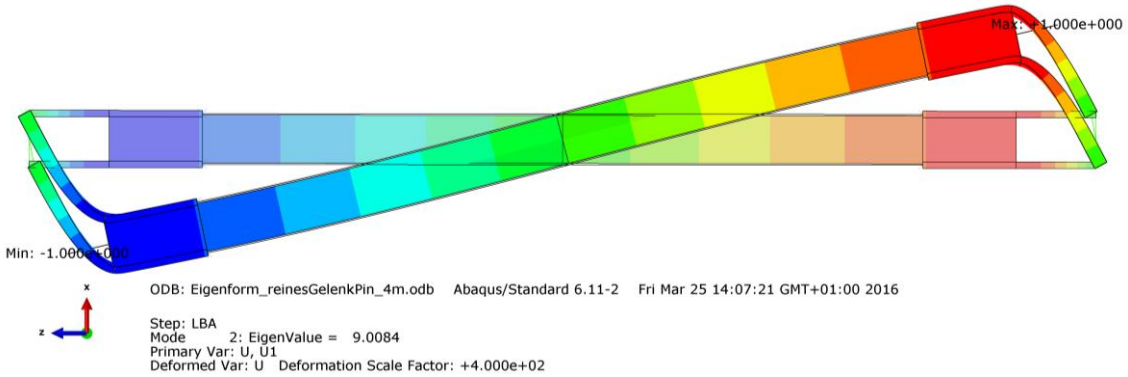


Abbildung 8-221: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

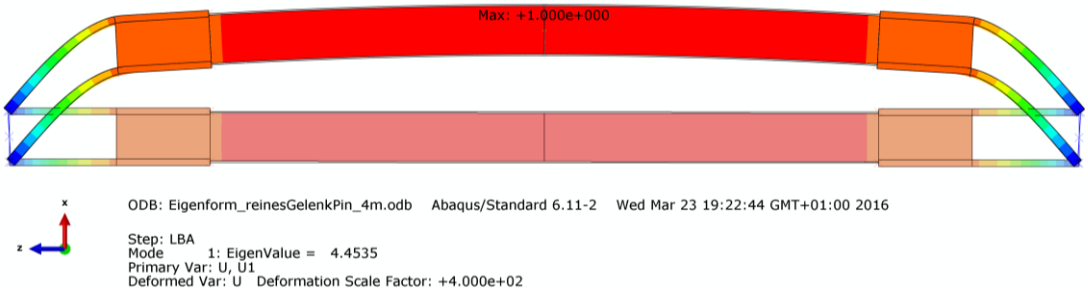


Abbildung 8-222: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

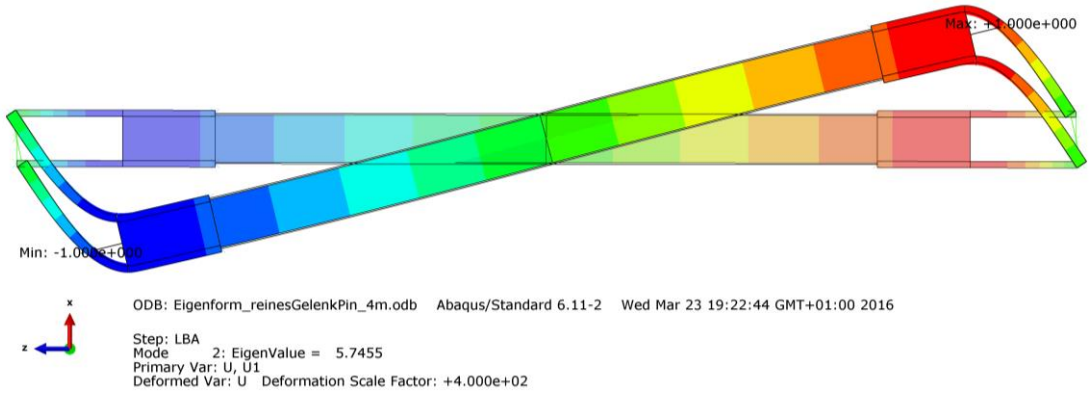


Abbildung 8-223: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm**

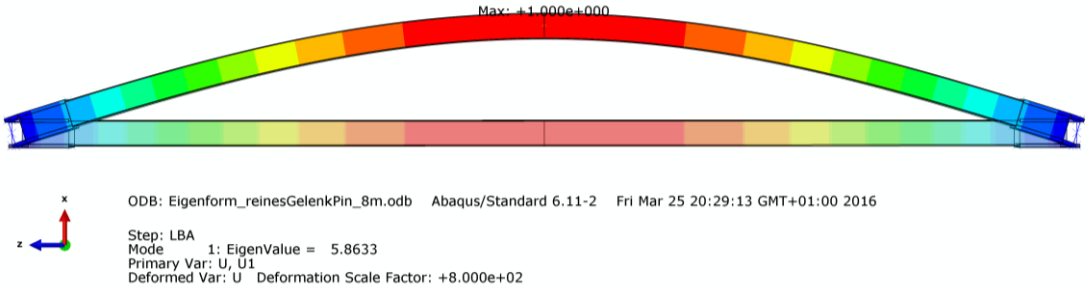


Abbildung 8-224: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

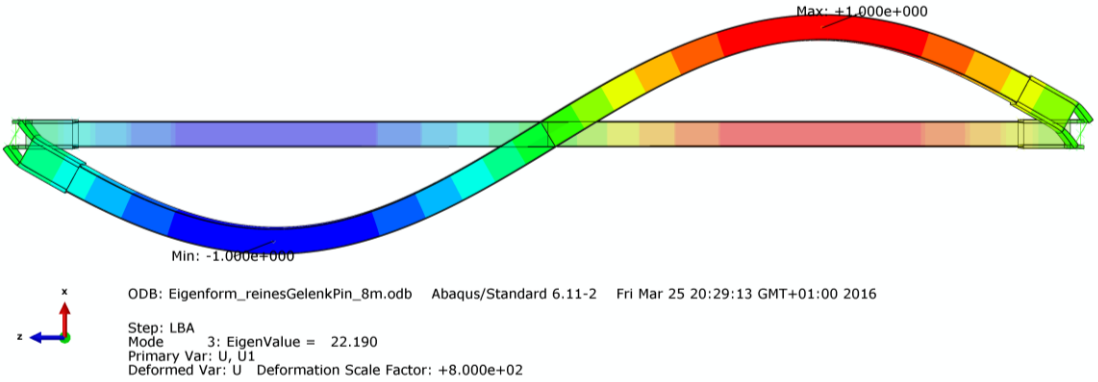


Abbildung 8-225: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

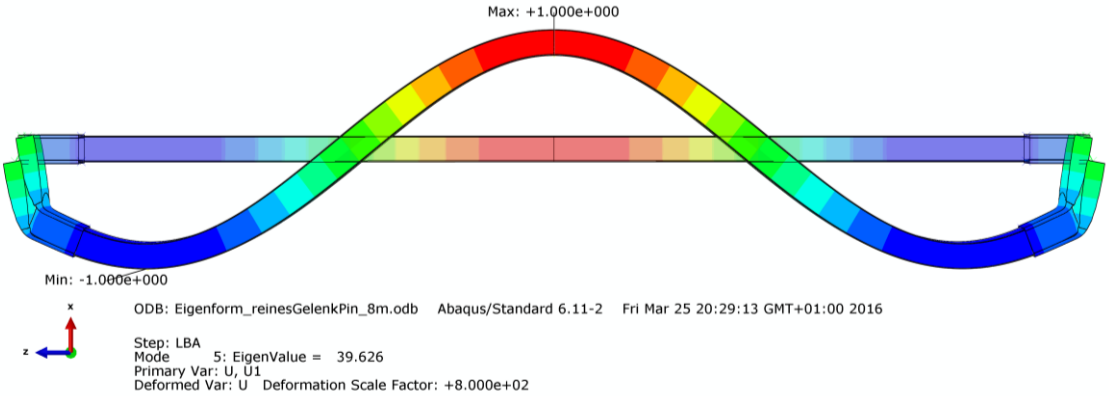


Abbildung 8-226: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

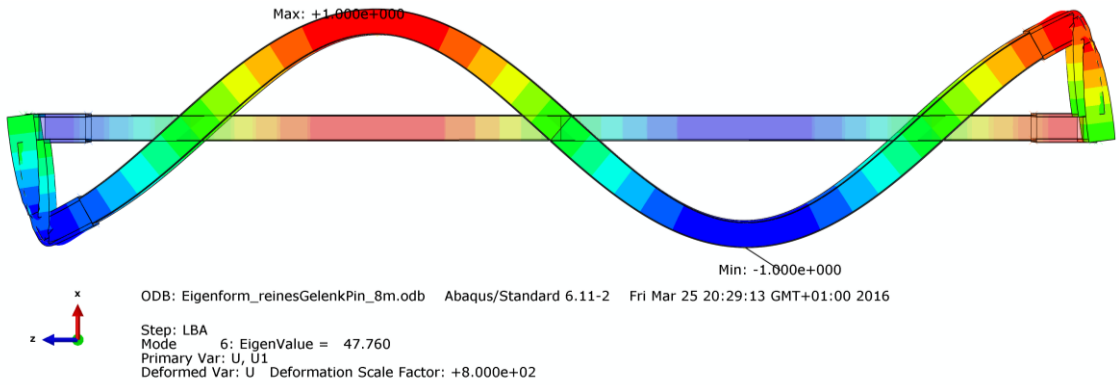


Abbildung 8-227: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

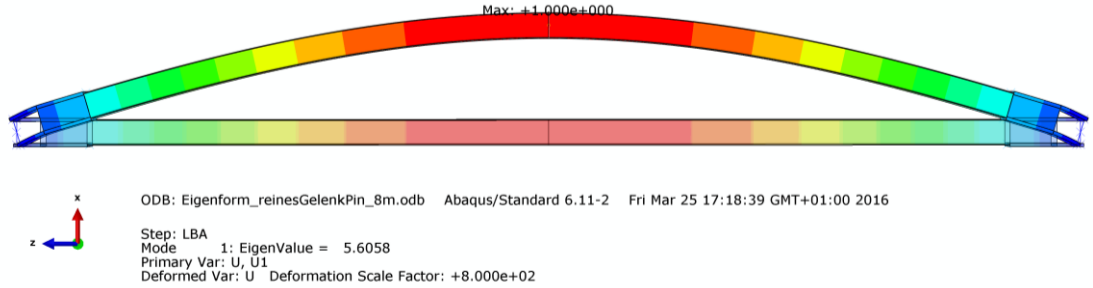


Abbildung 8-228: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

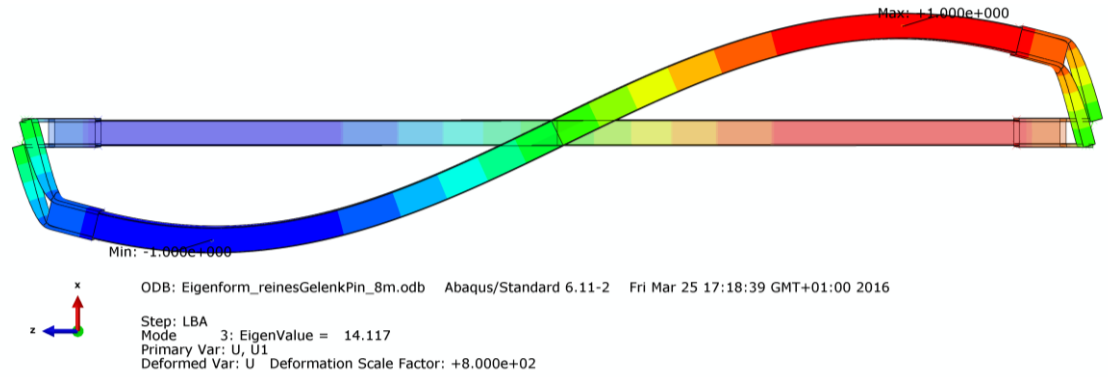


Abbildung 8-229: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

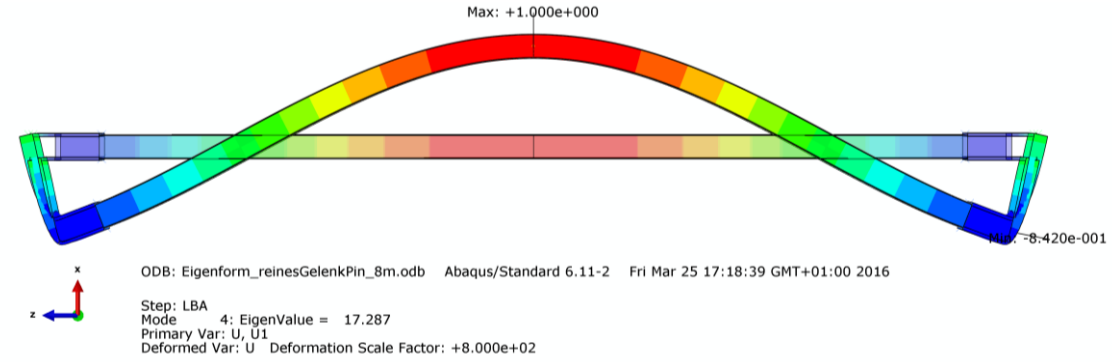


Abbildung 8-230: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

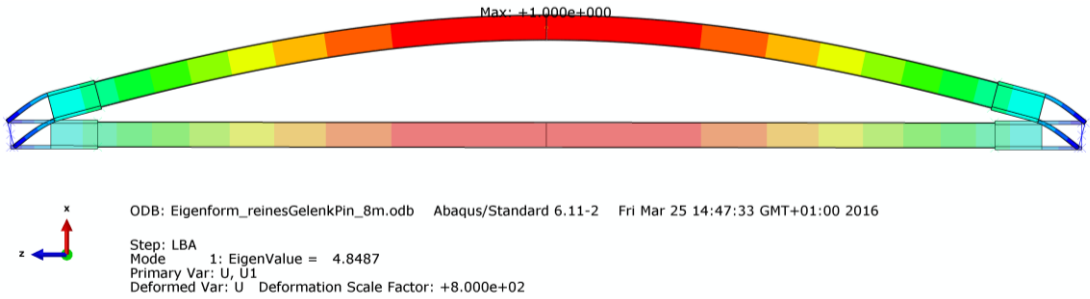


Abbildung 8-231: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

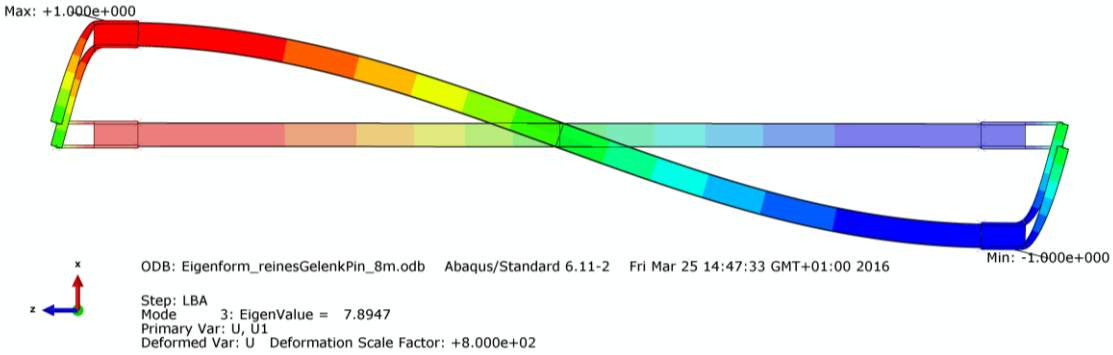


Abbildung 8-232: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

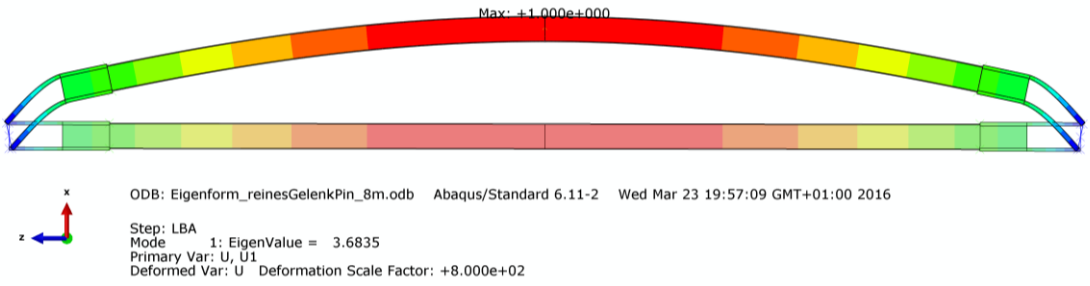


Abbildung 8-233: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

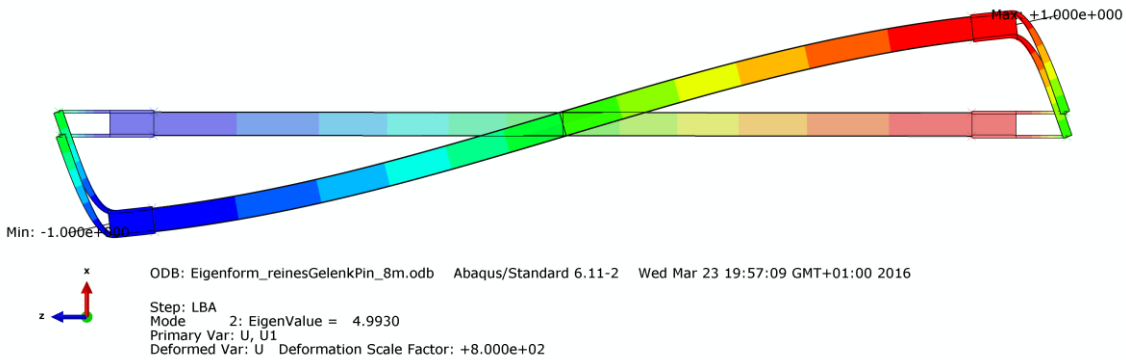


Abbildung 8-234: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm**

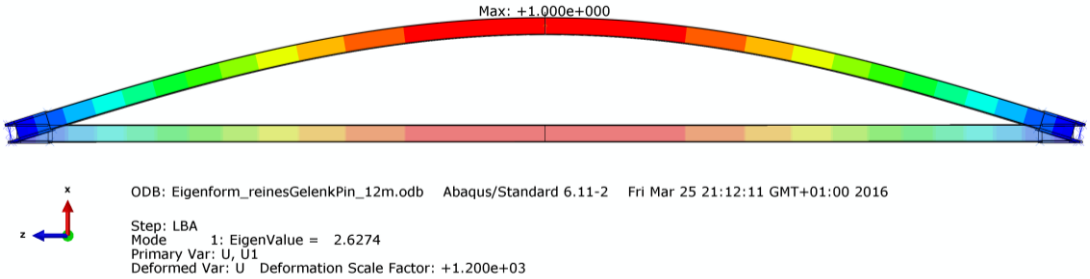


Abbildung 8-235: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

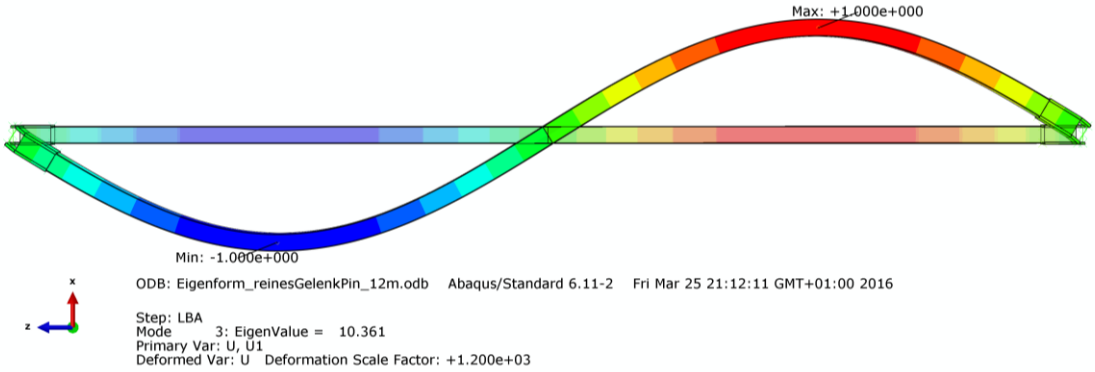


Abbildung 8-236: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

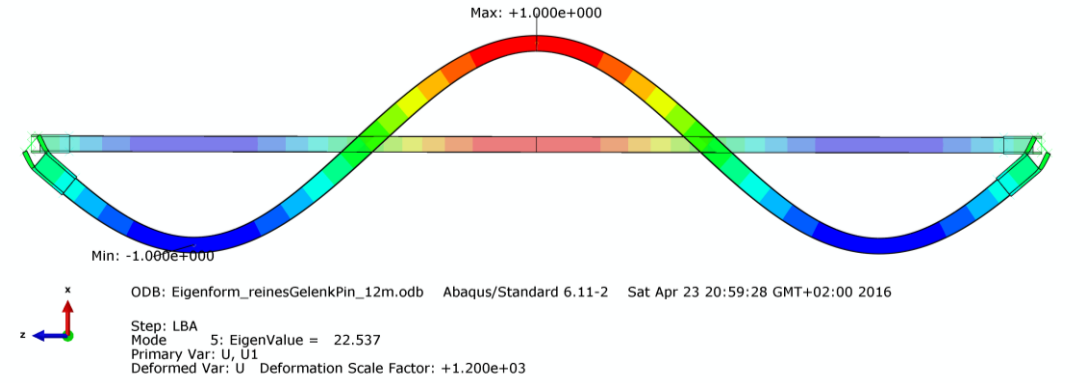


Abbildung 8-237: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

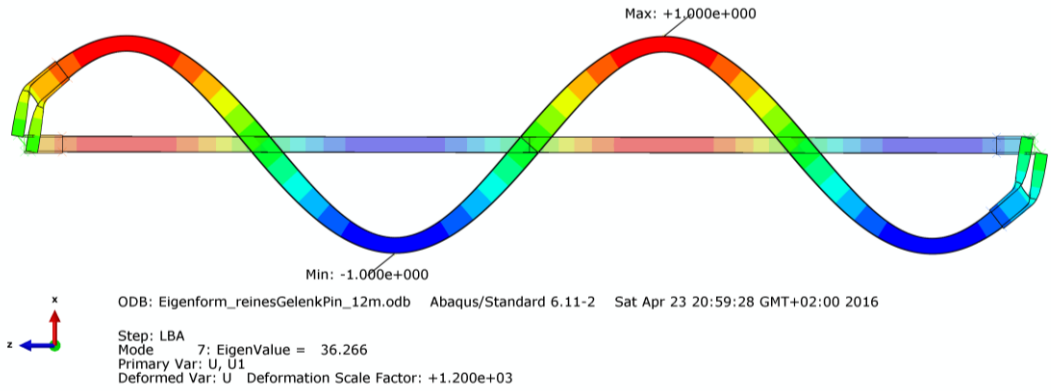


Abbildung 8-238: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

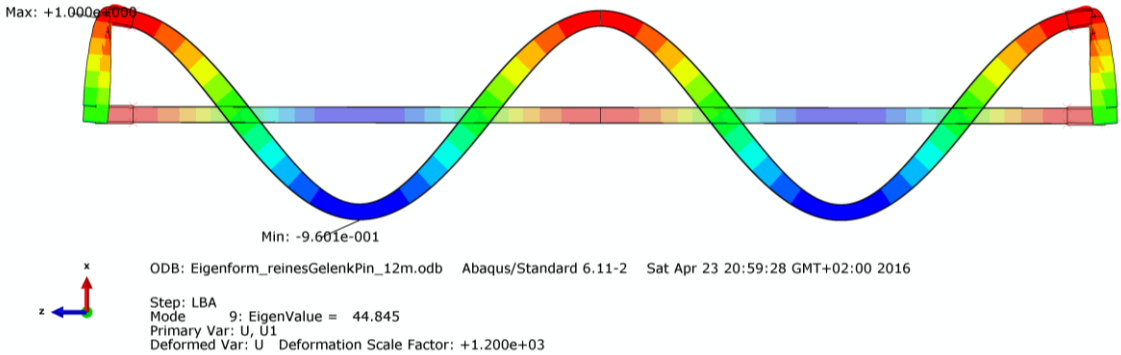


Abbildung 8-239: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5

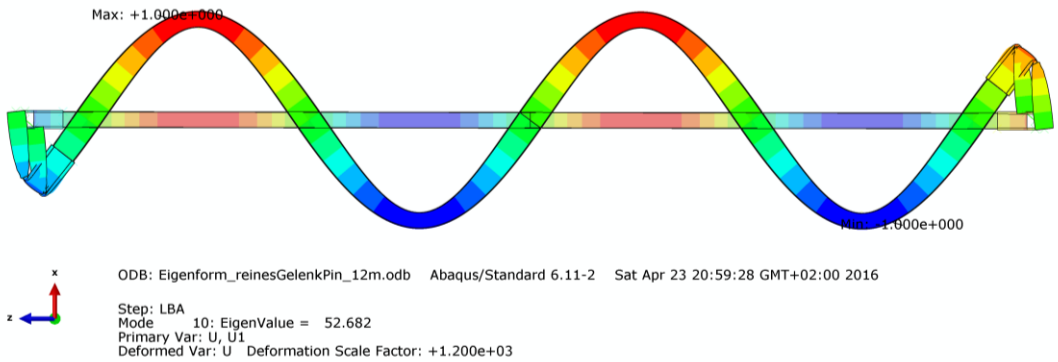


Abbildung 8-240: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6

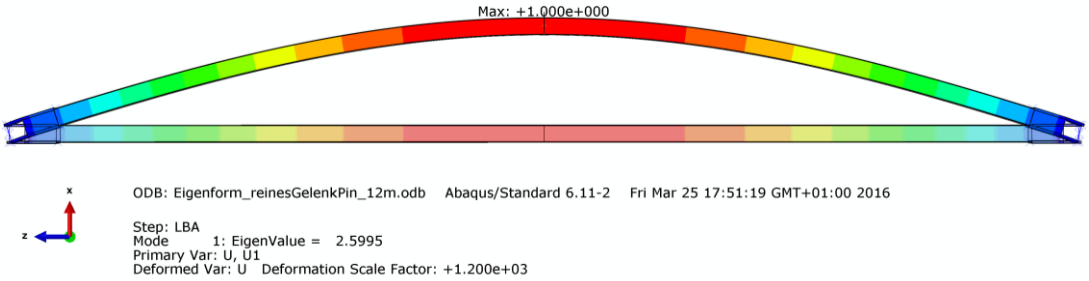


Abbildung 8-241: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

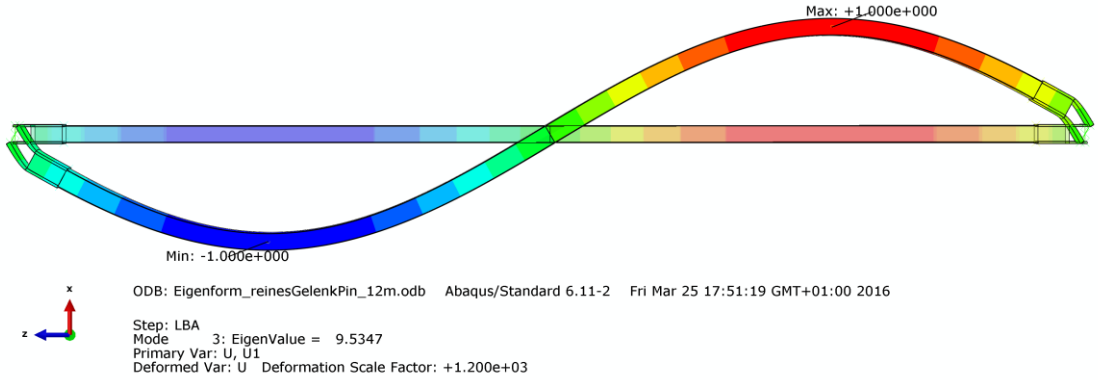


Abbildung 8-242: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

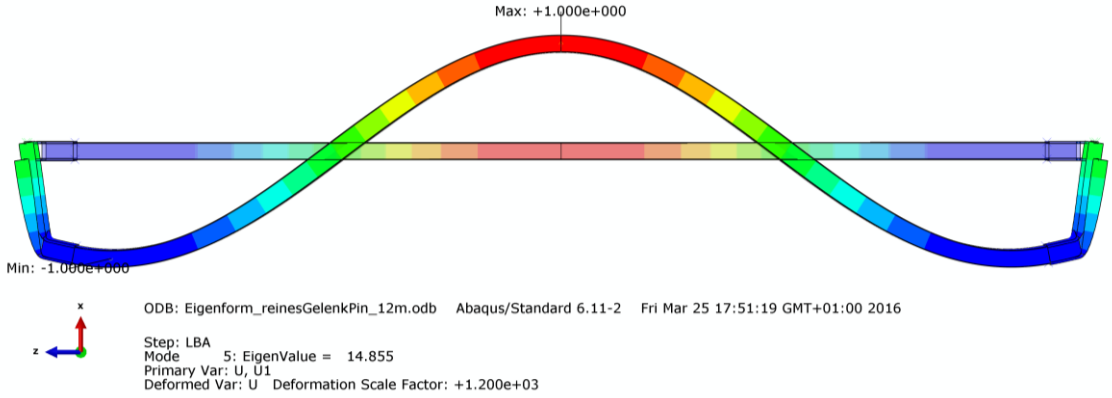


Abbildung 8-243: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

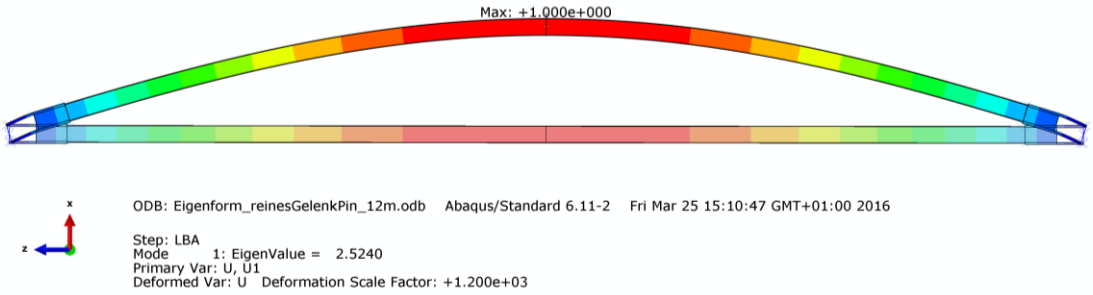


Abbildung 8-244: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

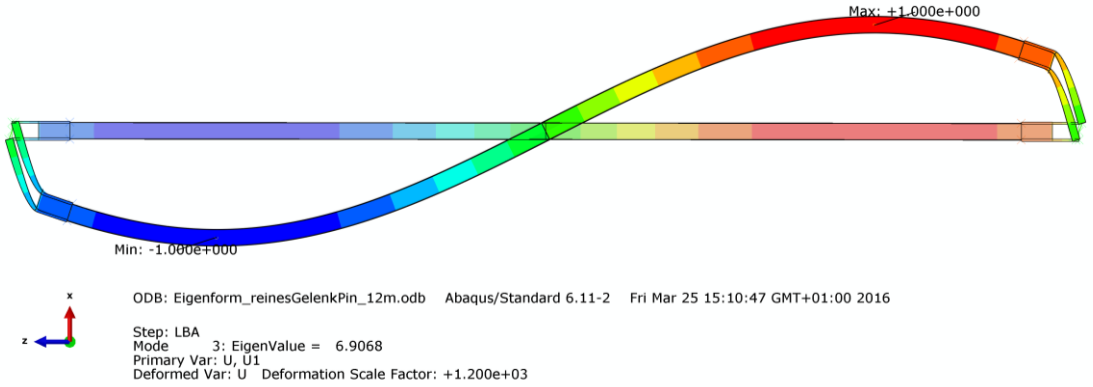


Abbildung 8-245: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

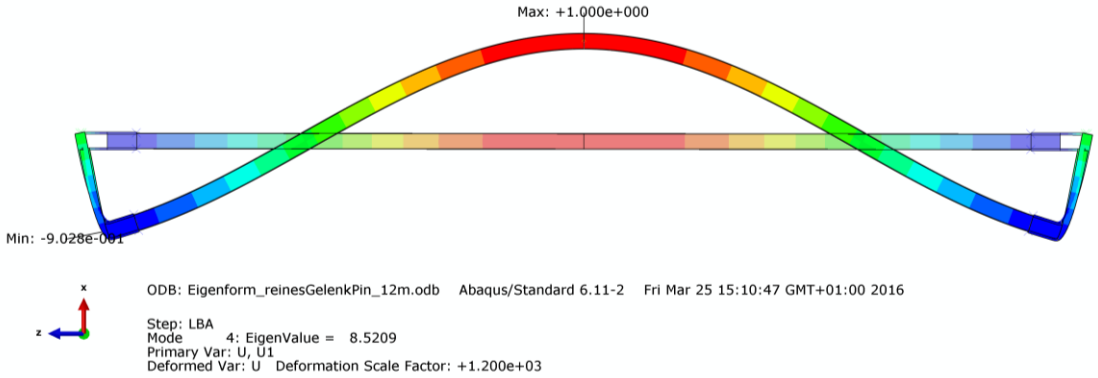


Abbildung 8-246: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3

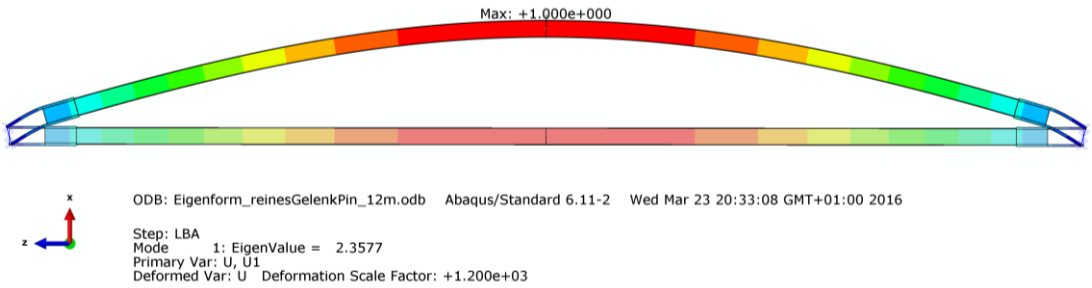


Abbildung 8-247: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

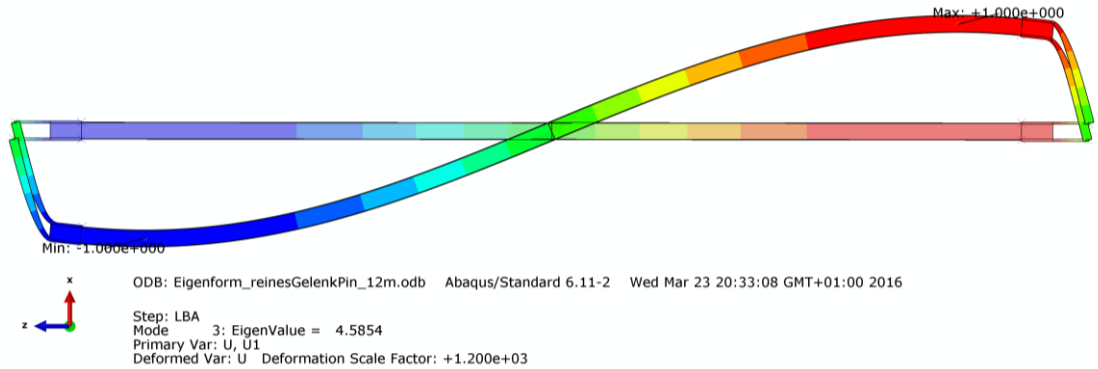


Abbildung 8-248: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

8.2.3 Zusätzliche Berechnungen für die Mustererkennung

In den Abbildungen 8-249 bis 8-277 sind die Eigenformen der zusätzlichen Berechnungen, die im Zuge der Schlussfolgerungen für die praktische Anwendung (siehe Kapitel 7.3) durchgeführt wurden, dargestellt.

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**

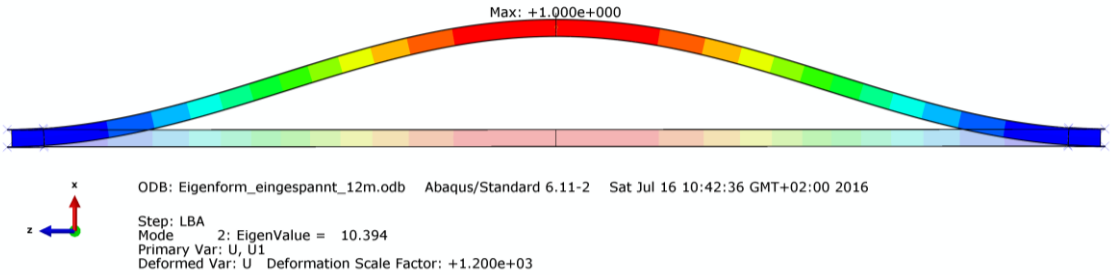


Abbildung 8-249: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1

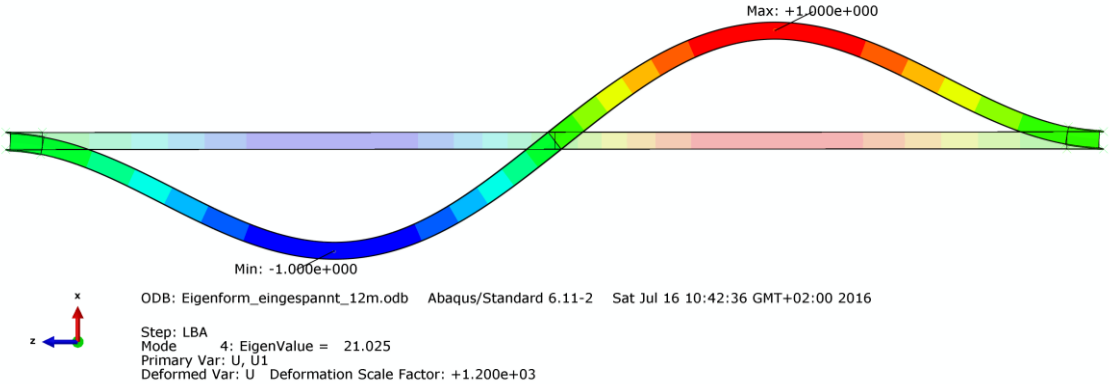


Abbildung 8-250: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2

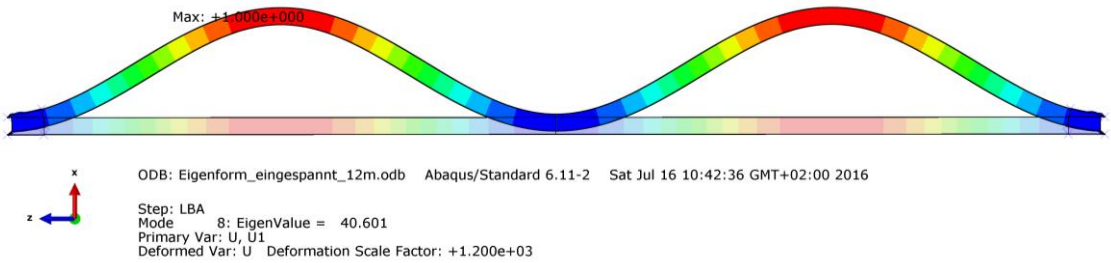


Abbildung 8-251: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3

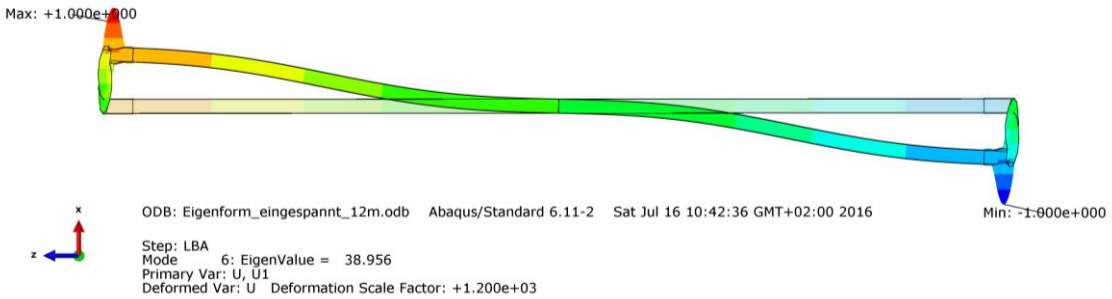


Abbildung 8-252: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4

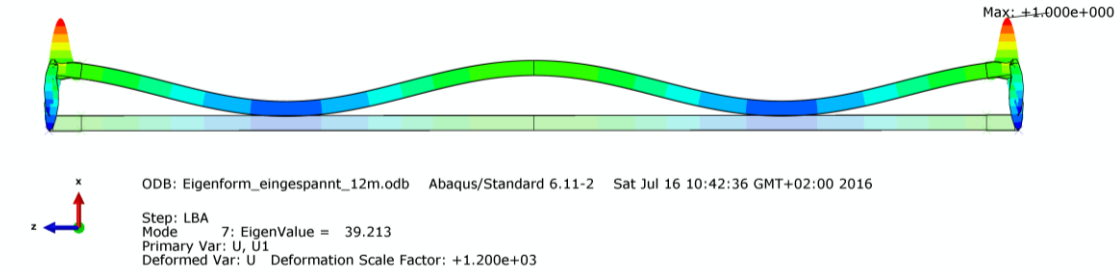


Abbildung 8-253: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**

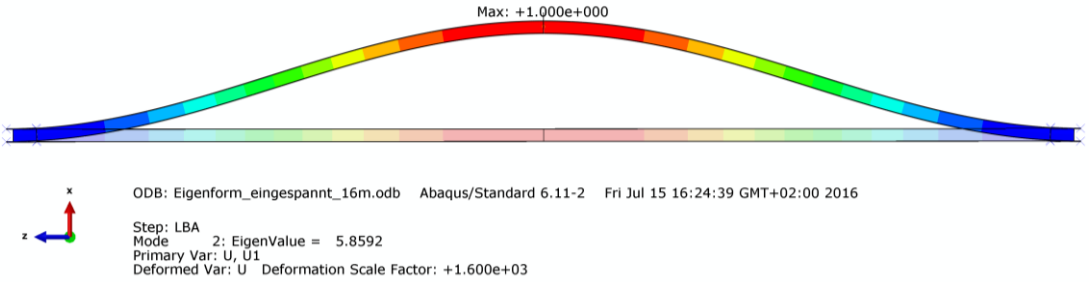


Abbildung 8-254: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

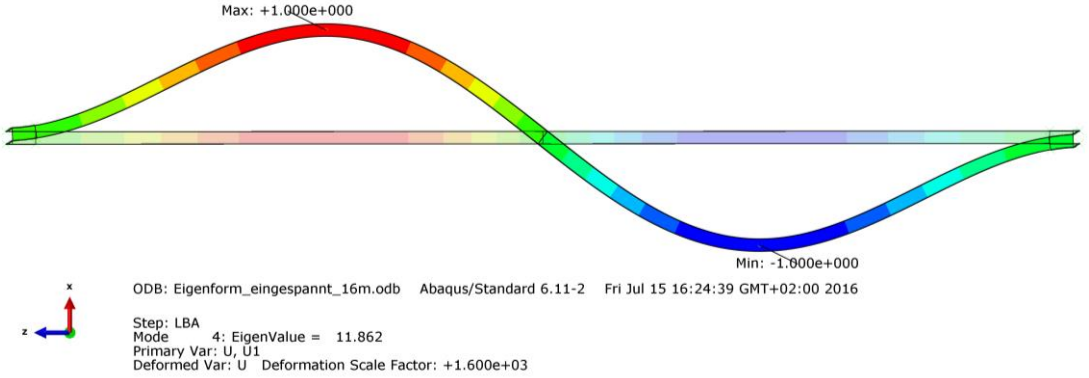


Abbildung 8-255: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

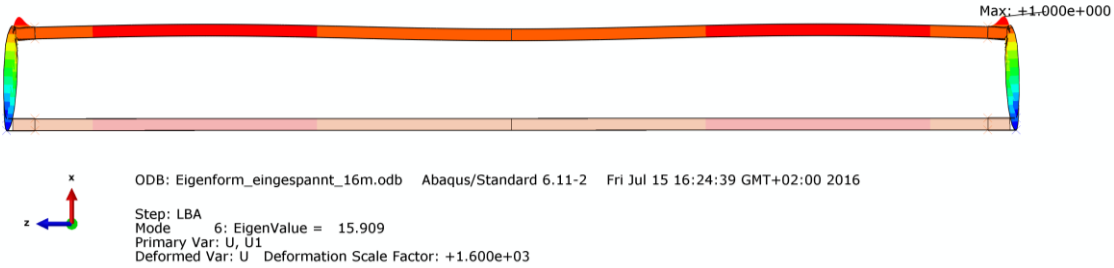


Abbildung 8-256: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

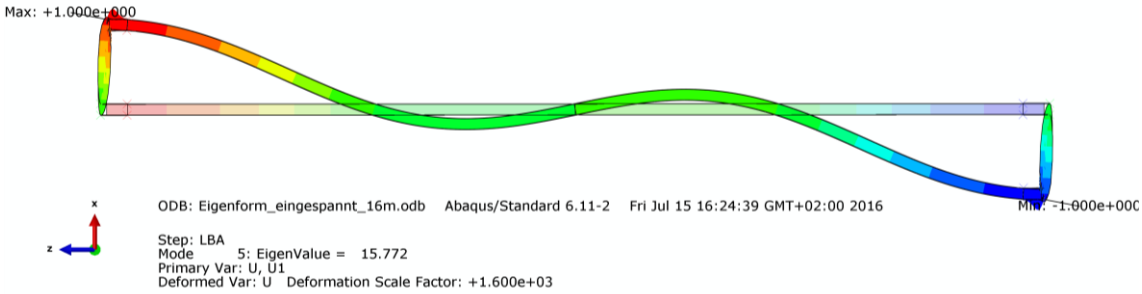


Abbildung 8-257: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**

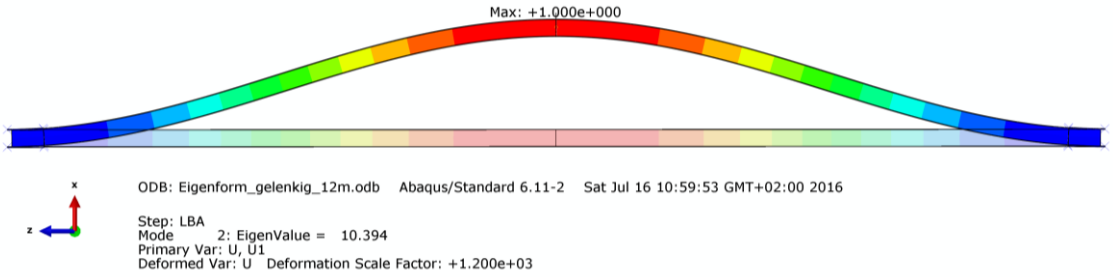


Abbildung 8-258: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1

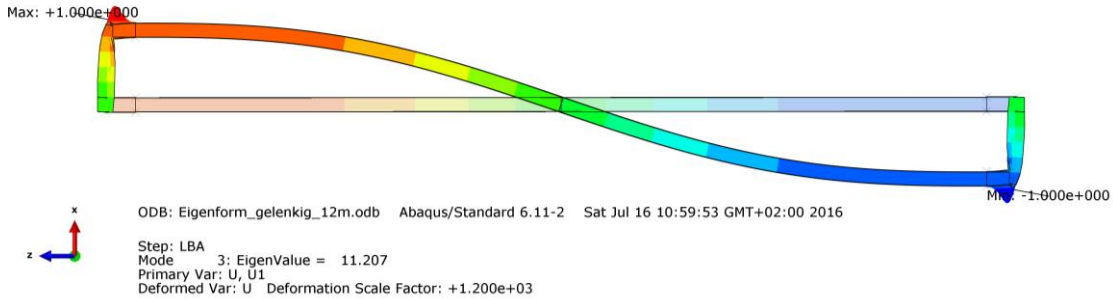


Abbildung 8-259: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2

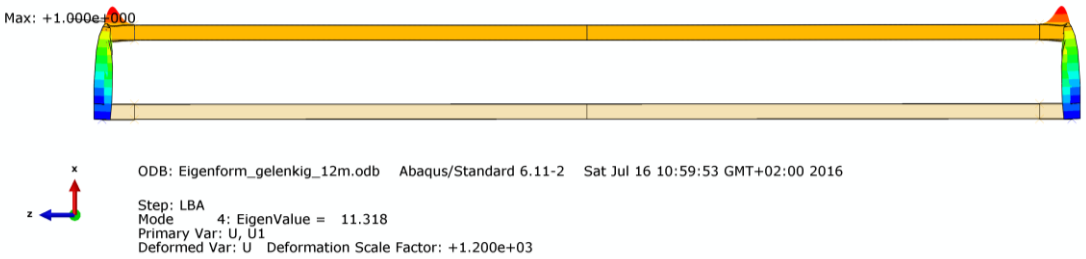


Abbildung 8-260: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**

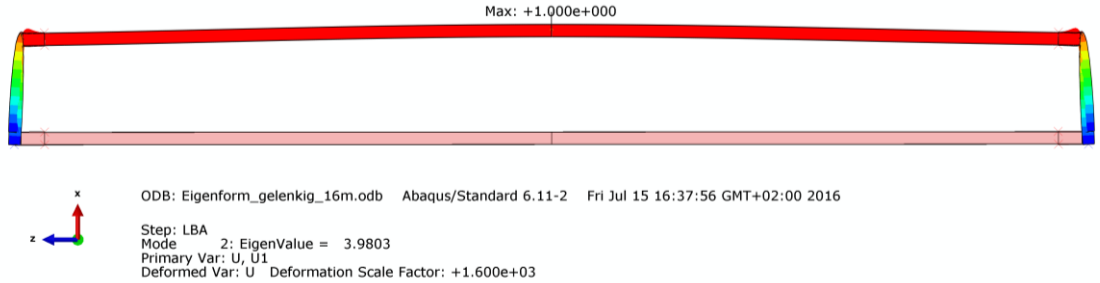


Abbildung 8-261: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

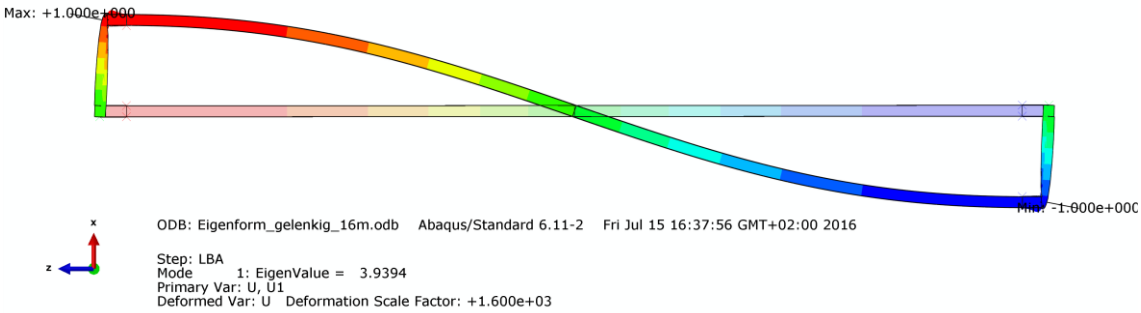


Abbildung 8-262: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**

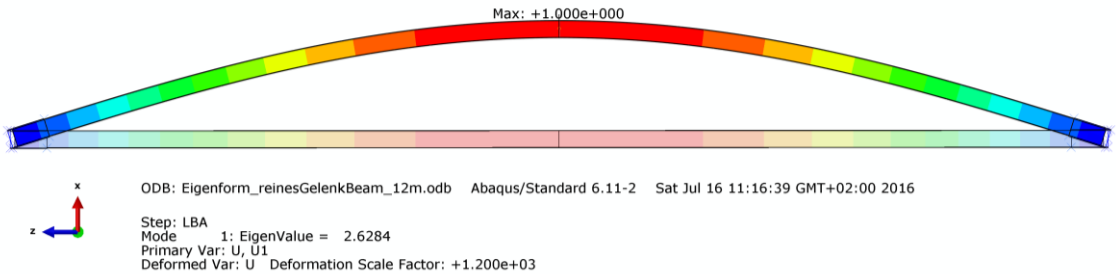


Abbildung 8-263: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1

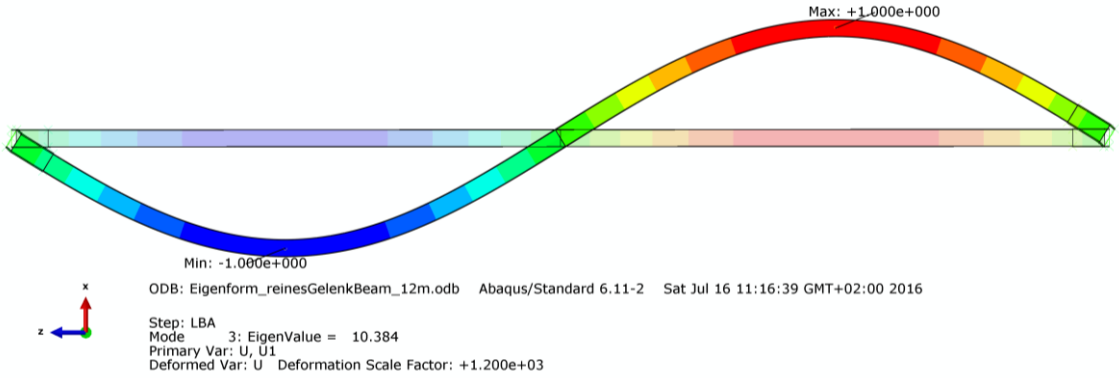


Abbildung 8-264: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2

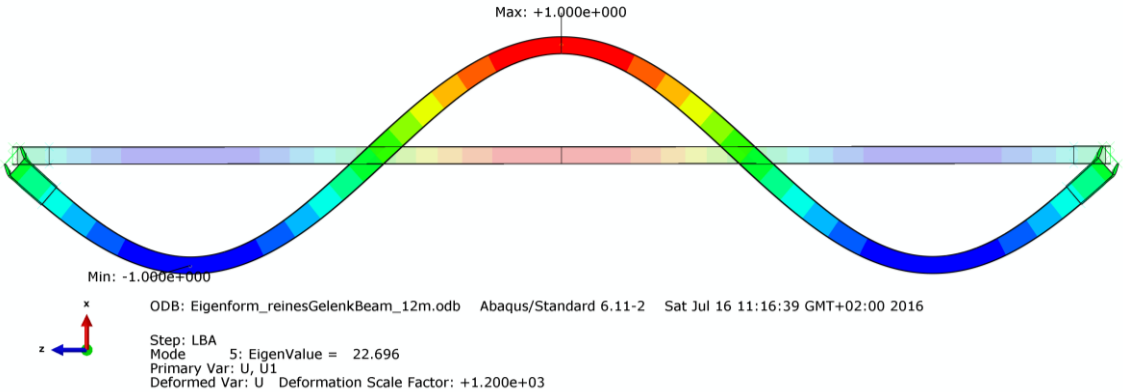


Abbildung 8-265: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3

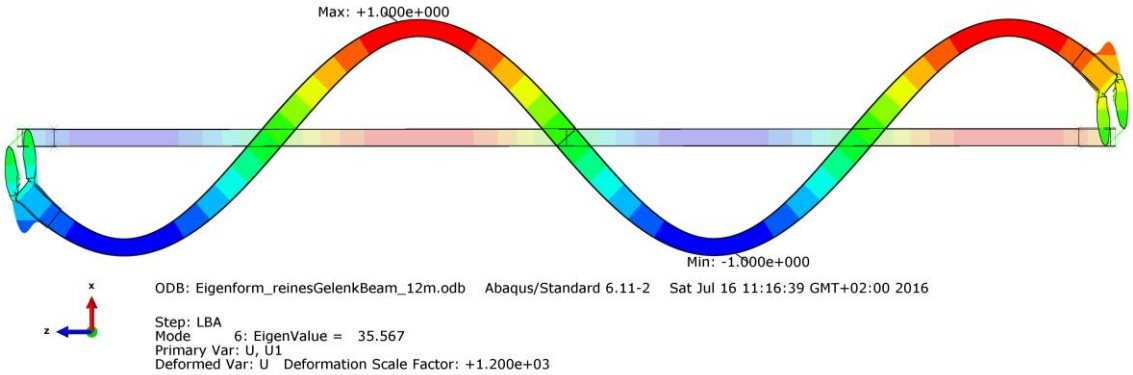


Abbildung 8-266: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4

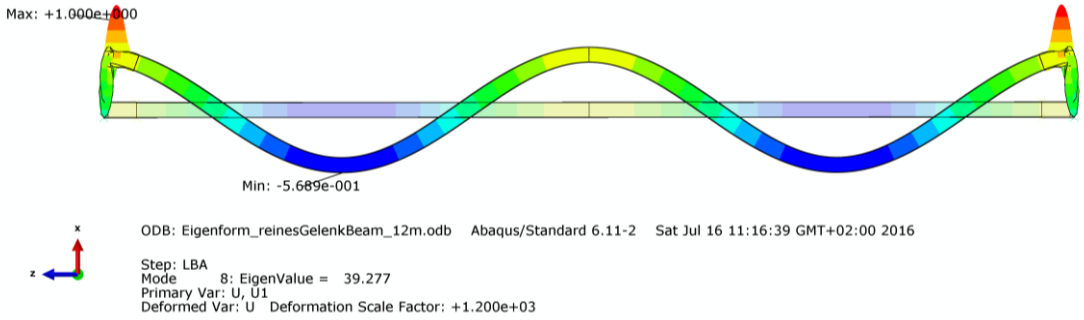


Abbildung 8-267: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**

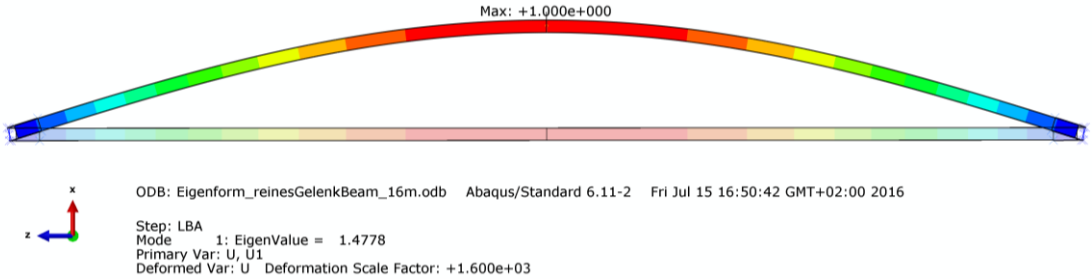


Abbildung 8-268: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

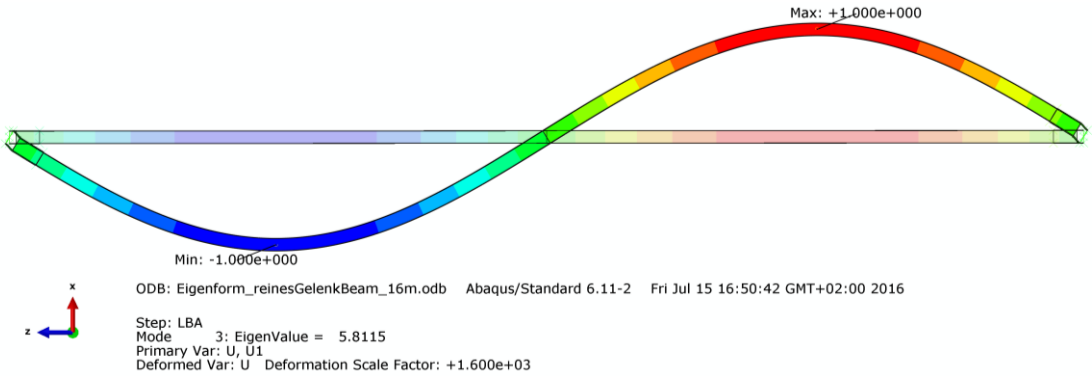


Abbildung 8-269: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

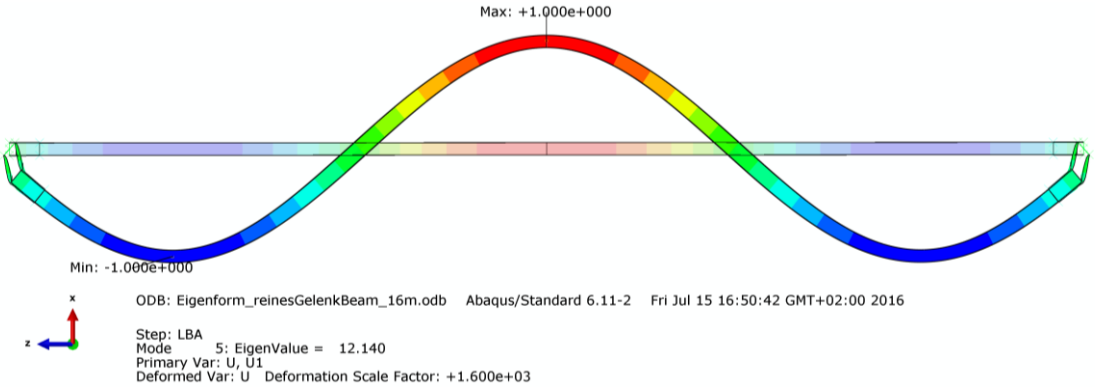


Abbildung 8-270: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

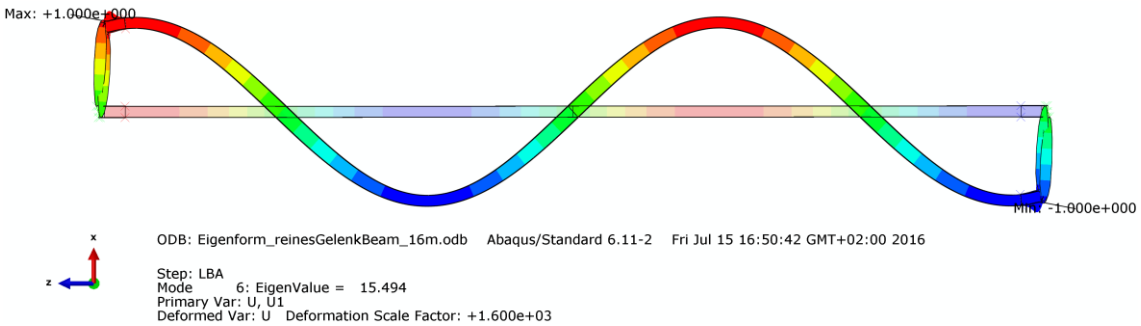


Abbildung 8-271: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**

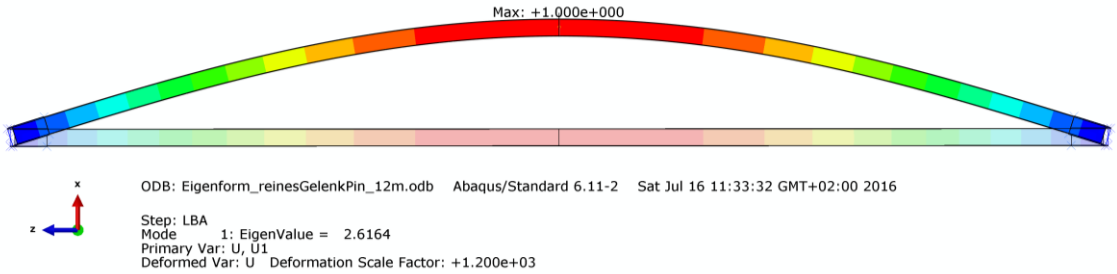


Abbildung 8-272: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1

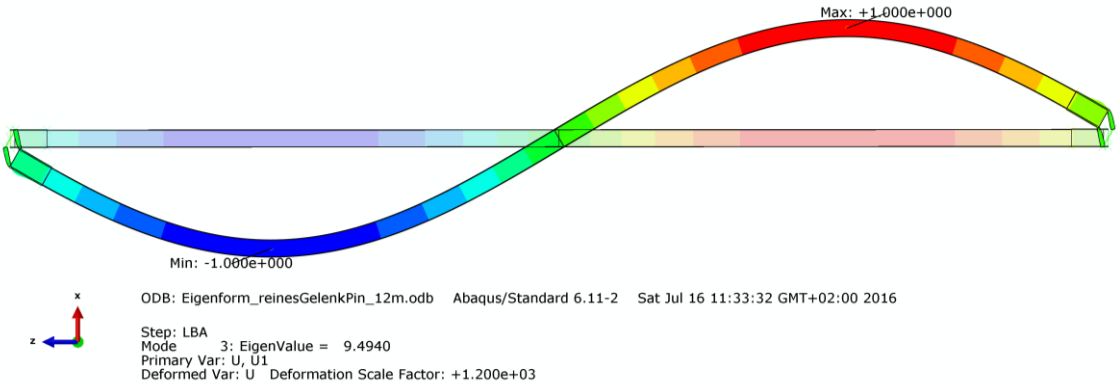


Abbildung 8-273: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2

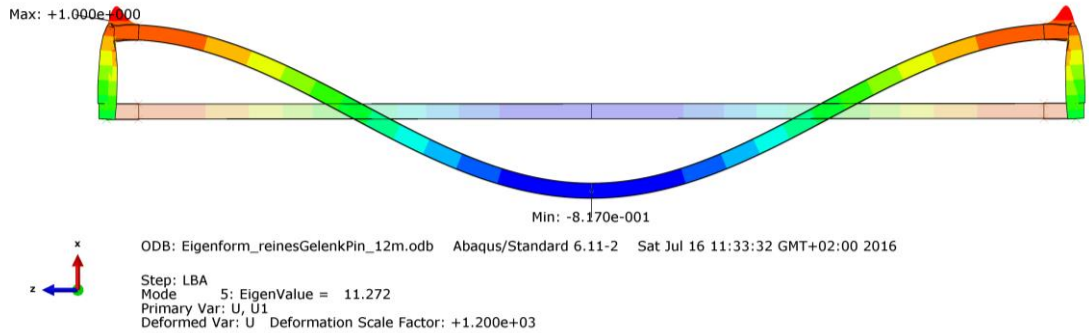


Abbildung 8-274: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**

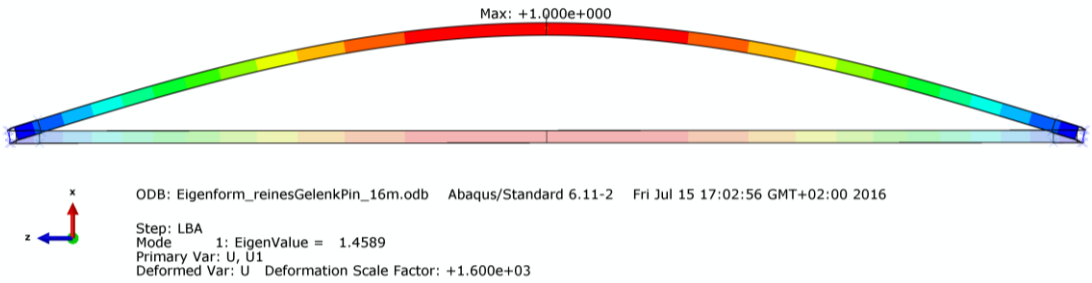


Abbildung 8-275: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

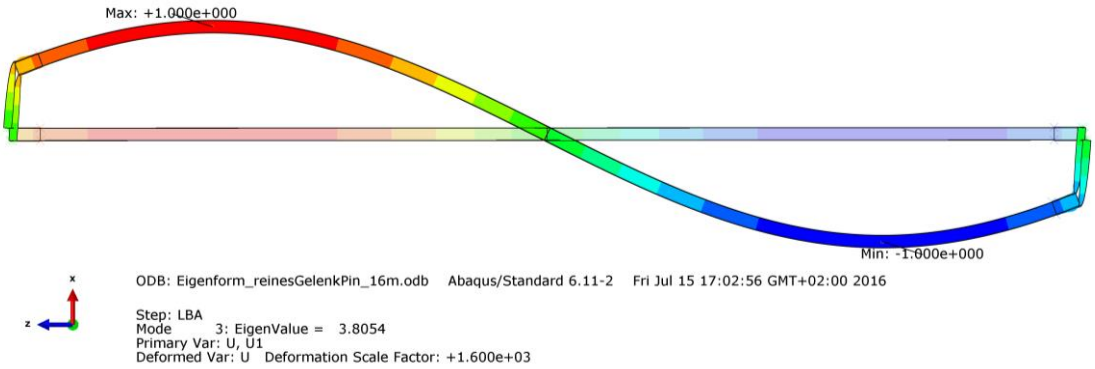


Abbildung 8-276: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

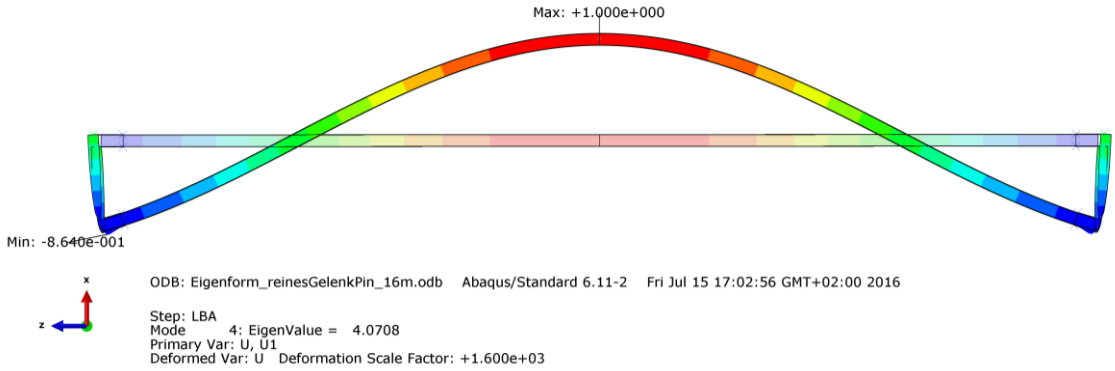


Abbildung 8-277: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

8.2.4 Referenzsysteme

In den Abbildungen 8-278 bis 8-283 sind die Eigenformen, die als Vorverformung für die GMNIA Berechnung der Referenzlasten angesetzt wurden, dargestellt. Da es sich bei den Referenzsystemen um Stäbe mit konstantem Querschnitt ohne angeschlossene Knotenbleche handelt, war die Ermittlung der ersten Eigenform ausreichend, weil diese stets zur maßgebenden Traglast führt.

- **Referenzsystem „Einspannung“**

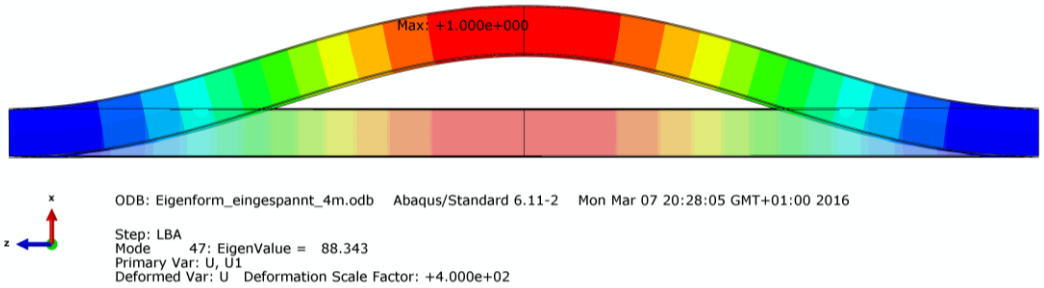


Abbildung 8-278: Referenzsystem / Einspannung / L = 4.000 mm / EF1

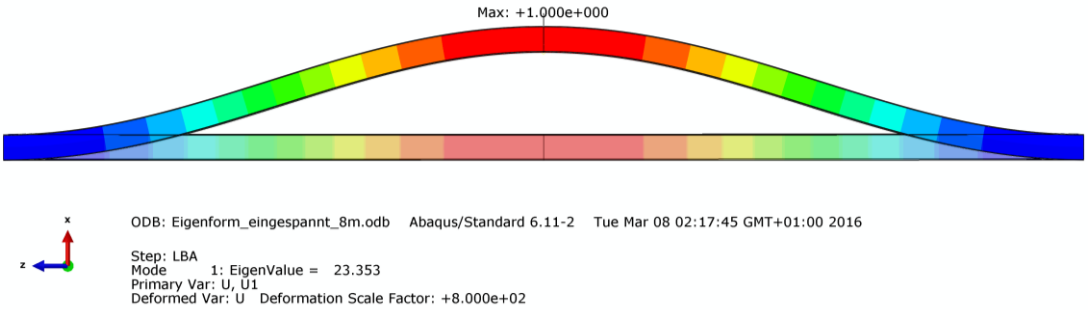


Abbildung 8-279: Referenzsystem / Einspannung / L = 8.000 mm / EF1

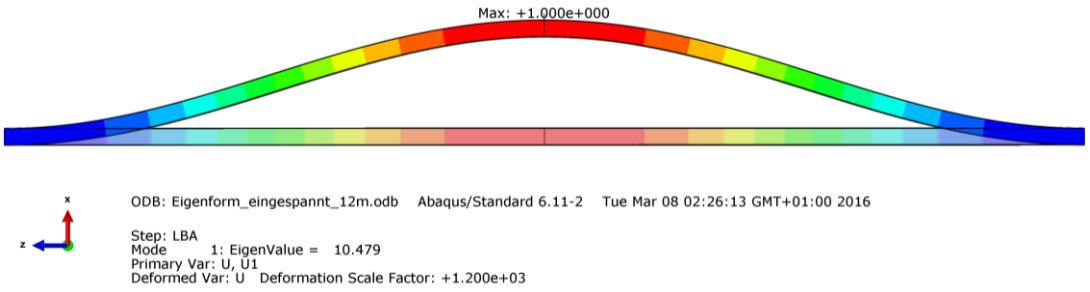


Abbildung 8-280: Referenzsystem / Einspannung / L = 12.000 mm / EF1

- **Referenzsystem „reines Gelenk“**

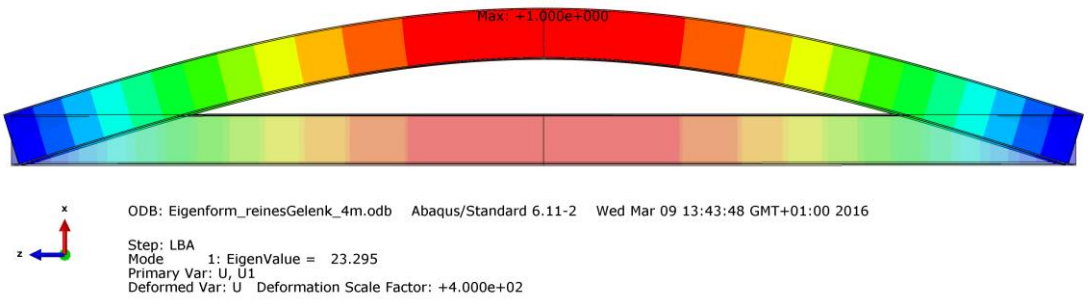


Abbildung 8-281: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 4.000 mm / EF1

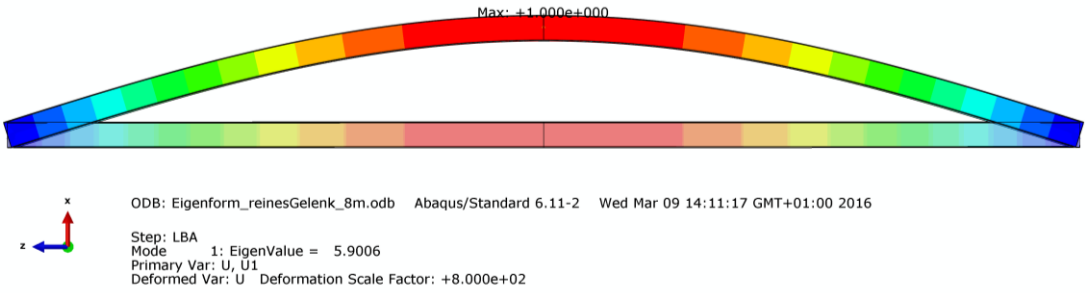


Abbildung 8-282: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 8.000 mm / EF1

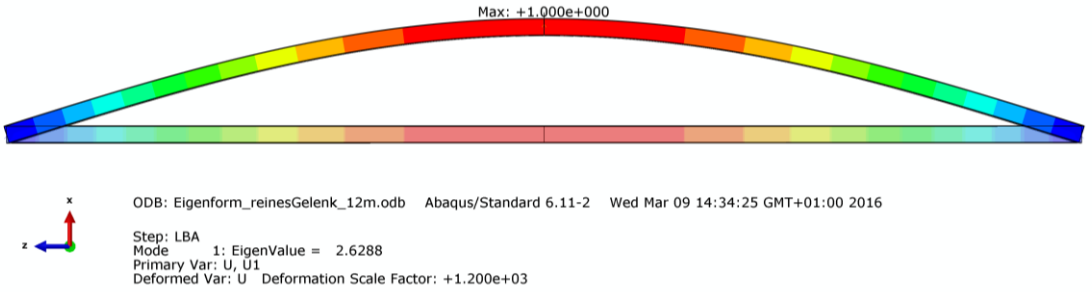


Abbildung 8-283: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 12.000 mm / EF1

Inhaltsverzeichnis: Anhang B

9 Anhang B: Ergebnisse der GMNIA - Traglasten 213
9.1 Allgemeines 213
9.2 Darstellung der Traglasten und zugehörige Verformungen 213
9.2.1 Knotenblechdicke t_{KB} = 10 mm 213

- System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm 214
- System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm 230
- System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm 246
- System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm 263
- System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm 279
- System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm 295
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm 311
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm 327
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm 344
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm 362
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm 378
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm 394

9.2.2 Knotenblechdicke t_{KB} = 24 mm 411

- System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm 412
- System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm 429
- System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm 449
- System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm 475
- System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm 492
- System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm 509
- System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm 529
- System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm 549
- System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm 572
- System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm 599
- System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm 615
- System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm 634

9.2.3 Zusätzliche Berechnungen für die Mustererkennung 658

- System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm 659
- System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm 664

- System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm 668
- System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm 671
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm 673
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm 678
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm 682
- System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm .. 685

9.2.4 Referenzsysteme 688

- Referenzsystem „Einspannung“..... 689
- Referenzsystem „reines Gelenk“ 692

9 Anhang B: Ergebnisse der GMNIA - Traglasten

In Teil B des Anhangs werden die Ergebnisse GMNIA Berechnungen in Form von Abbildungen der Misesspannungen im Traglastzustand sowie die zugehörigen Verformungen dargestellt. Dabei wurden einmal die Spannungen am gesamten System abgebildet und in einer zusätzlichen Abbildung jener Bereich im Detail dargestellt wo die Grenzspannung von 23,5 kN/cm² auftritt.

Um eine optimale Gegenüberstellung der Verformung im Traglastzustand mit den angesetzten Eigenformen aus der LBA zu ermöglichen, wurde für die Verformungen die gleiche Seitenansicht wie bei den Eigenformen in Anhang A gewählt.

9.1 Allgemeines

Bei den Traglastberechnungen wurden zwei Arten von Vorverformungen angesetzt. Hierzu wurden eigenformaffine Vorverformungen am System aufgebracht, wobei die Imperfektionsamplituden auf $L / 750$ skaliert wurden. Des Weiteren wurde in einer separaten Berechnung ein glechsinniger und gegensinniger Knotenblechknick mit einer Auslenkung von $L_{KB} / 100$ angesetzt. Im Zuge der Datenauswertung wurden die Ergebnisse dieser beiden Vorverformungsansätze gegenübergestellt und in Kapitel 2.5 auf die unterschiedlichen Imperfektionsamplituden eingegangen.

Bei sämtlichen Systemen wurde bei der GMNIA Berechnung eine Belastung in der Höhe von 2.500 kN als Normalkraft aufgebracht. Die in den Abbildungen angeführte Bezeichnung „Step Time“ ist jener Faktor mit dem die aufgebrachte Belastung multipliziert werden muss, um maximal aufnehmbare Traglast des jeweiligen Systems zu erhalten.

9.2 Darstellung der Traglasten und zugehörige Verformungen

Wie bereits in Kapitel 2.5 erläutert kann das Stabilitätsversagen in Abhängigkeit von den Querschnittsabmessungen, Systemlängen und Auflagerbedingungen im Bereich des Knotenbleches oder im Bereich des Hohlprofils maßgebend werden. Wie sich bei den Untersuchungen gezeigt hat, nimmt auch die angesetzte Vorverformung wesentlichen Einfluss auf den Versagensort. Insbesondere bei den Systemen mit einer Knotenblechdicke von $t_{KB} = 24$ mm war es erforderlich auch höhere Eigenformen als Imperfektionen anzusetzen, um das Tragverhalten der Knotenbleche bei der ungünstigsten Vorverformung analysieren zu können.

9.2.1 Knotenblechdicke $t_{KB} = 10$ mm

In den nachfolgenden Abbildungen 9-1 bis 9-197 sind die Ergebnisse der Traglastuntersuchung für sämtliche Systeme mit einer Knotenblechdicke von $t_{KB} = 10$ mm dargestellt.

Aufgrund der deutlich geringeren Steifigkeit der Knotenbleche im Vergleich zum Hohlprofil tritt bei diesen Systemen in sämtlichen Fällen der maßgebende Versagensbereich bei den Knotenblechen auf.

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm**

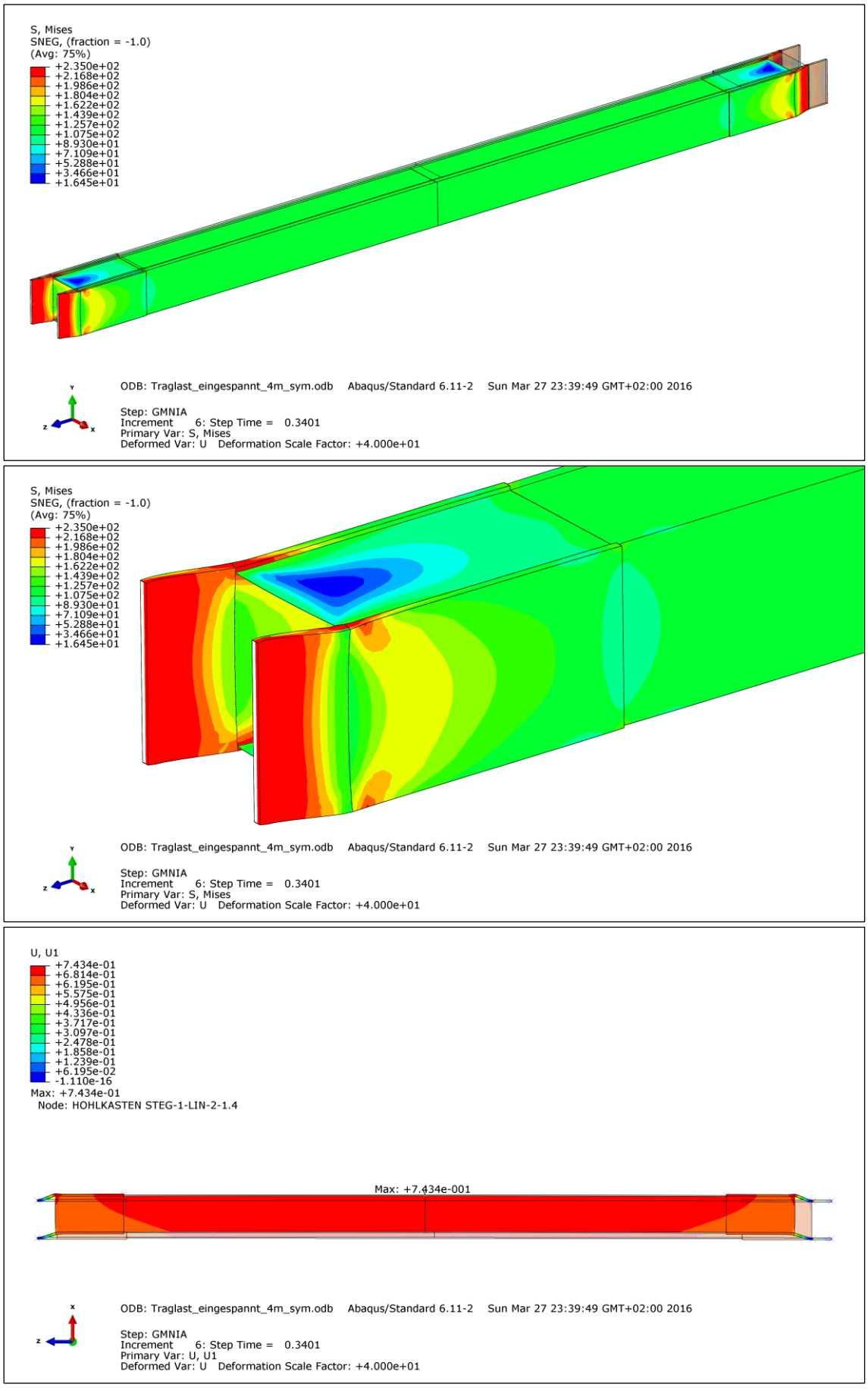
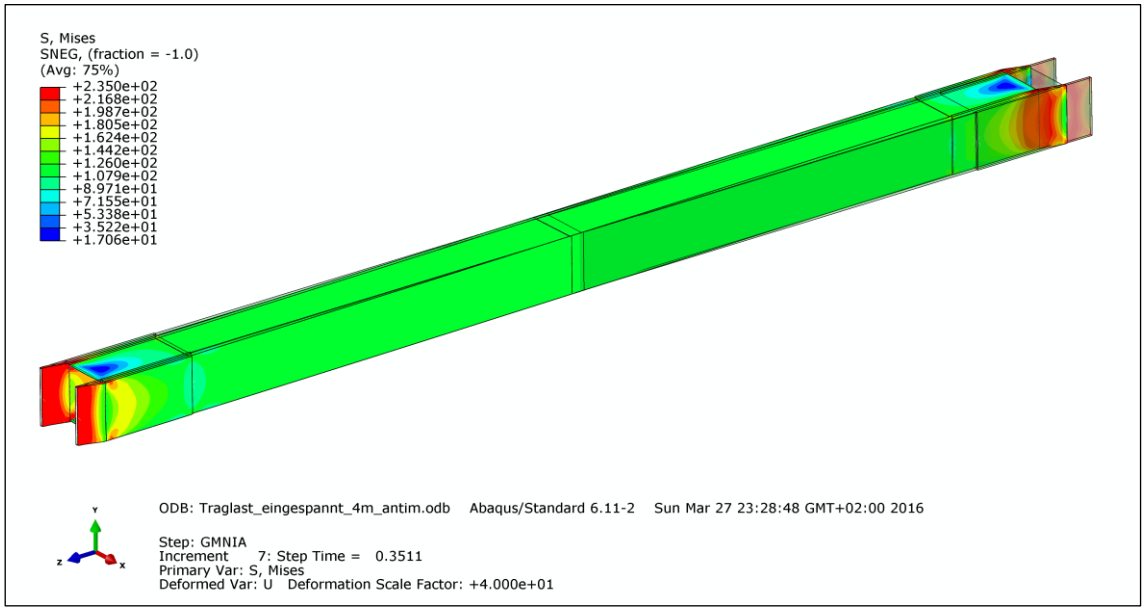
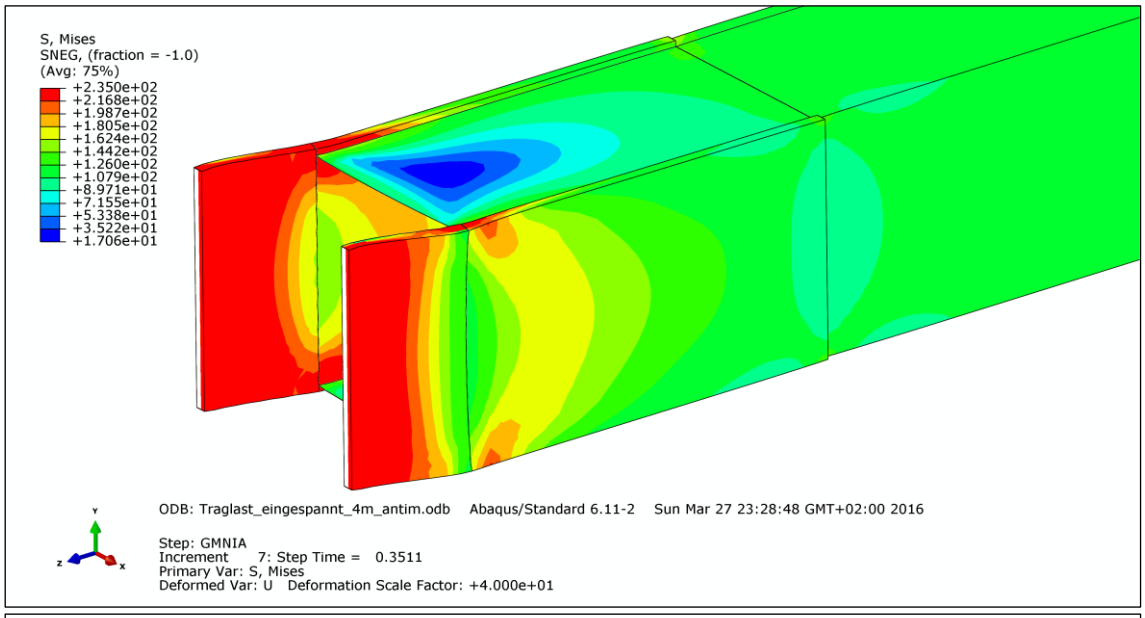


Abbildung 9-1: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





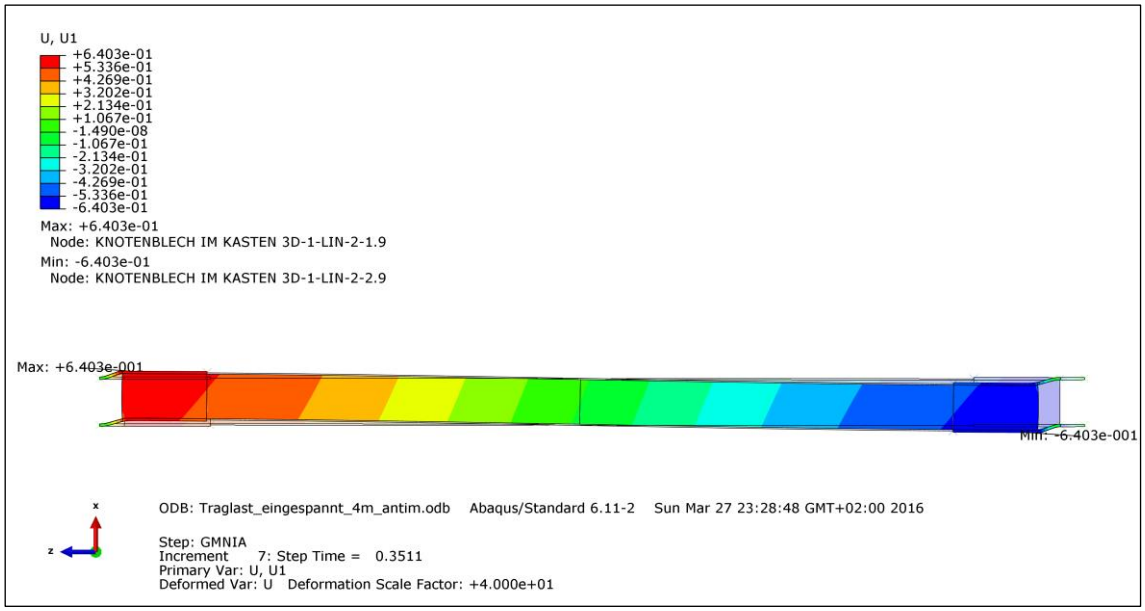


Abbildung 9-2: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)

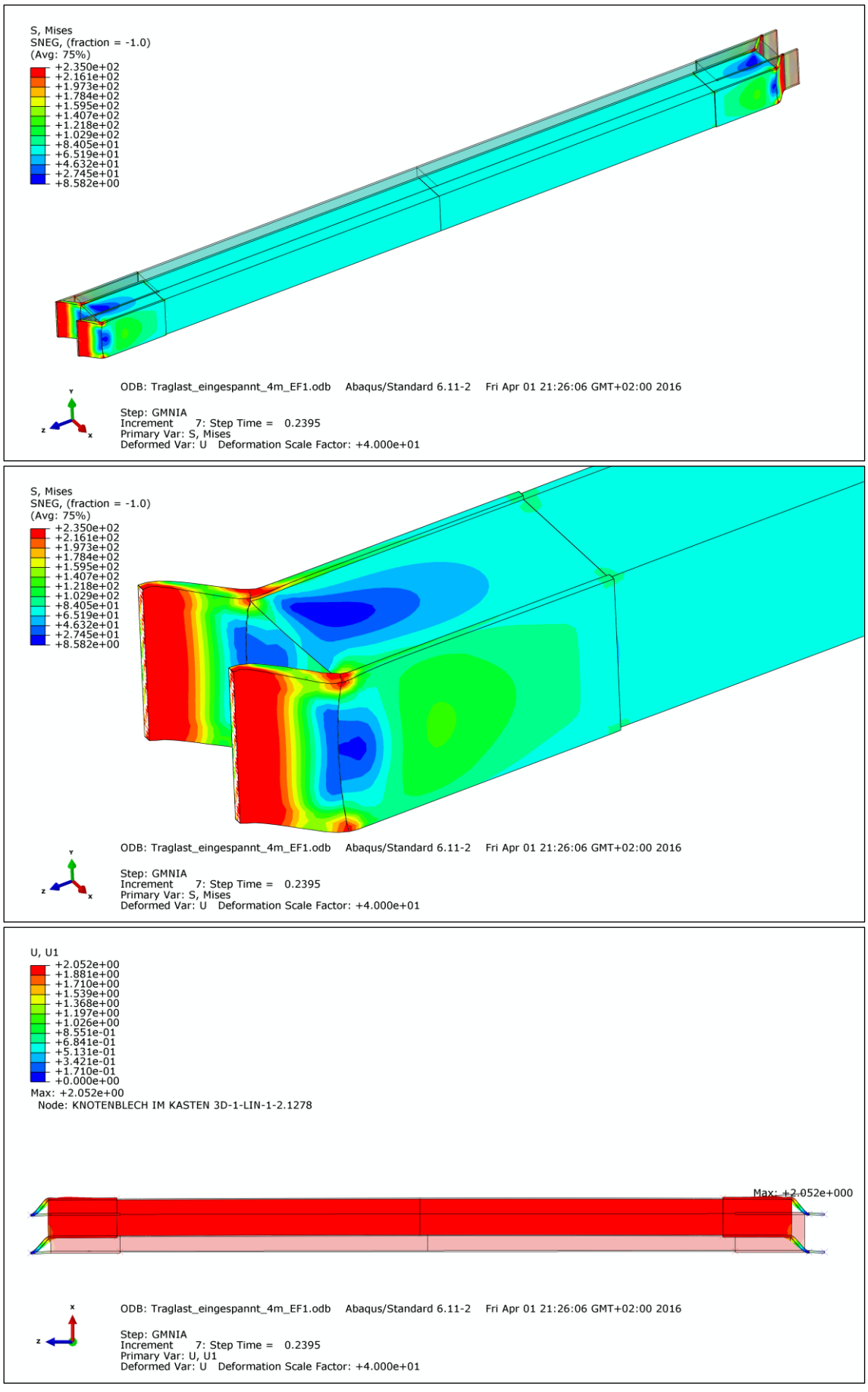
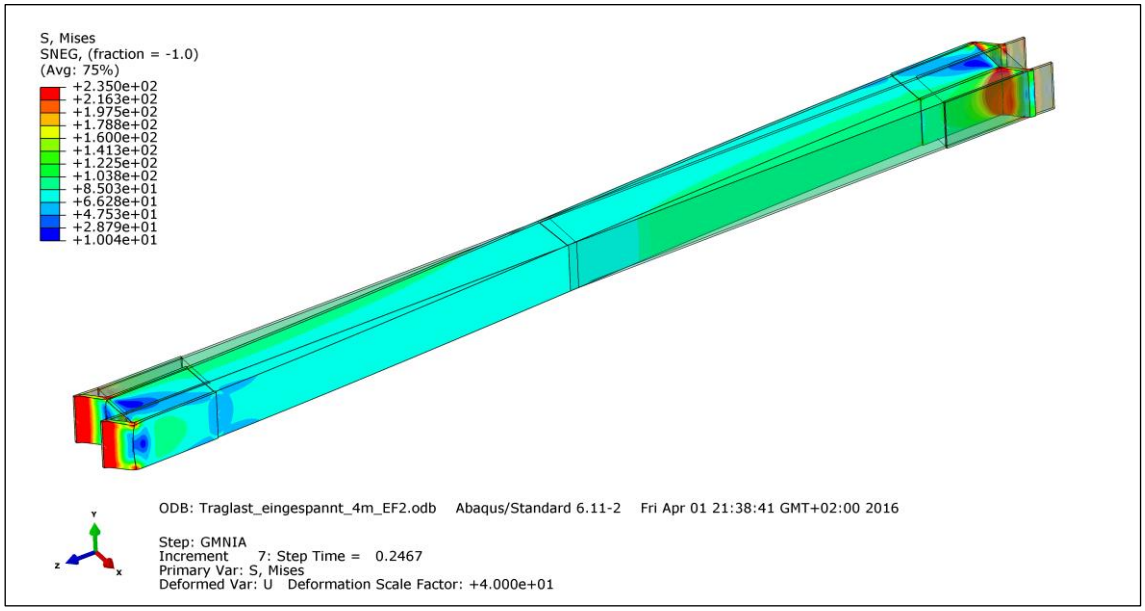
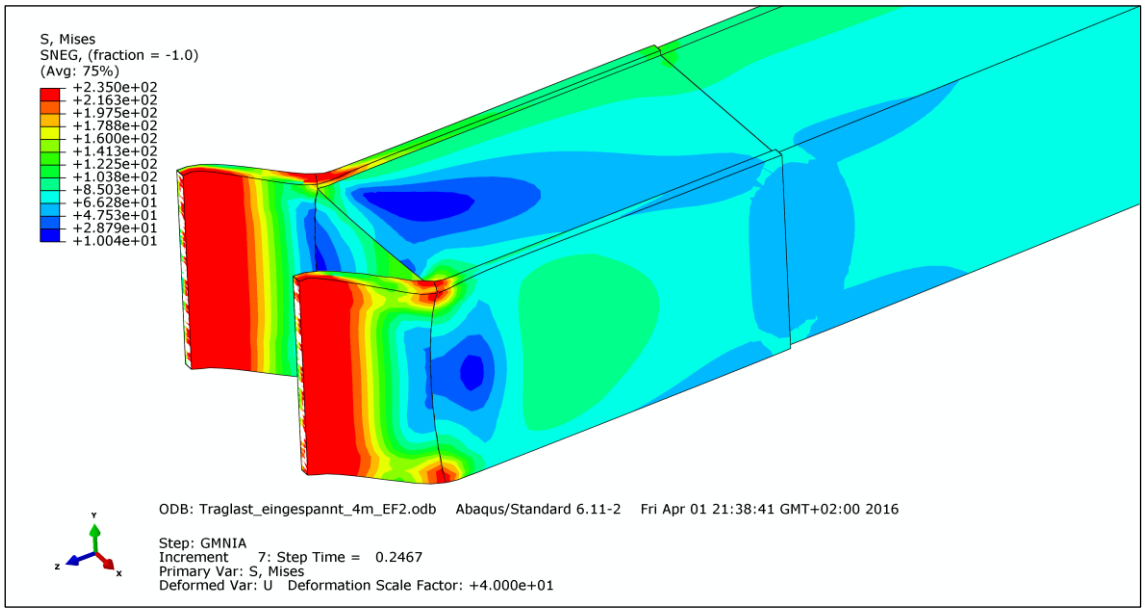


Abbildung 9-3: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





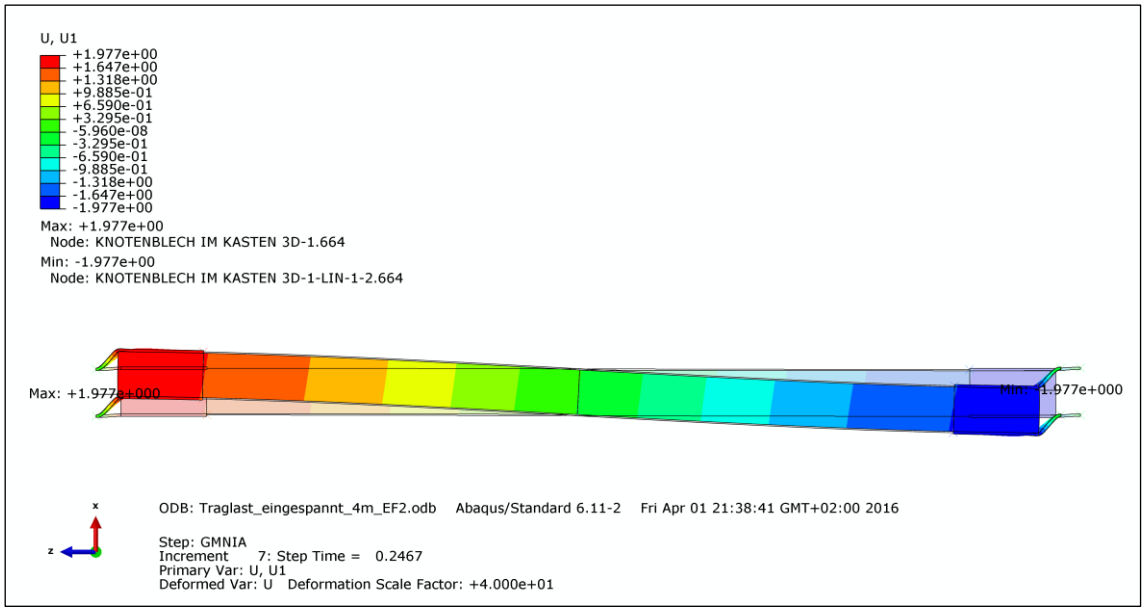


Abbildung 9-4: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

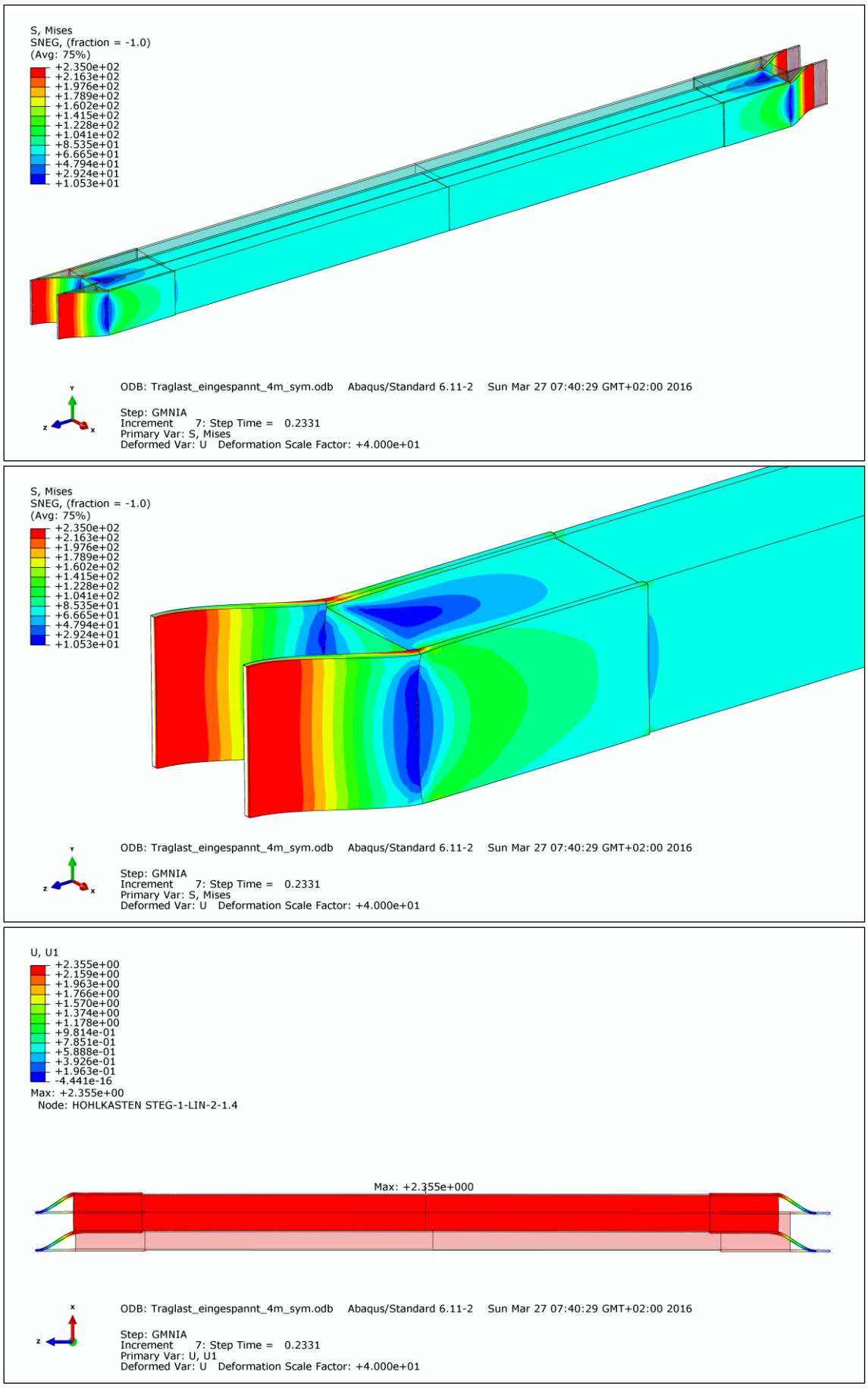
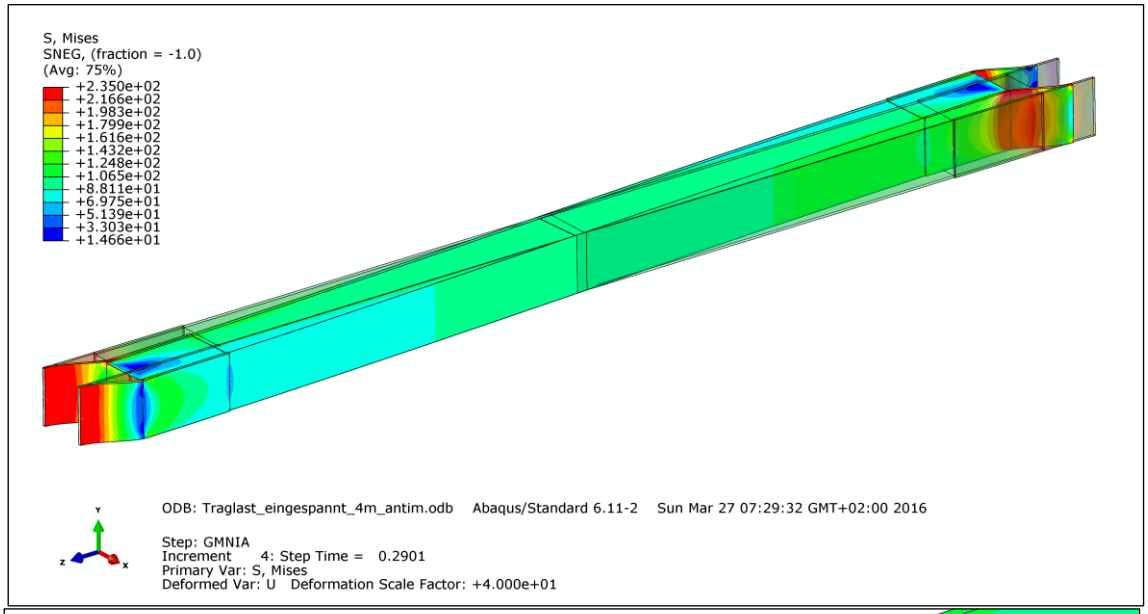
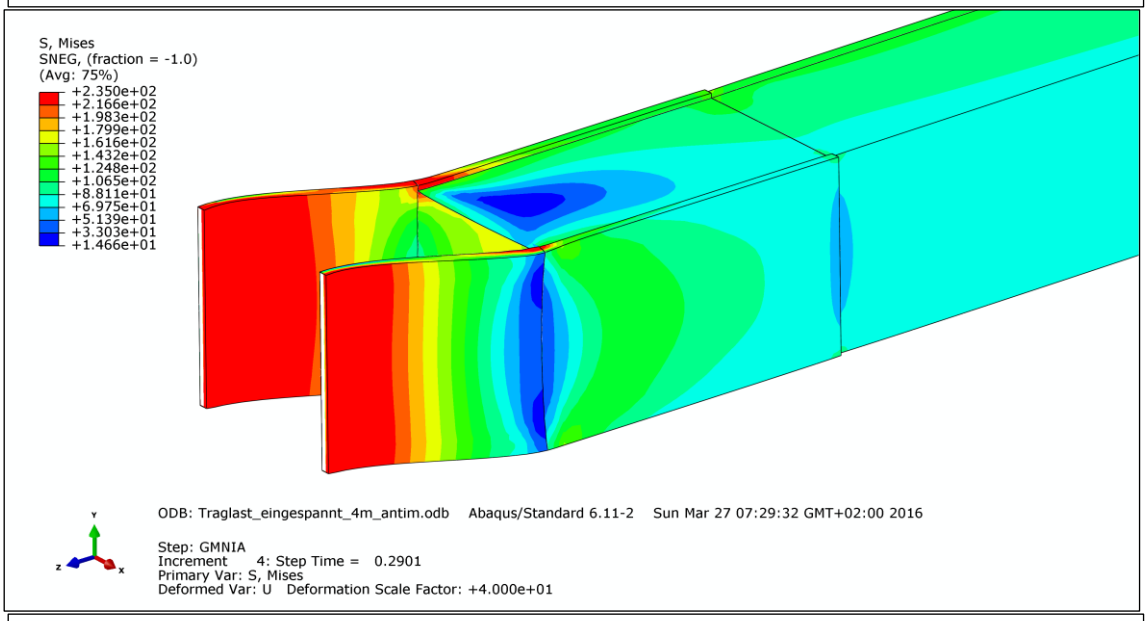


Abbildung 9-5: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





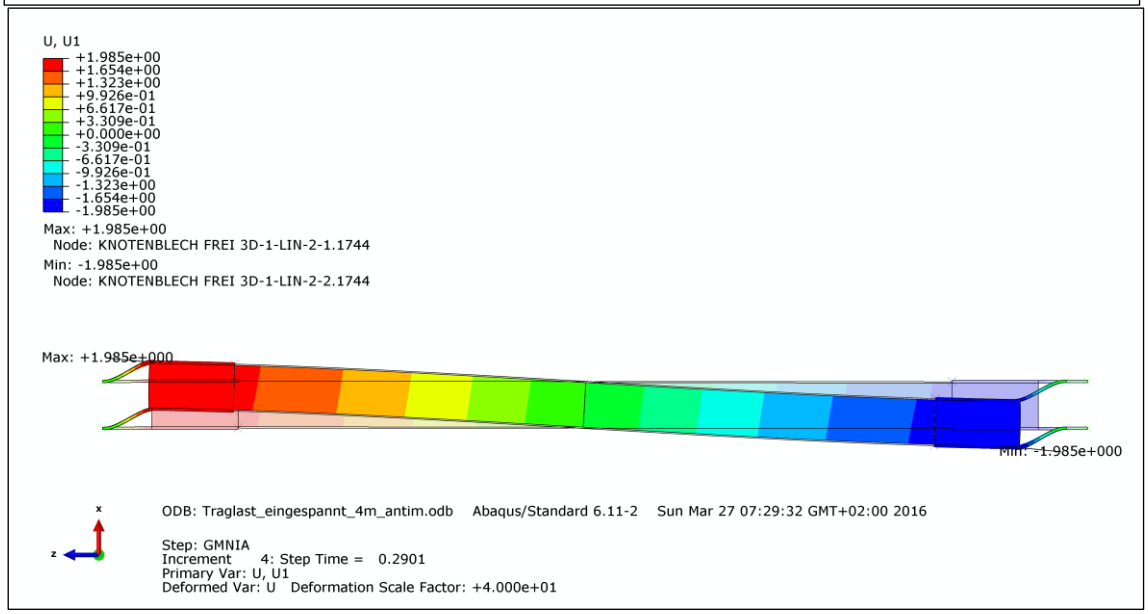


Abbildung 9-6: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)

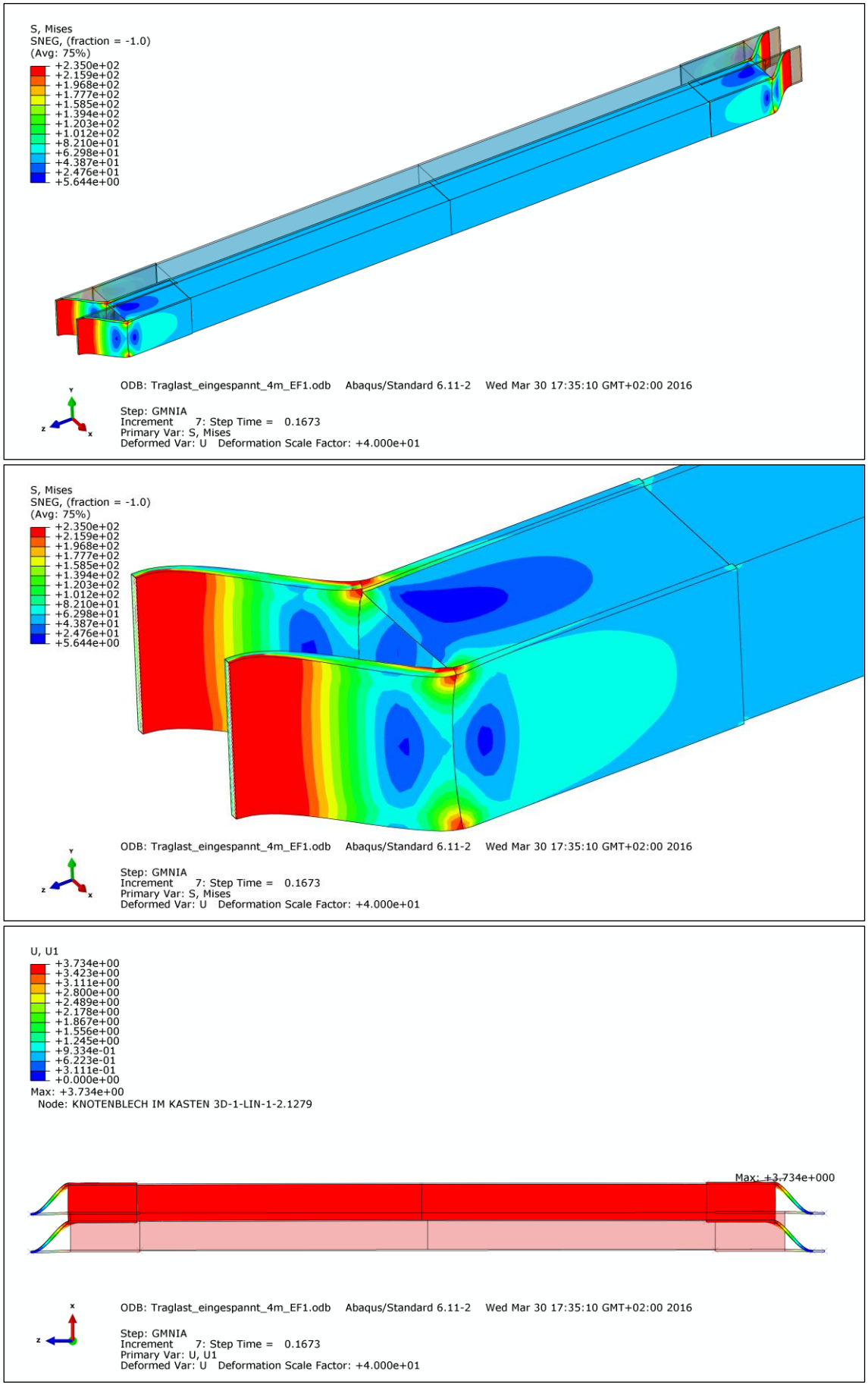
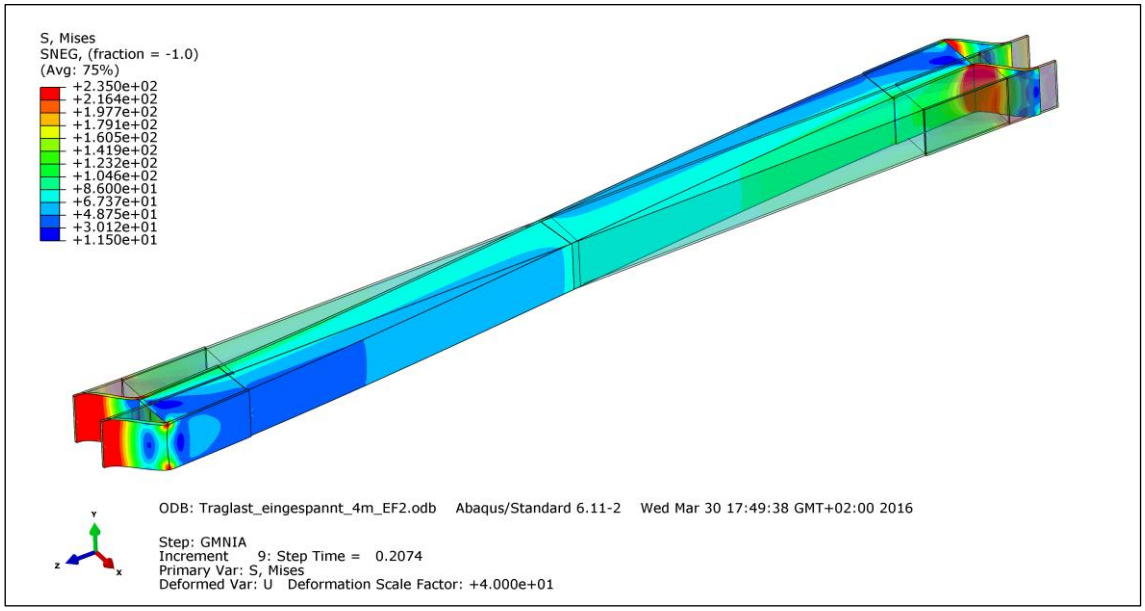
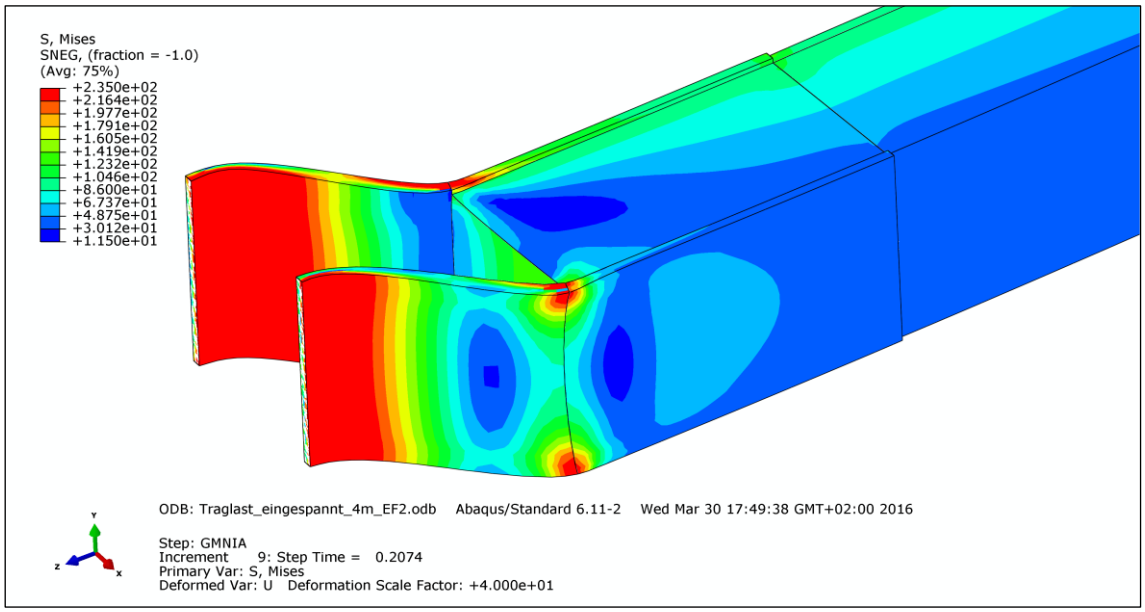


Abbildung 9-7: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





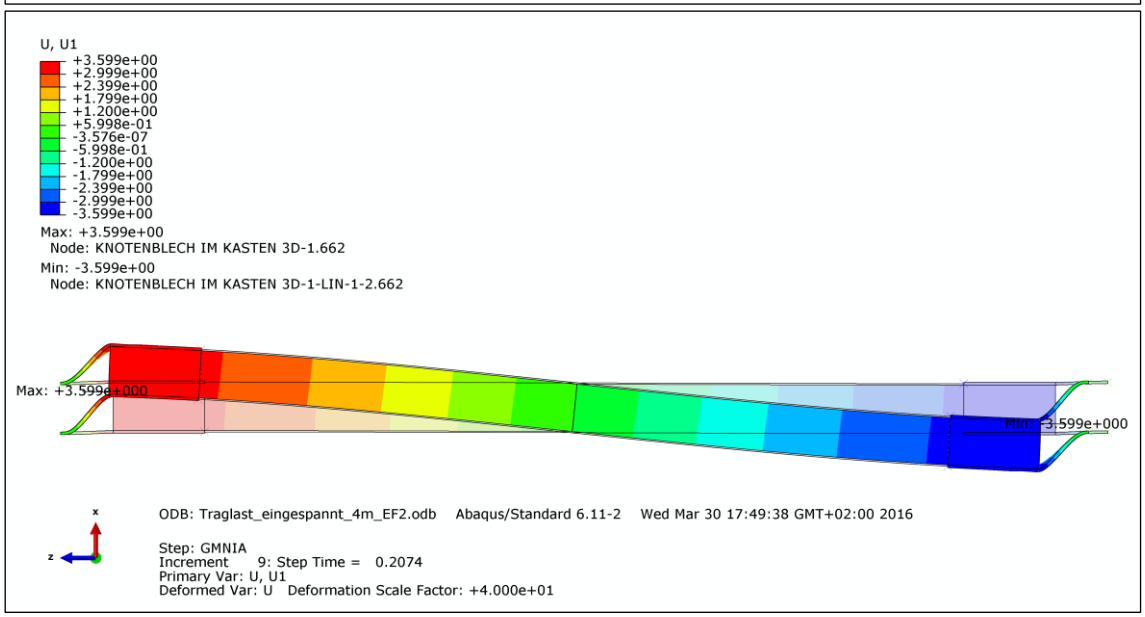
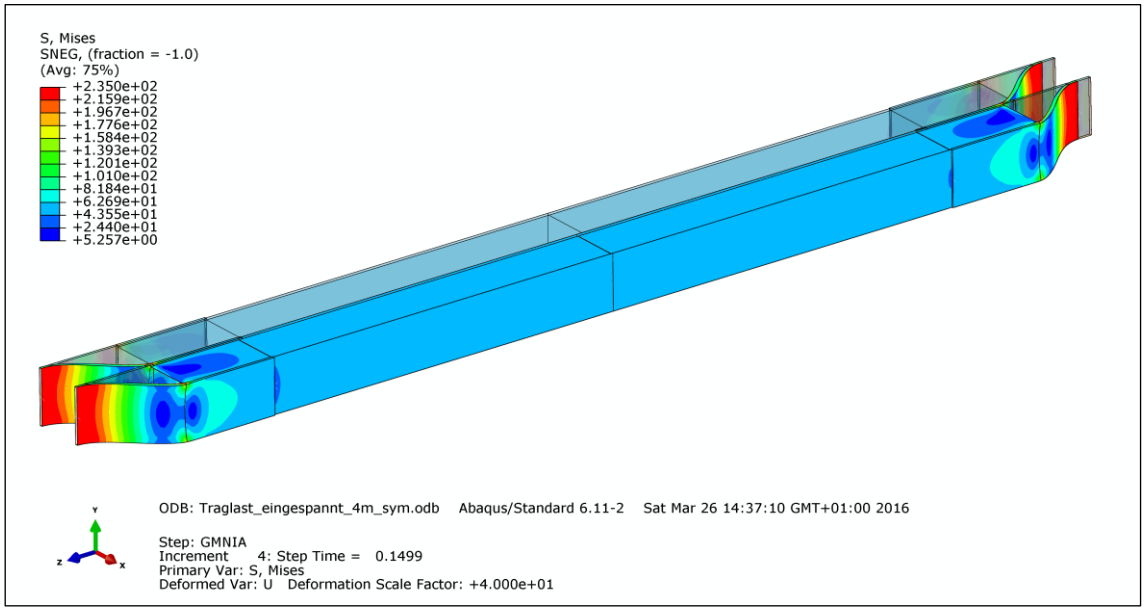
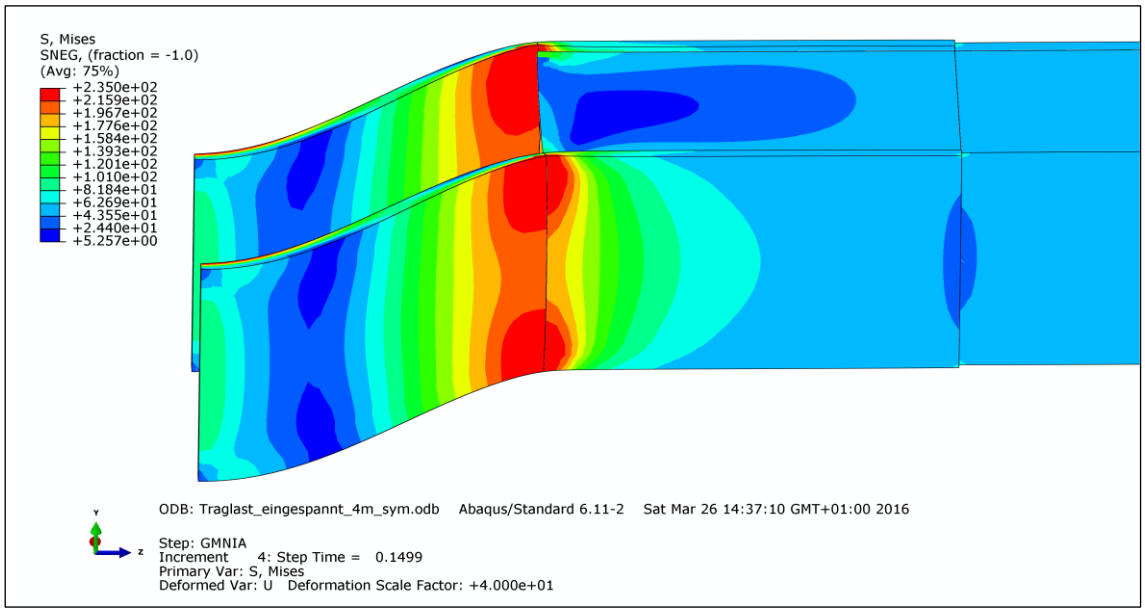


Abbildung 9-8: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





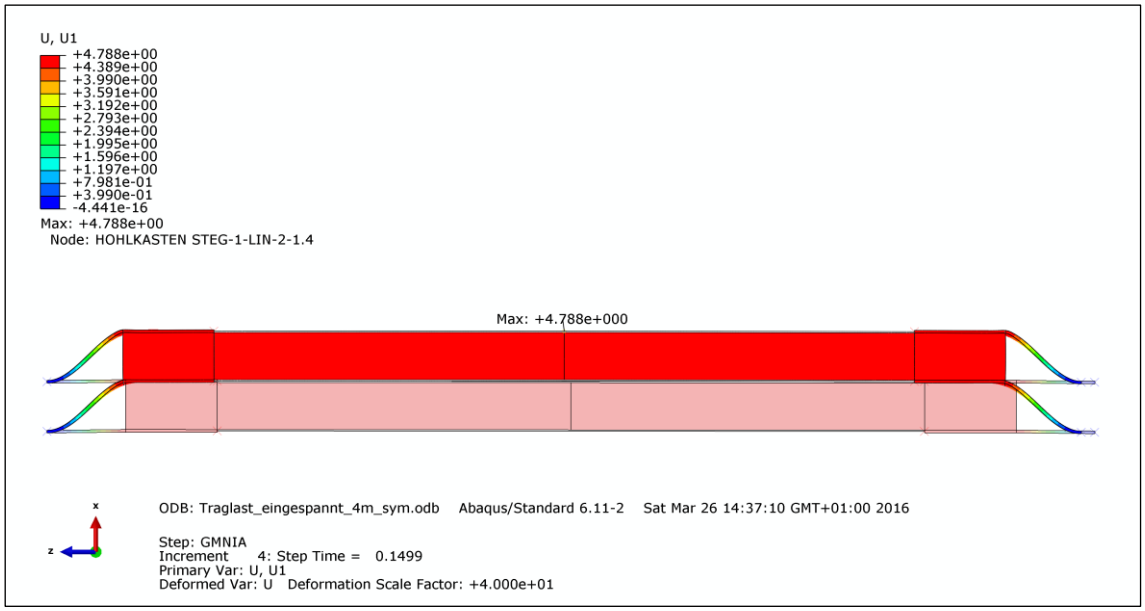
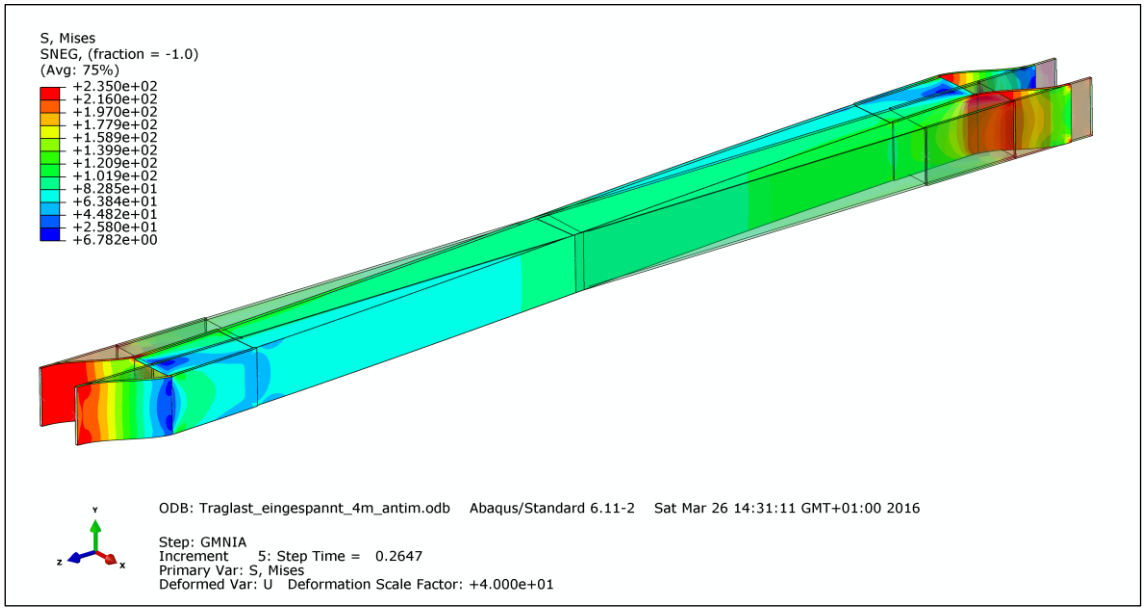
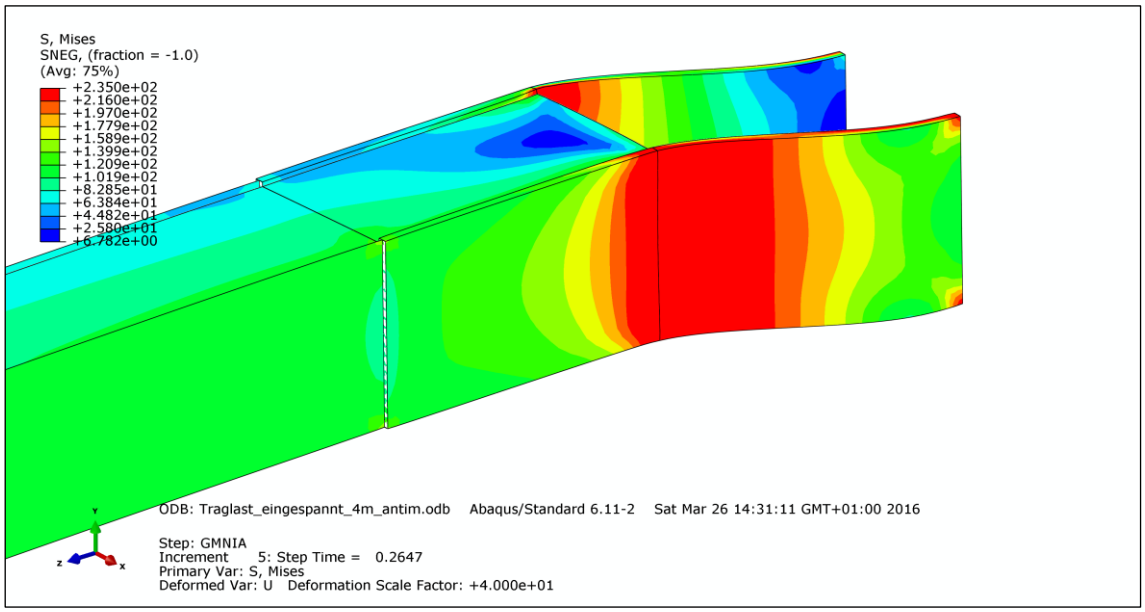


Abbildung 9-9: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





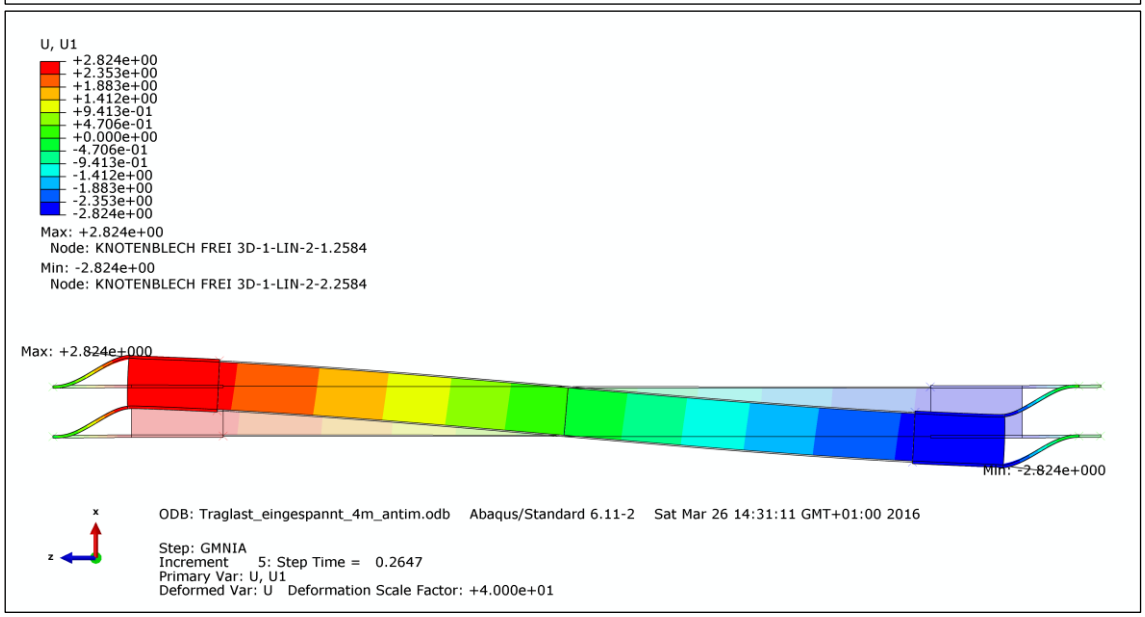
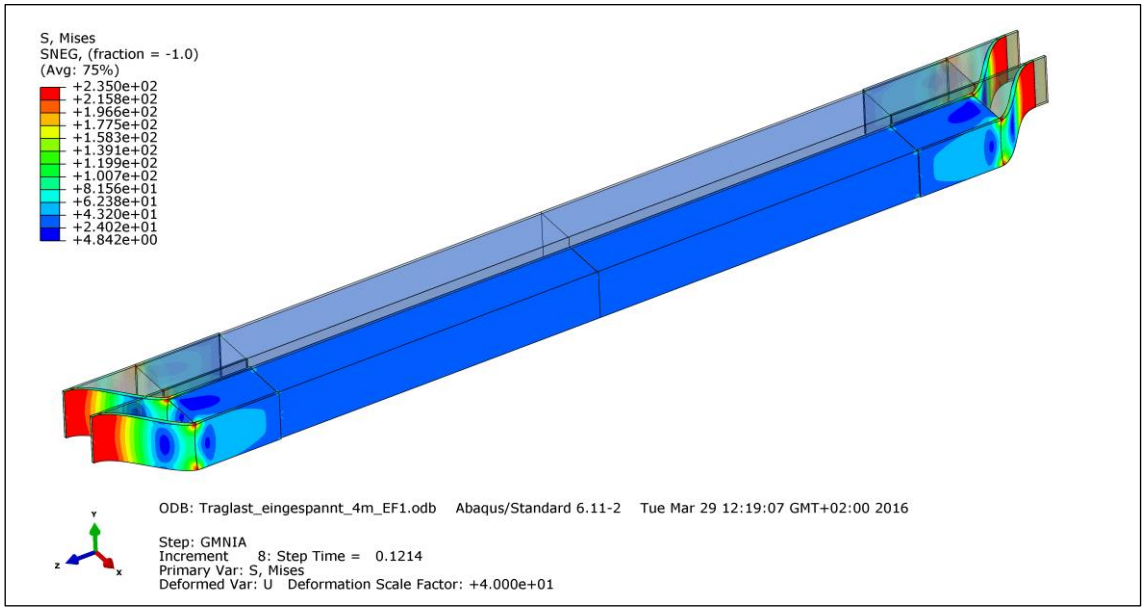
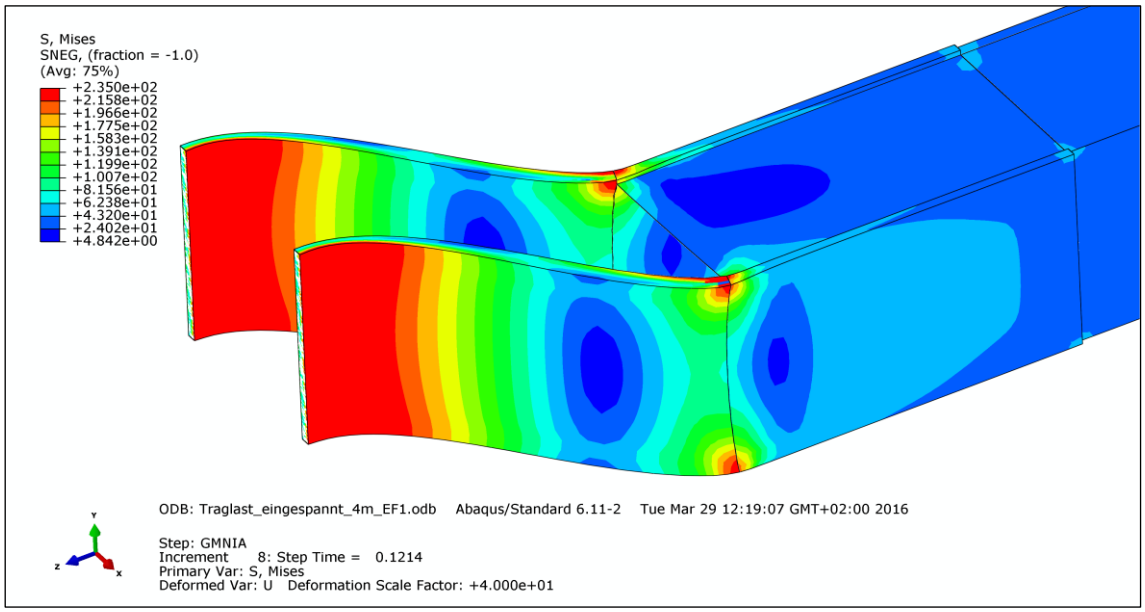


Abbildung 9-10: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





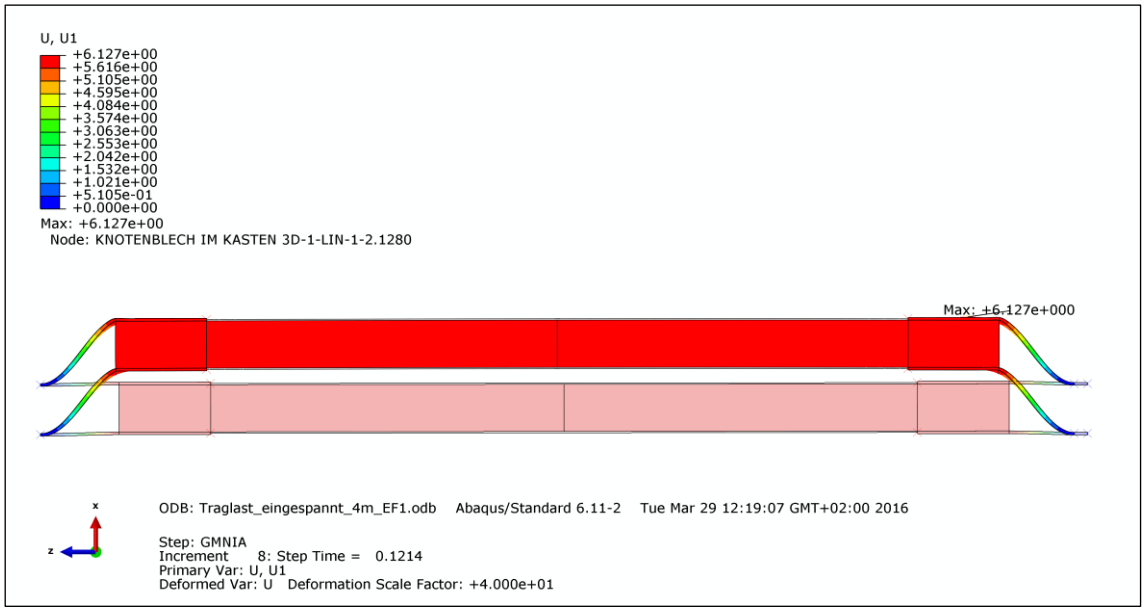
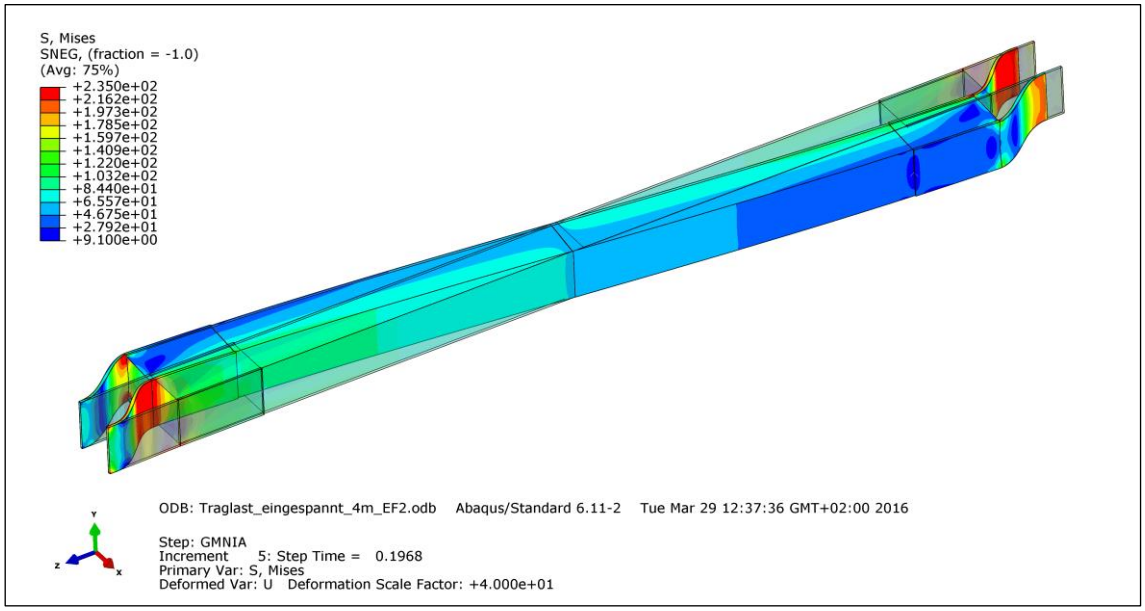
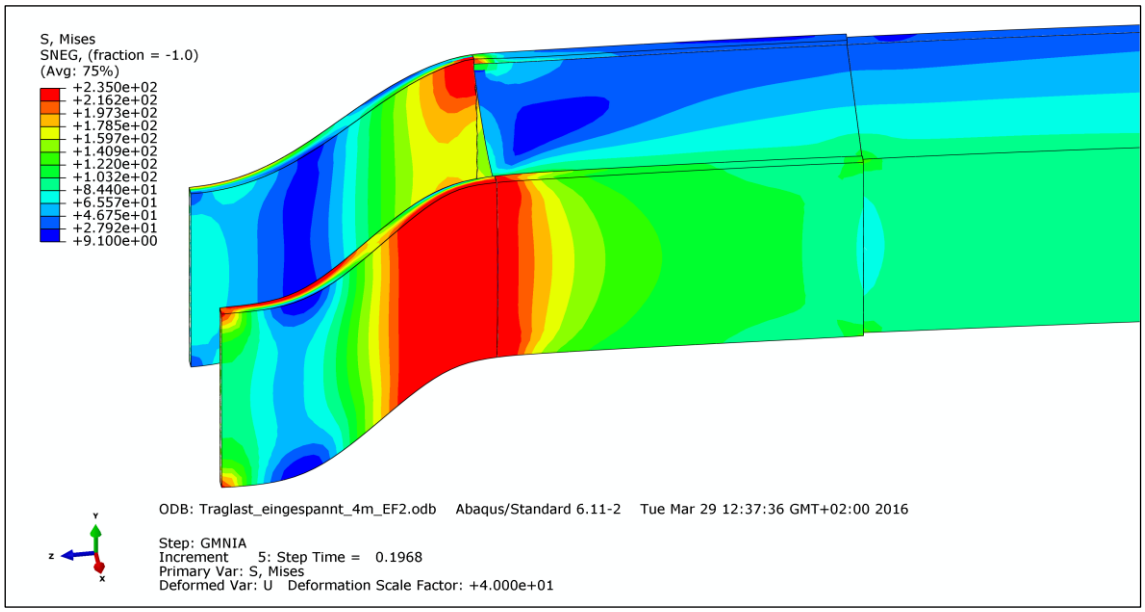


Abbildung 9-11: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





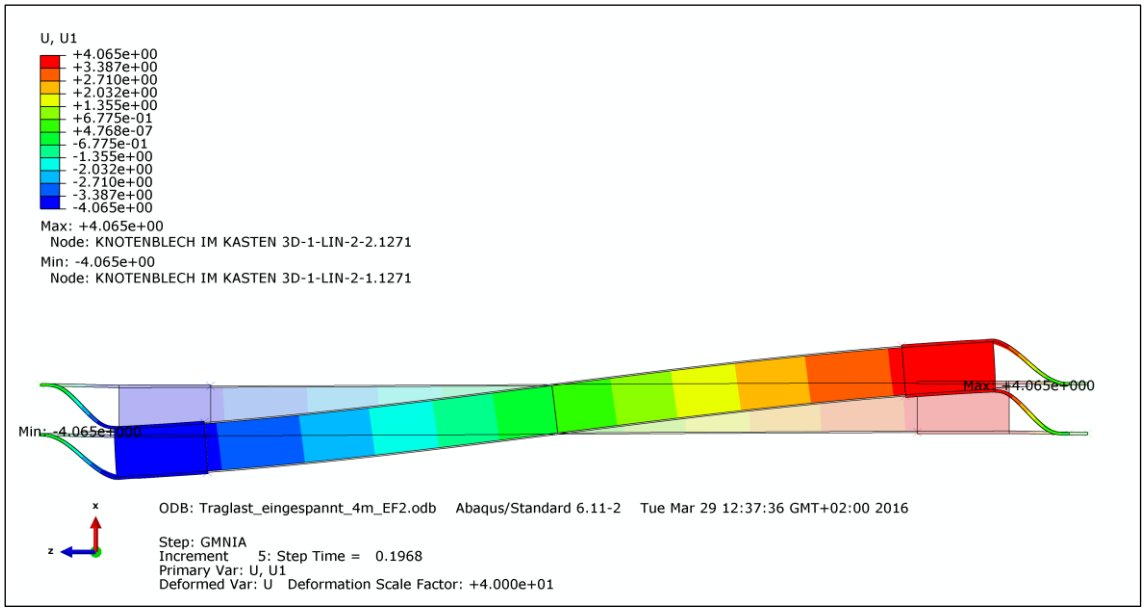
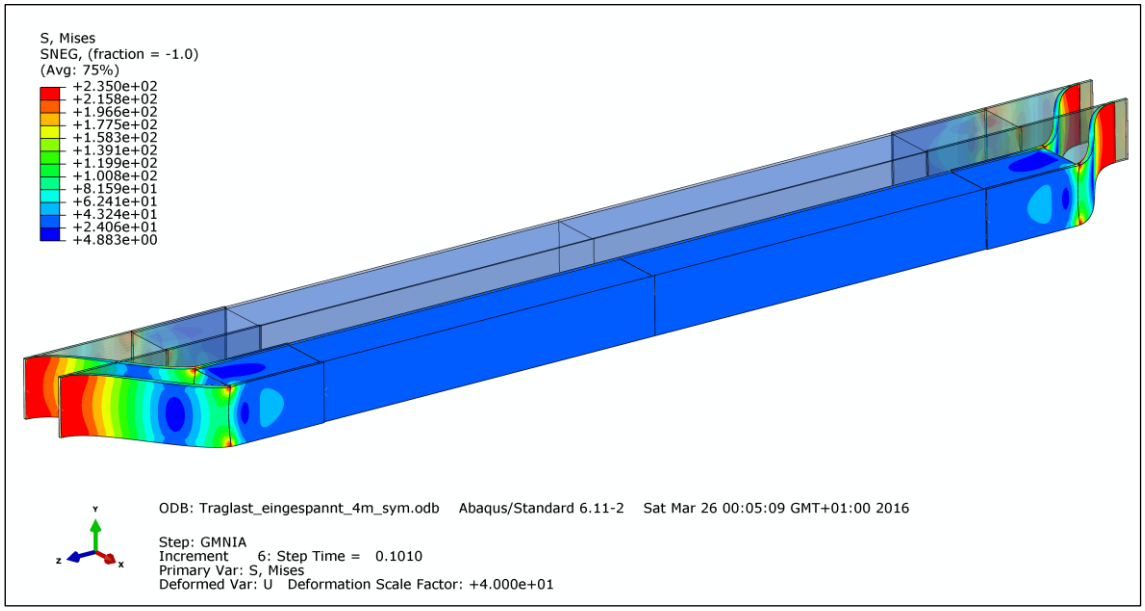
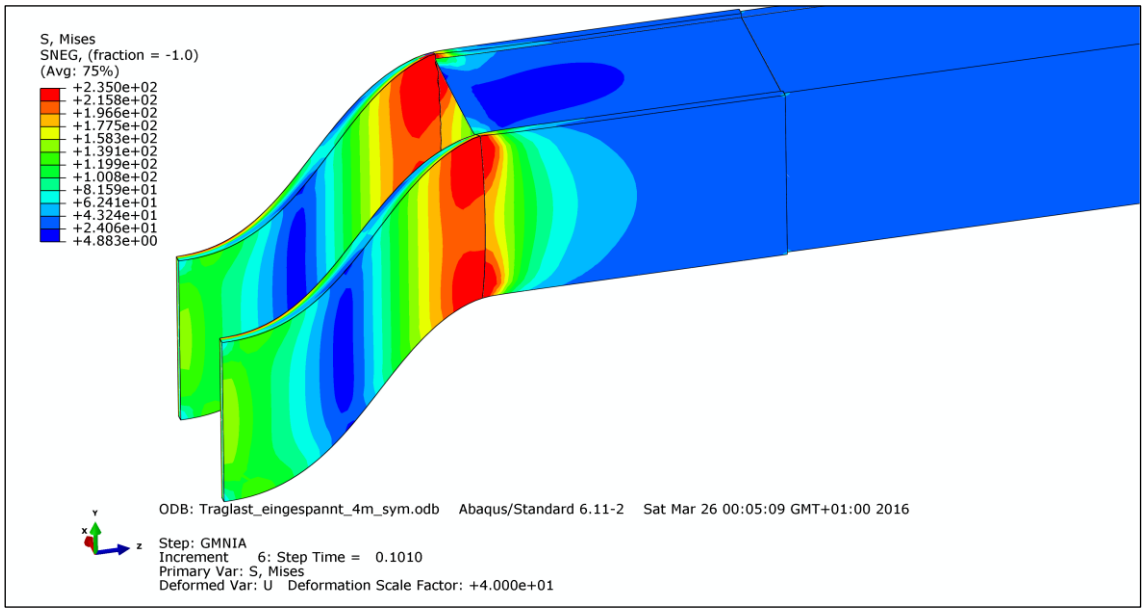


Abbildung 9-12: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





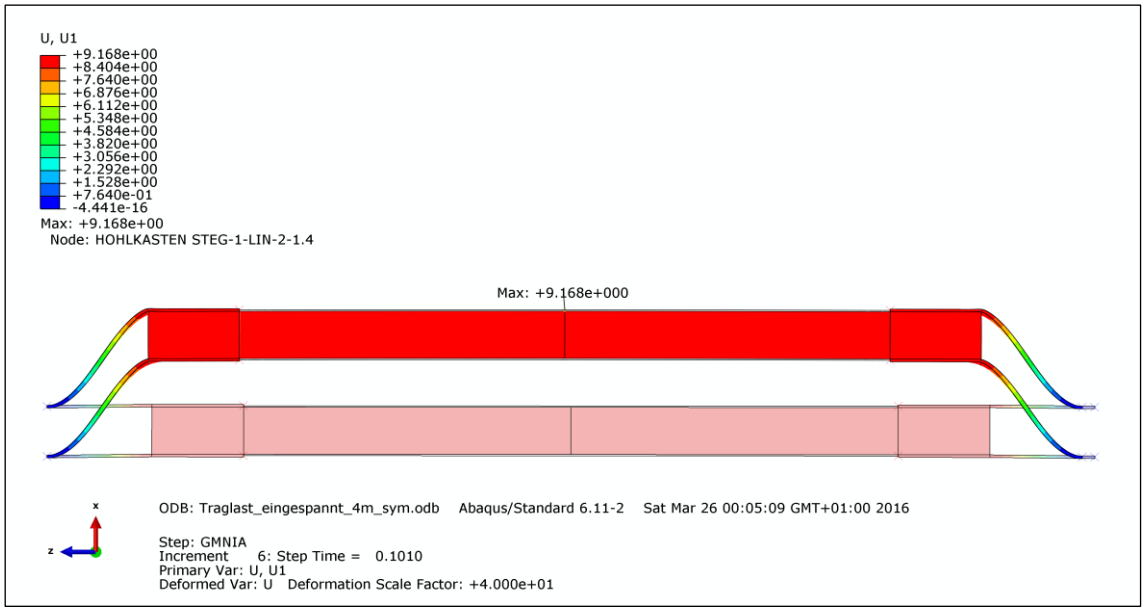
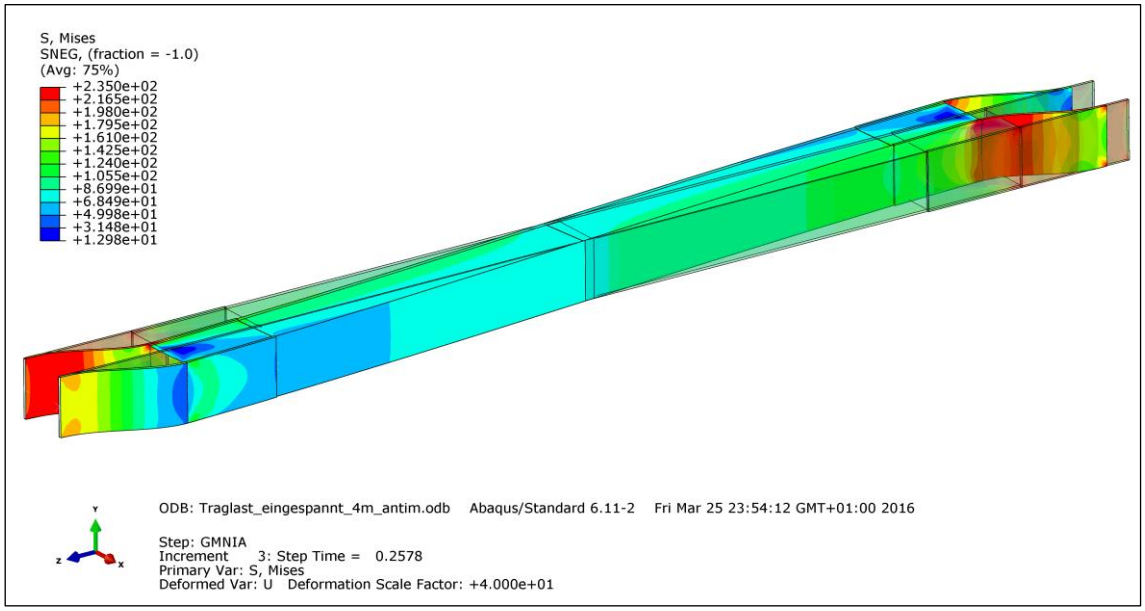
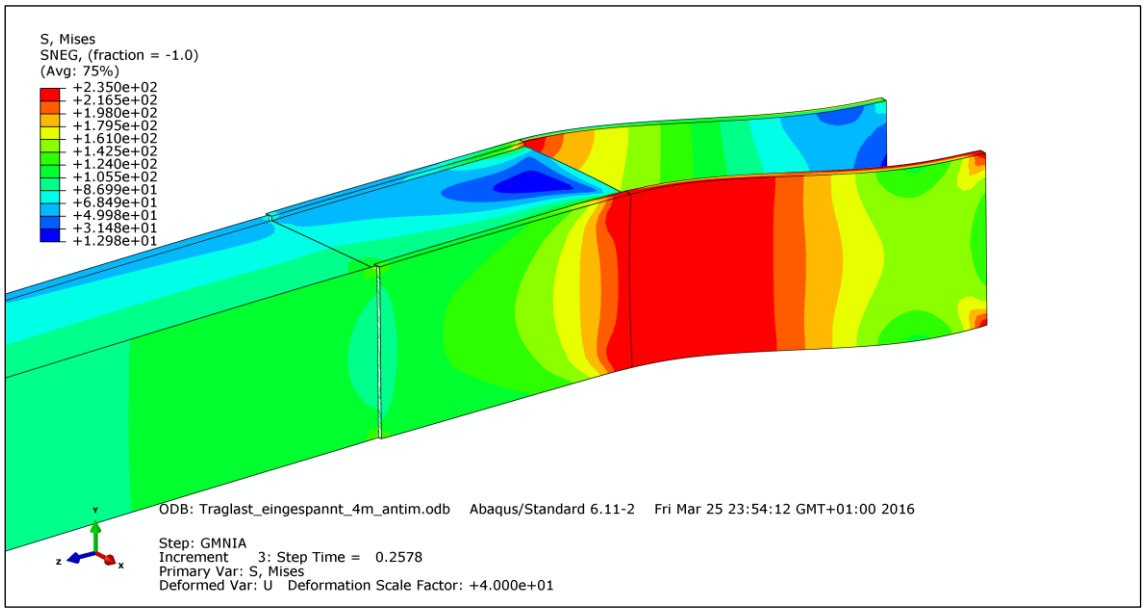


Abbildung 9-13: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





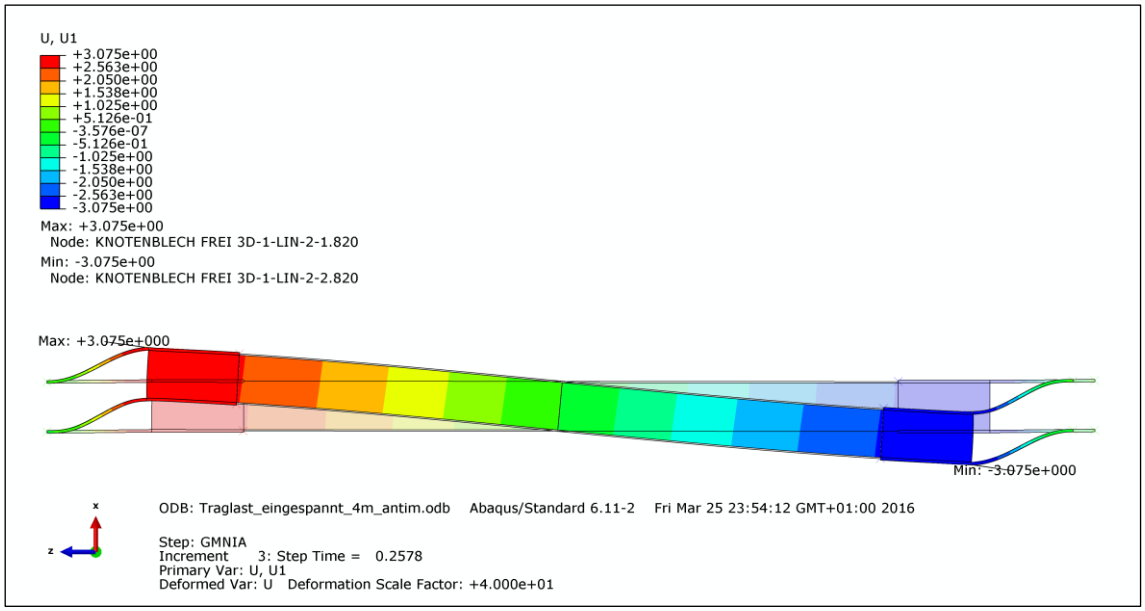
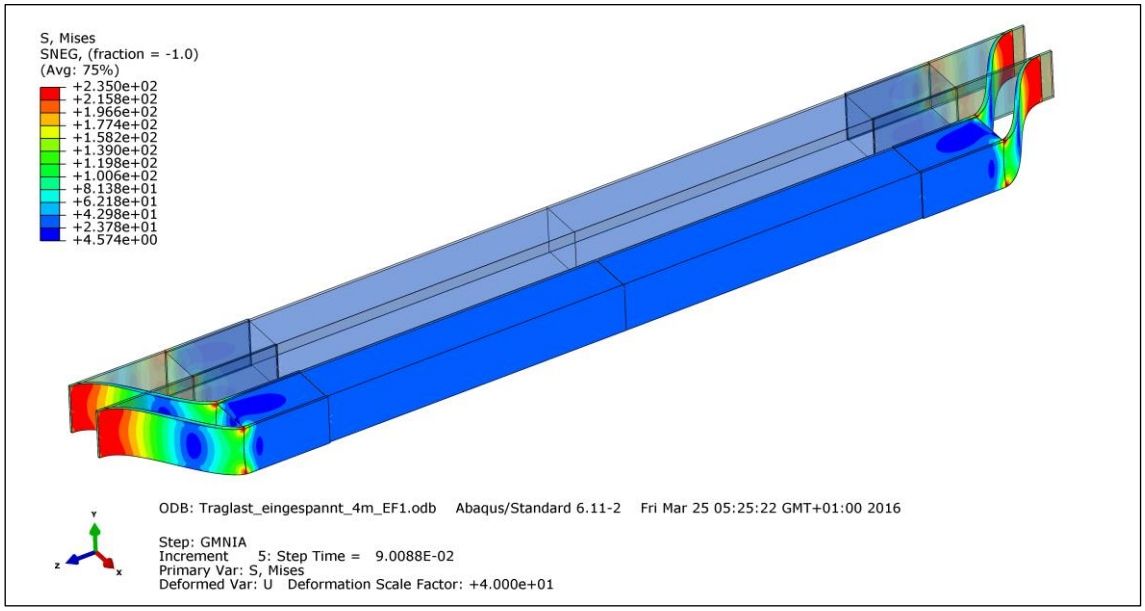
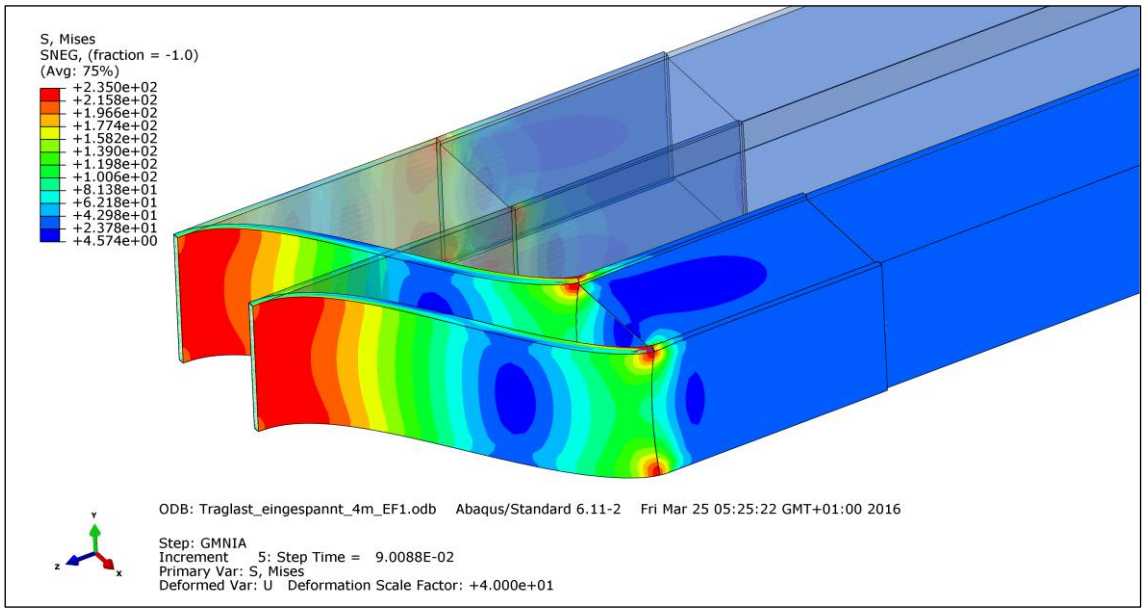


Abbildung 9-14: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





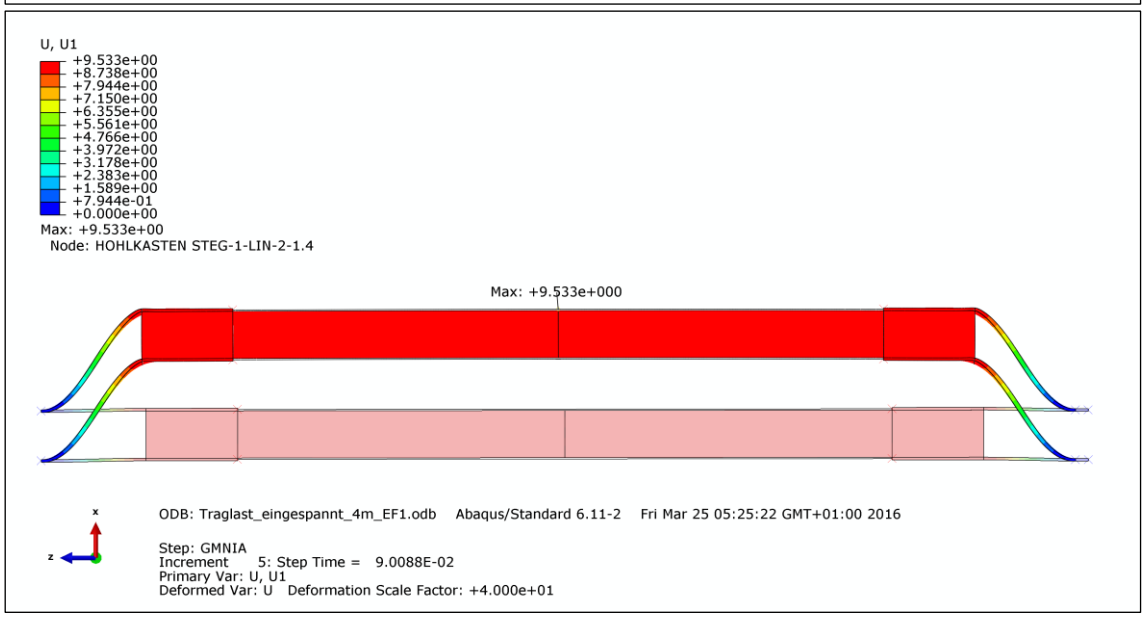
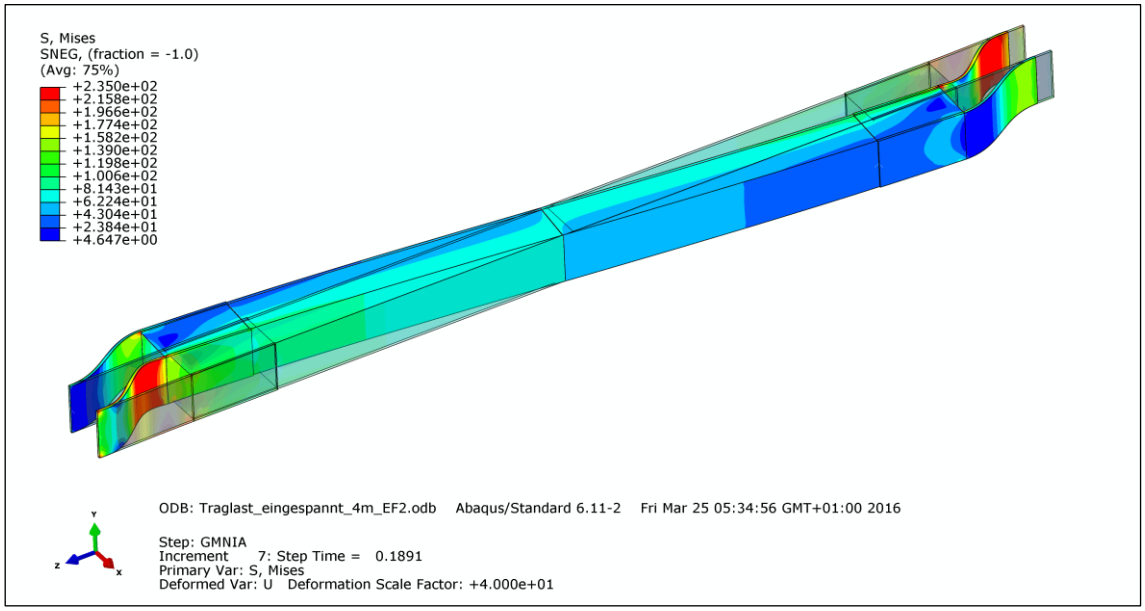
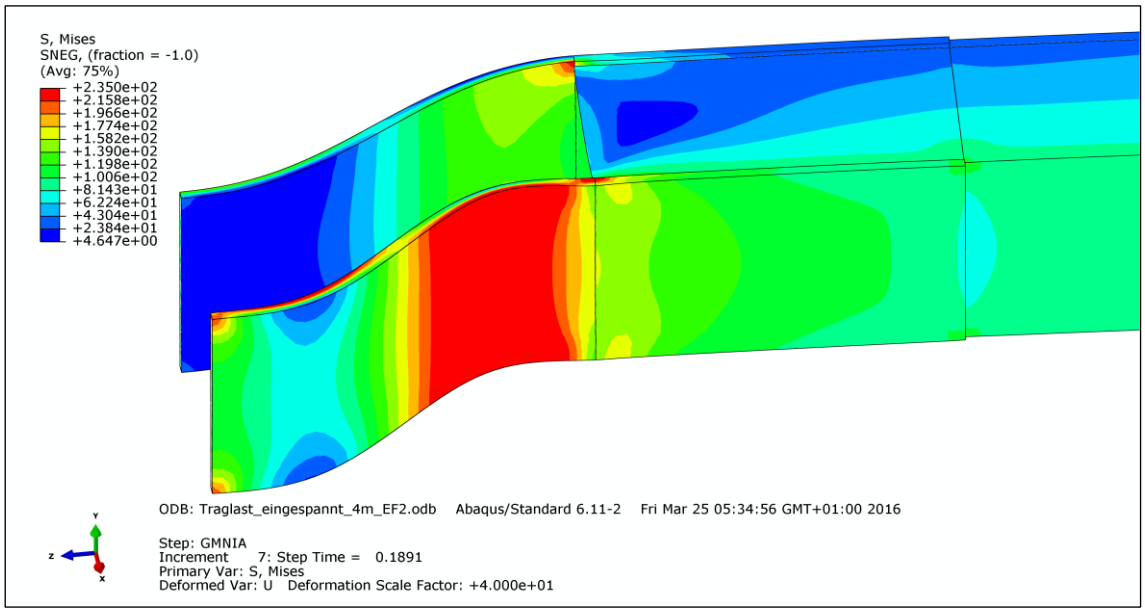


Abbildung 9-15: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





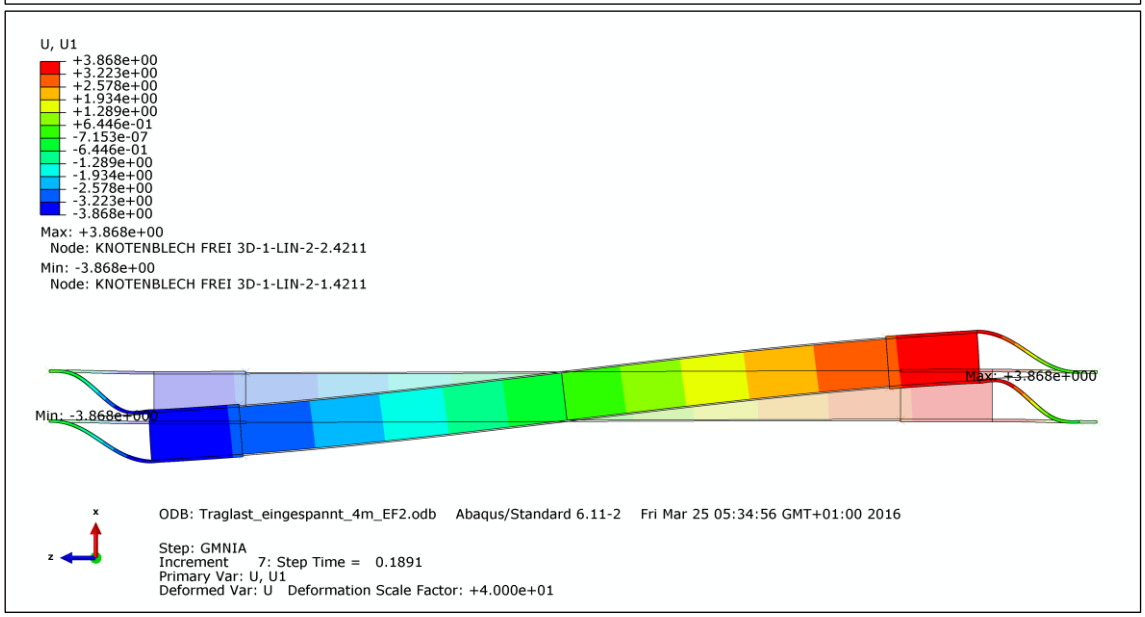
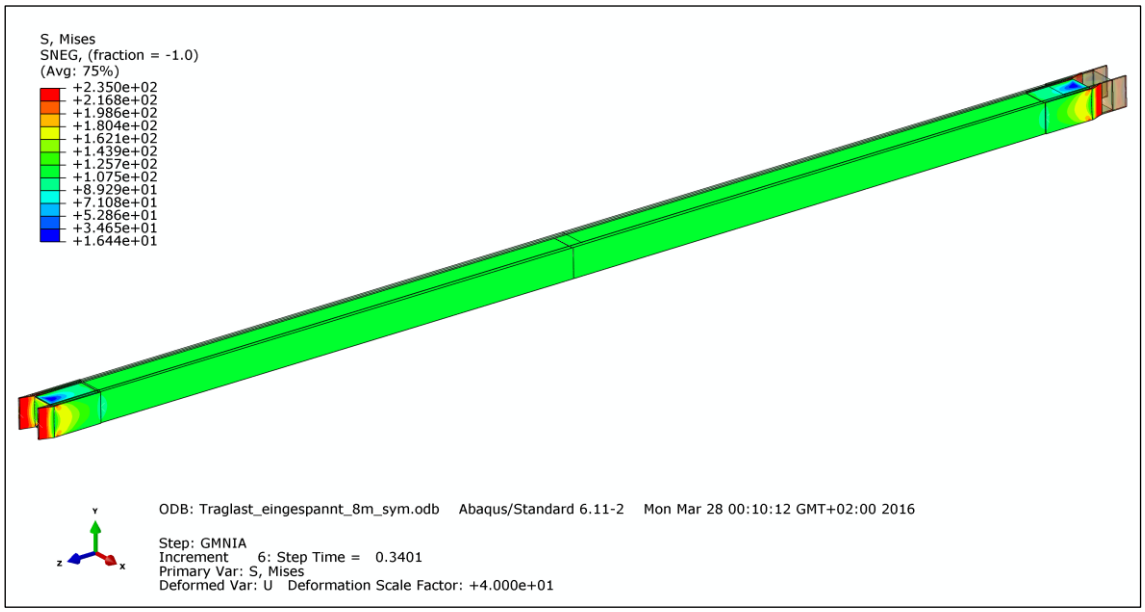
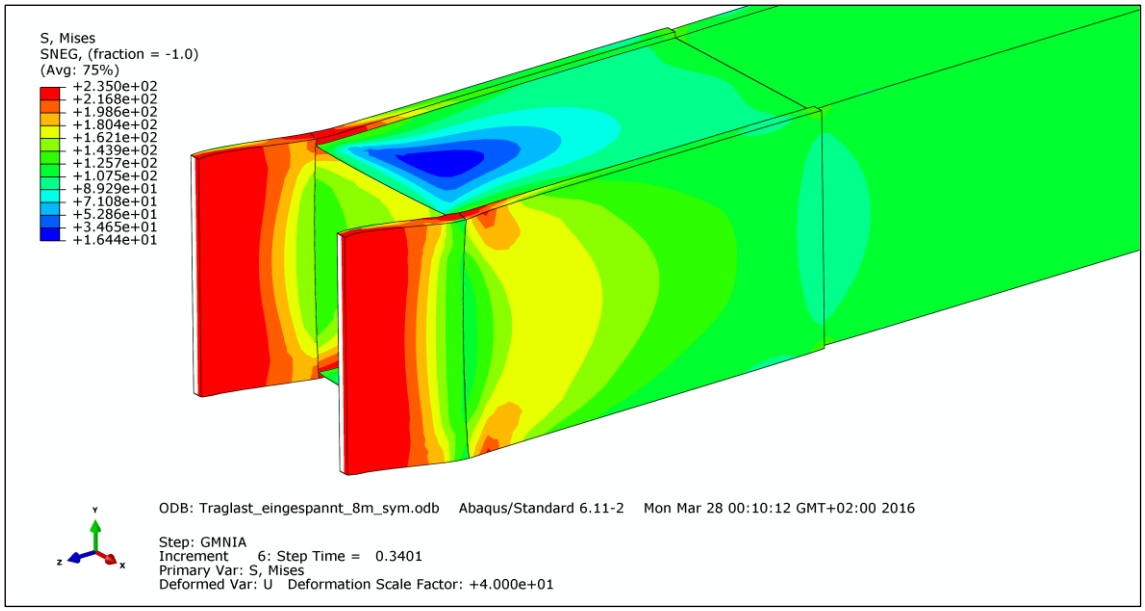


Abbildung 9-16: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm**





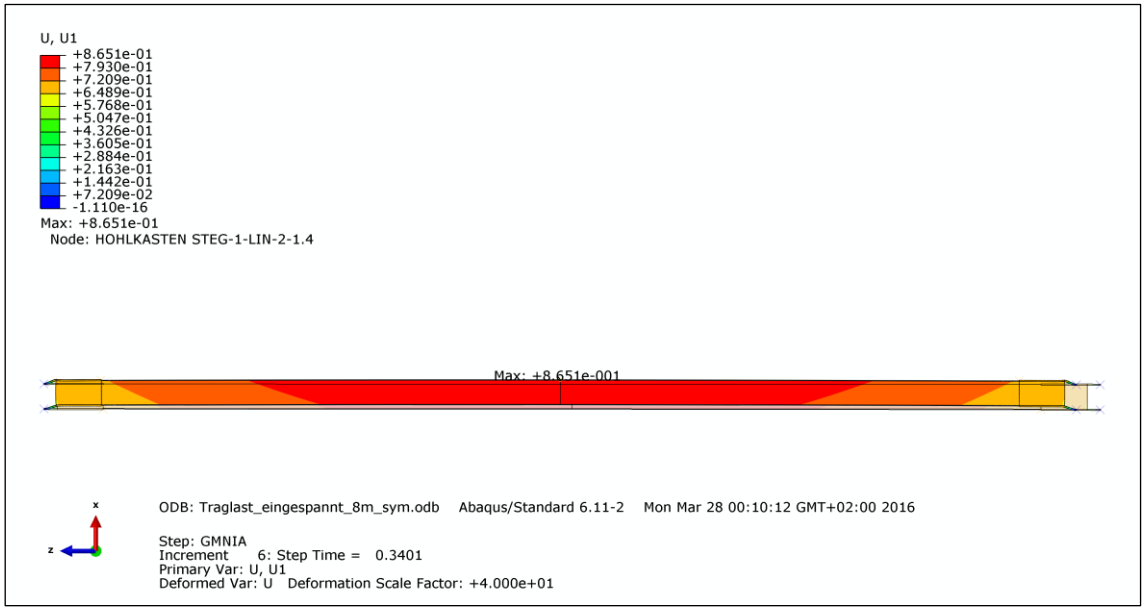
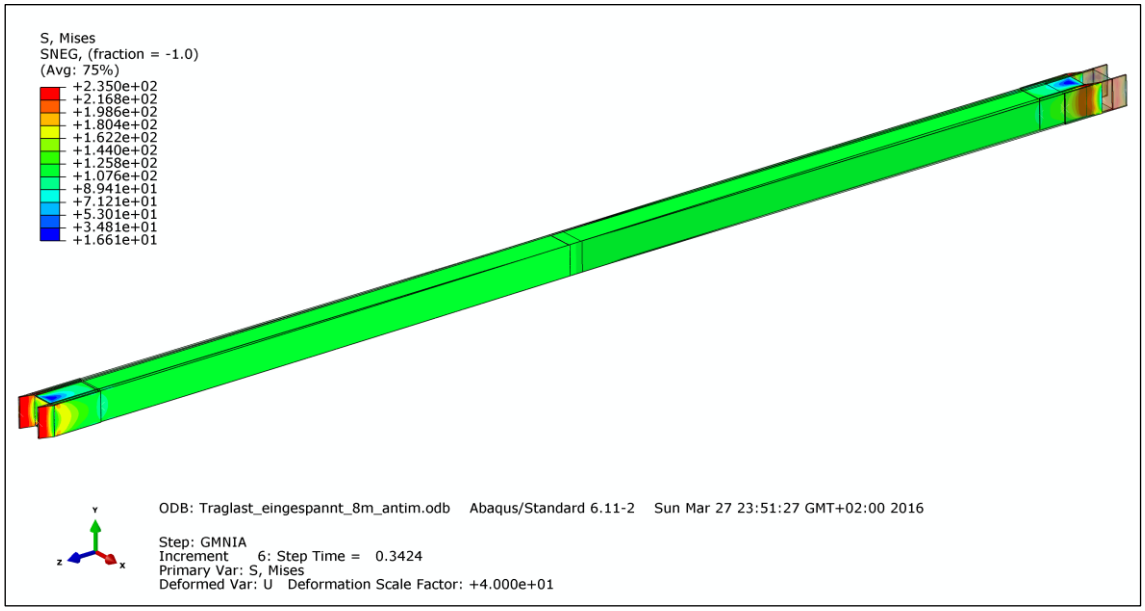
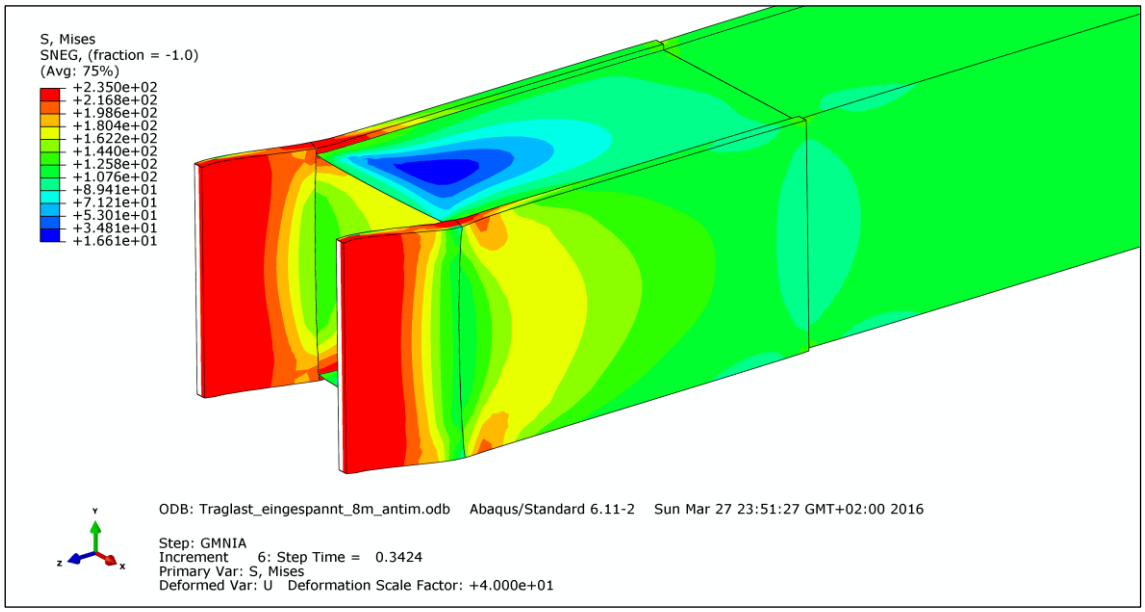


Abbildung 9-17: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





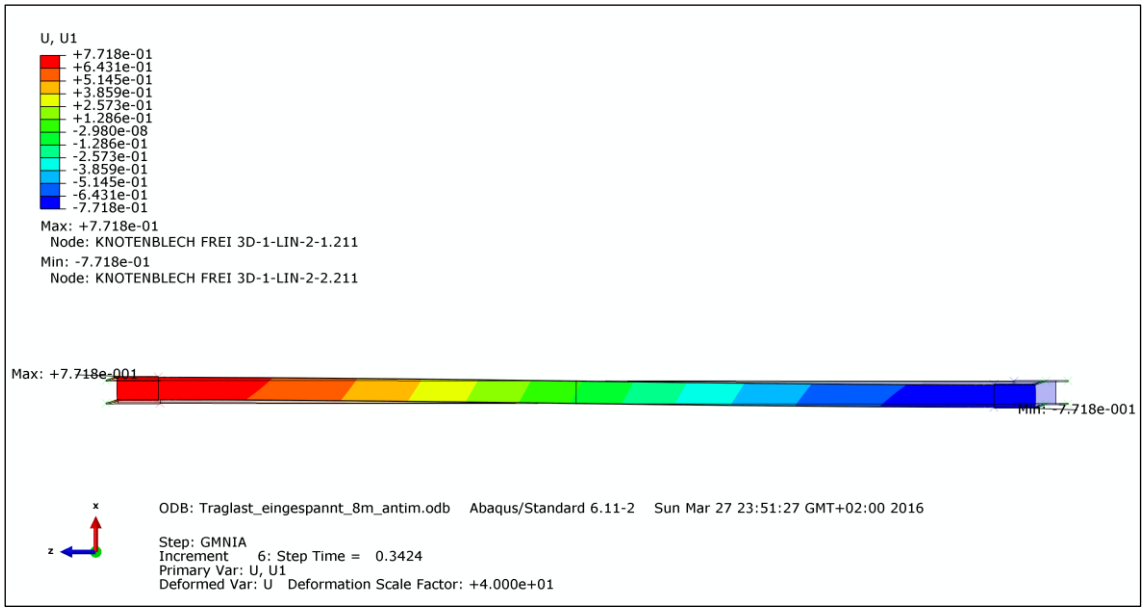
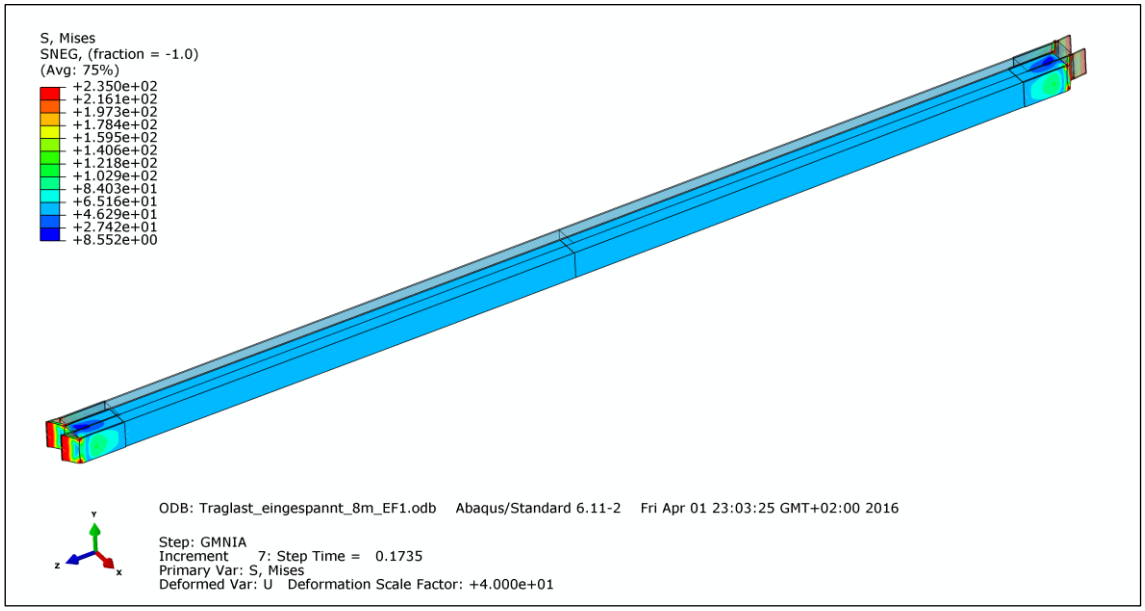
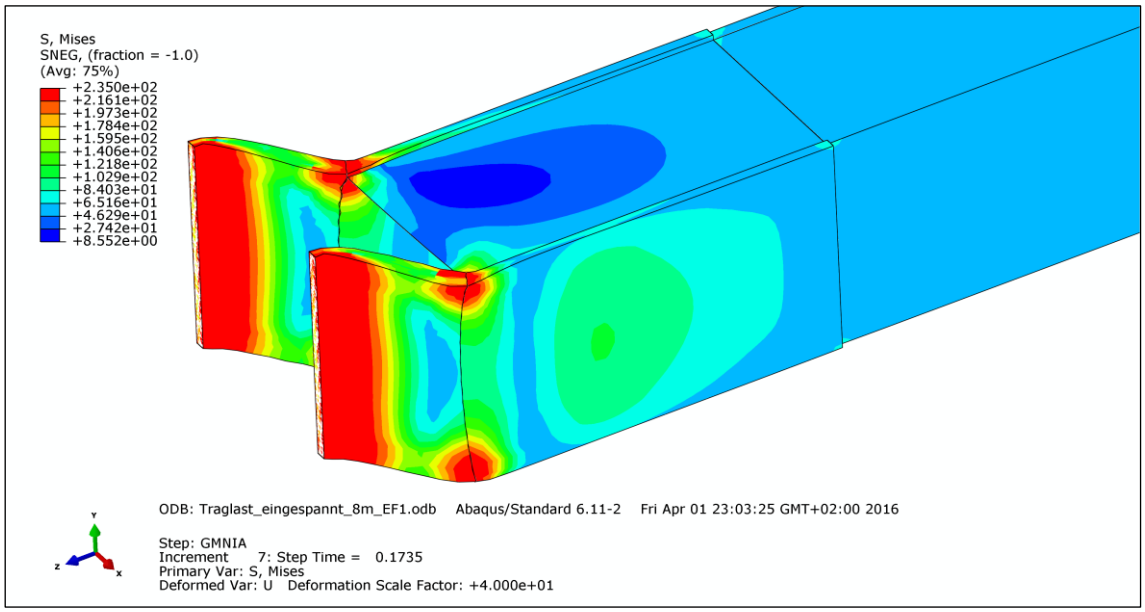


Abbildung 9-18: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





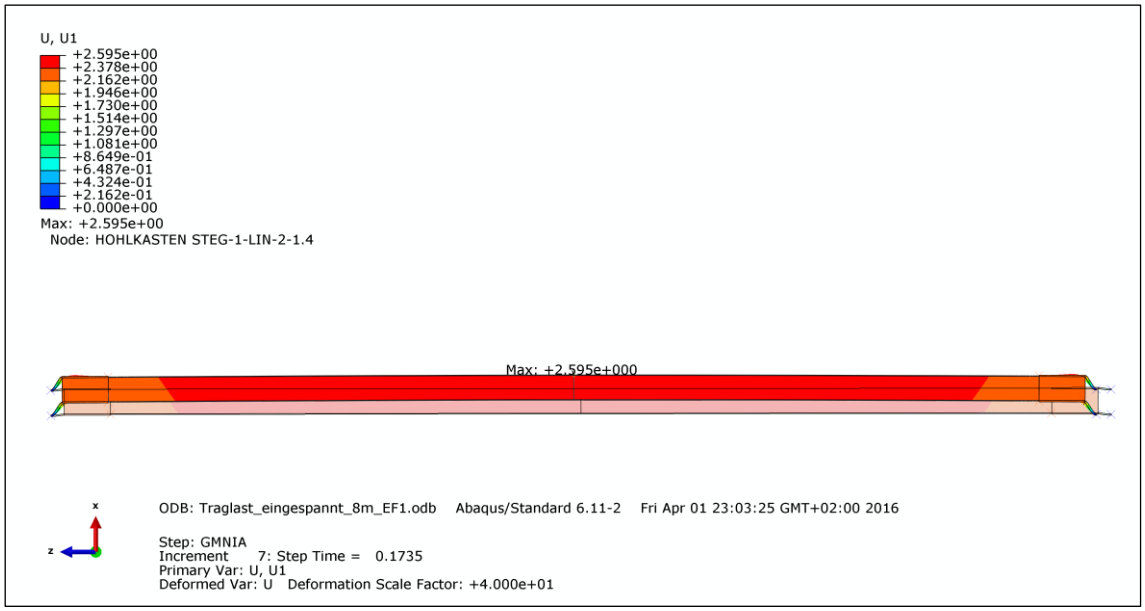
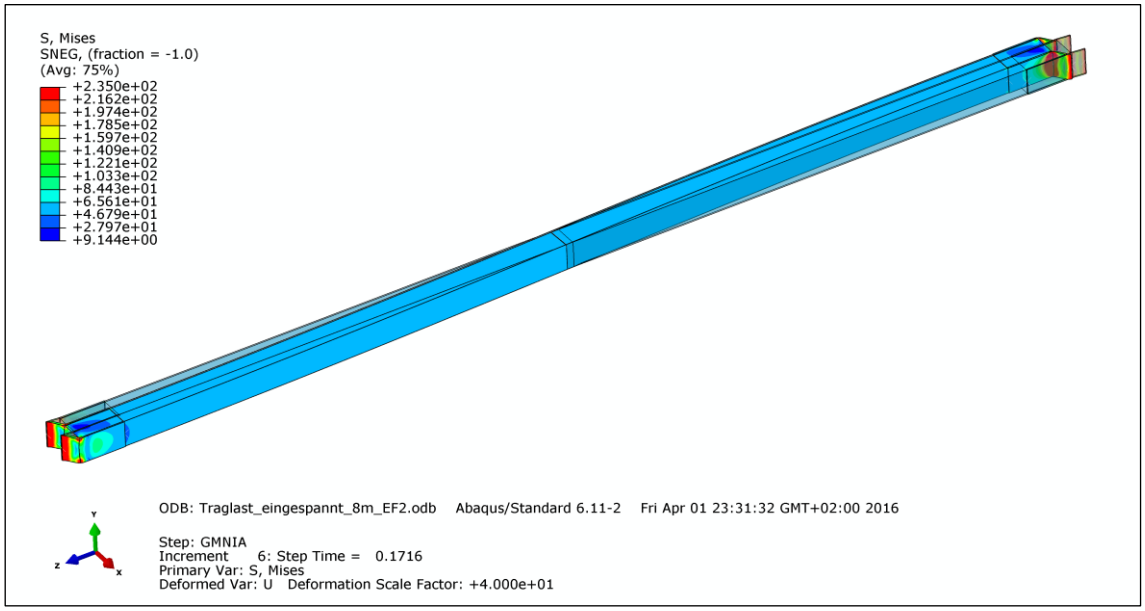
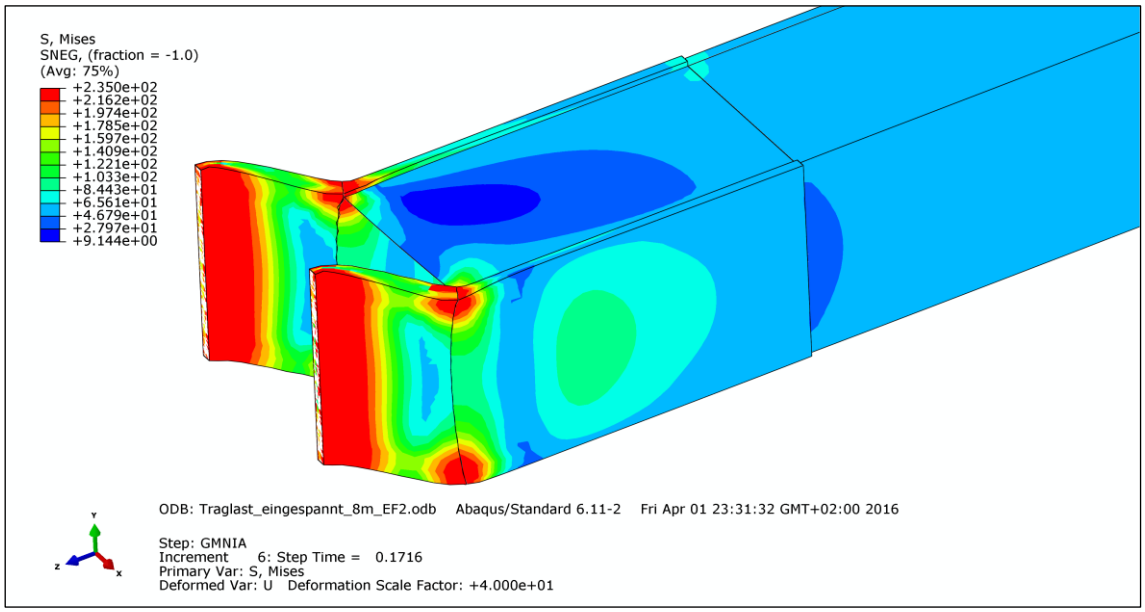


Abbildung 9-19: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





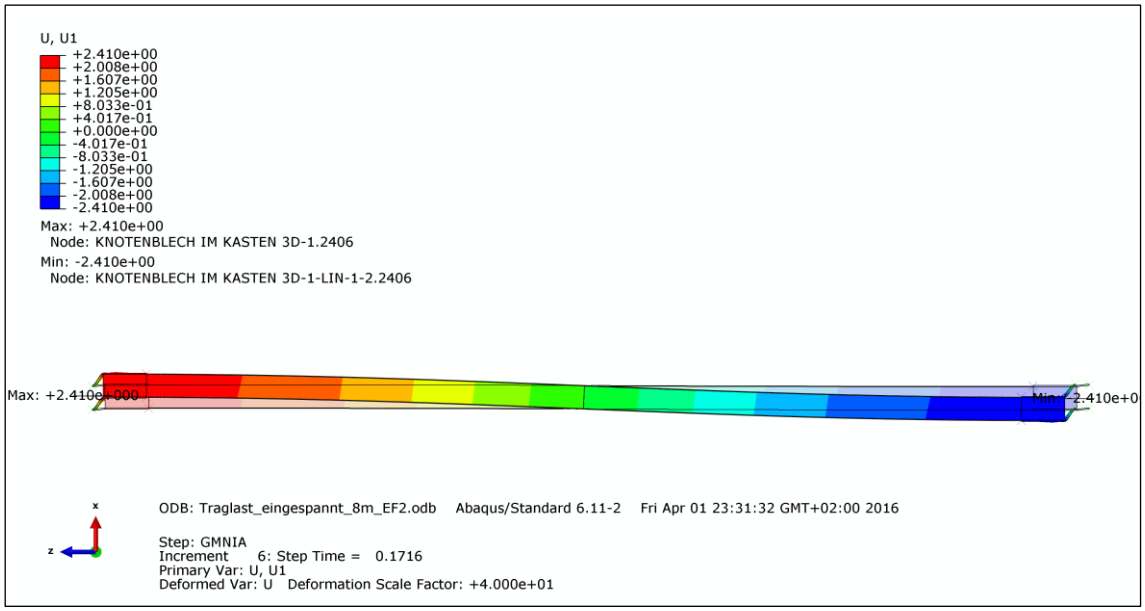
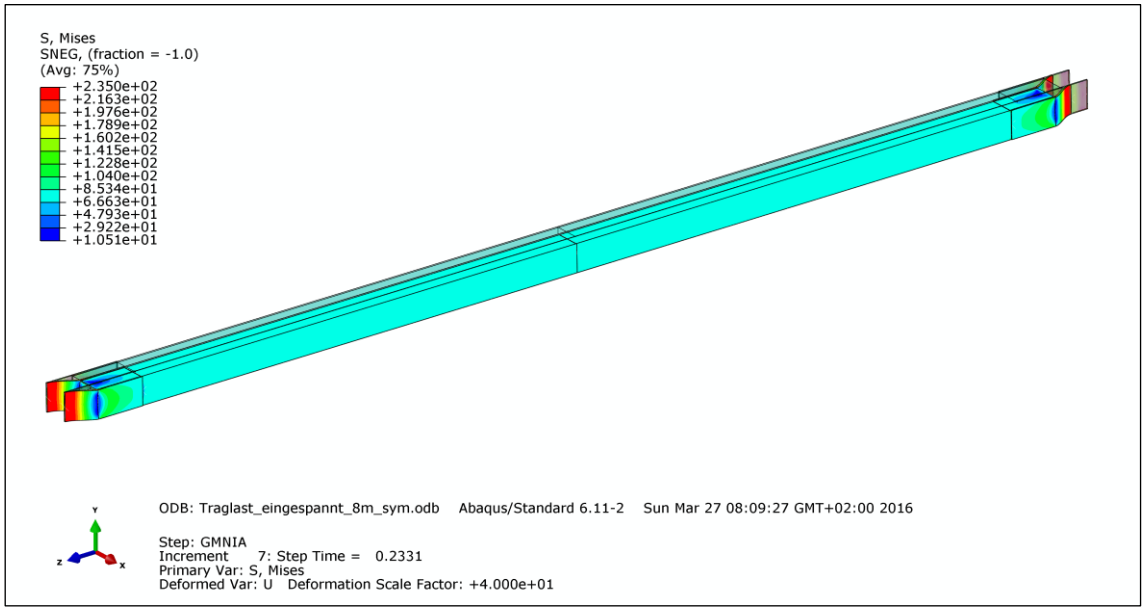
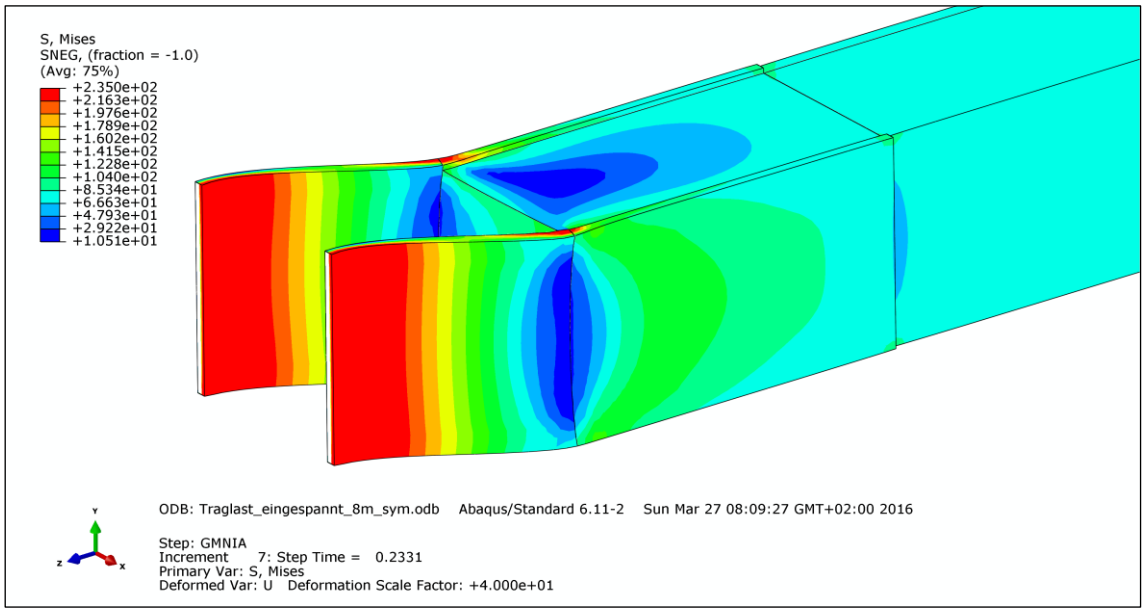


Abbildung 9-20: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





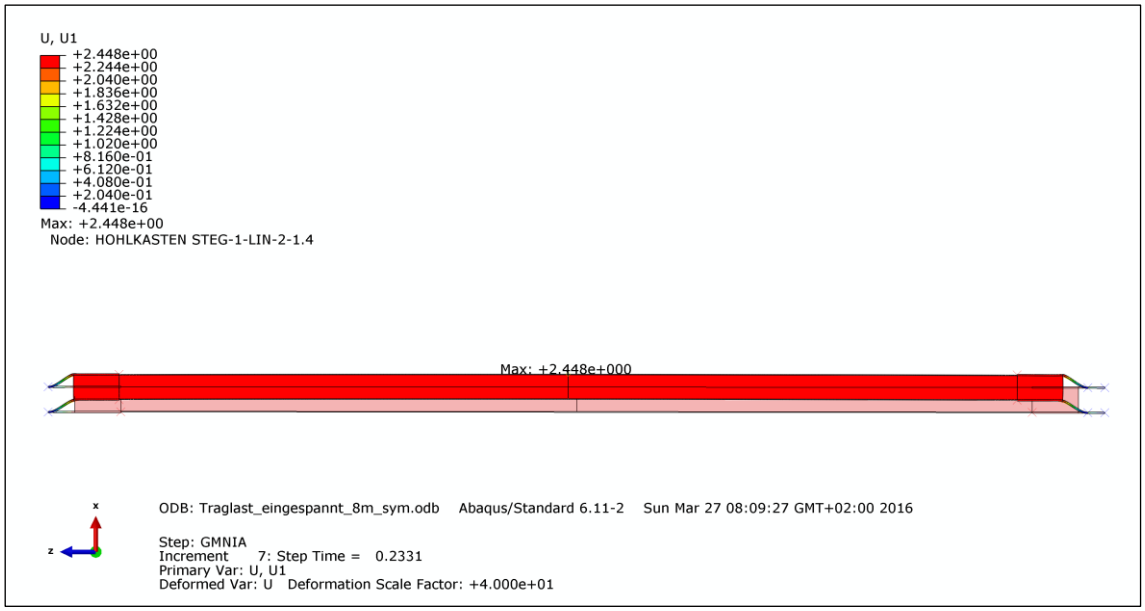
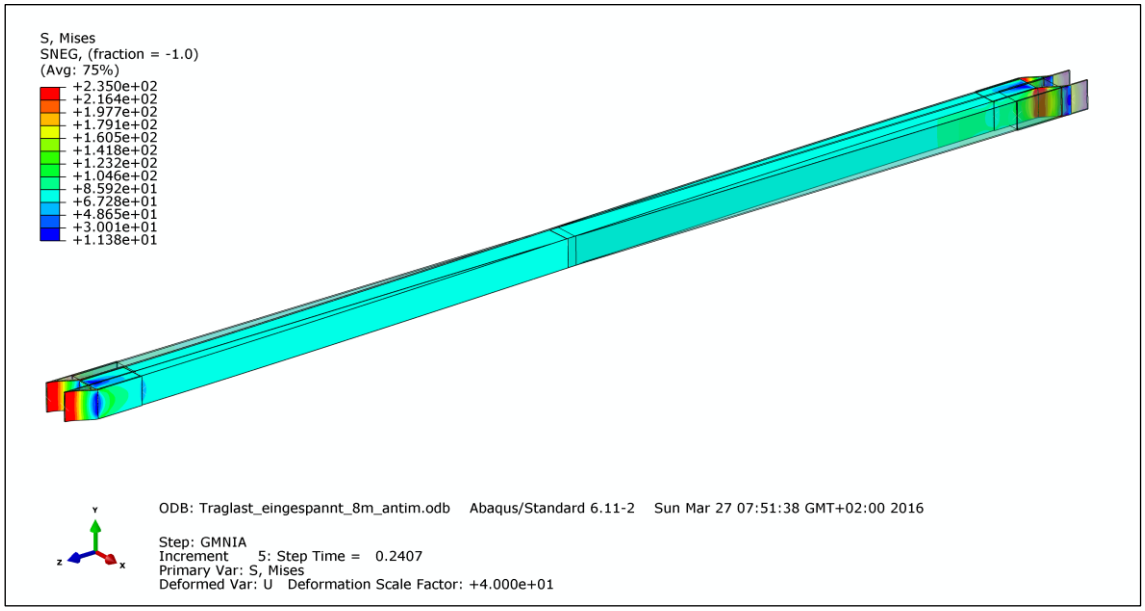
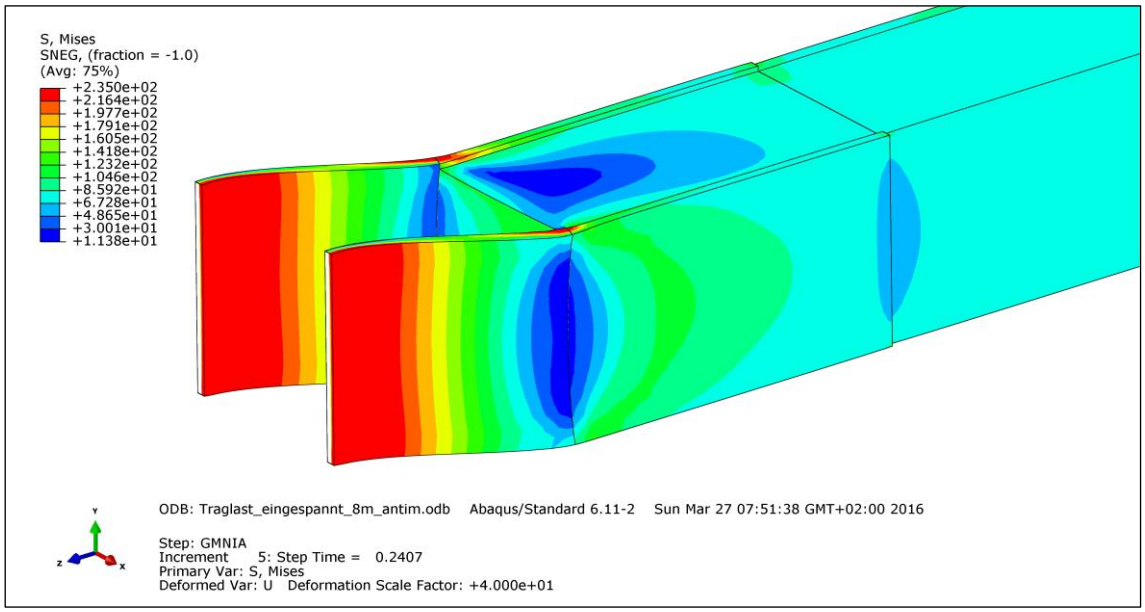


Abbildung 9-21: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





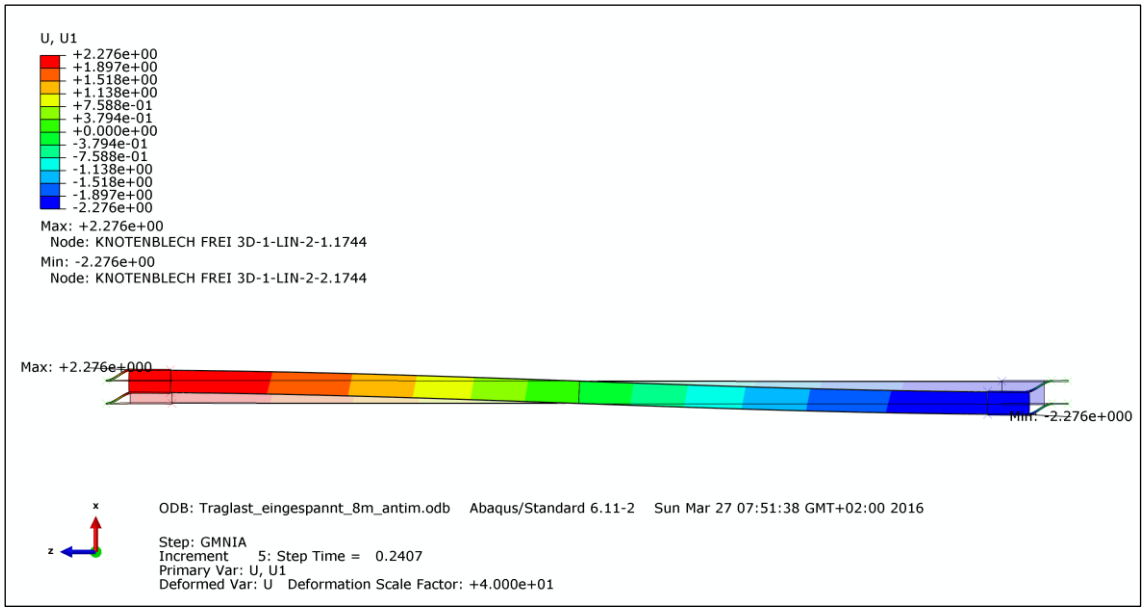


Abbildung 9-22: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)

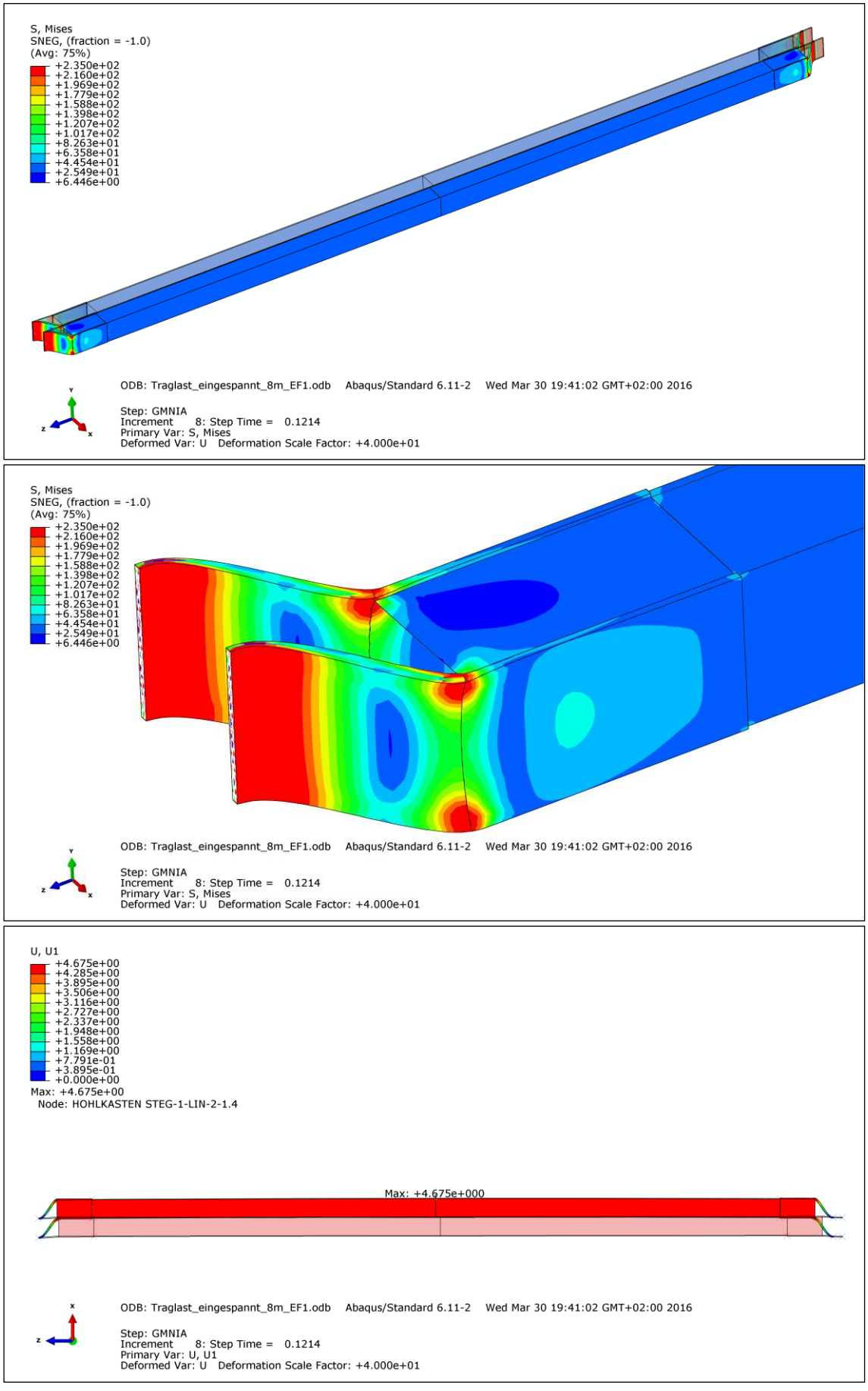
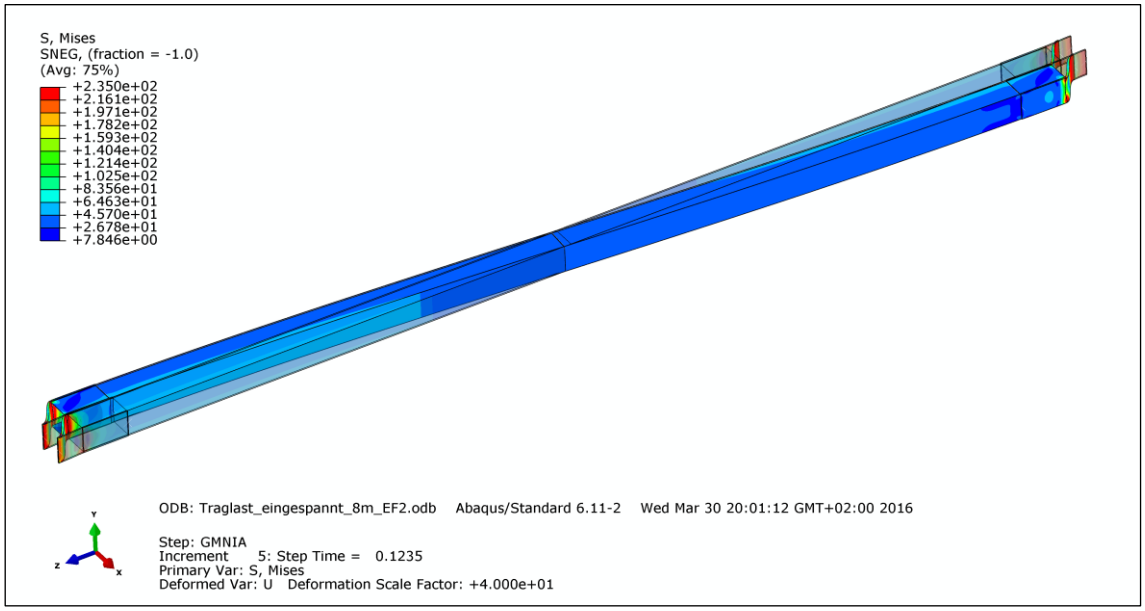
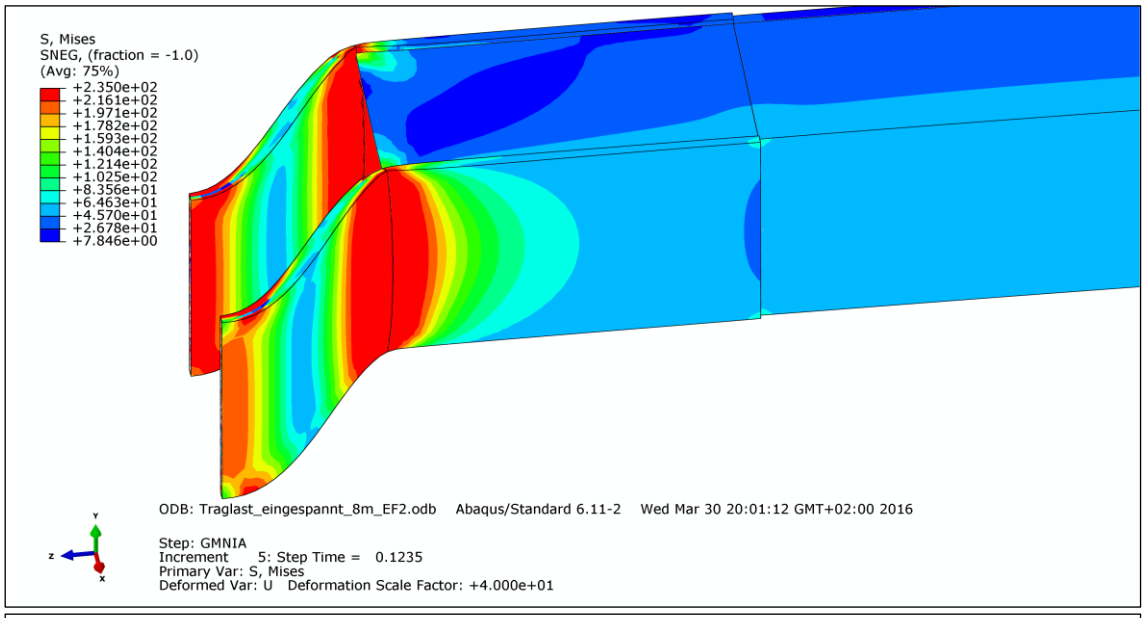


Abbildung 9-23: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





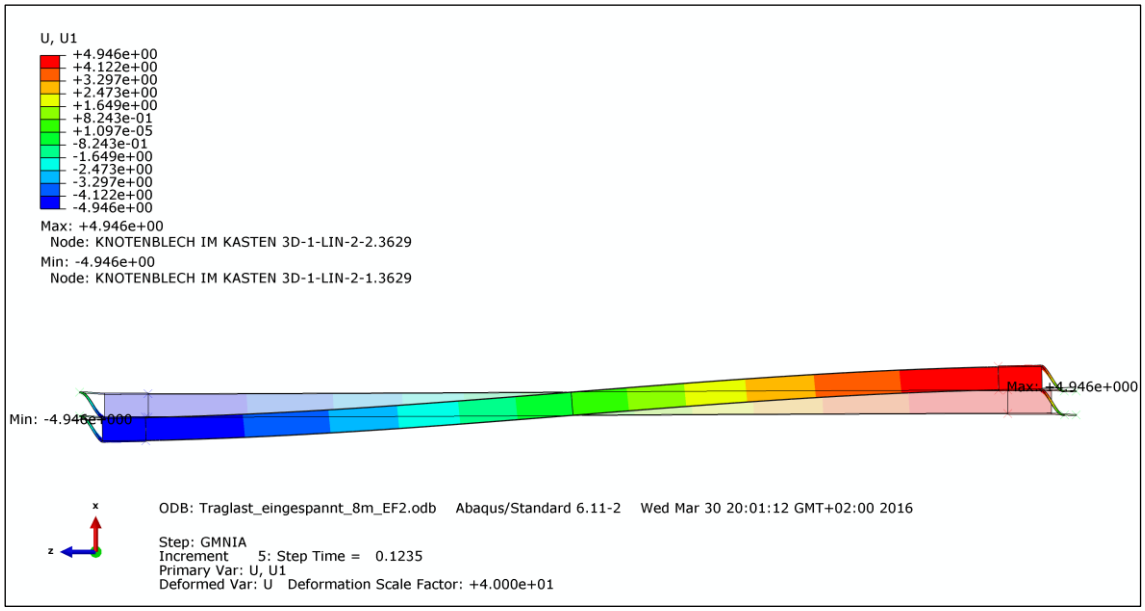
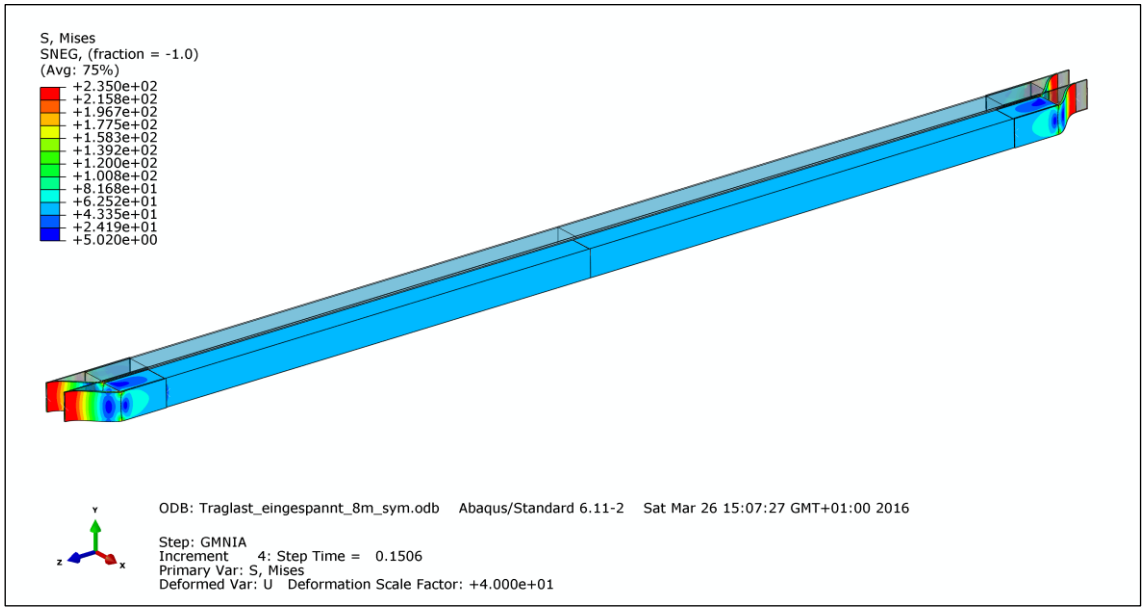
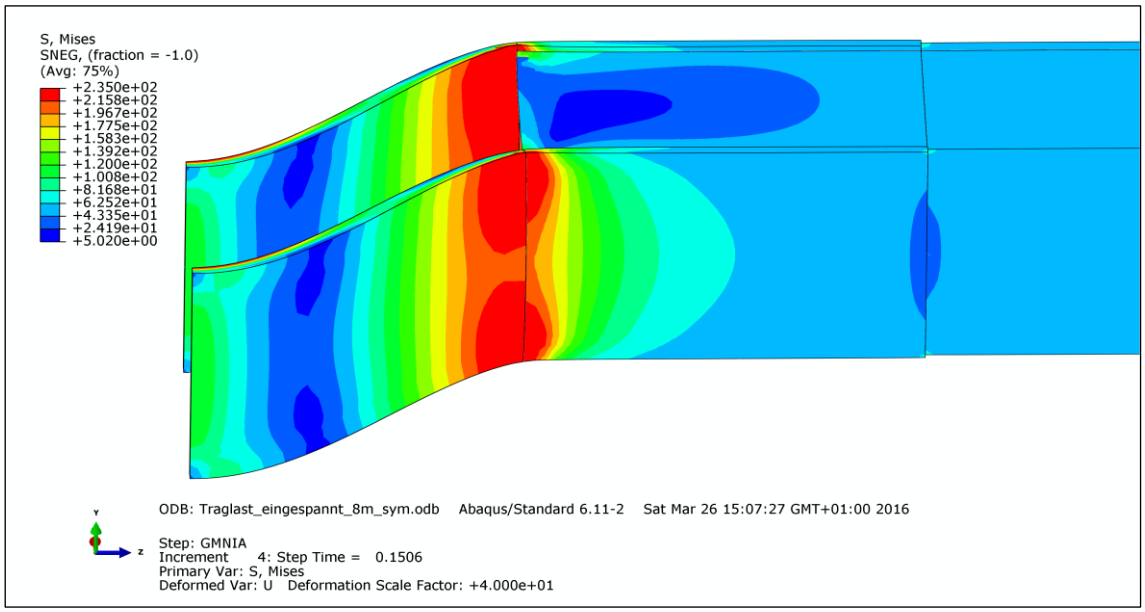


Abbildung 9-24: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





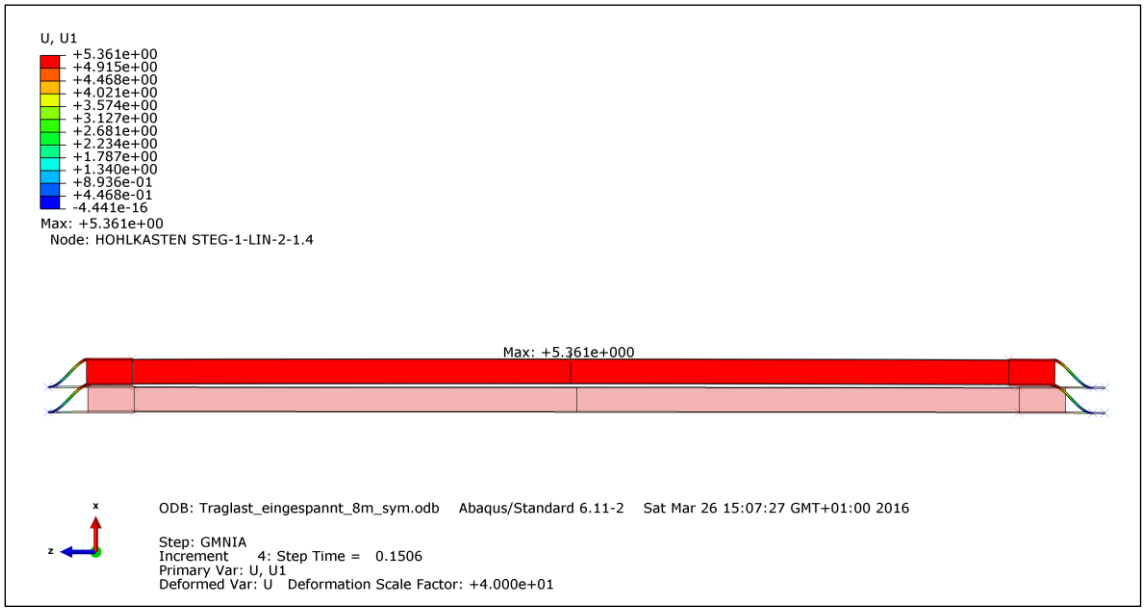
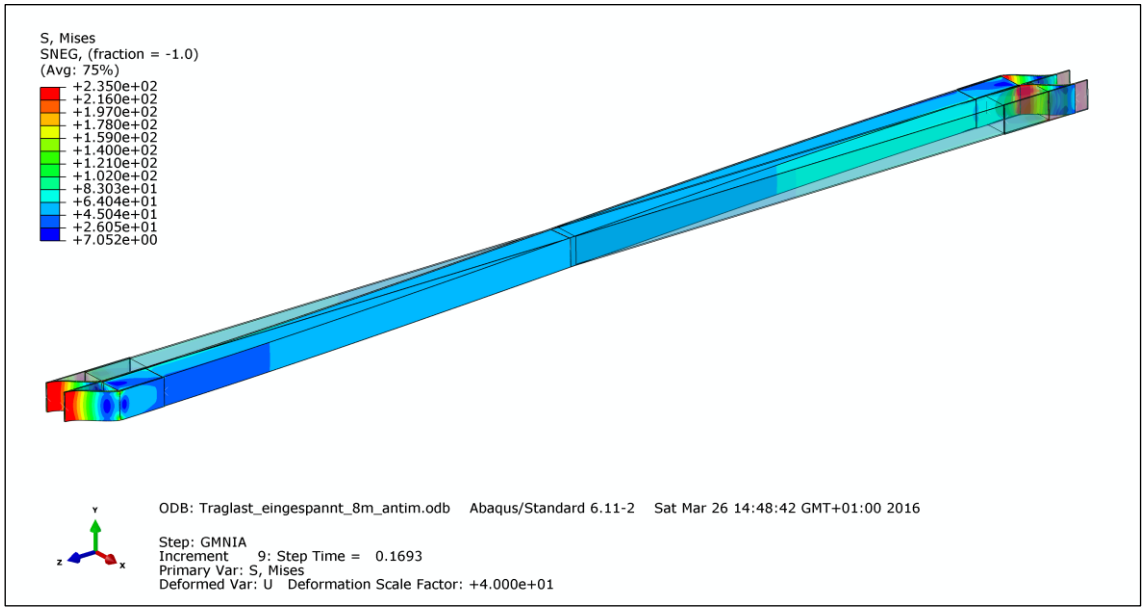
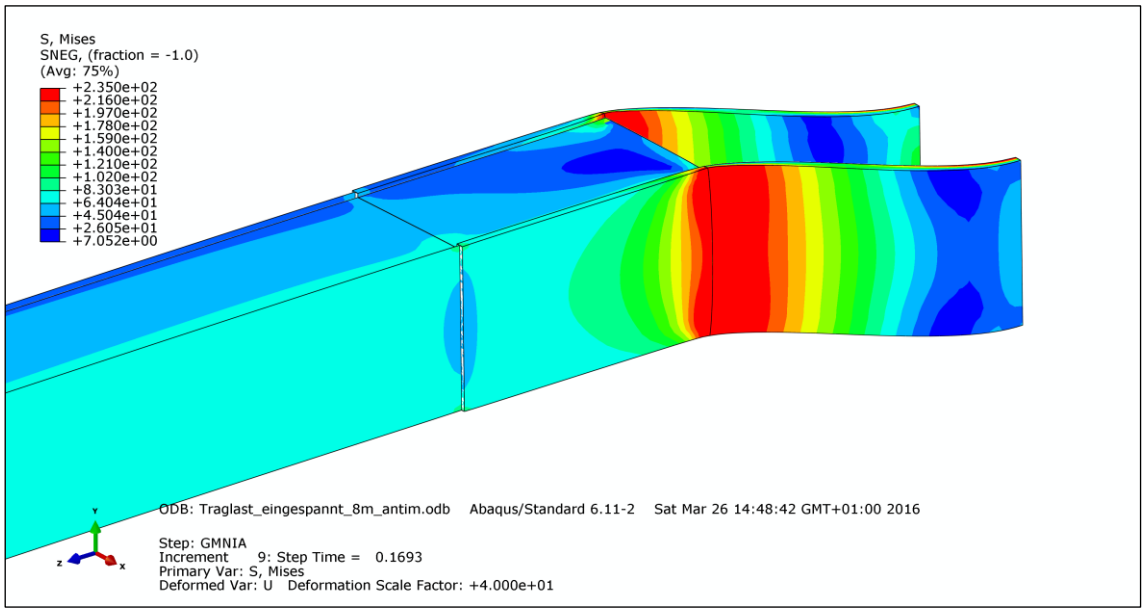


Abbildung 9-25: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





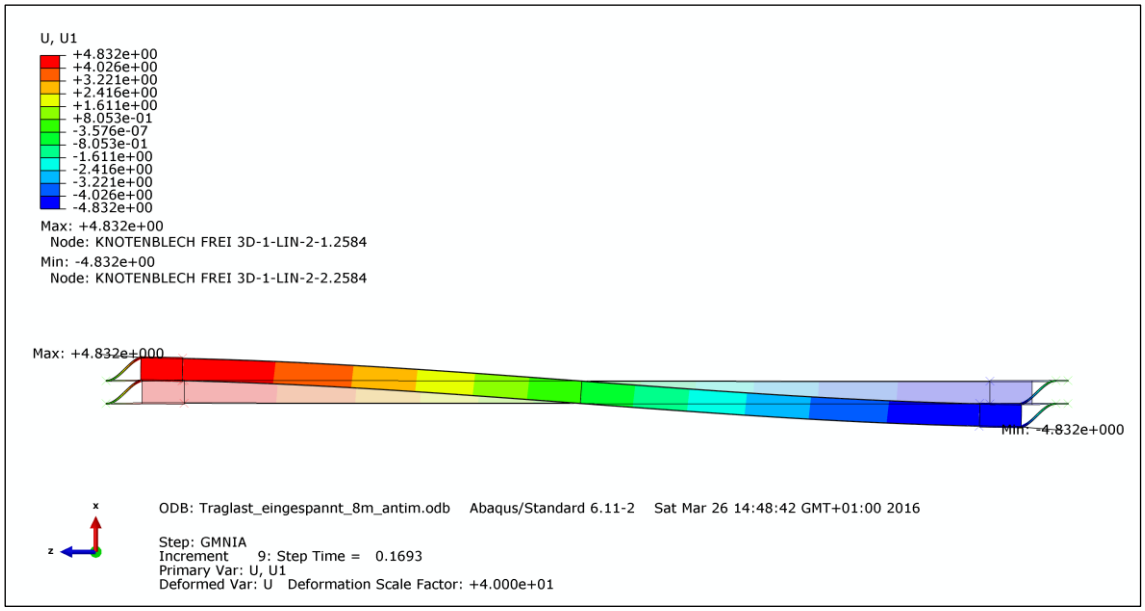
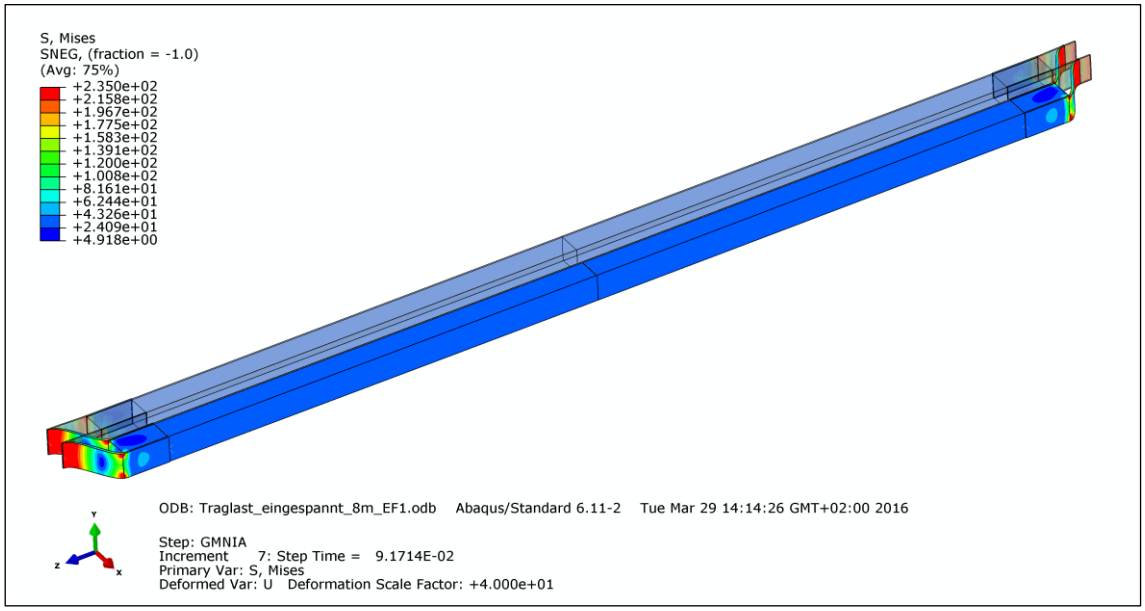
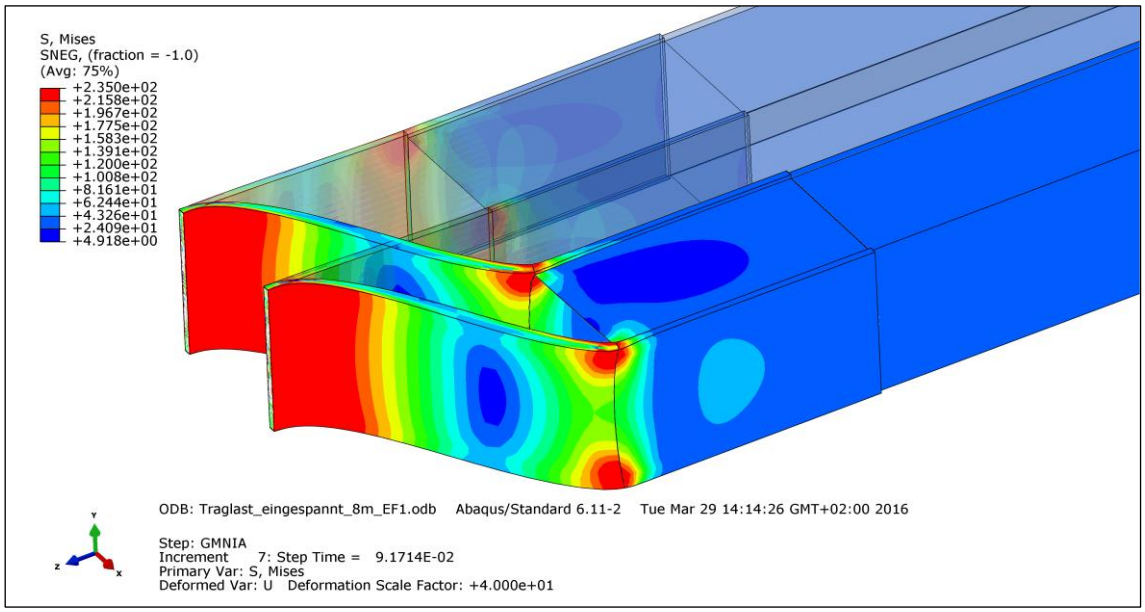


Abbildung 9-26: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





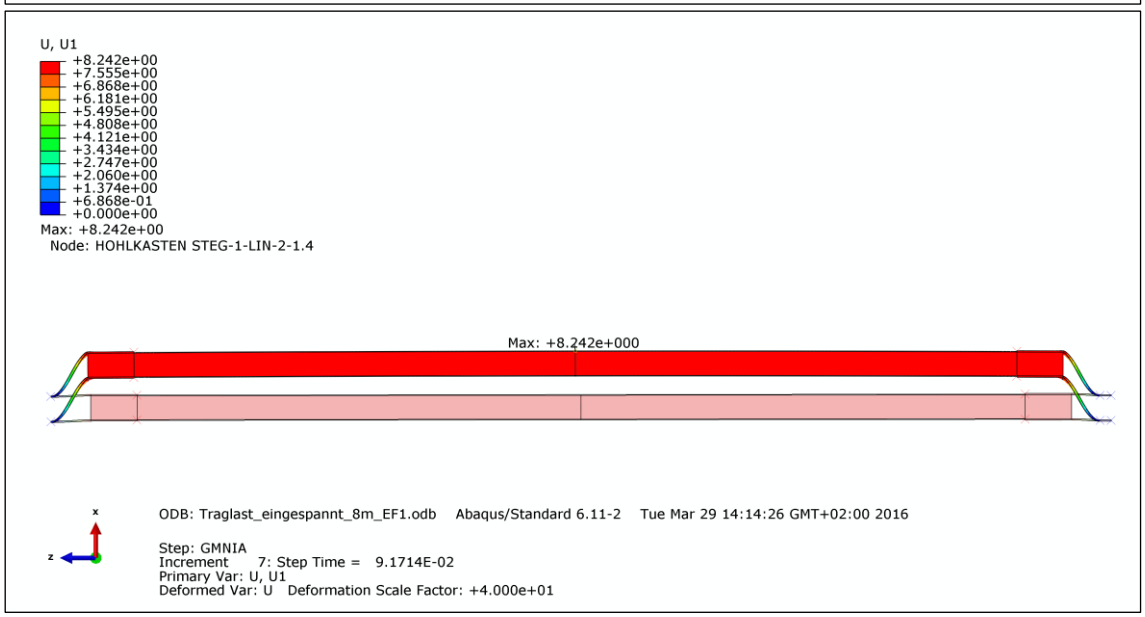
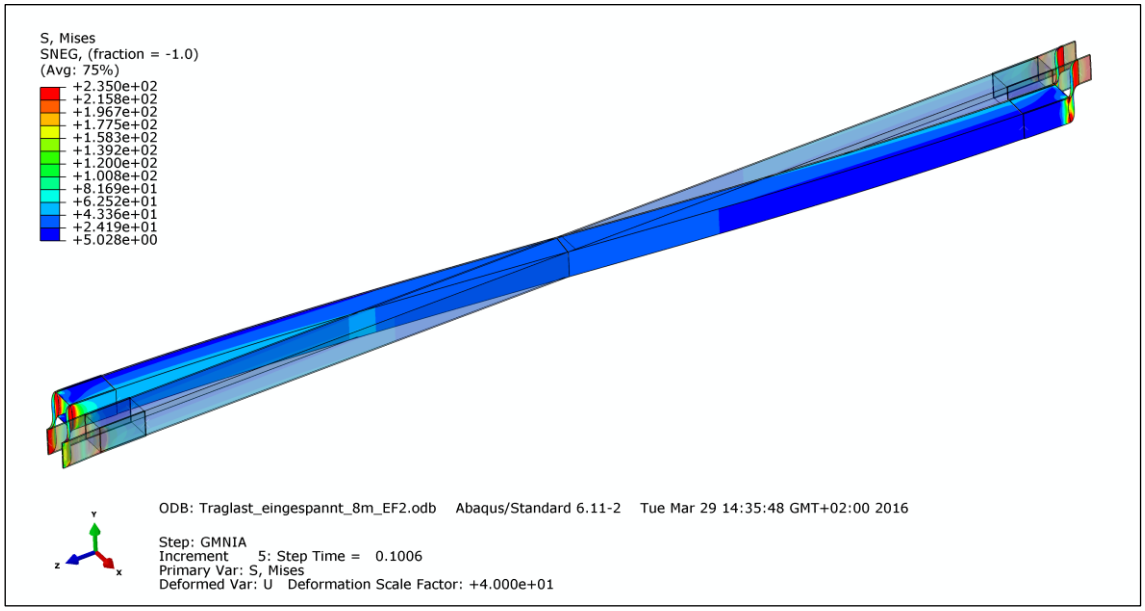
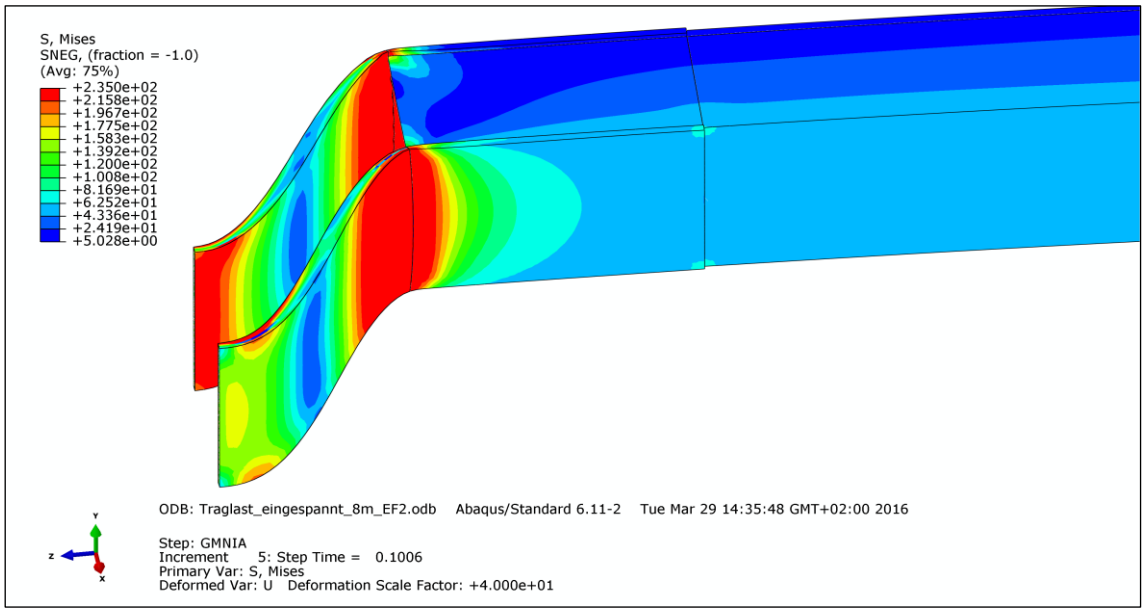


Abbildung 9-27: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





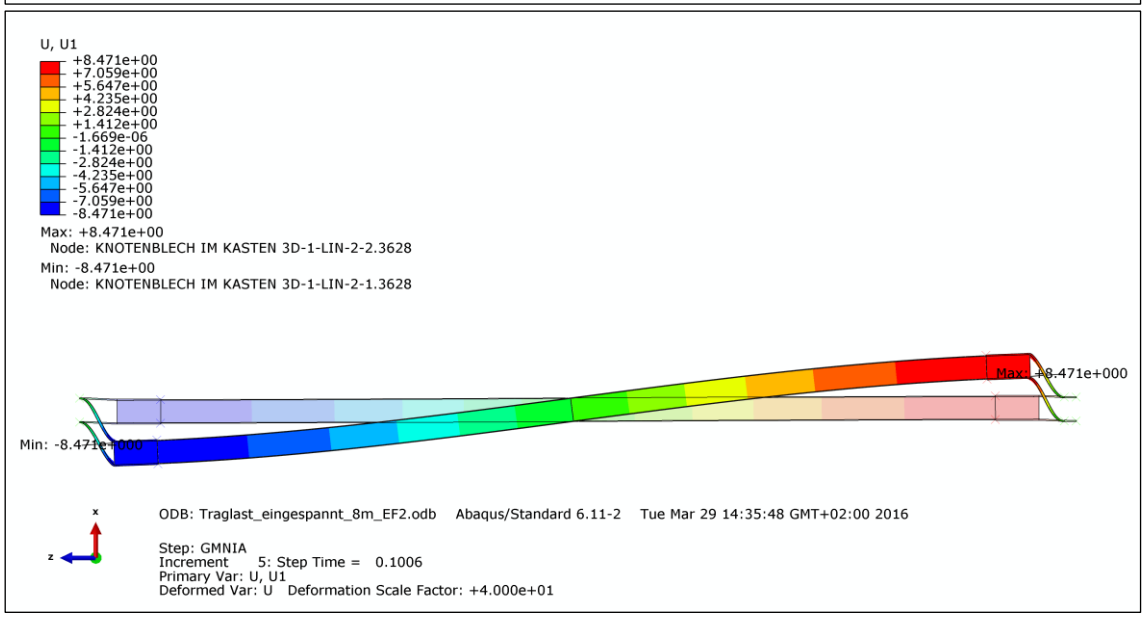
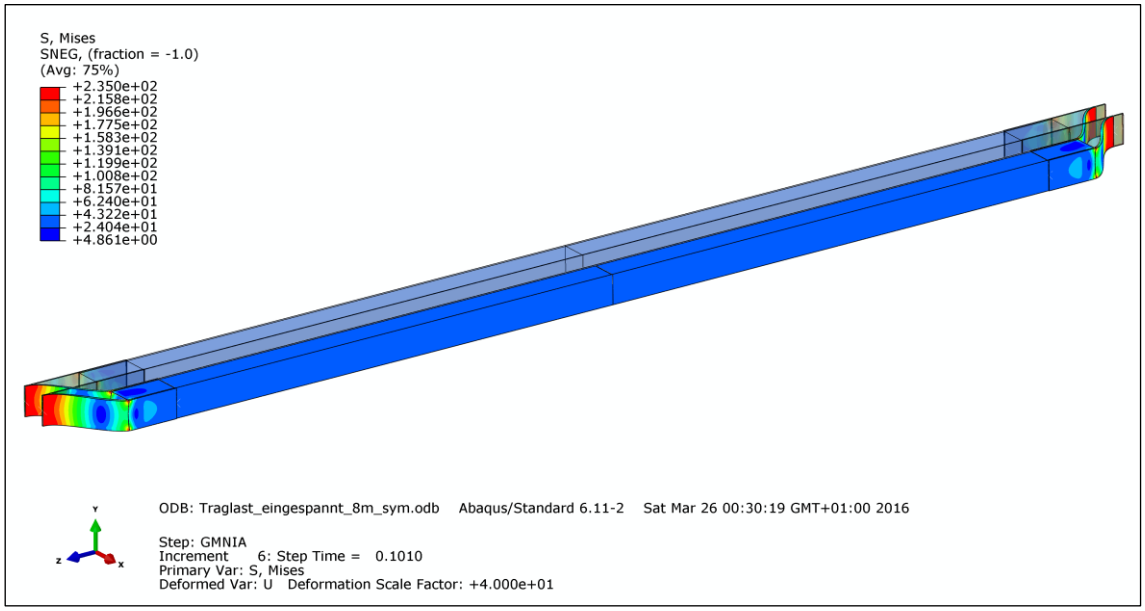
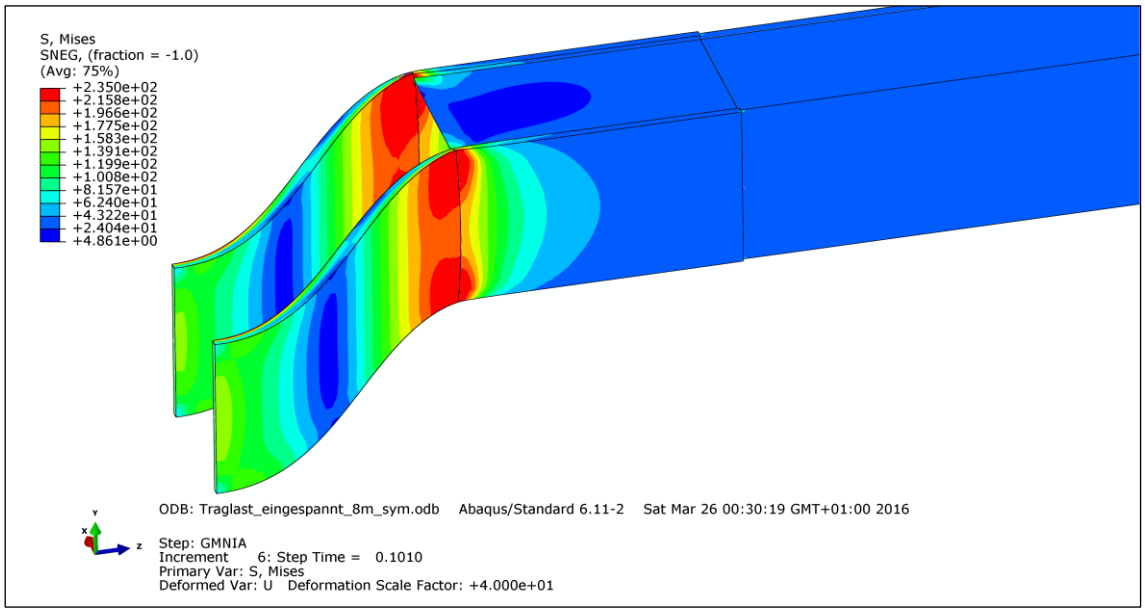


Abbildung 9-28: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





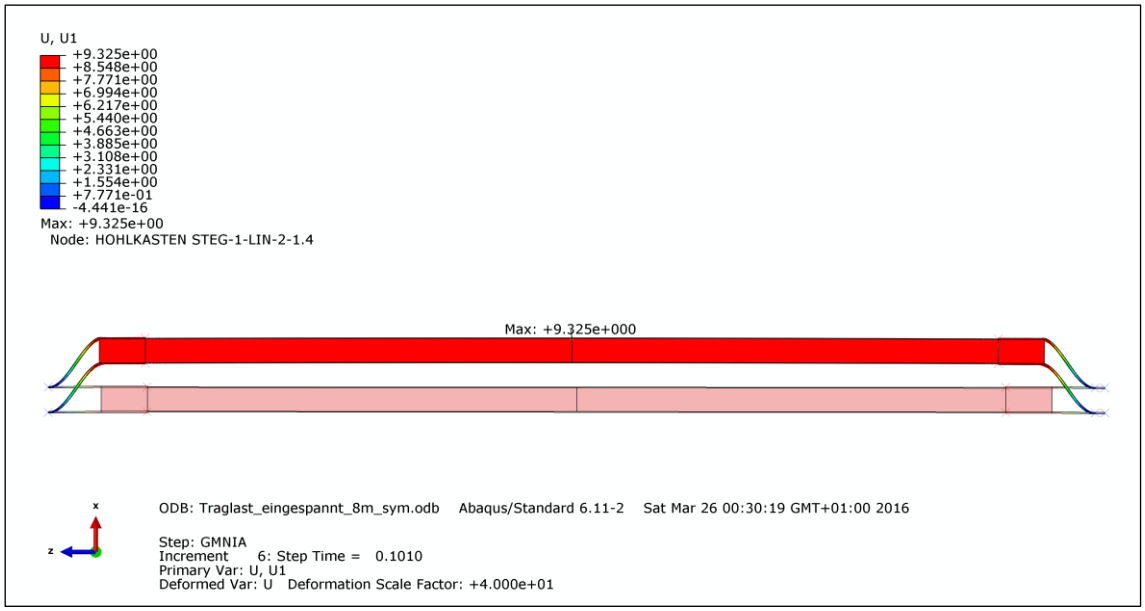
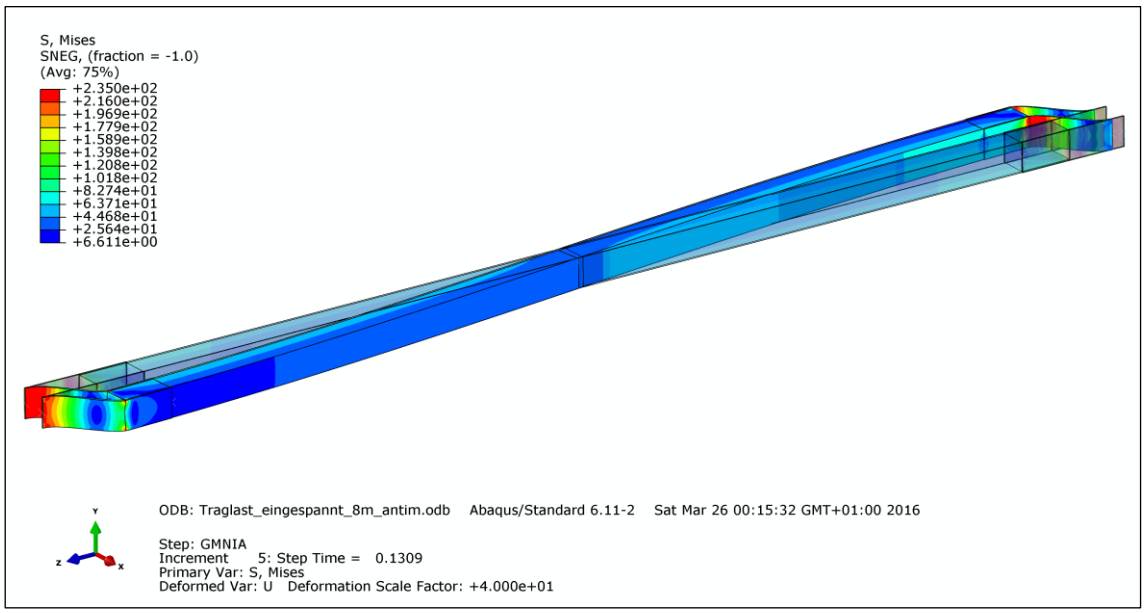
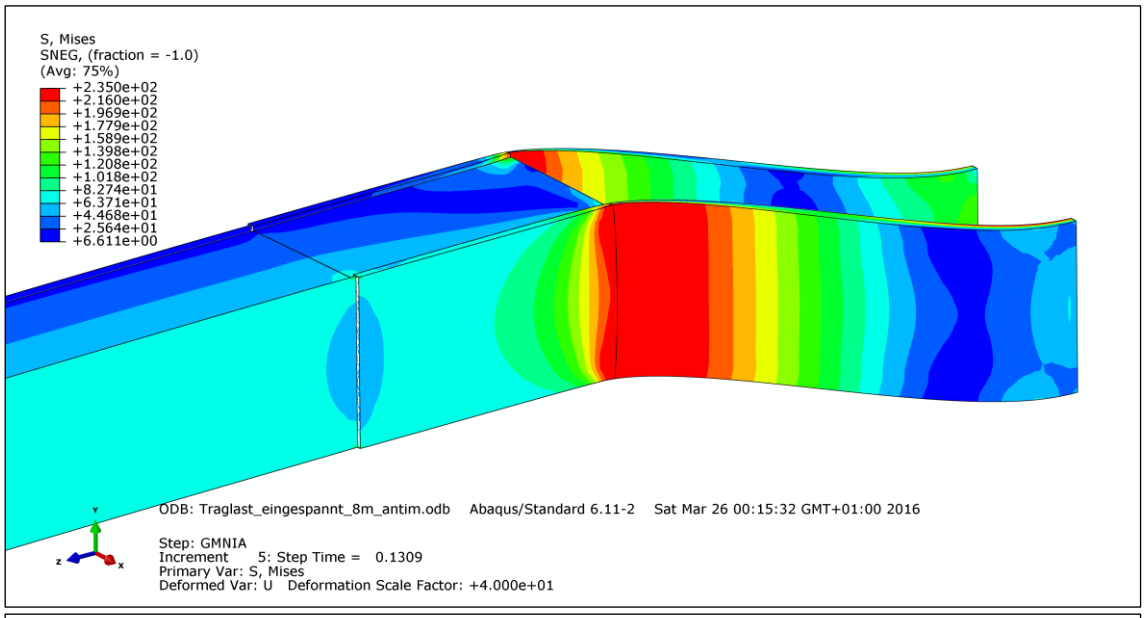


Abbildung 9-29: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





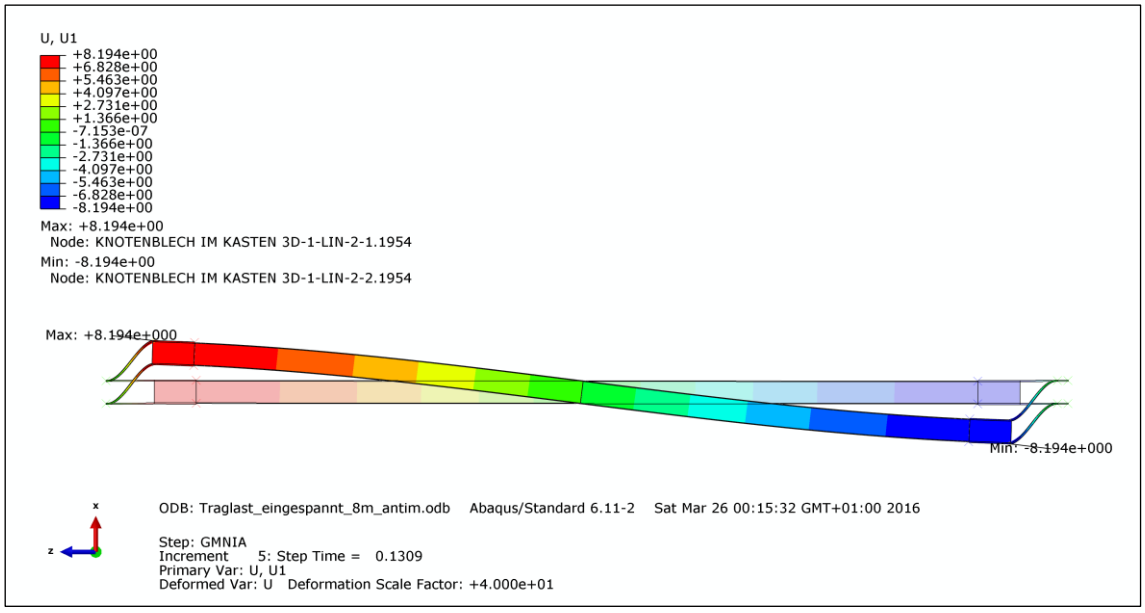


Abbildung 9-30: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)

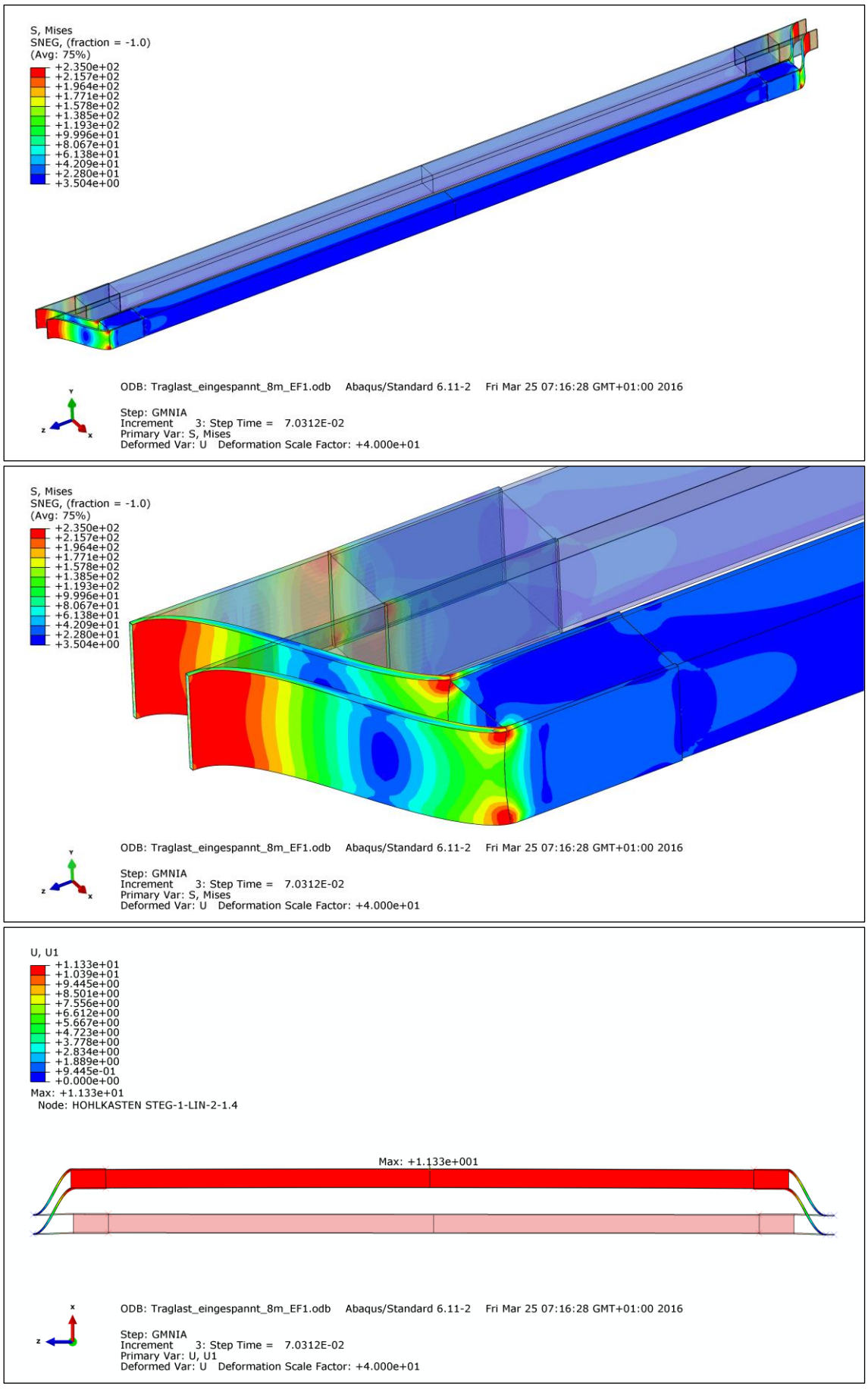


Abbildung 9-31: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

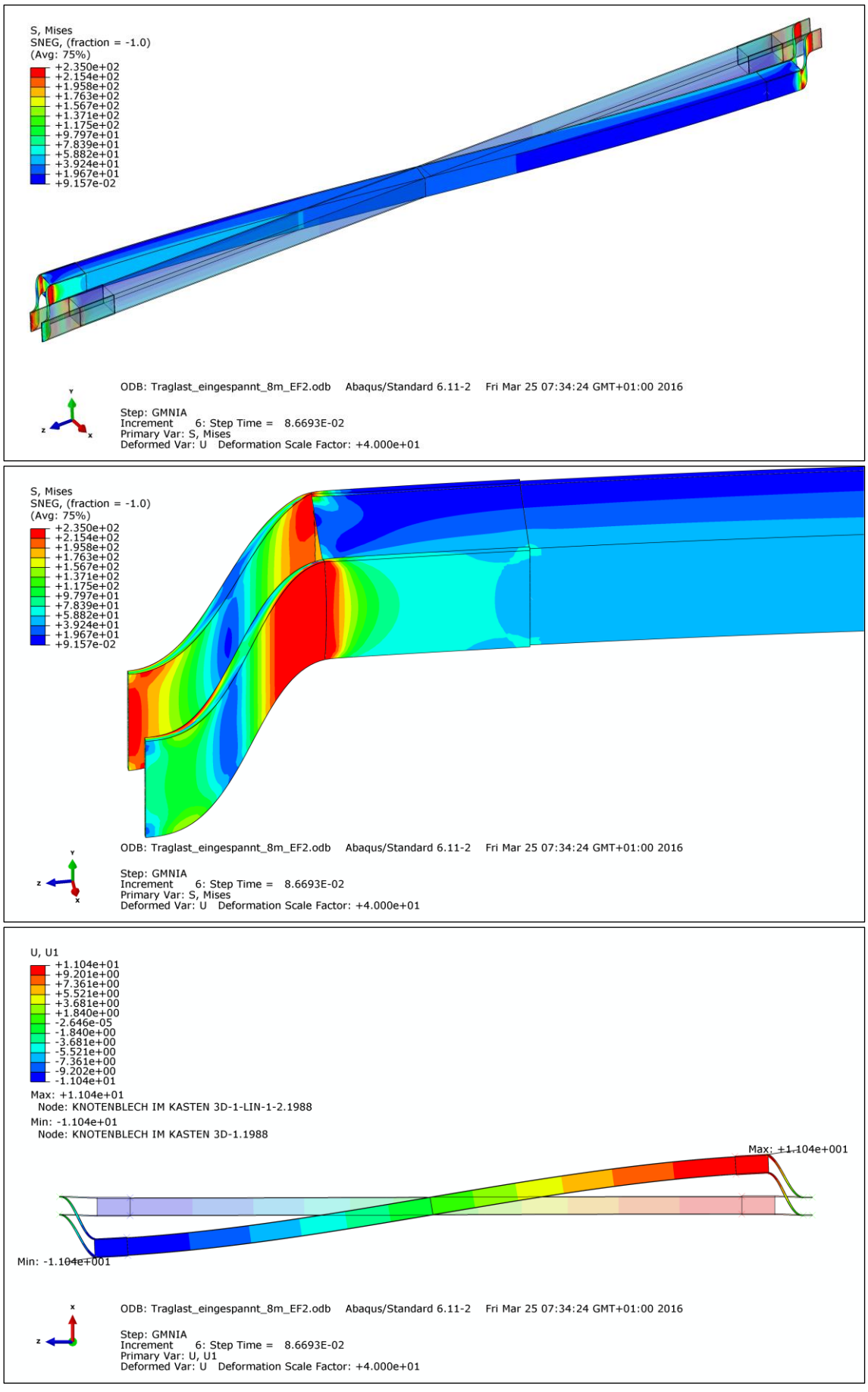


Abbildung 9-32: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm**

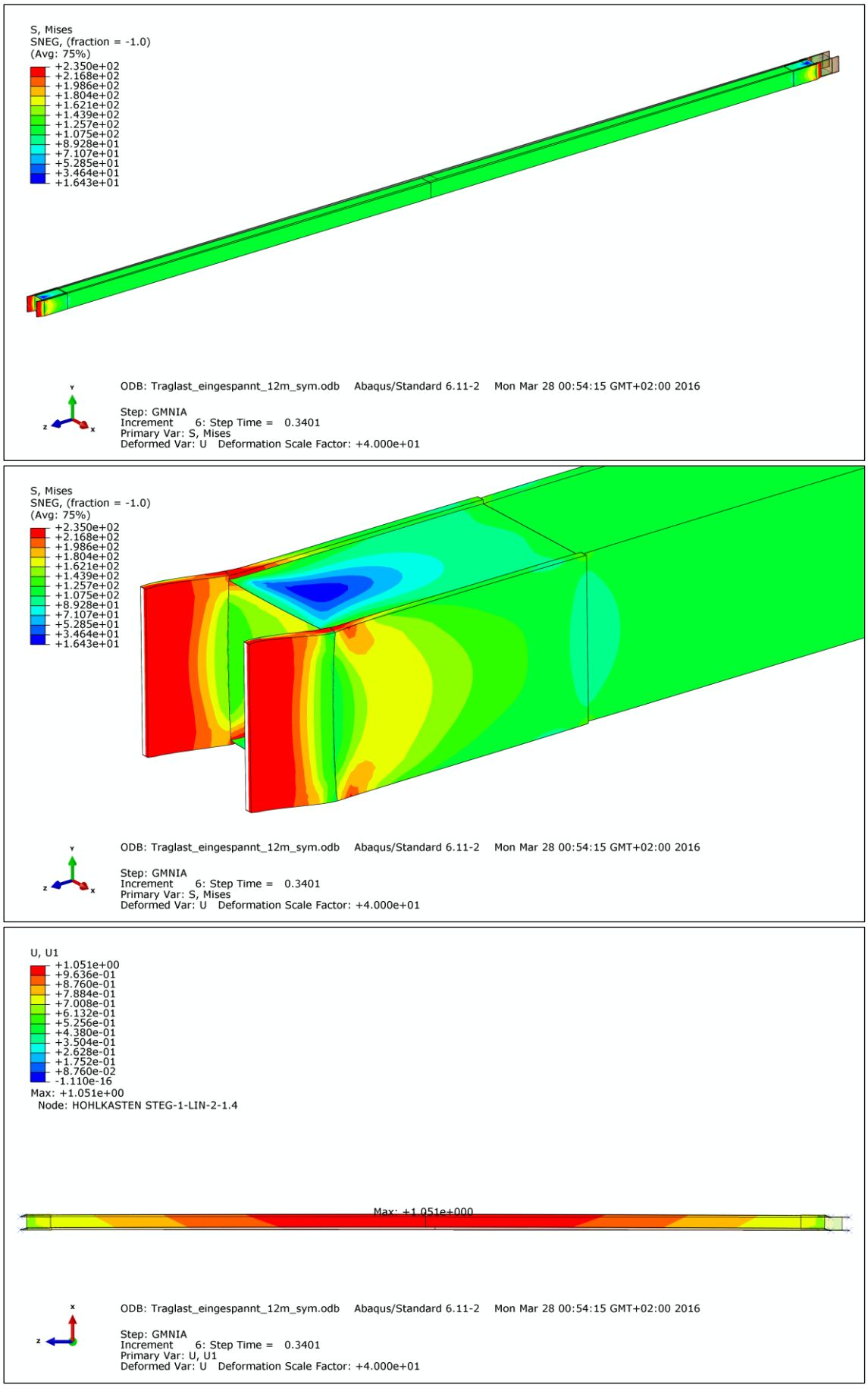
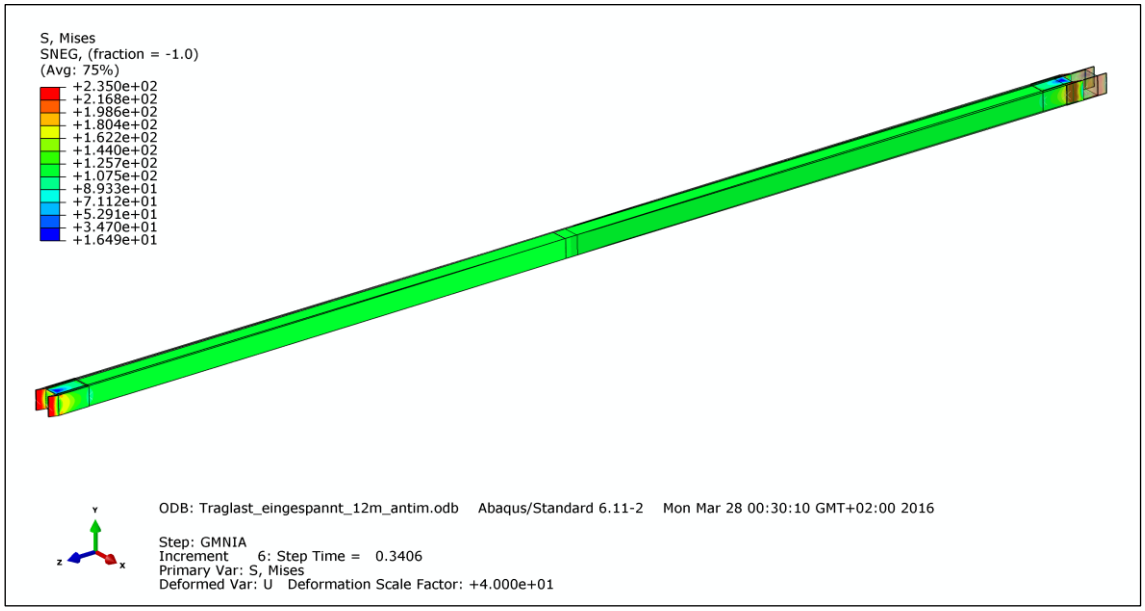
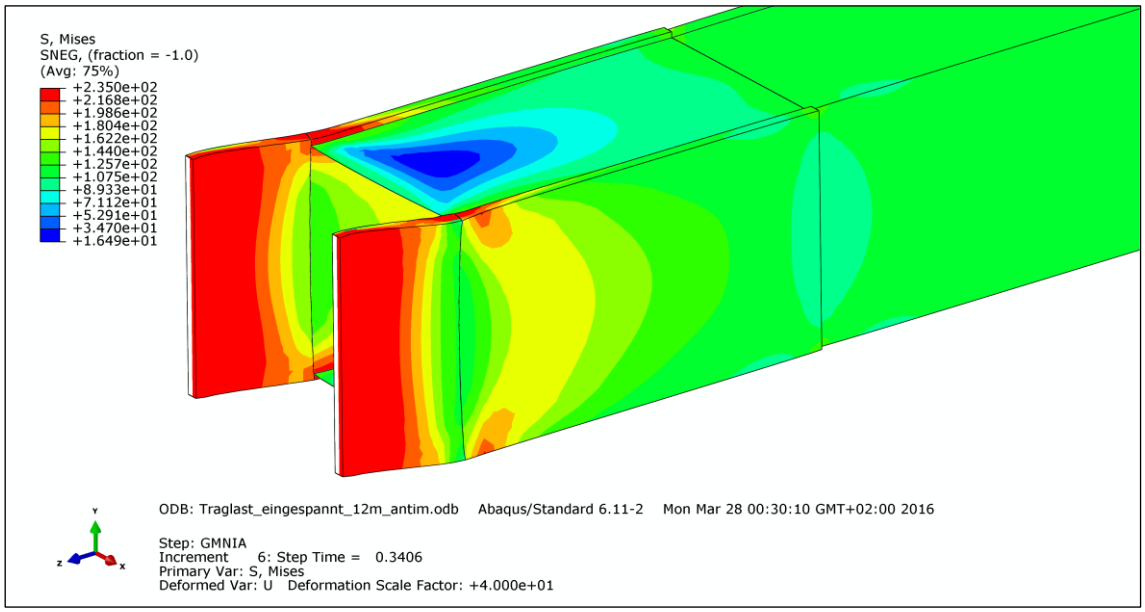


Abbildung 9-33: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





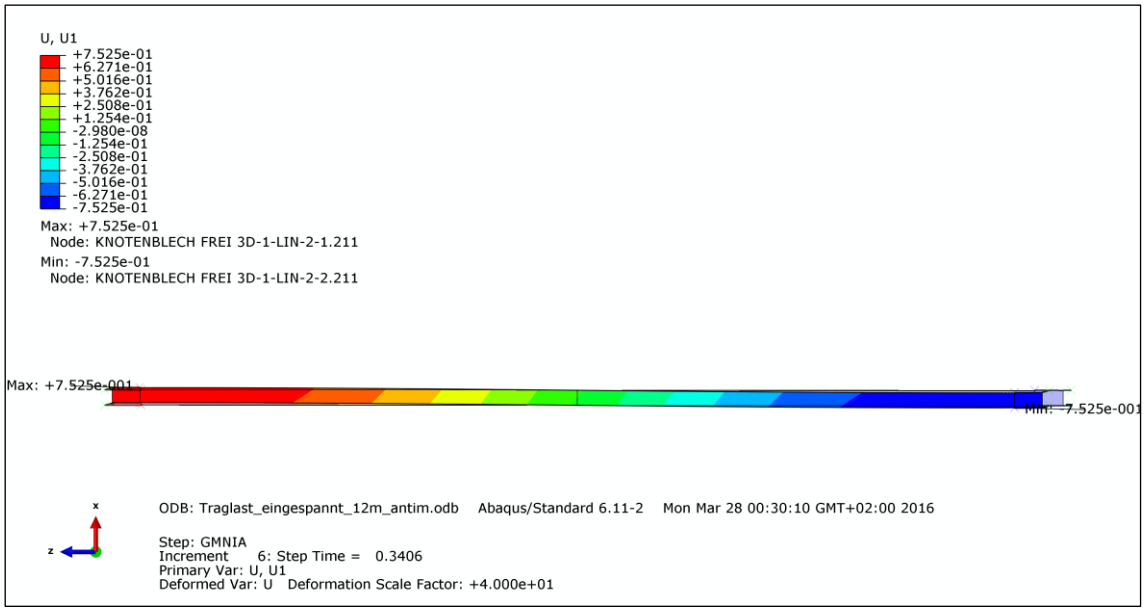
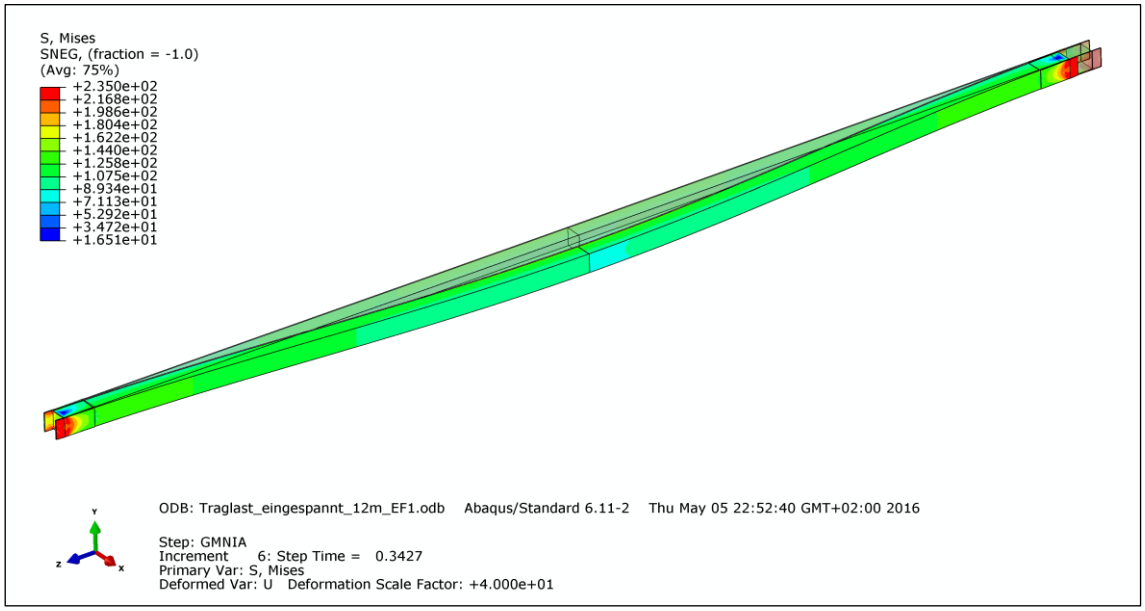
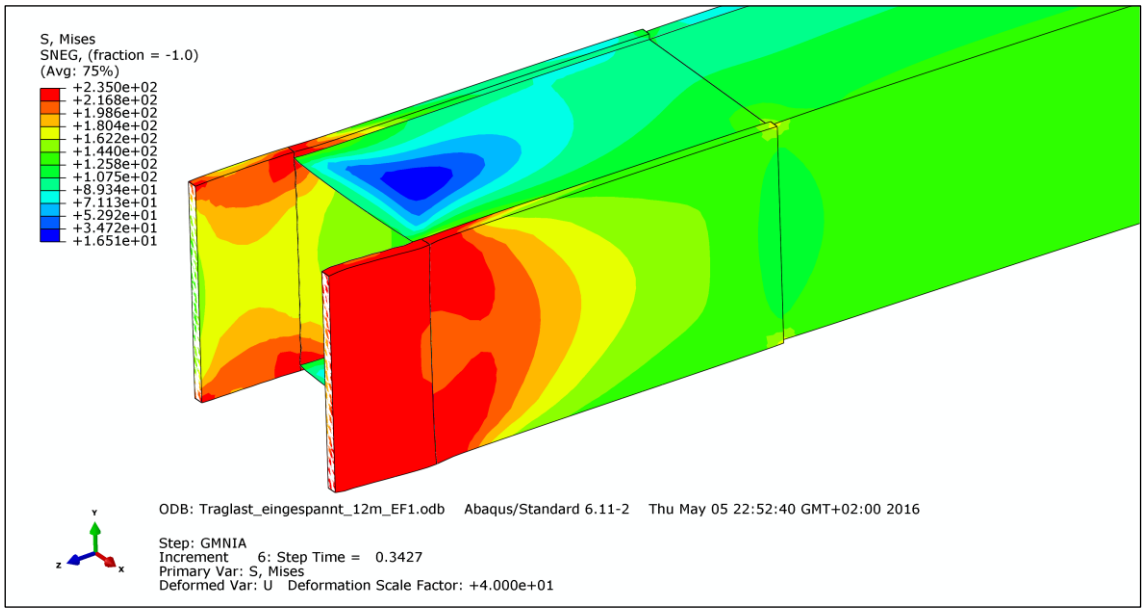


Abbildung 9-34: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





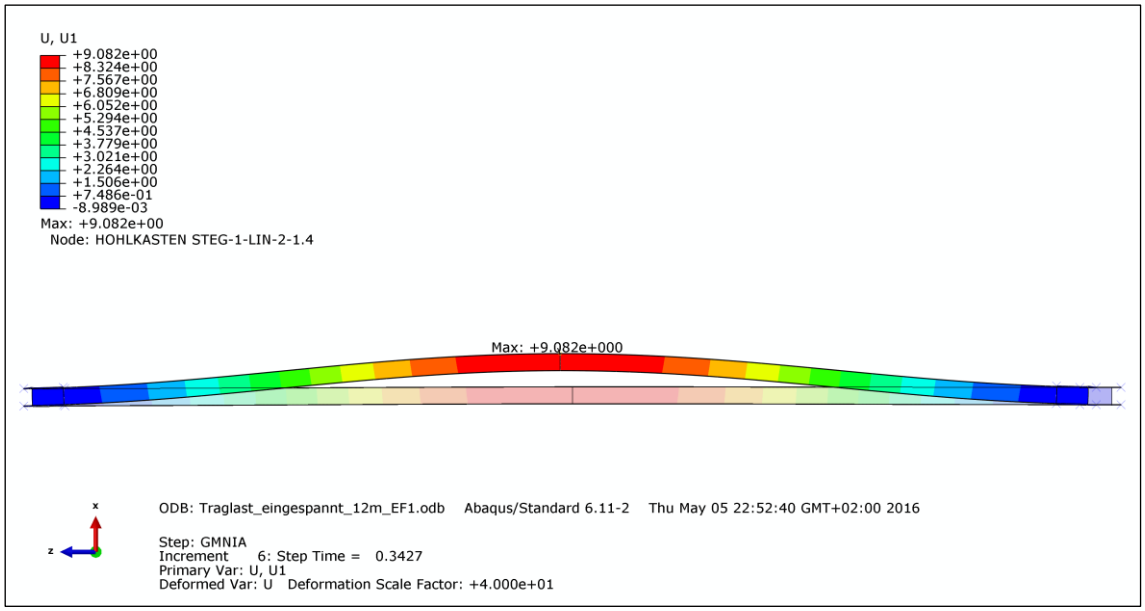
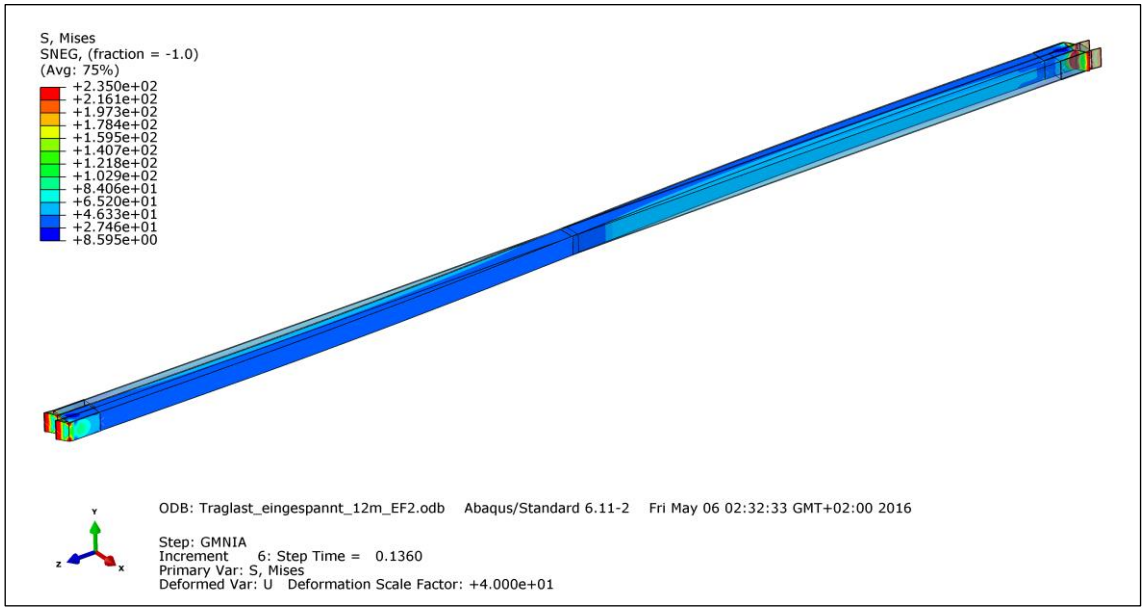
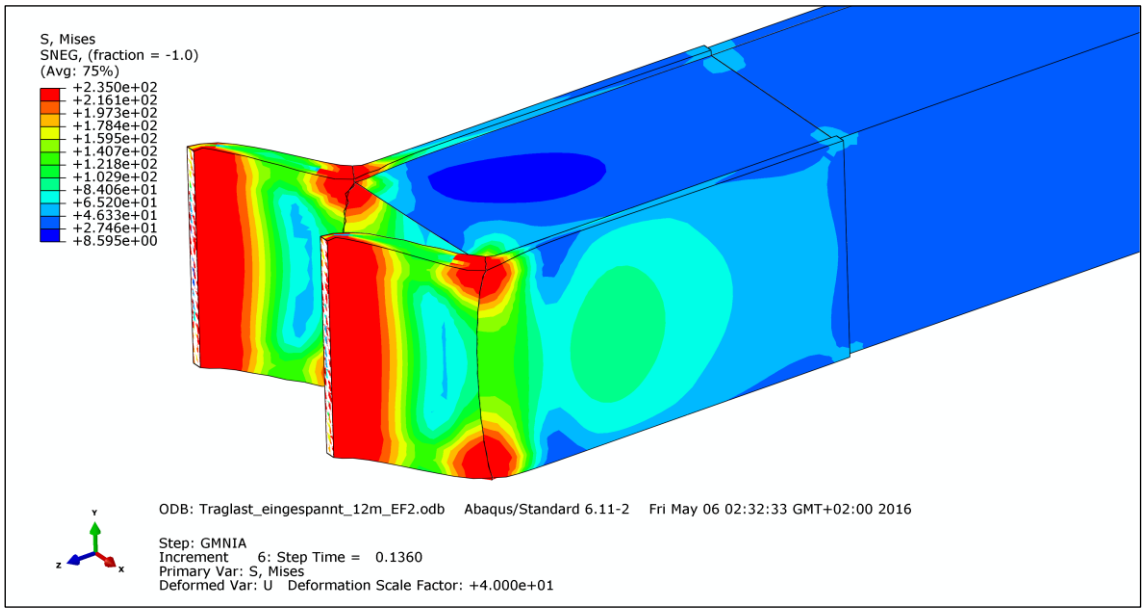


Abbildung 9-35: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





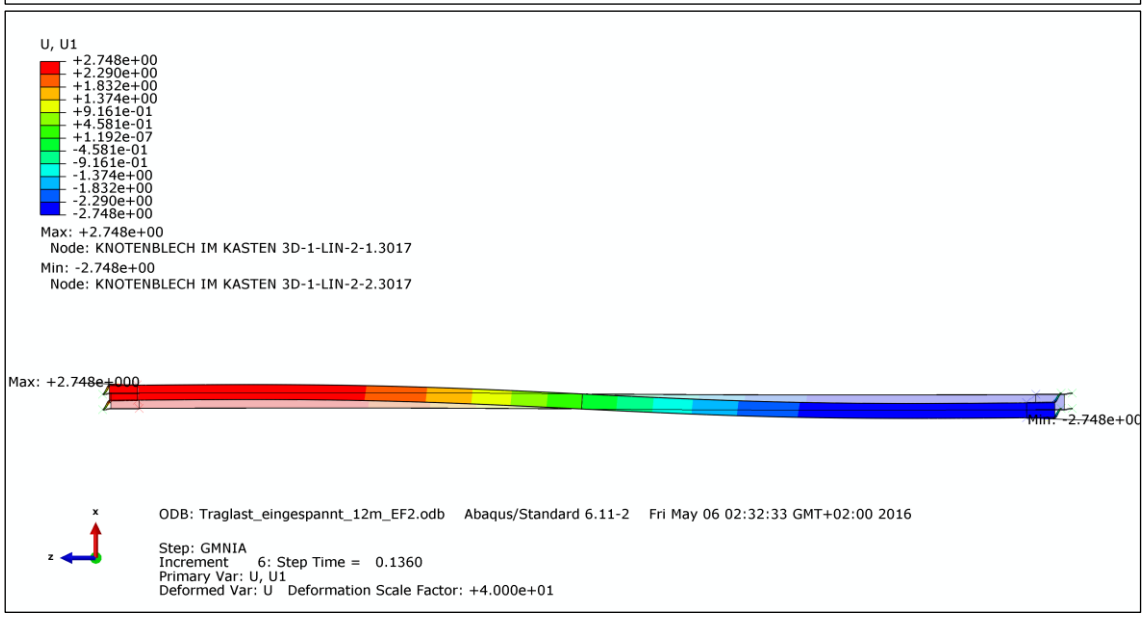
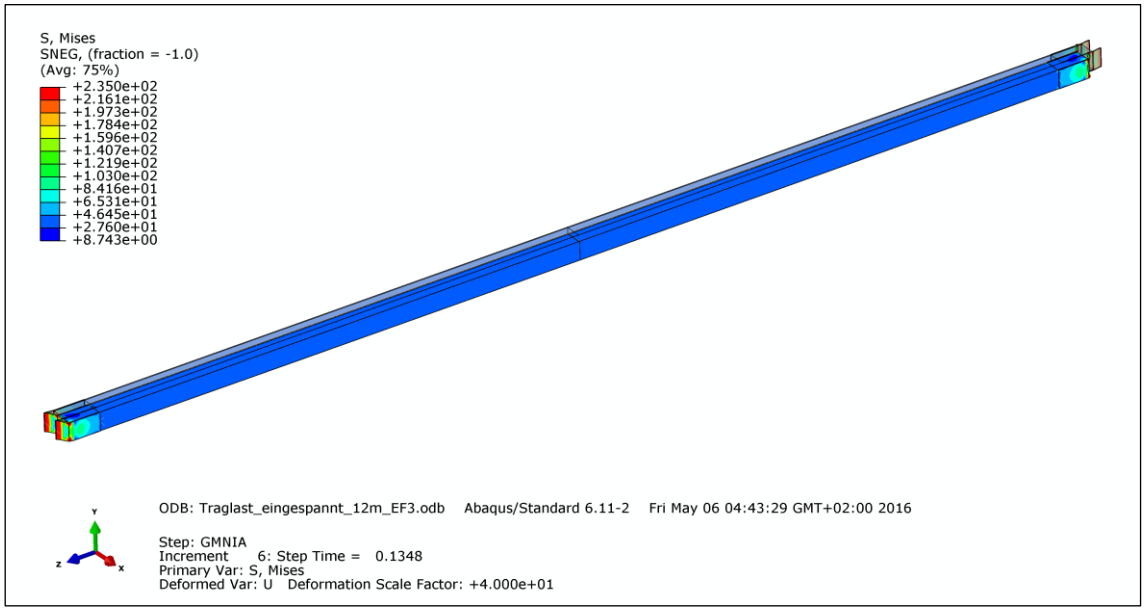
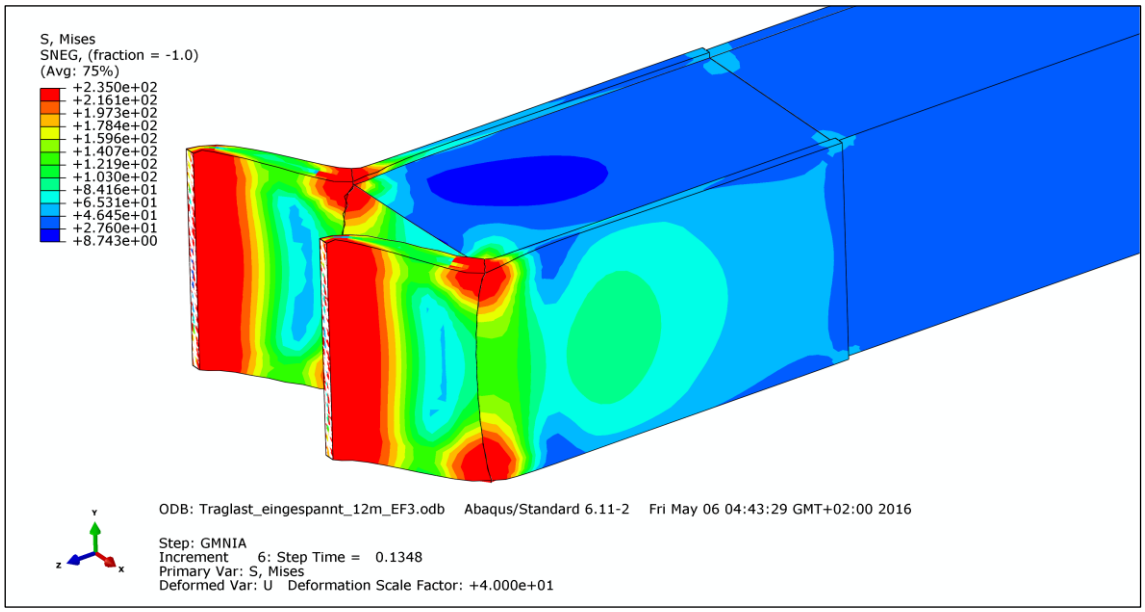


Abbildung 9-36: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





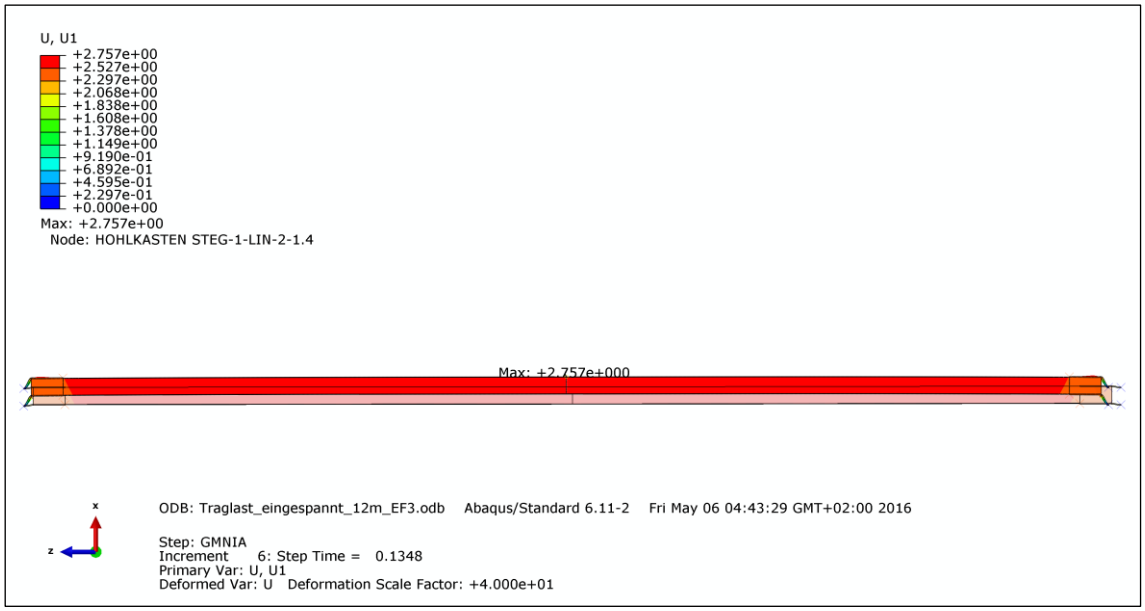
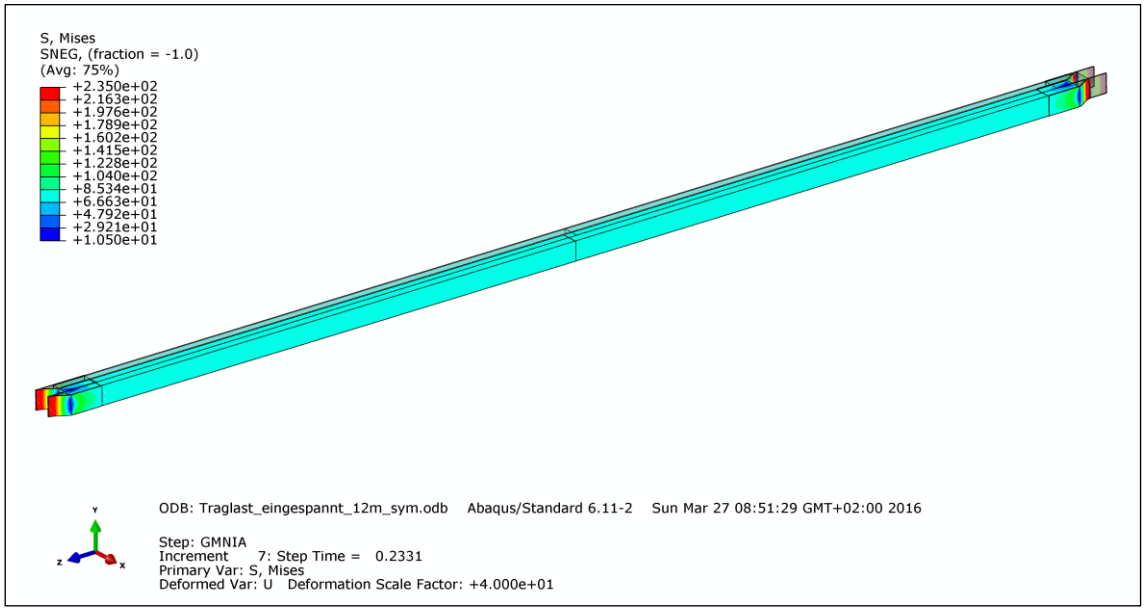
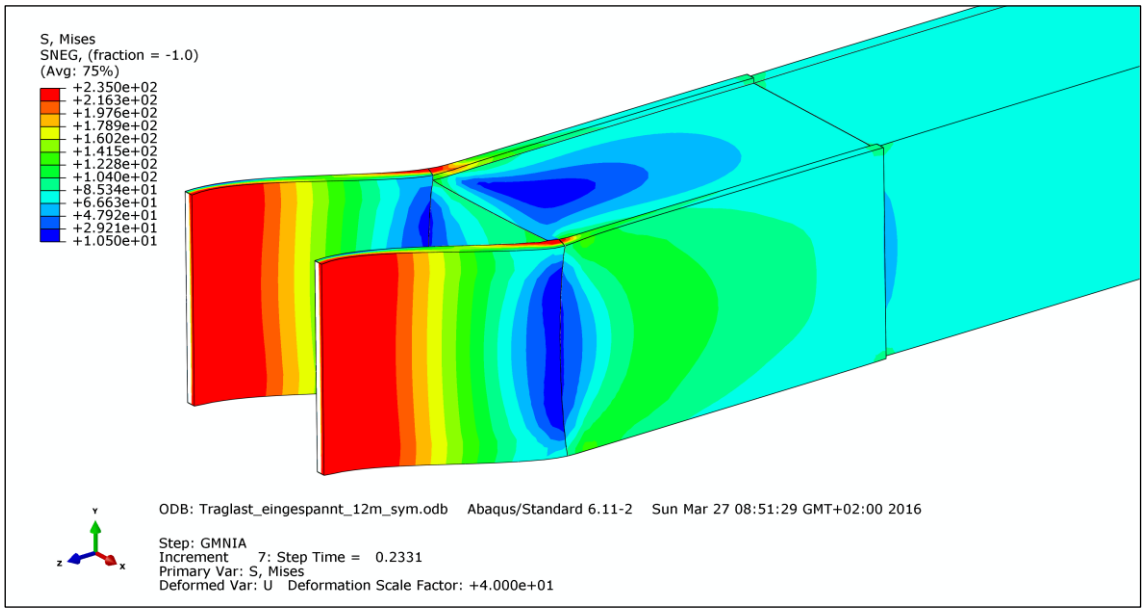


Abbildung 9-37: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





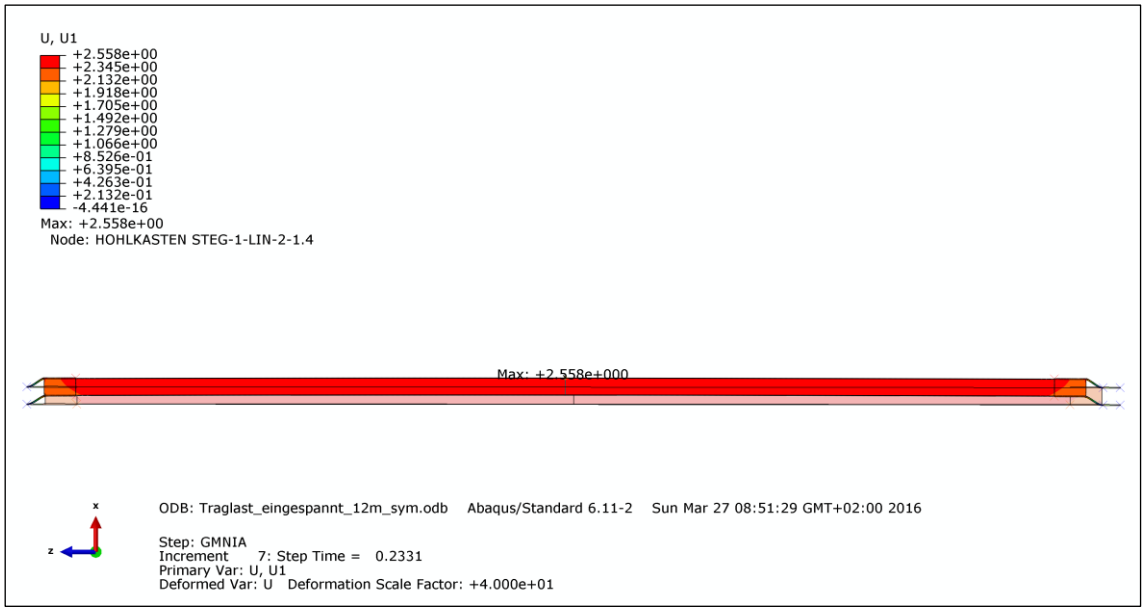
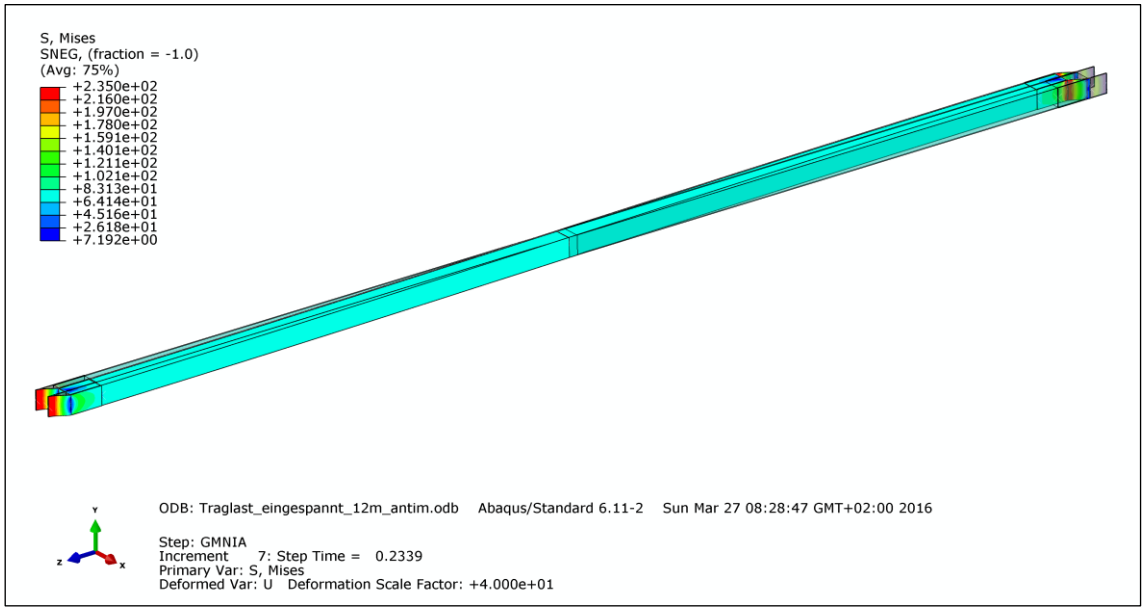
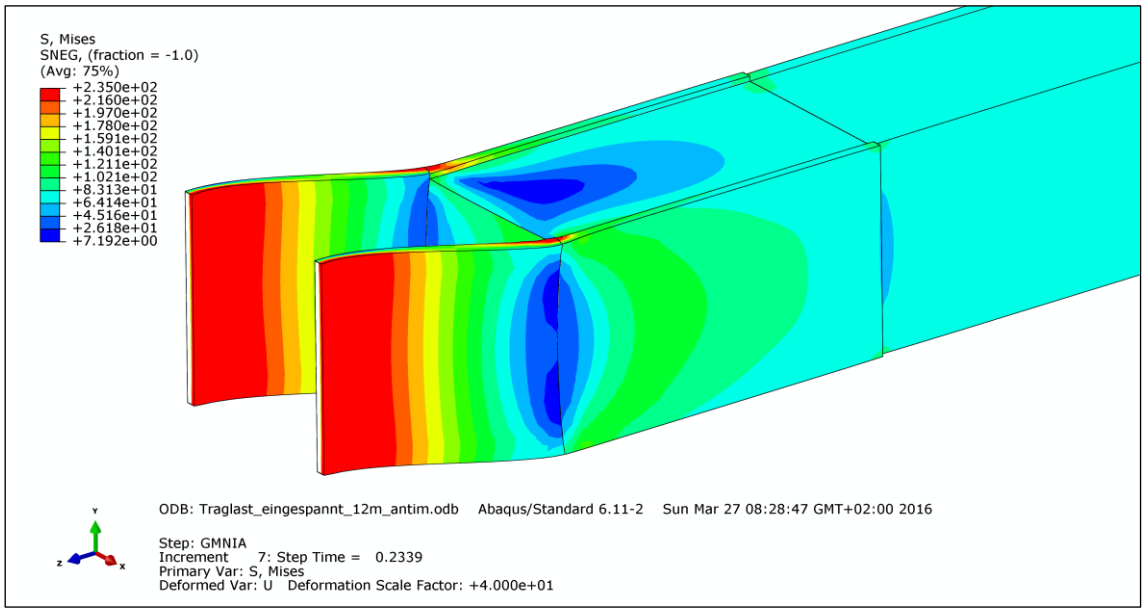


Abbildung 9-38: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





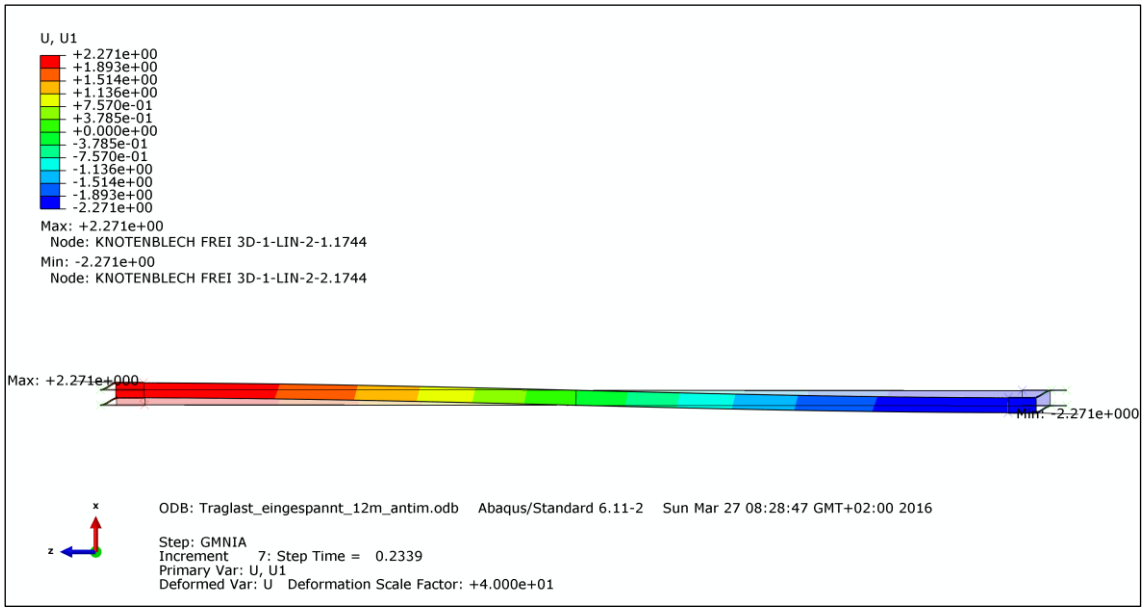
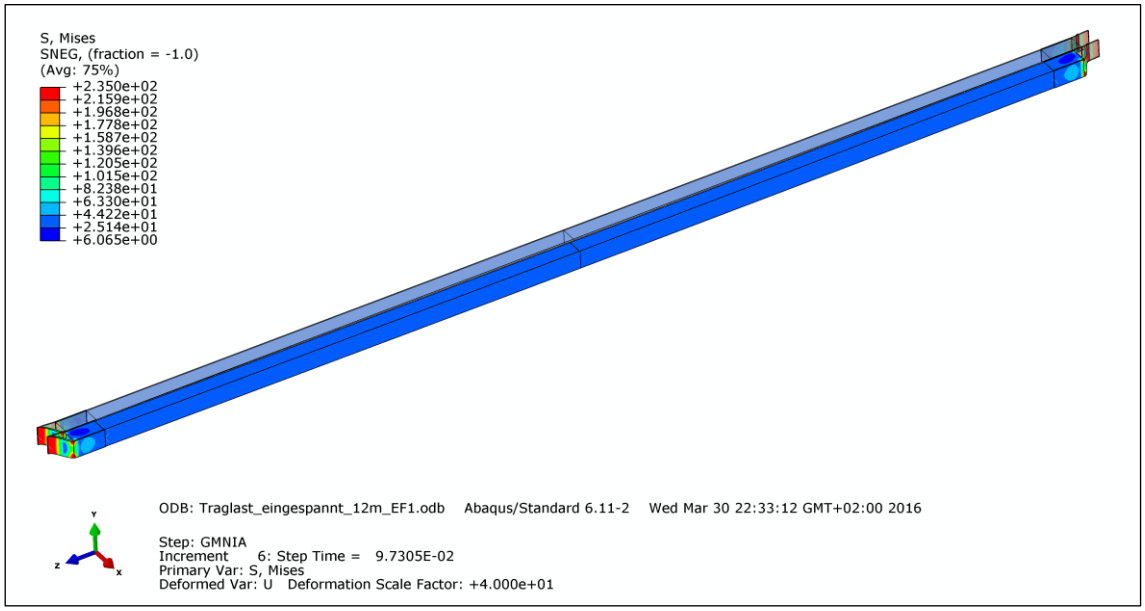
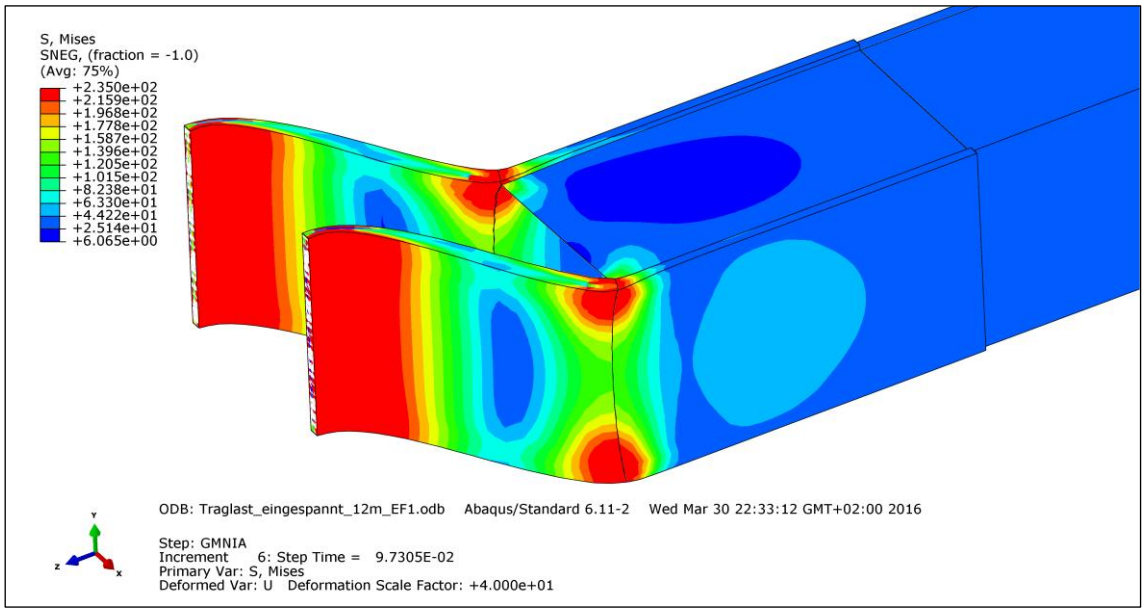


Abbildung 9-39: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





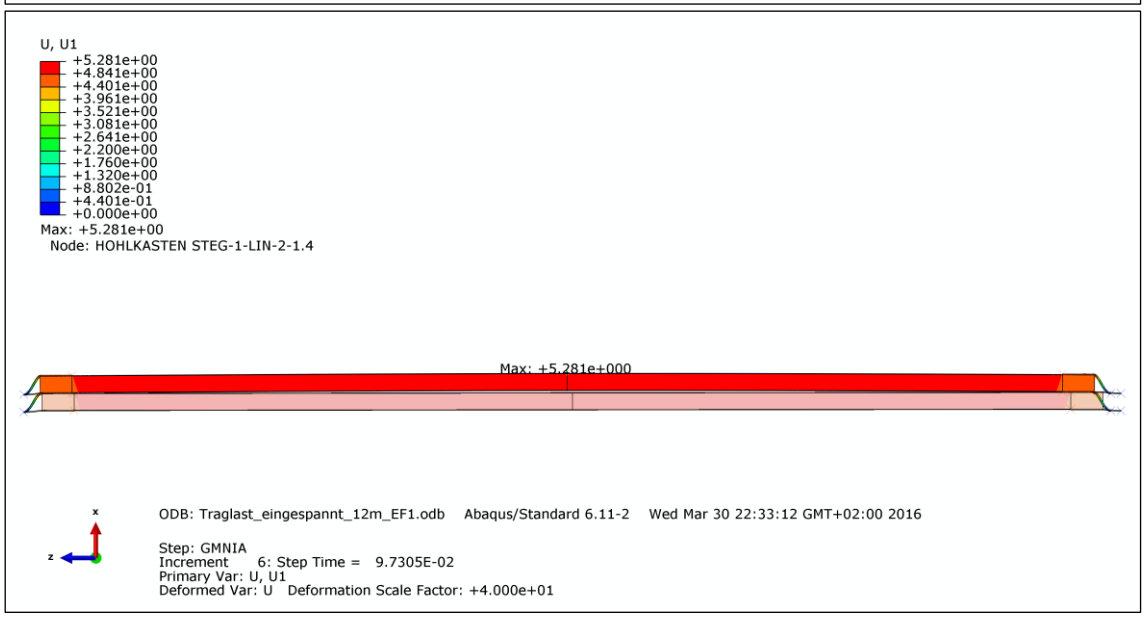
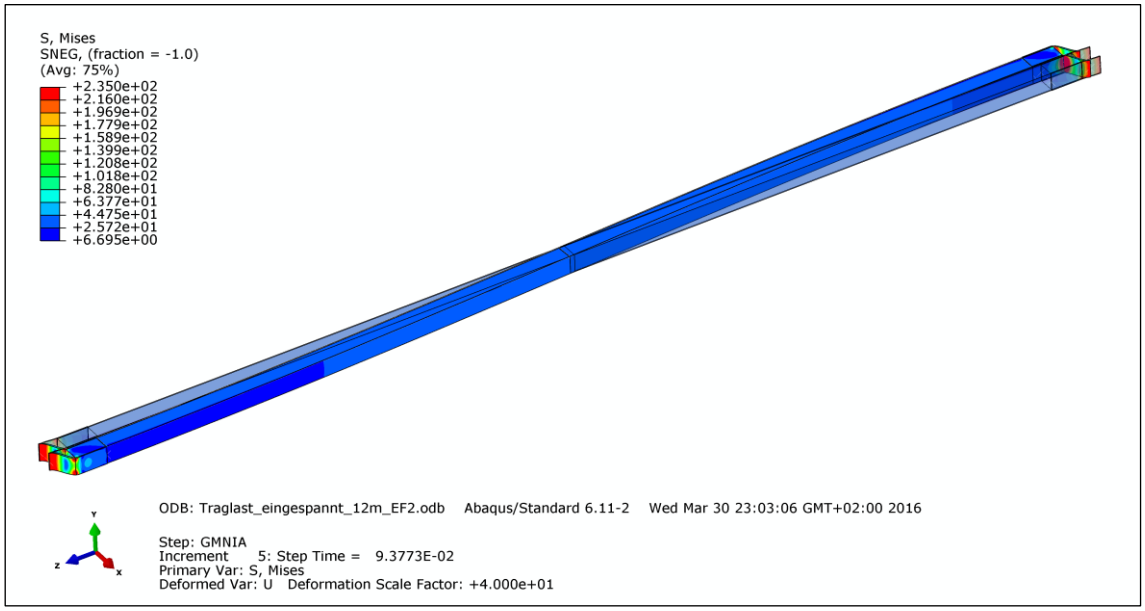
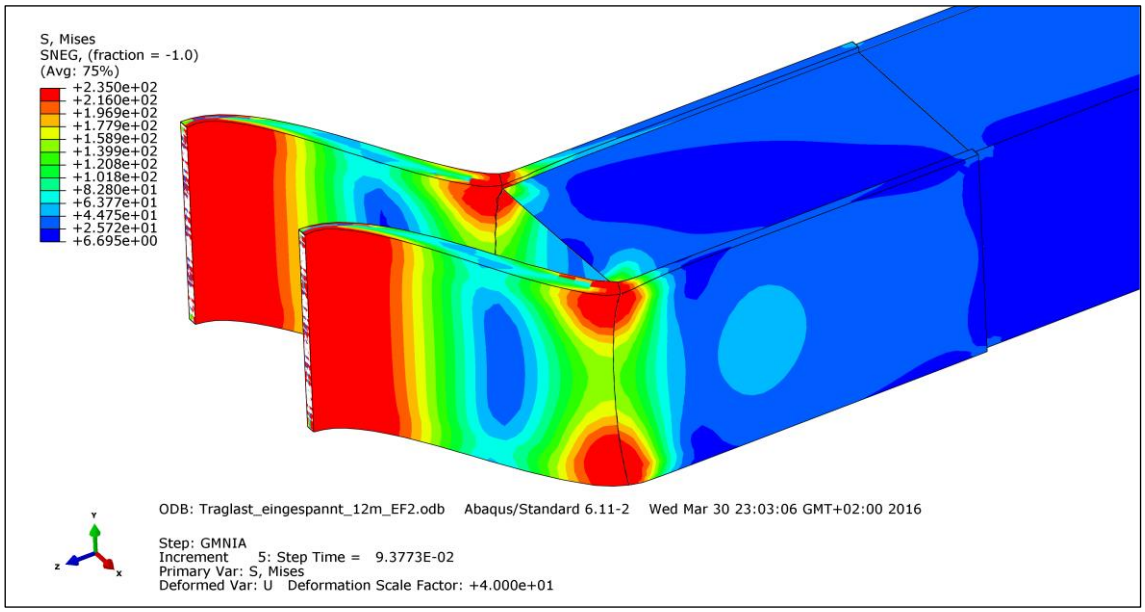


Abbildung 9-40: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





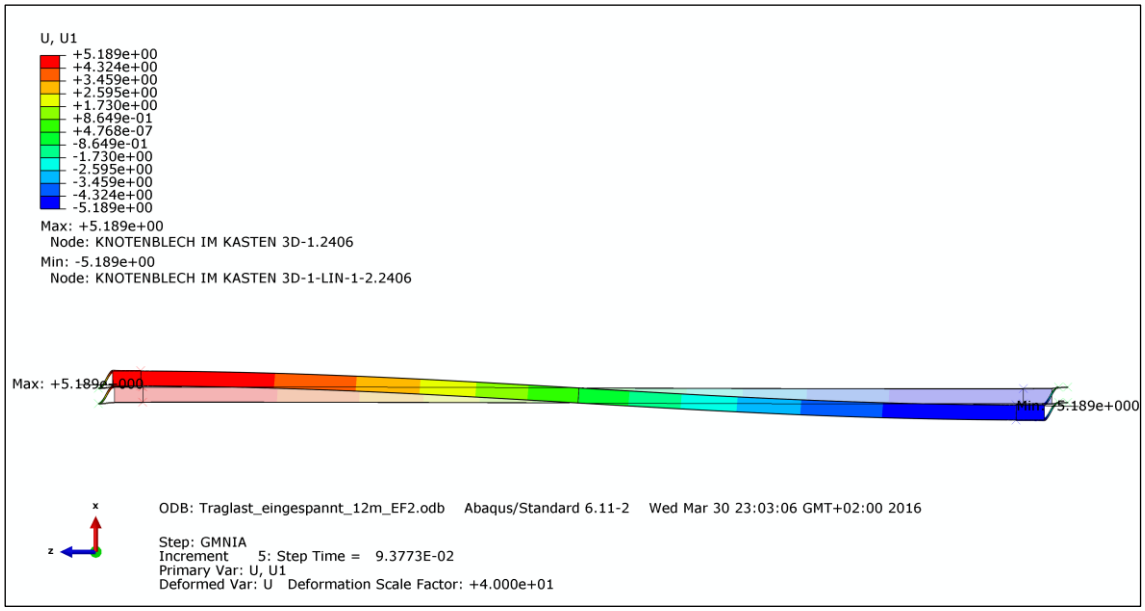
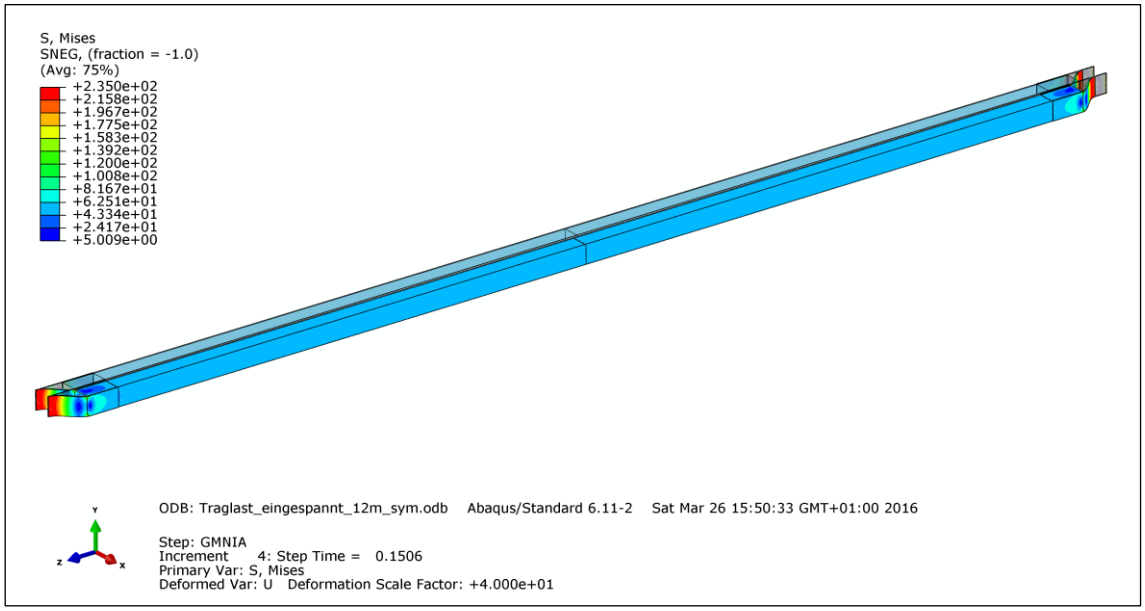
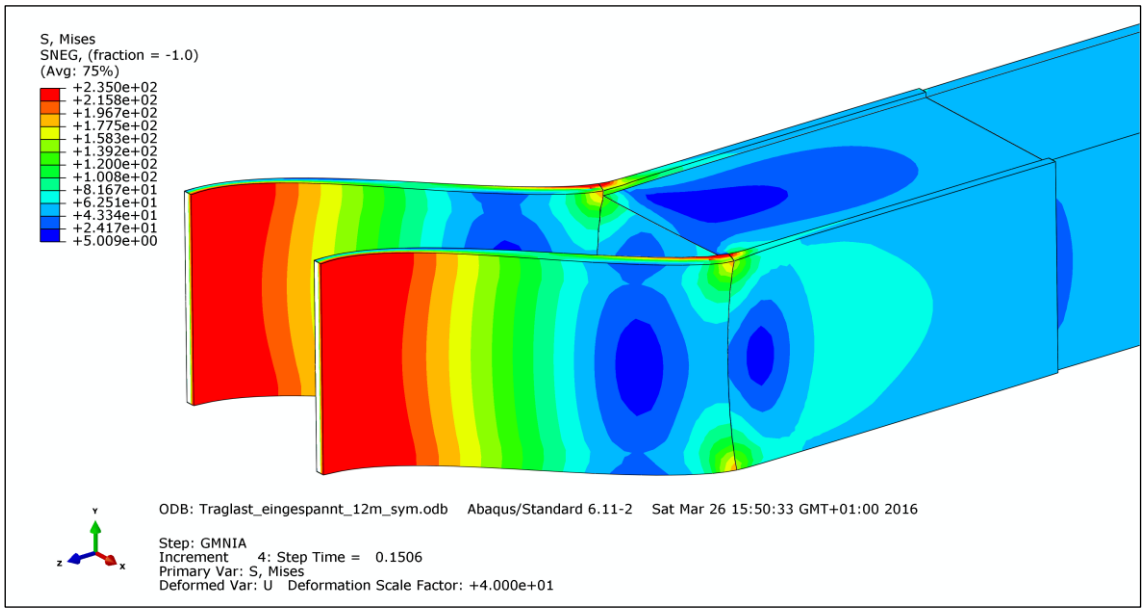


Abbildung 9-41: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





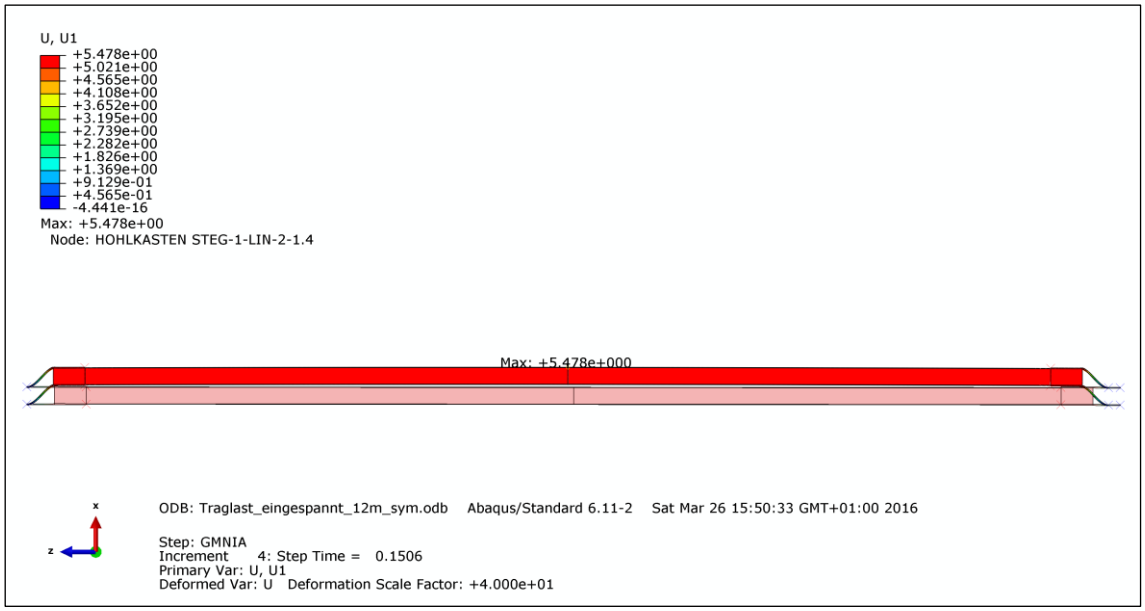


Abbildung 9-42: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)

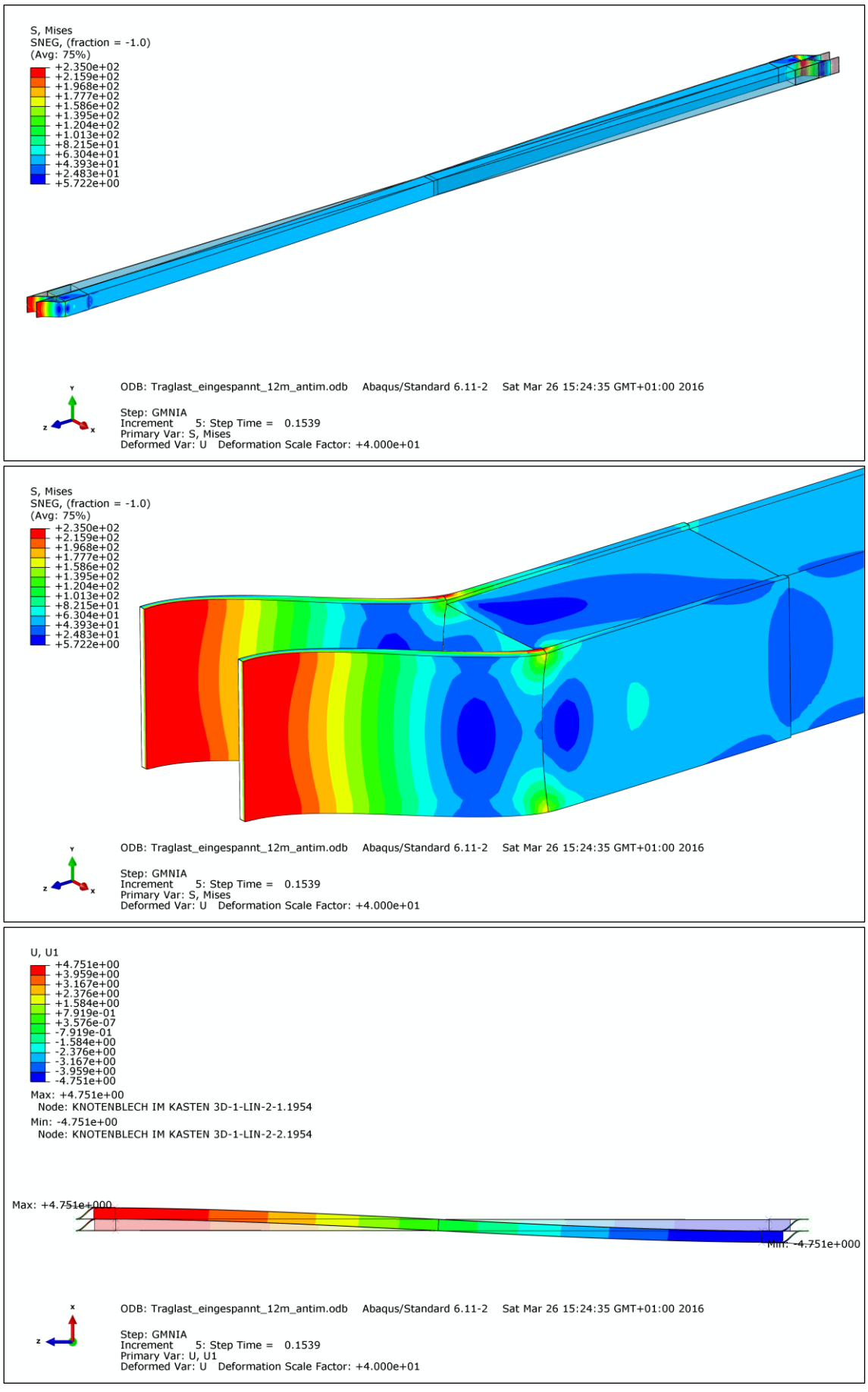
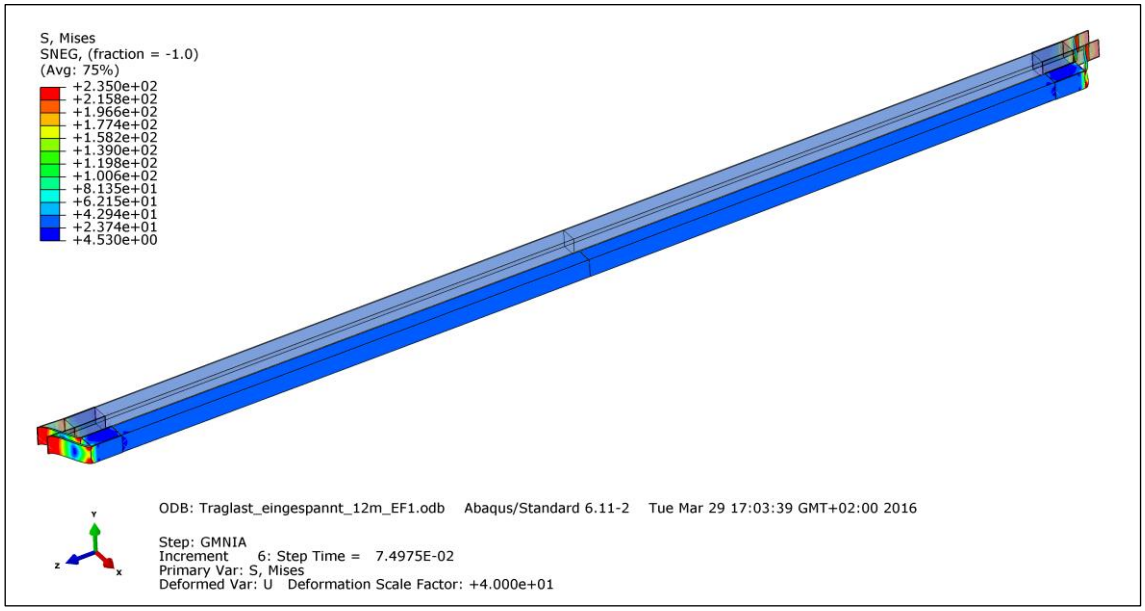
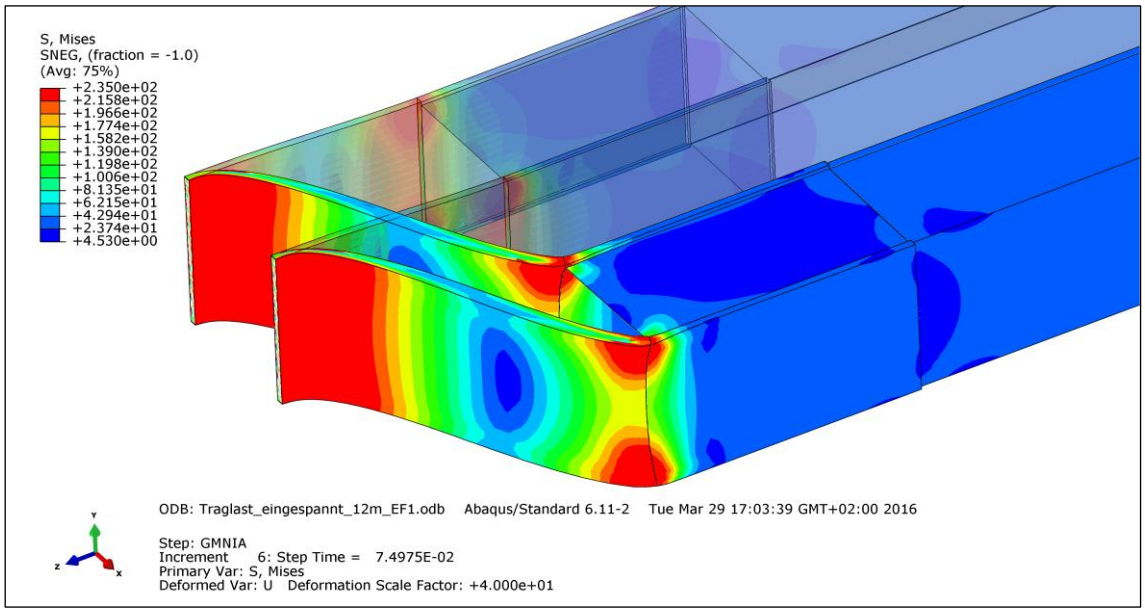


Abbildung 9-43: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





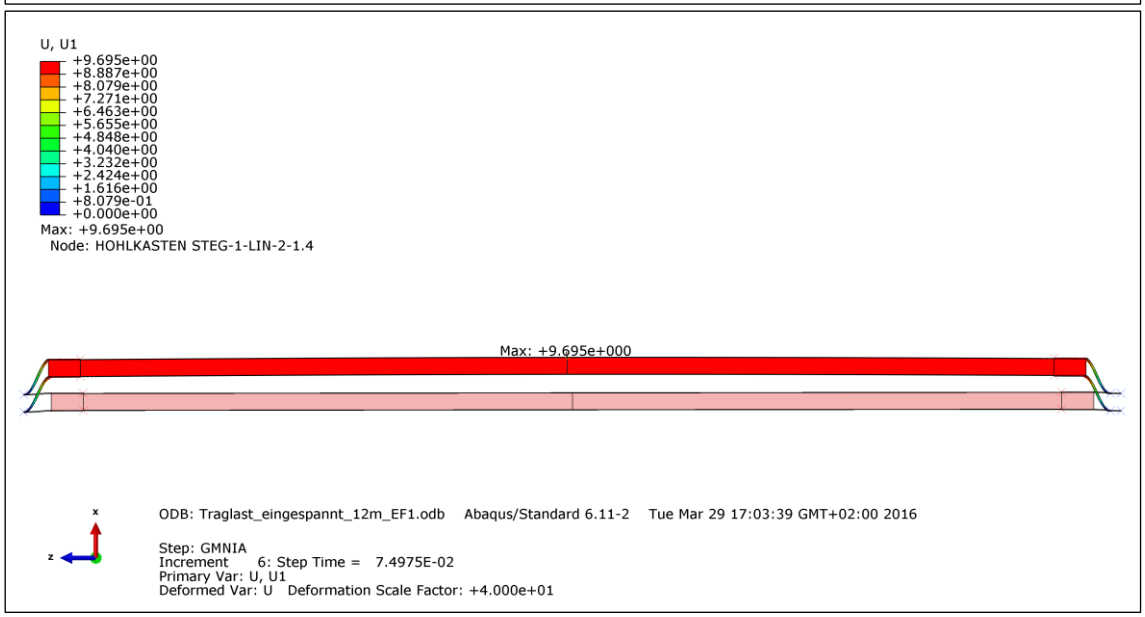
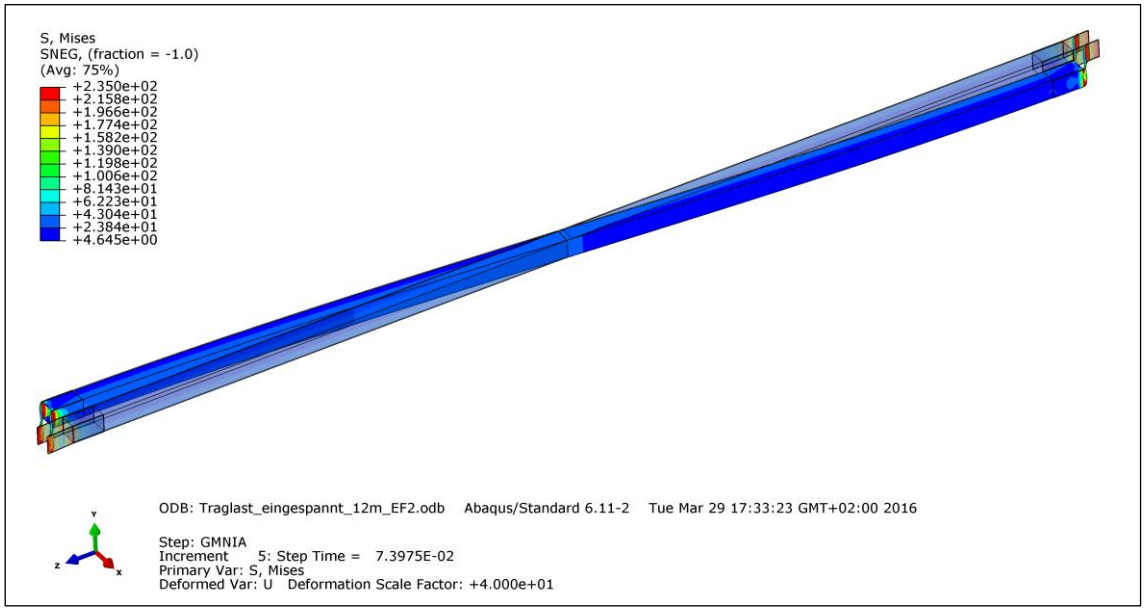
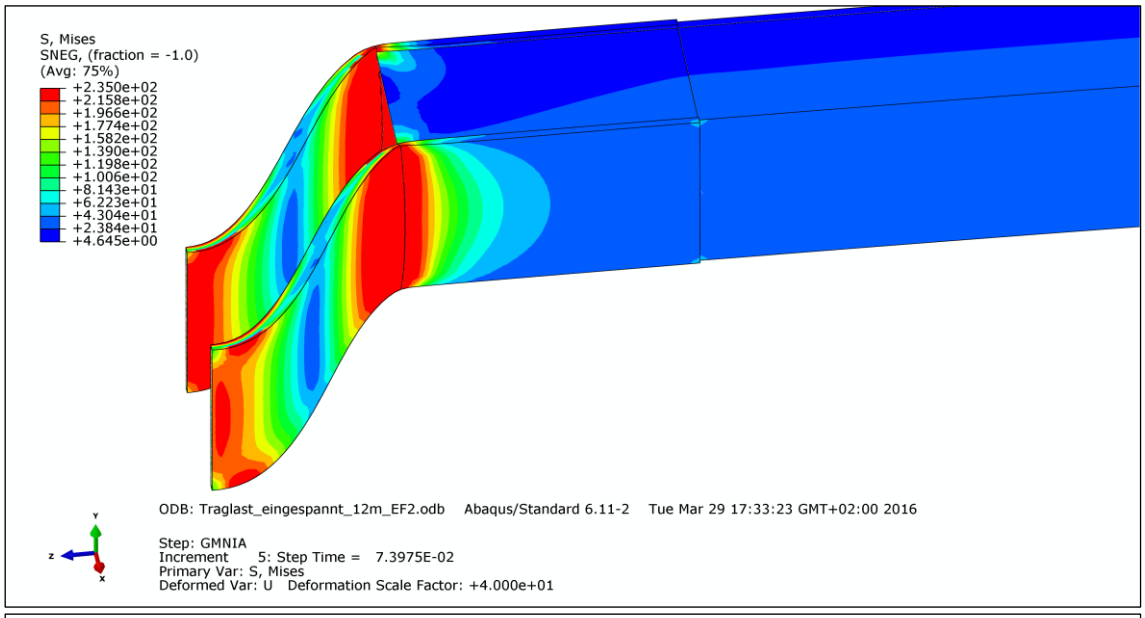


Abbildung 9-44: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





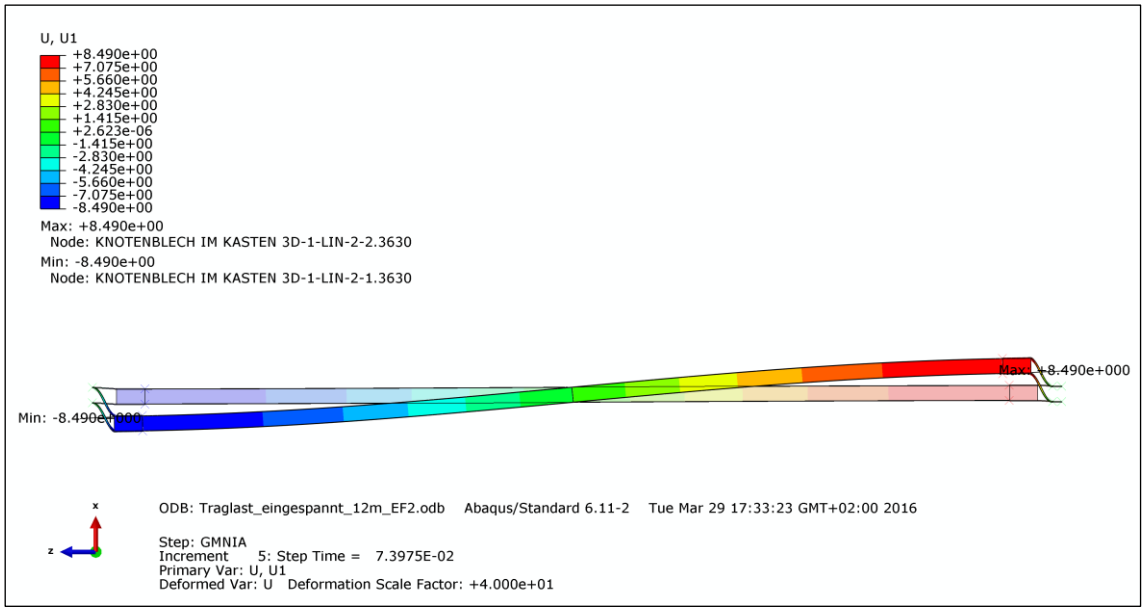
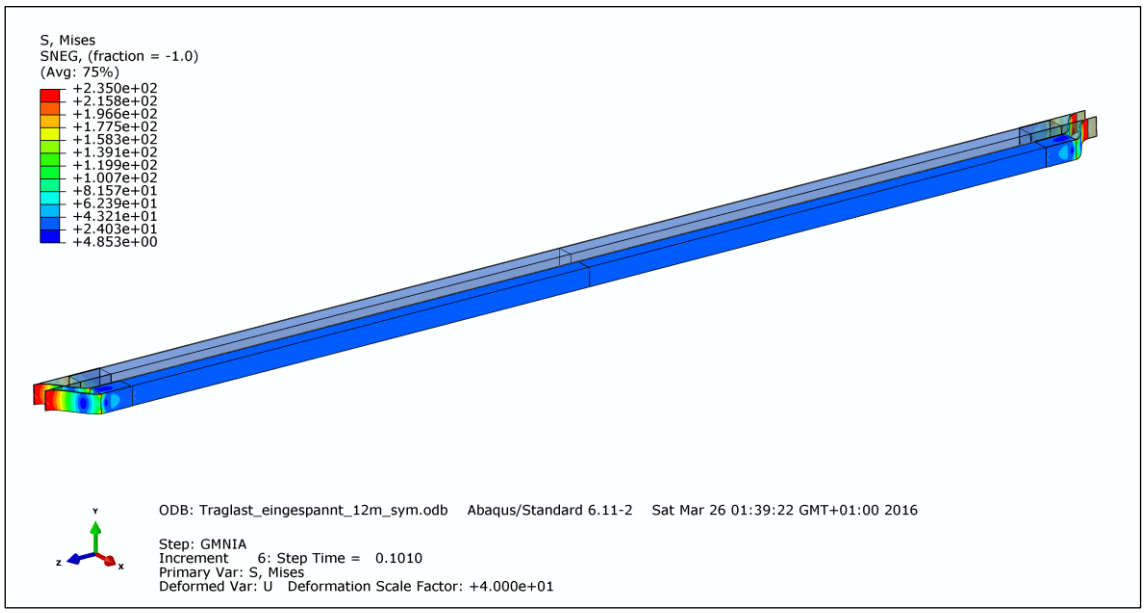
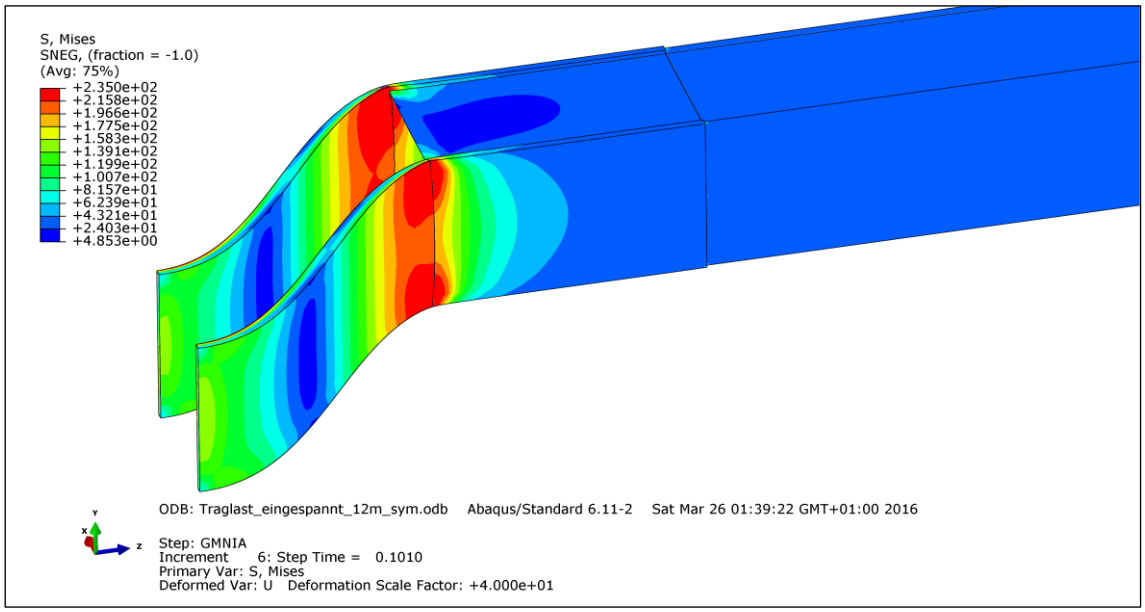


Abbildung 9-45: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





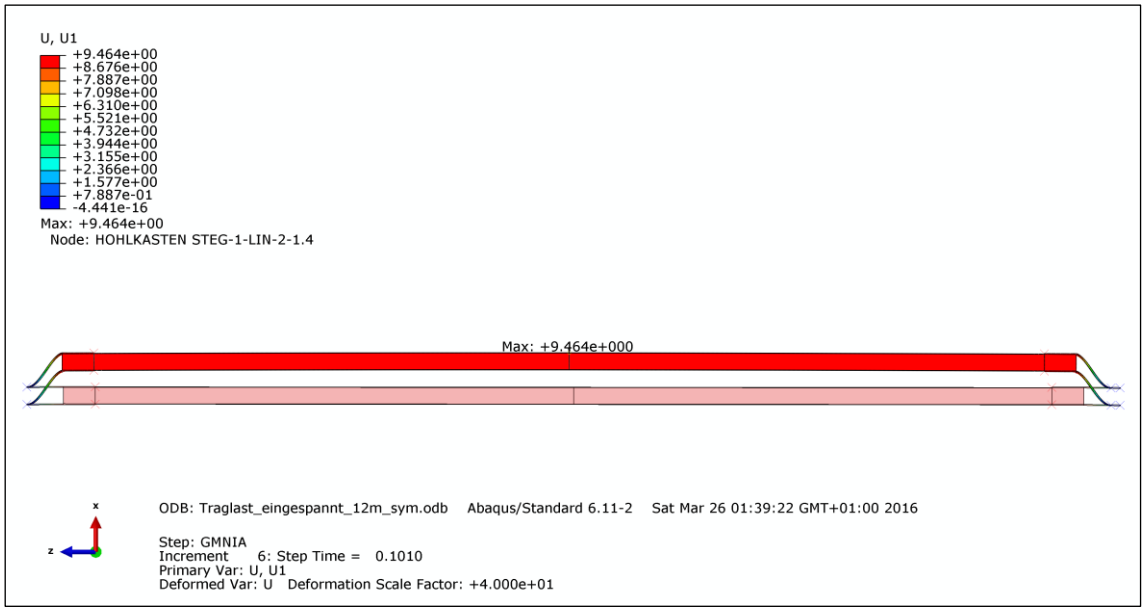
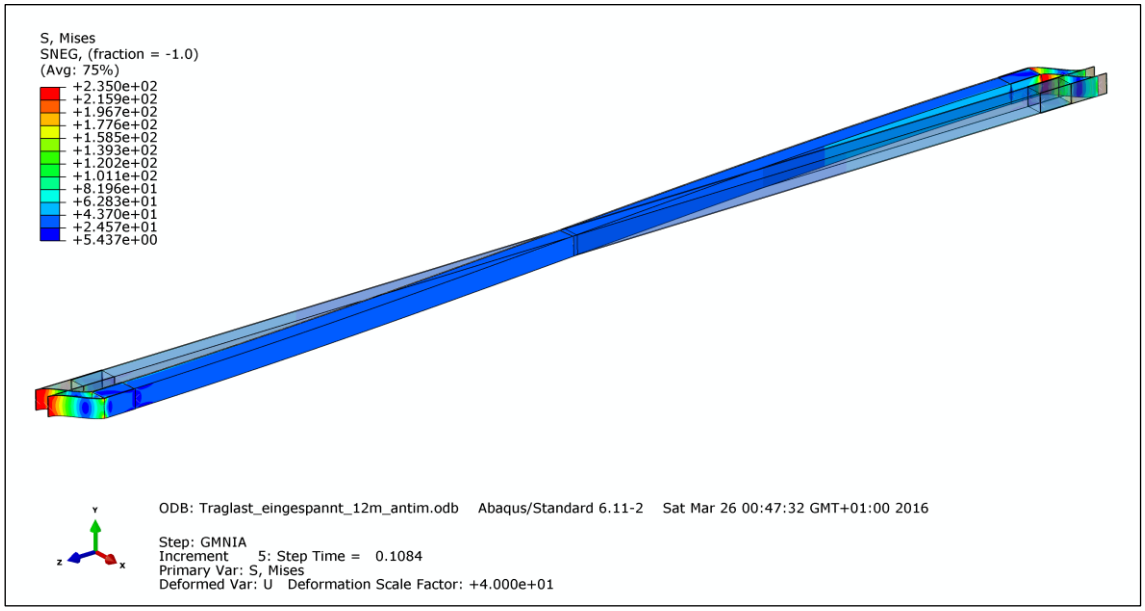
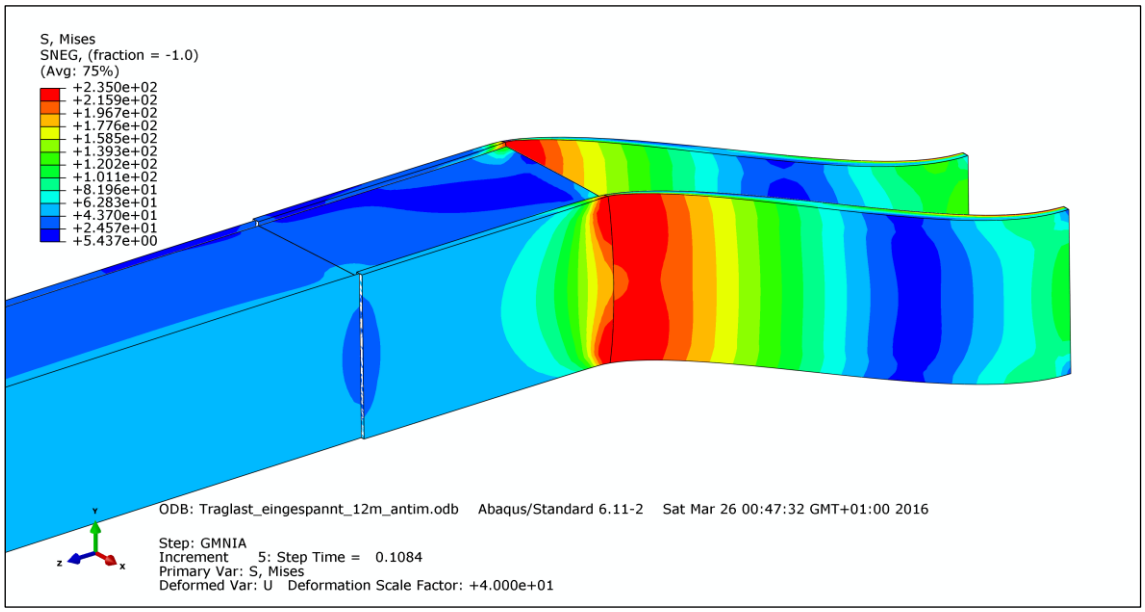


Abbildung 9-46: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





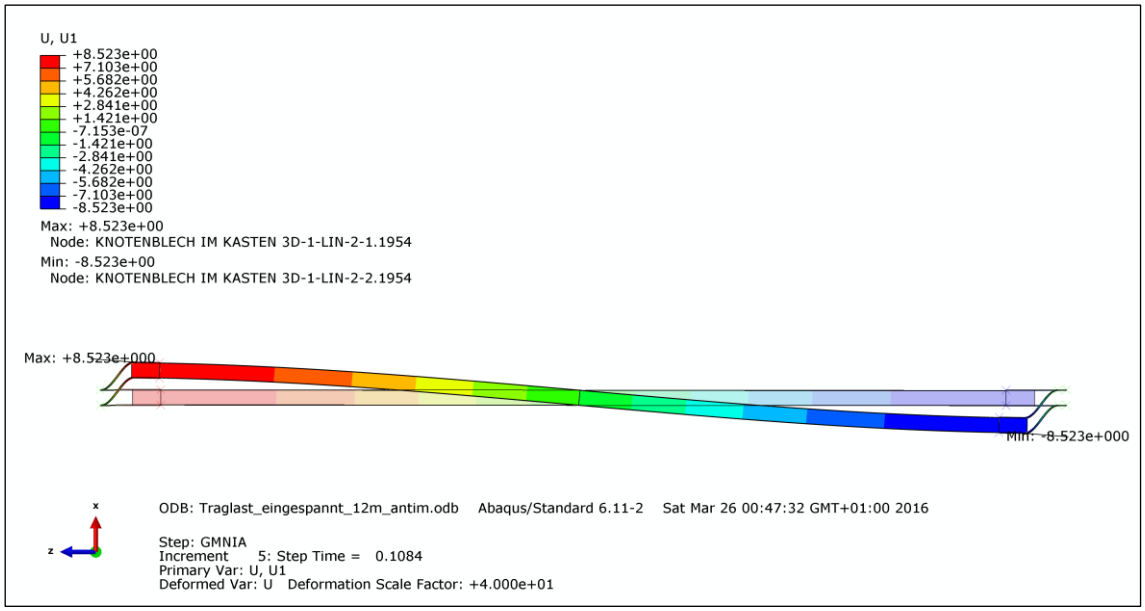
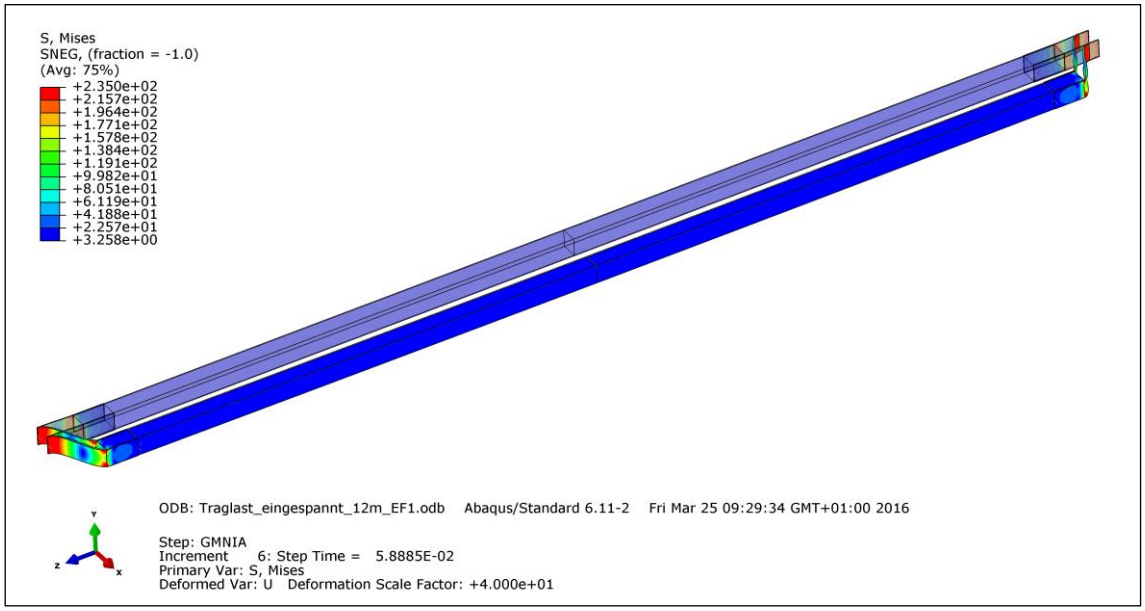
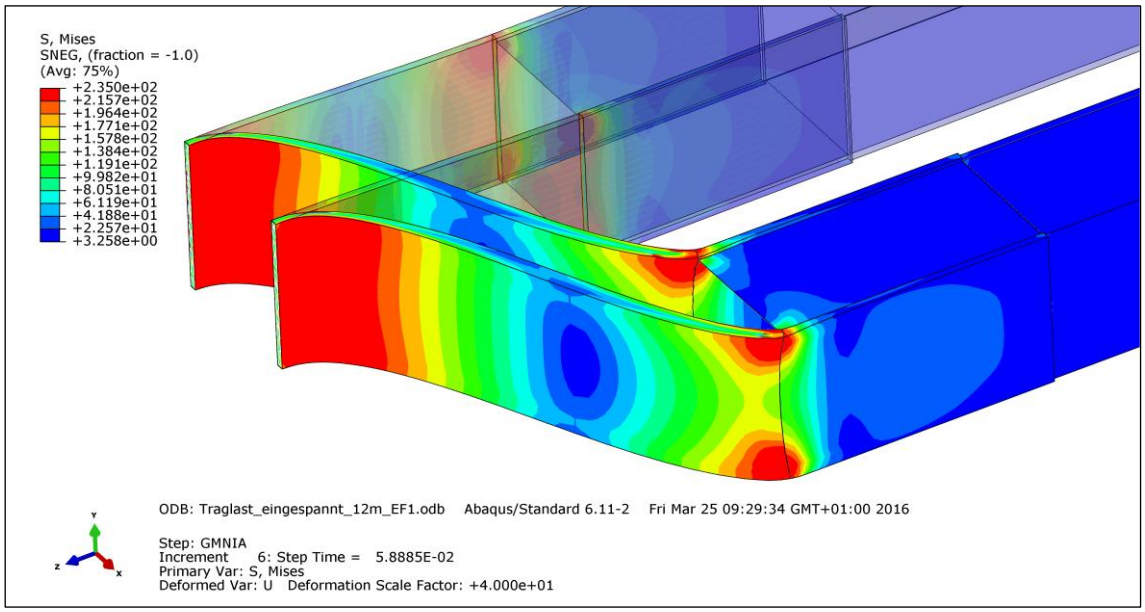


Abbildung 9-47: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





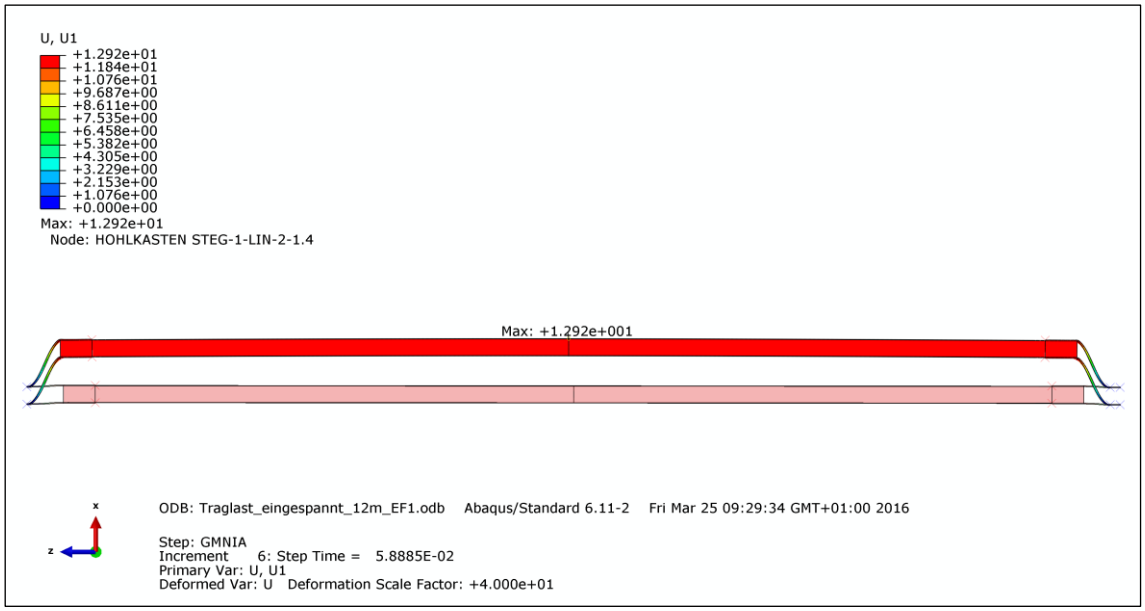
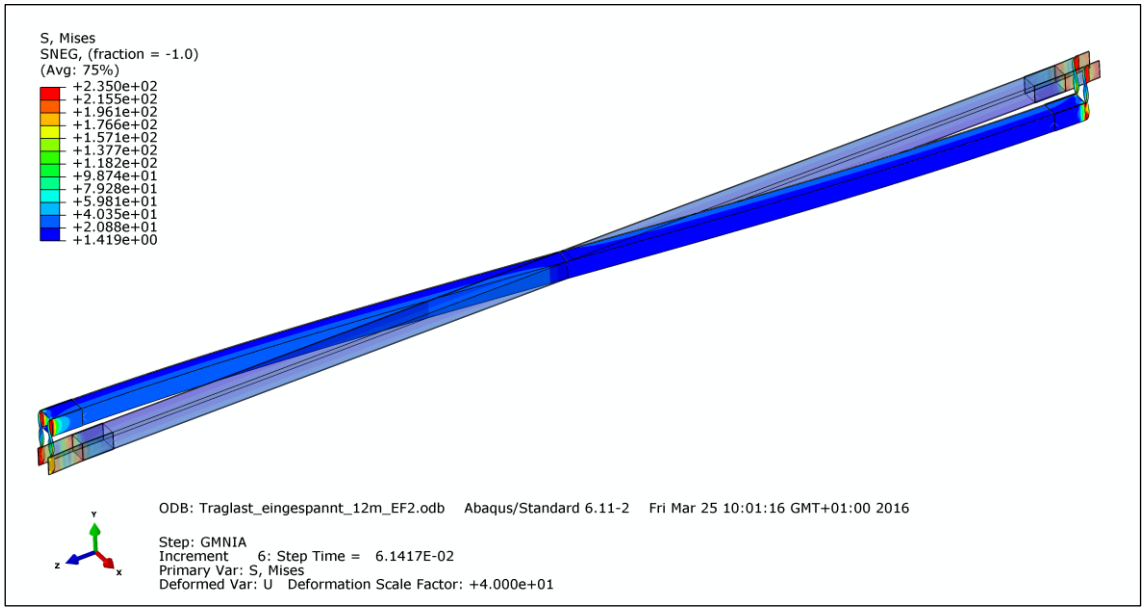
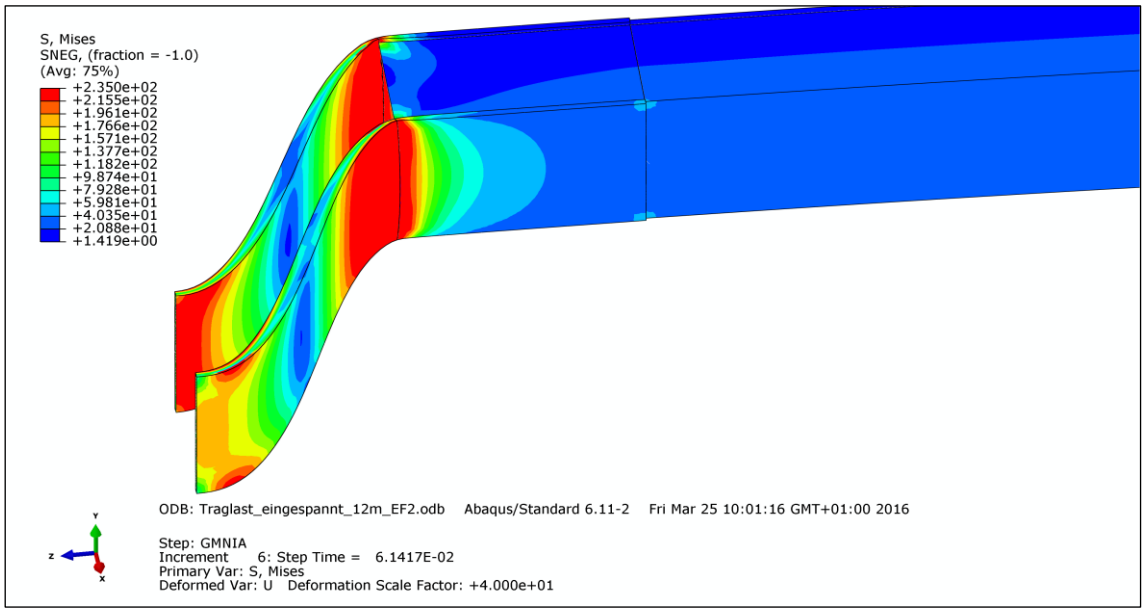


Abbildung 9-48: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





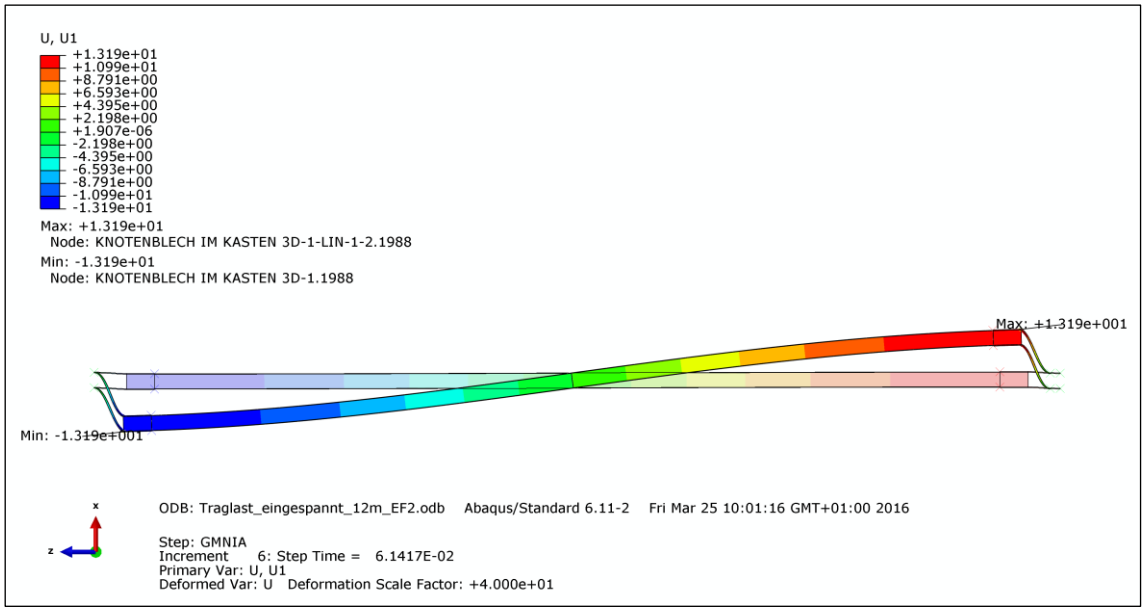
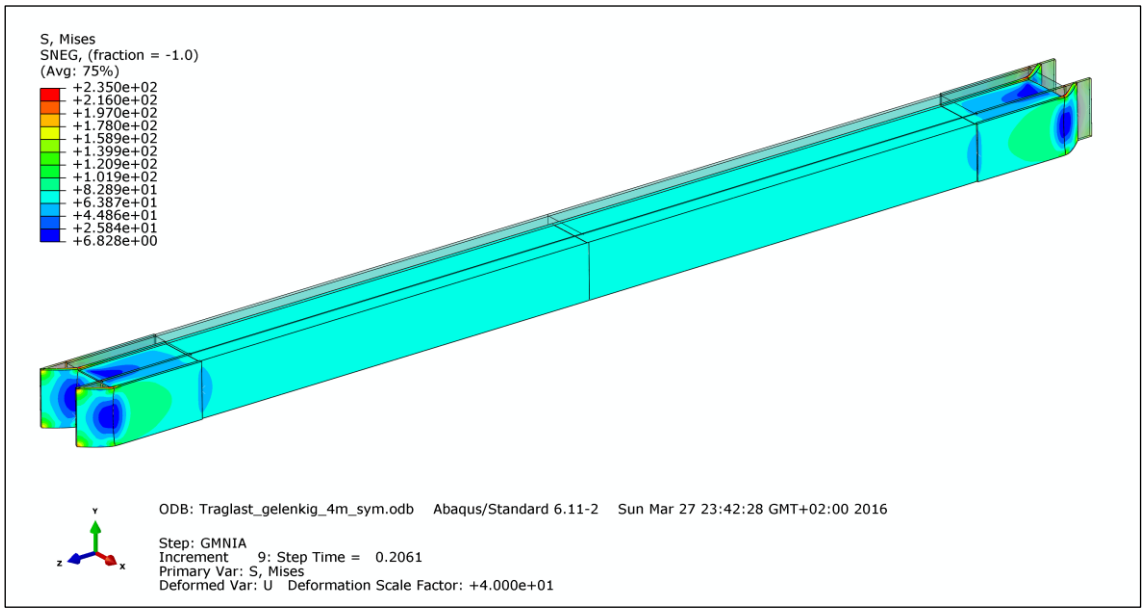
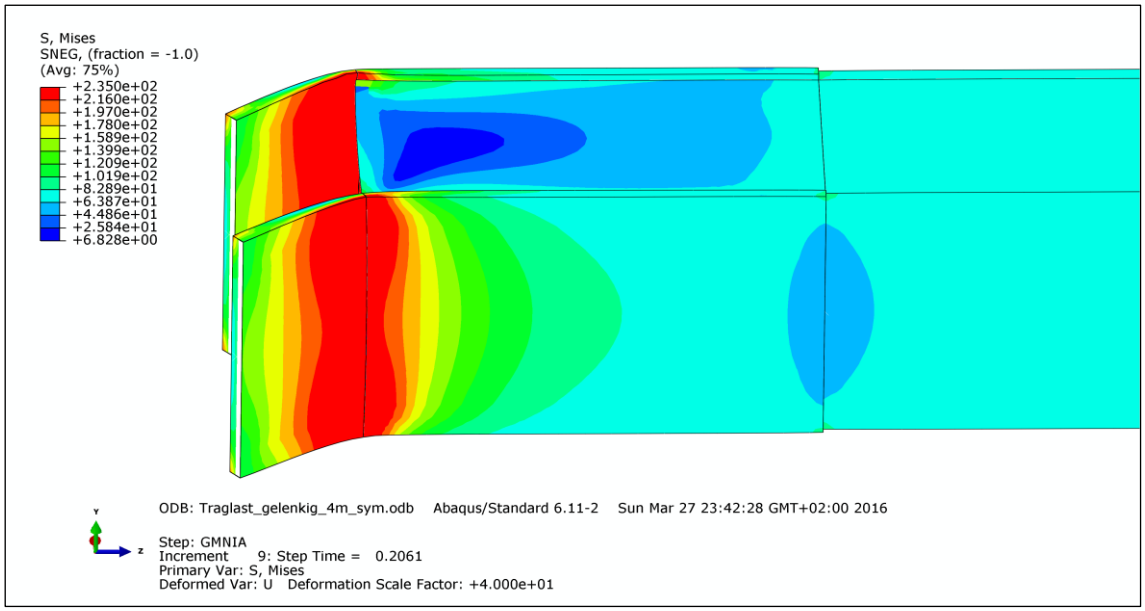


Abbildung 9-49: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm**





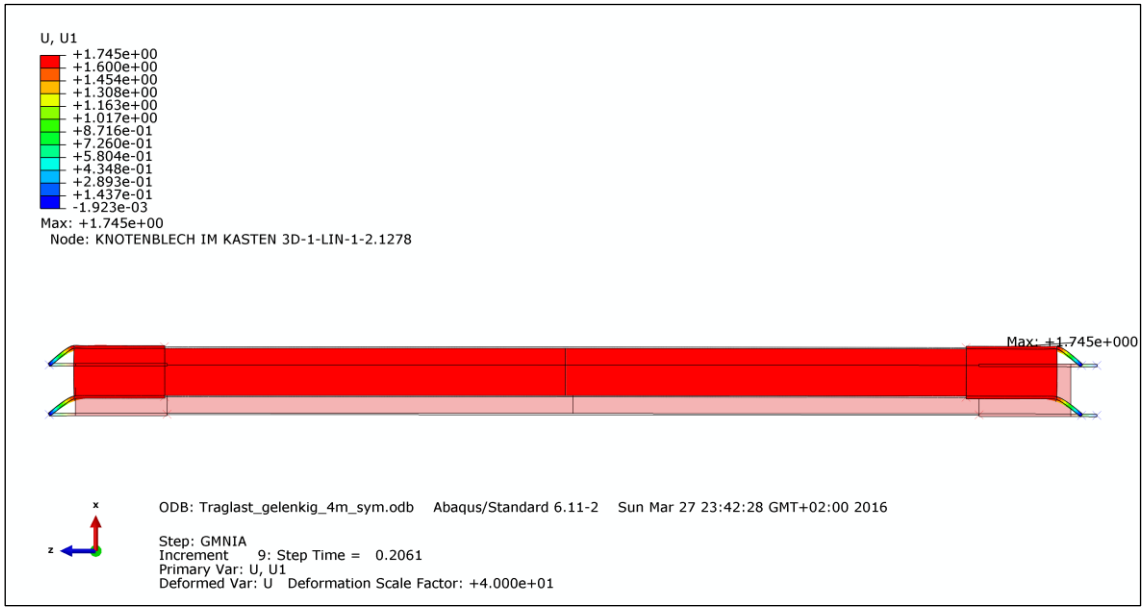


Abbildung 9-50: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)

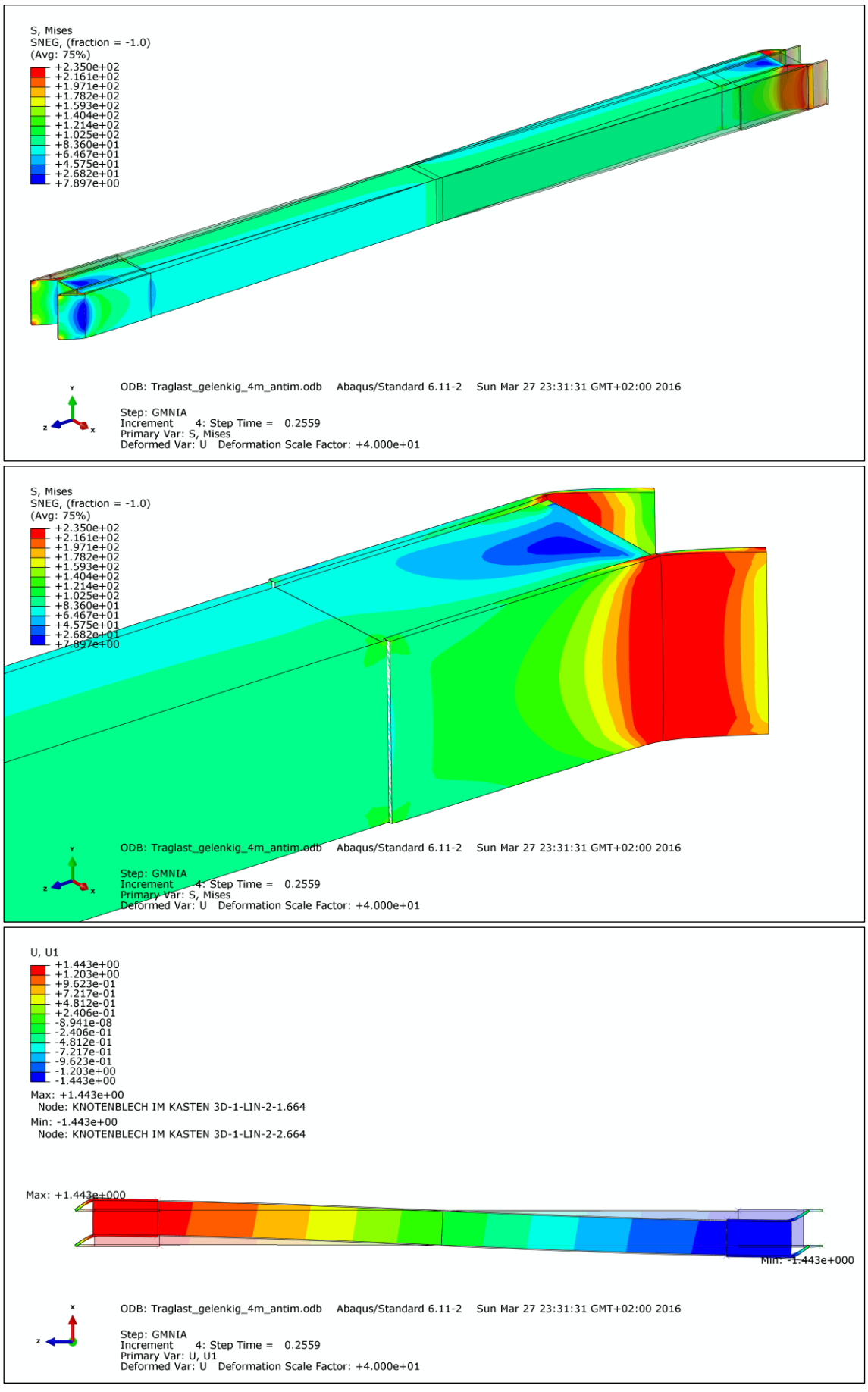


Abbildung 9-51: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)

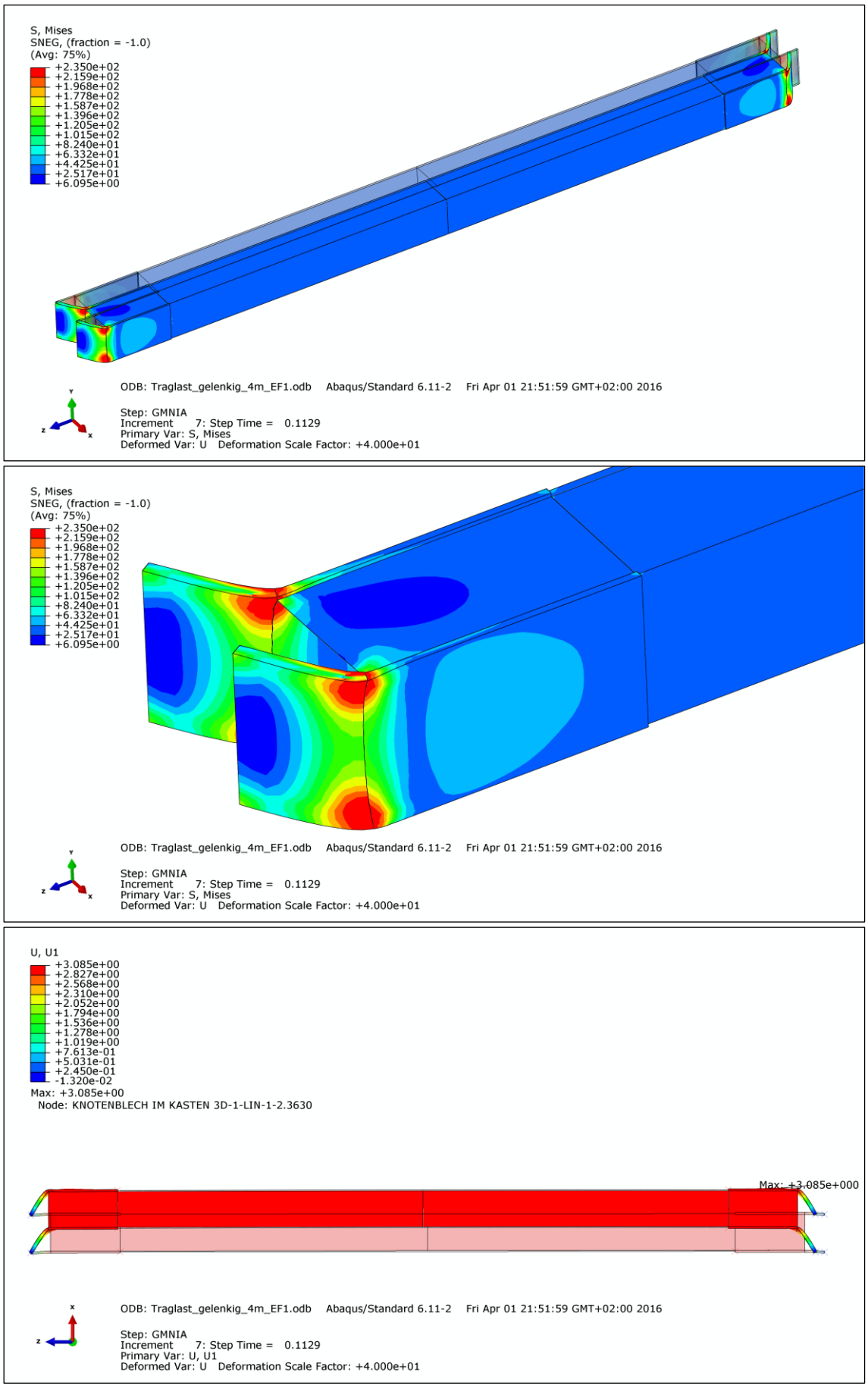
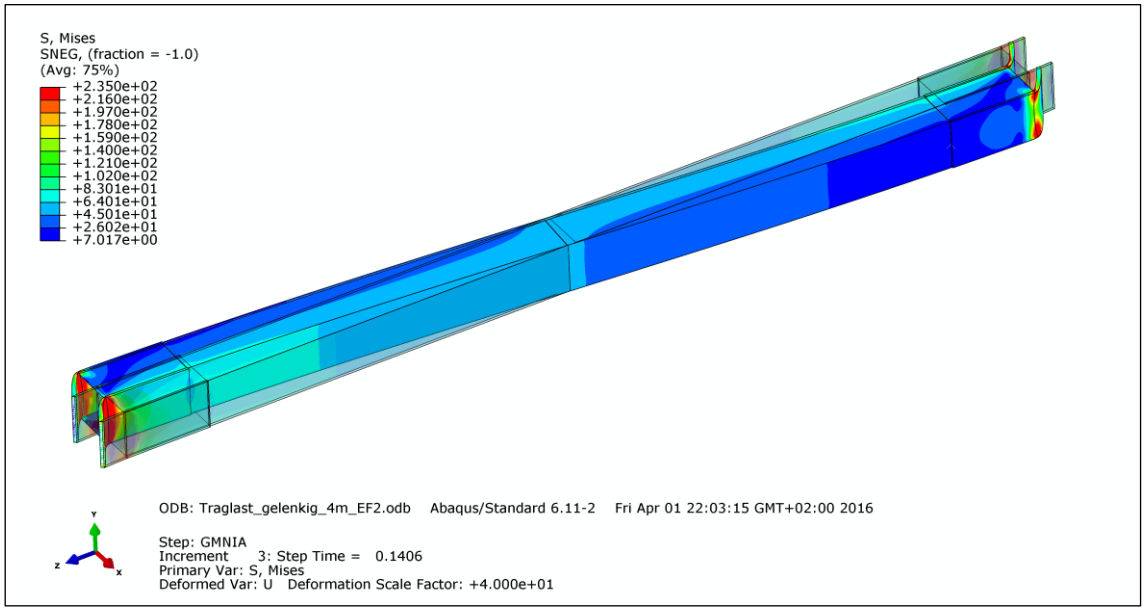
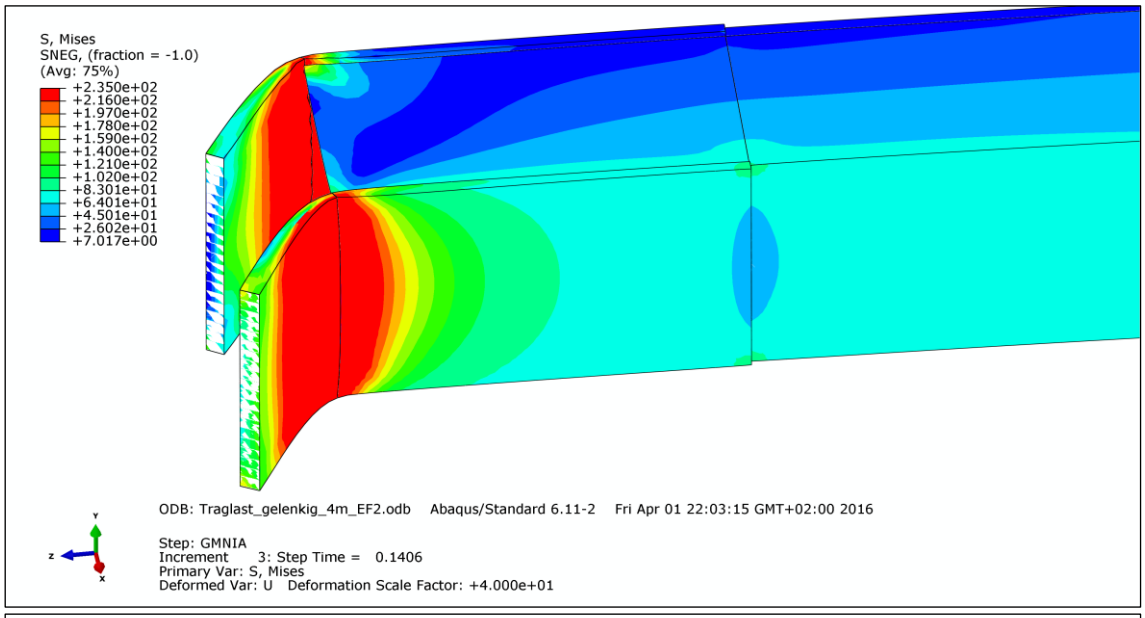


Abbildung 9-52: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





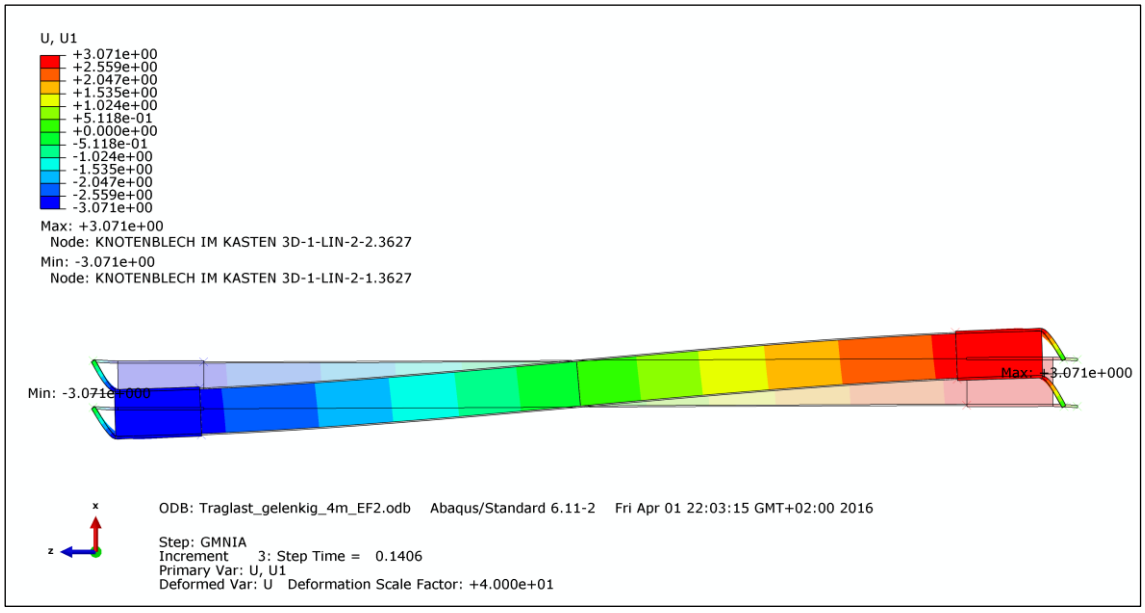
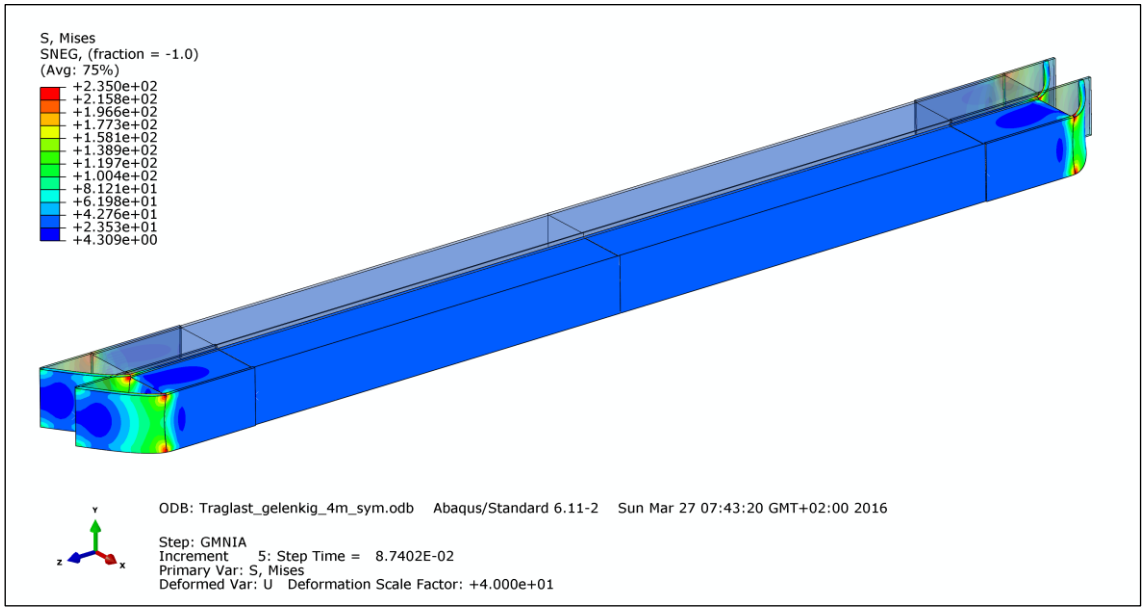
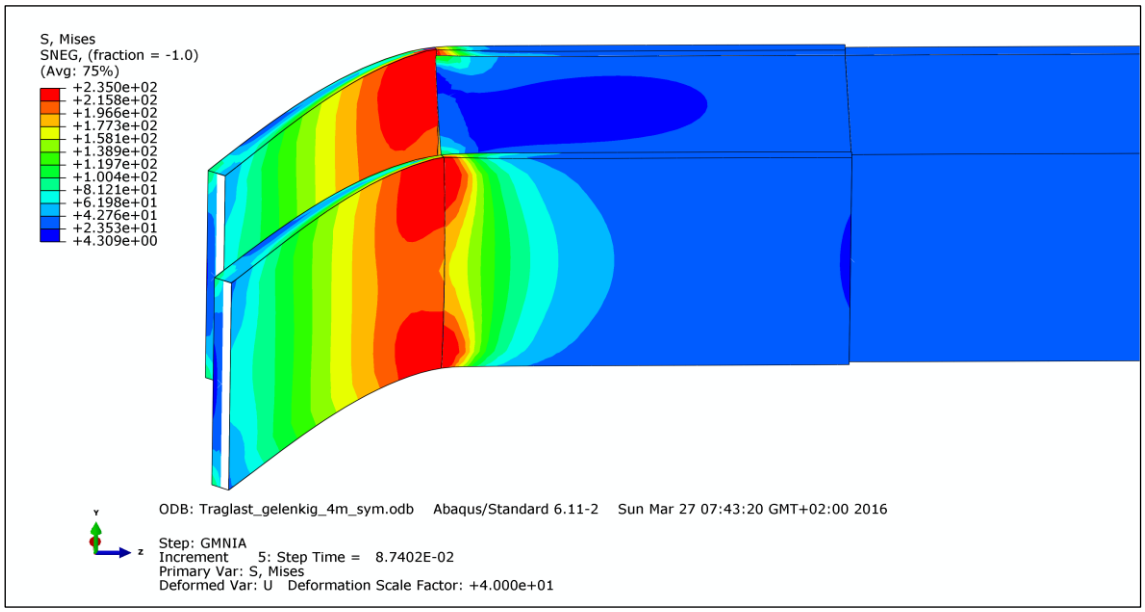


Abbildung 9-53: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





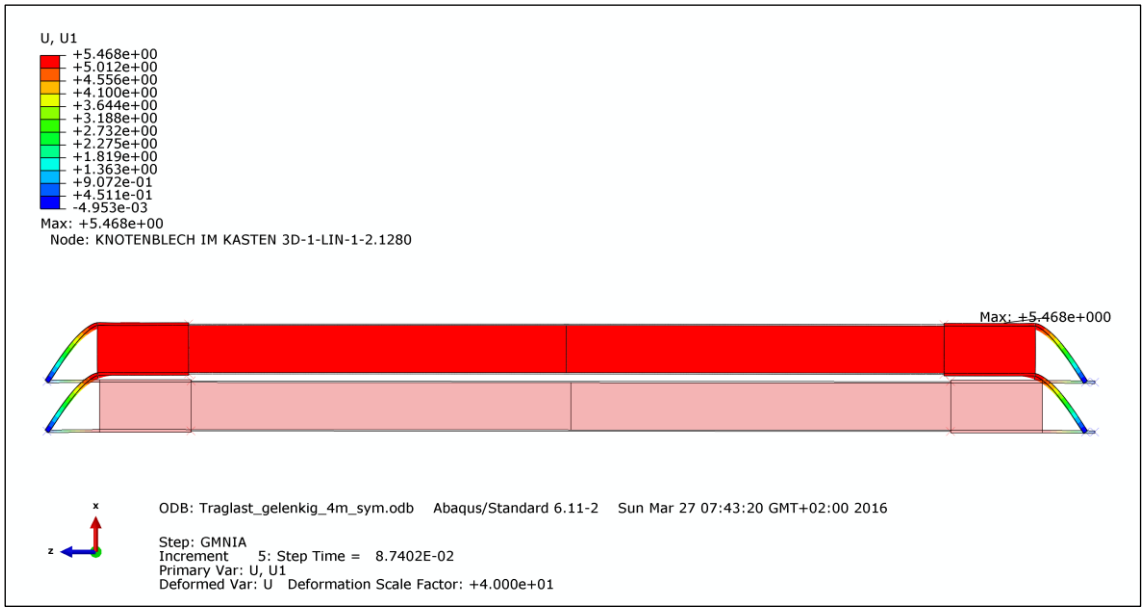
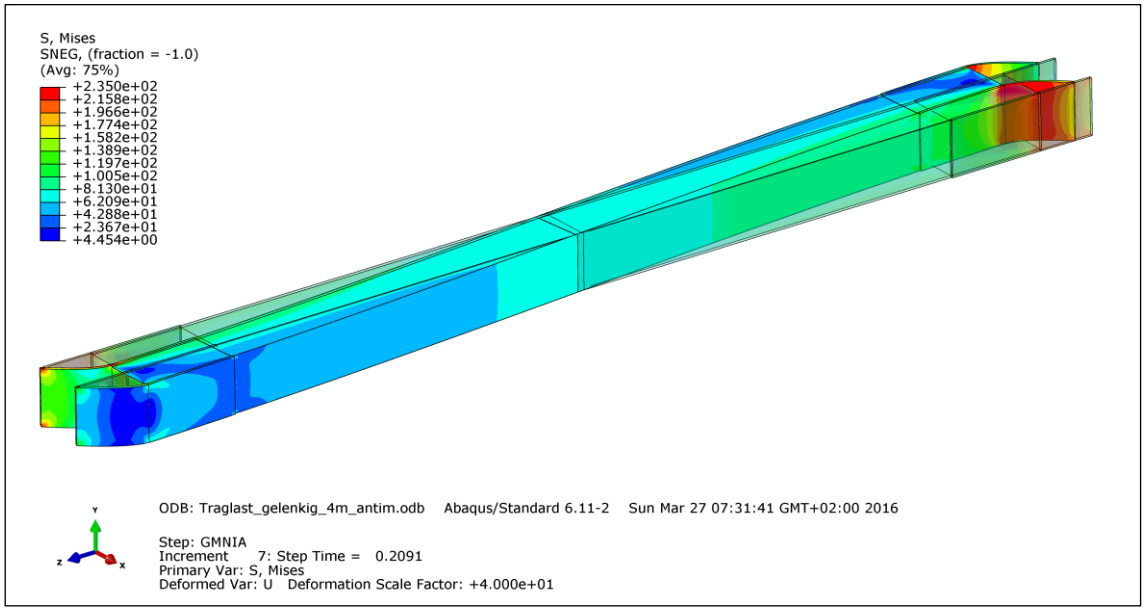
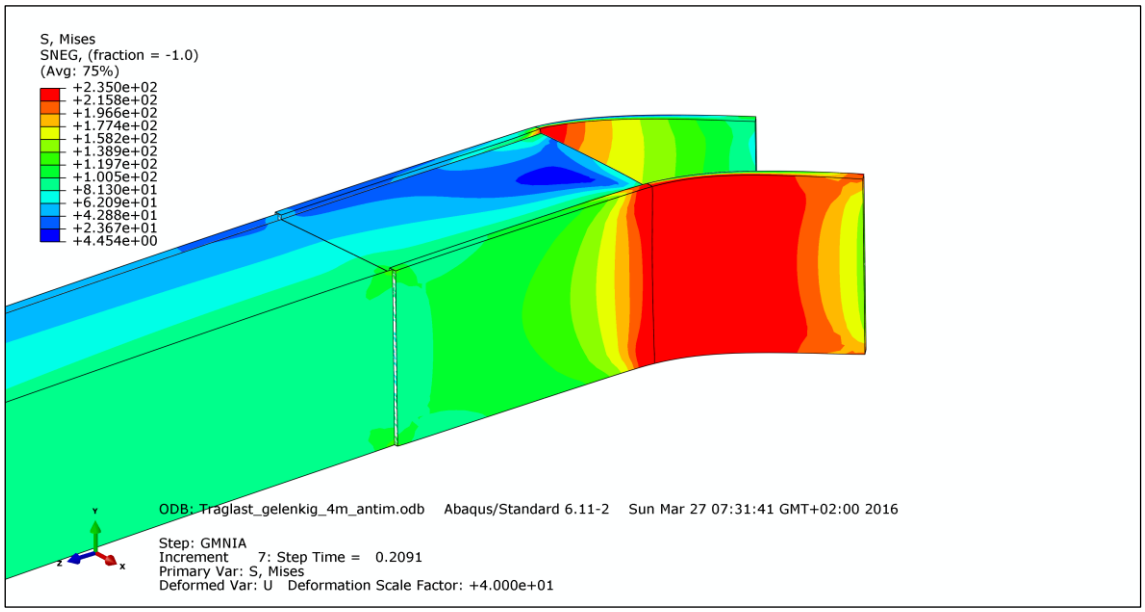


Abbildung 9-54: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





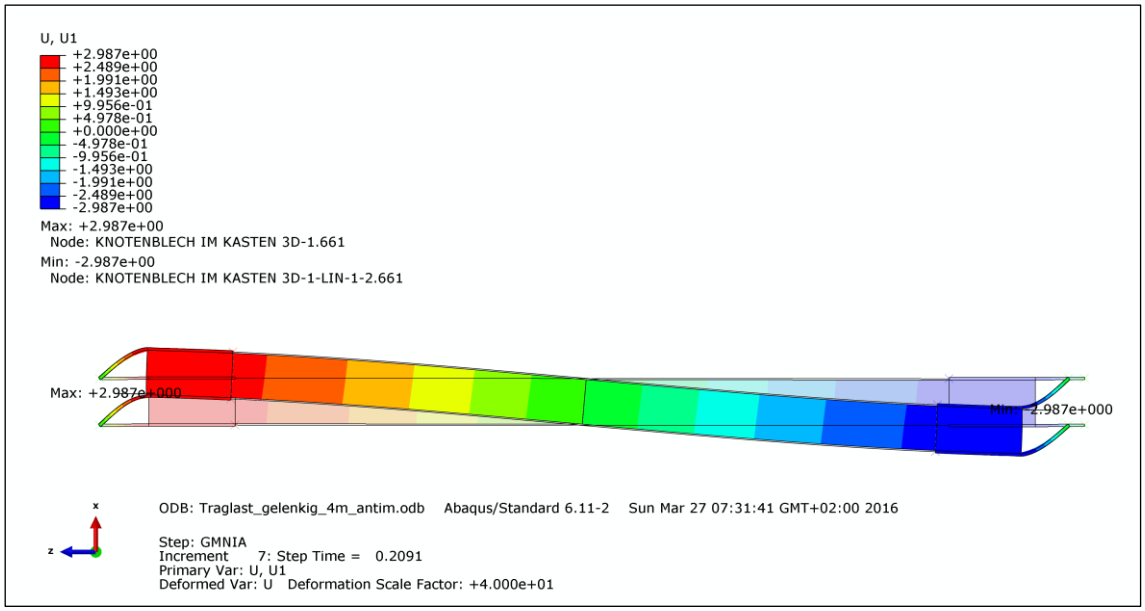
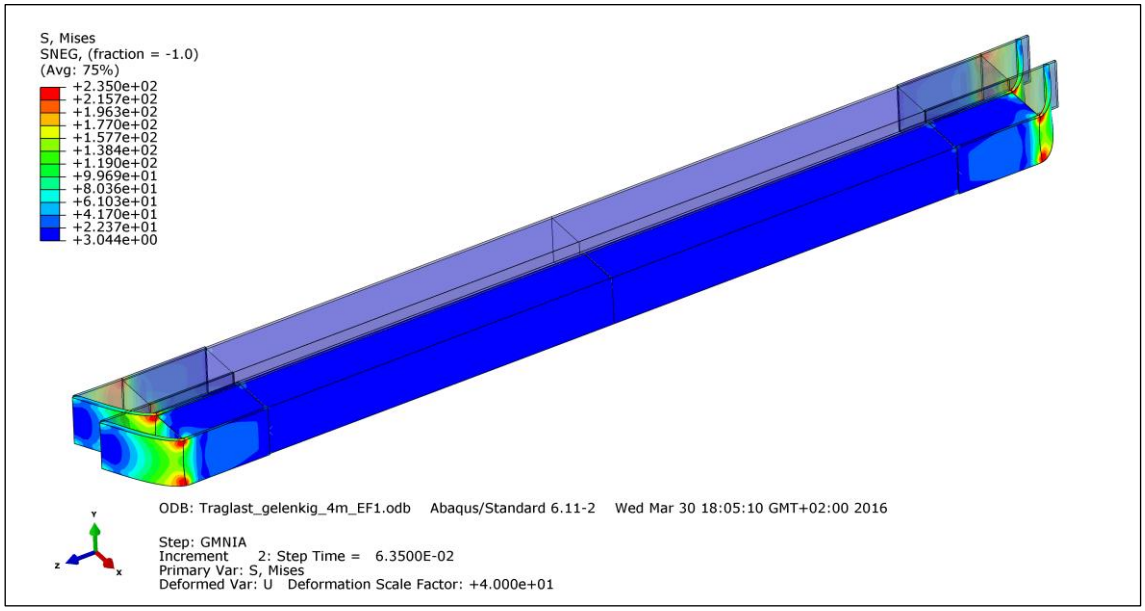
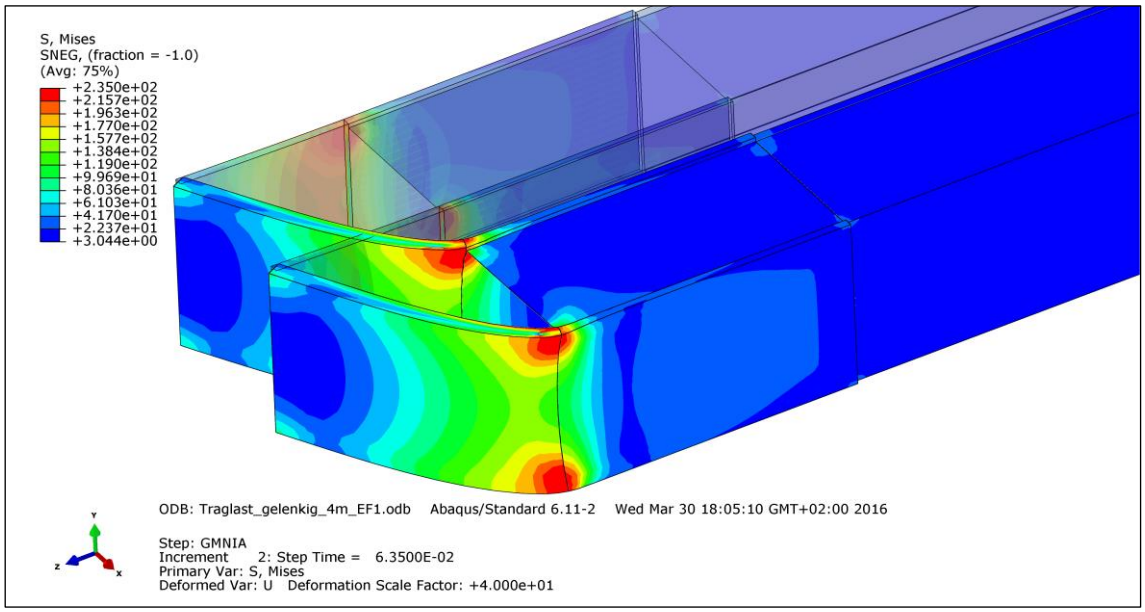


Abbildung 9-55: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





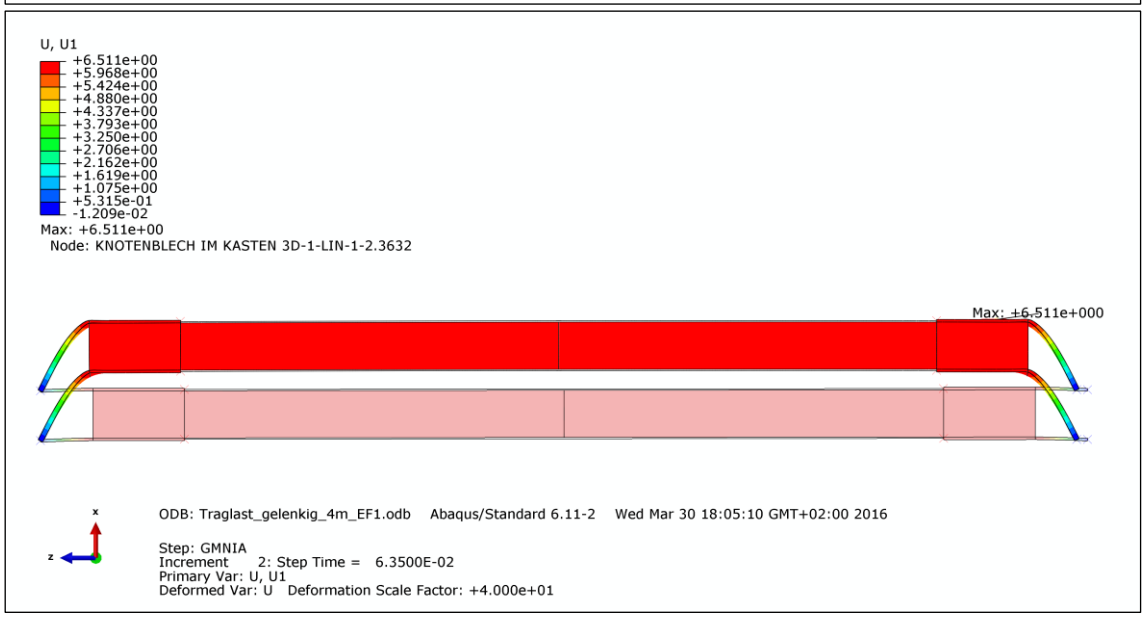
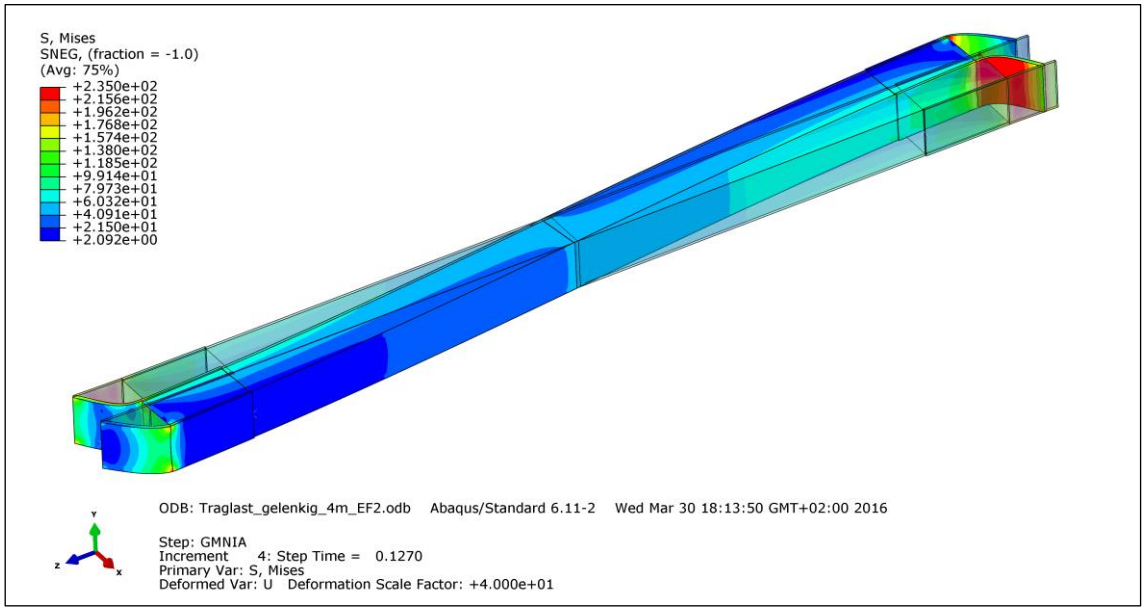
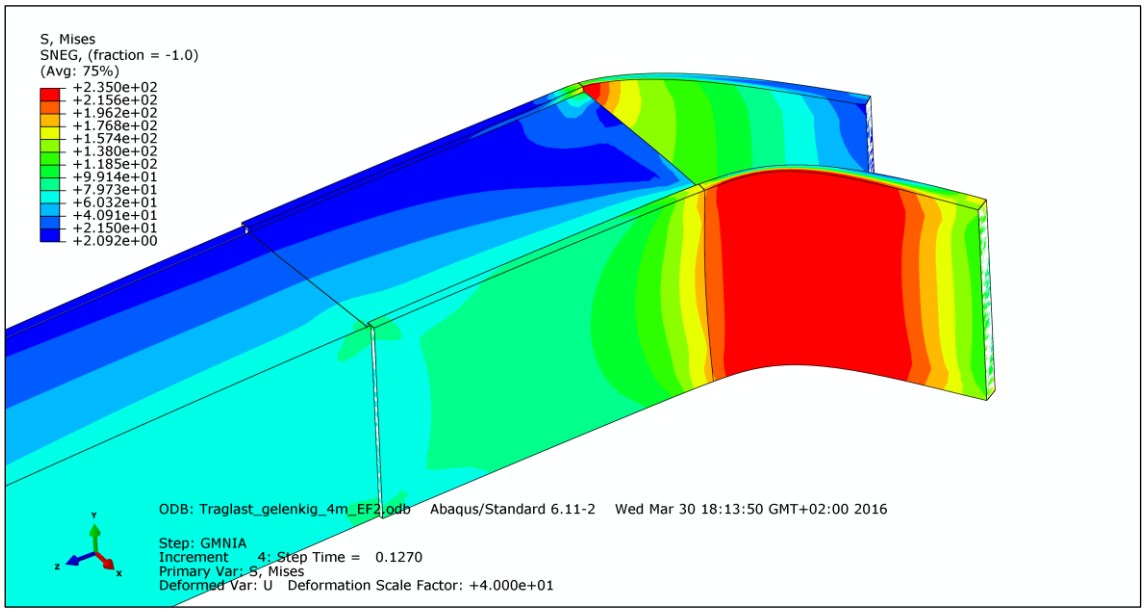


Abbildung 9-56: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





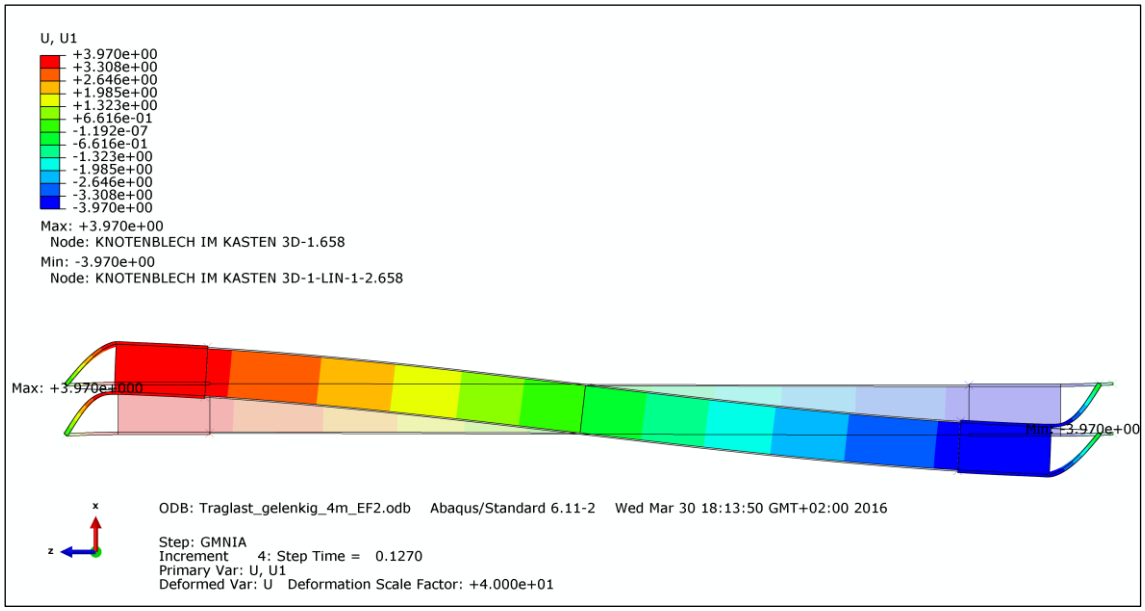
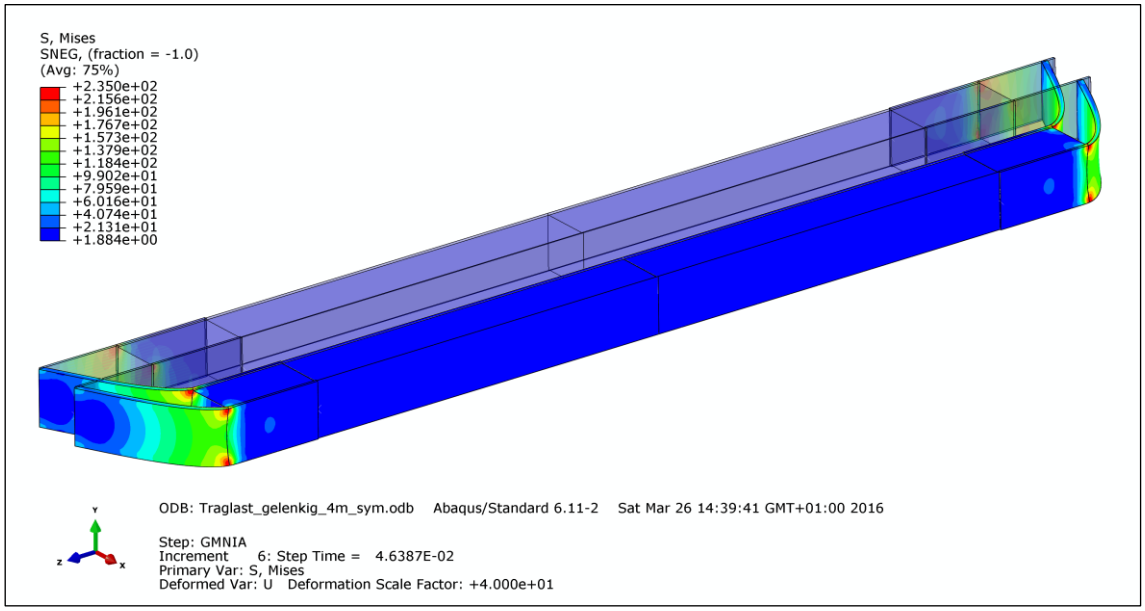
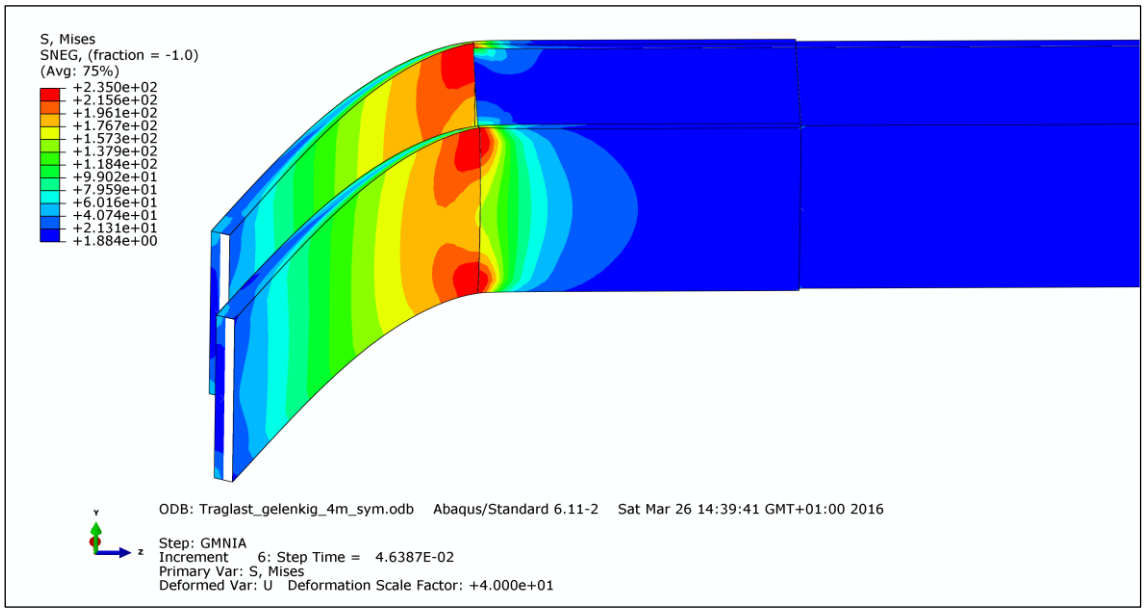


Abbildung 9-57: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





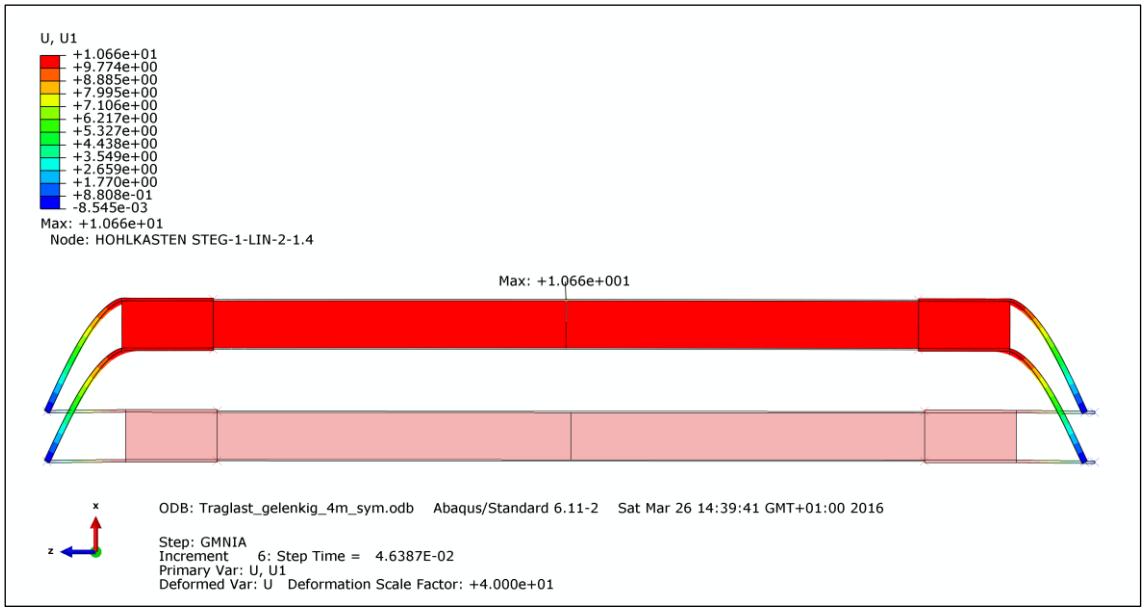


Abbildung 9-58: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)

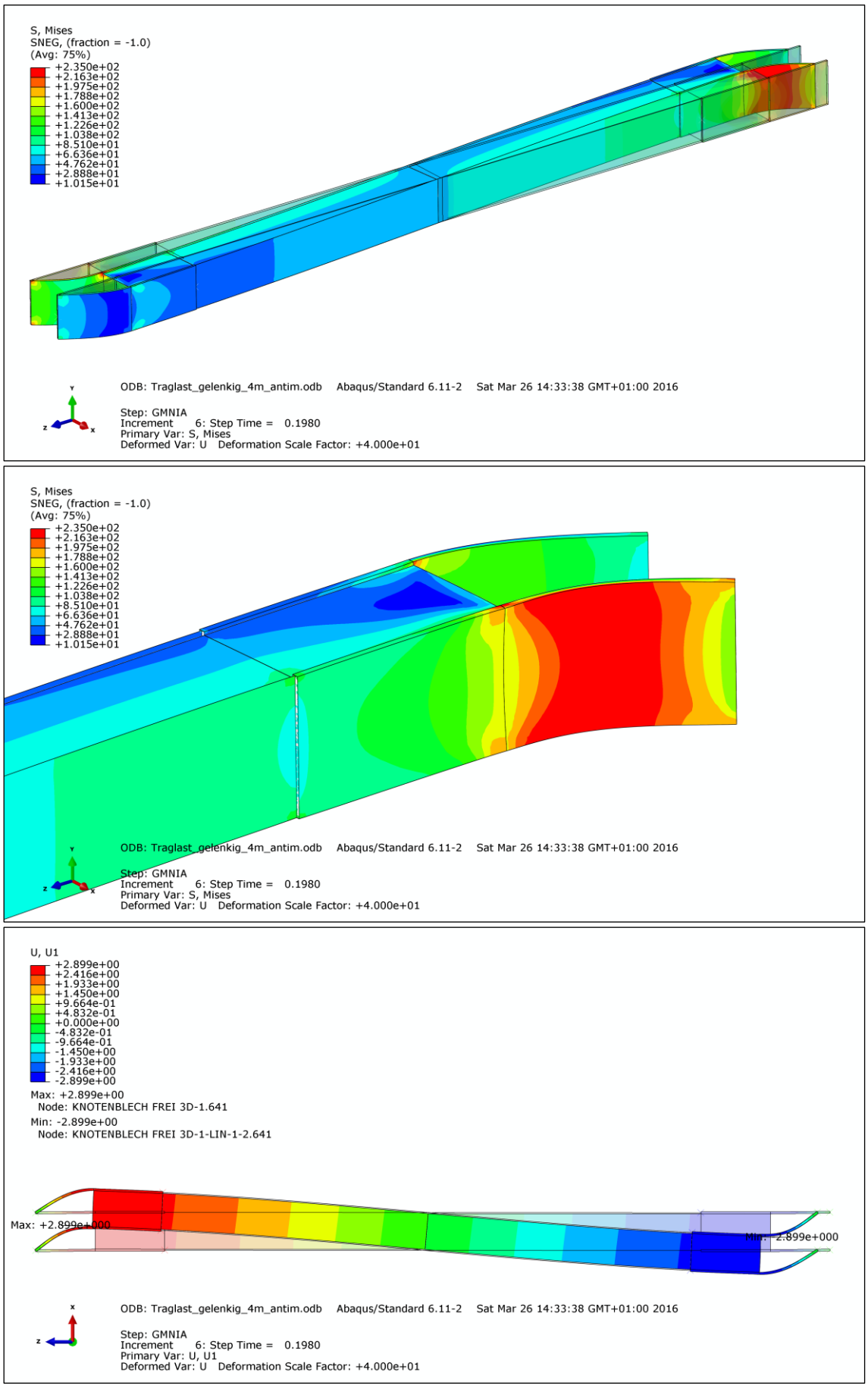
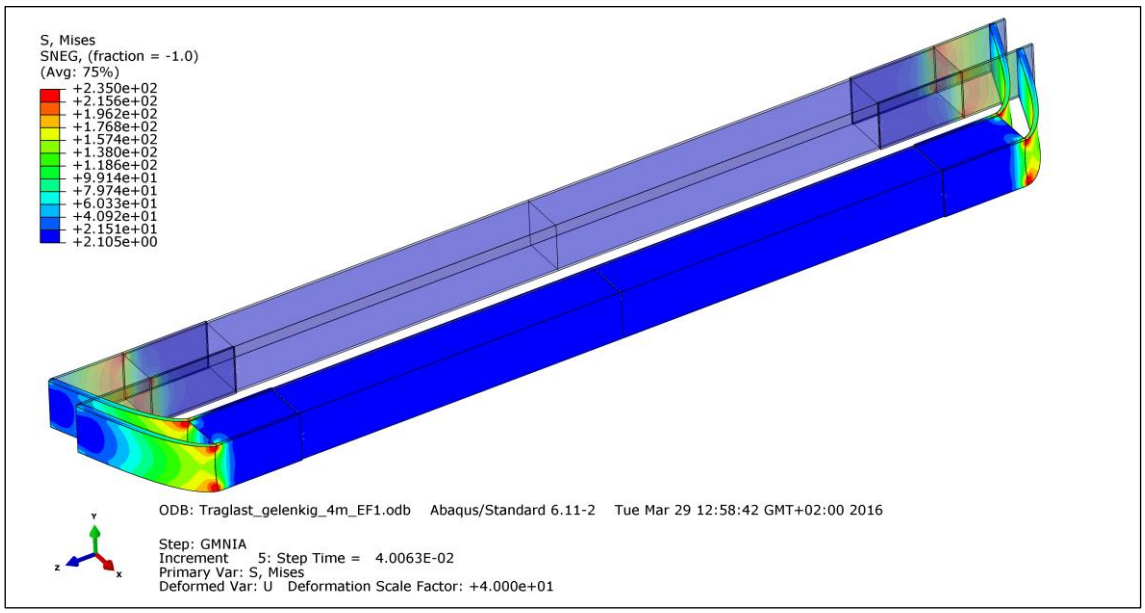
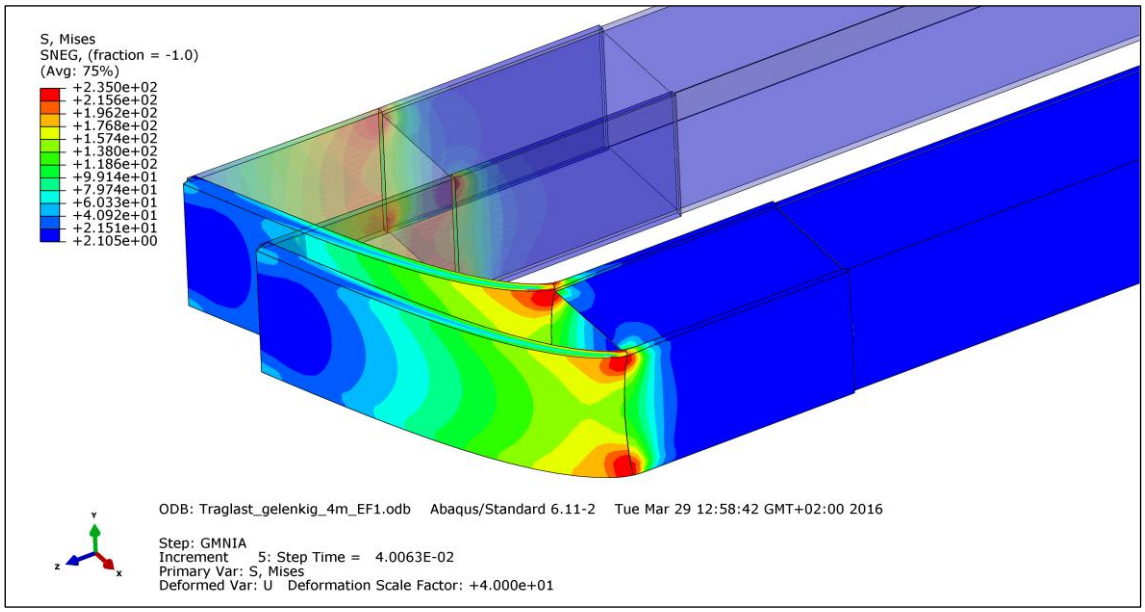


Abbildung 9-59: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





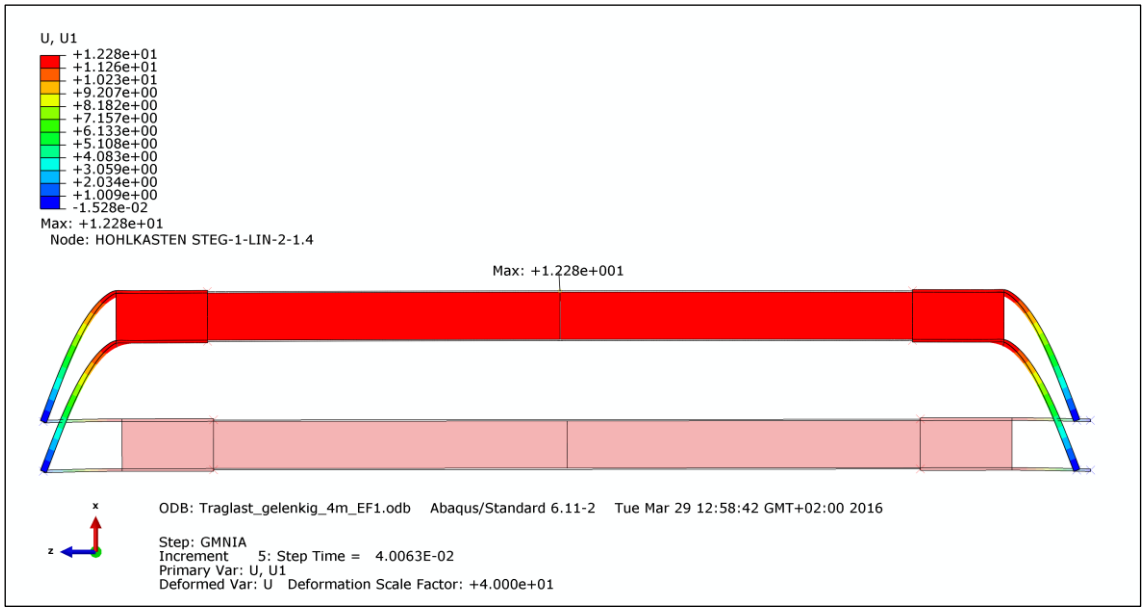
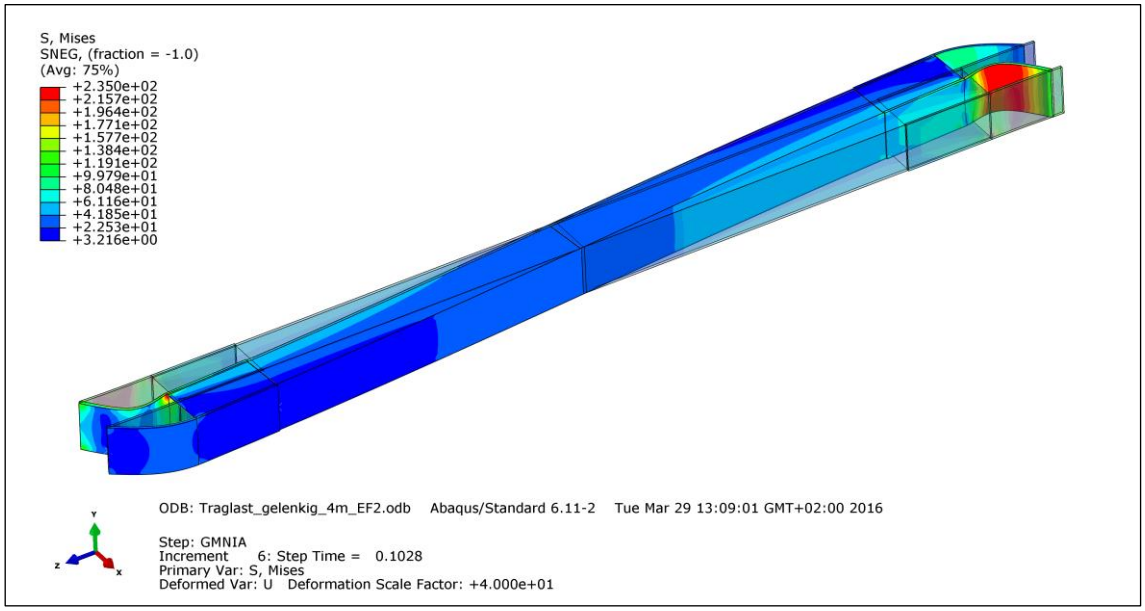
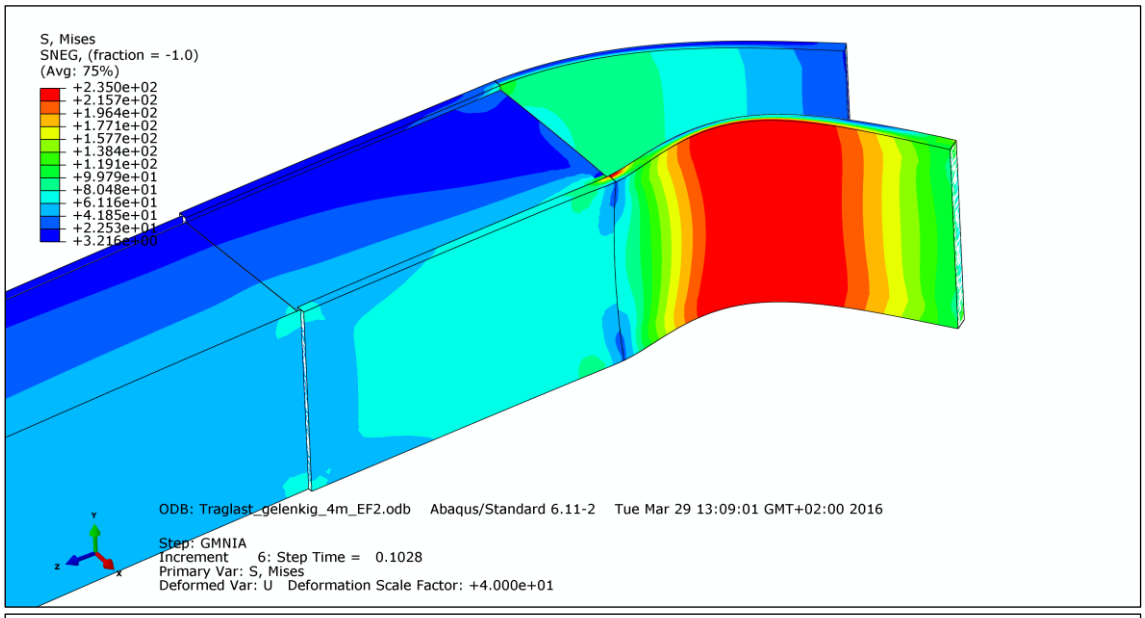


Abbildung 9-60: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





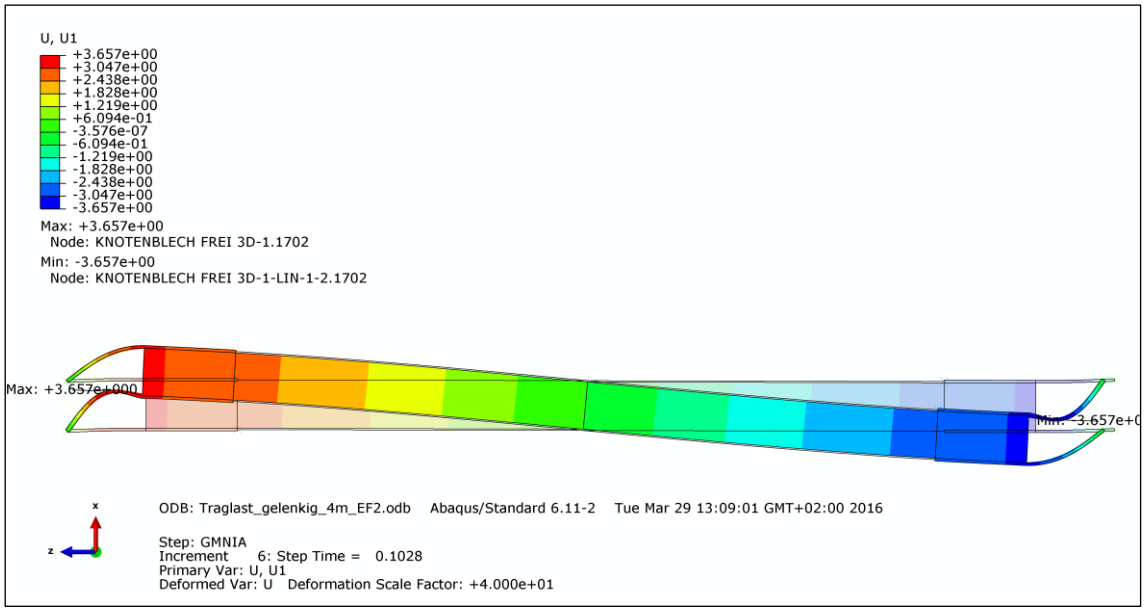
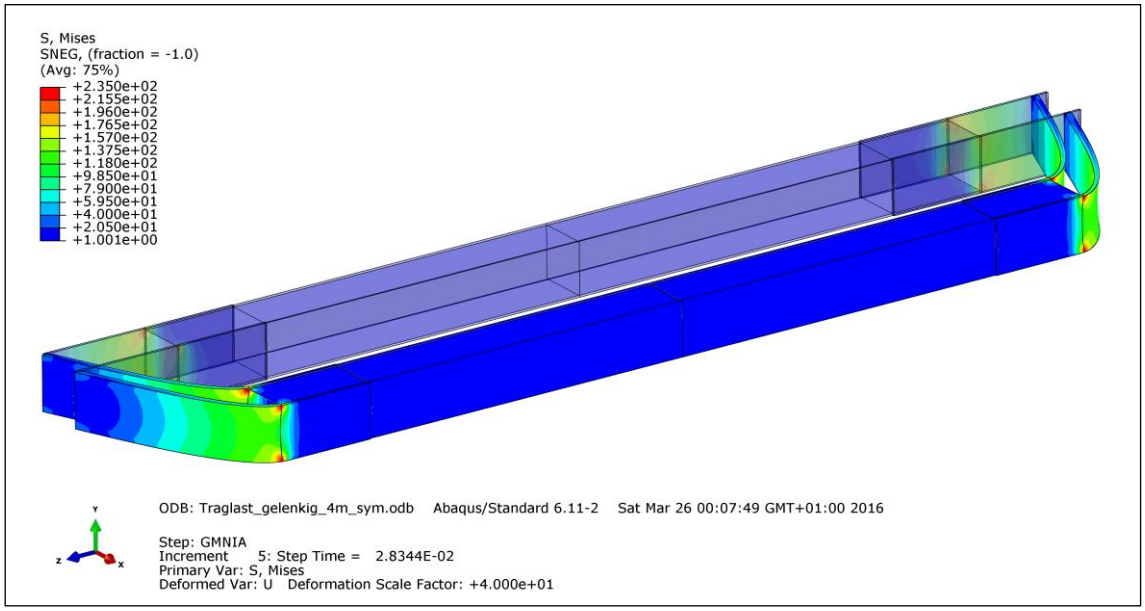
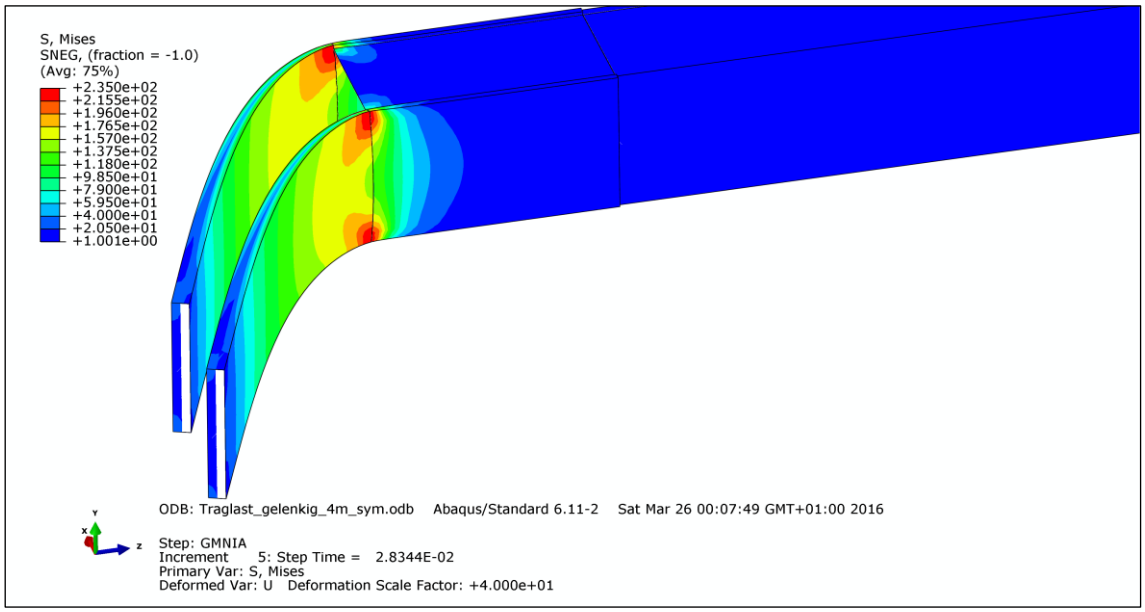


Abbildung 9-61: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





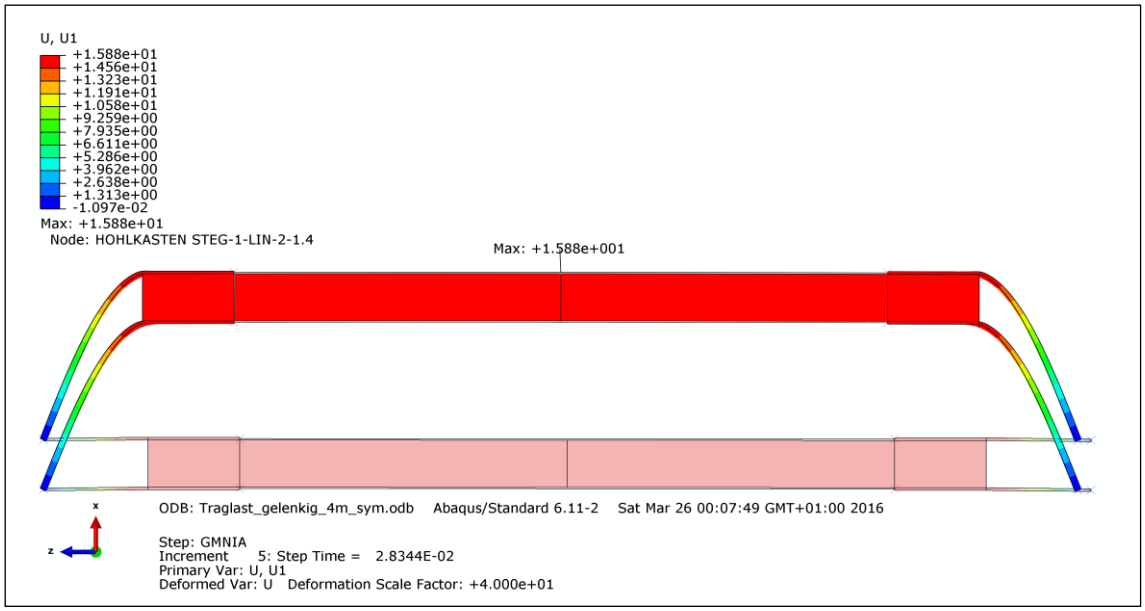
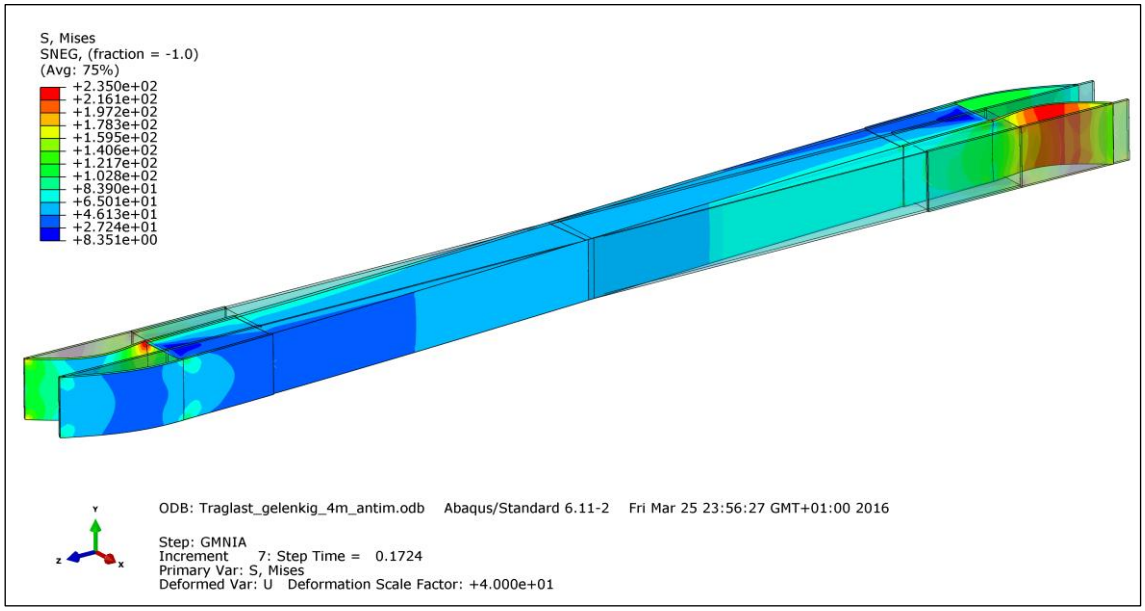
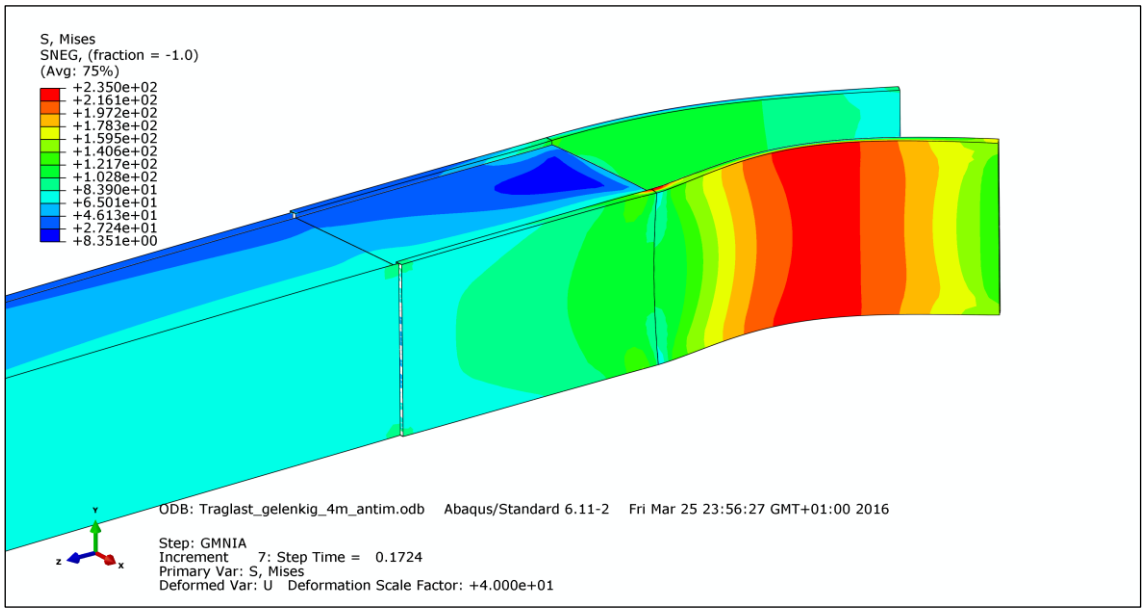


Abbildung 9-62: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





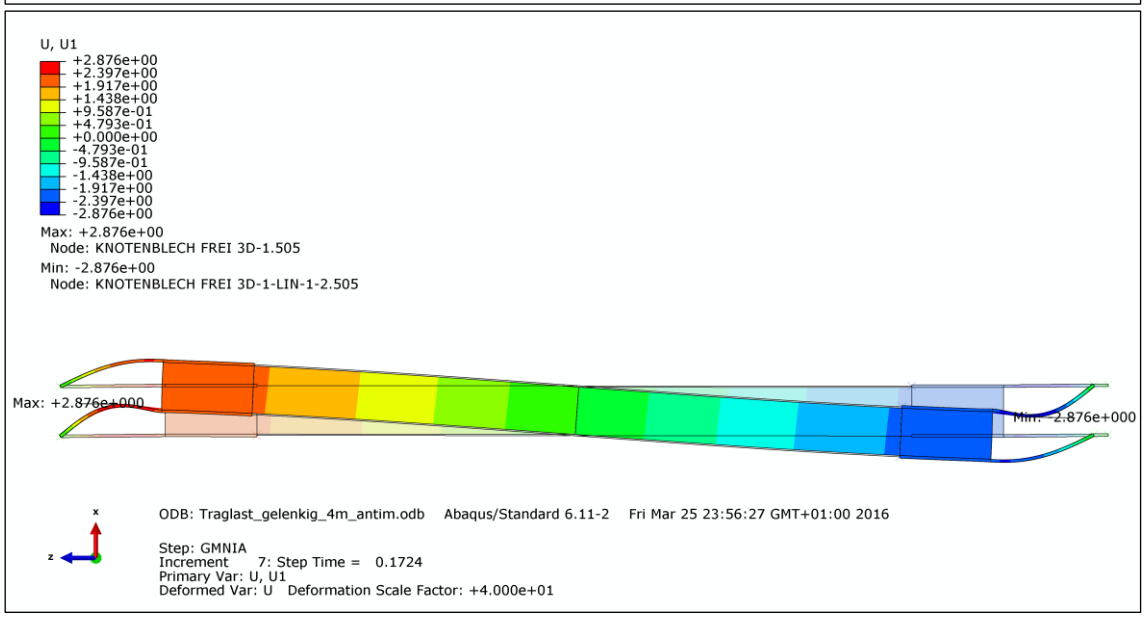
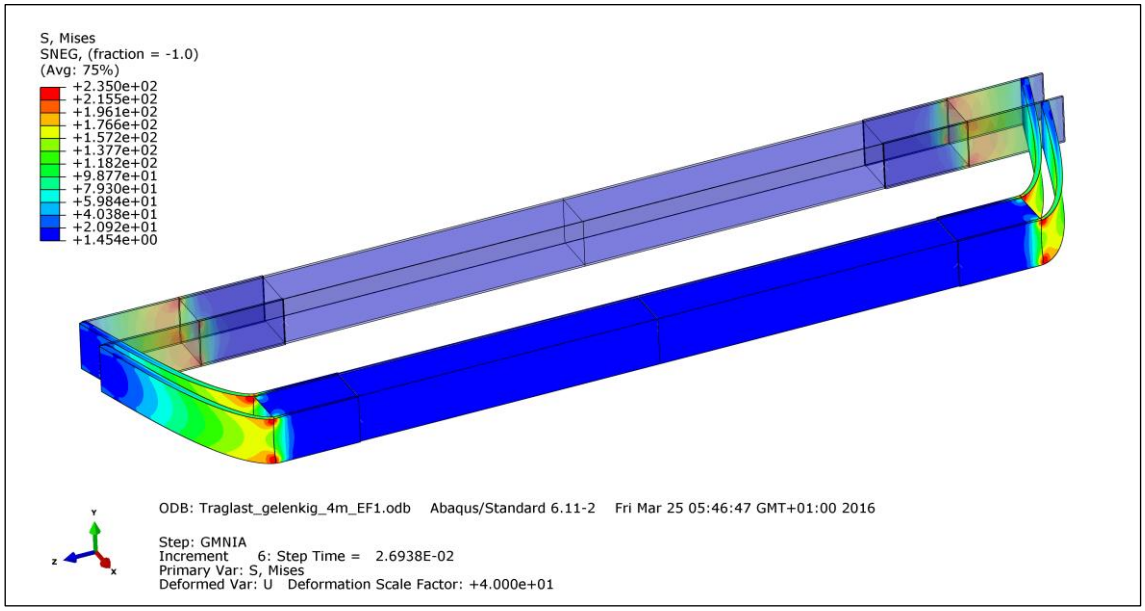
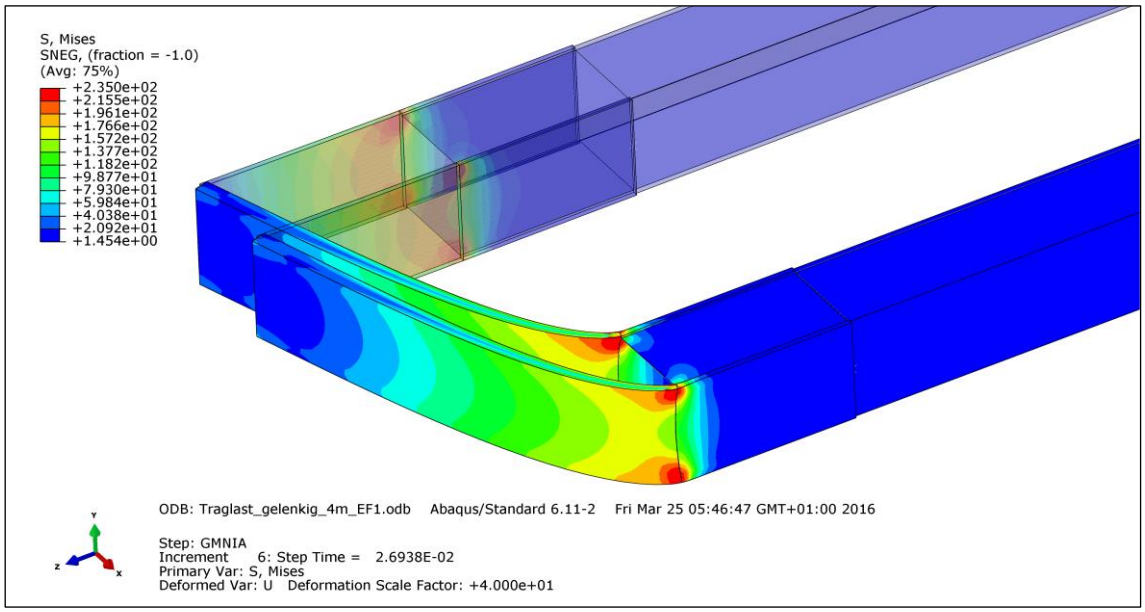


Abbildung 9-63: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





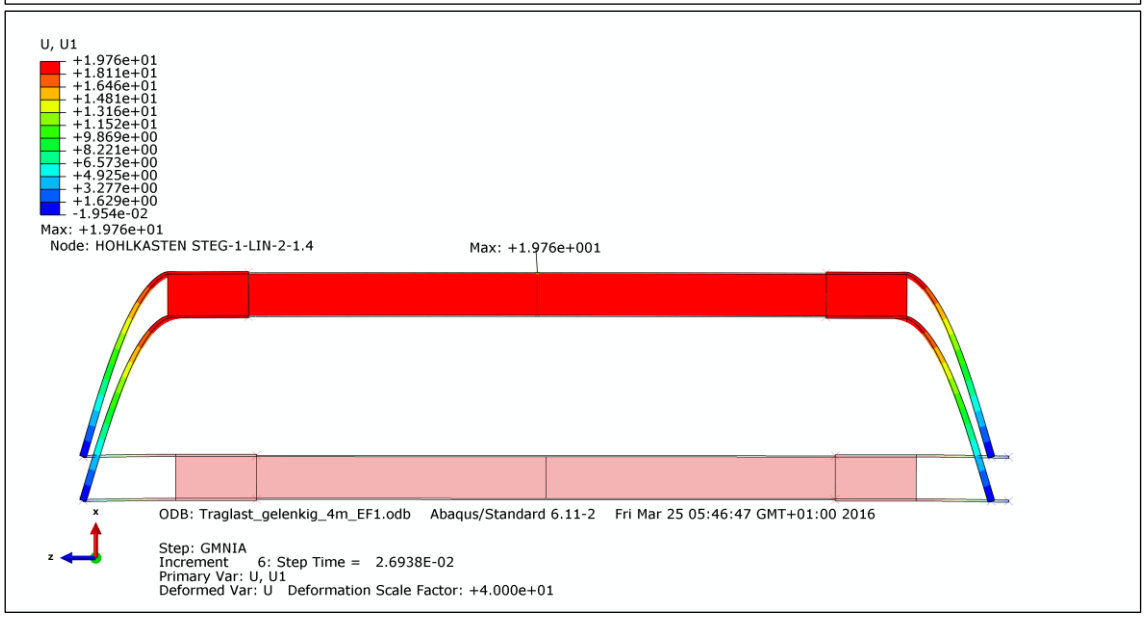
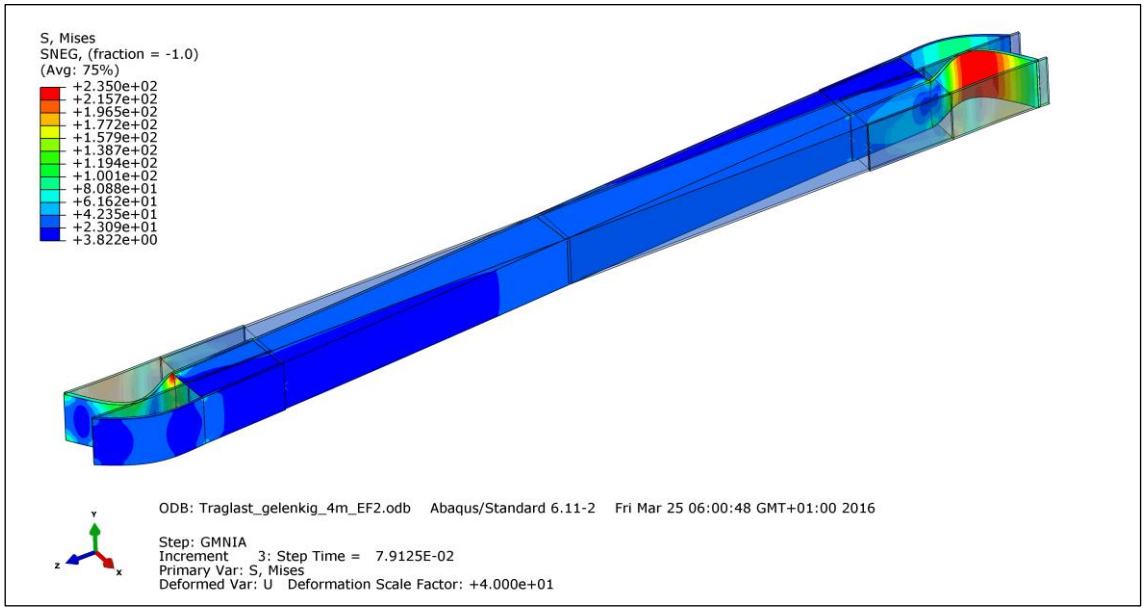
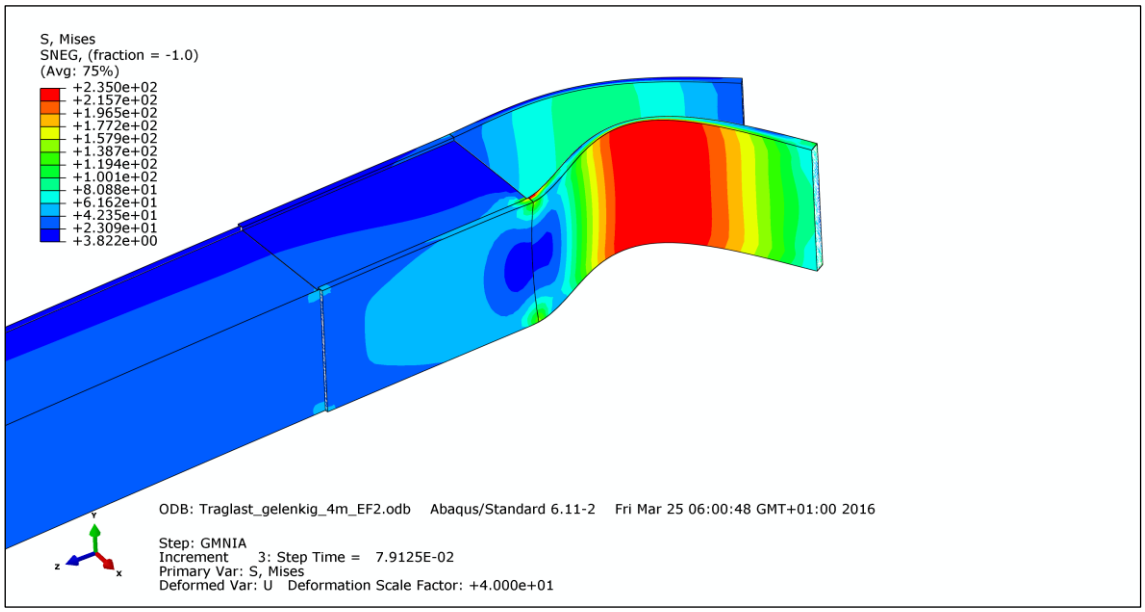


Abbildung 9-64: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





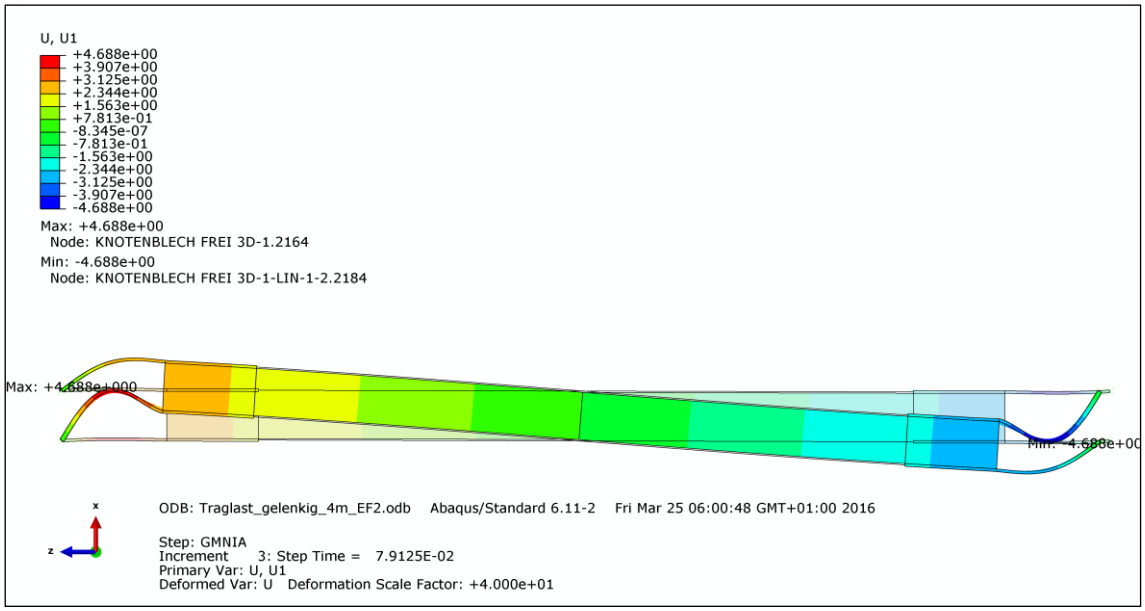
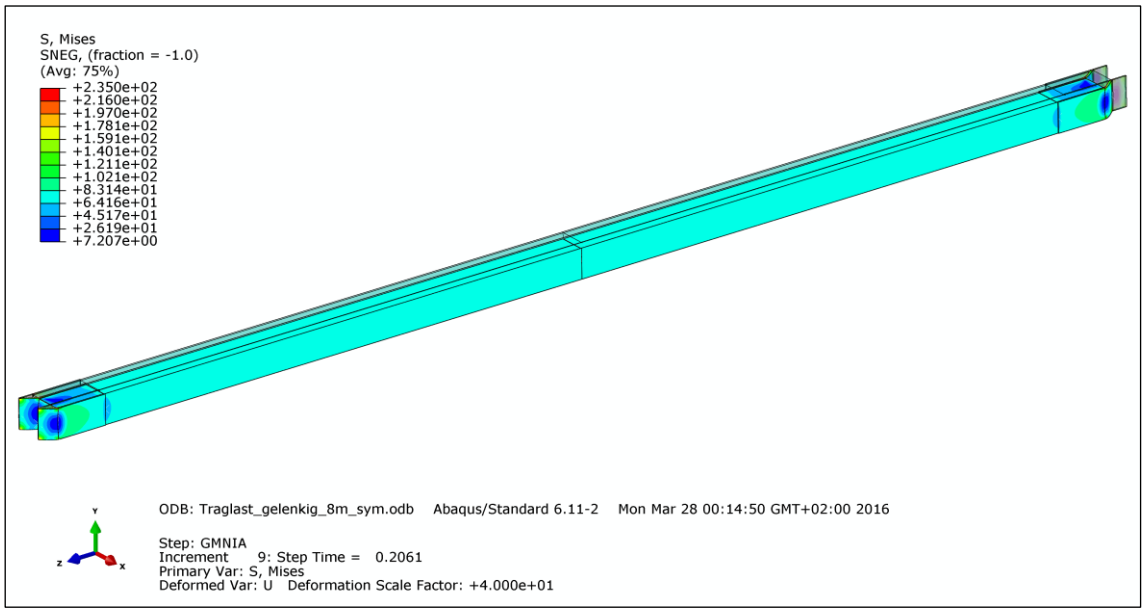
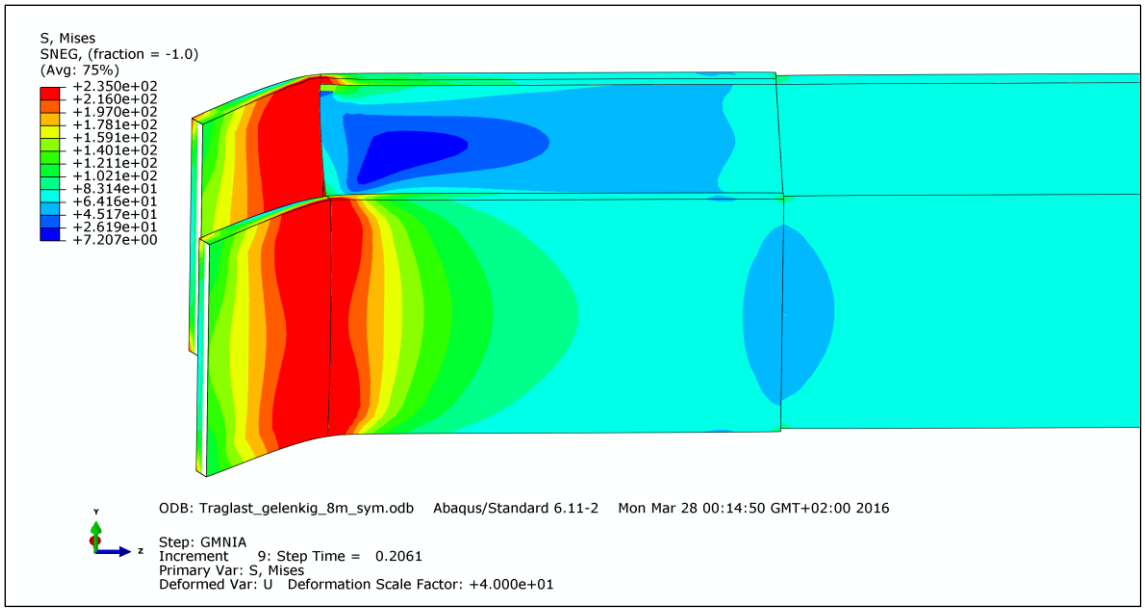


Abbildung 9-65: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm**





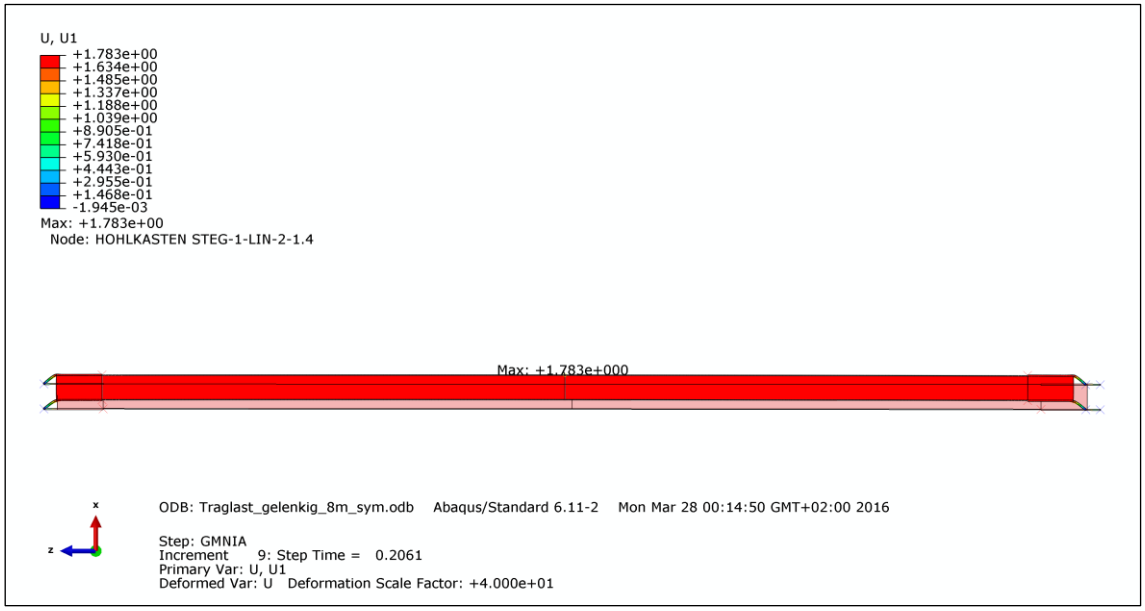
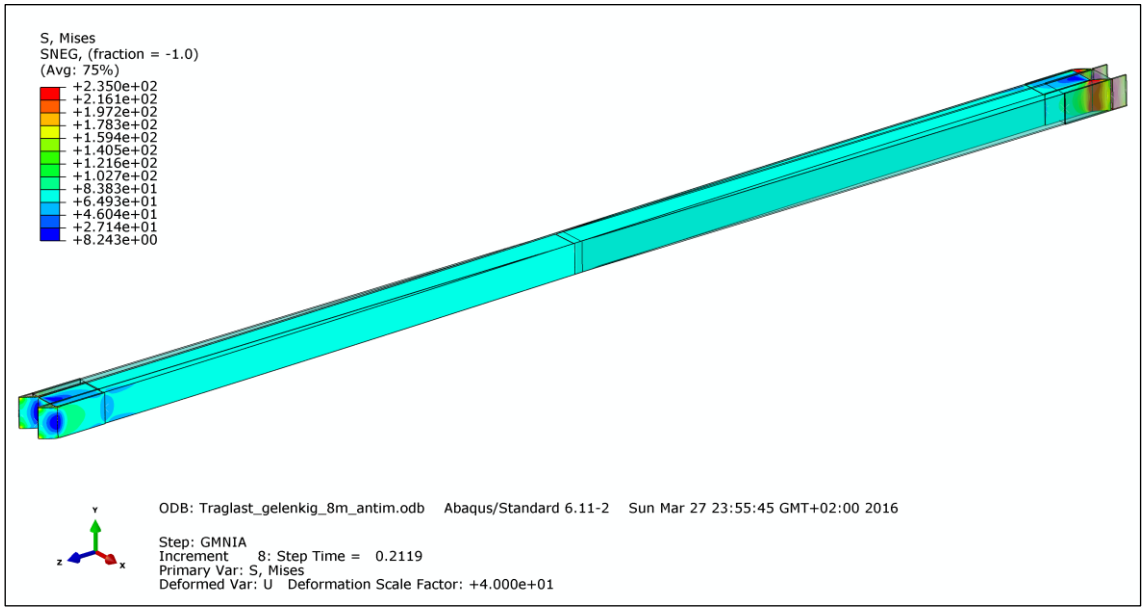
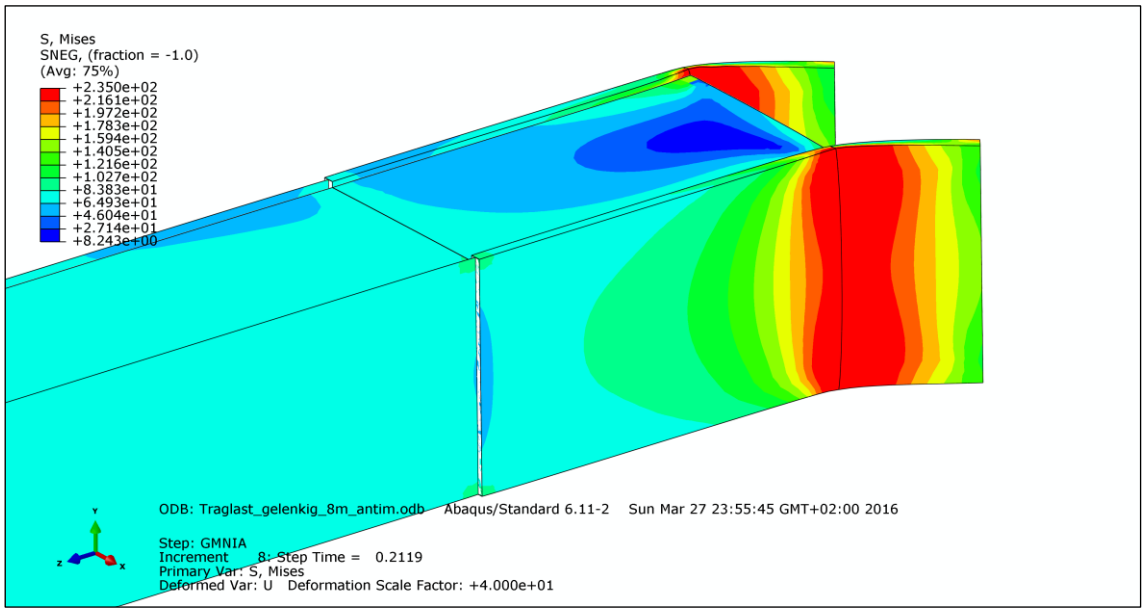


Abbildung 9-66: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





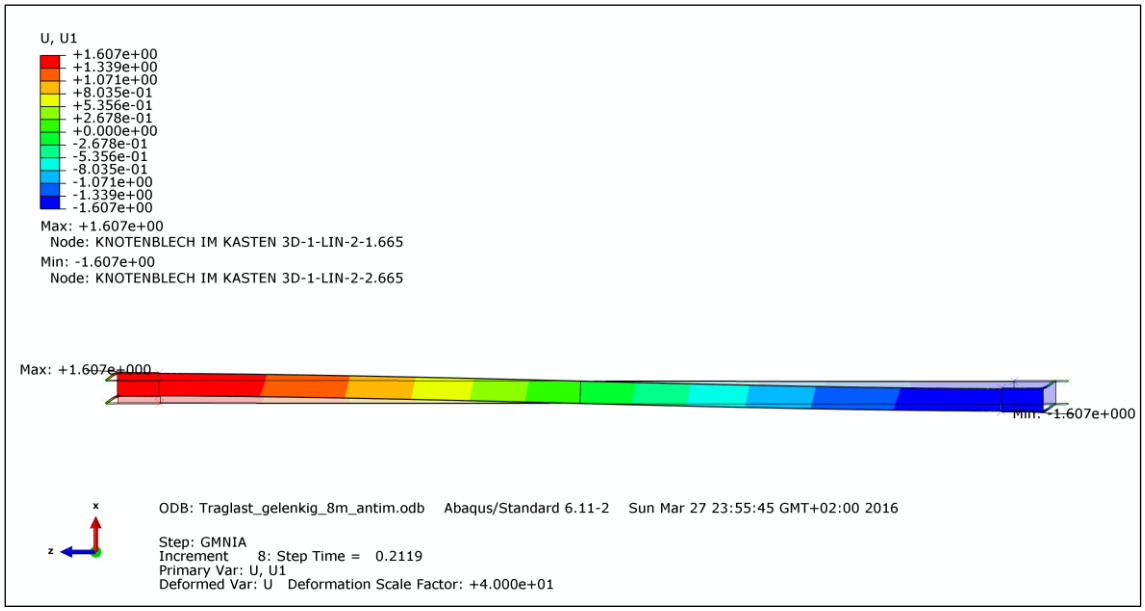
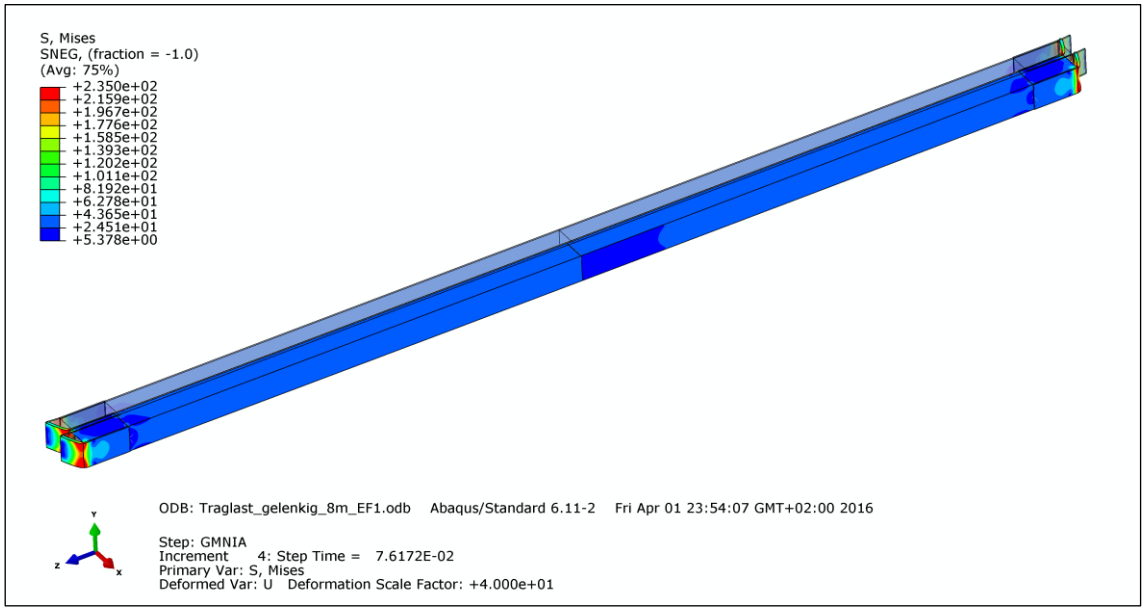
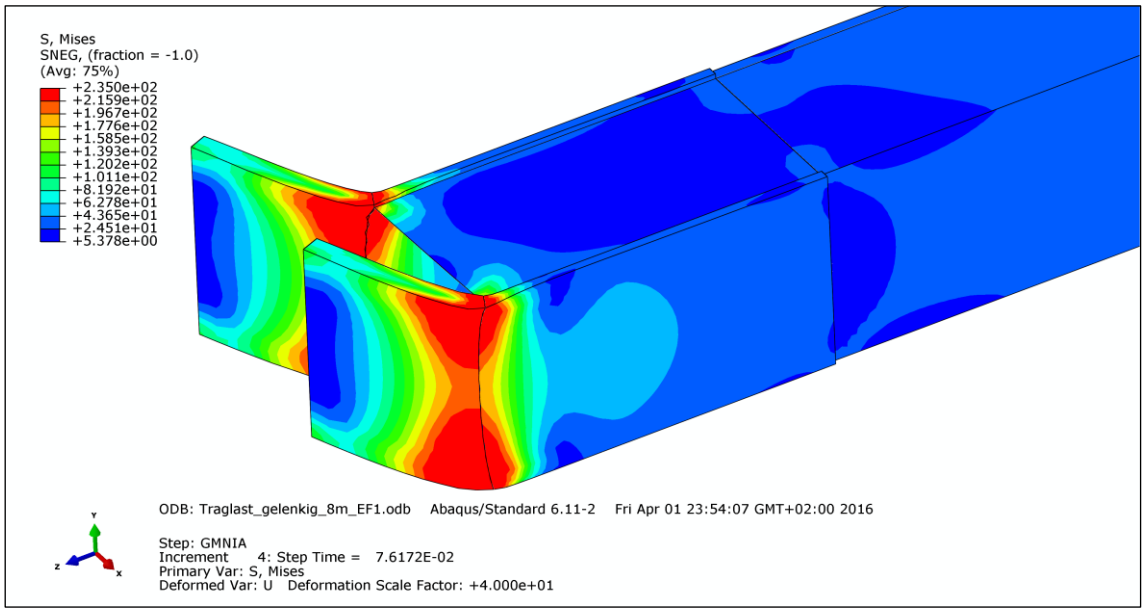


Abbildung 9-67: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





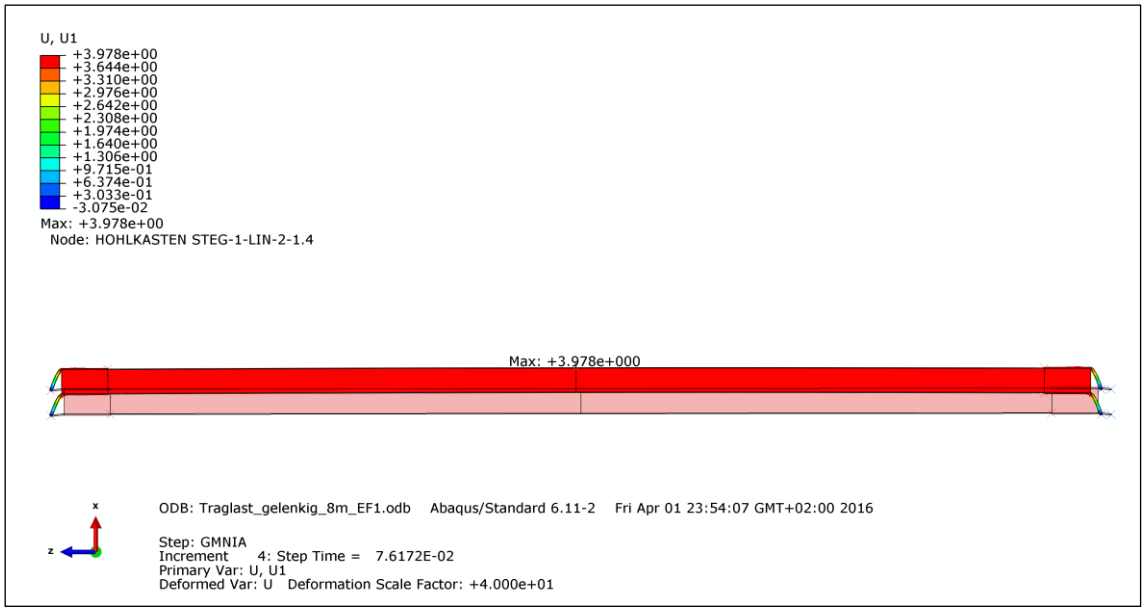
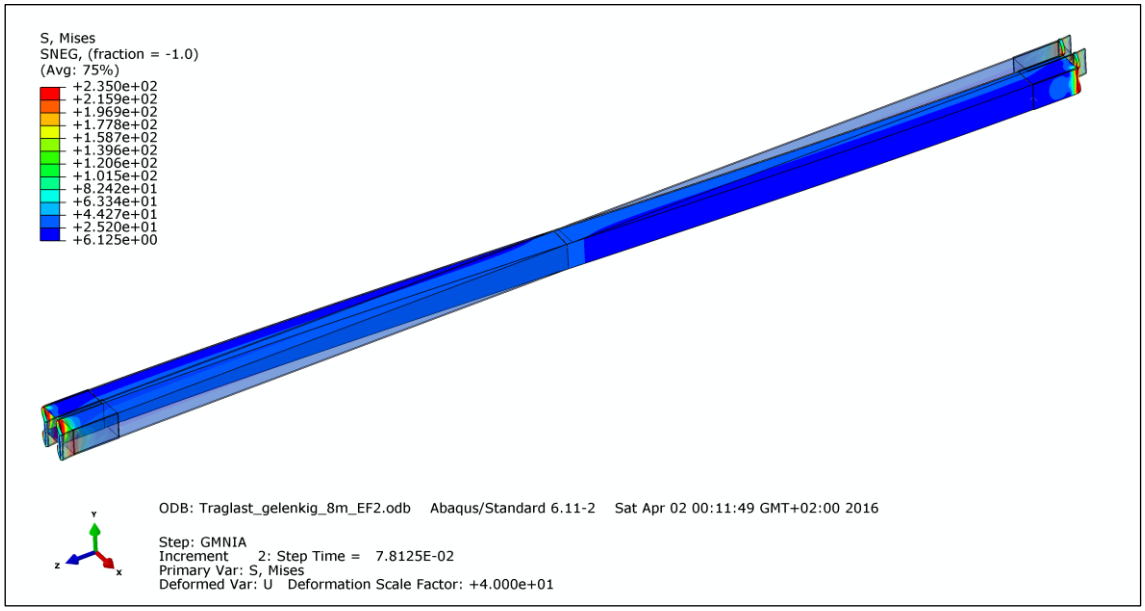
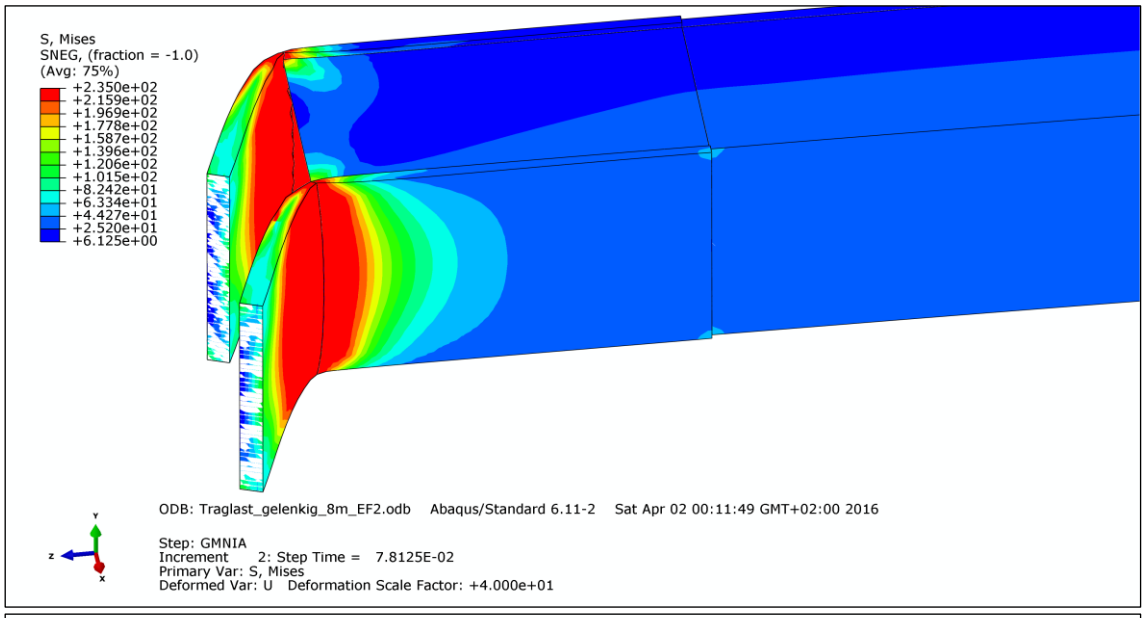


Abbildung 9-68: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





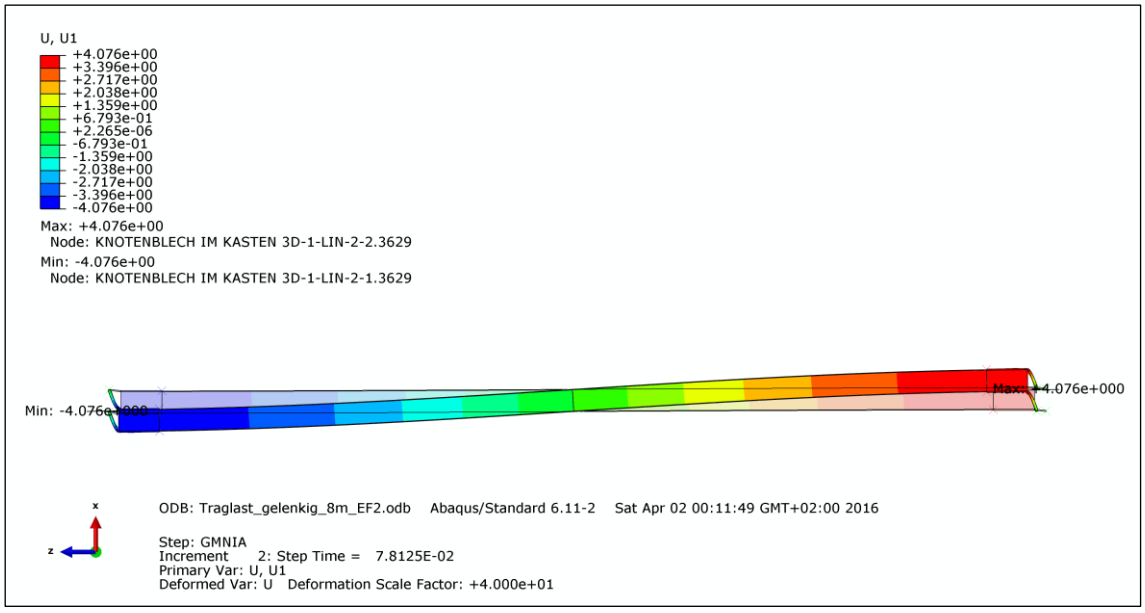
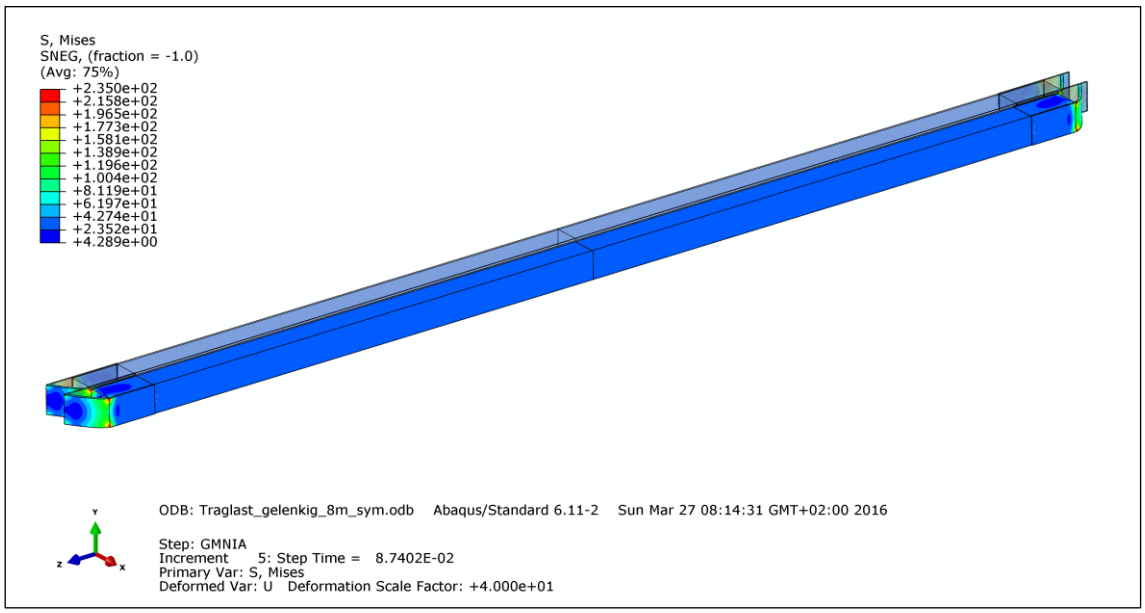
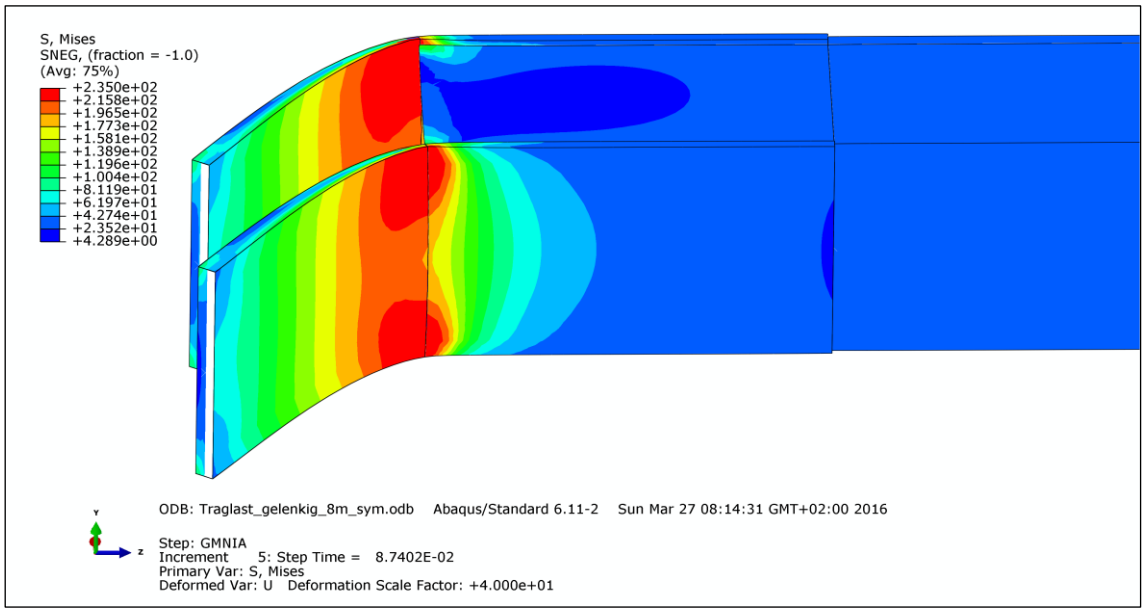


Abbildung 9-69: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





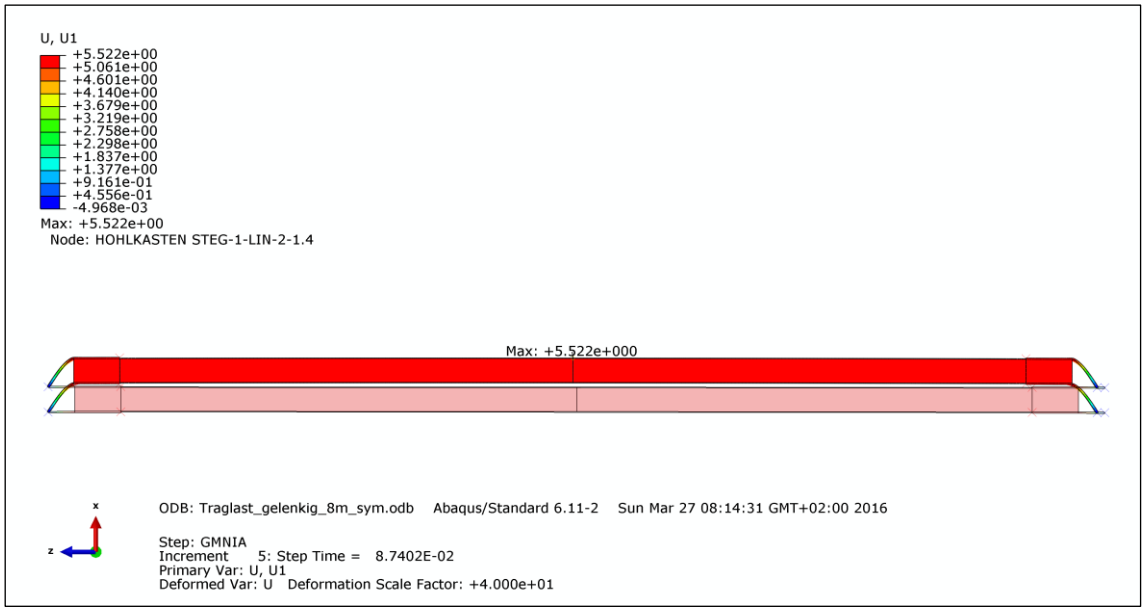


Abbildung 9-70: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)

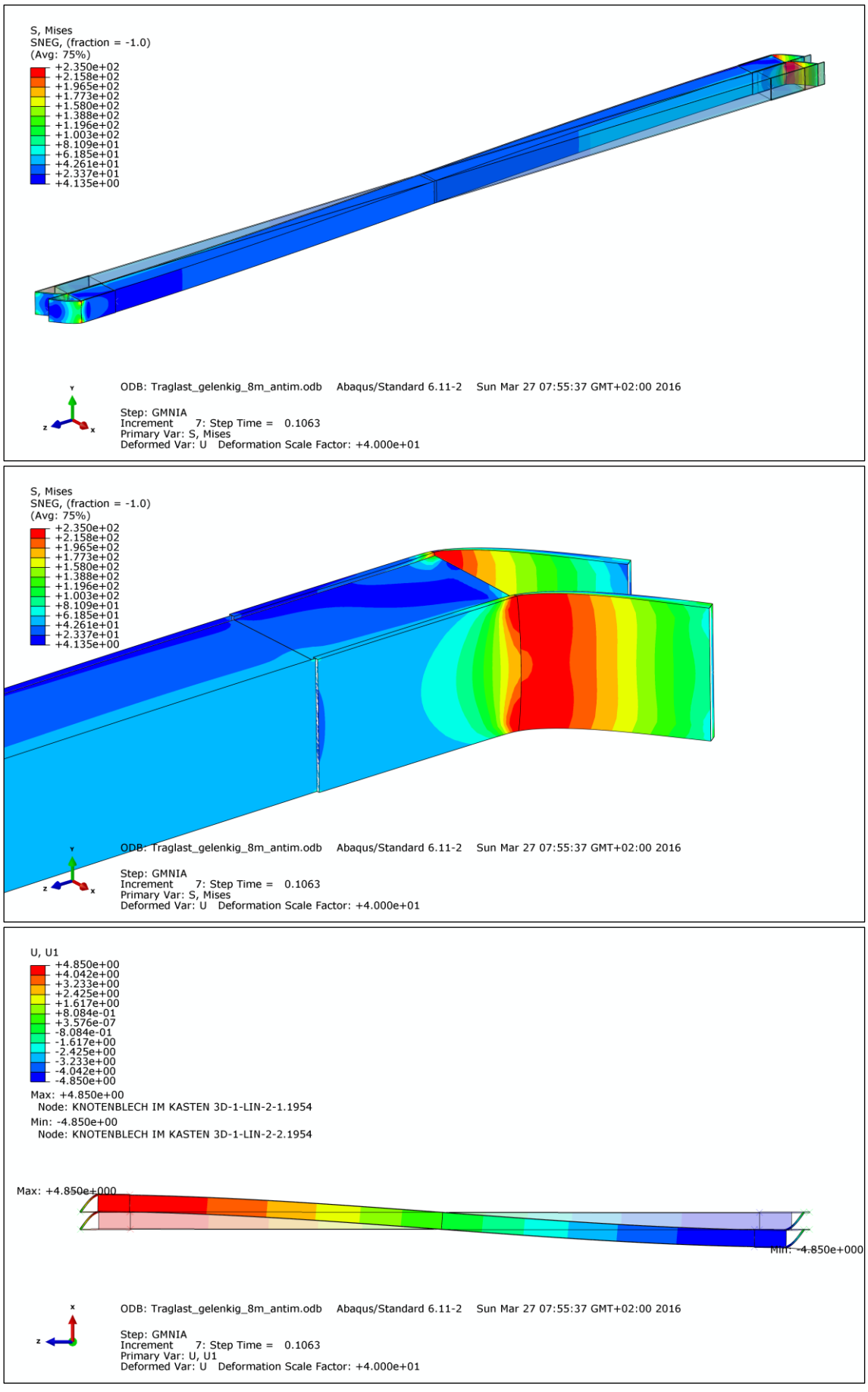
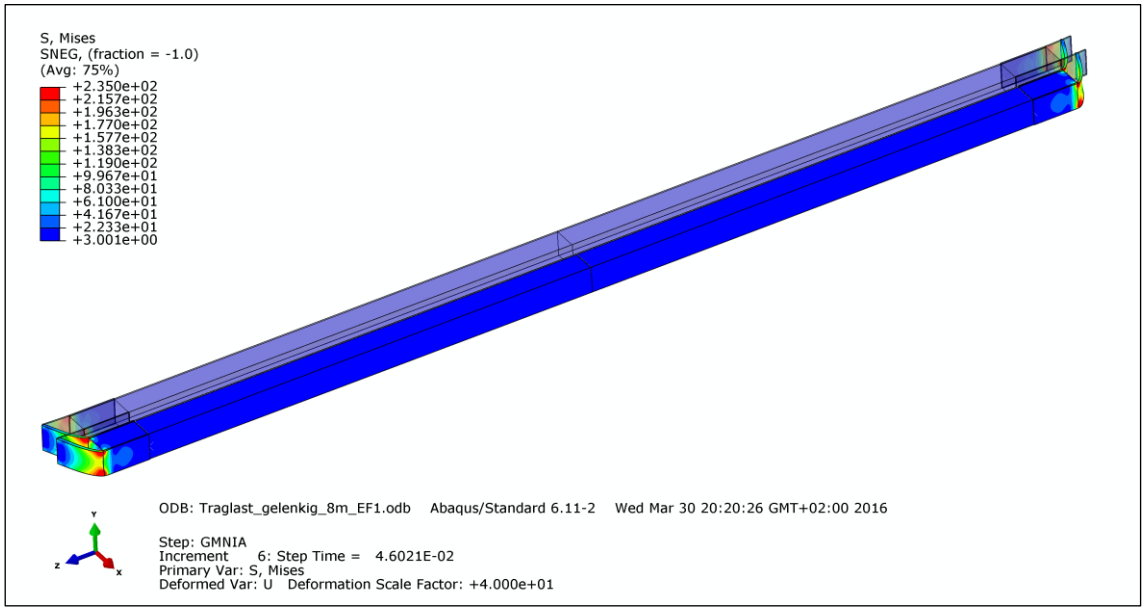
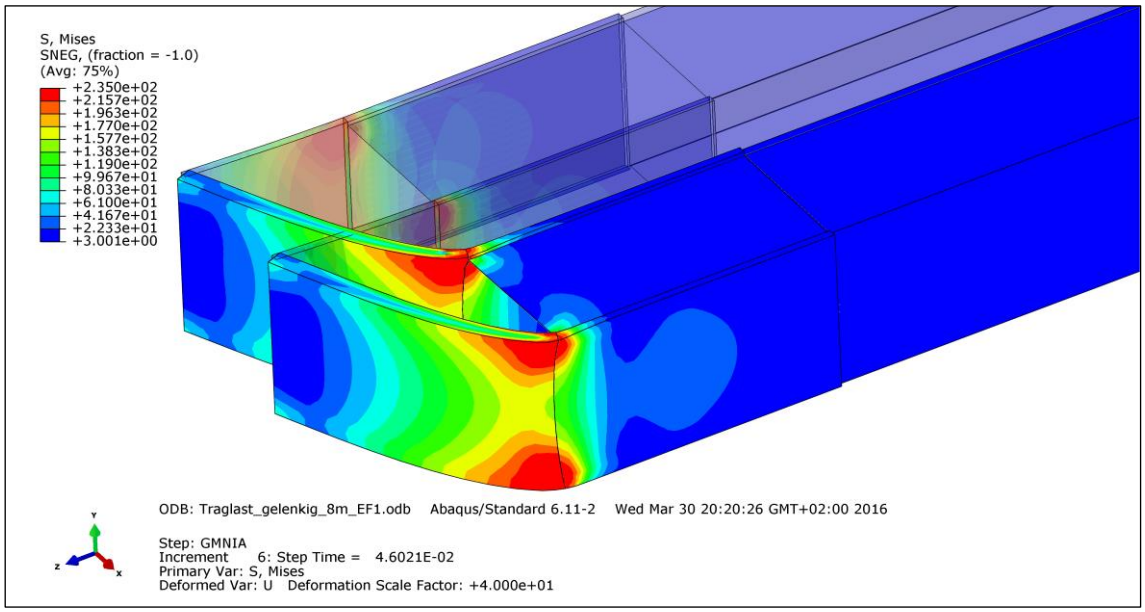


Abbildung 9-71: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





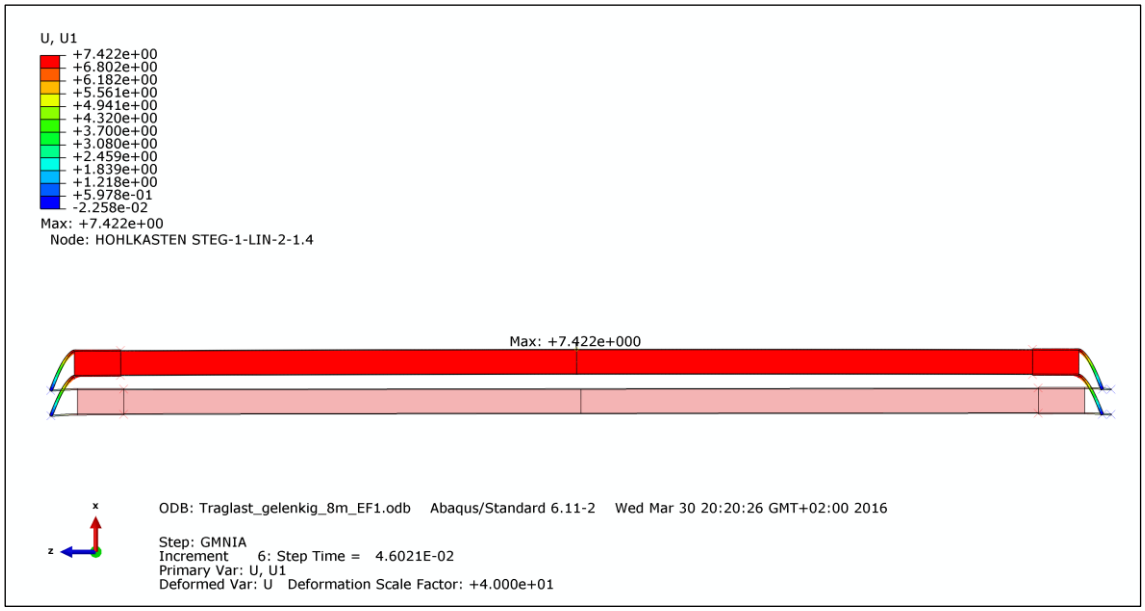


Abbildung 9-72: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

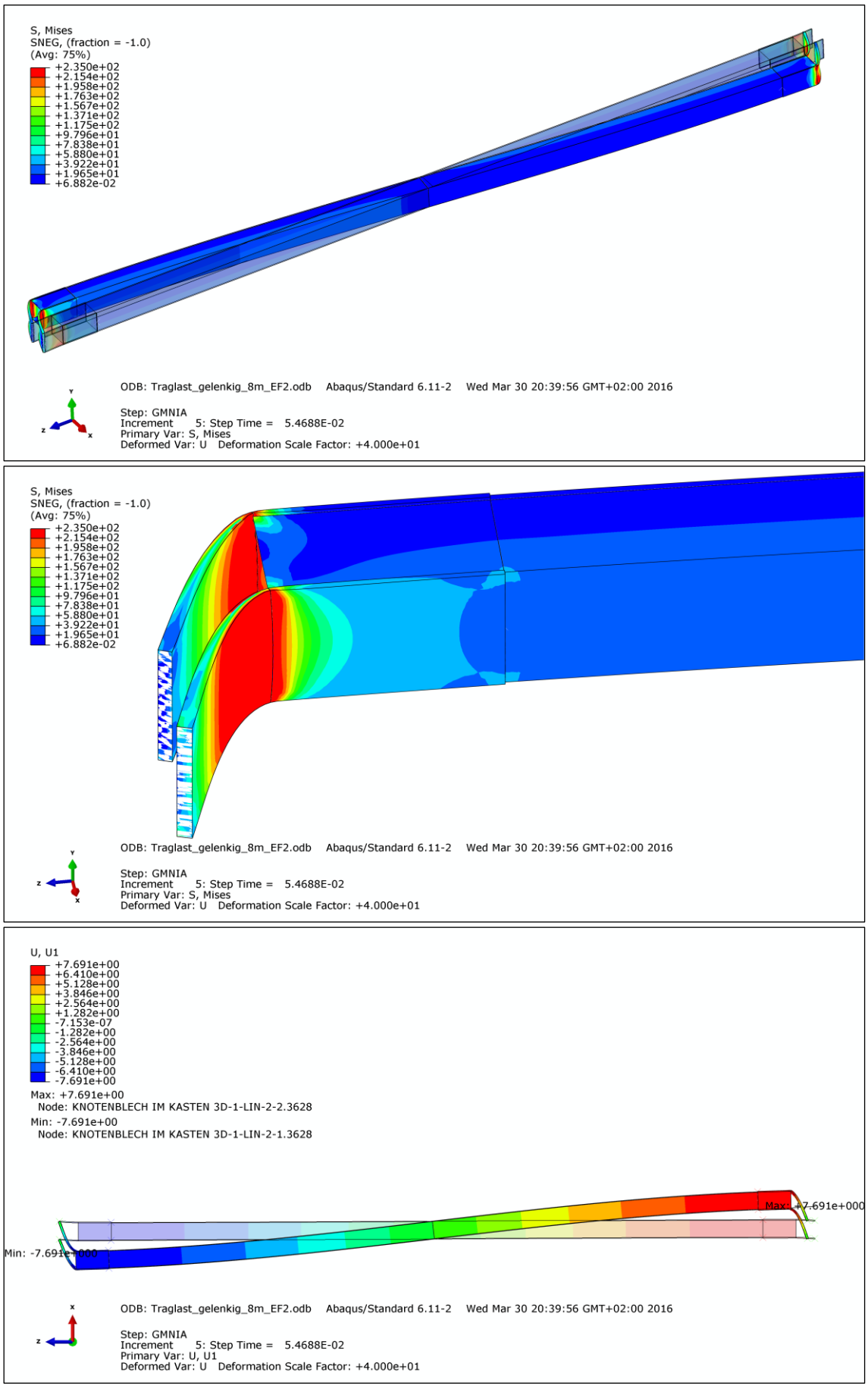
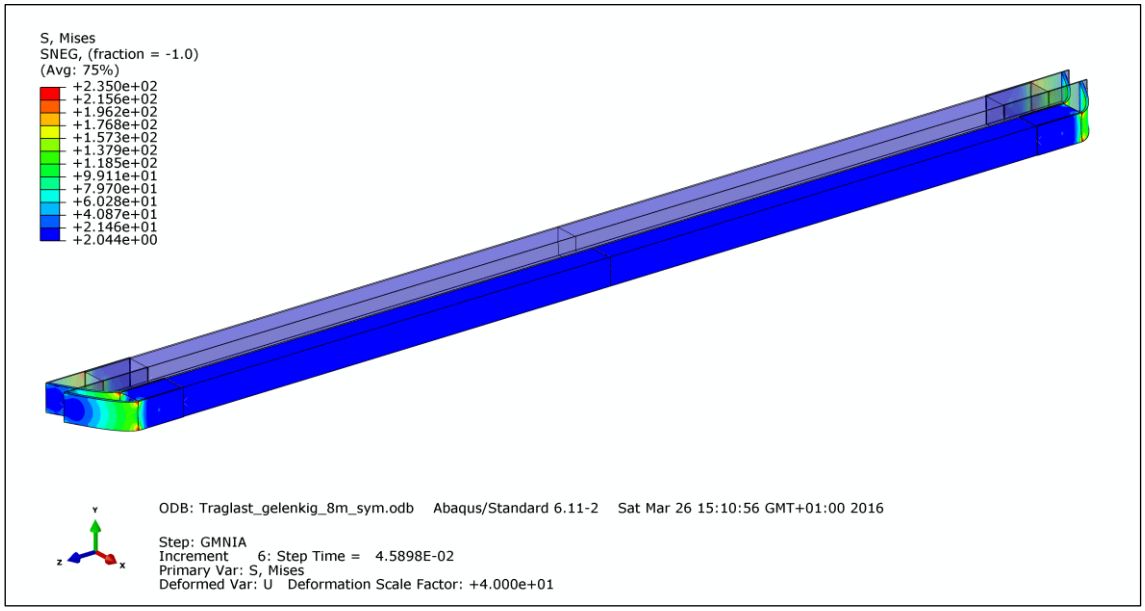
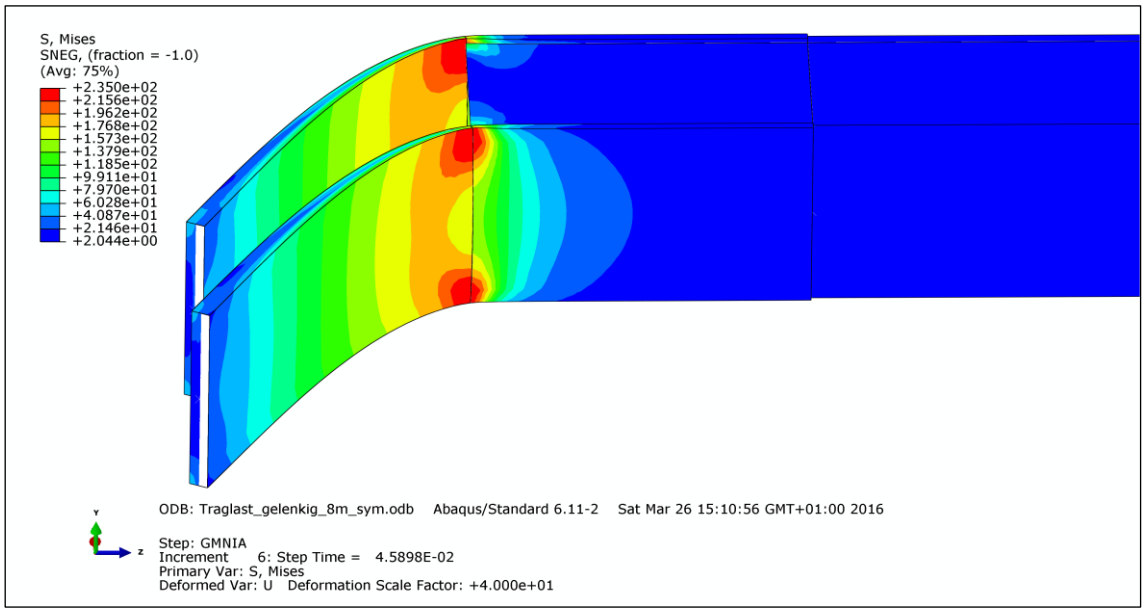


Abbildung 9-73: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





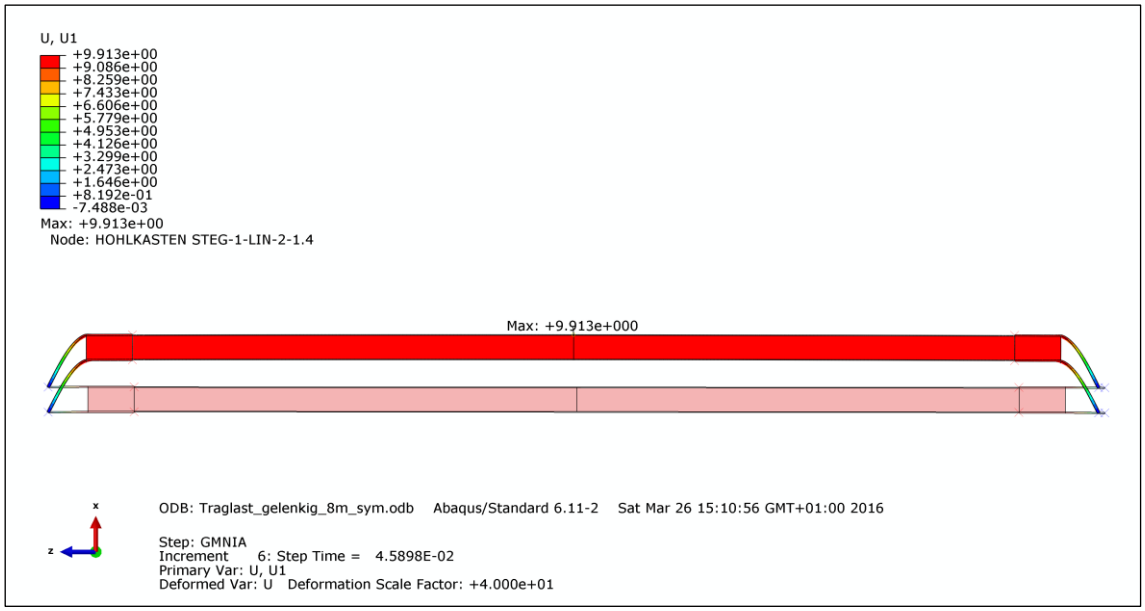
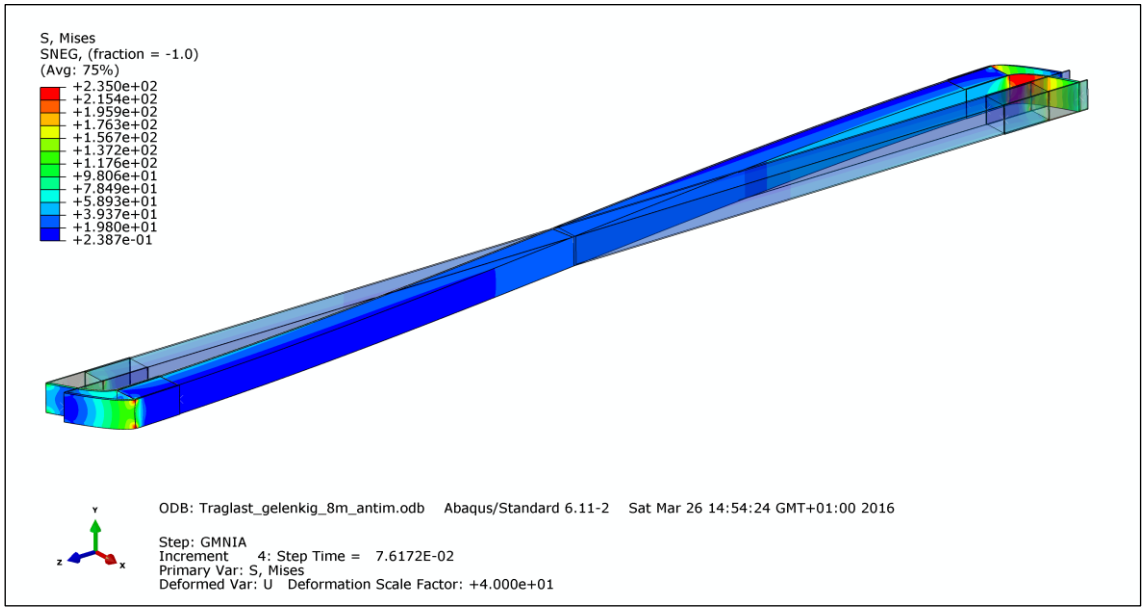
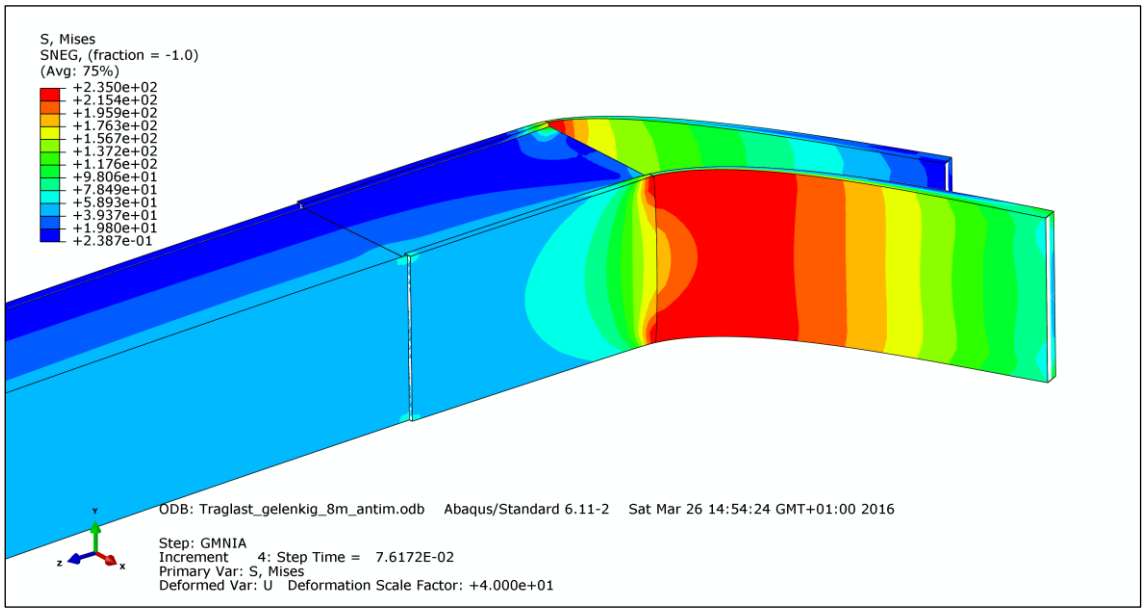


Abbildung 9-74: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





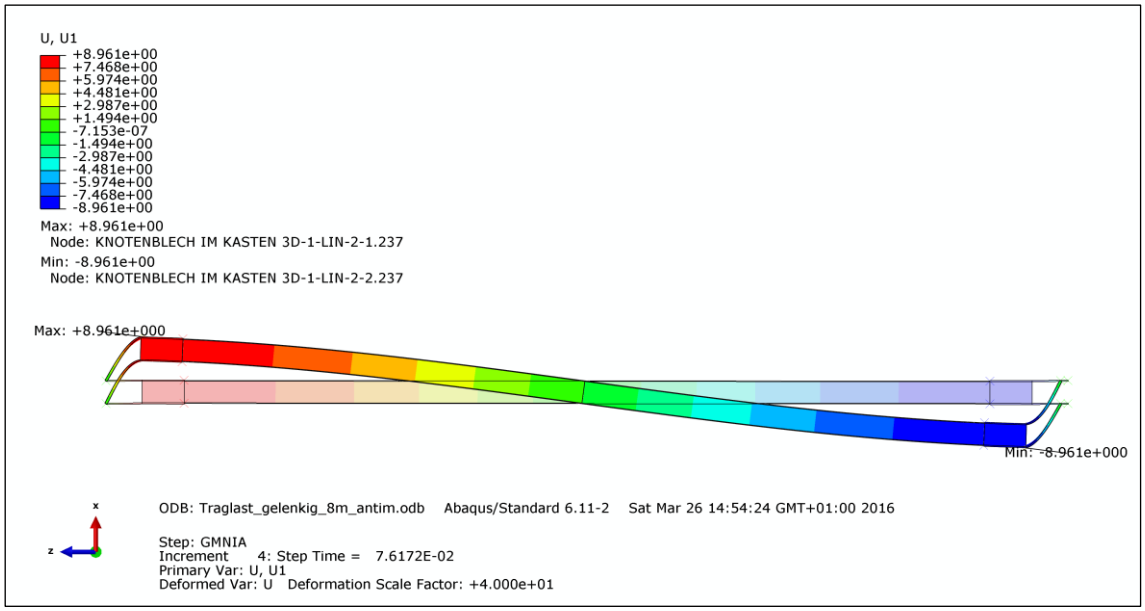
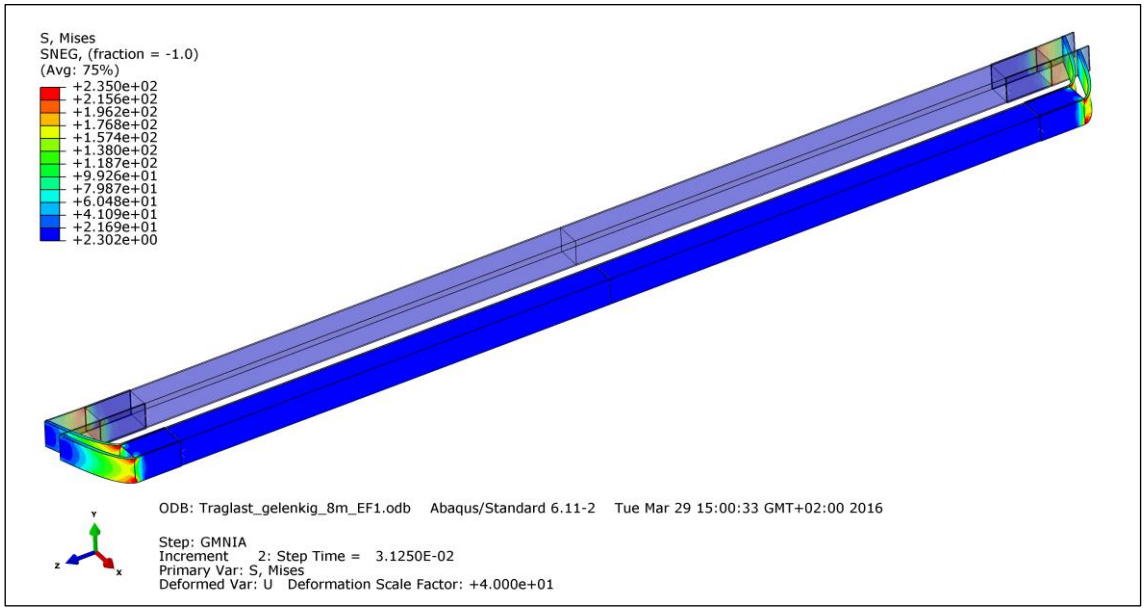
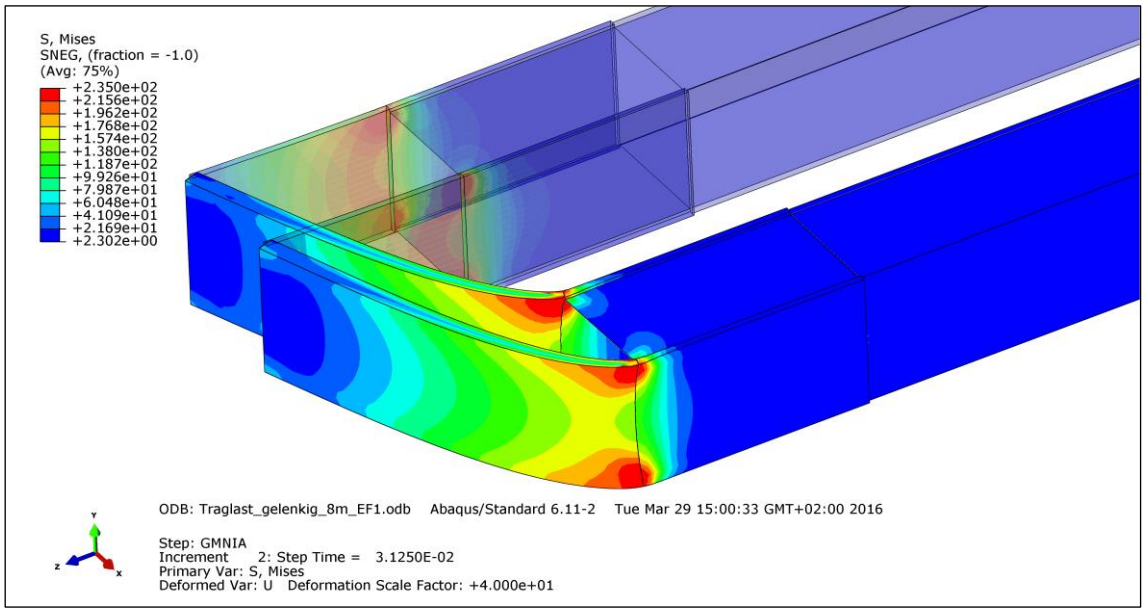


Abbildung 9-75: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





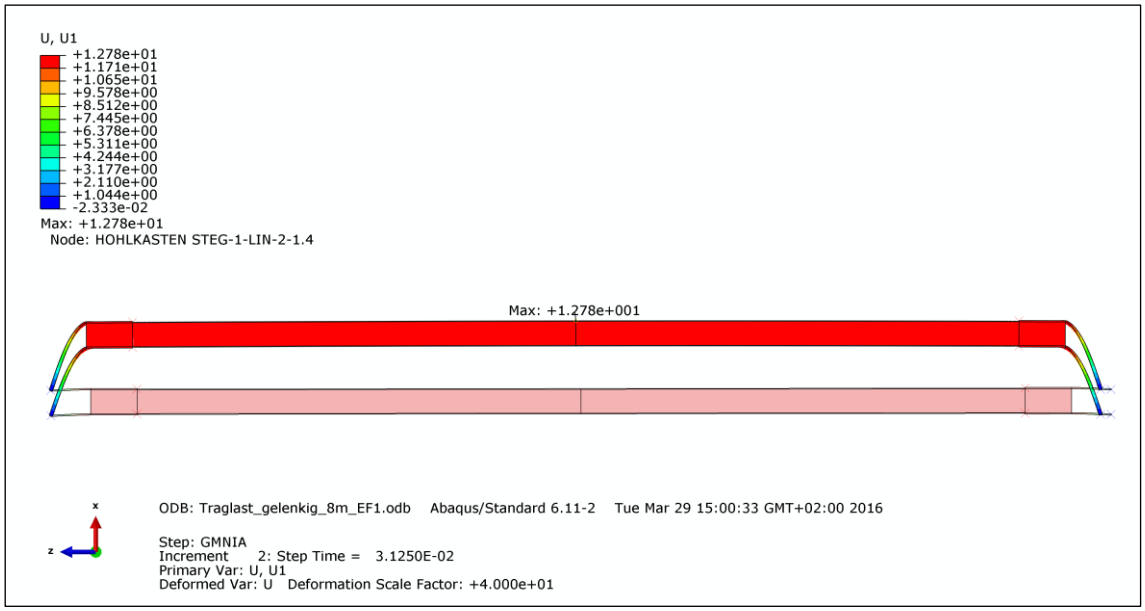
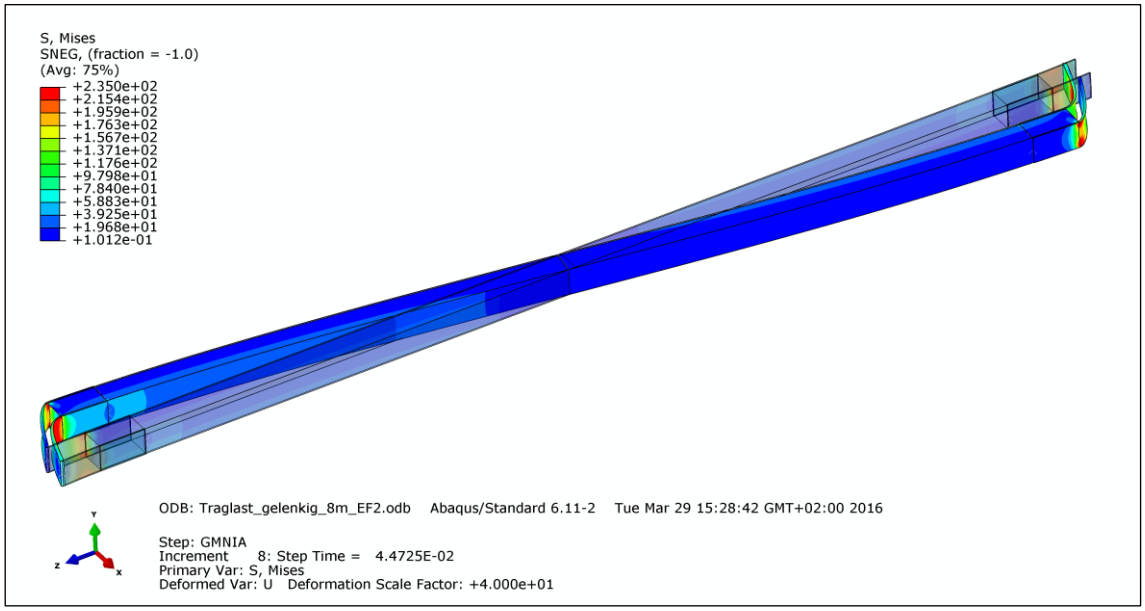
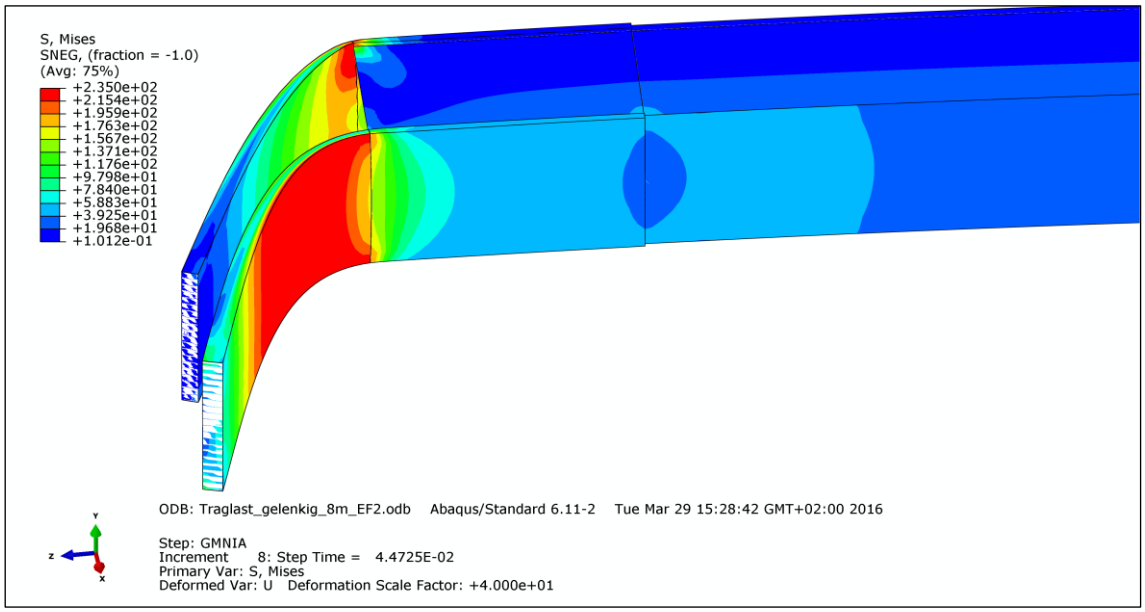


Abbildung 9-76: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





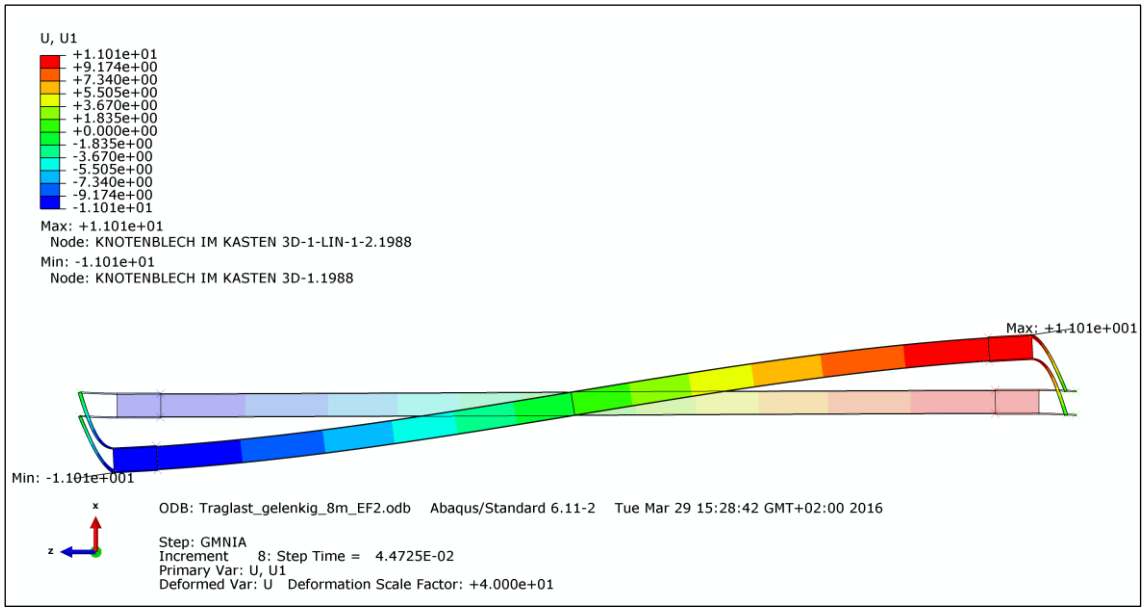
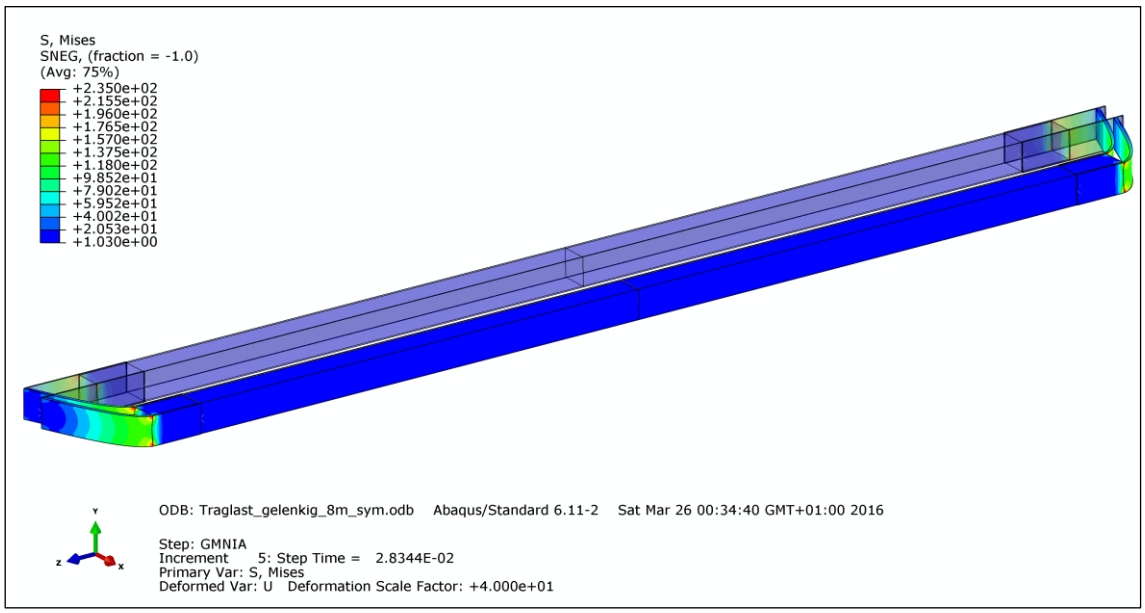
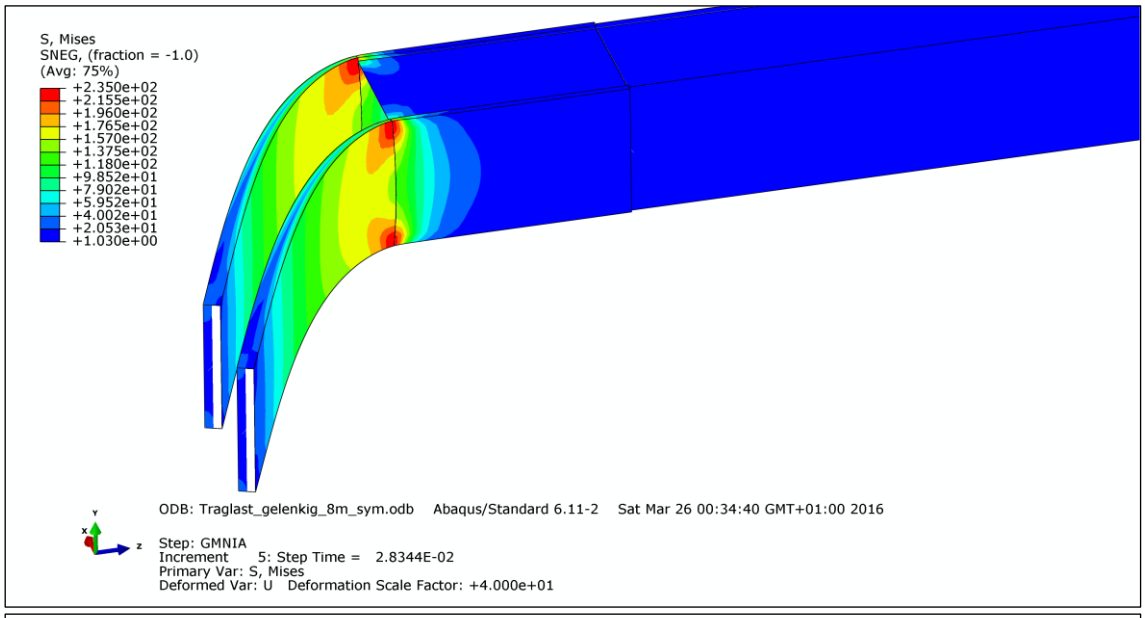


Abbildung 9-77: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





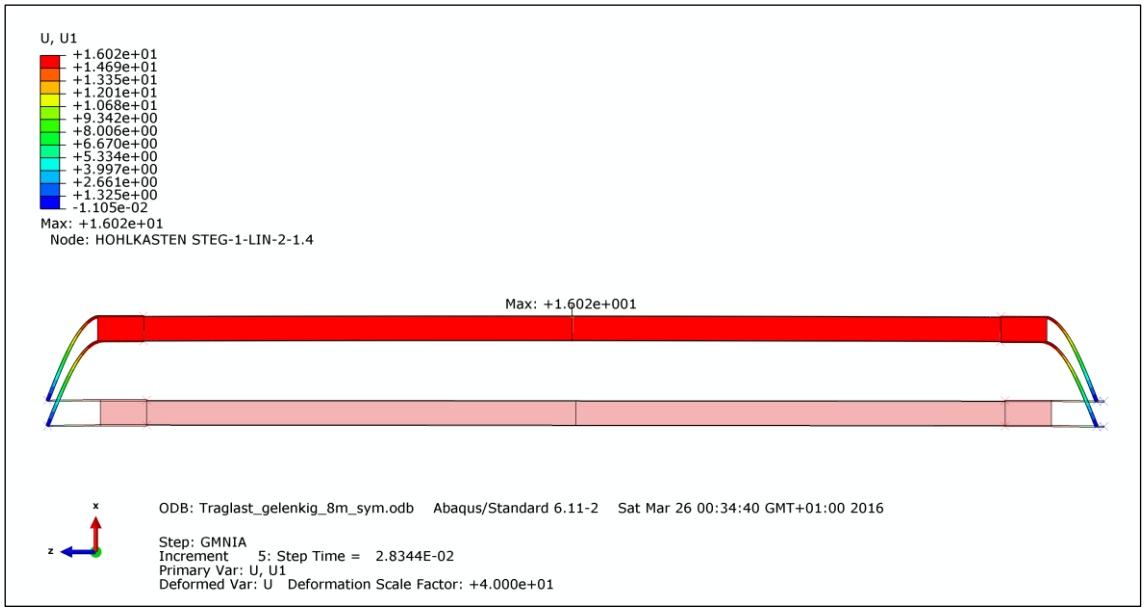
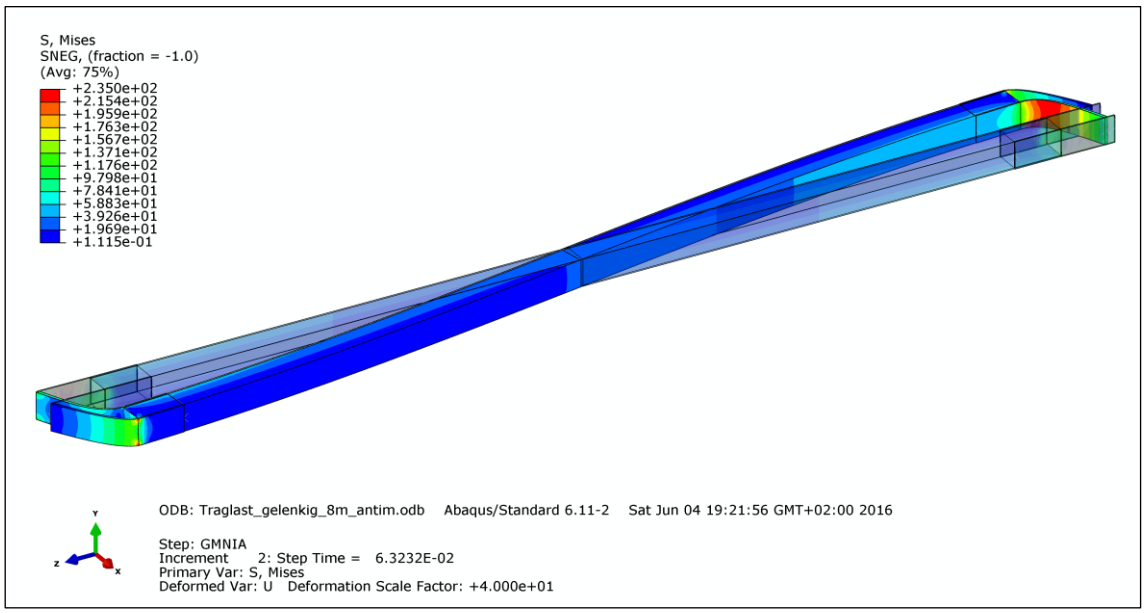
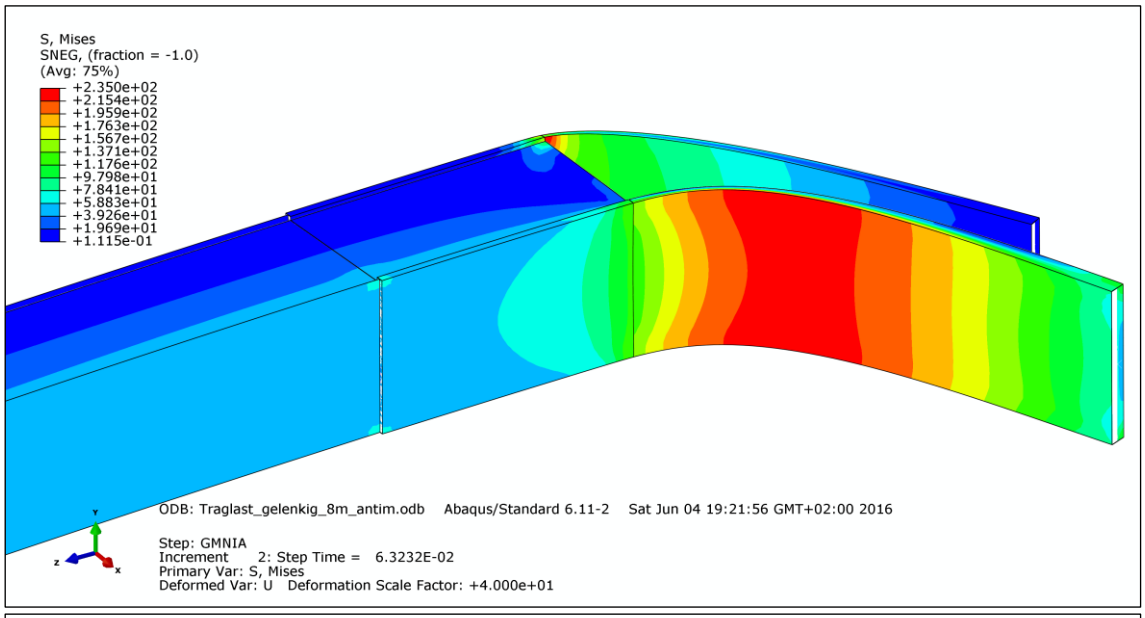


Abbildung 9-78: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





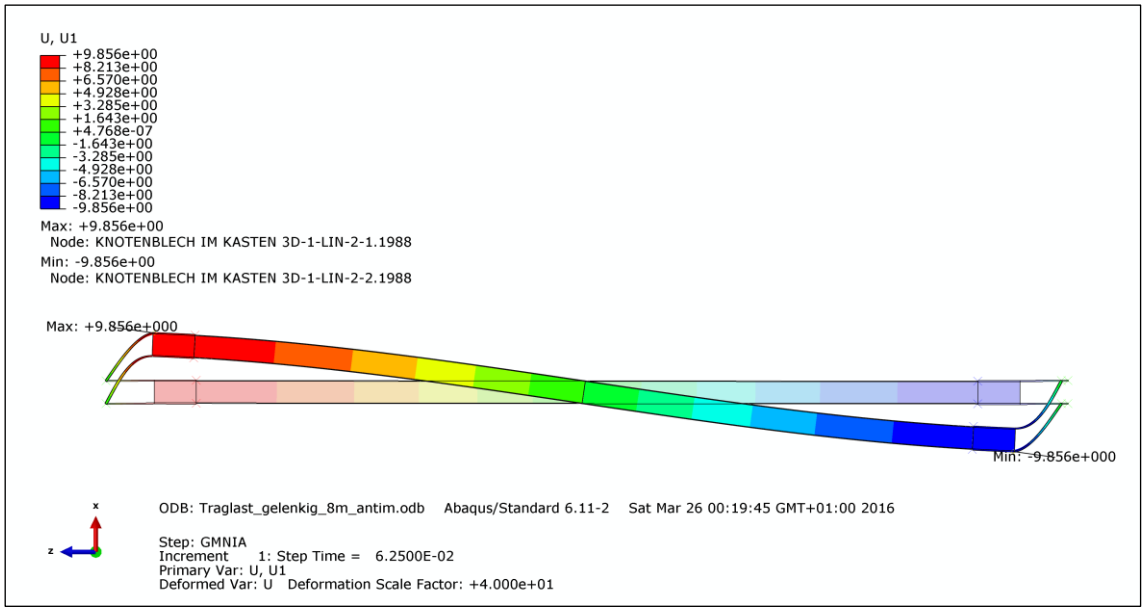


Abbildung 9-79: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)

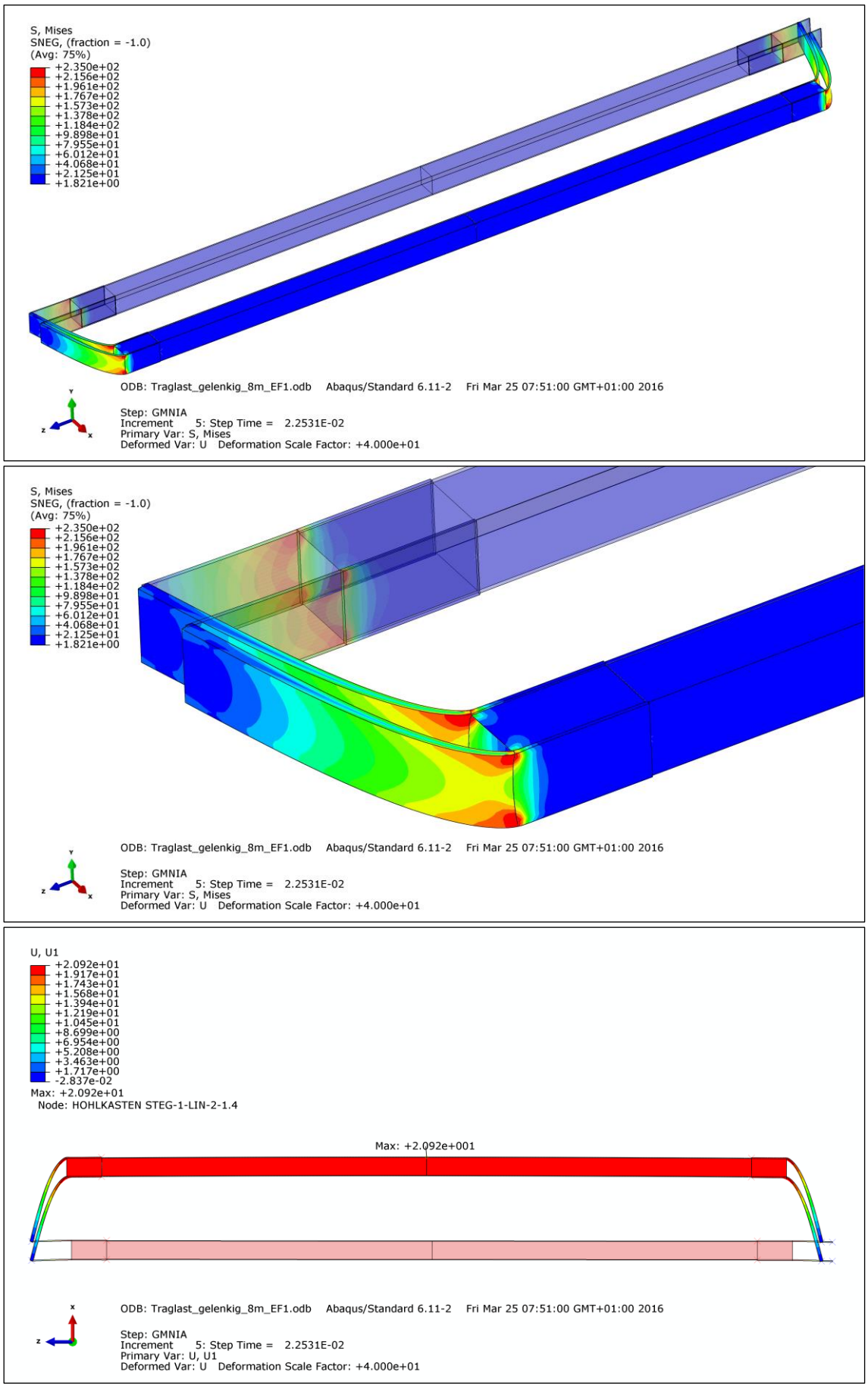
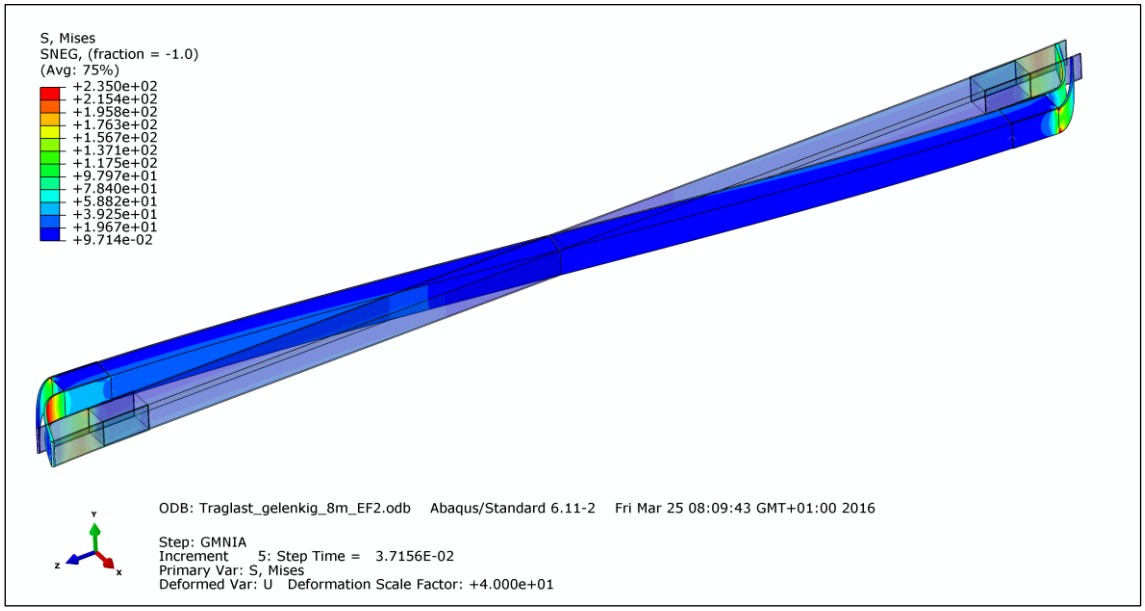
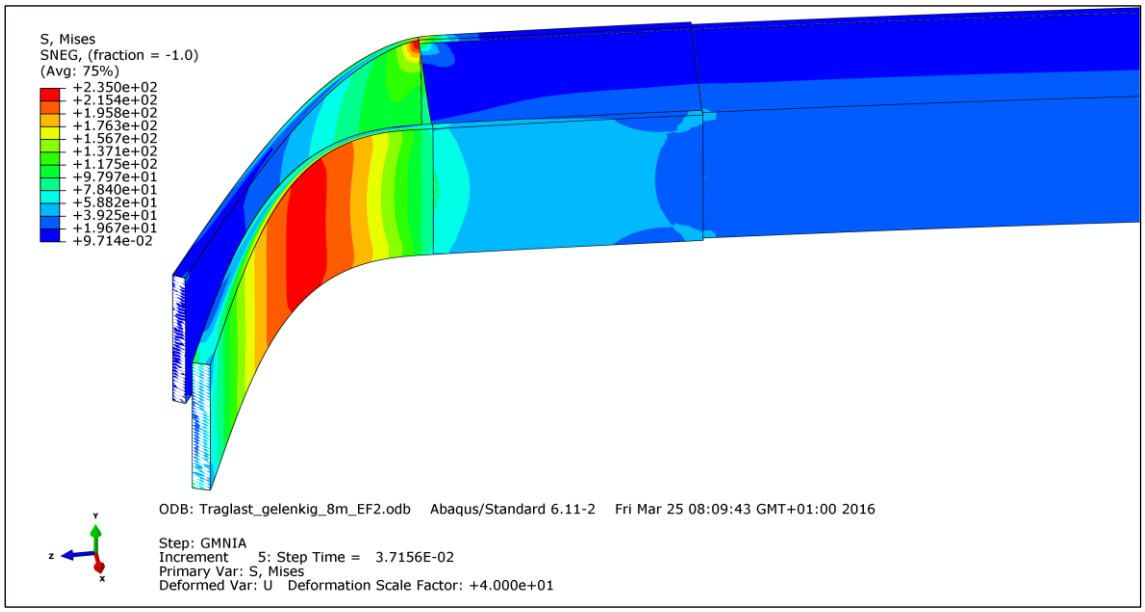


Abbildung 9-80: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





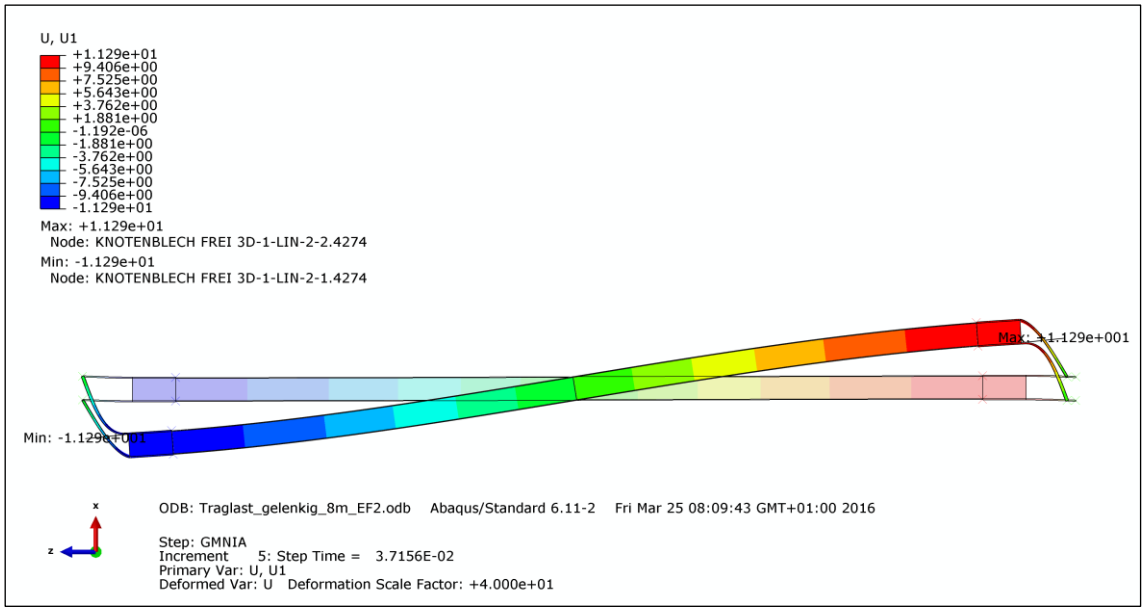
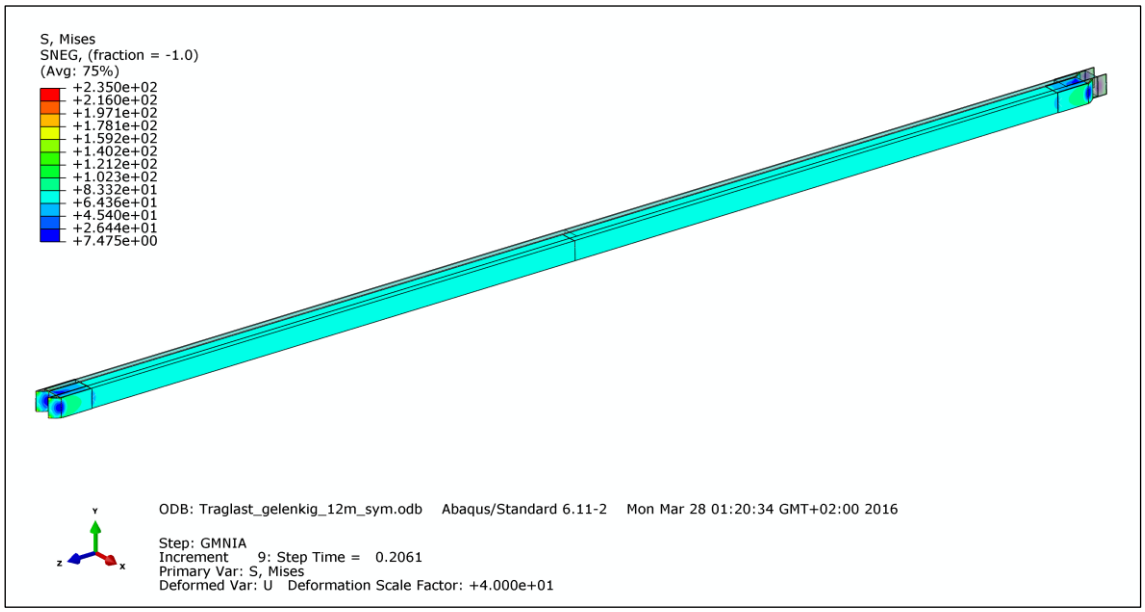
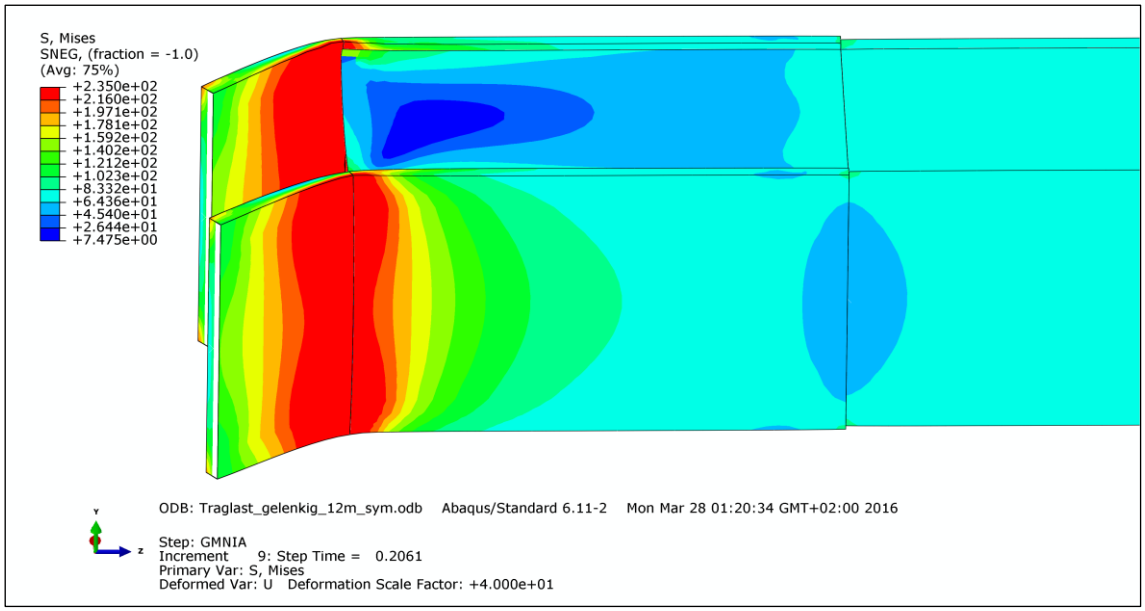


Abbildung 9-81: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm**





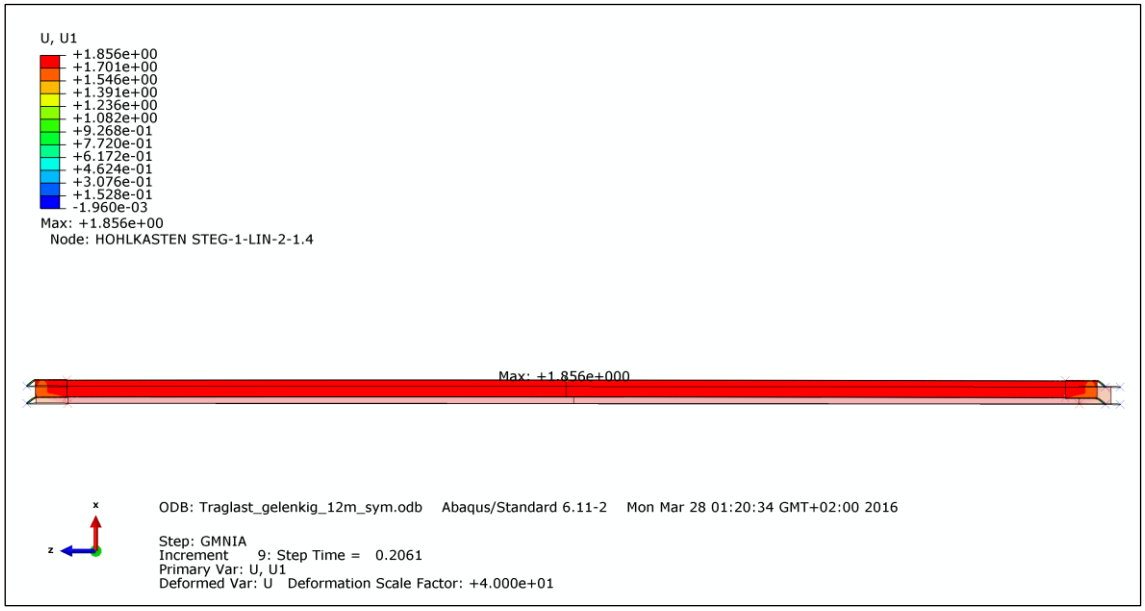
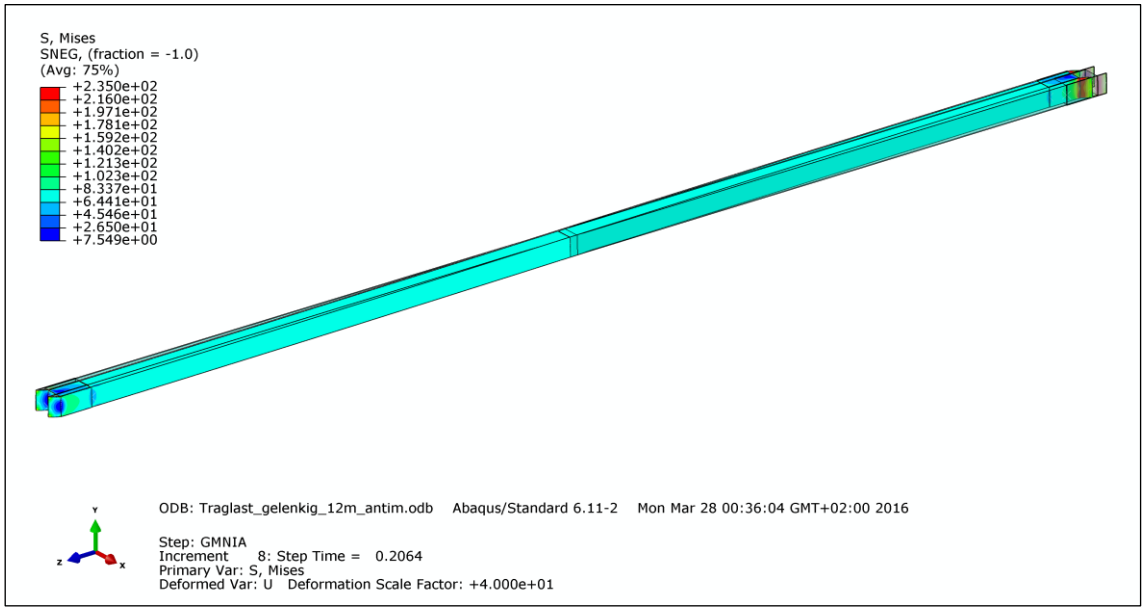
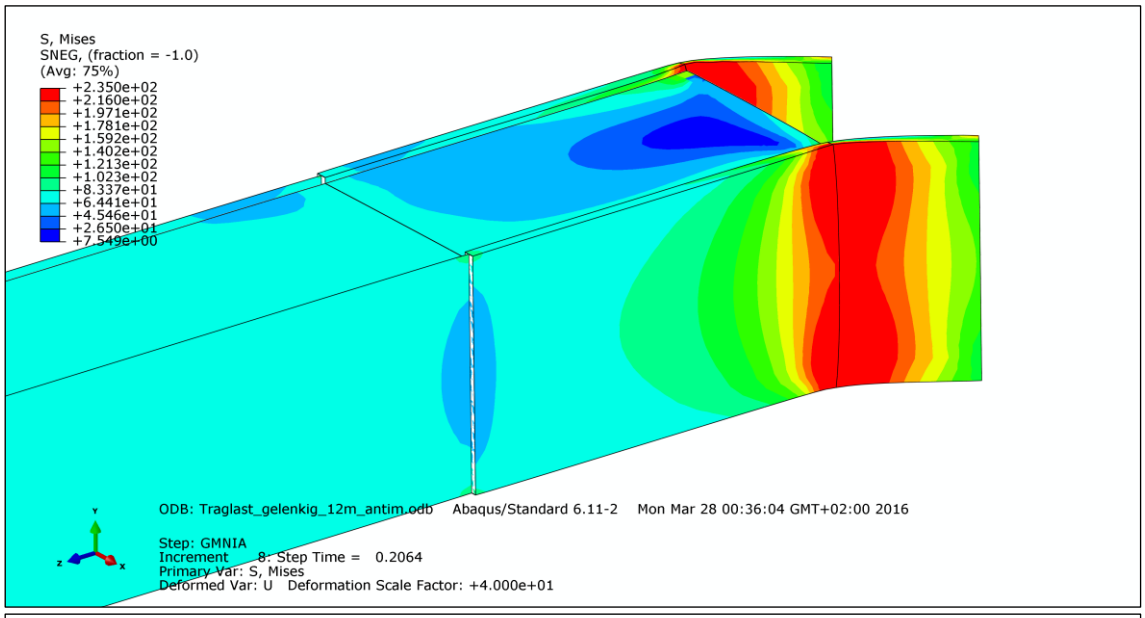


Abbildung 9-82: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





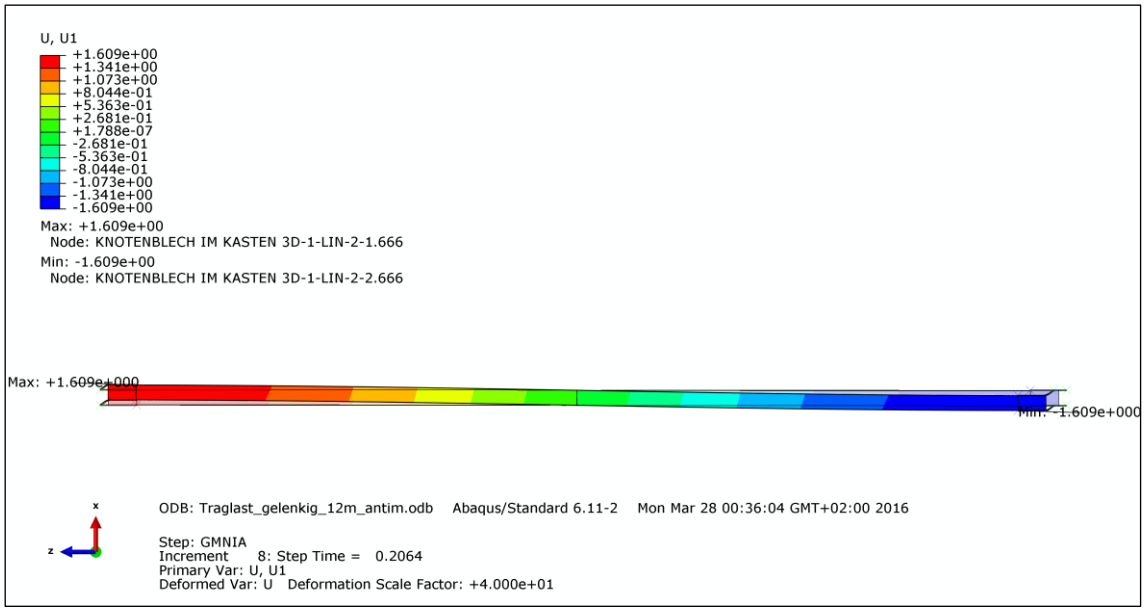
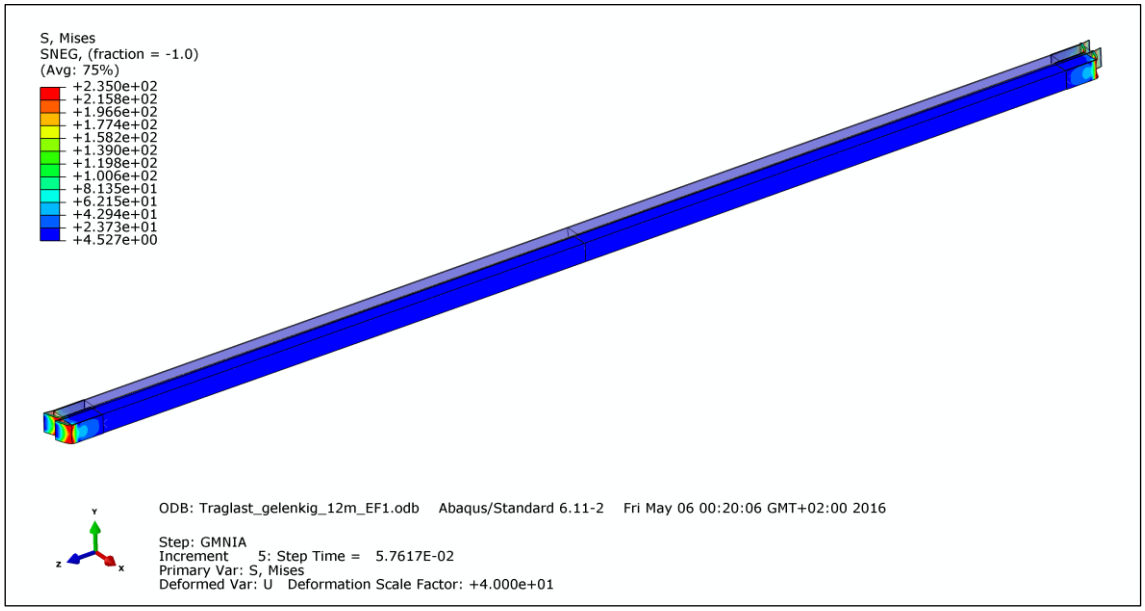
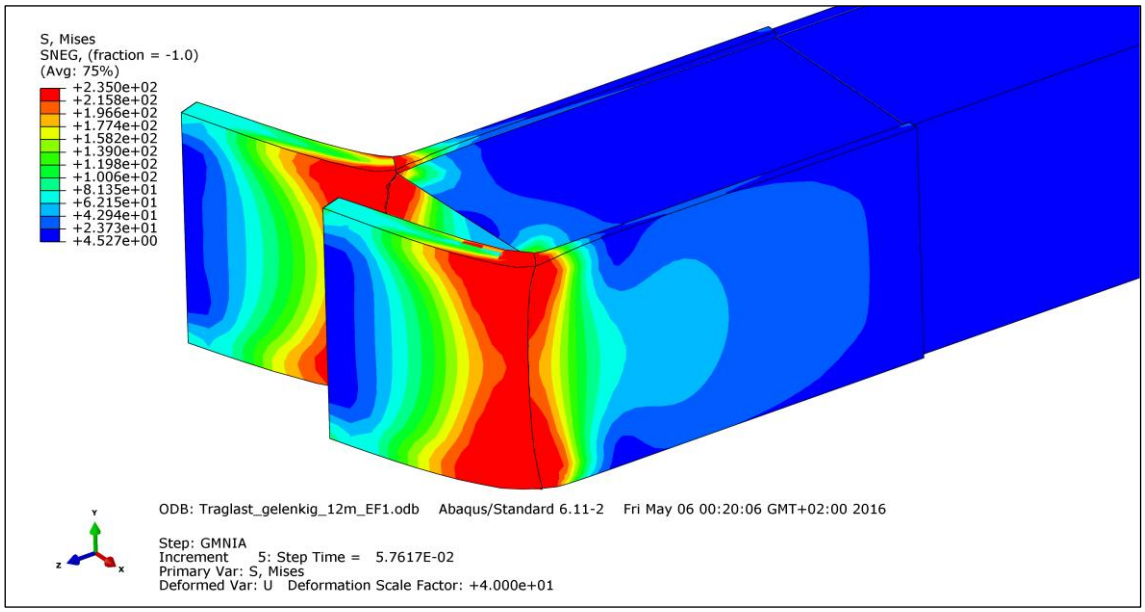


Abbildung 9-83: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





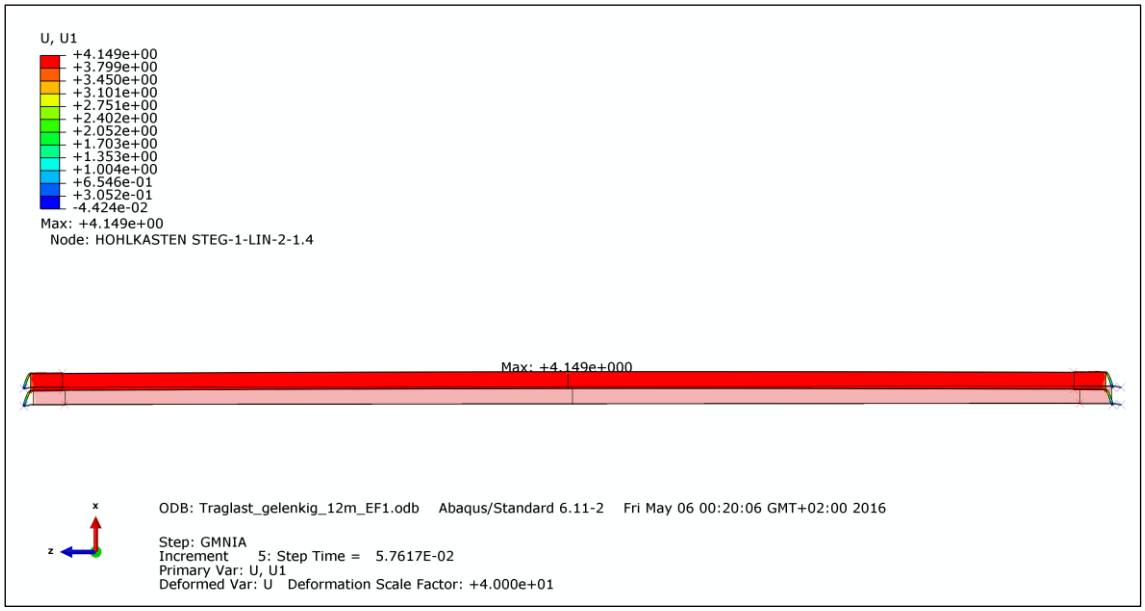
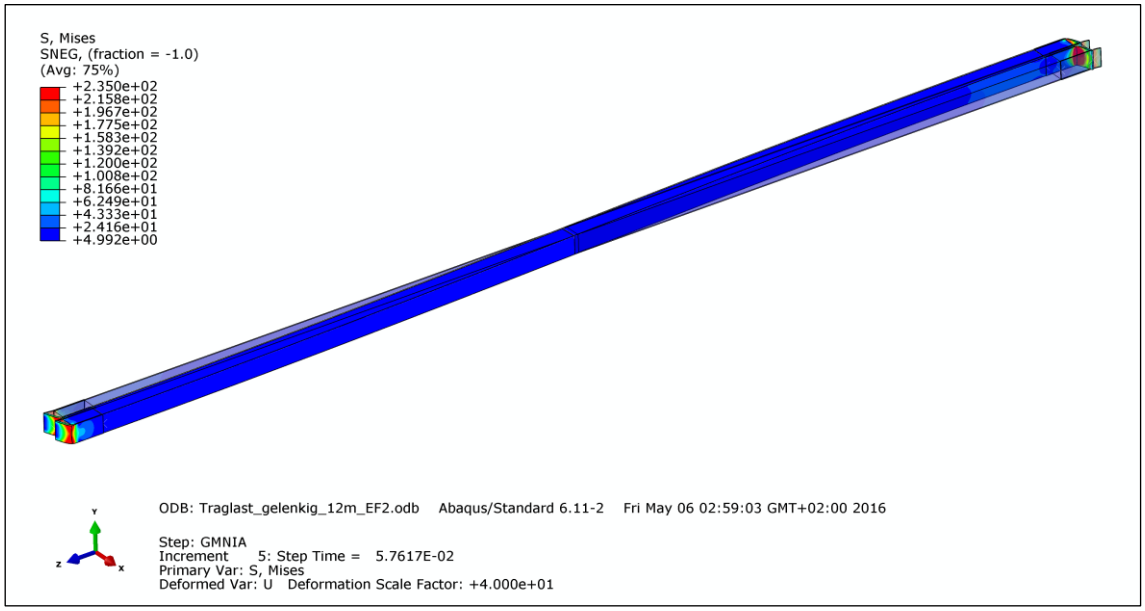
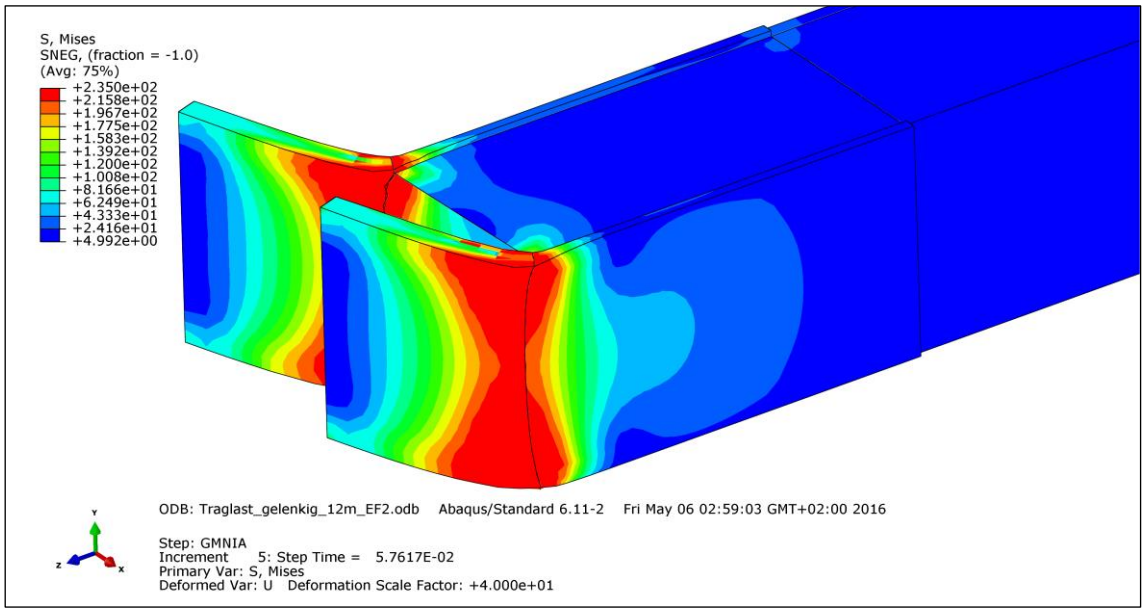


Abbildung 9-84: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





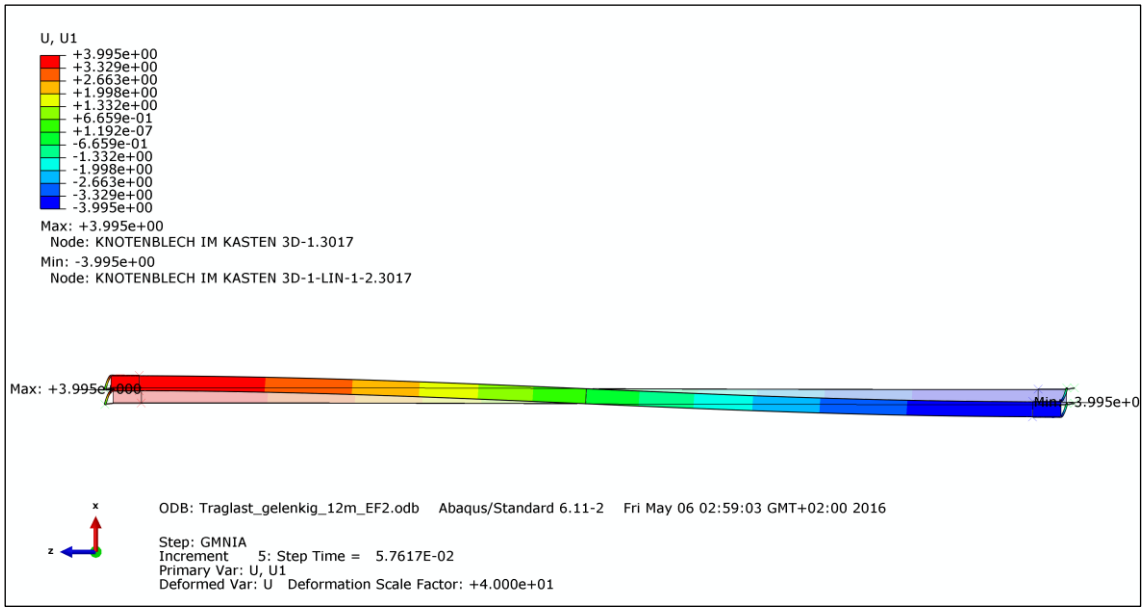
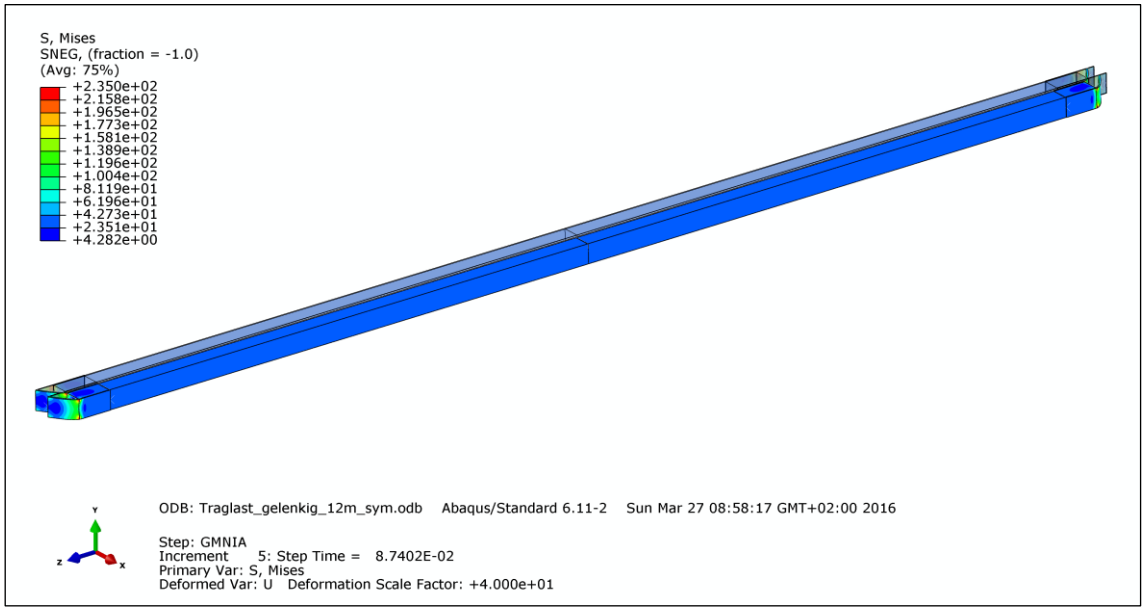
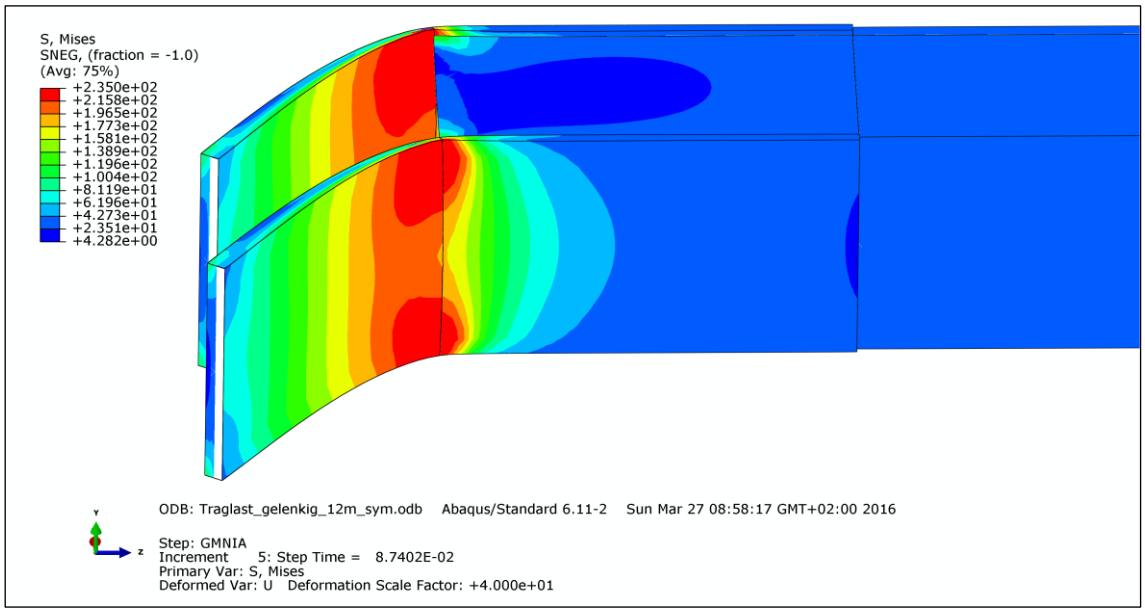


Abbildung 9-85: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





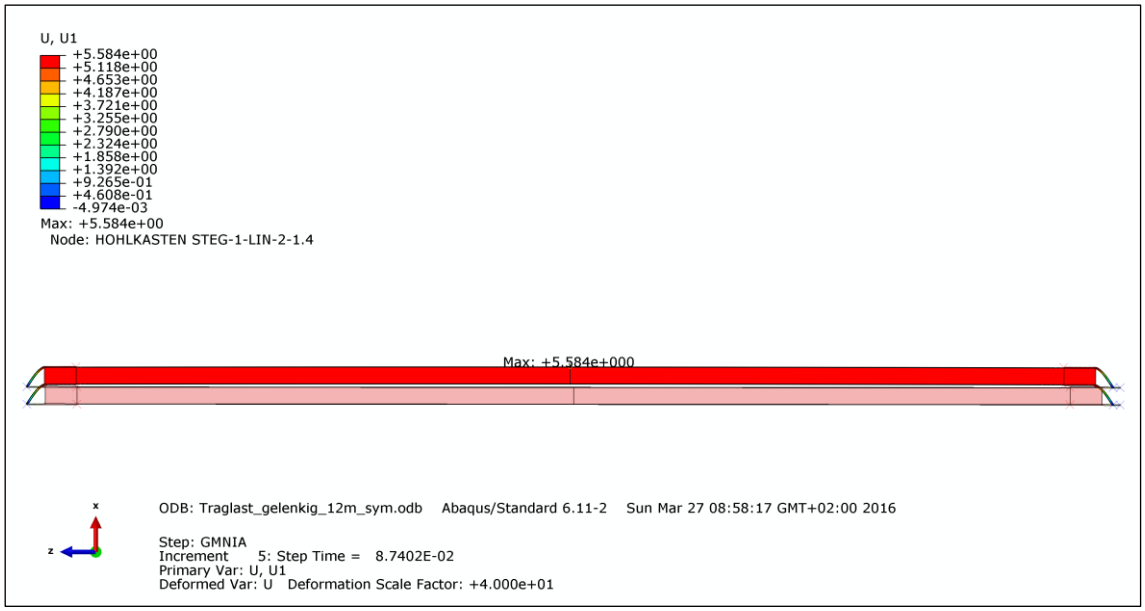
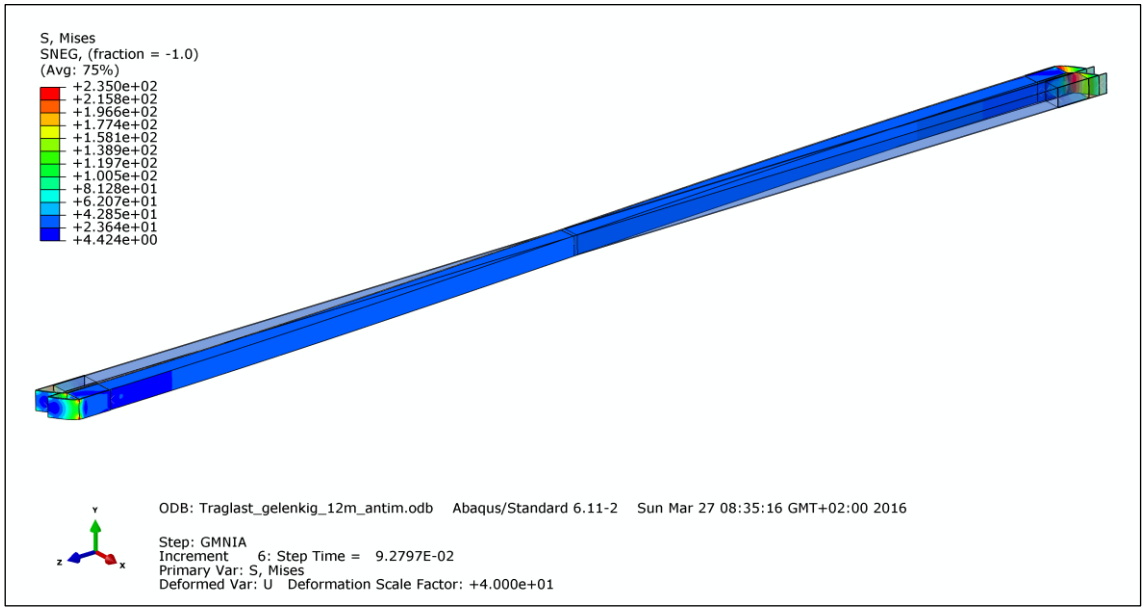
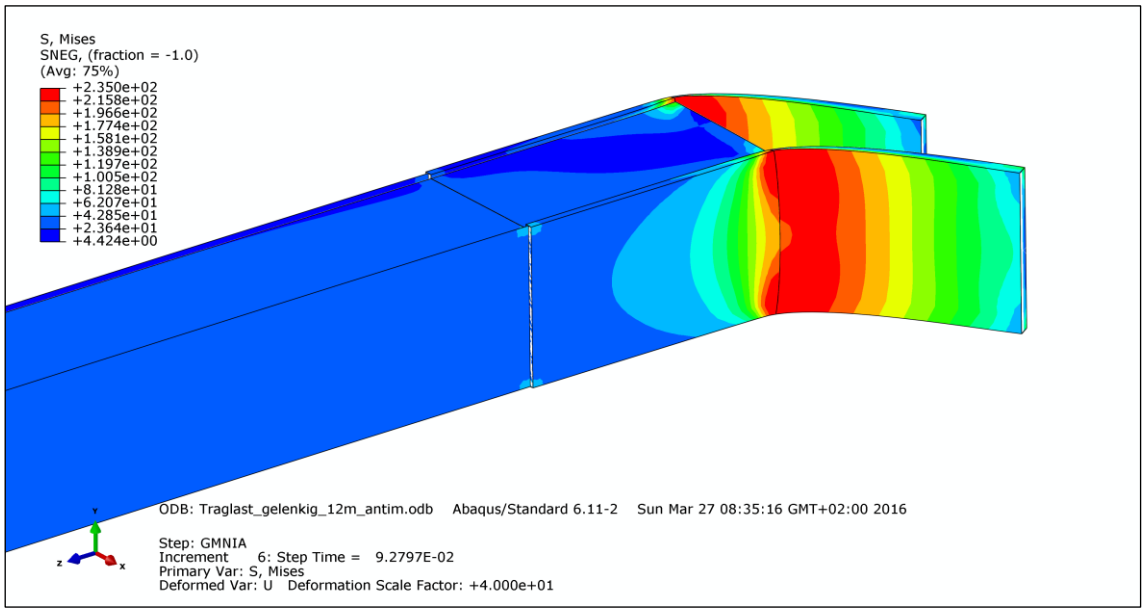


Abbildung 9-86: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





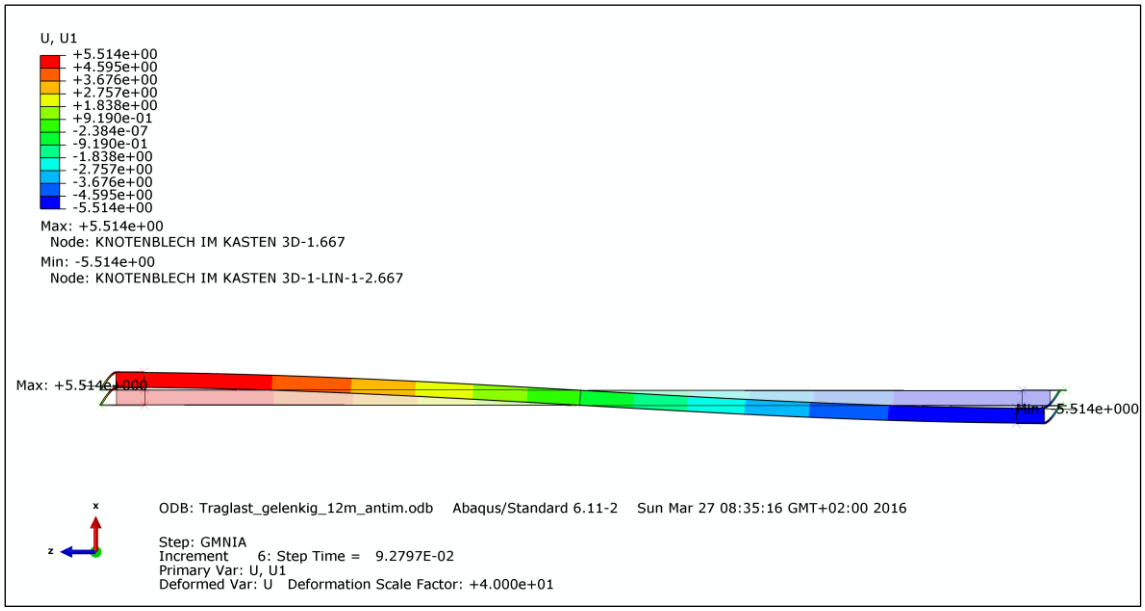
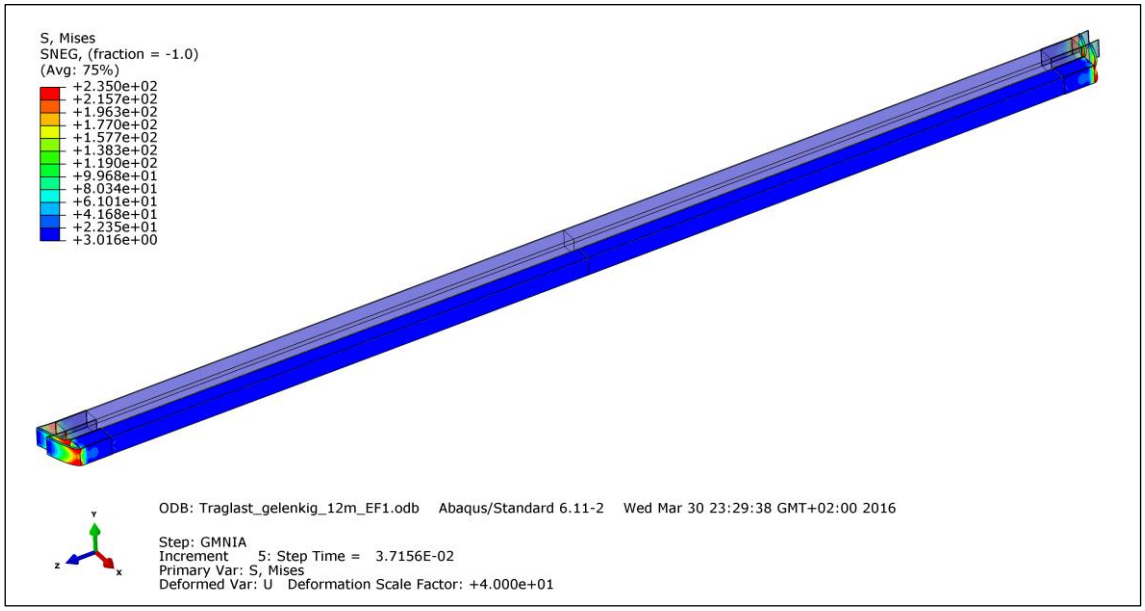
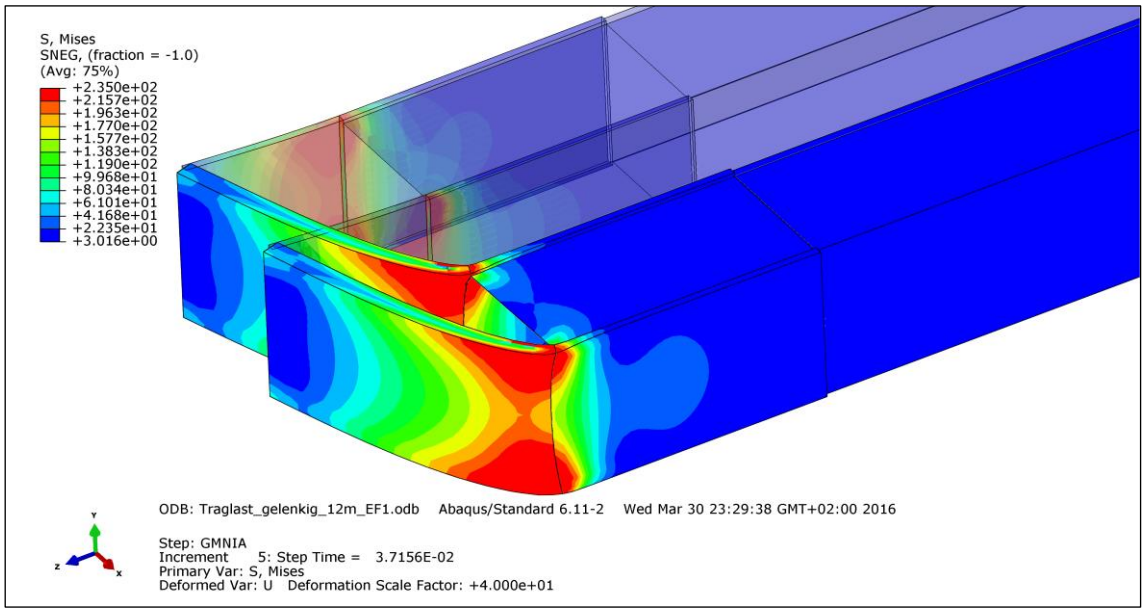


Abbildung 9-87: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





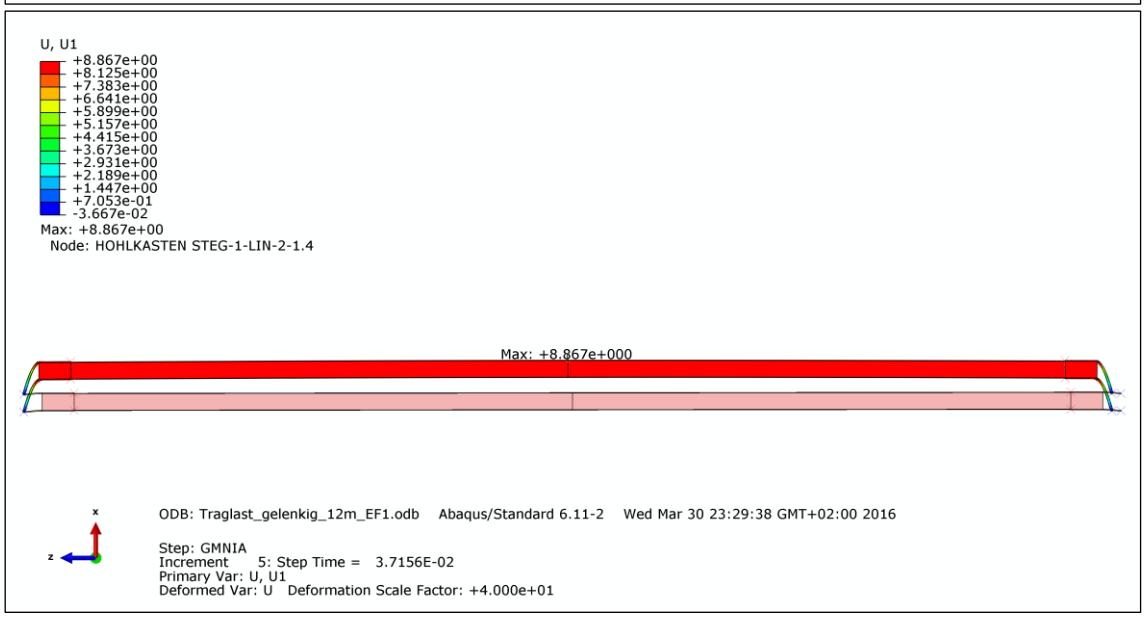
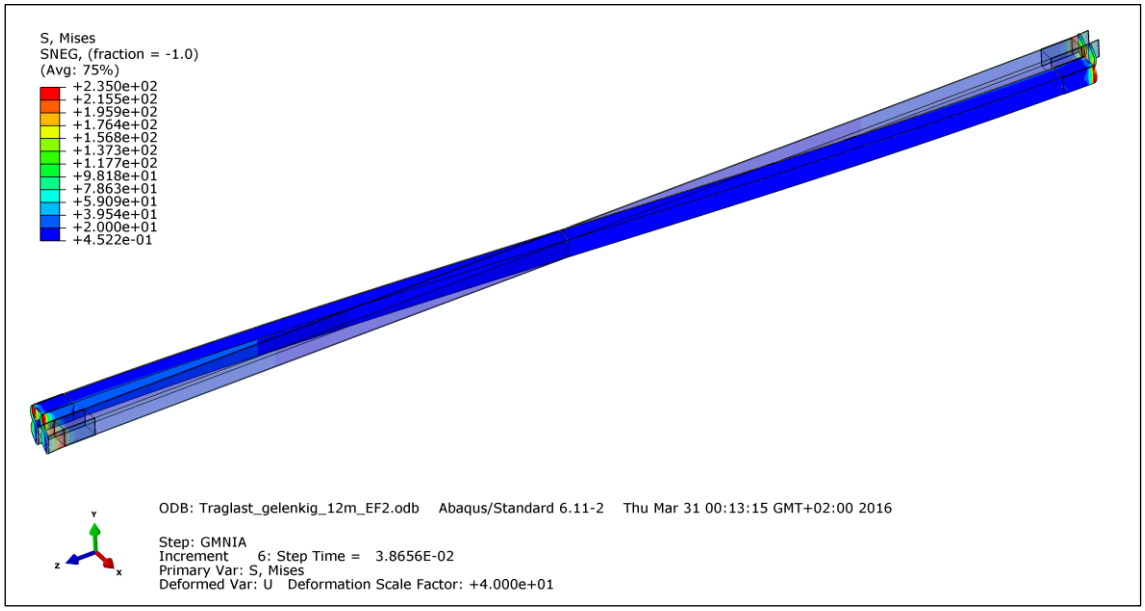
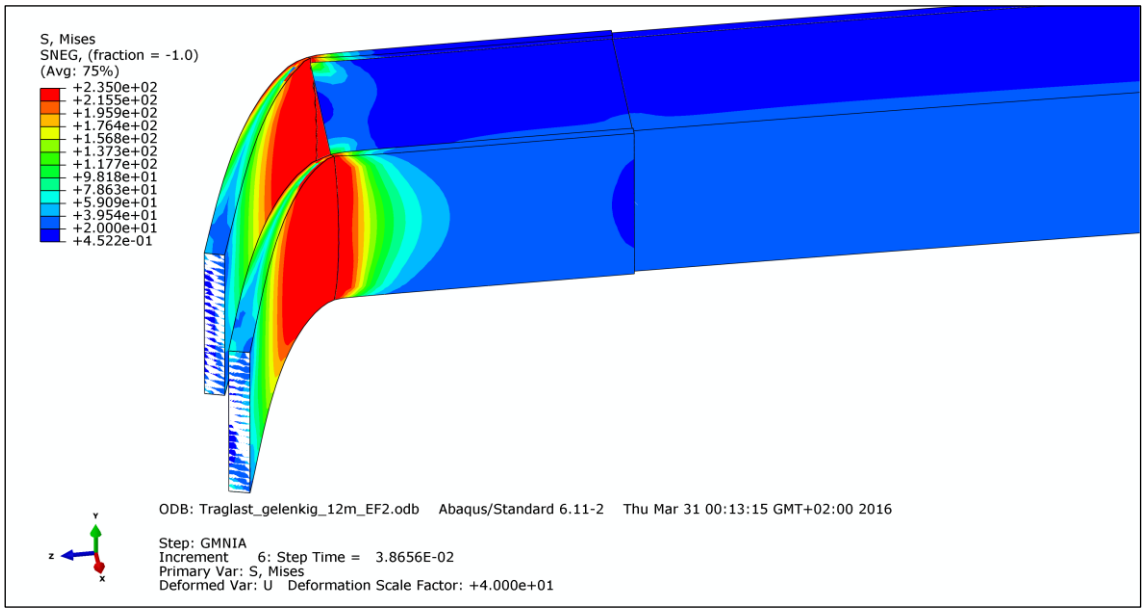


Abbildung 9-88: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





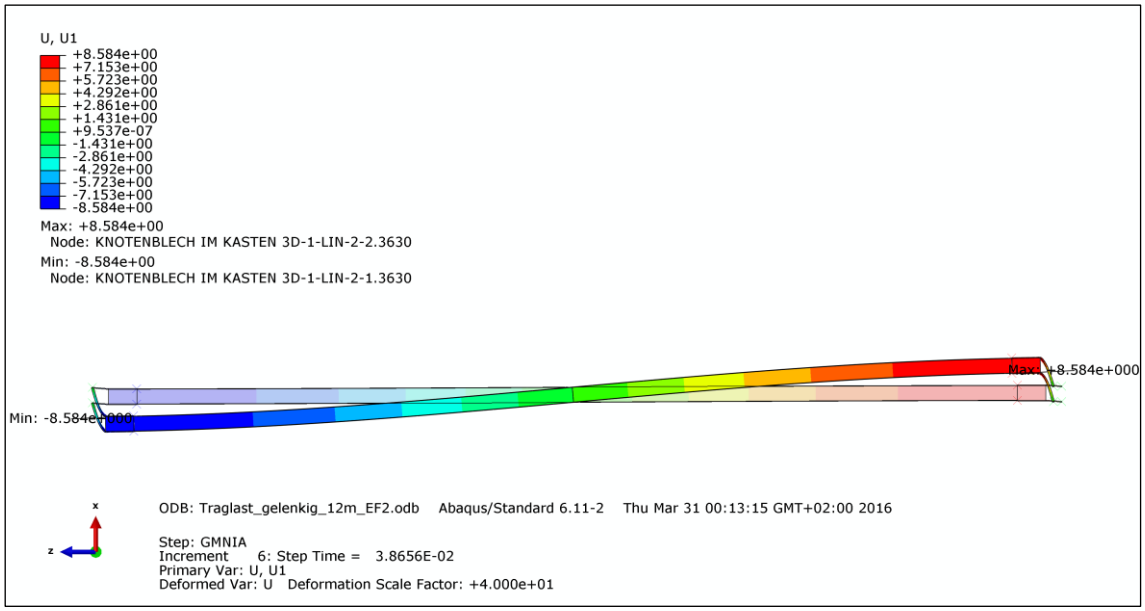
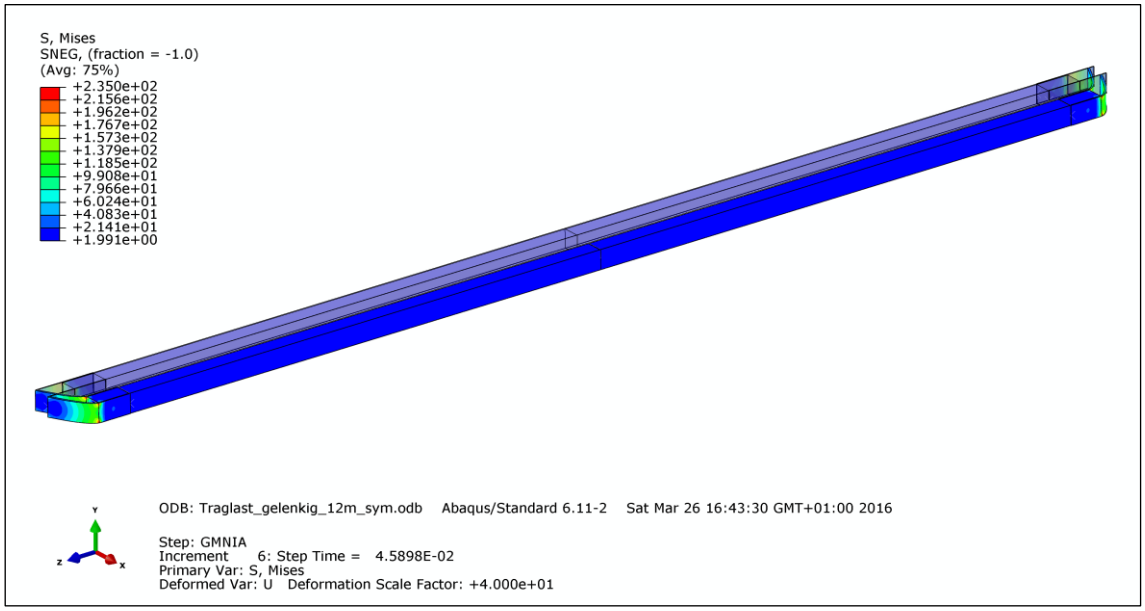
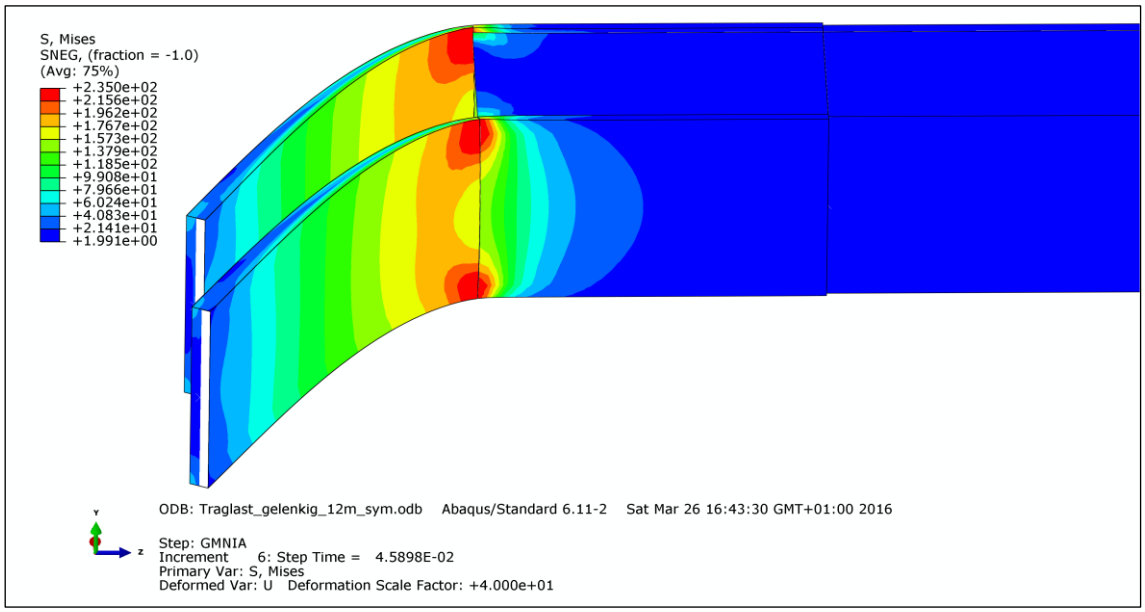


Abbildung 9-89: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





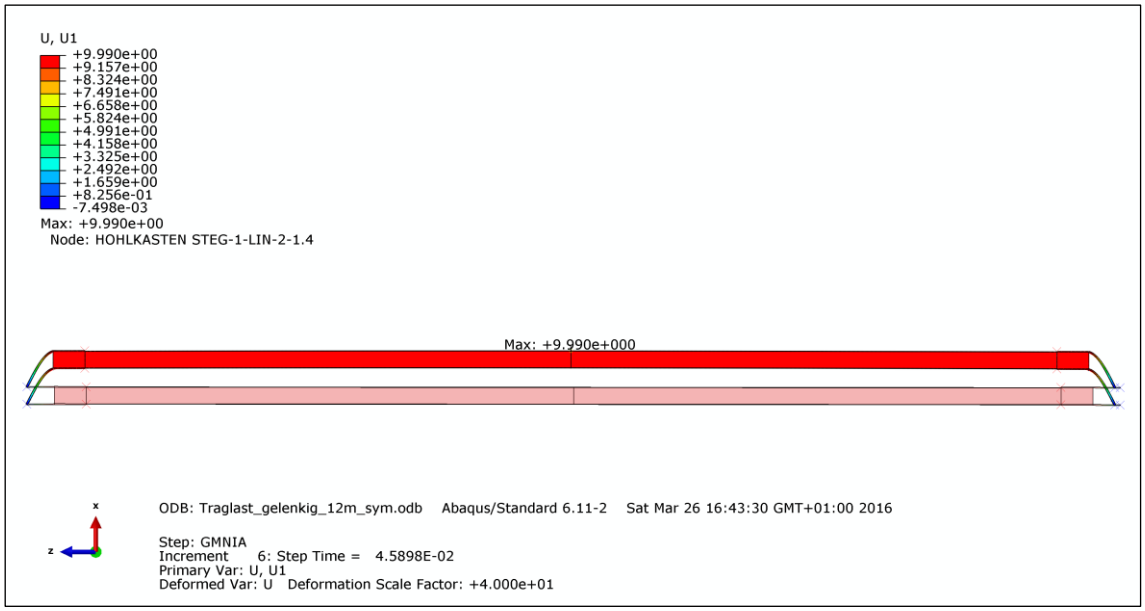
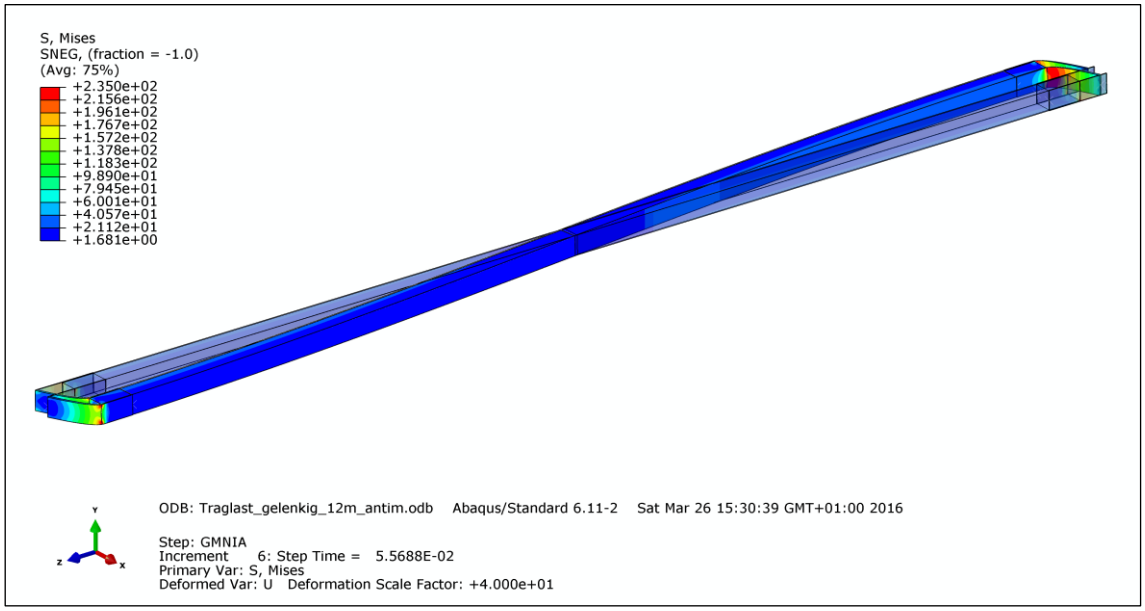
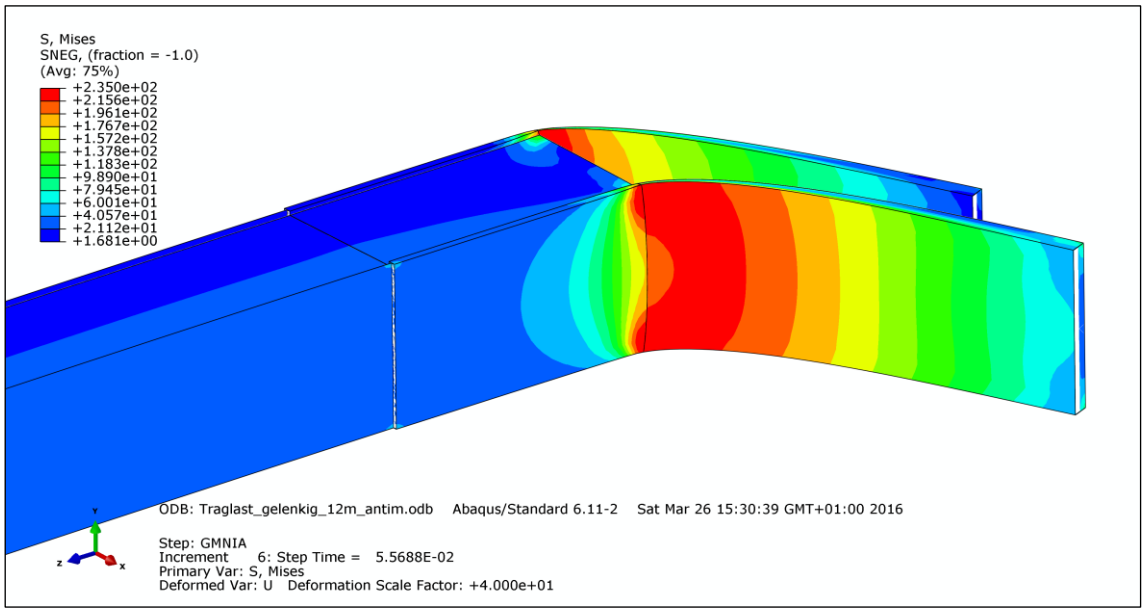


Abbildung 9-90: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





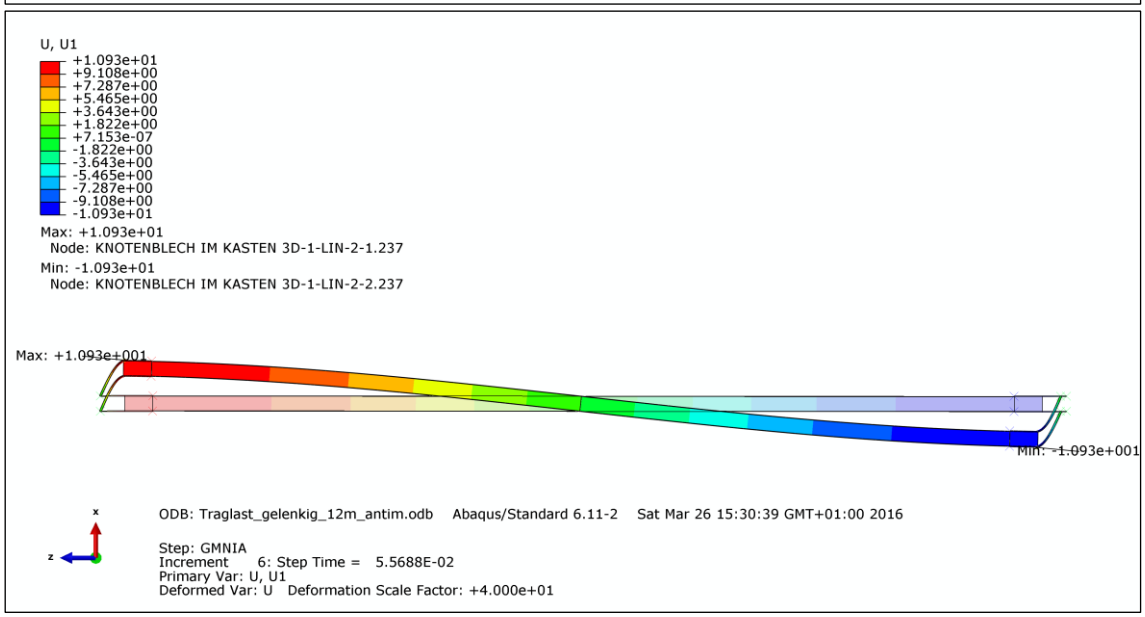
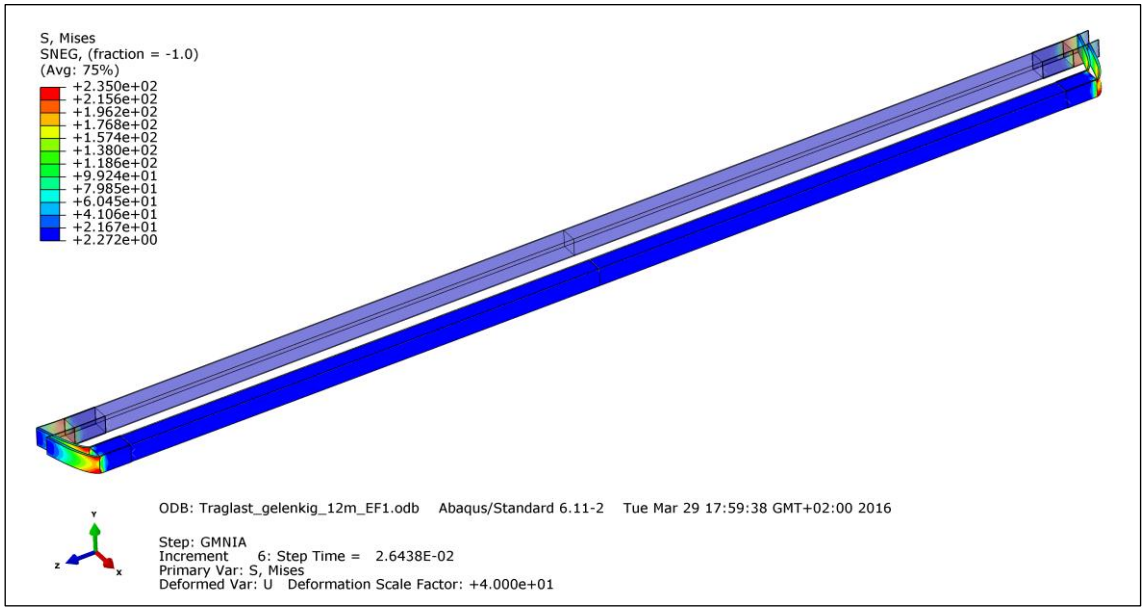
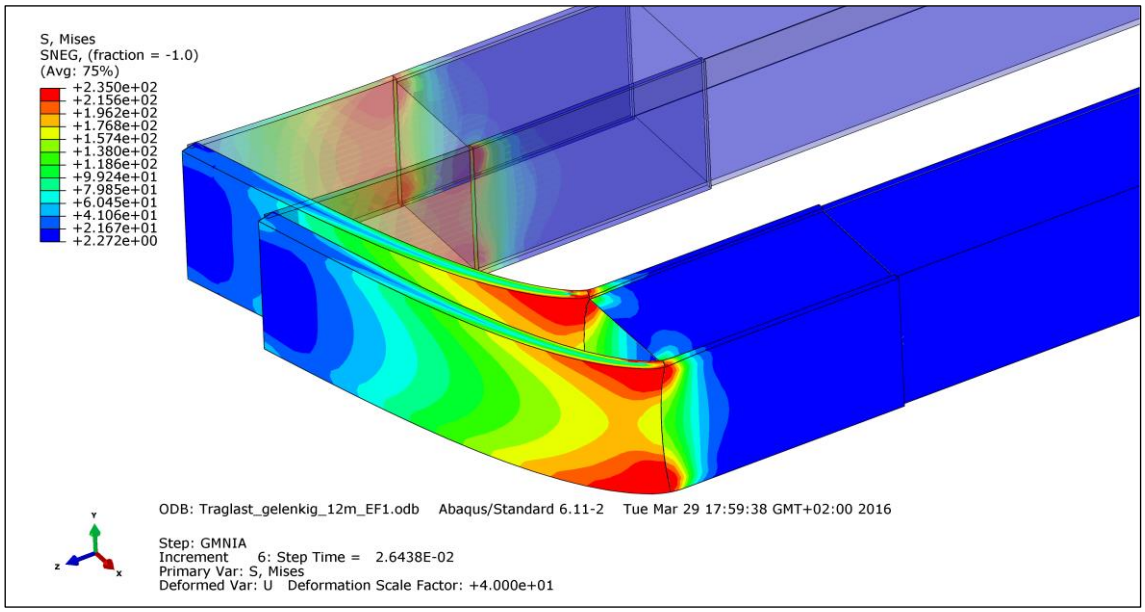


Abbildung 9-91: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





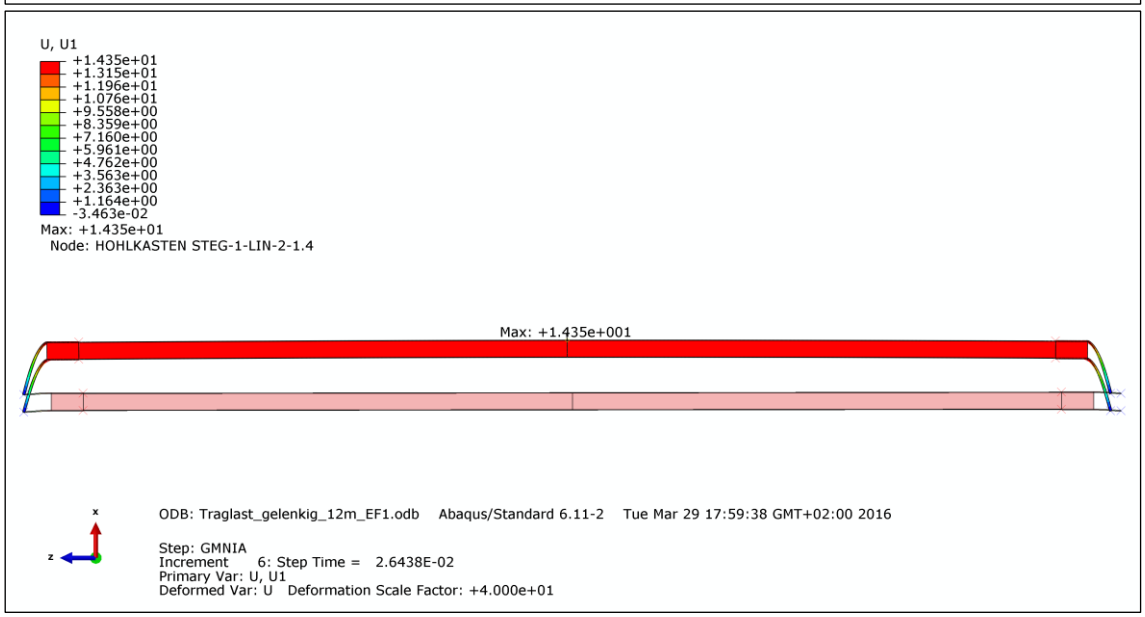
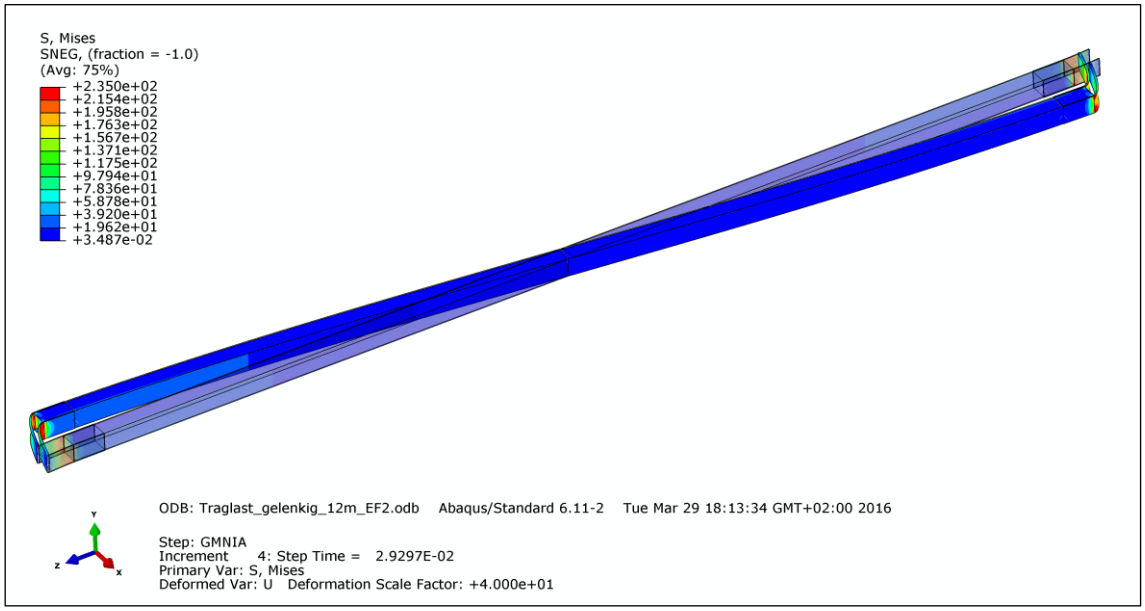
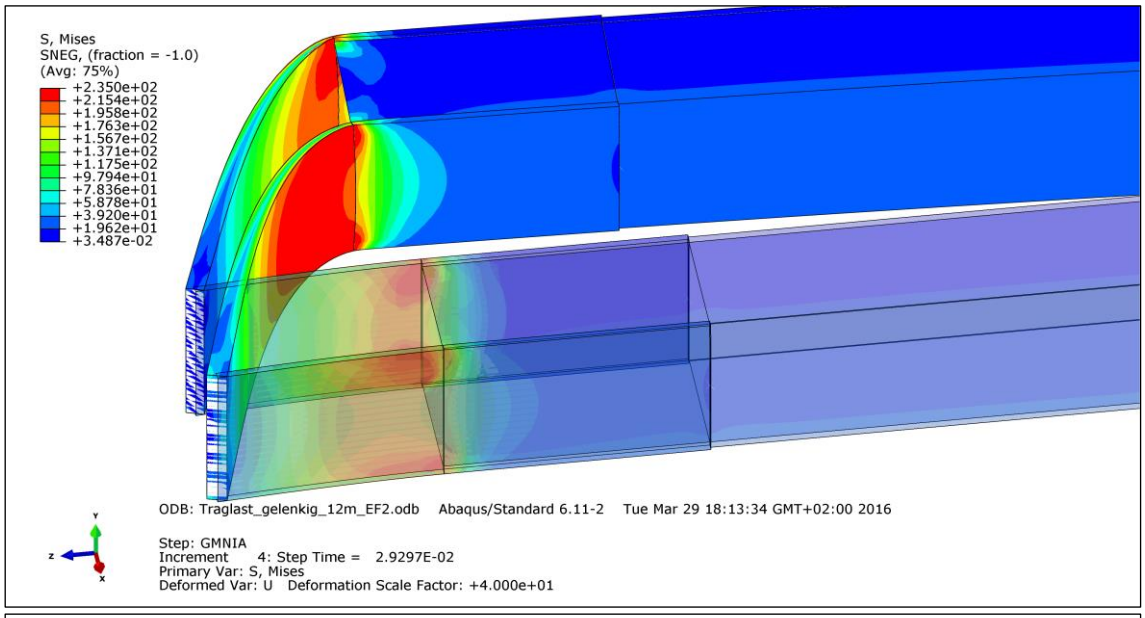


Abbildung 9-92: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





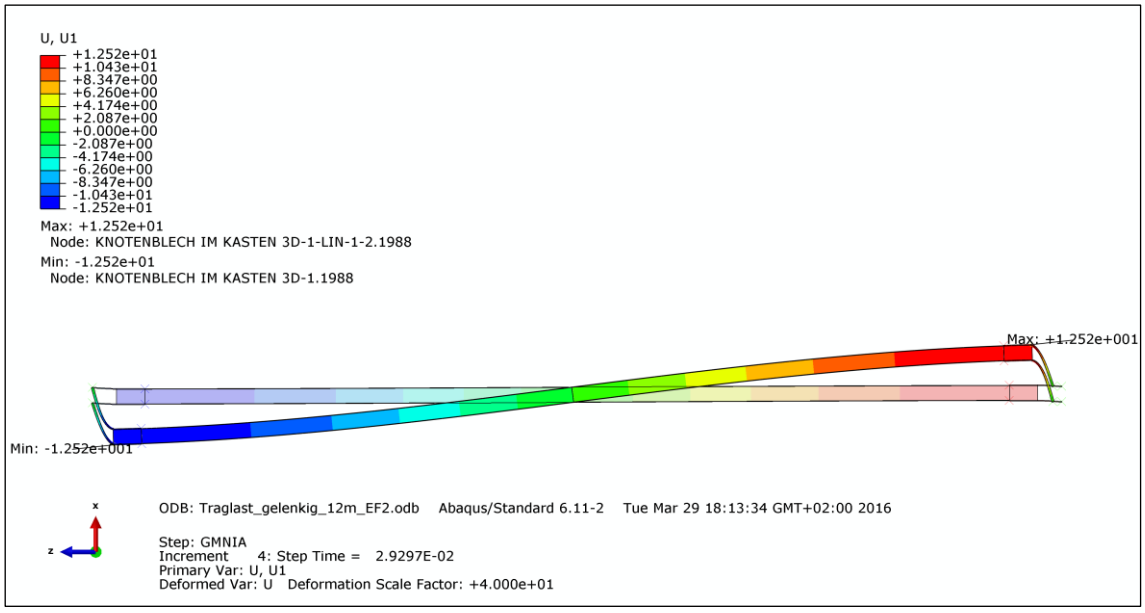
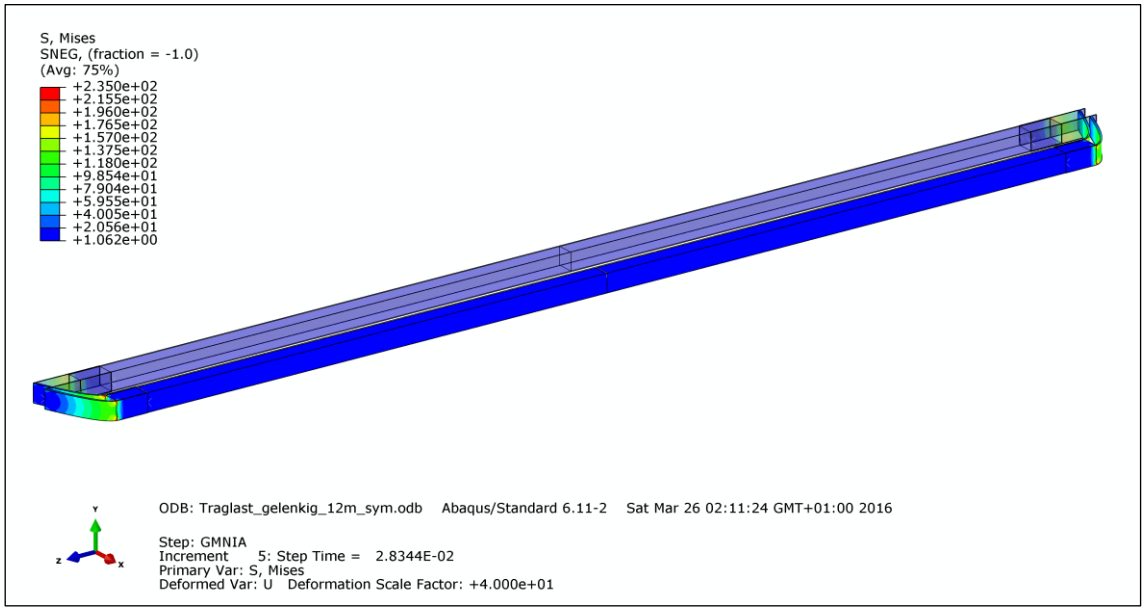
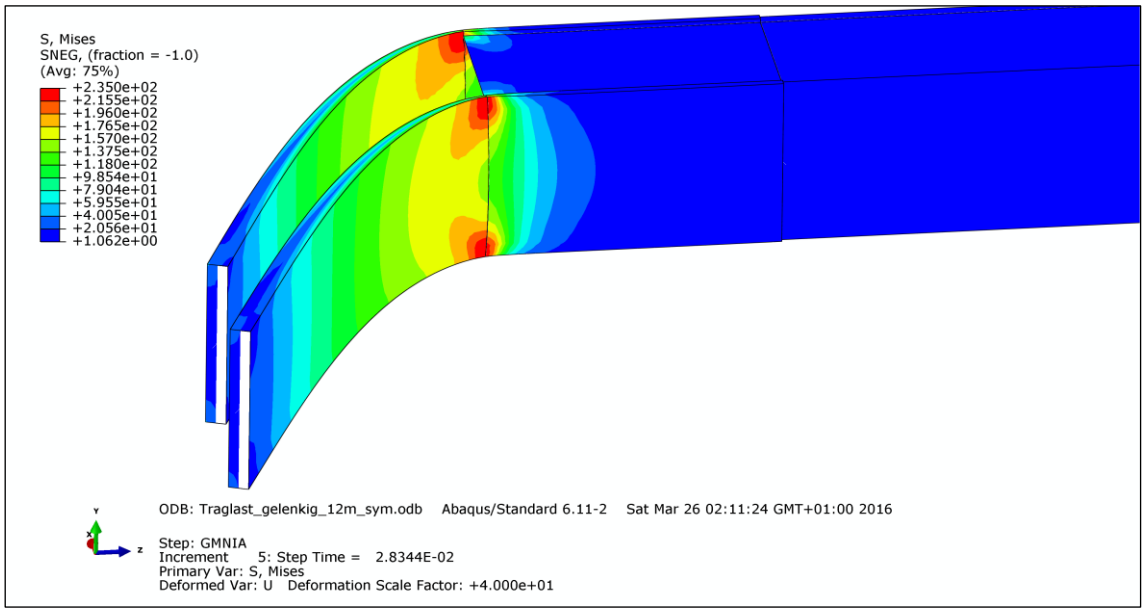


Abbildung 9-93: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





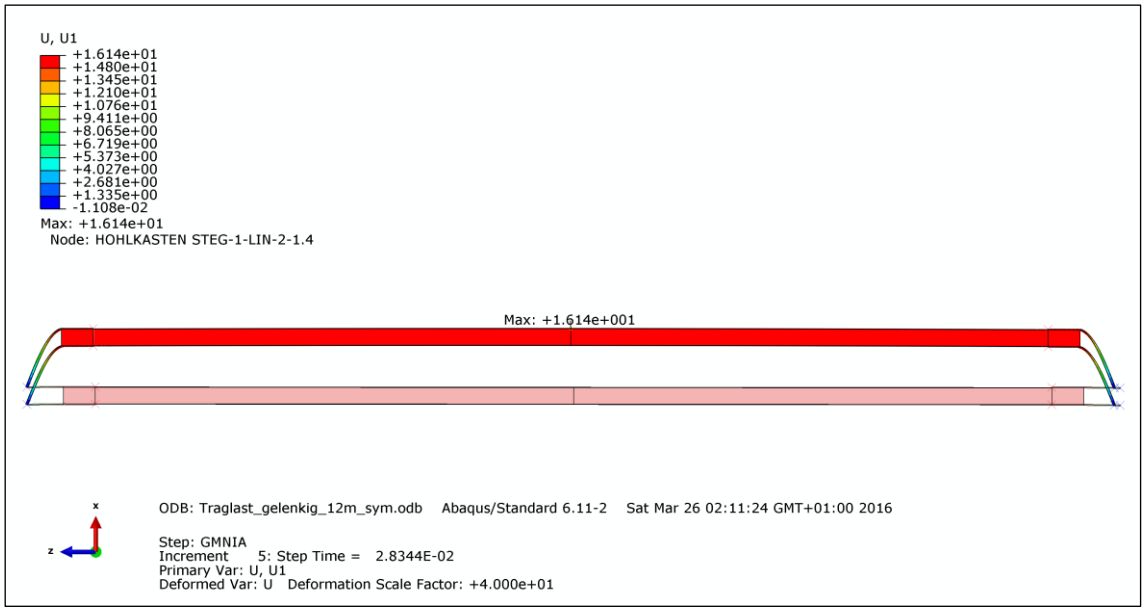
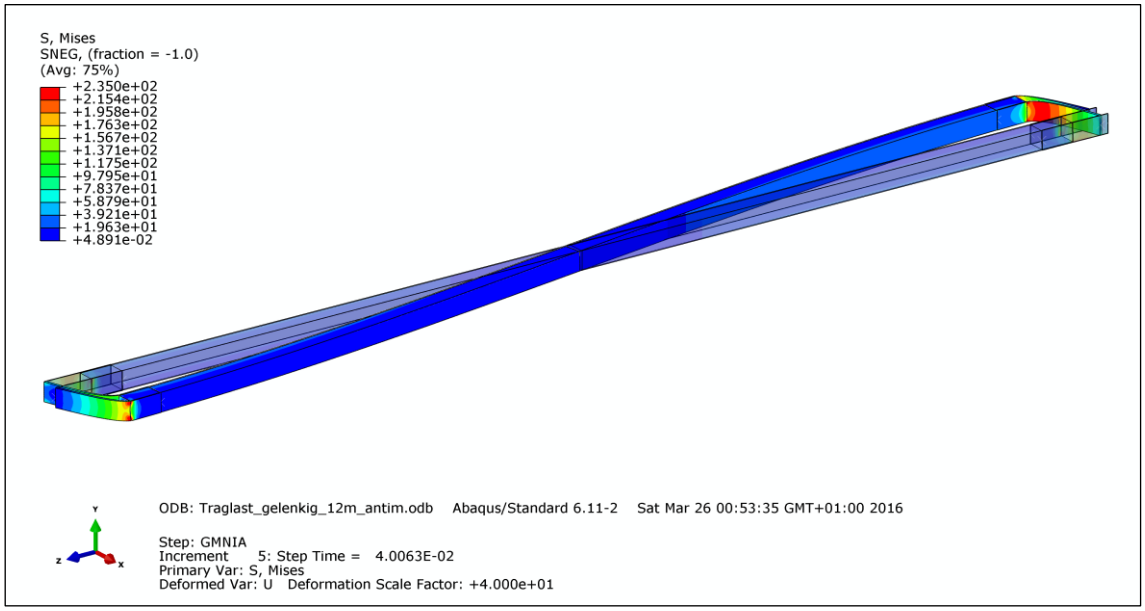
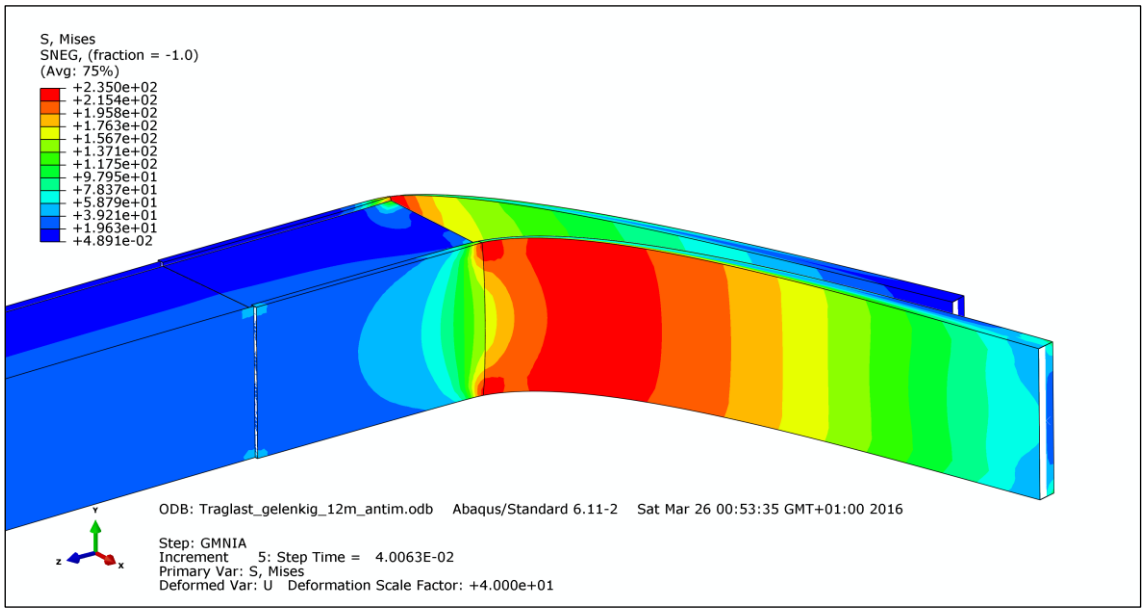


Abbildung 9-94: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





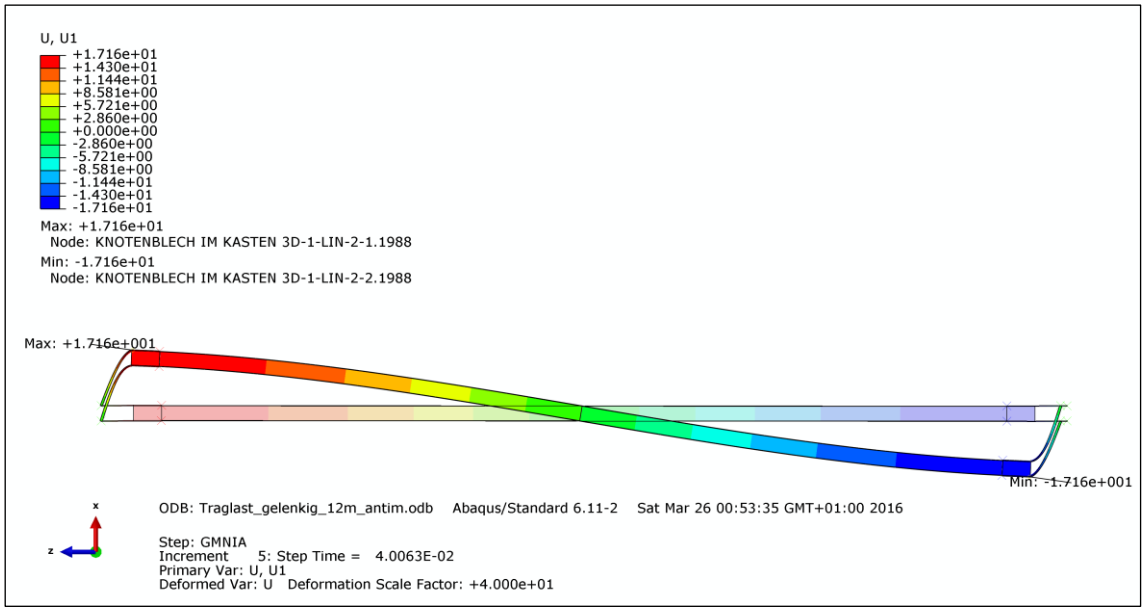
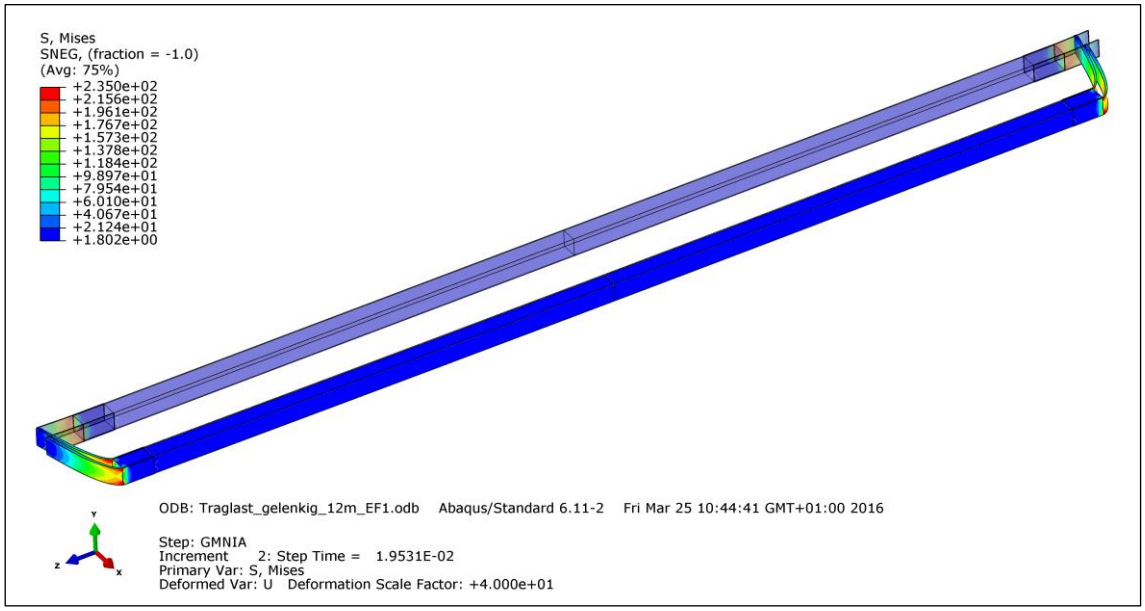
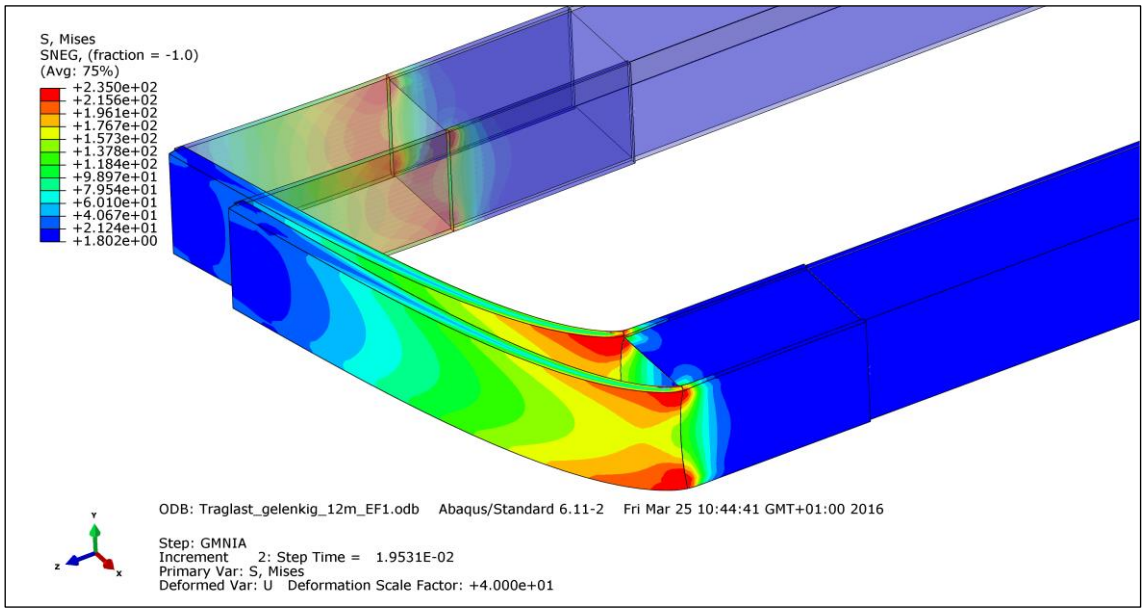


Abbildung 9-95: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





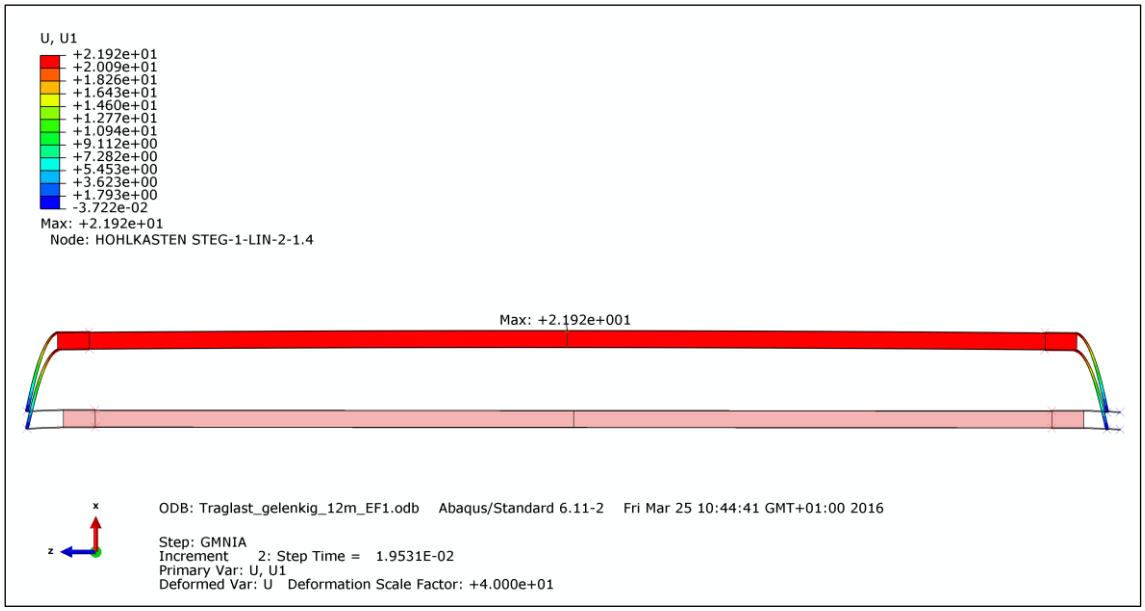
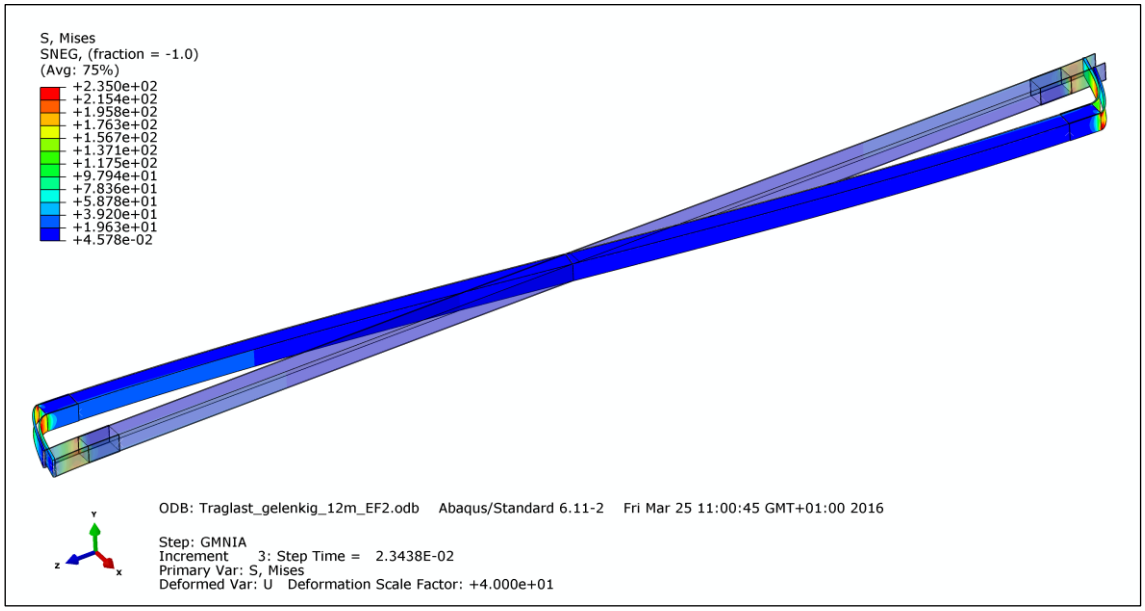
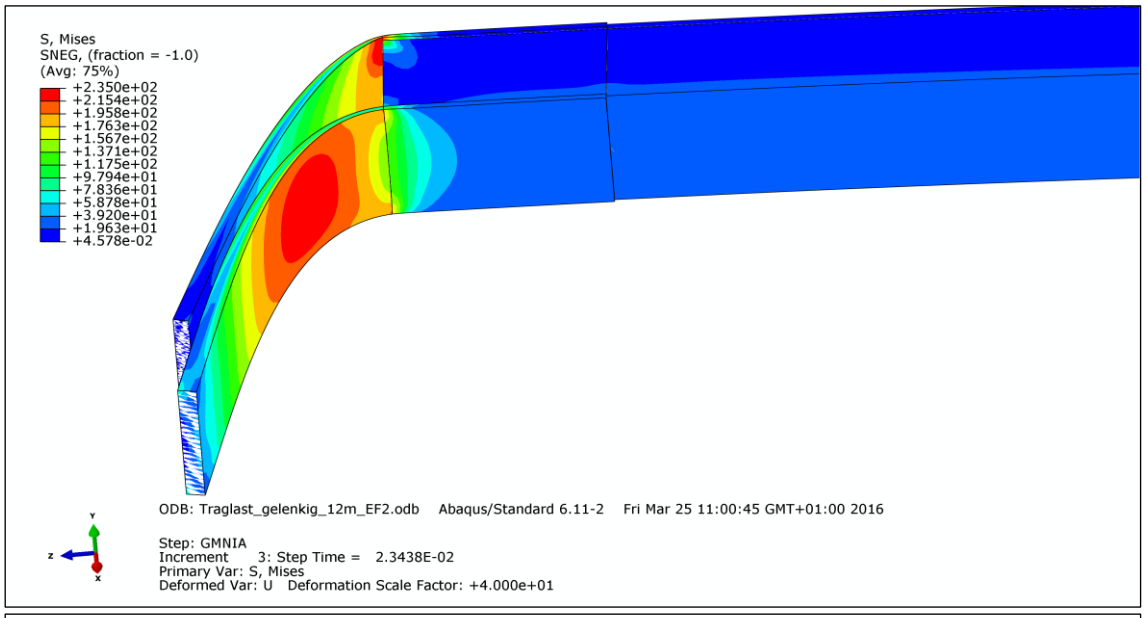


Abbildung 9-96: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





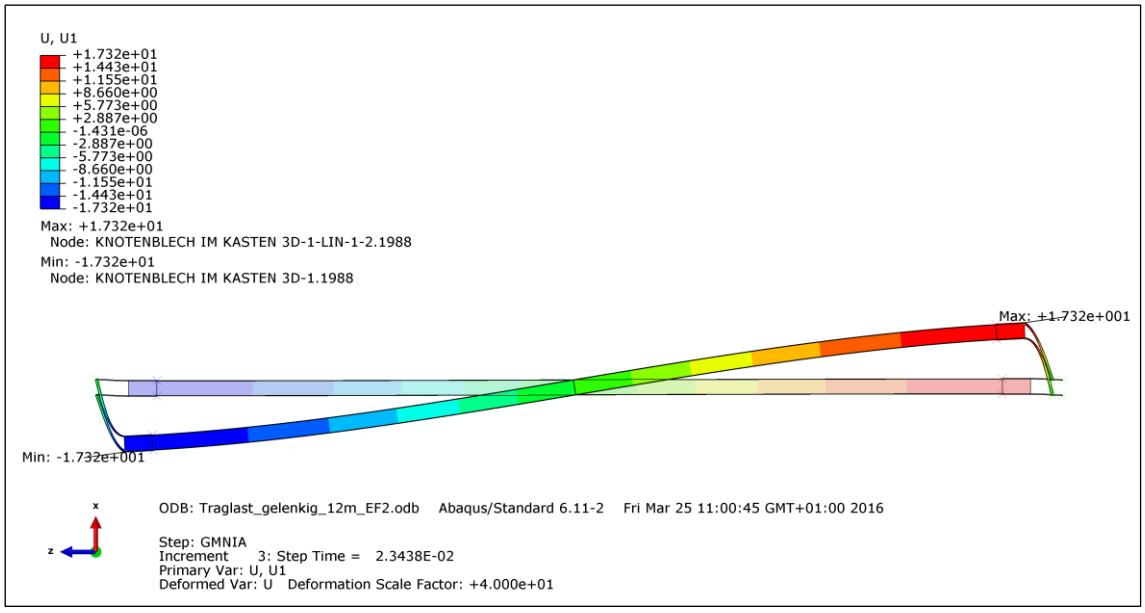
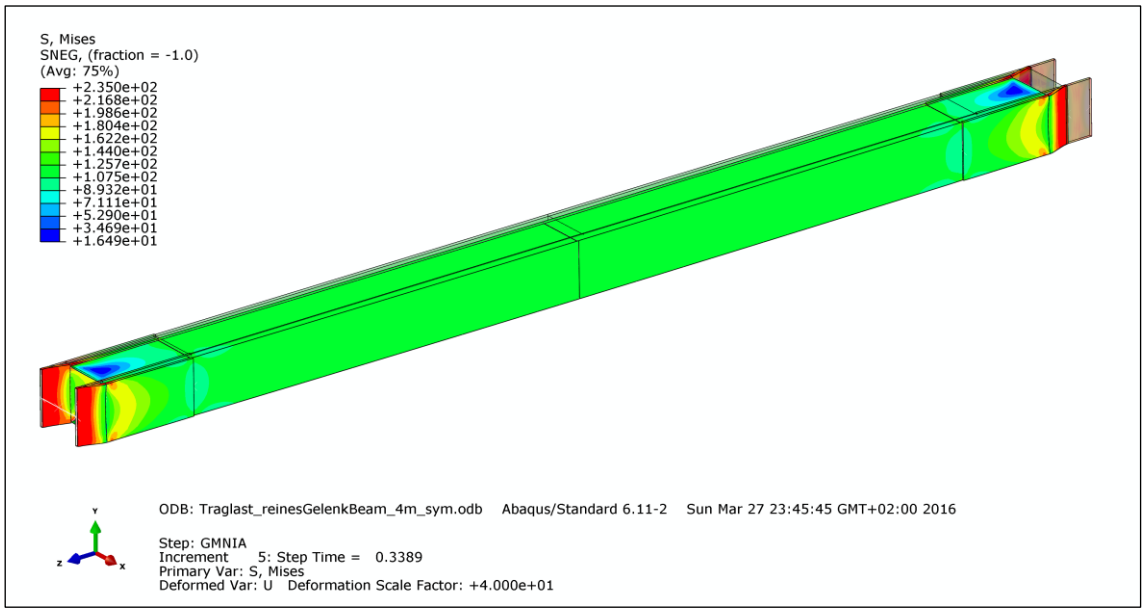
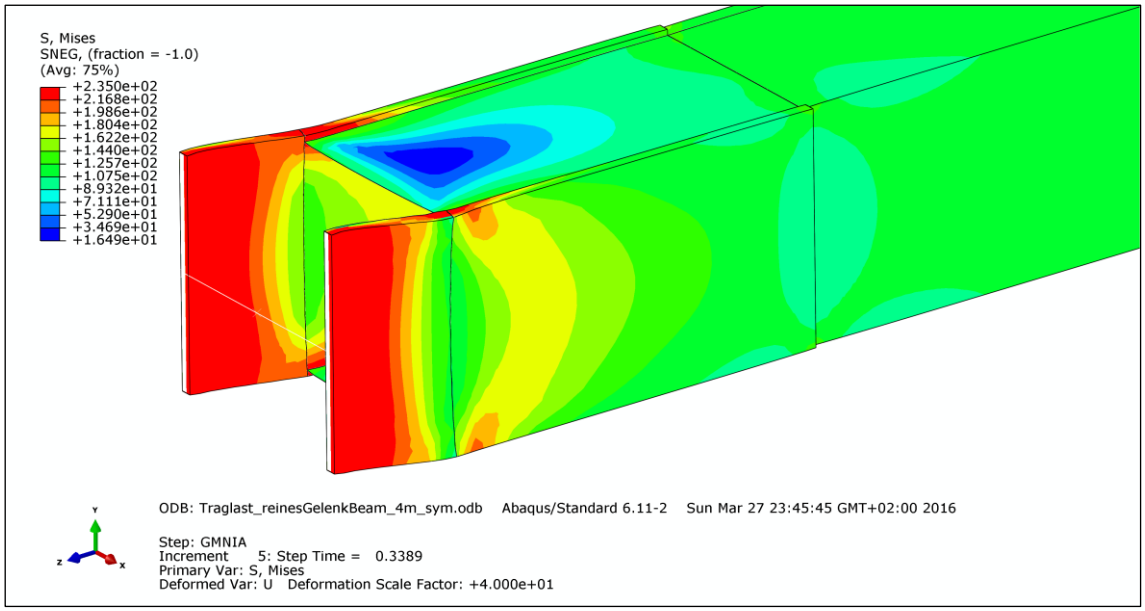


Abbildung 9-97: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm**





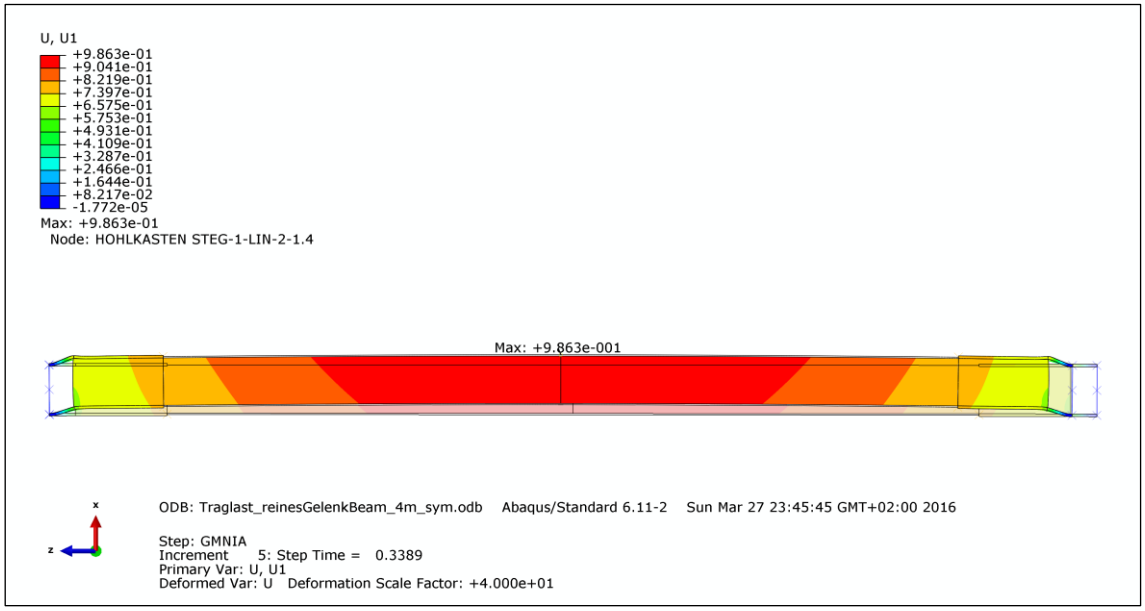
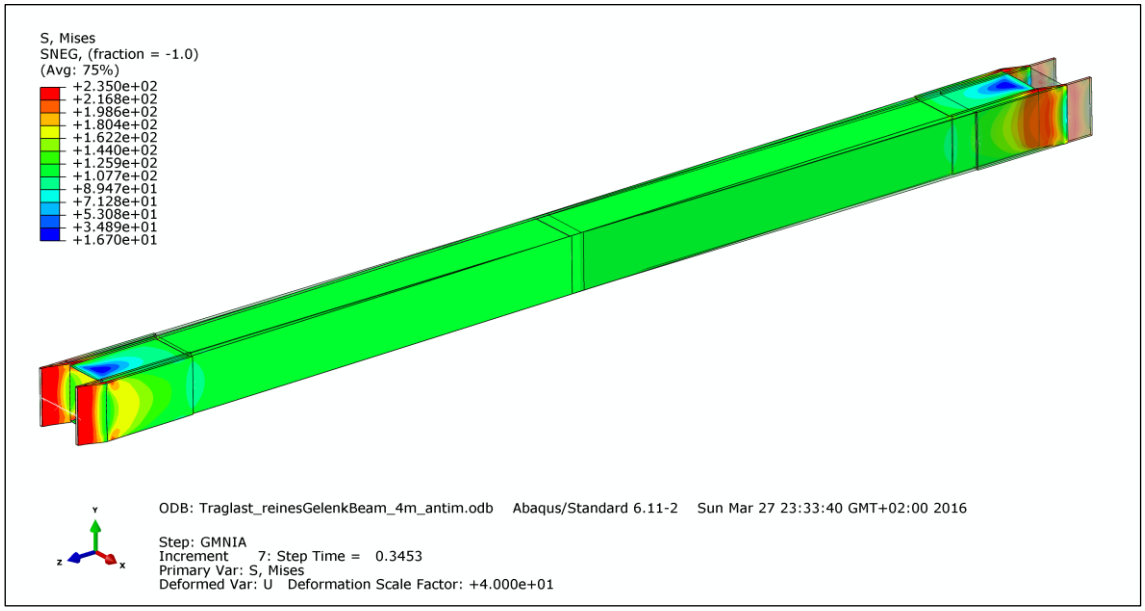
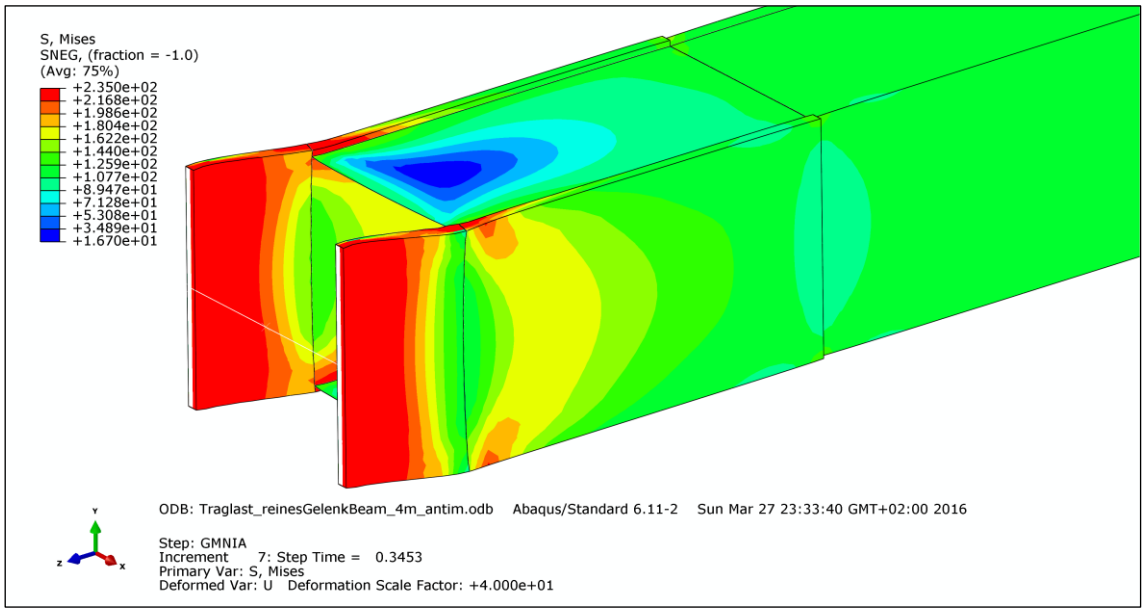


Abbildung 9-98: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





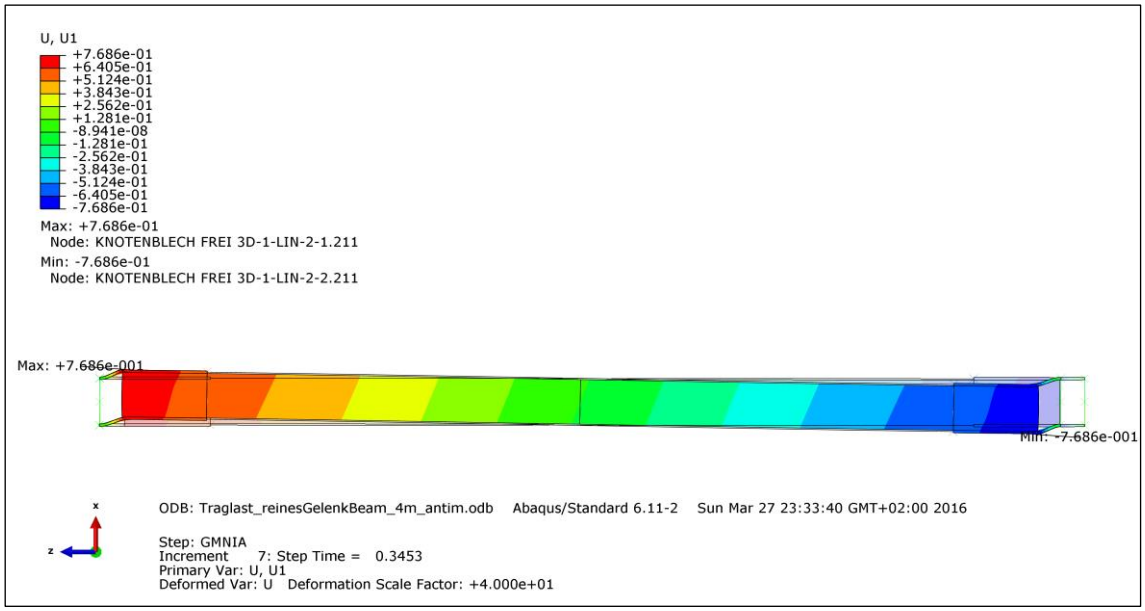
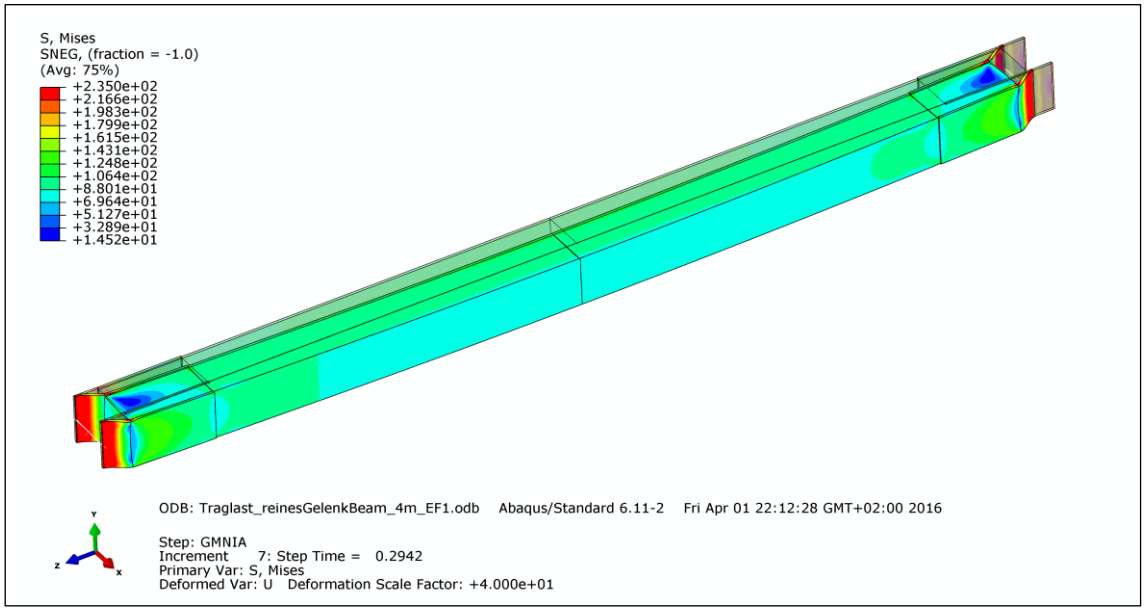
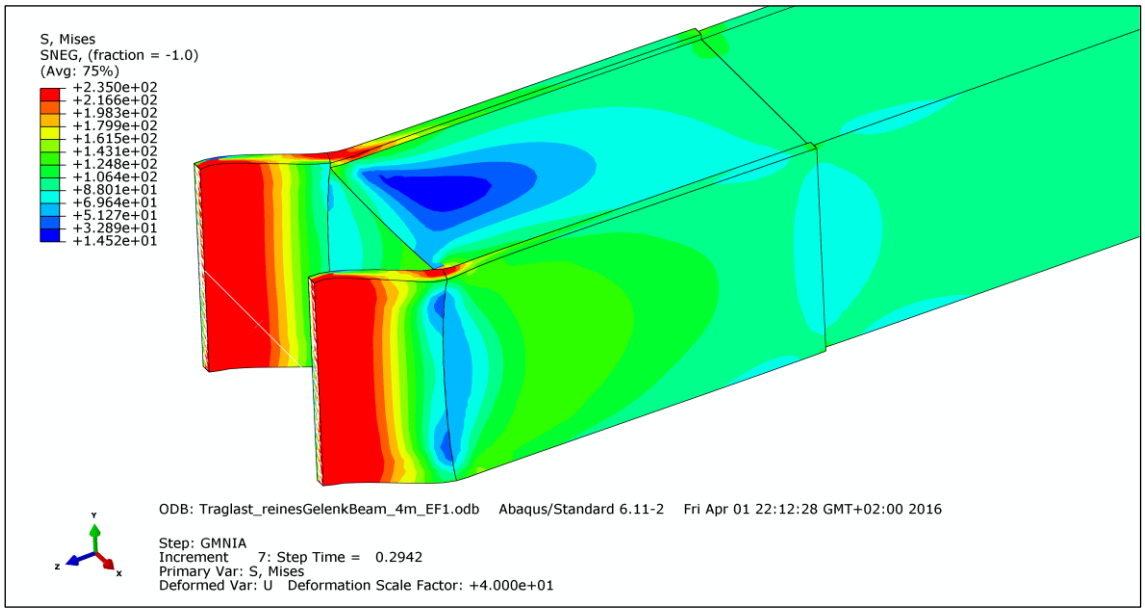


Abbildung 9-99: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





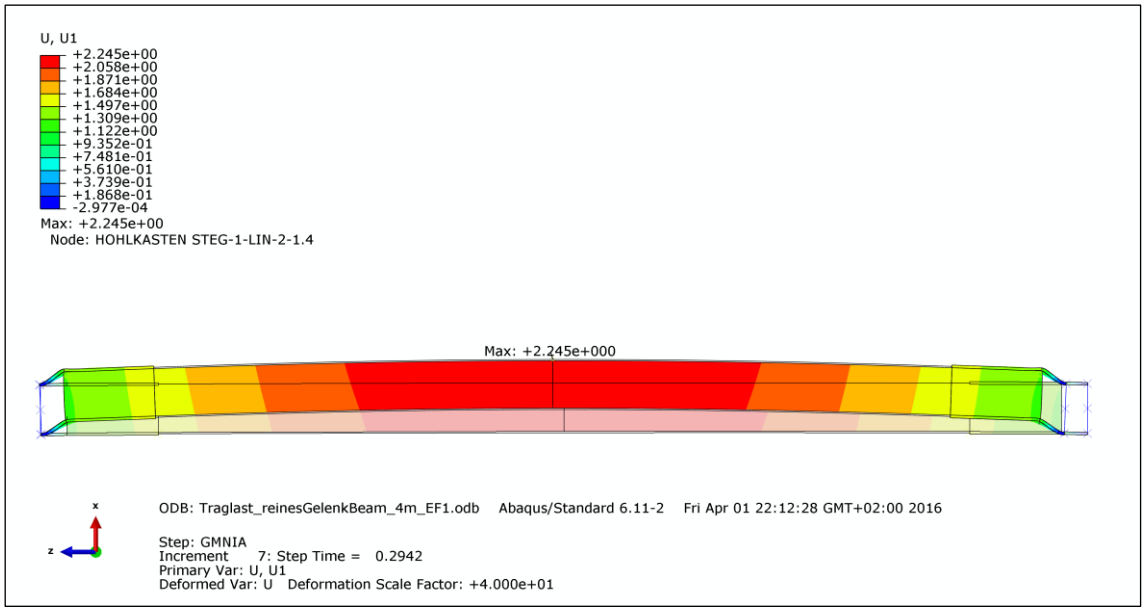
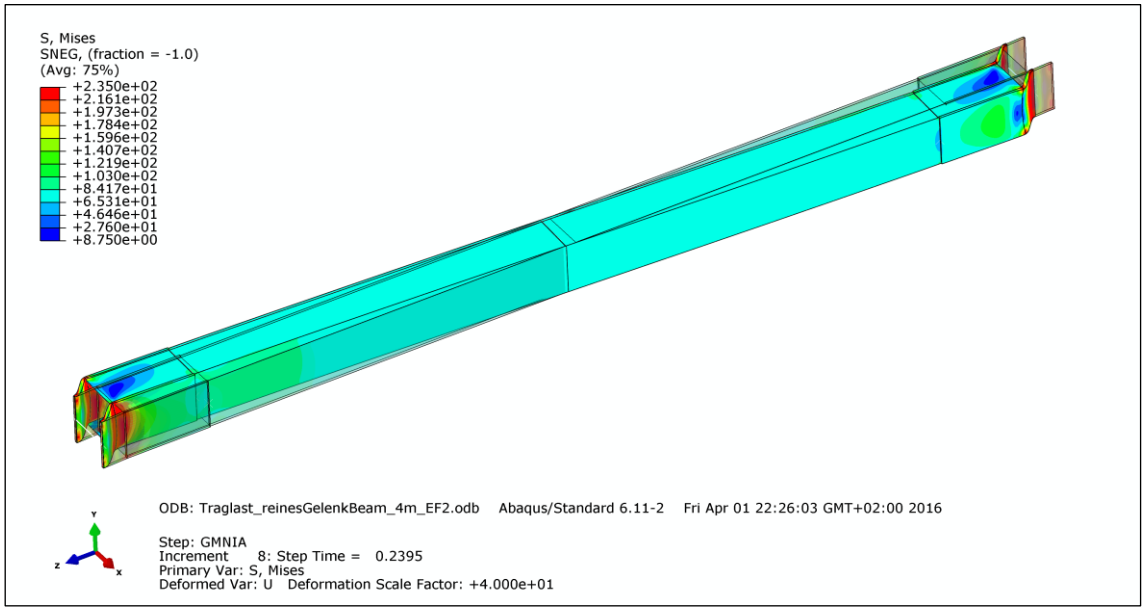
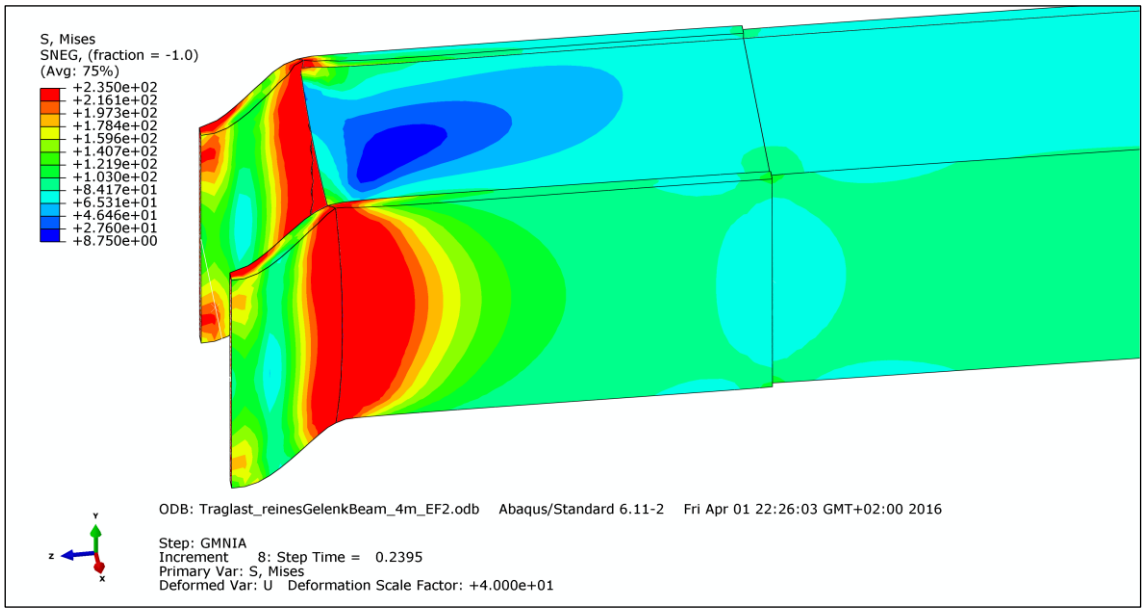


Abbildung 9-100: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





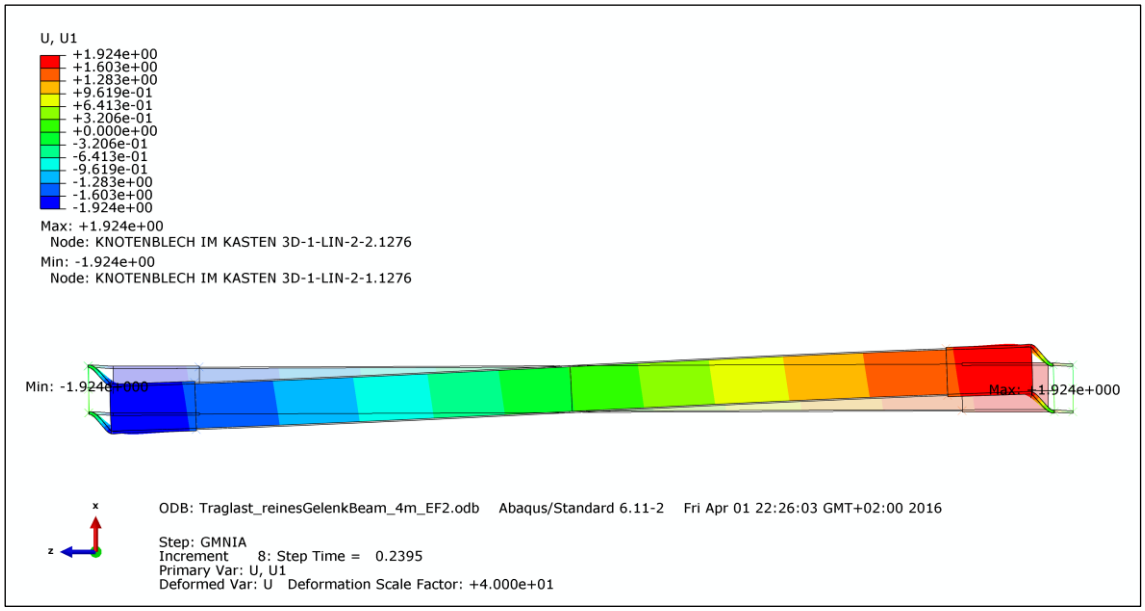
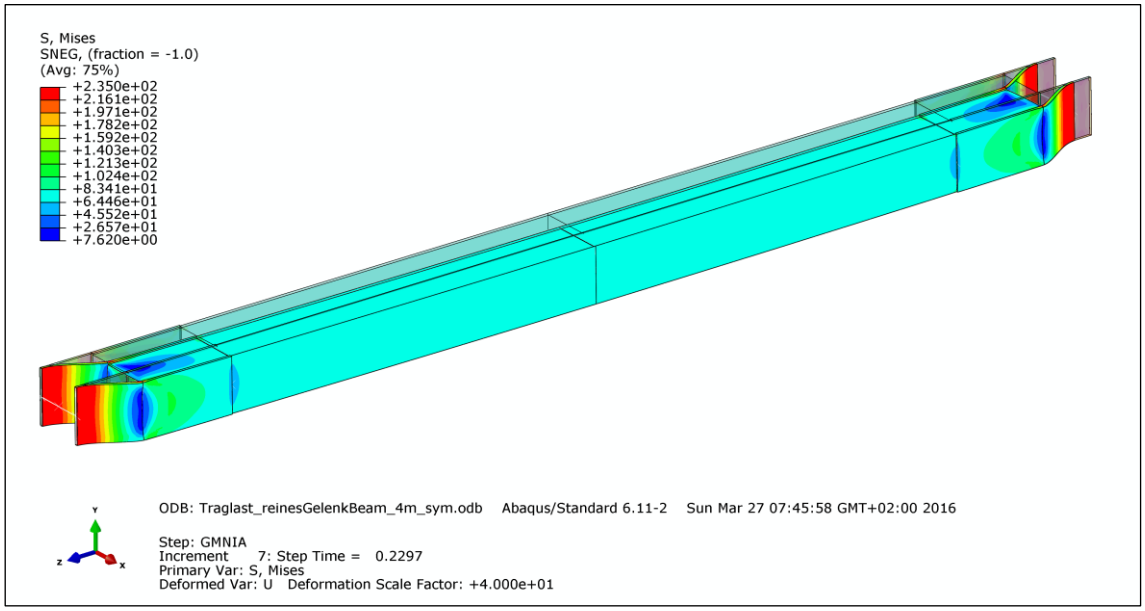
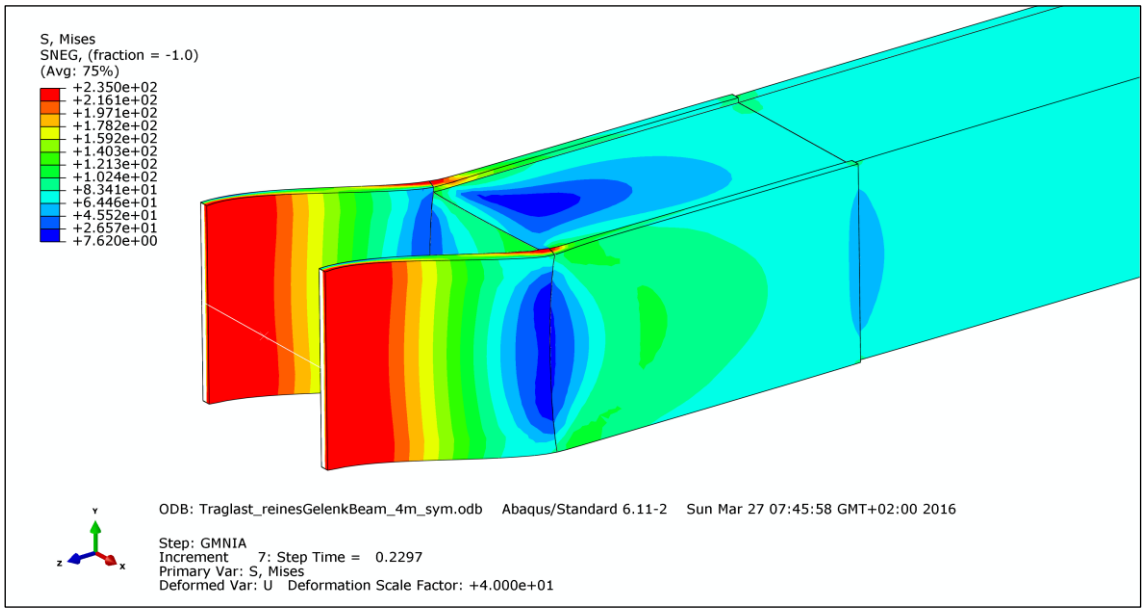


Abbildung 9-101: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





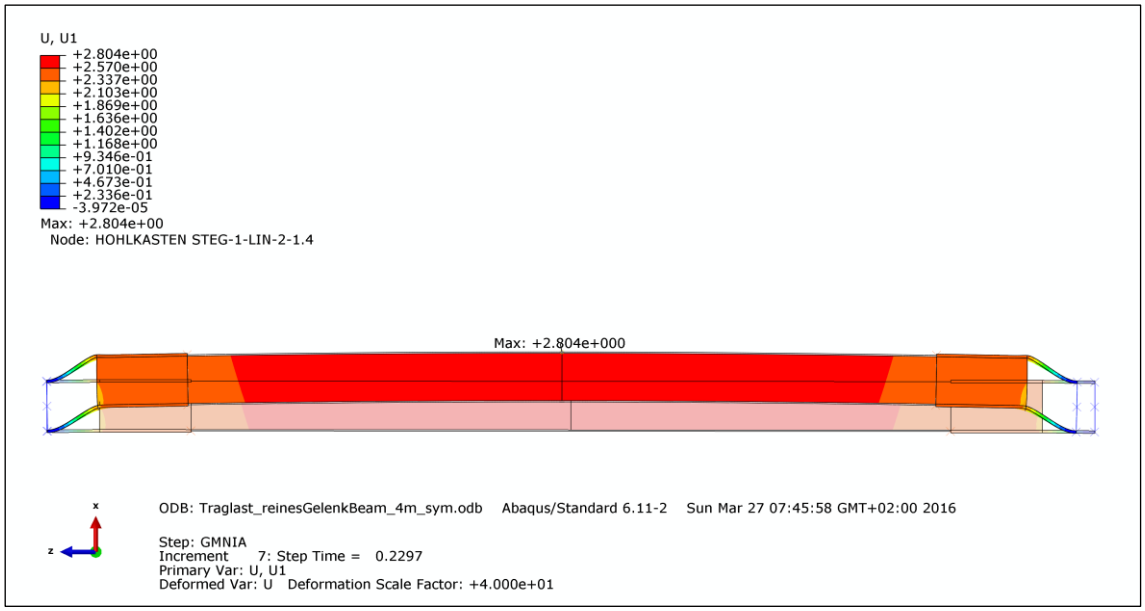
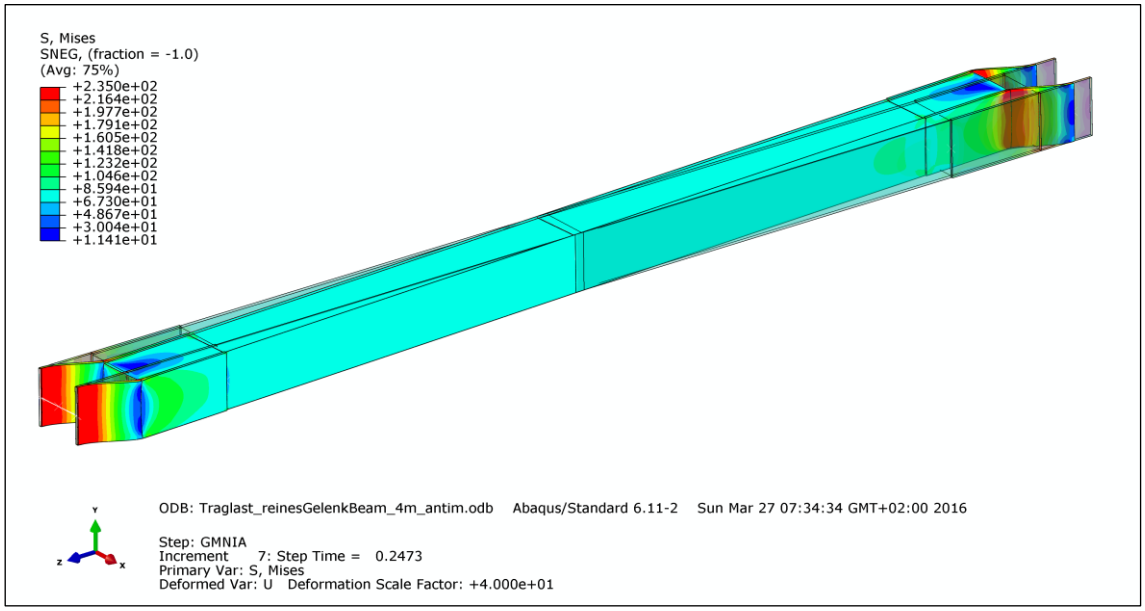
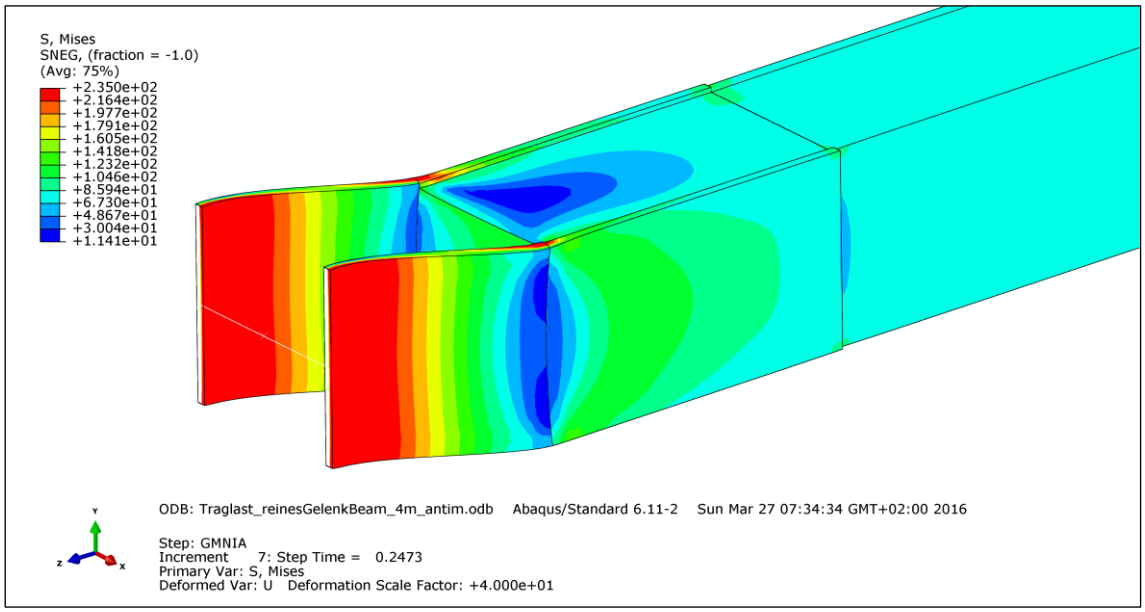


Abbildung 9-102: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





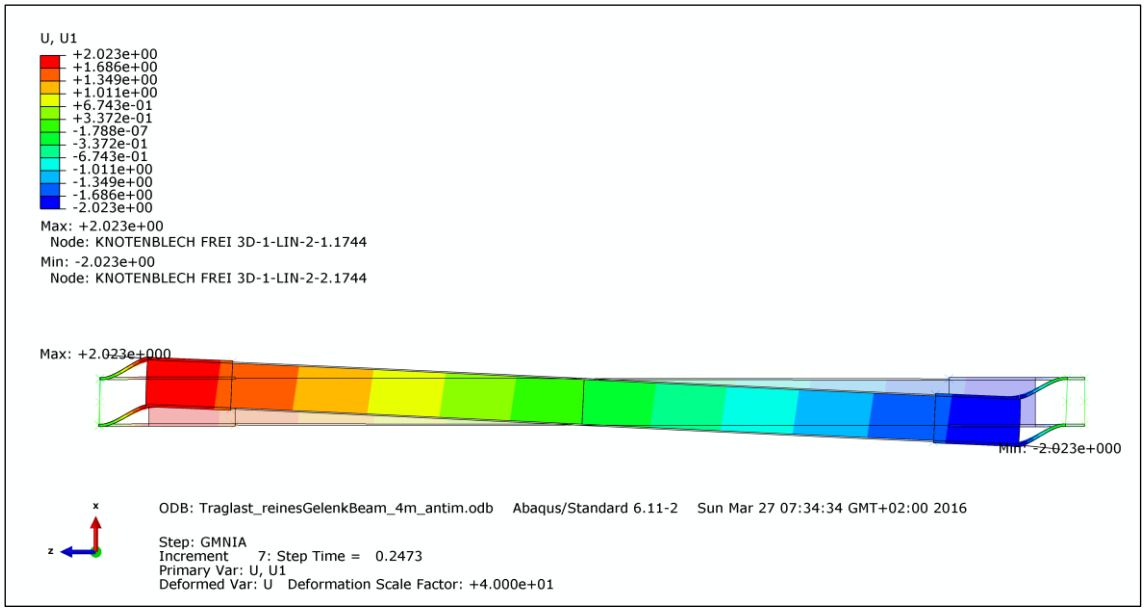
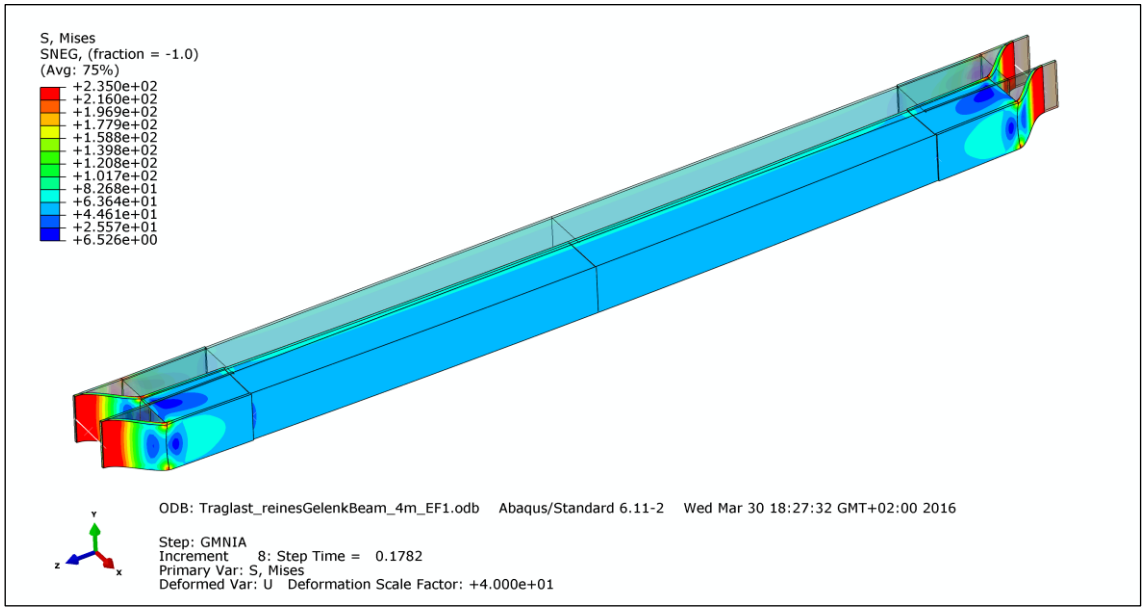
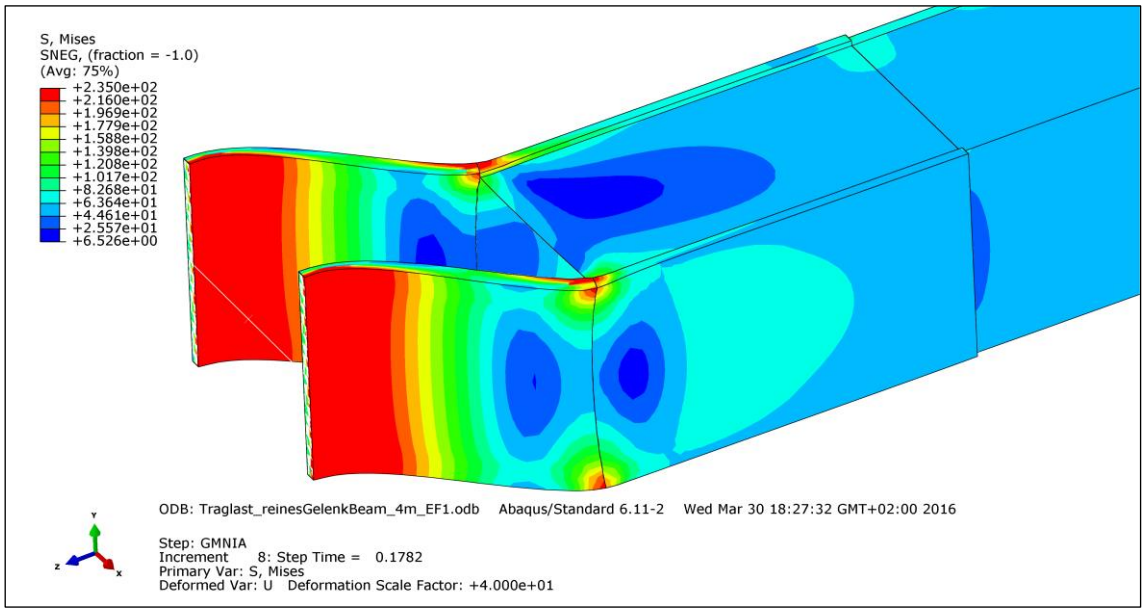


Abbildung 9-103: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





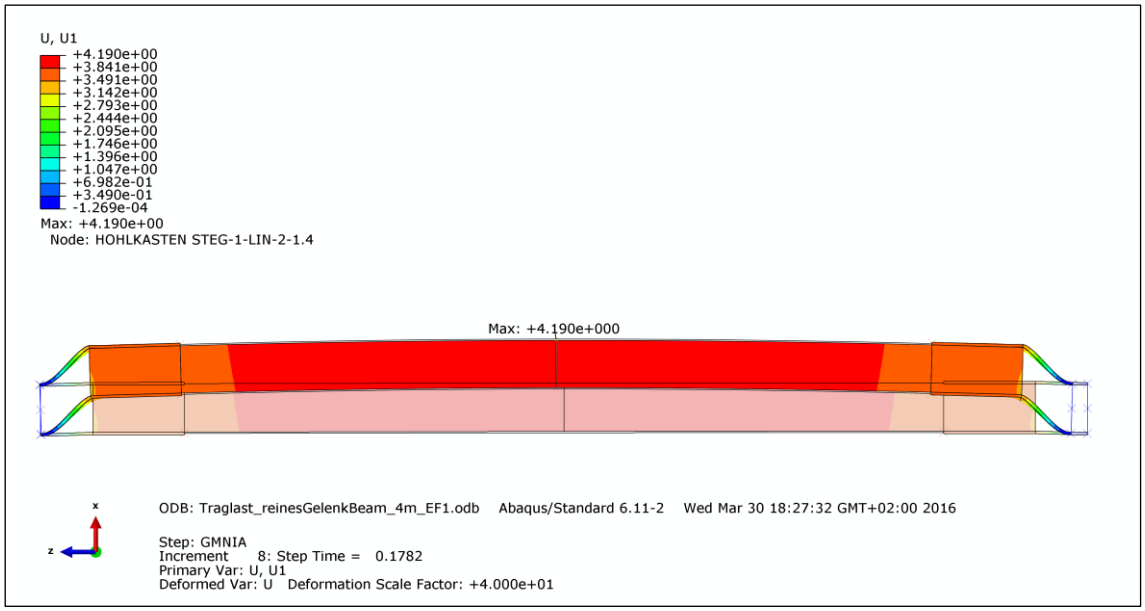
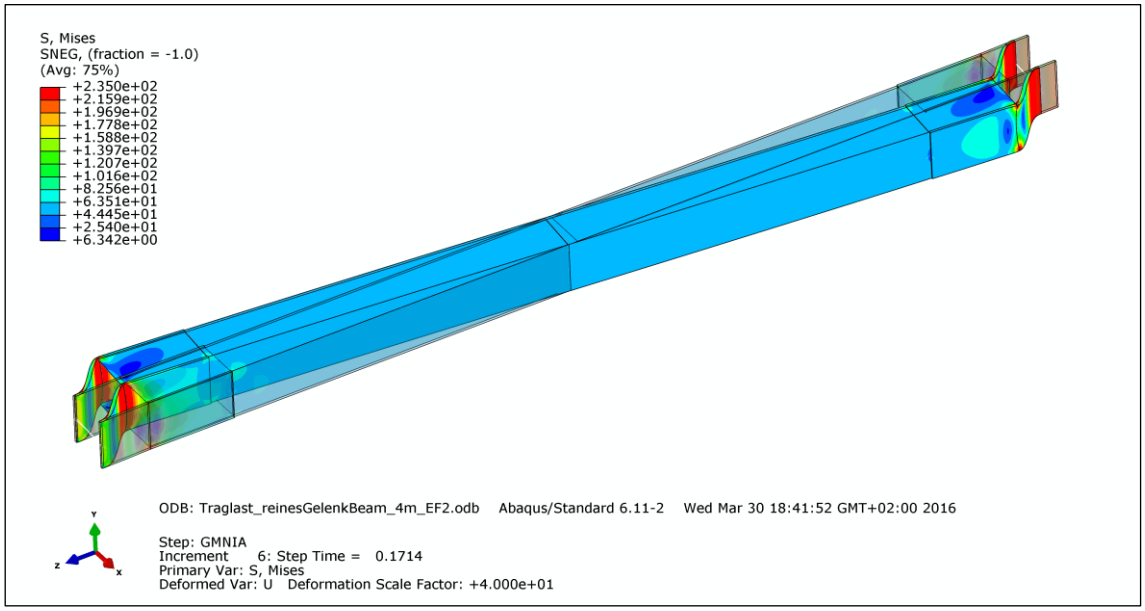
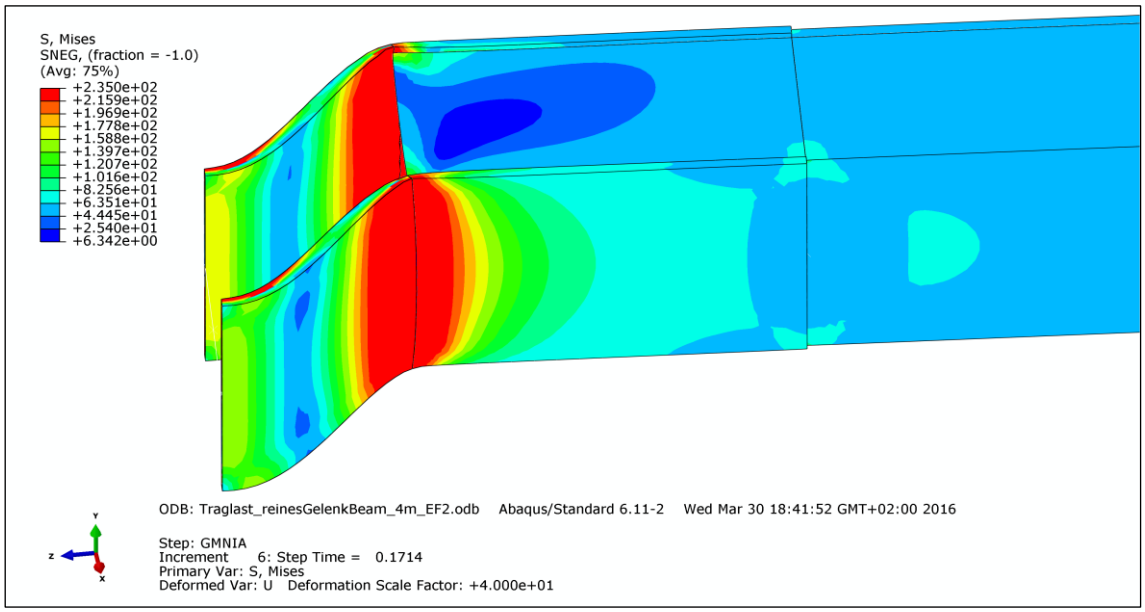


Abbildung 9-104: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





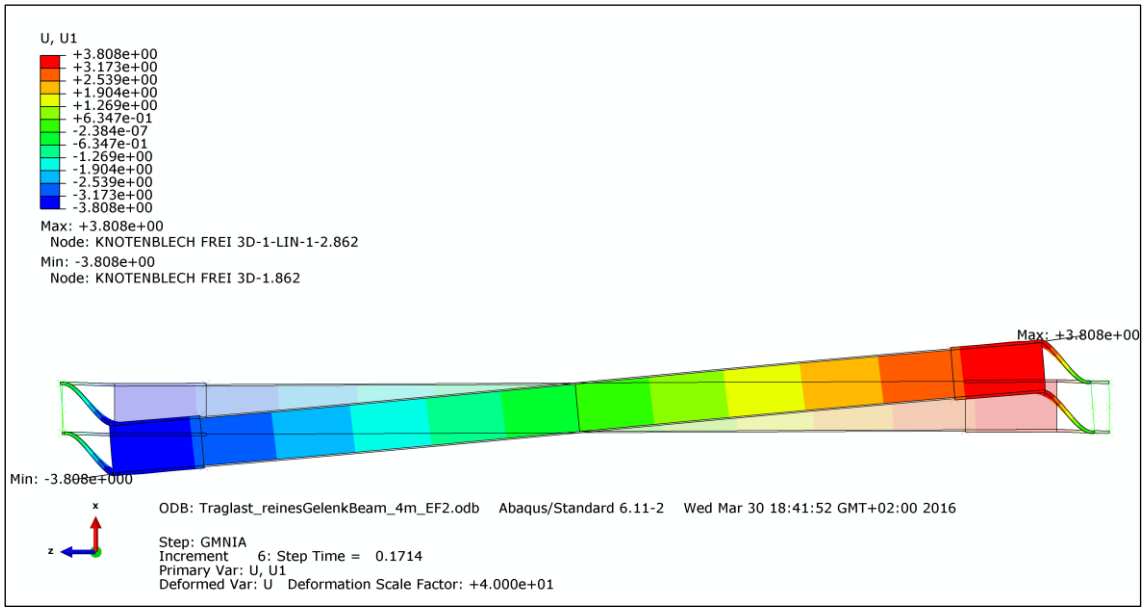


Abbildung 9-105: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

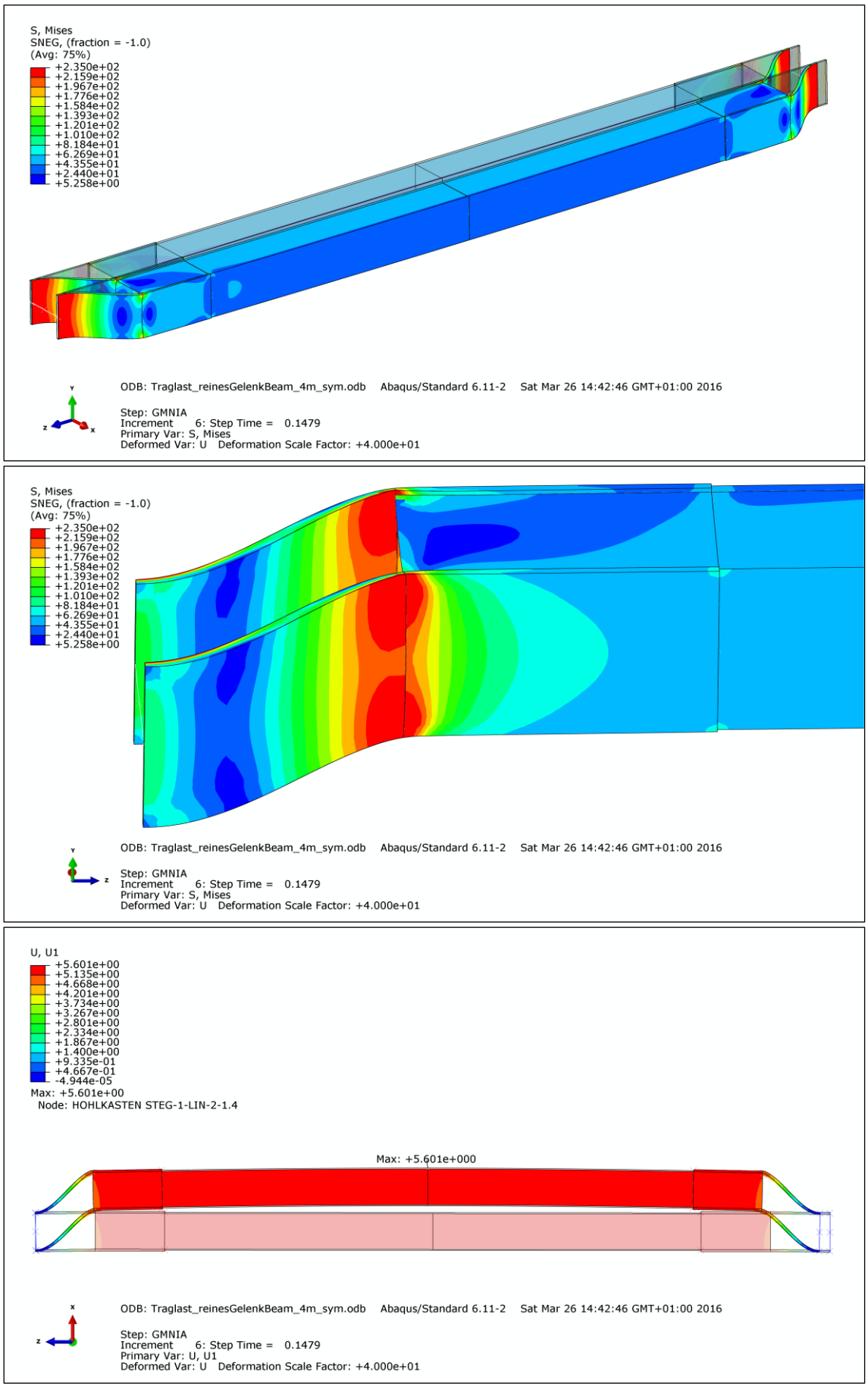
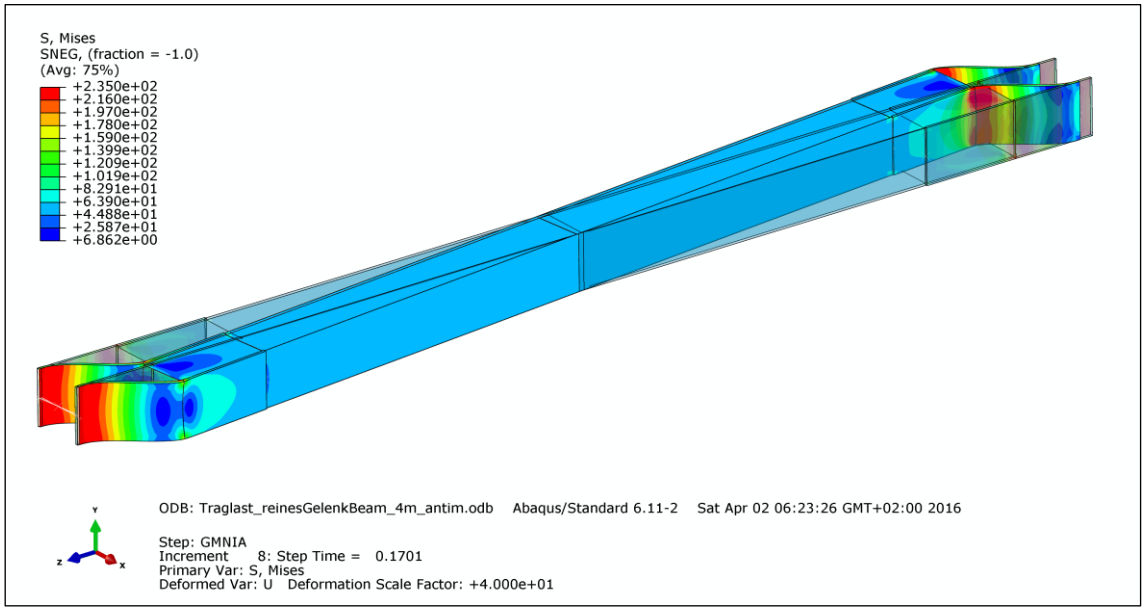
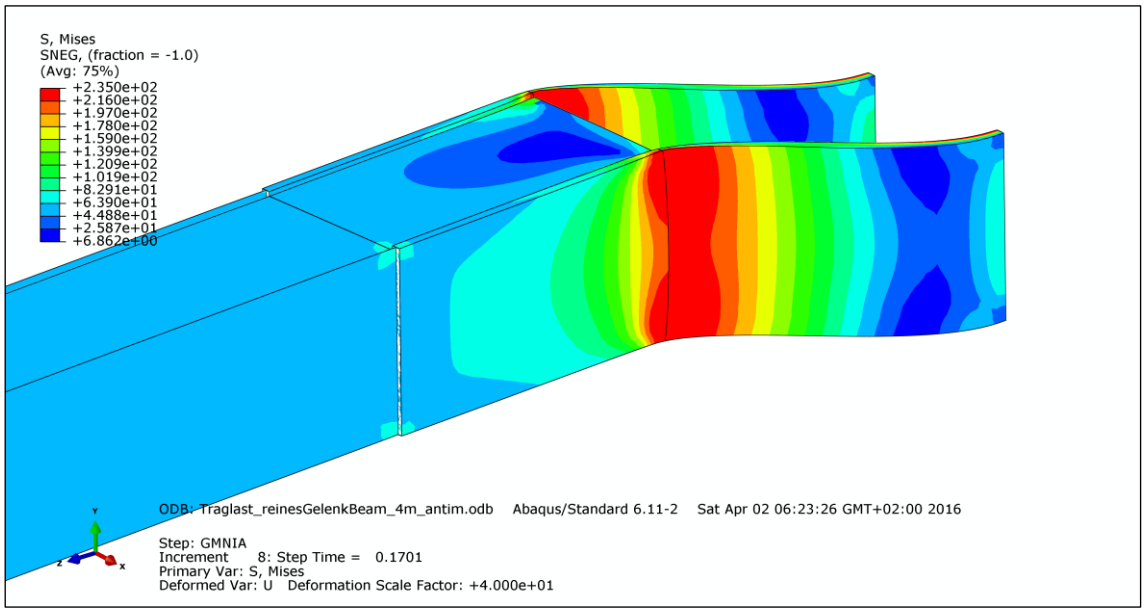


Abbildung 9-106: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





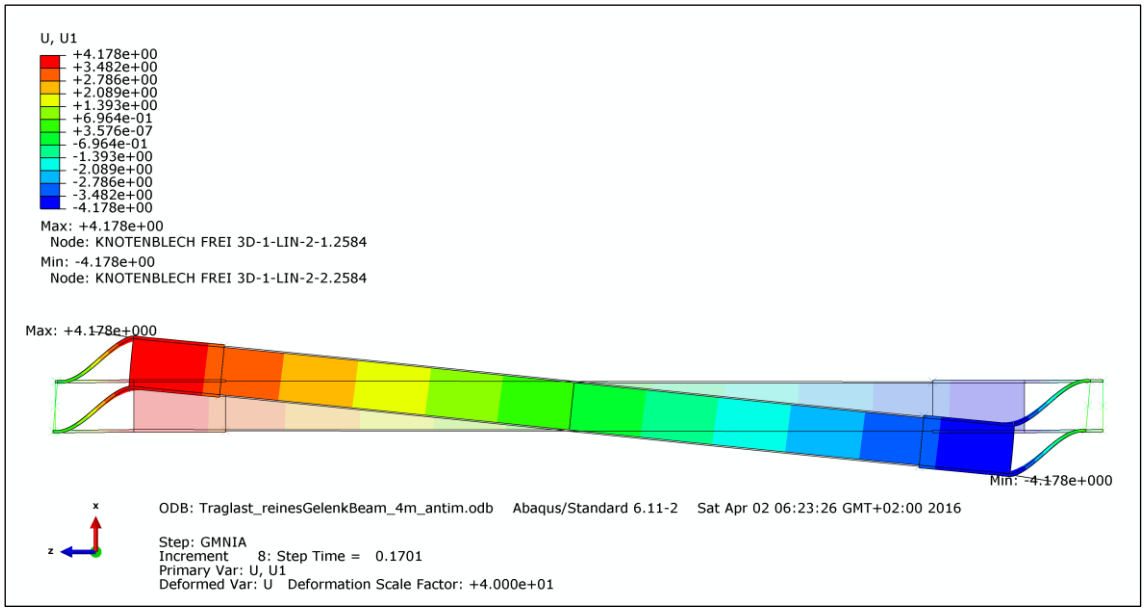
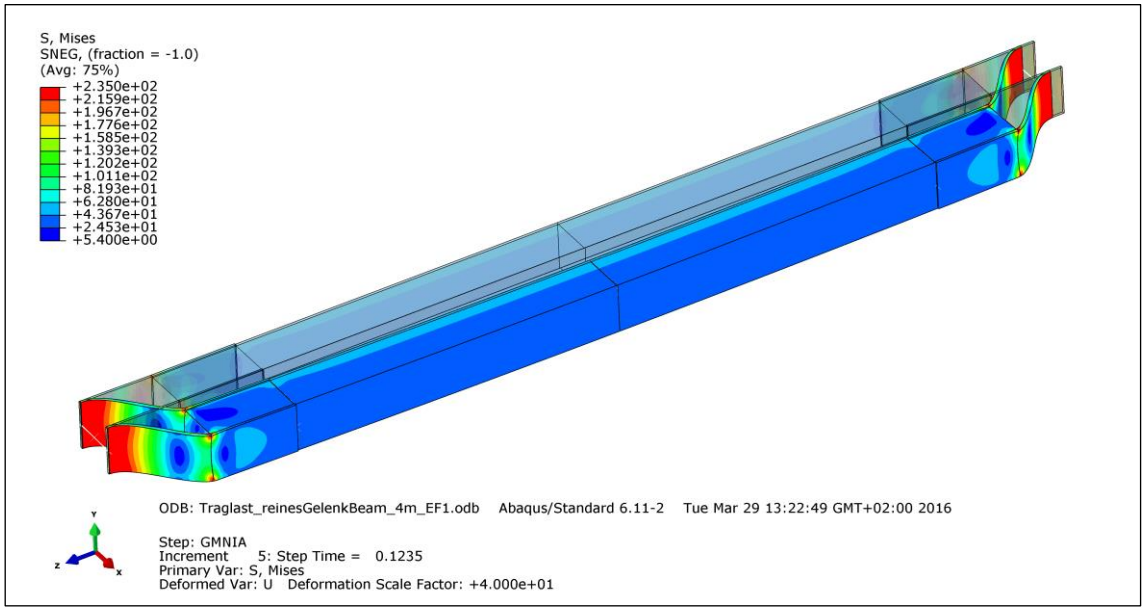
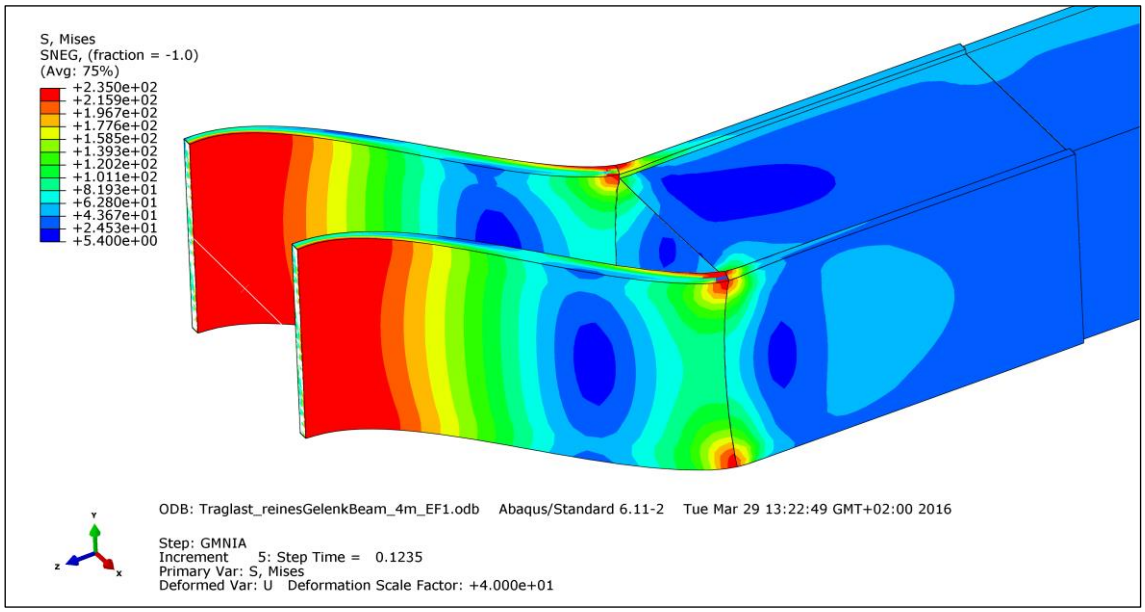


Abbildung 9-107: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





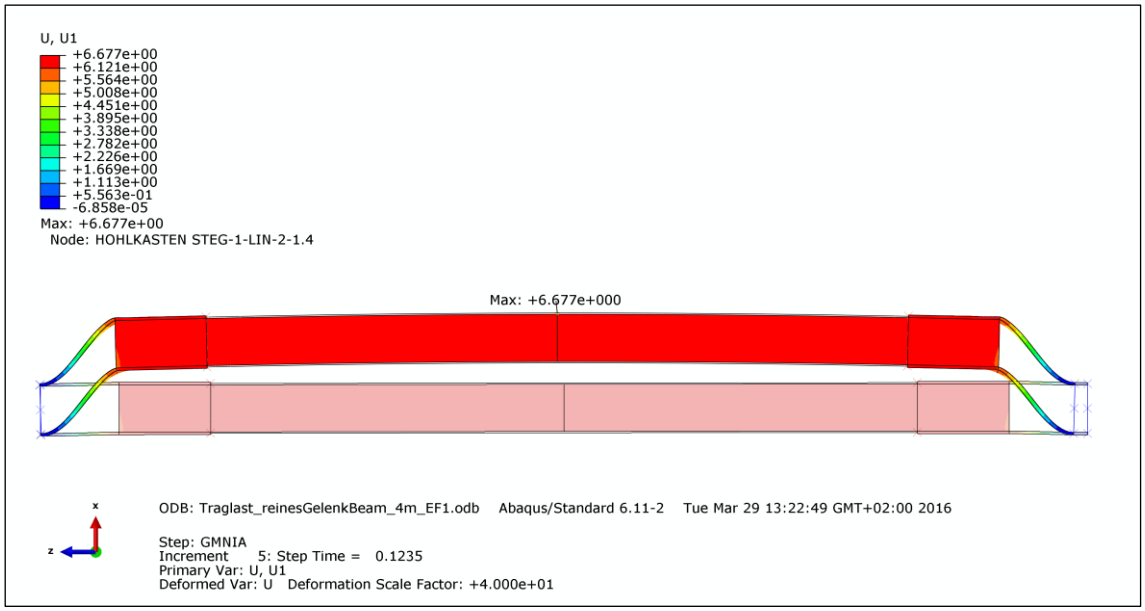
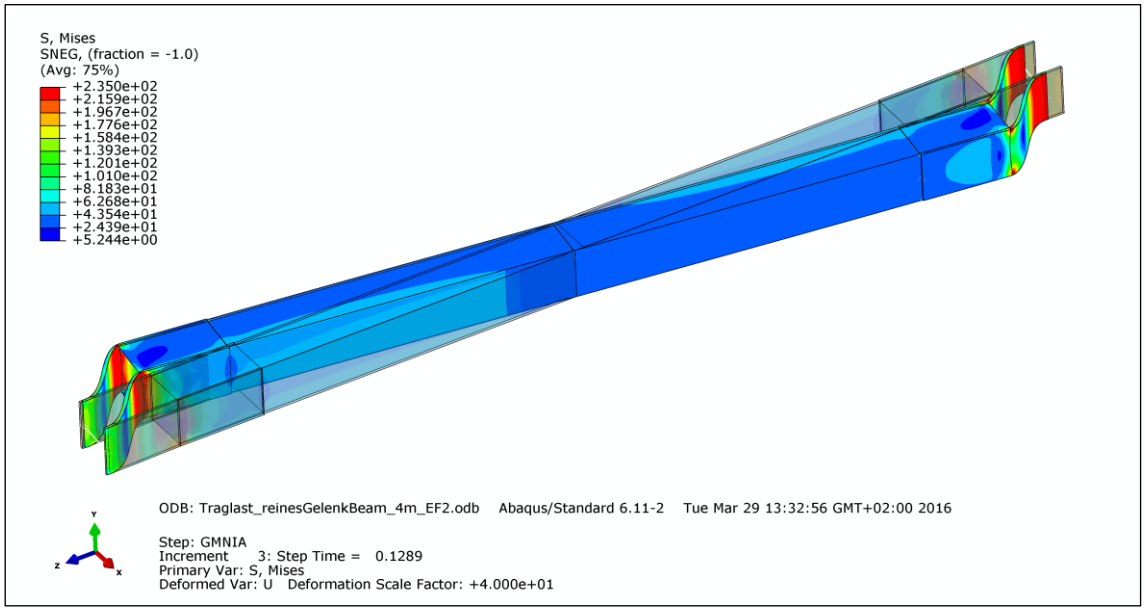
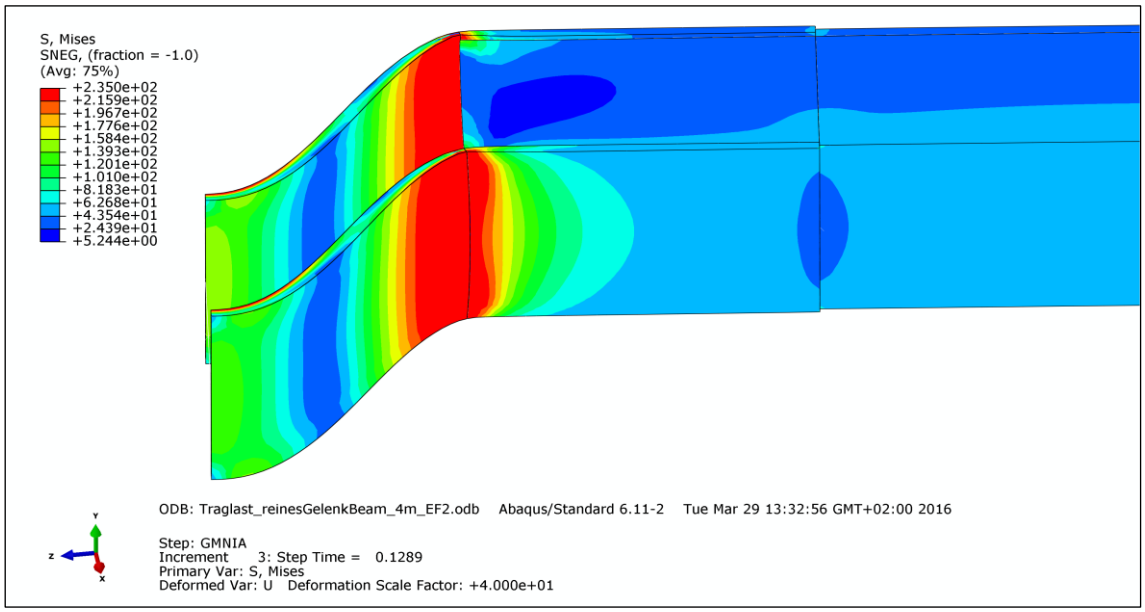


Abbildung 9-108: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





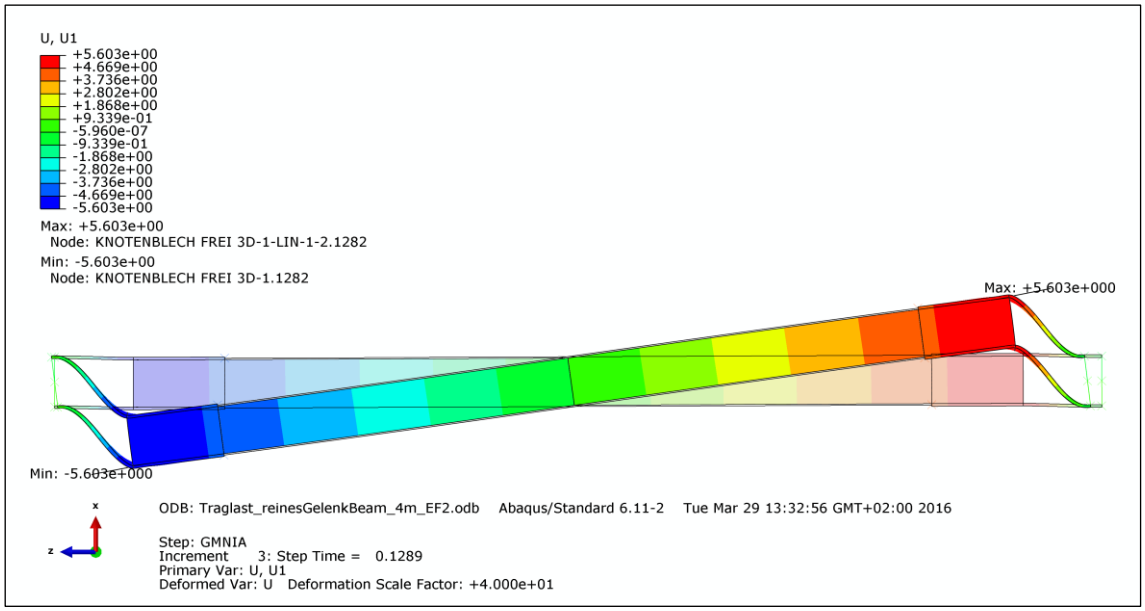


Abbildung 9-109: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

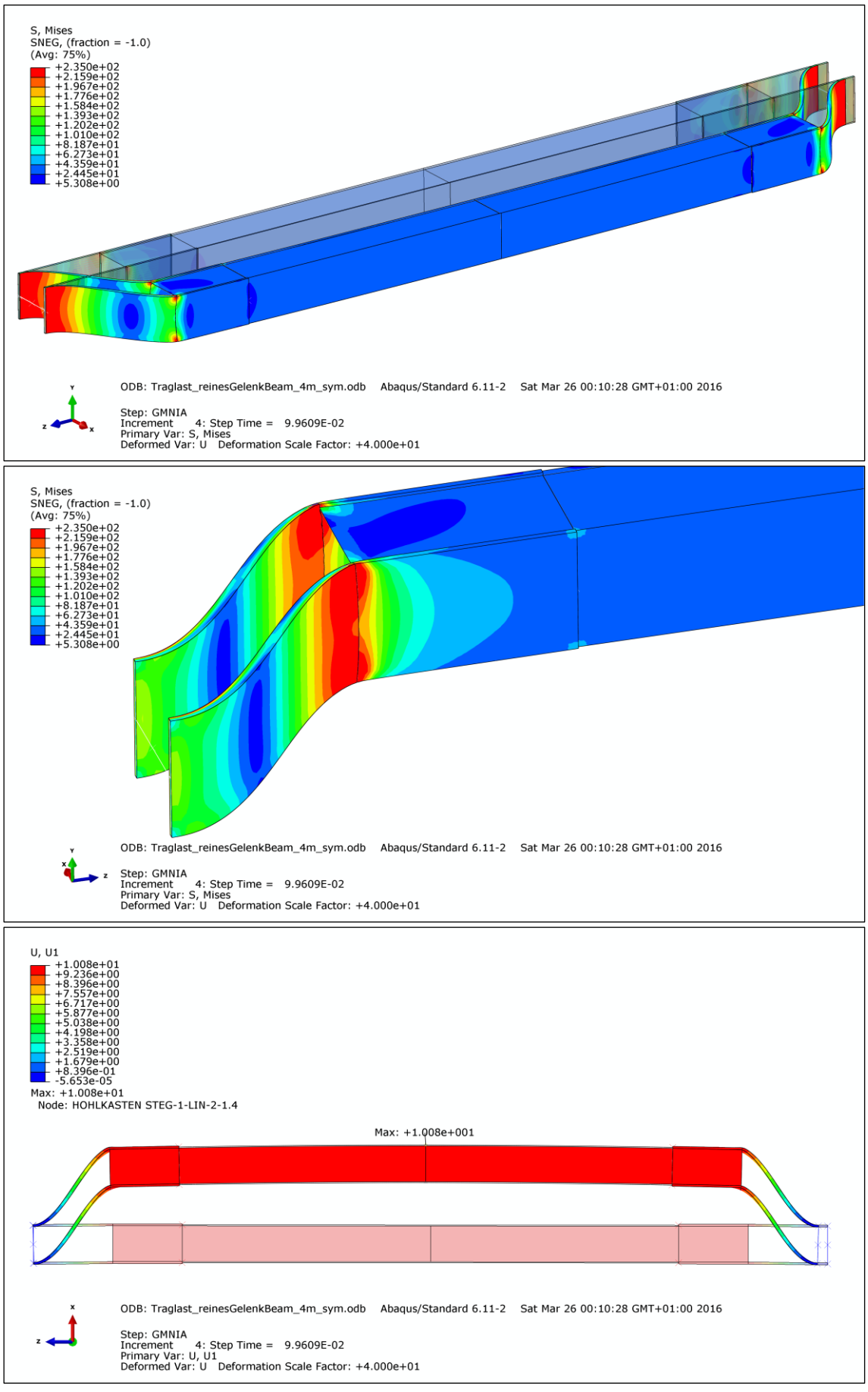


Abbildung 9-110: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)

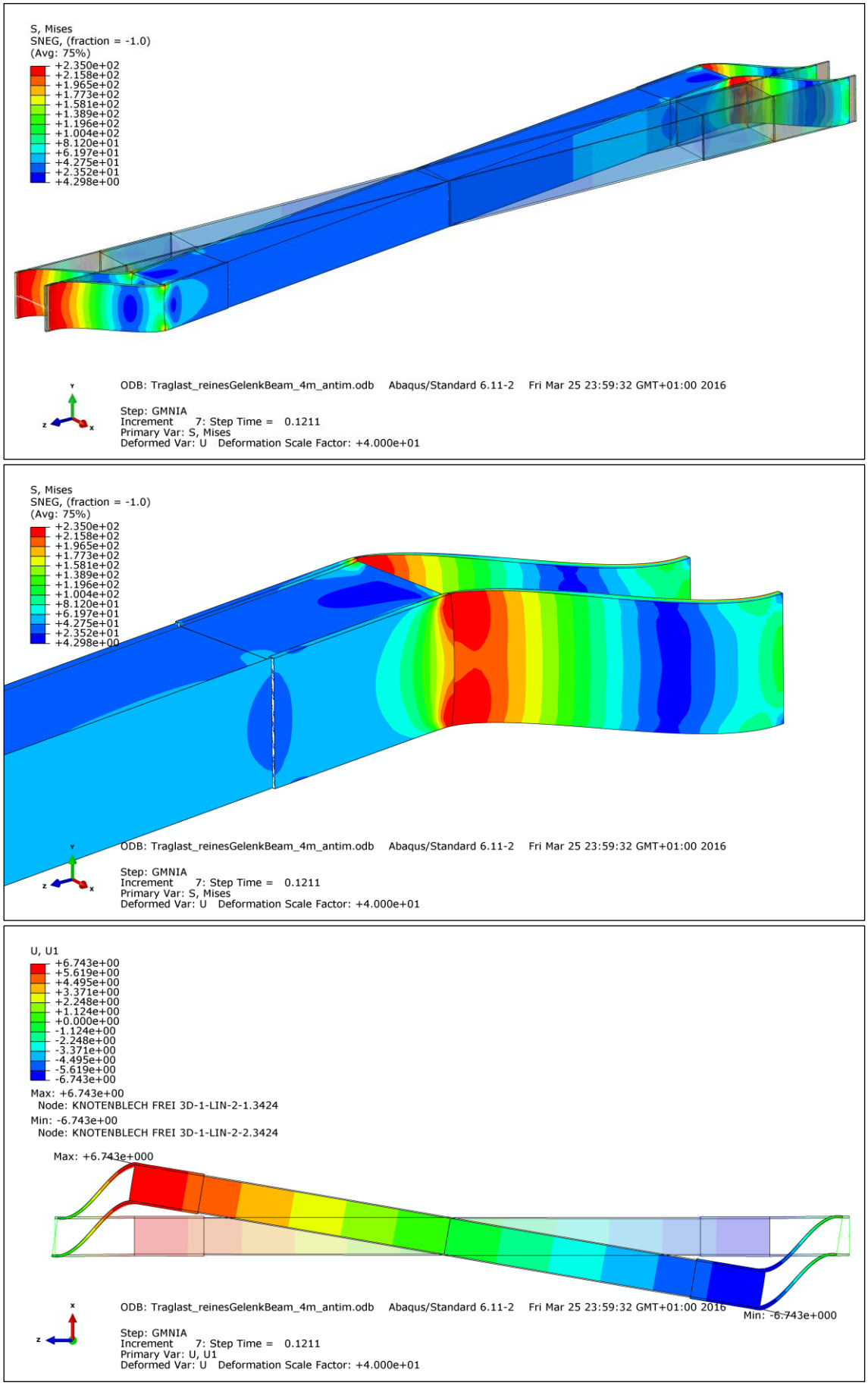
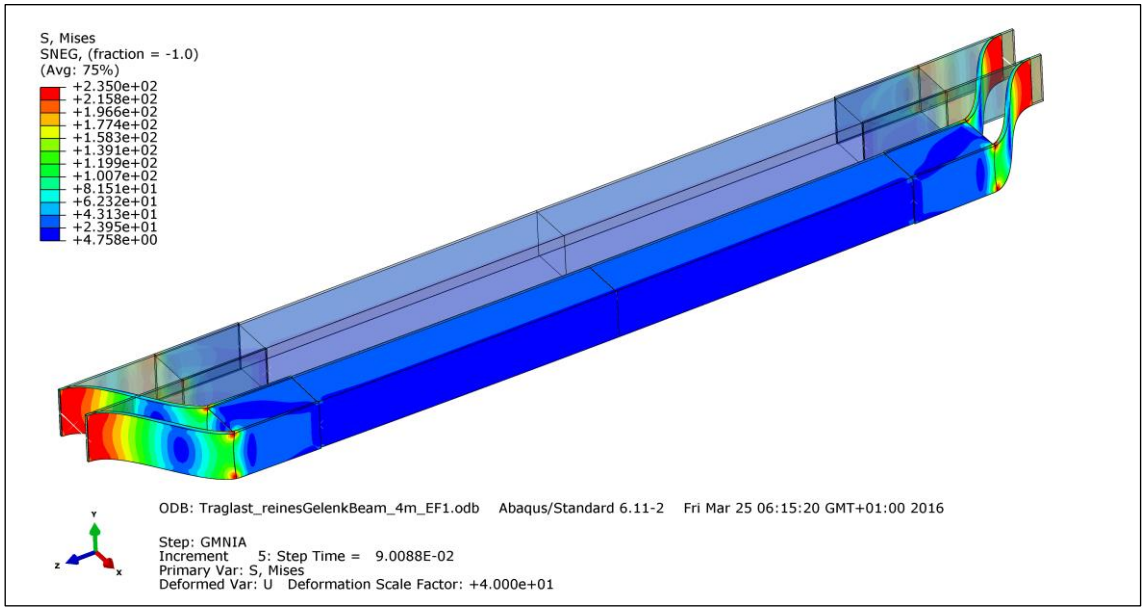
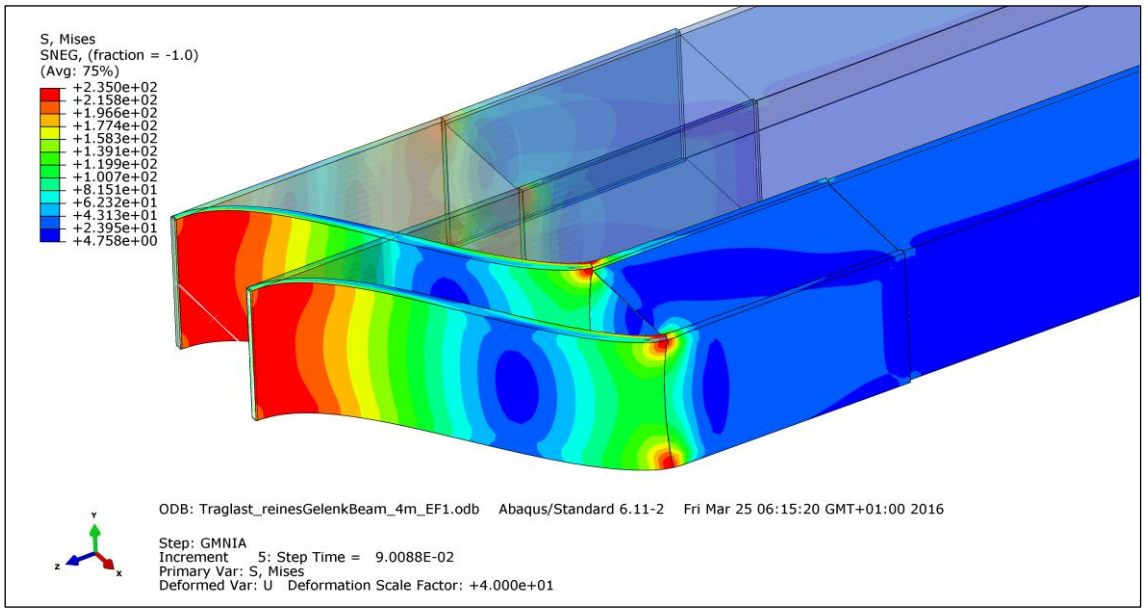


Abbildung 9-111: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





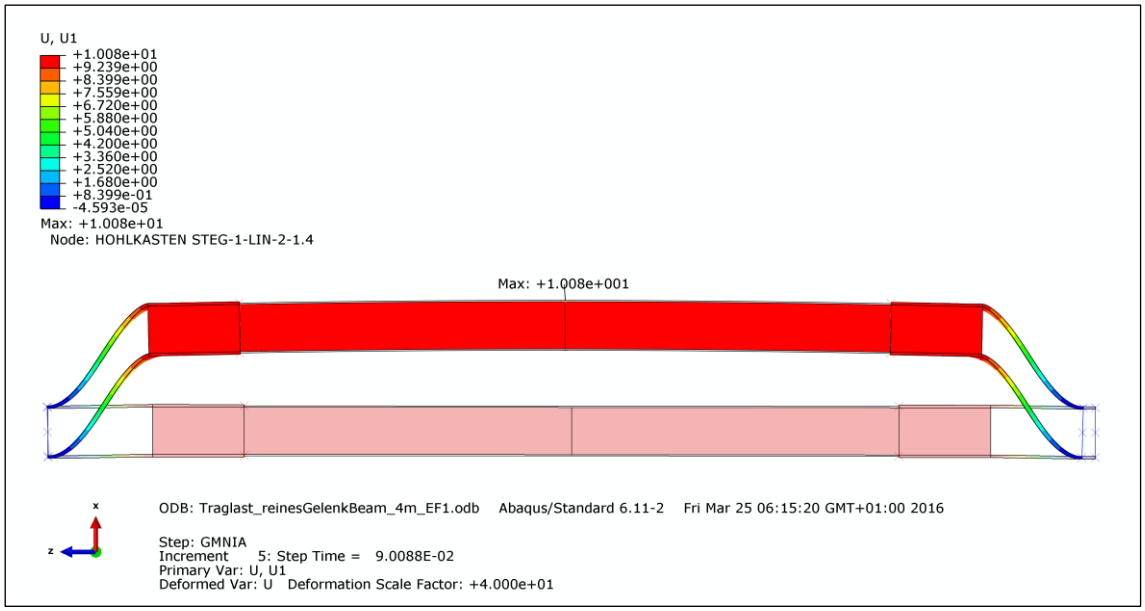
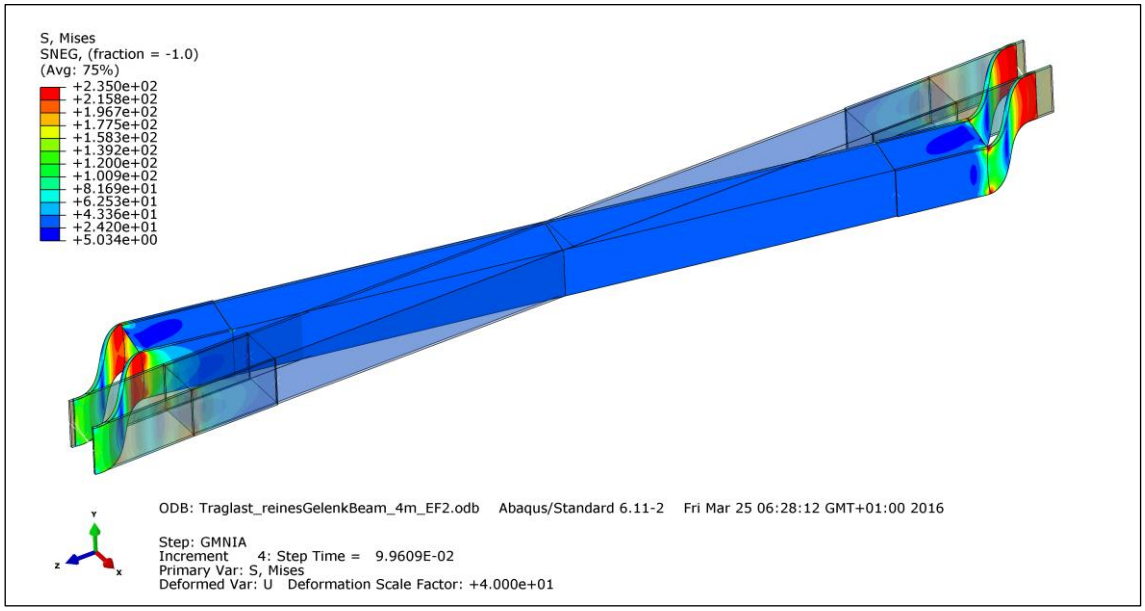
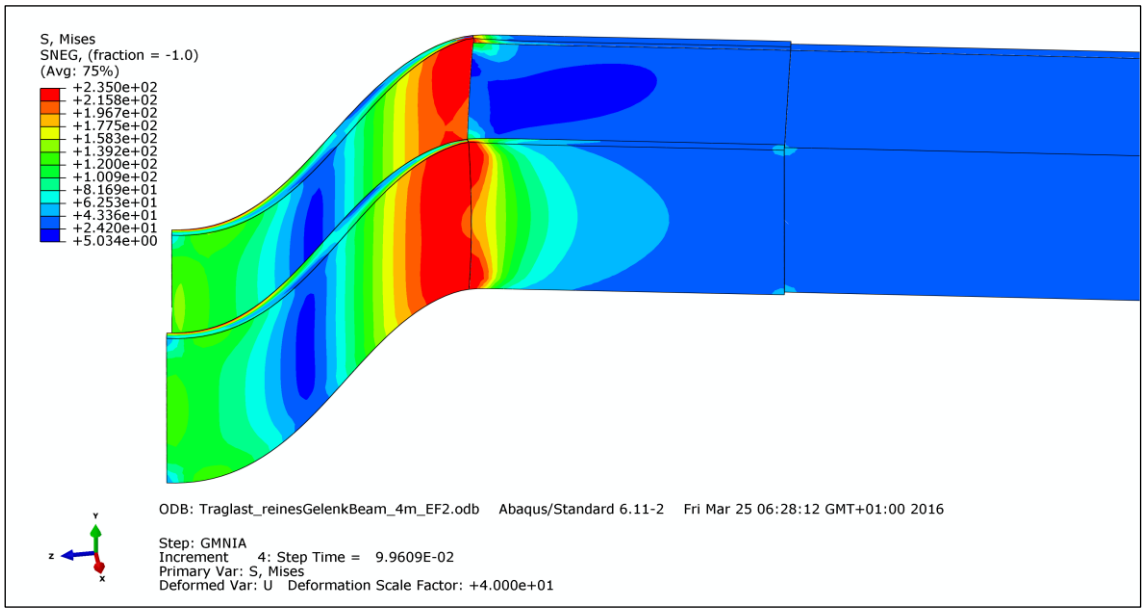


Abbildung 9-112: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





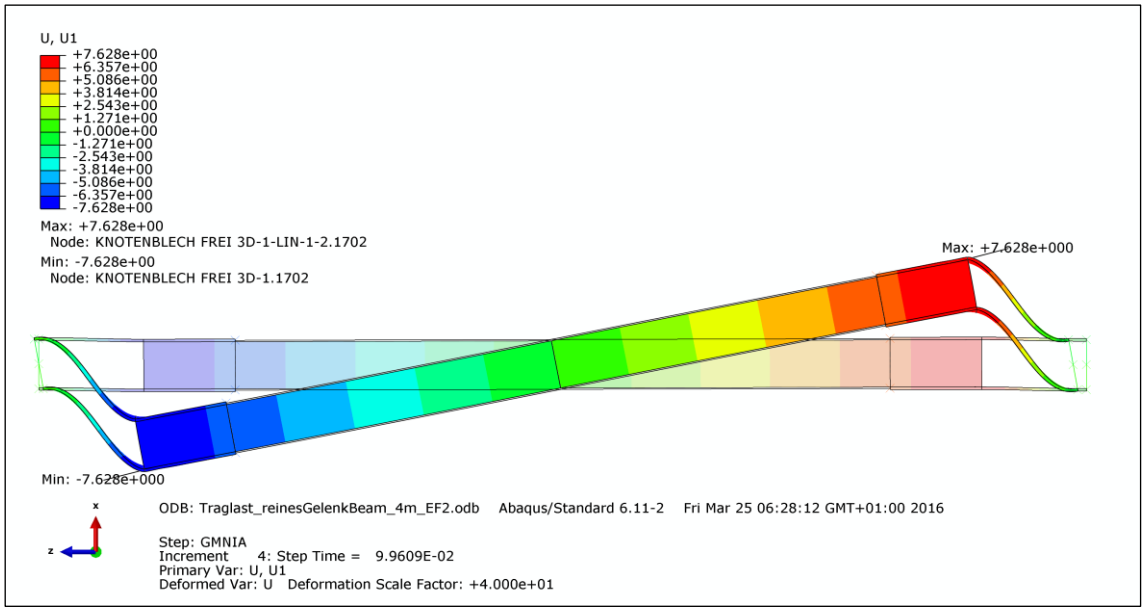


Abbildung 9-113: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm**

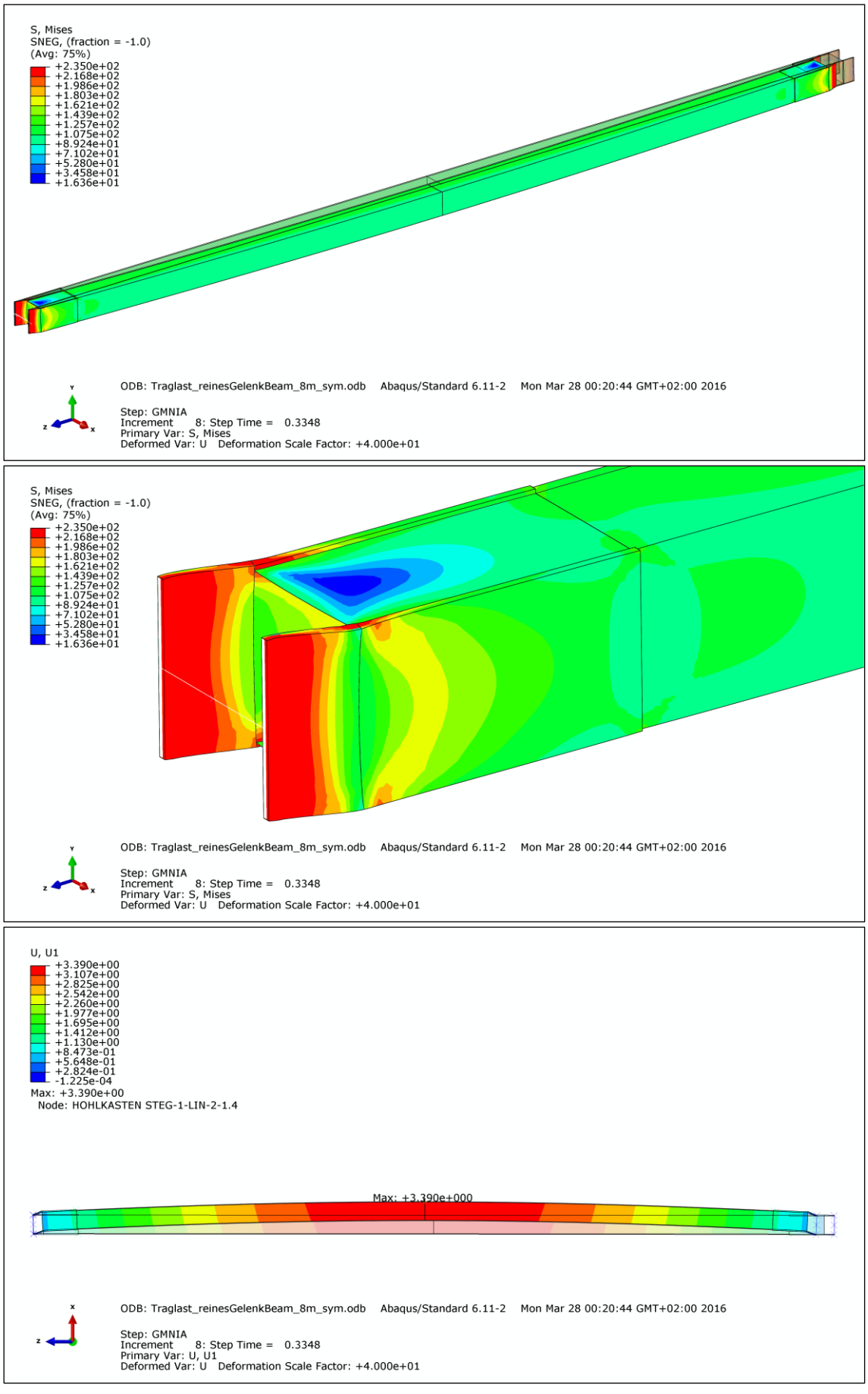
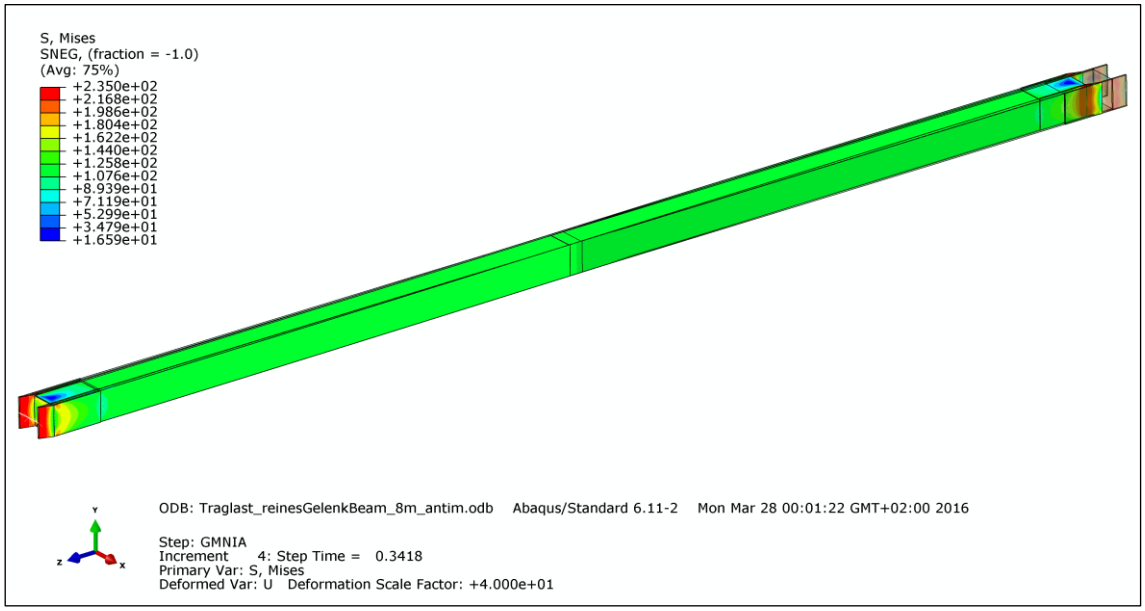
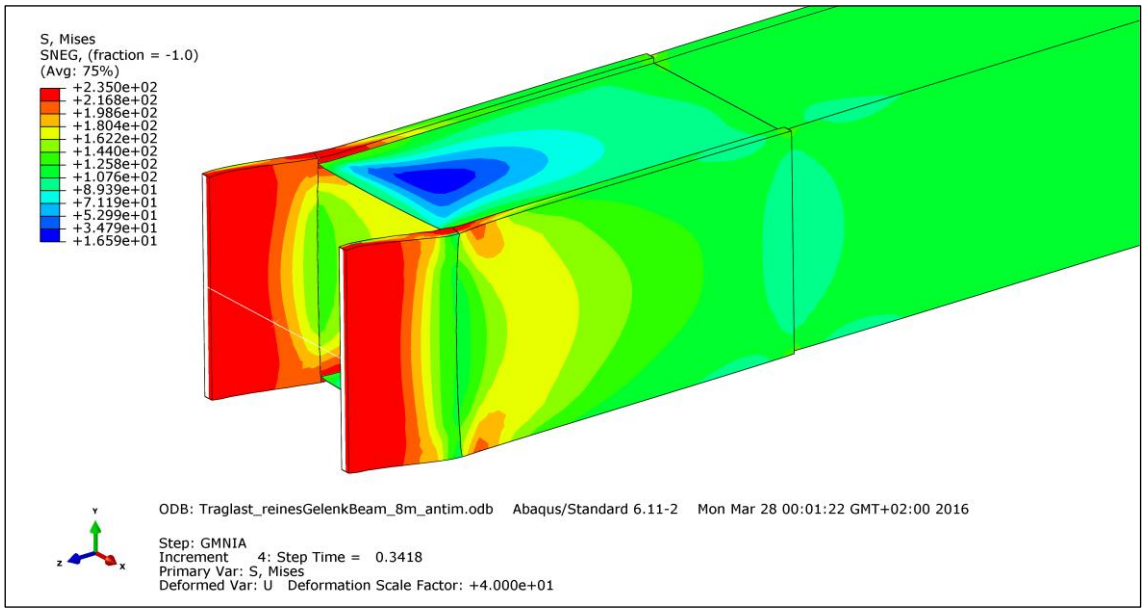


Abbildung 9-114: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





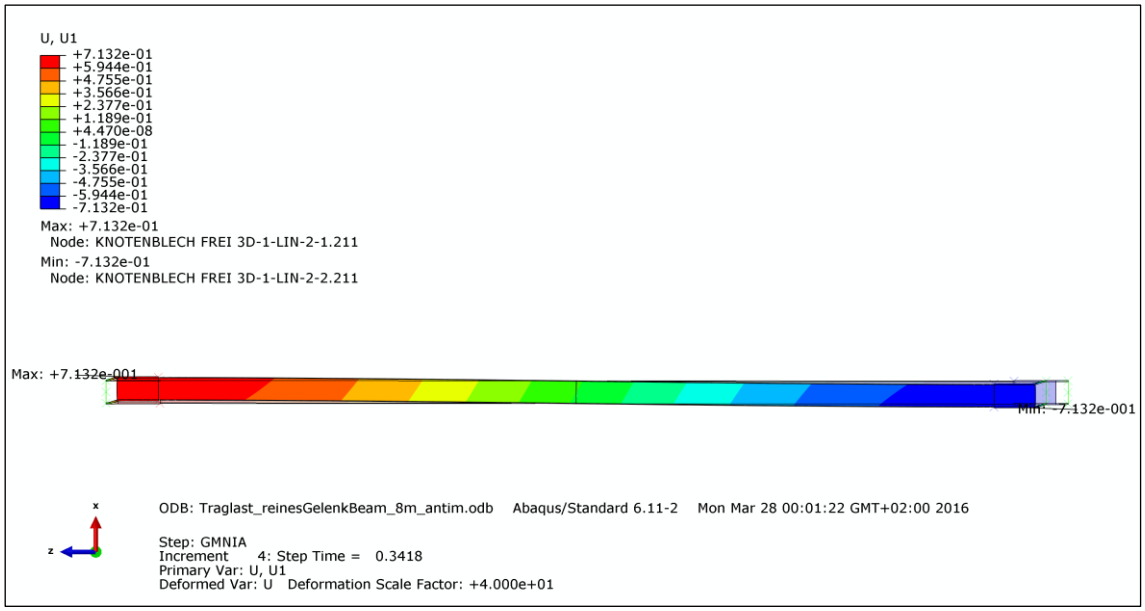
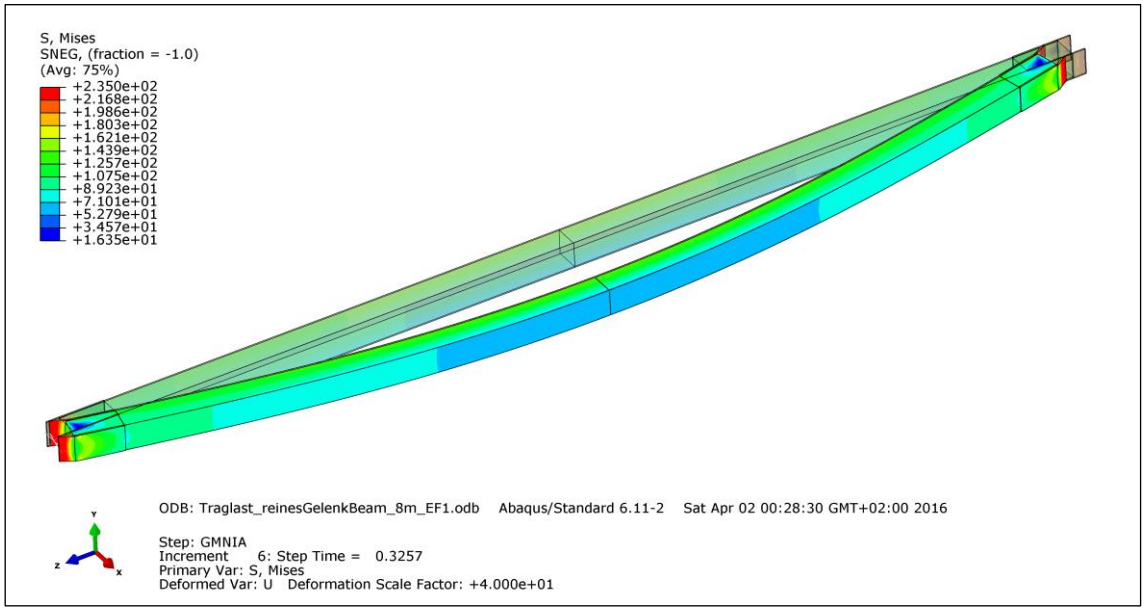
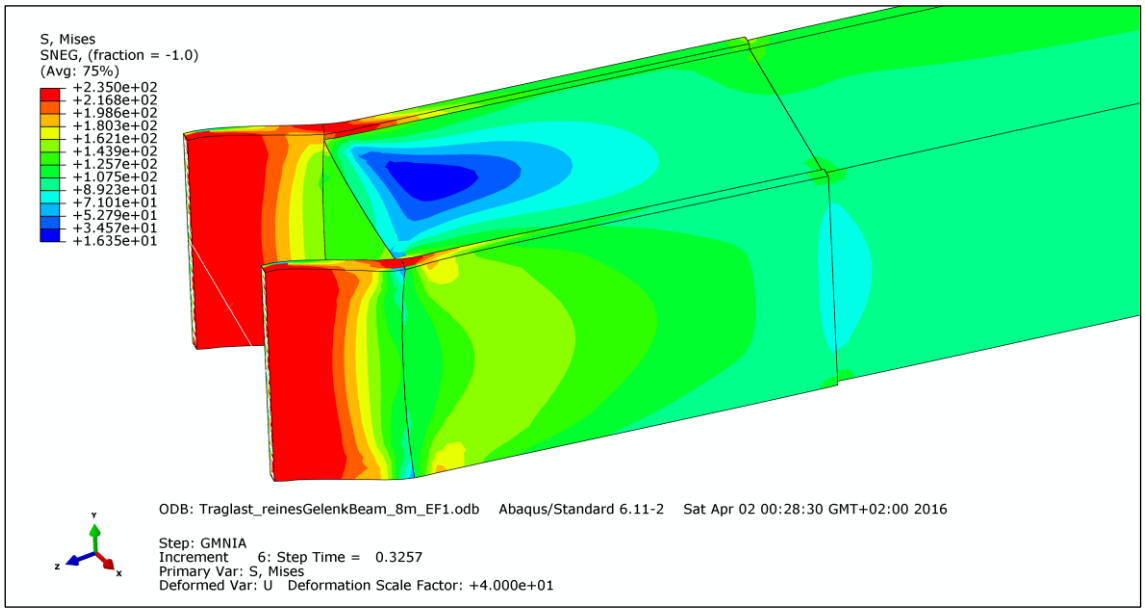


Abbildung 9-115: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





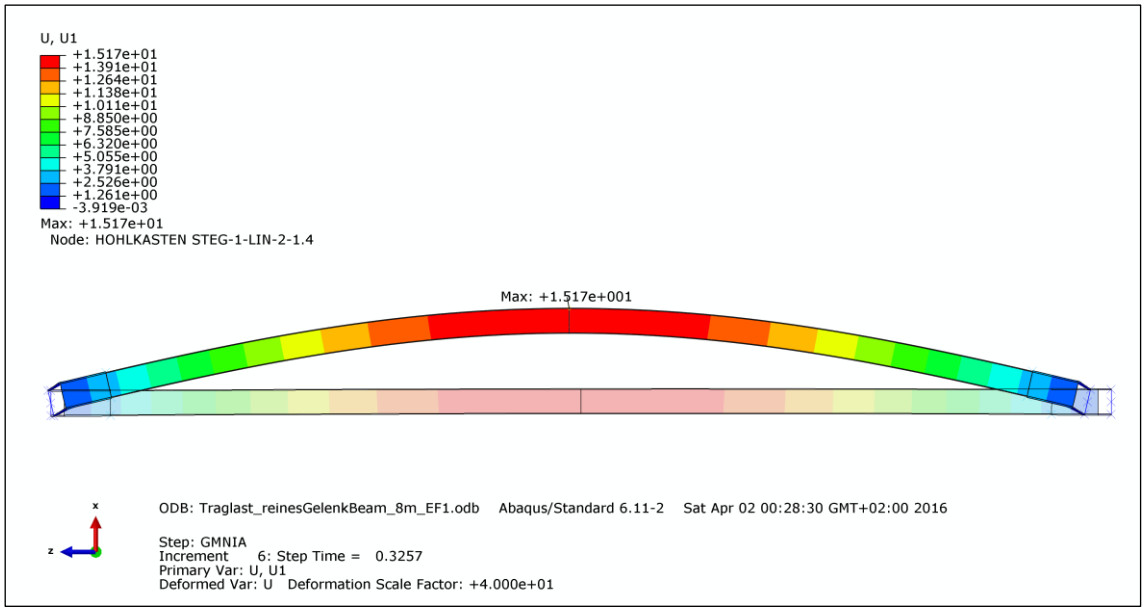
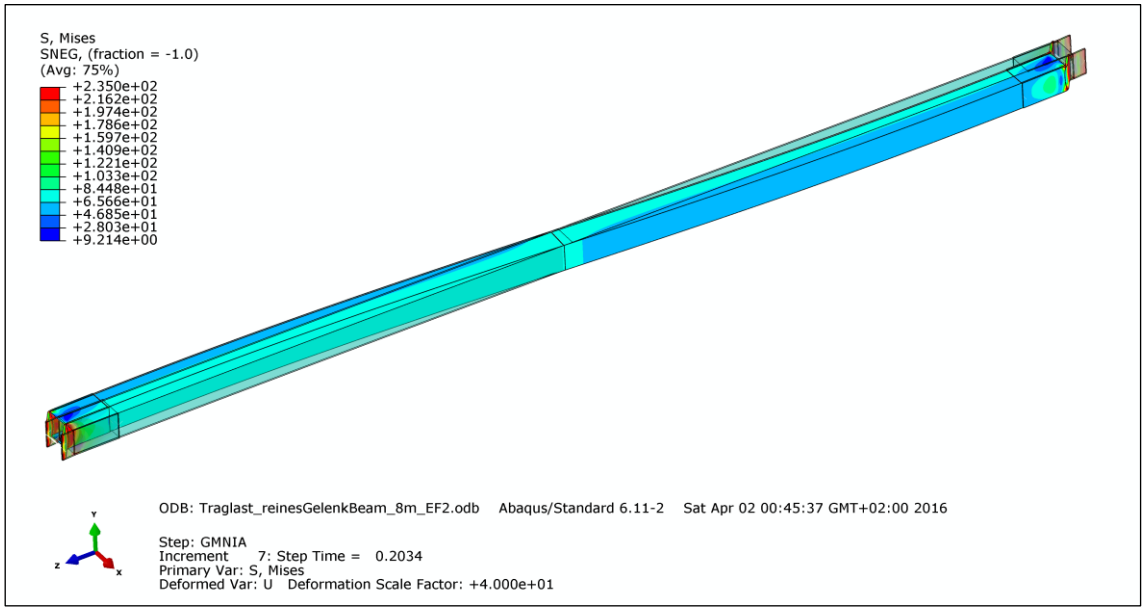
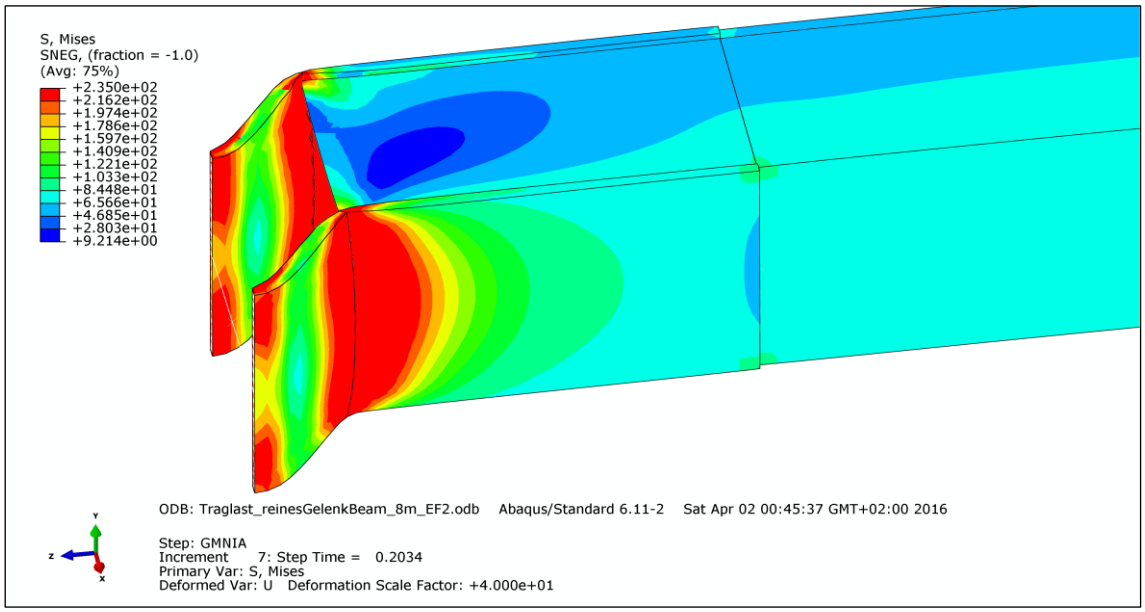


Abbildung 9-116: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





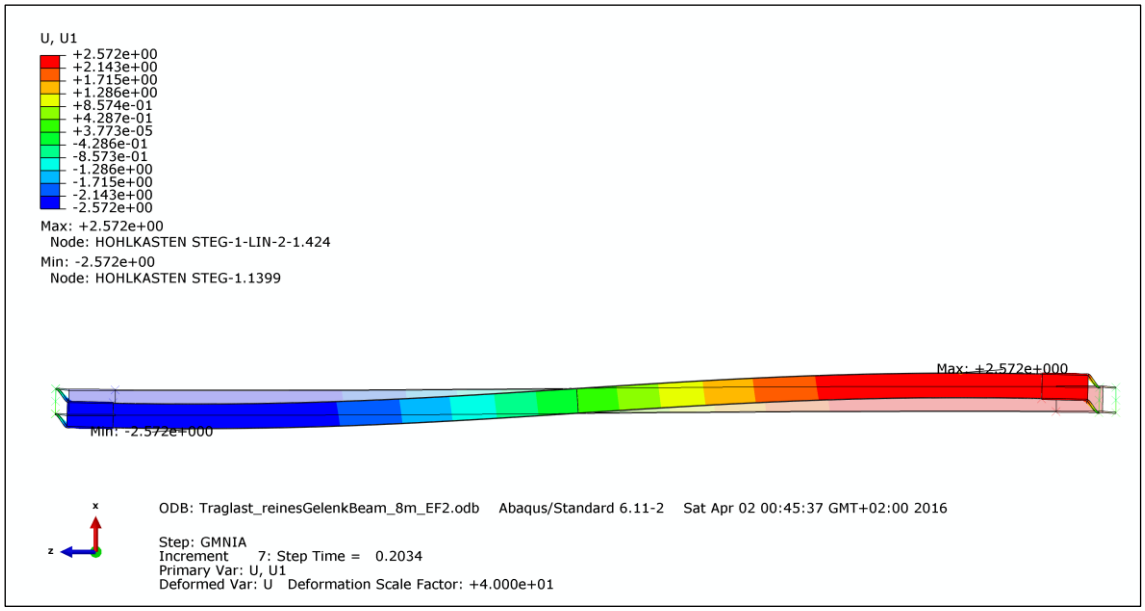
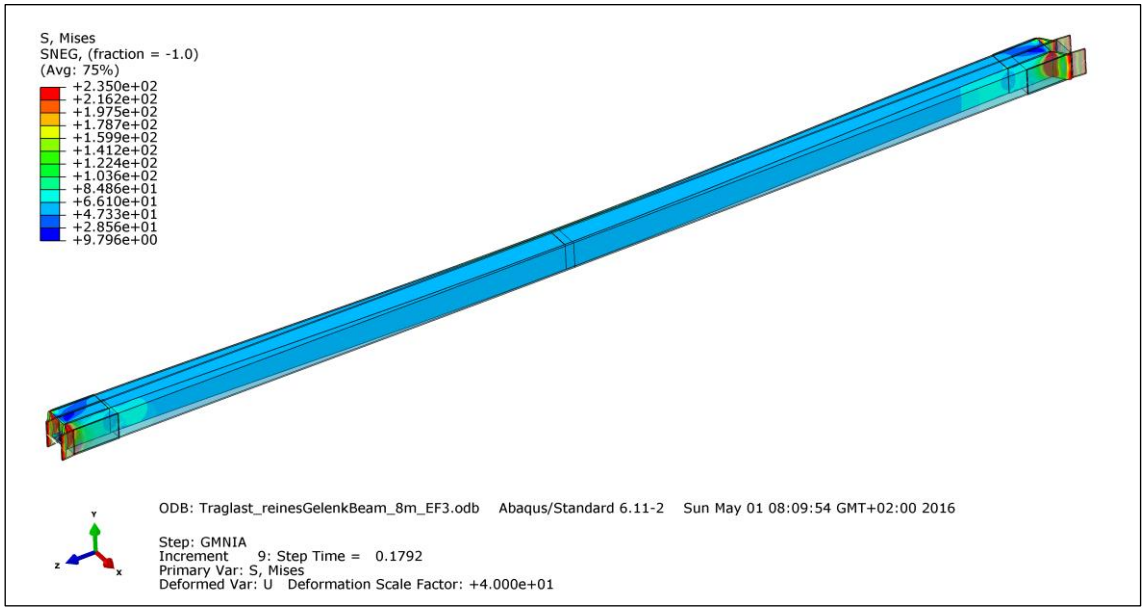
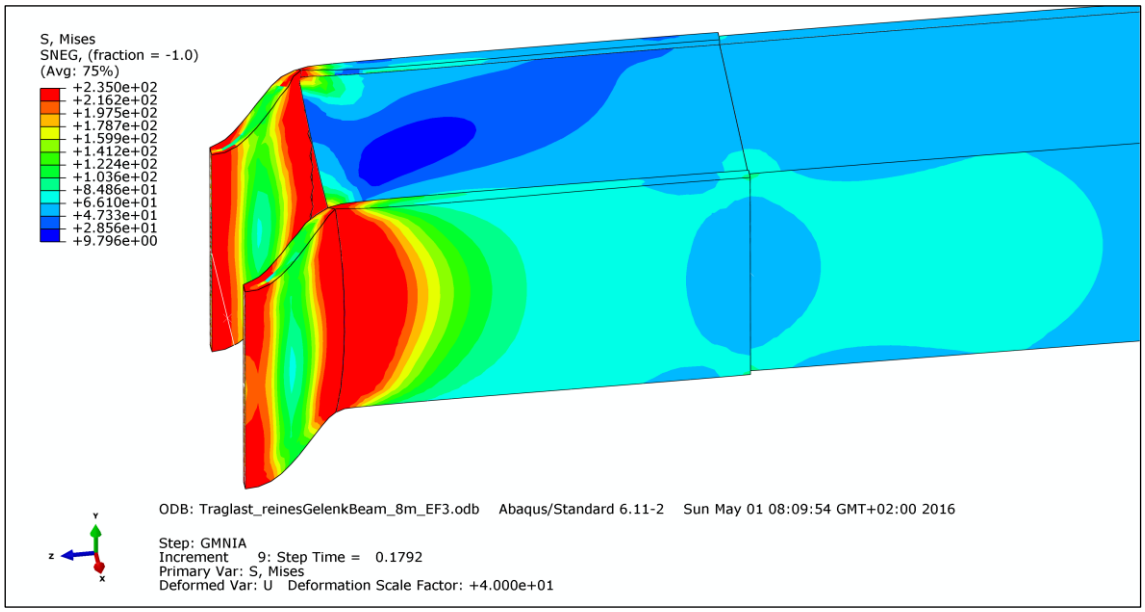


Abbildung 9-117: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





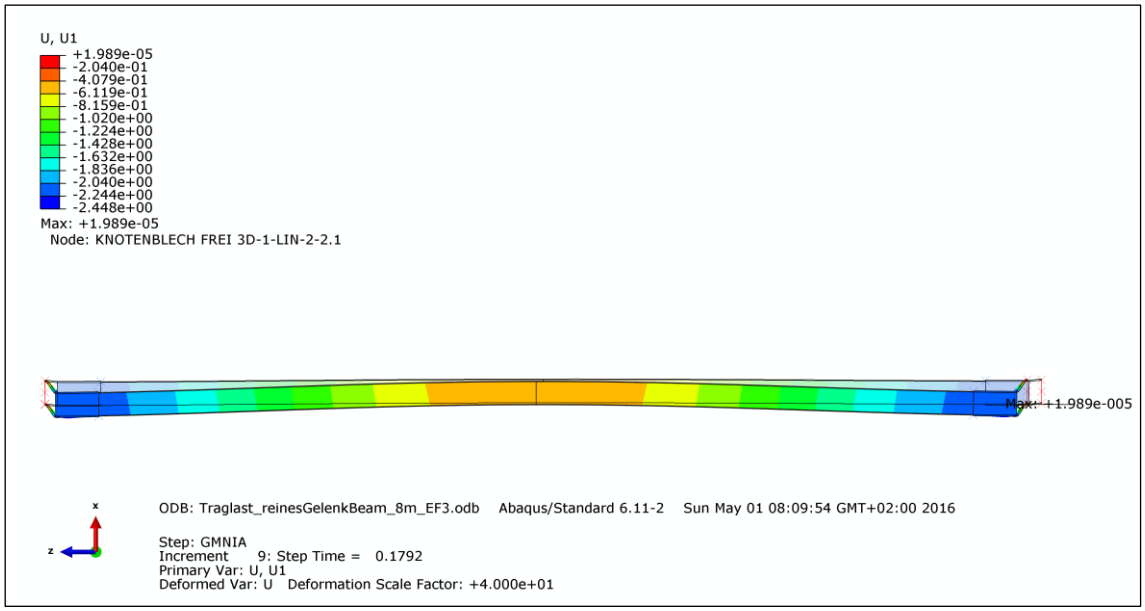
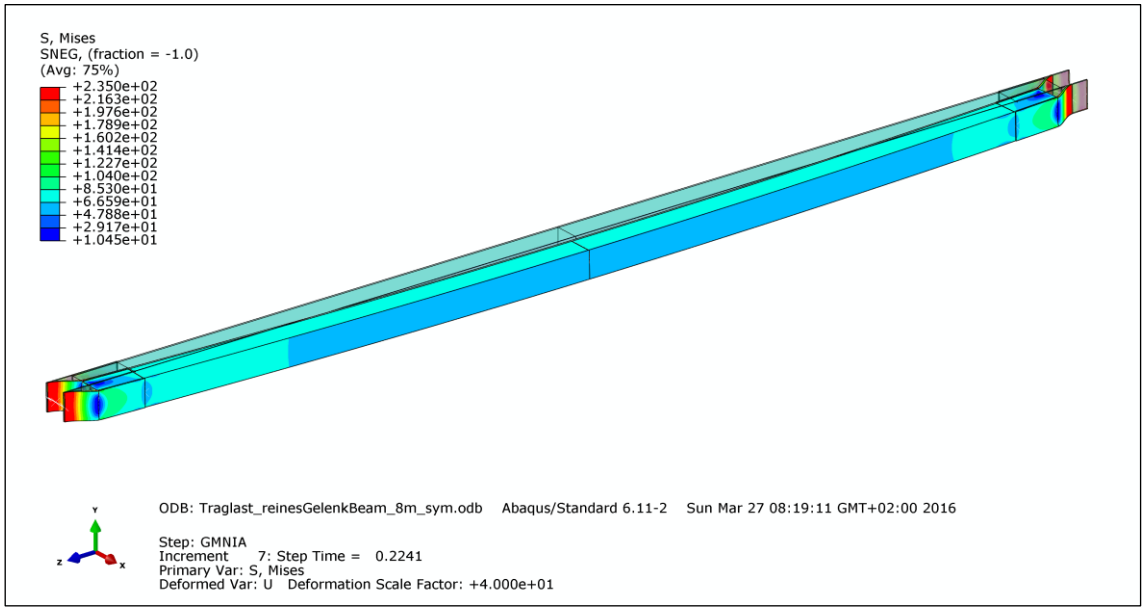
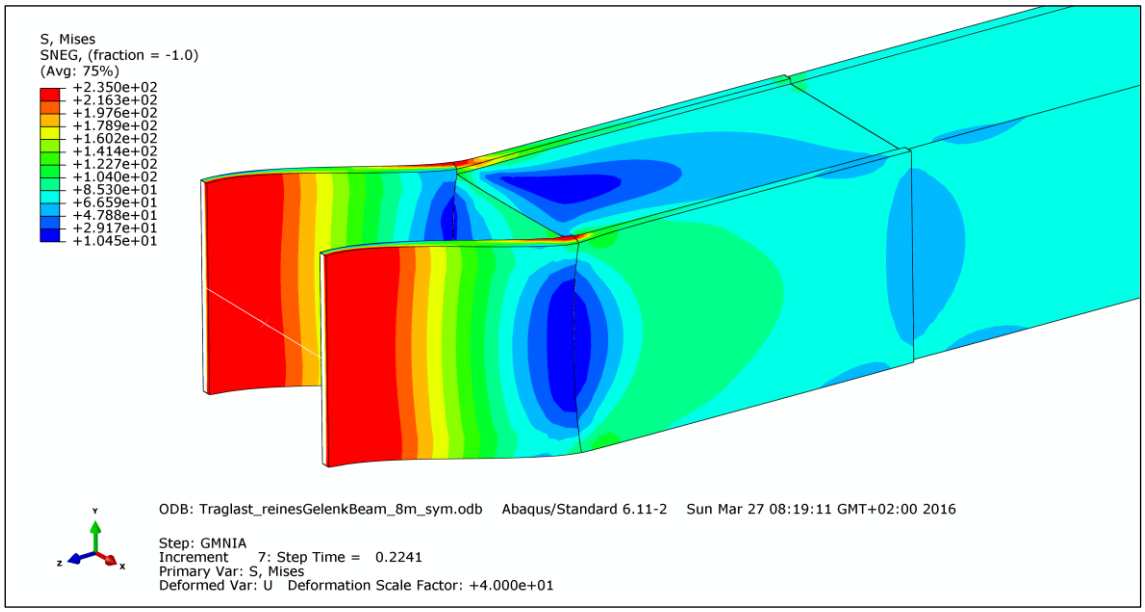


Abbildung 9-118: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





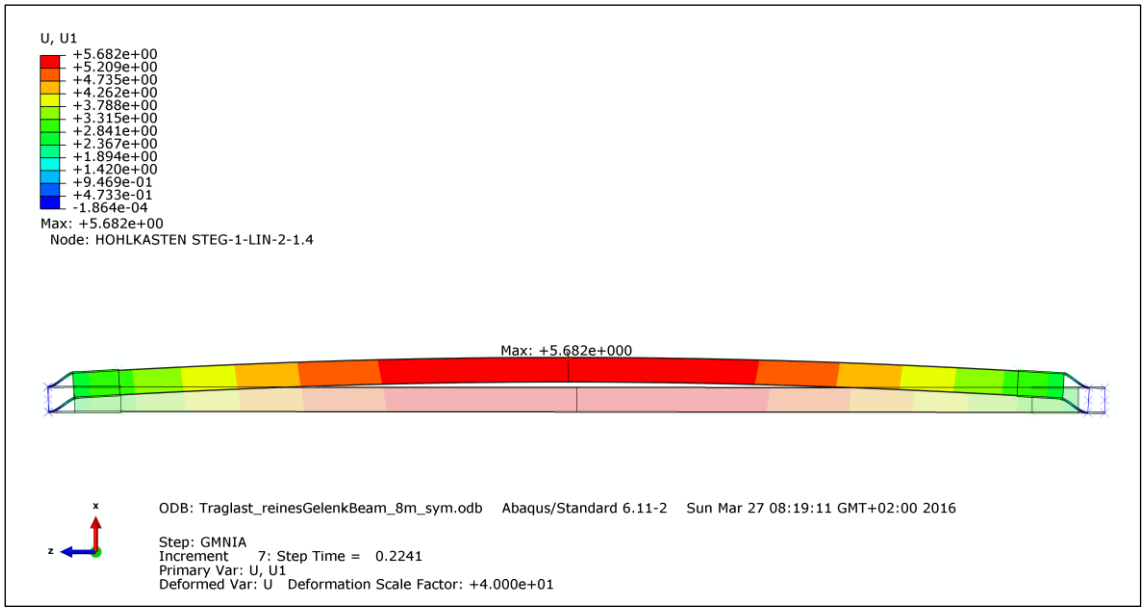
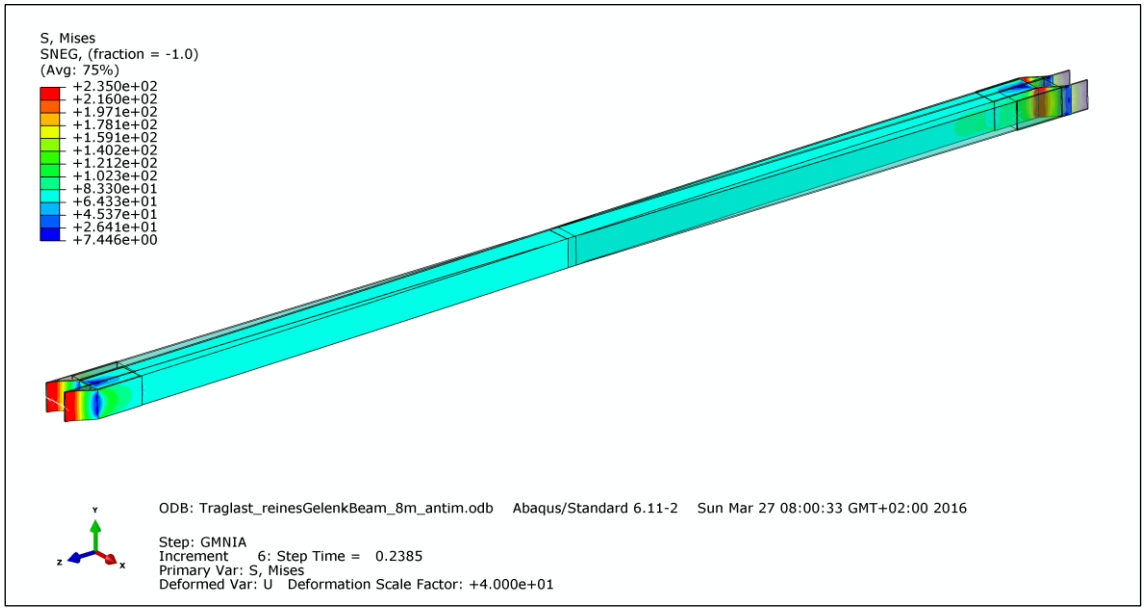
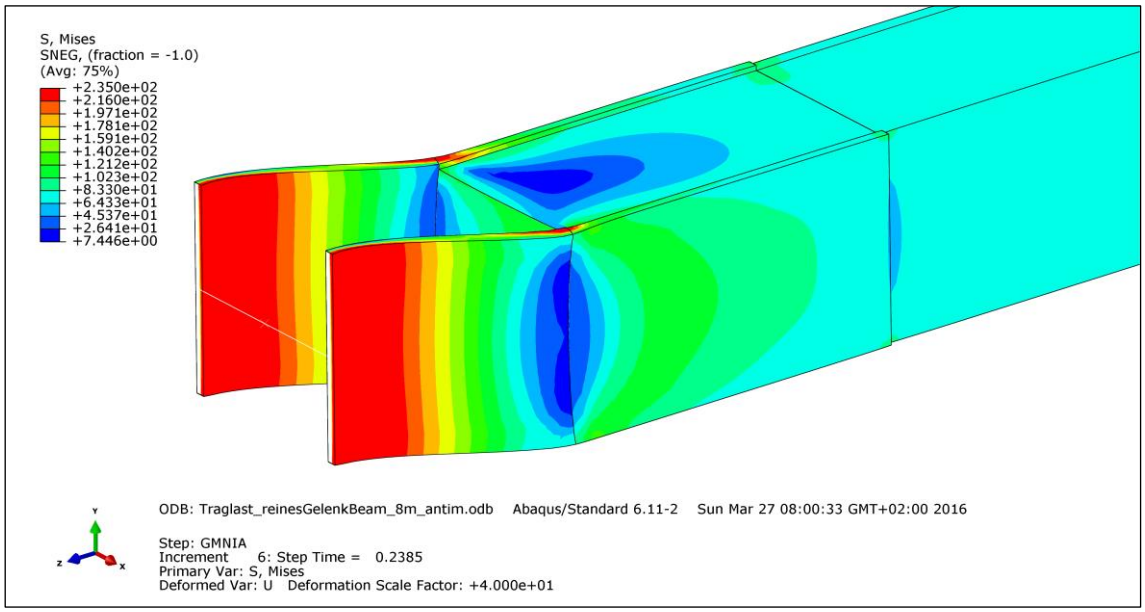


Abbildung 9-119: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





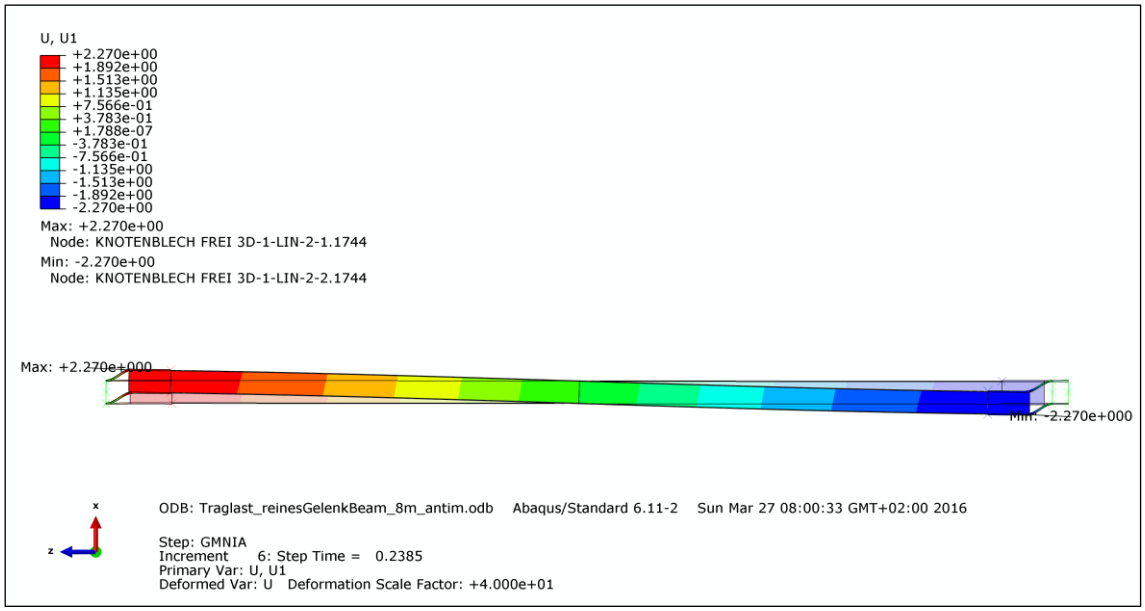
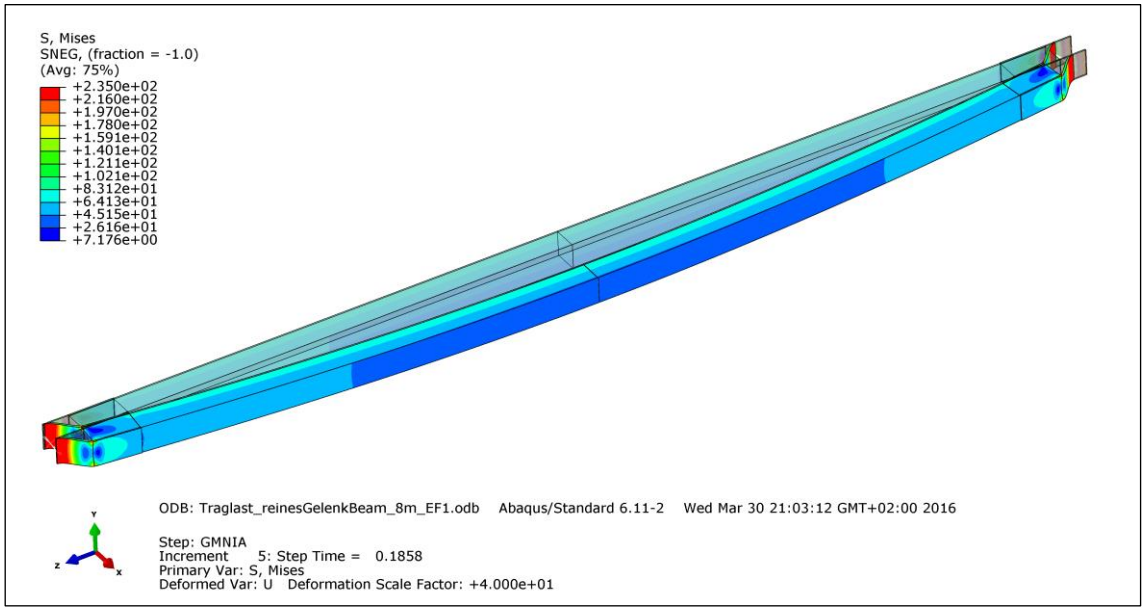
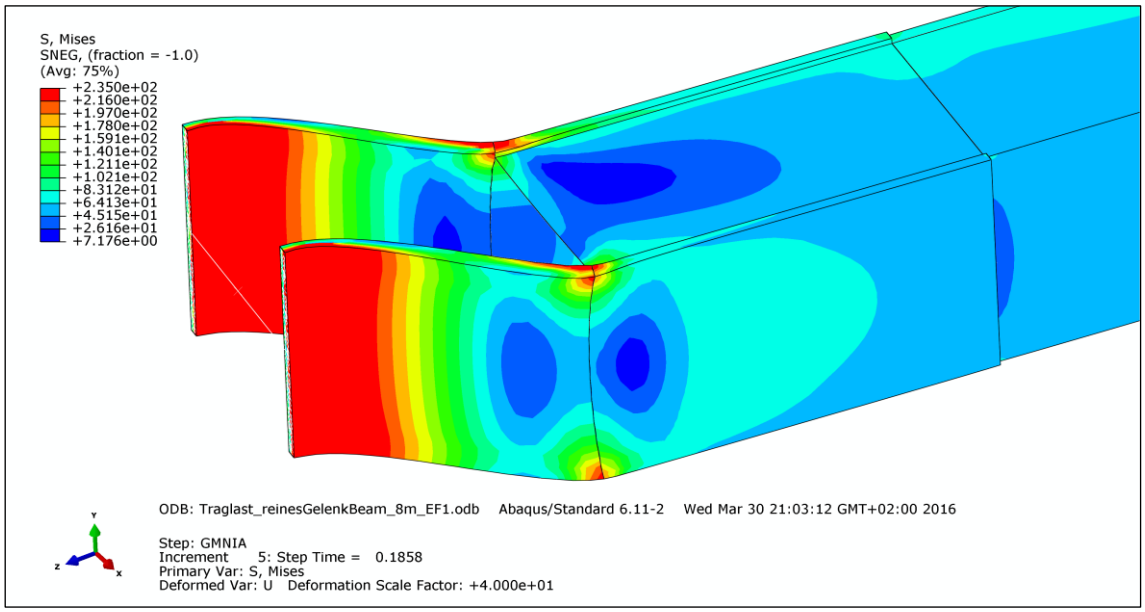


Abbildung 9-120: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





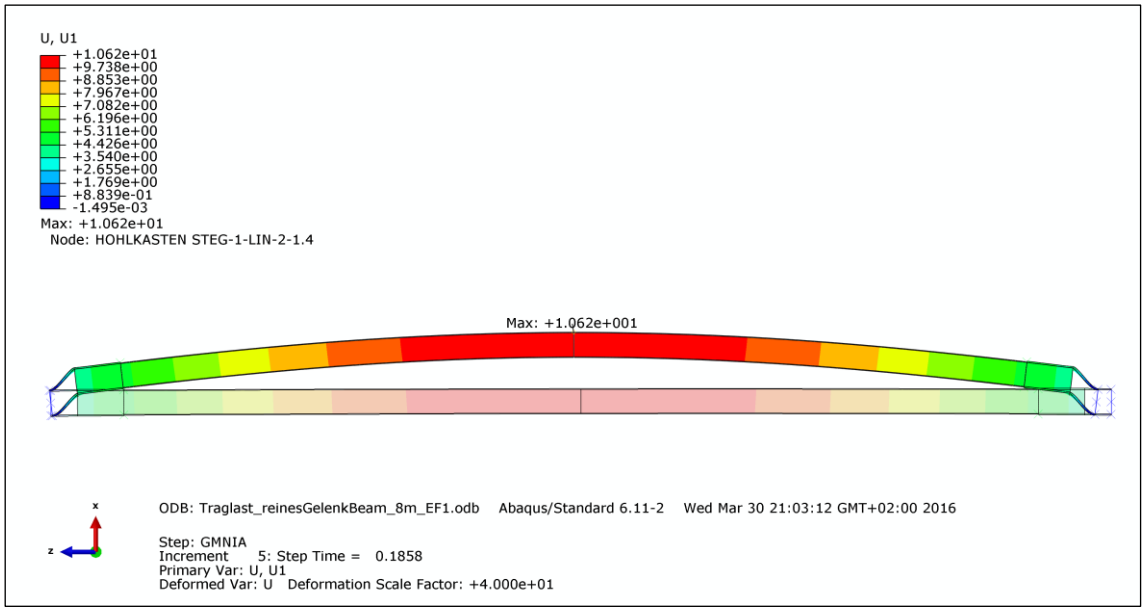
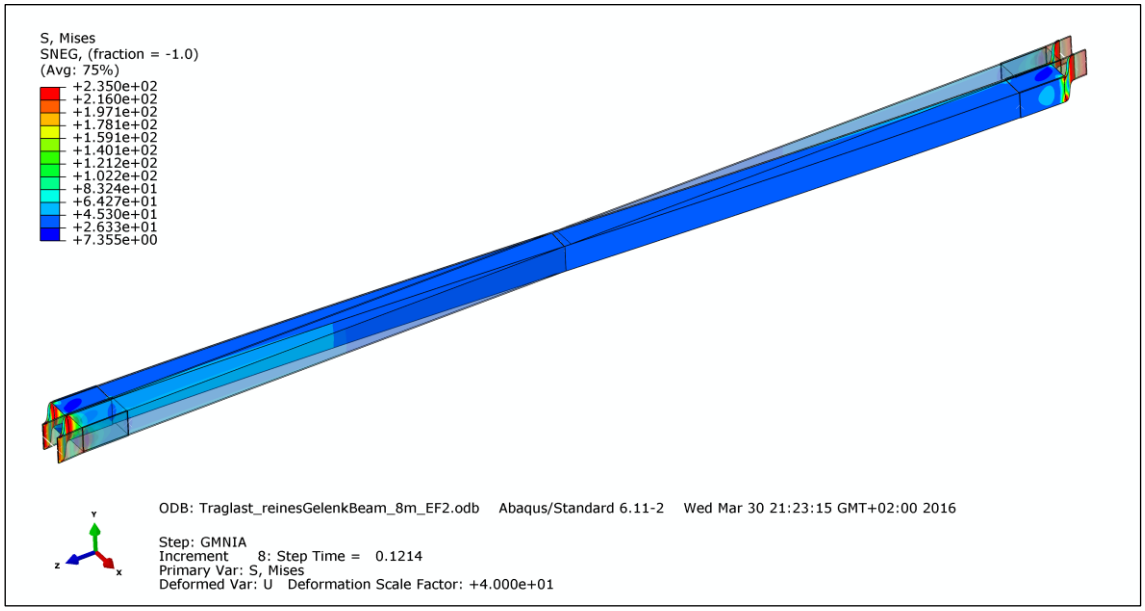
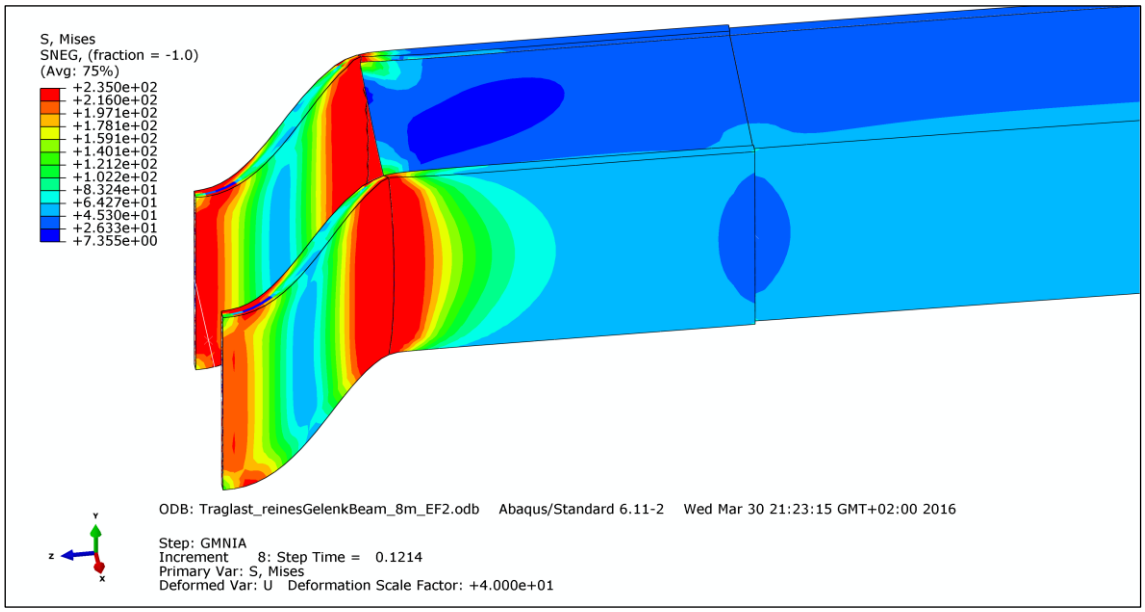


Abbildung 9-121: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





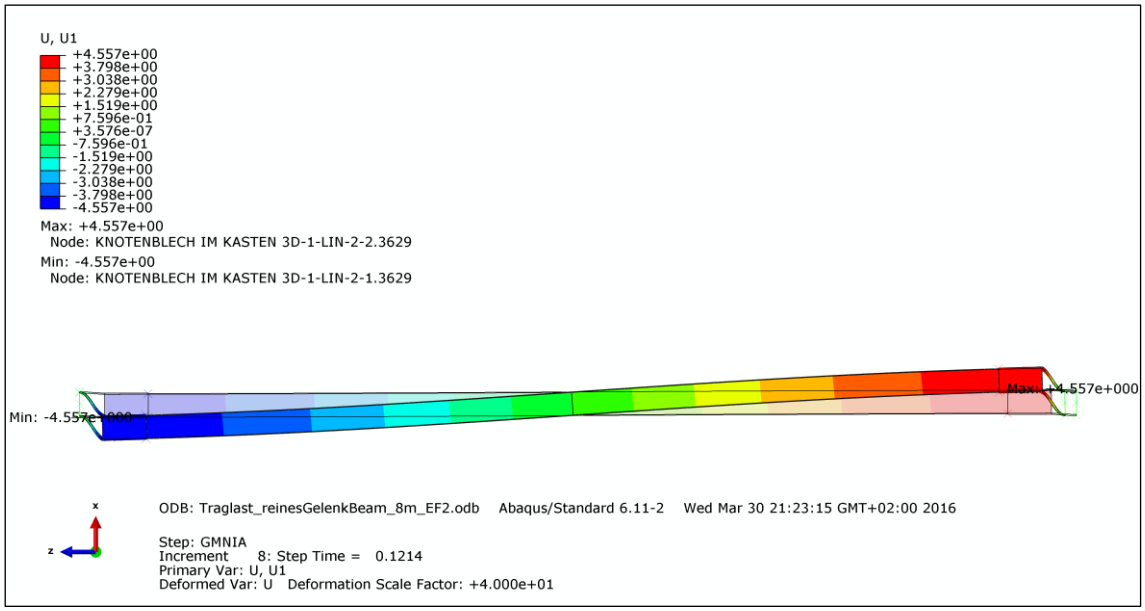
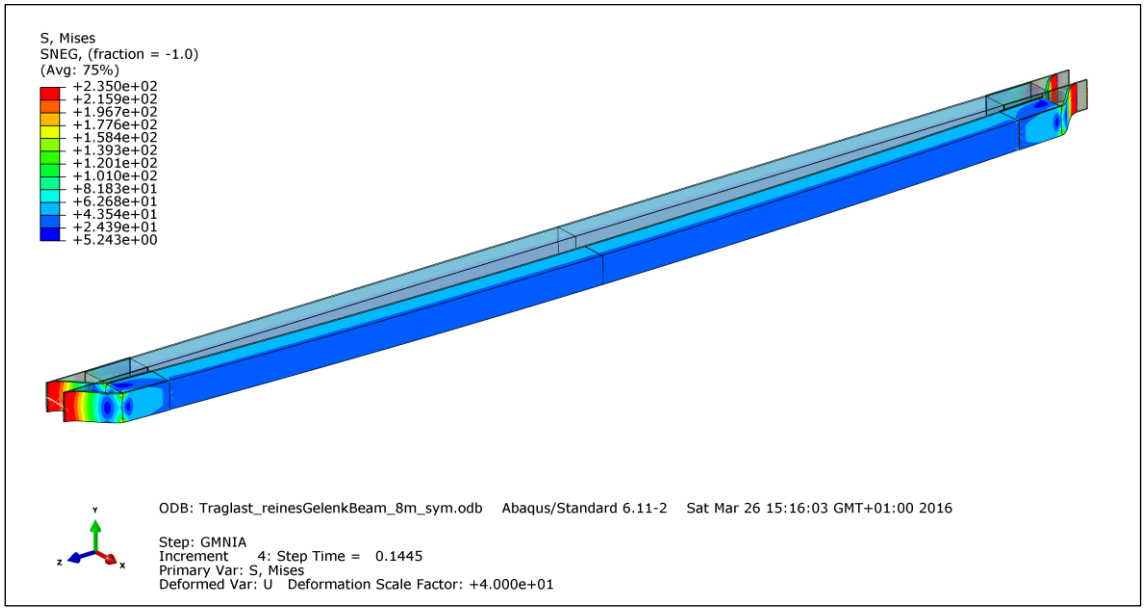
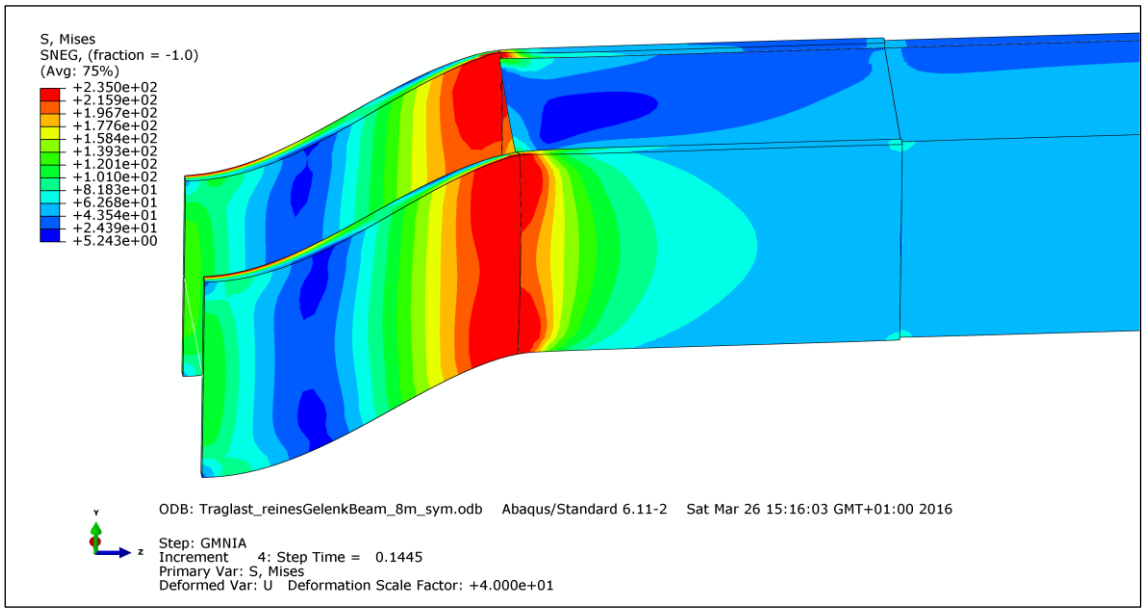


Abbildung 9-122: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





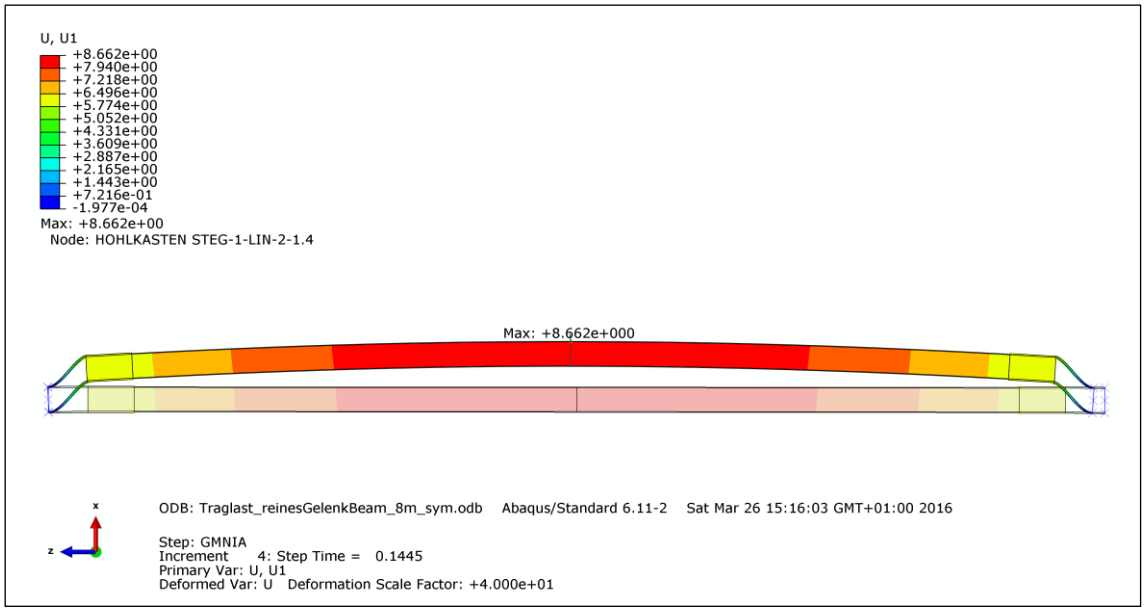
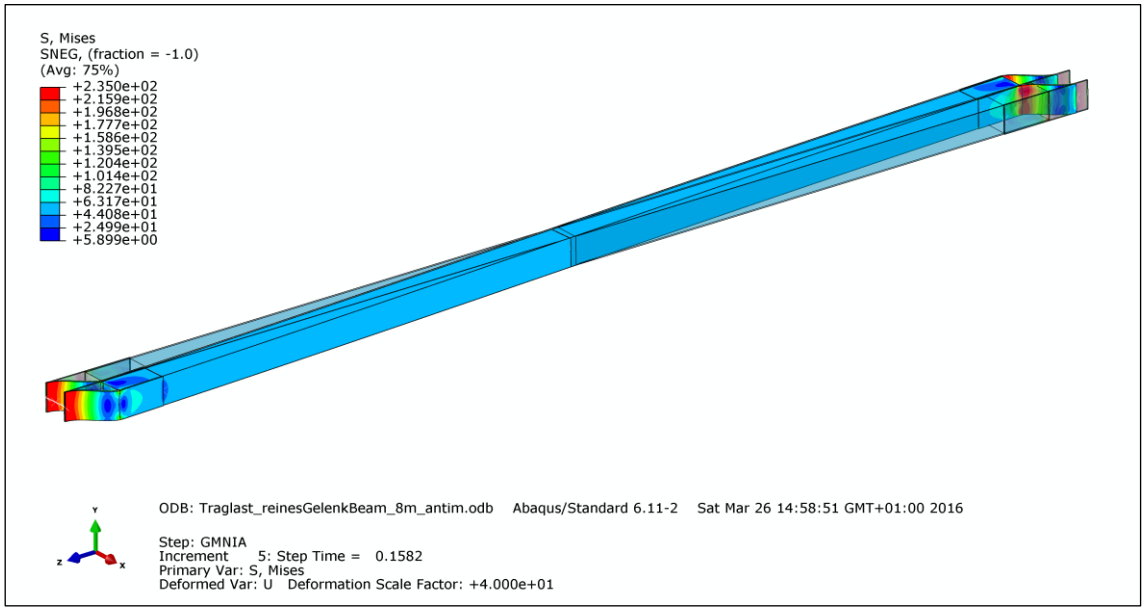
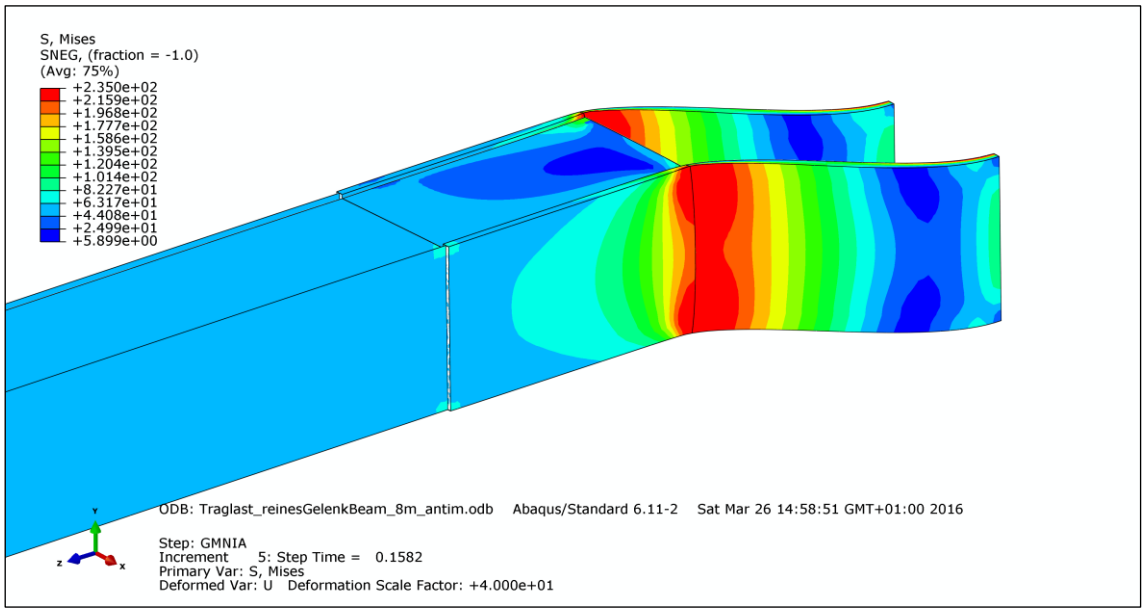


Abbildung 9-123: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





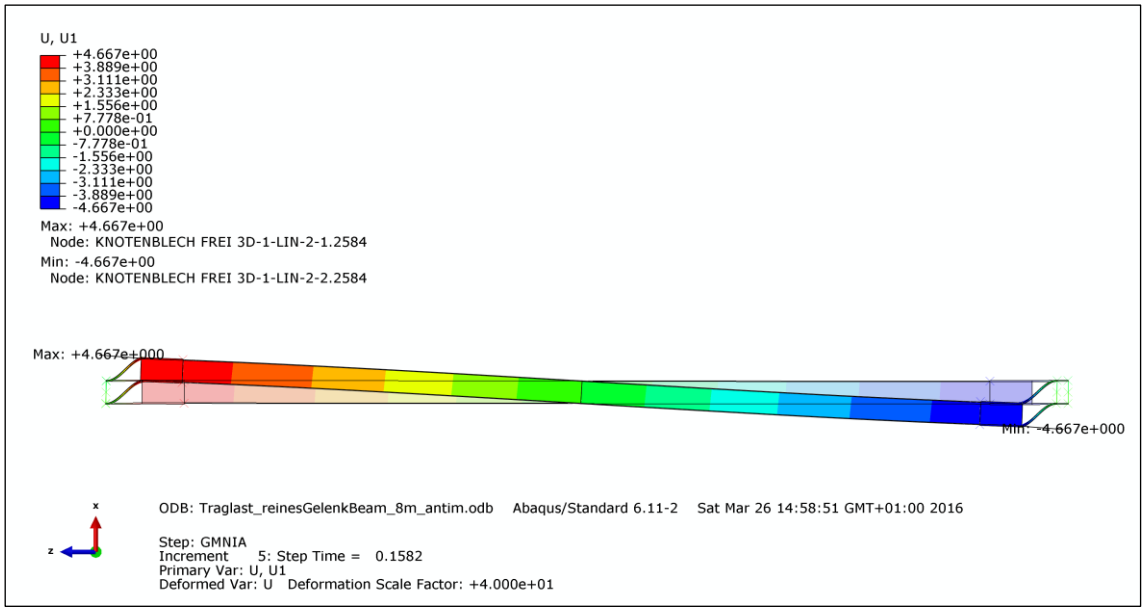
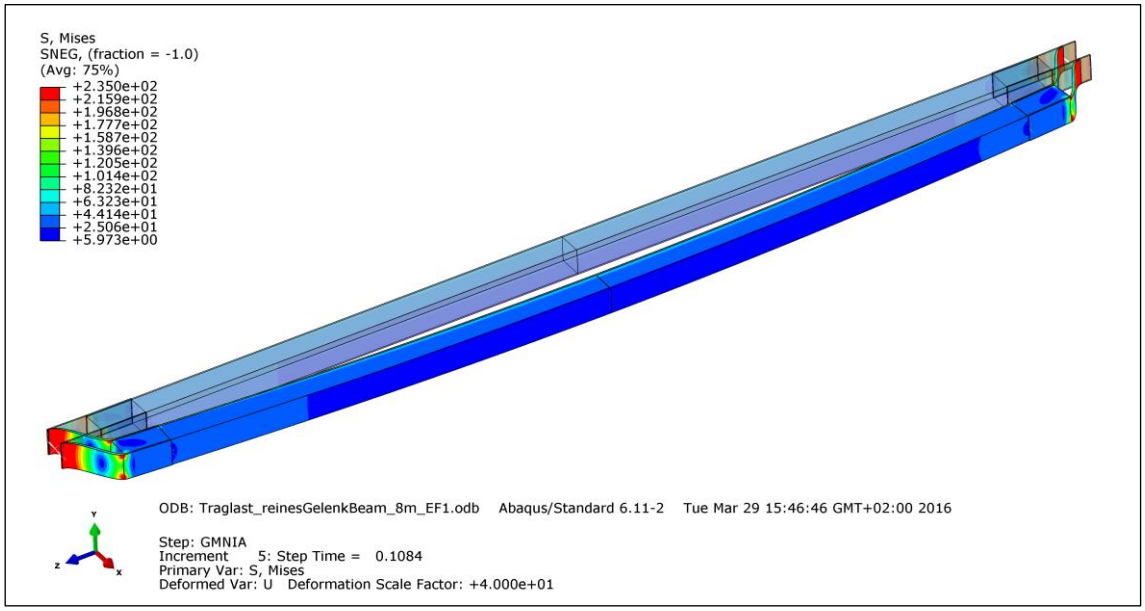
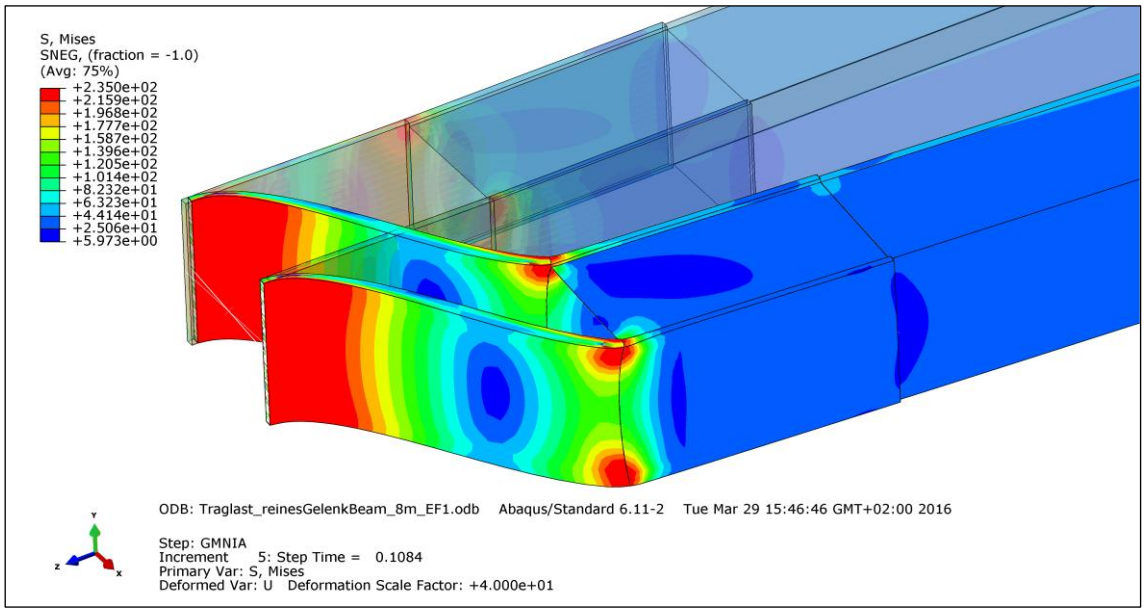


Abbildung 9-124: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





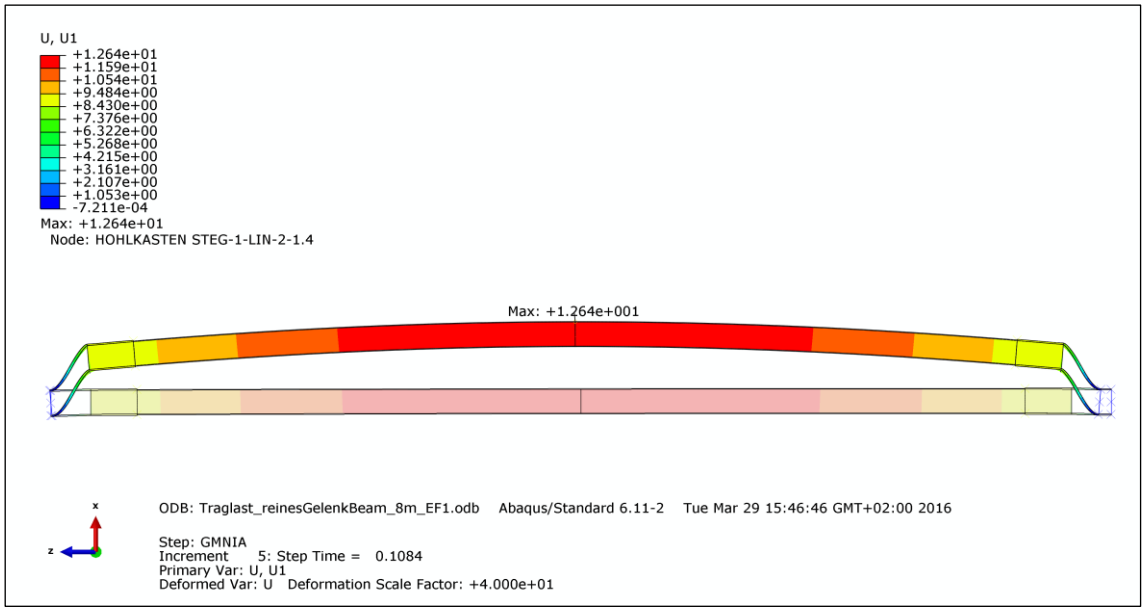
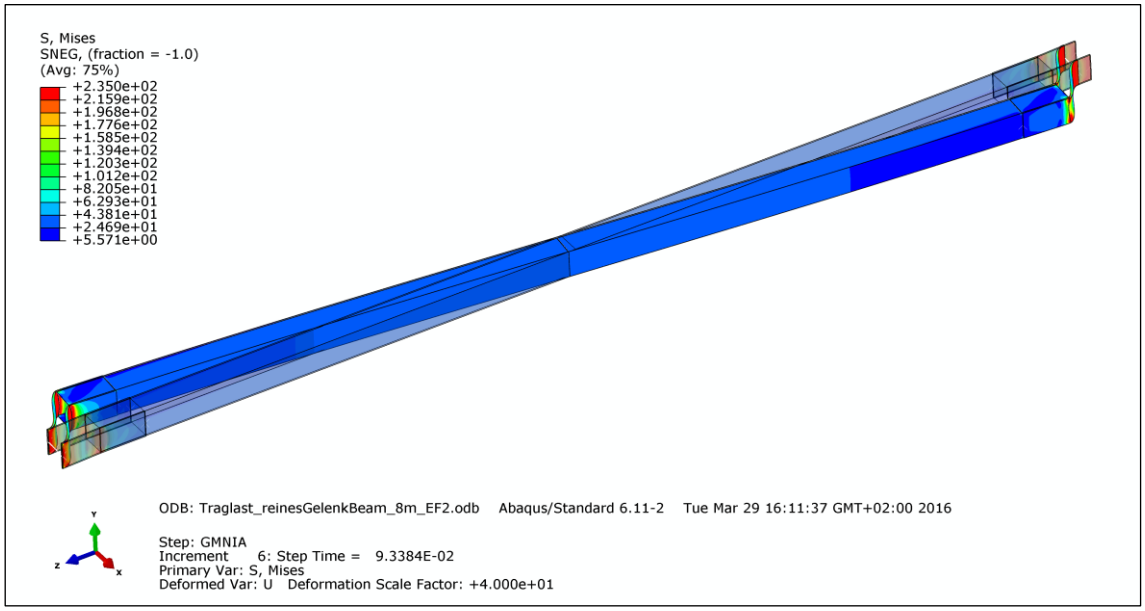
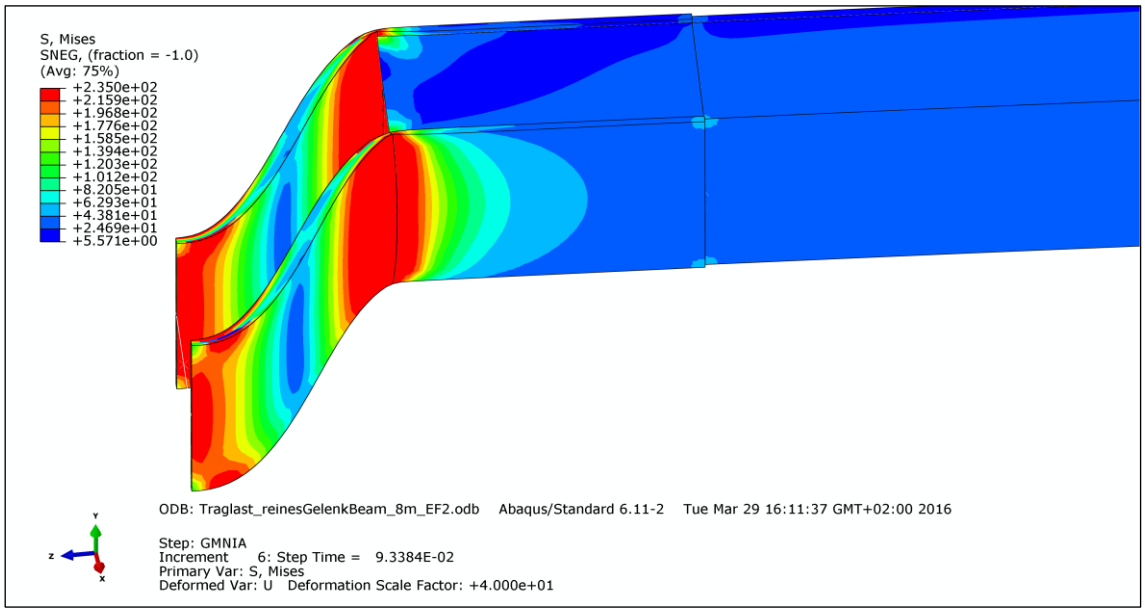


Abbildung 9-125: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





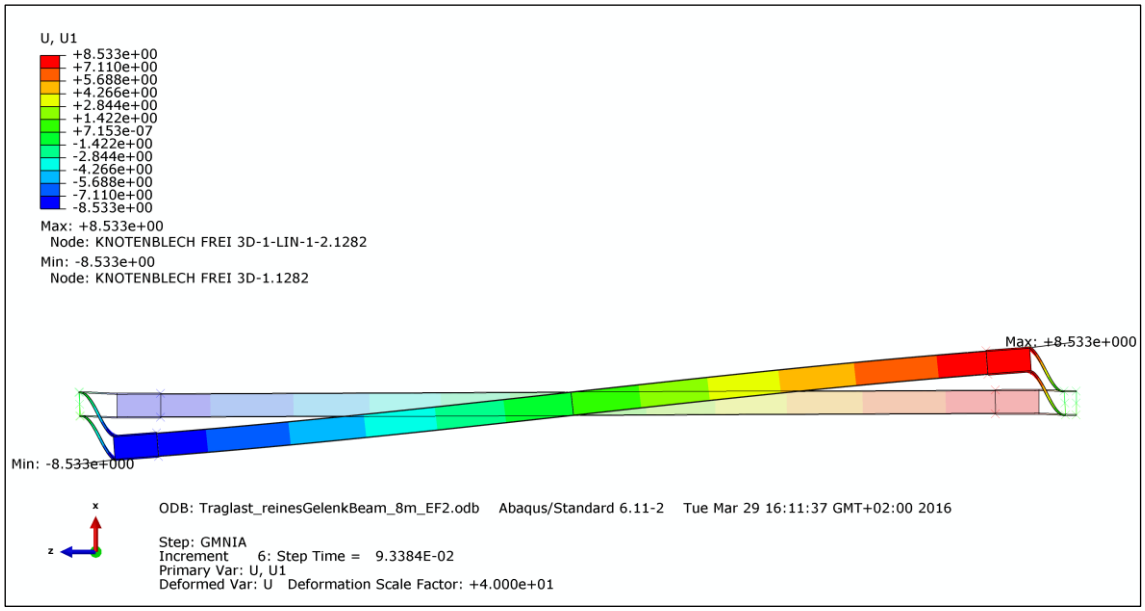
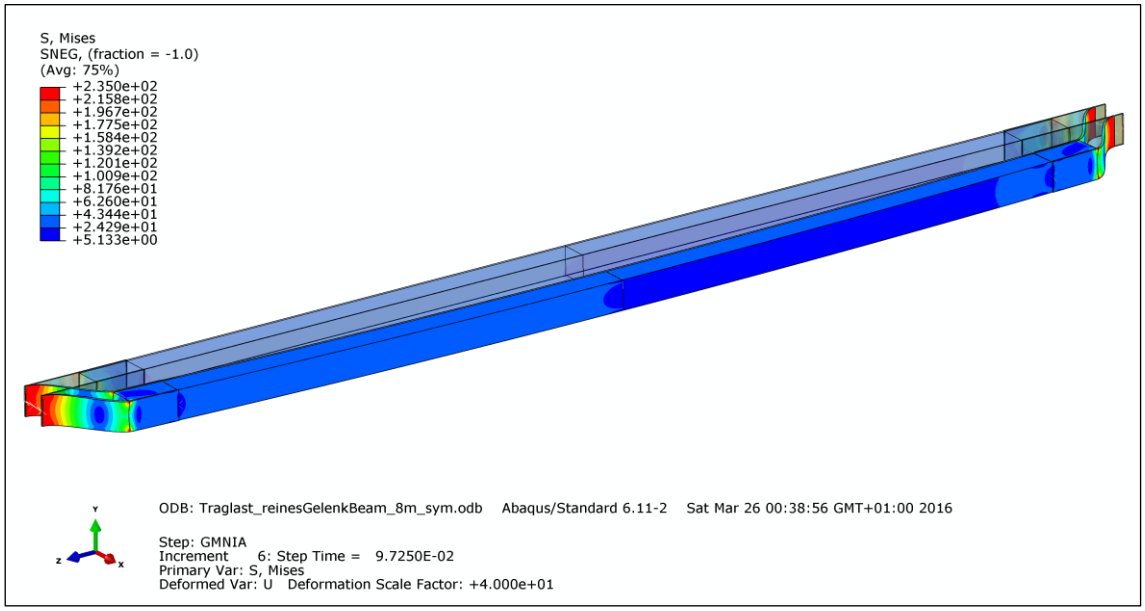
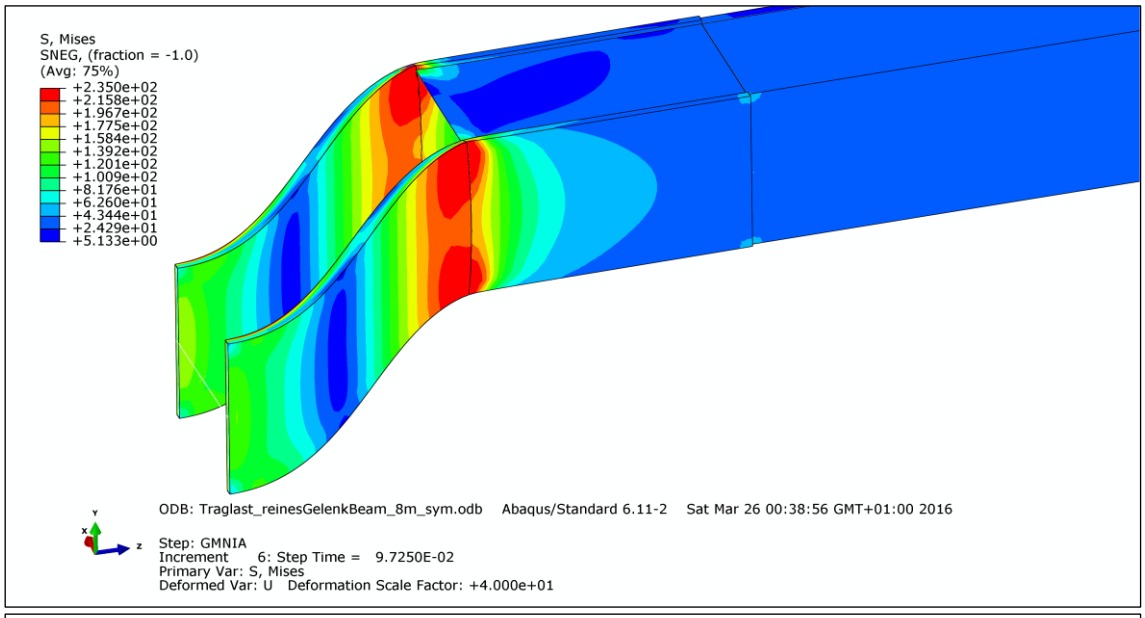


Abbildung 9-126: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





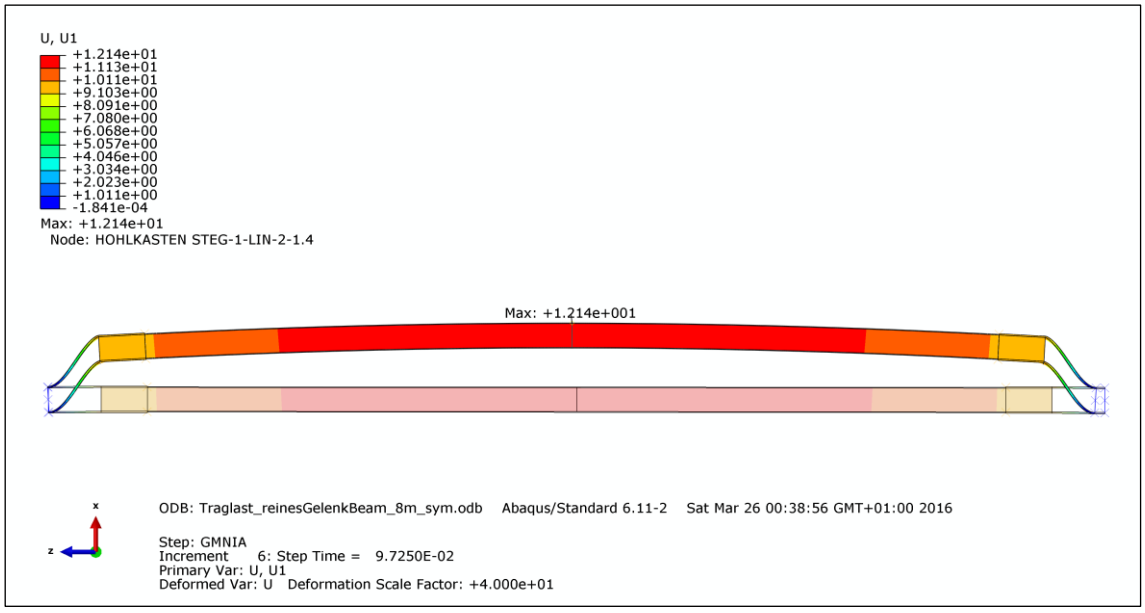
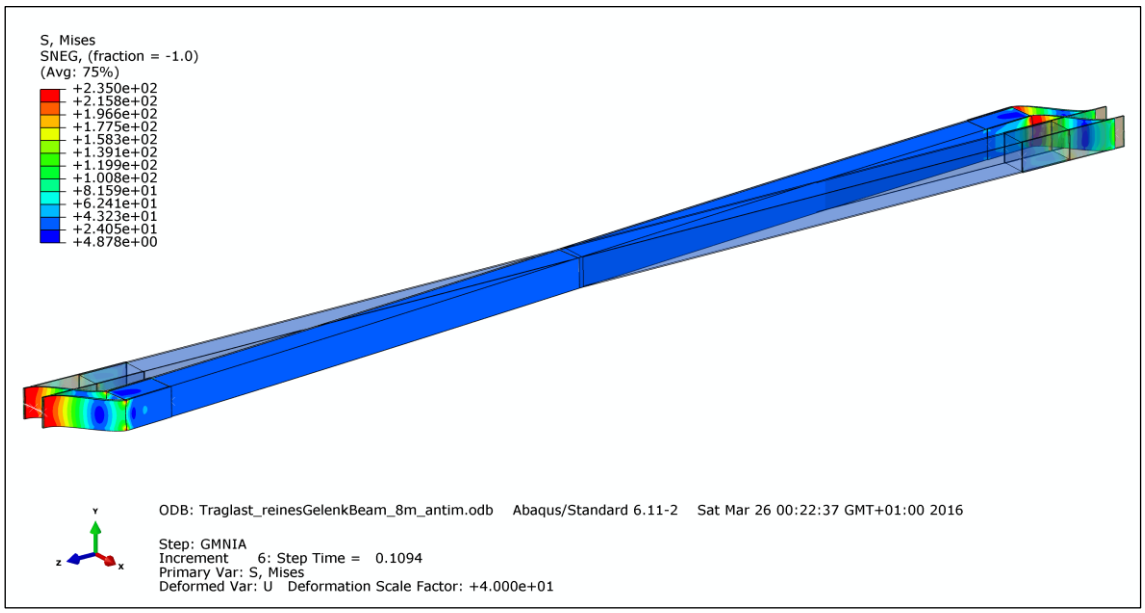
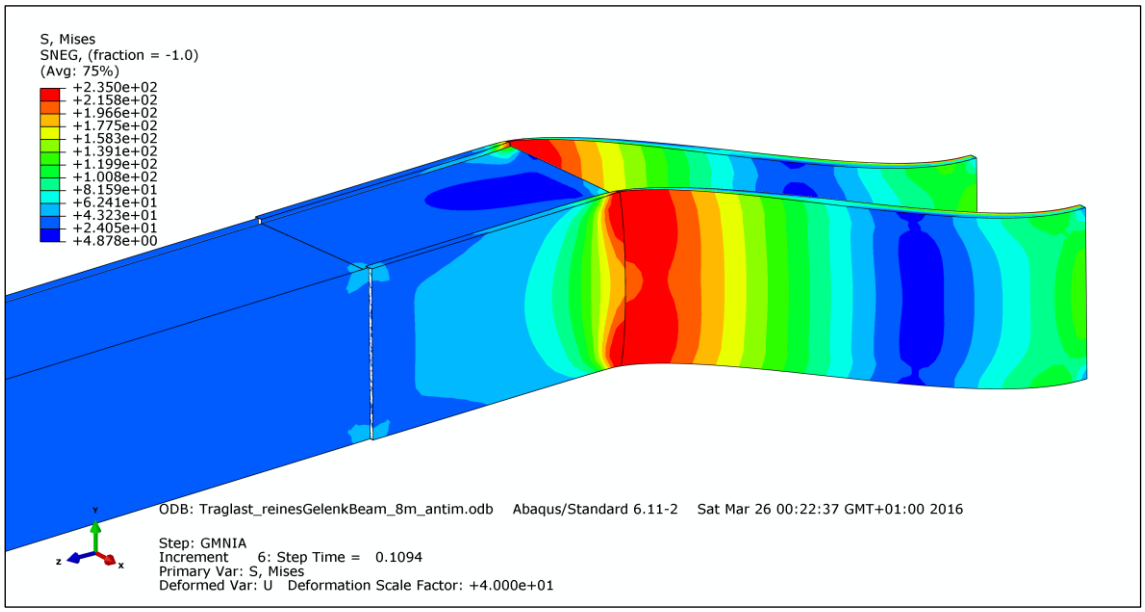


Abbildung 9-127: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





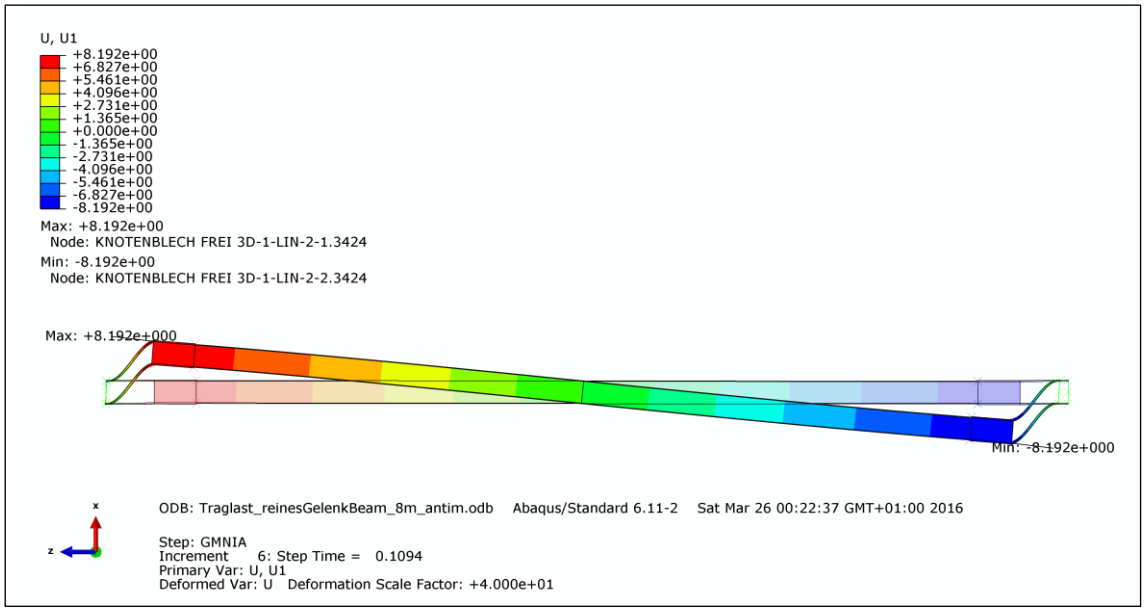
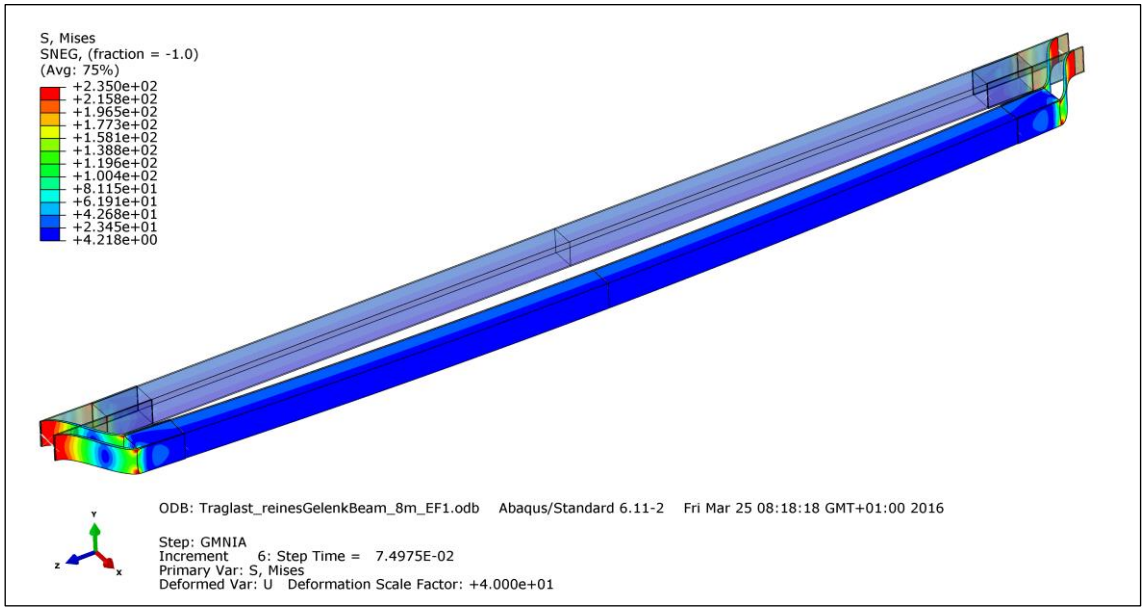
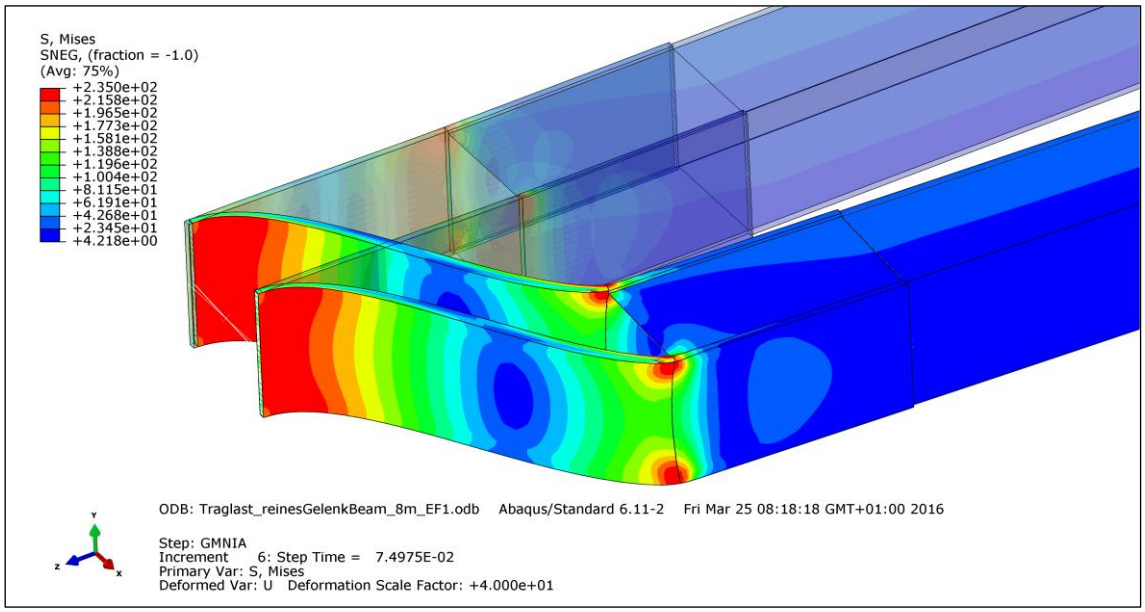


Abbildung 9-128: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





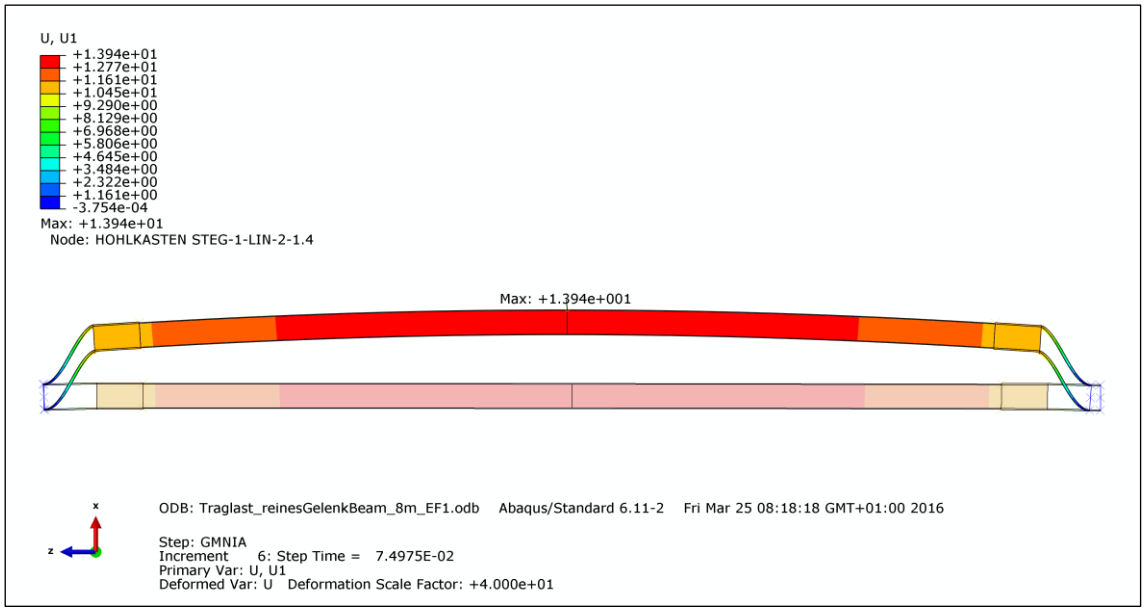
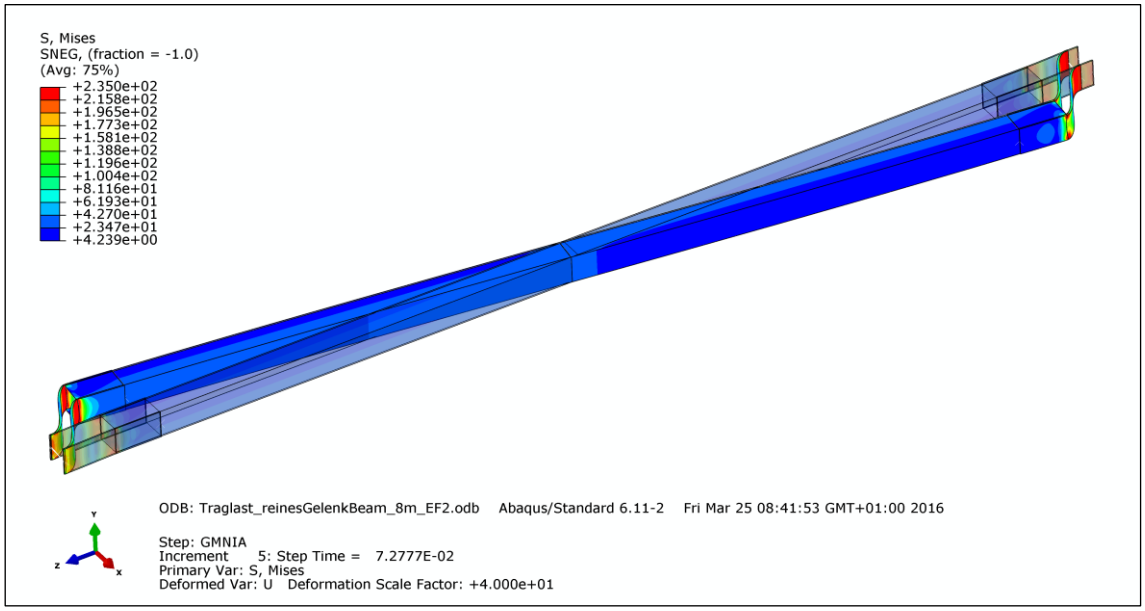
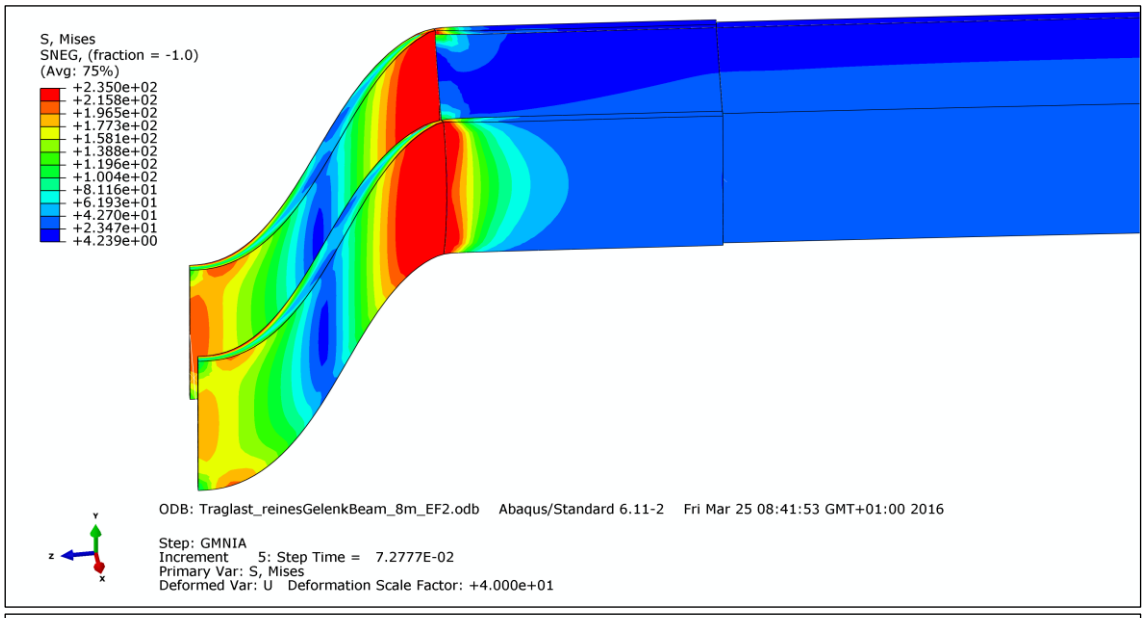


Abbildung 9-129: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





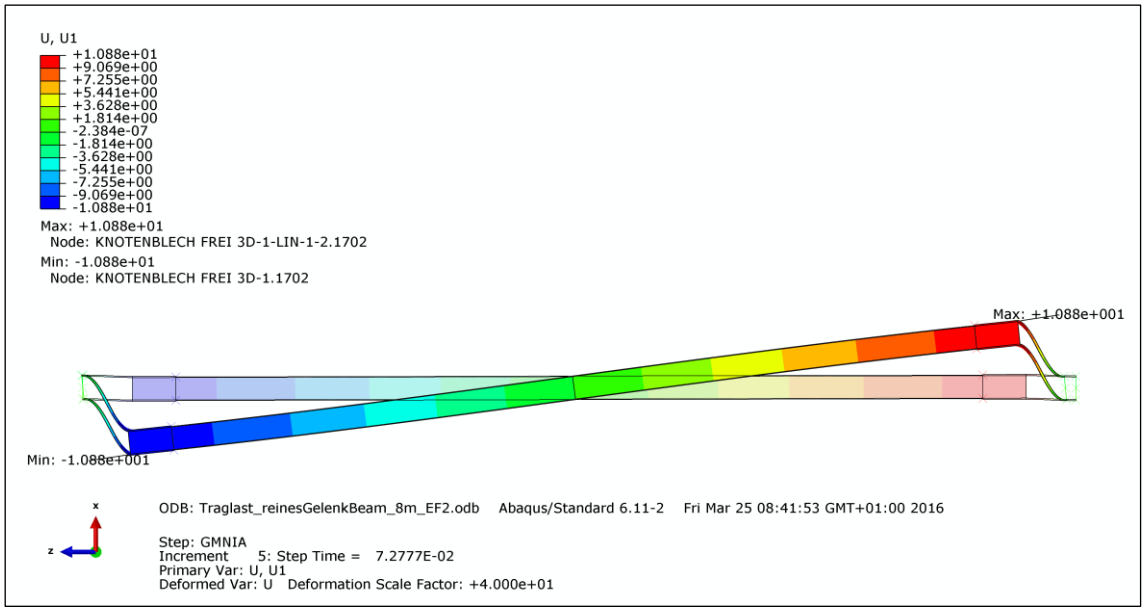


Abbildung 9-130: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm**

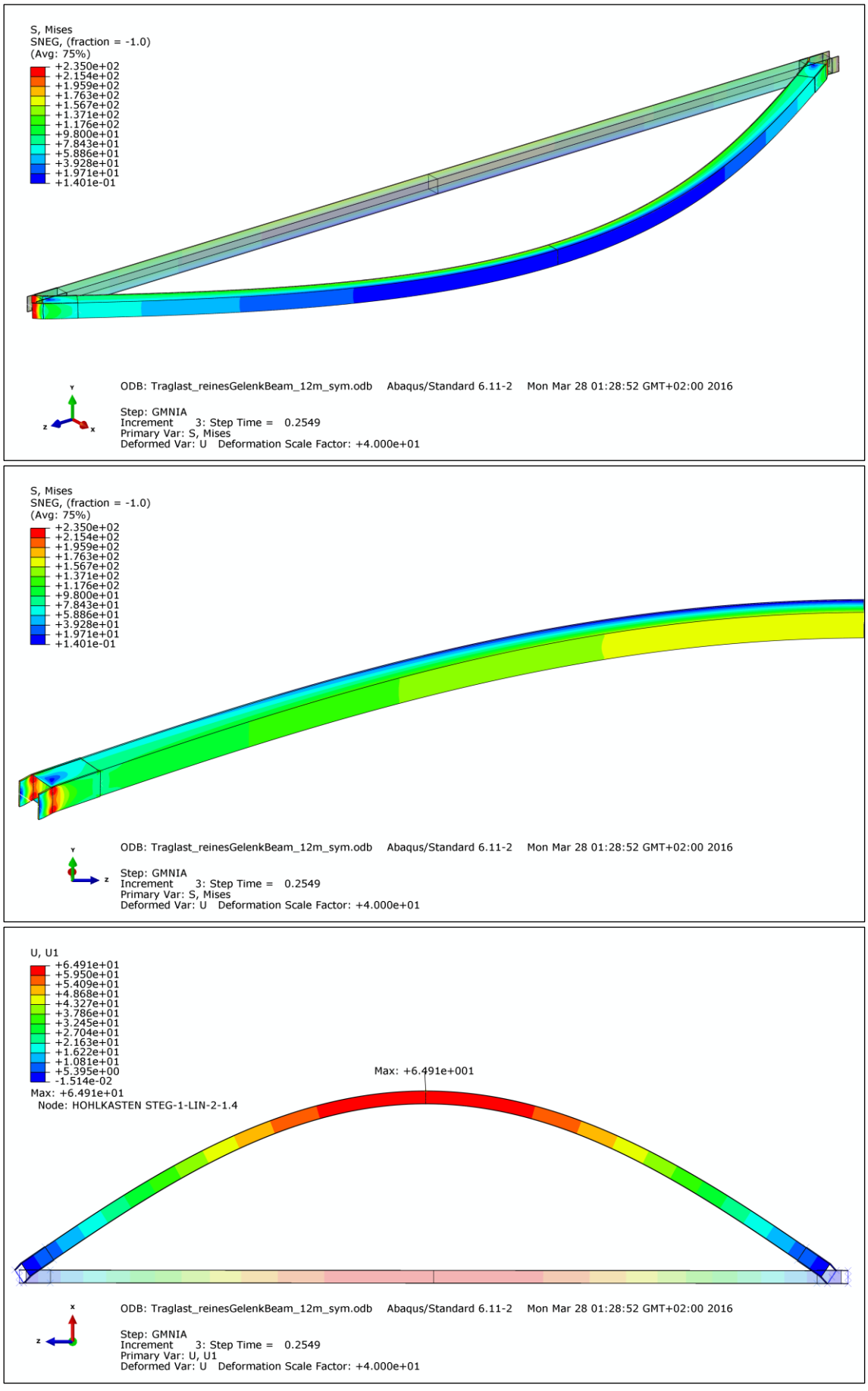
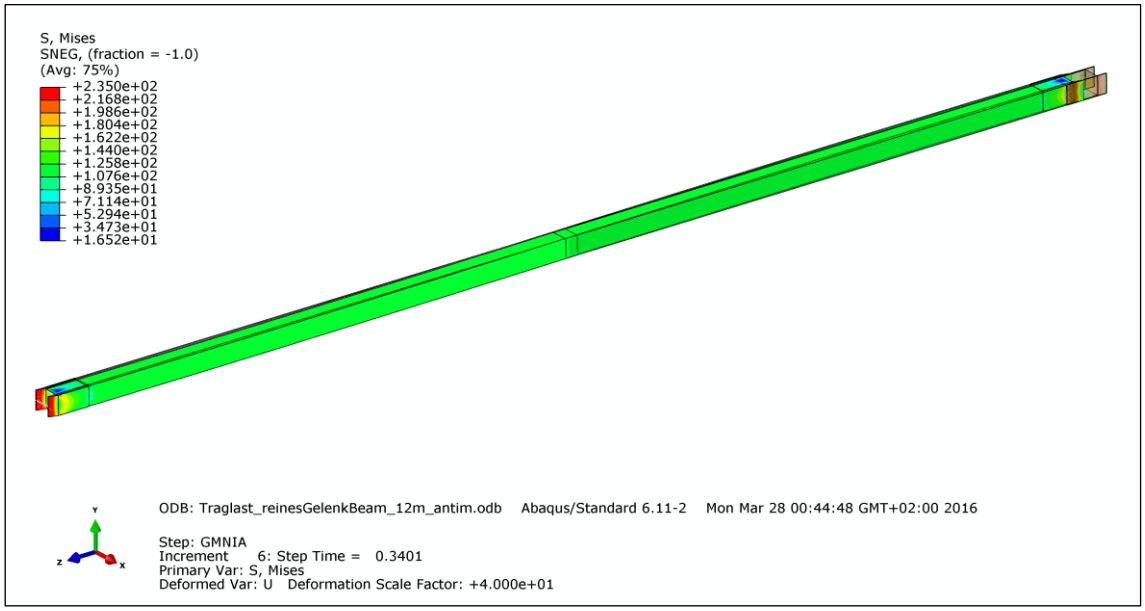
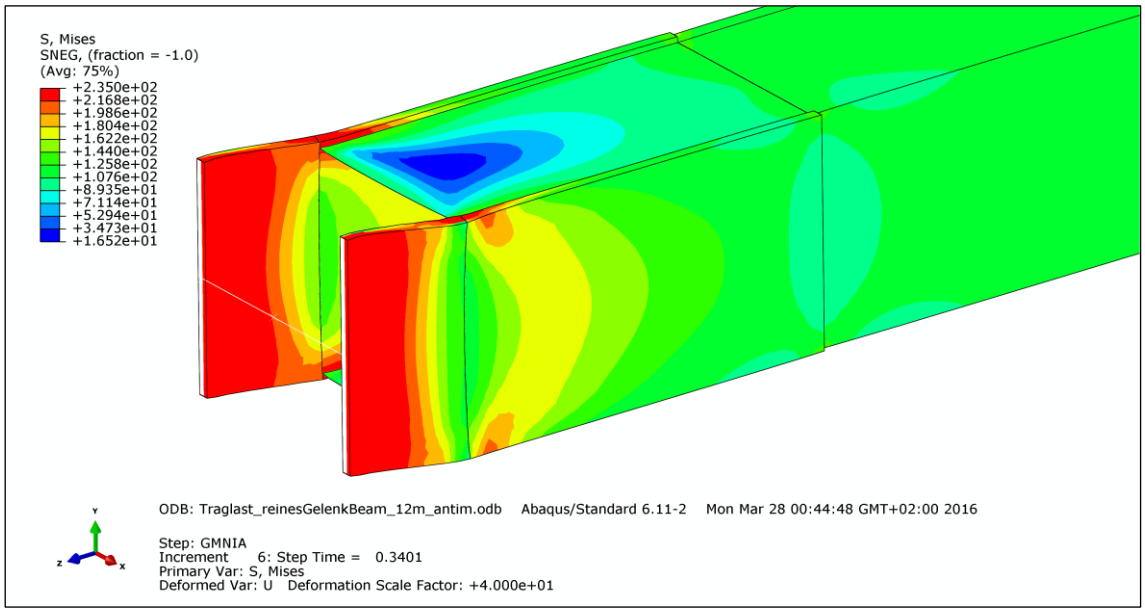


Abbildung 9-131: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





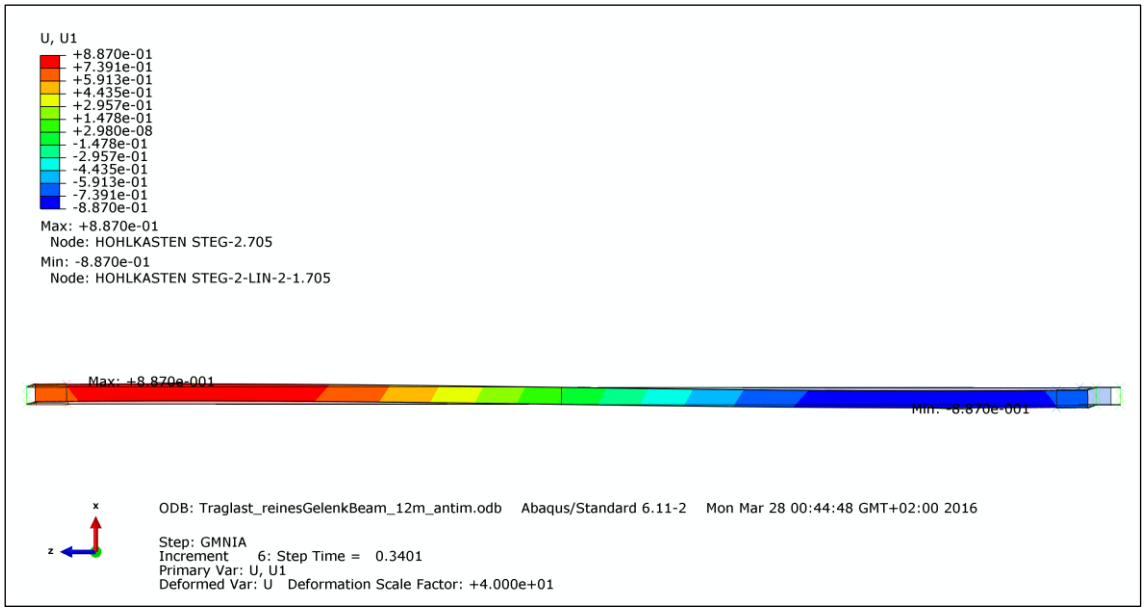


Abbildung 9-132: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)

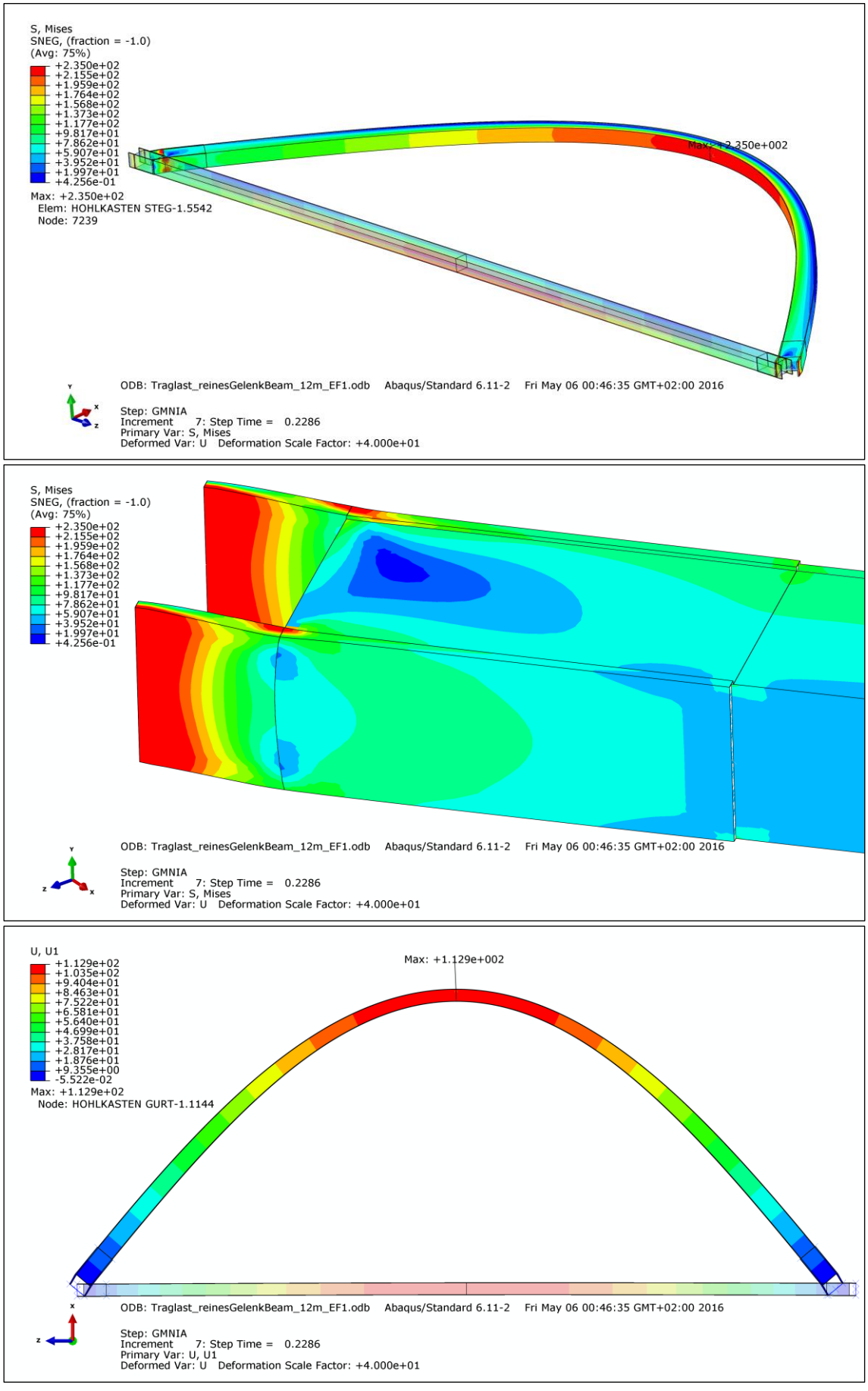
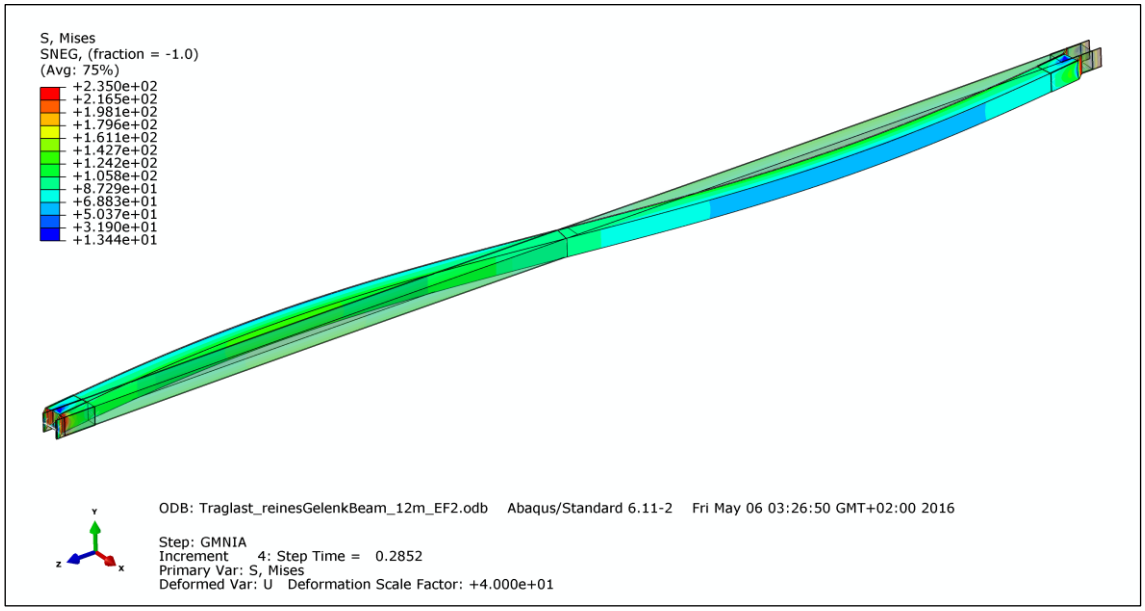
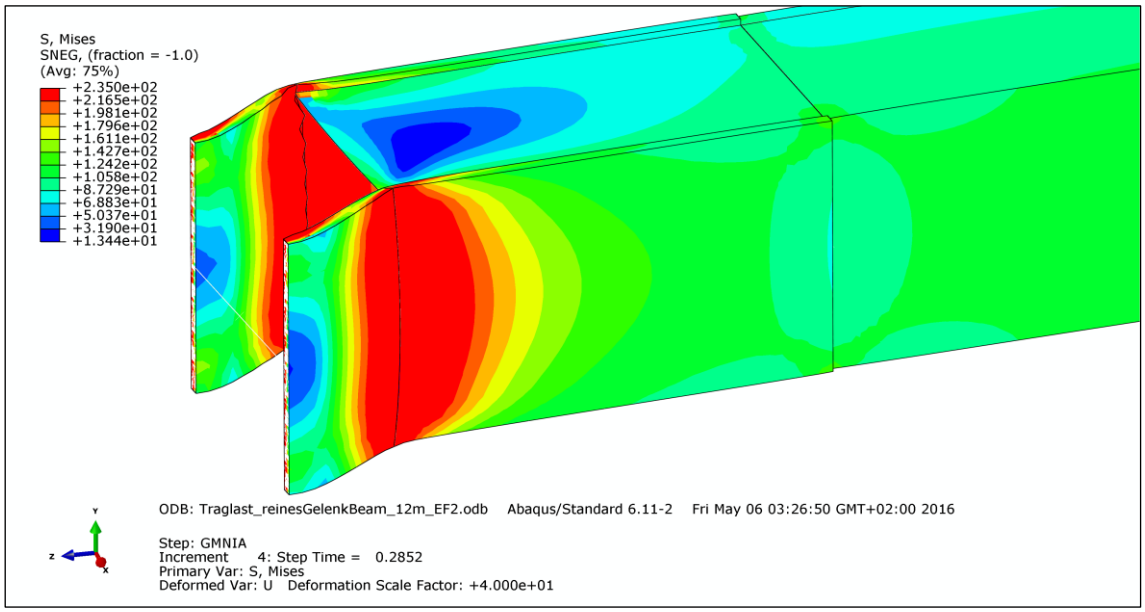


Abbildung 9-133: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





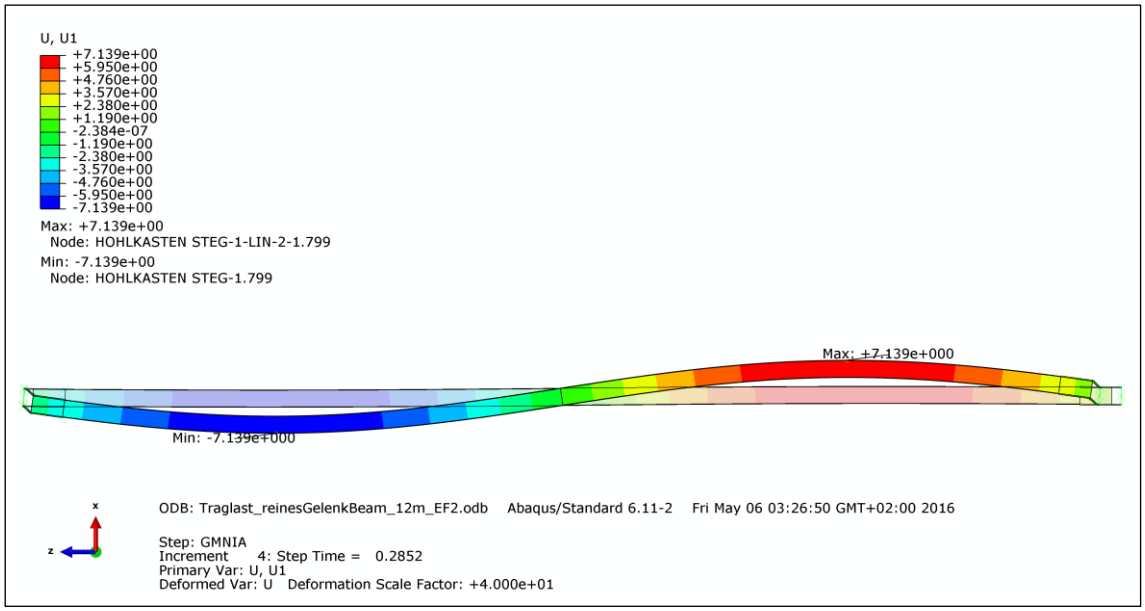
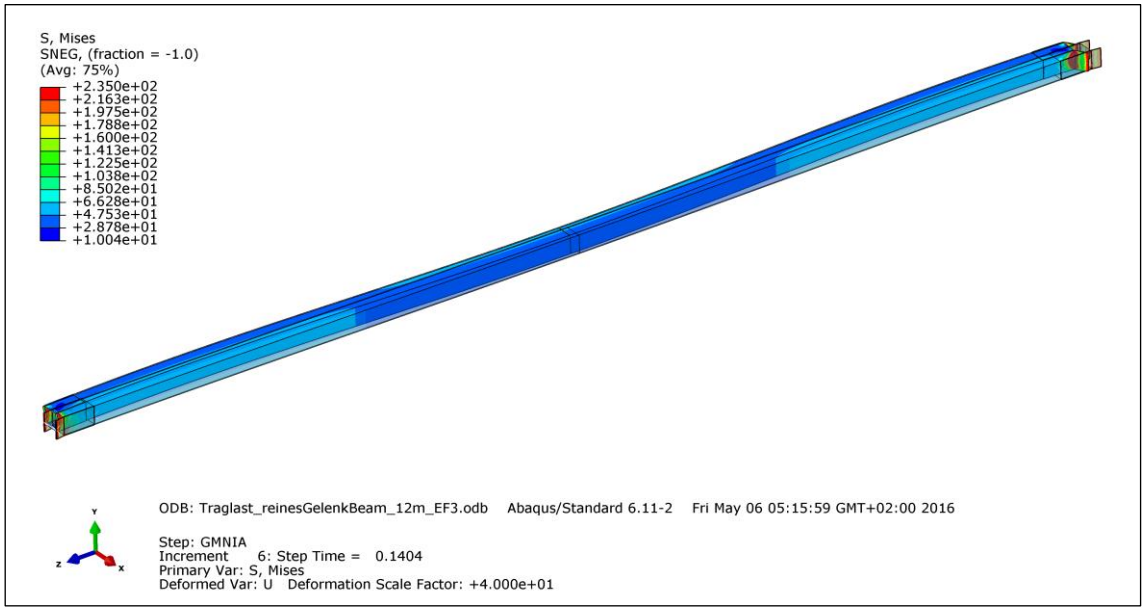
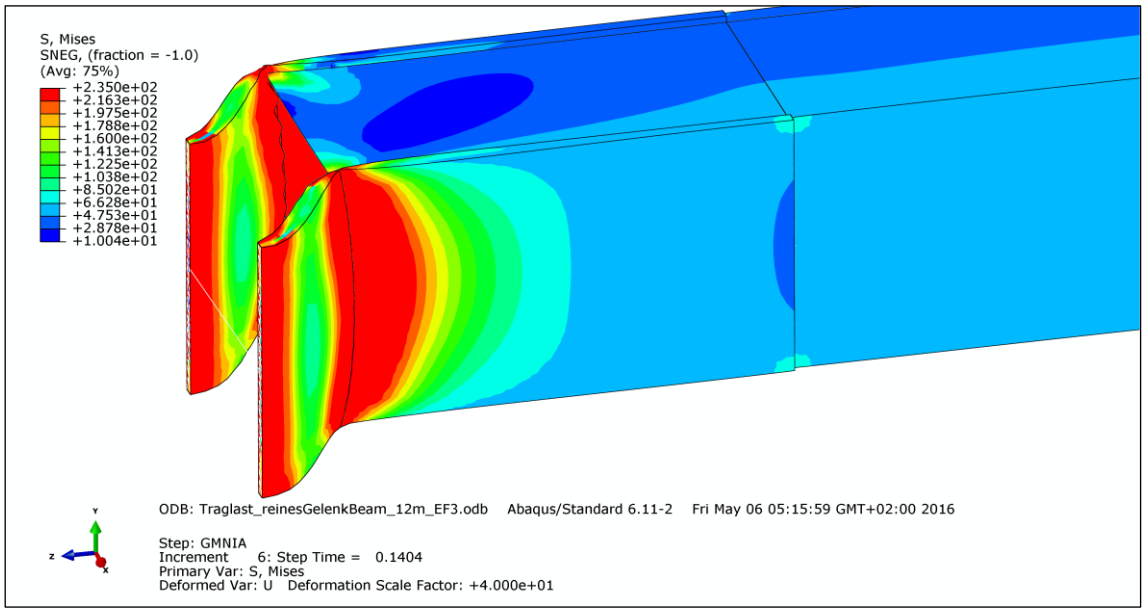


Abbildung 9-134: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





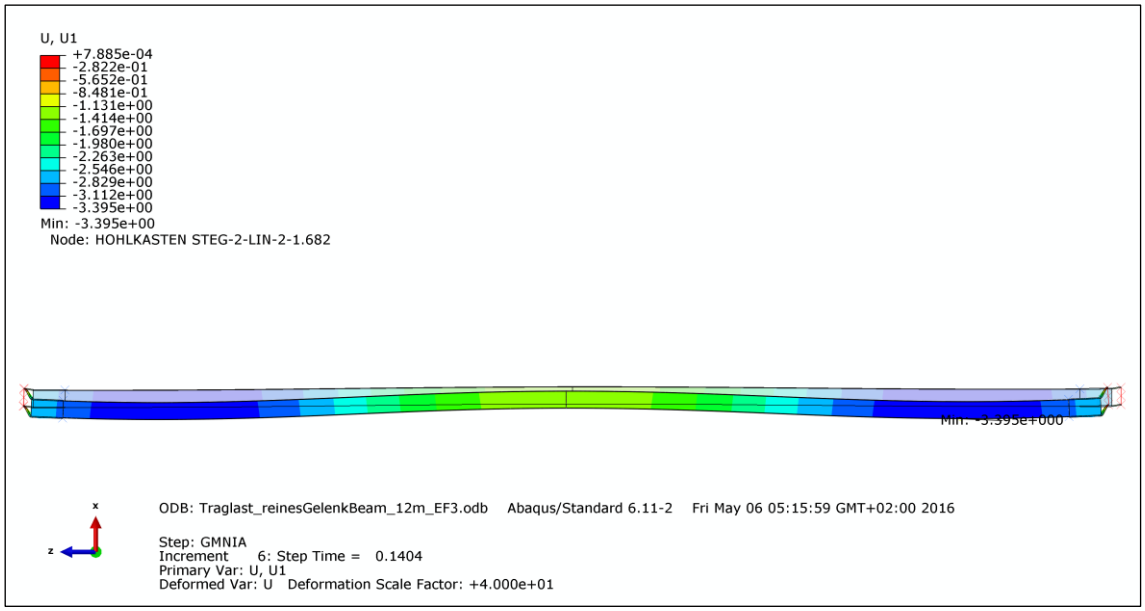
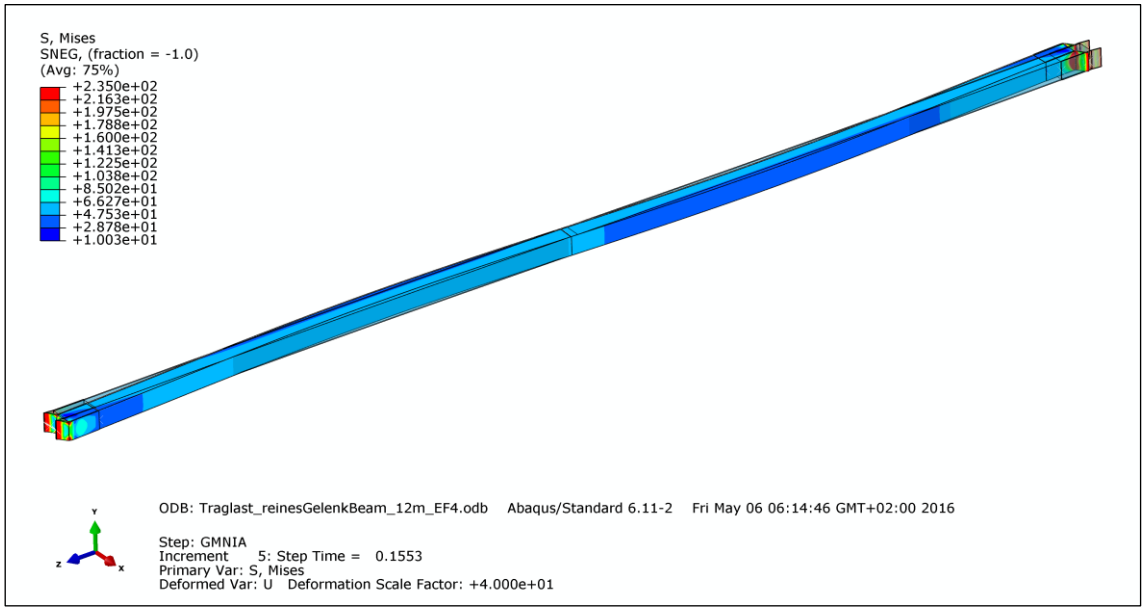
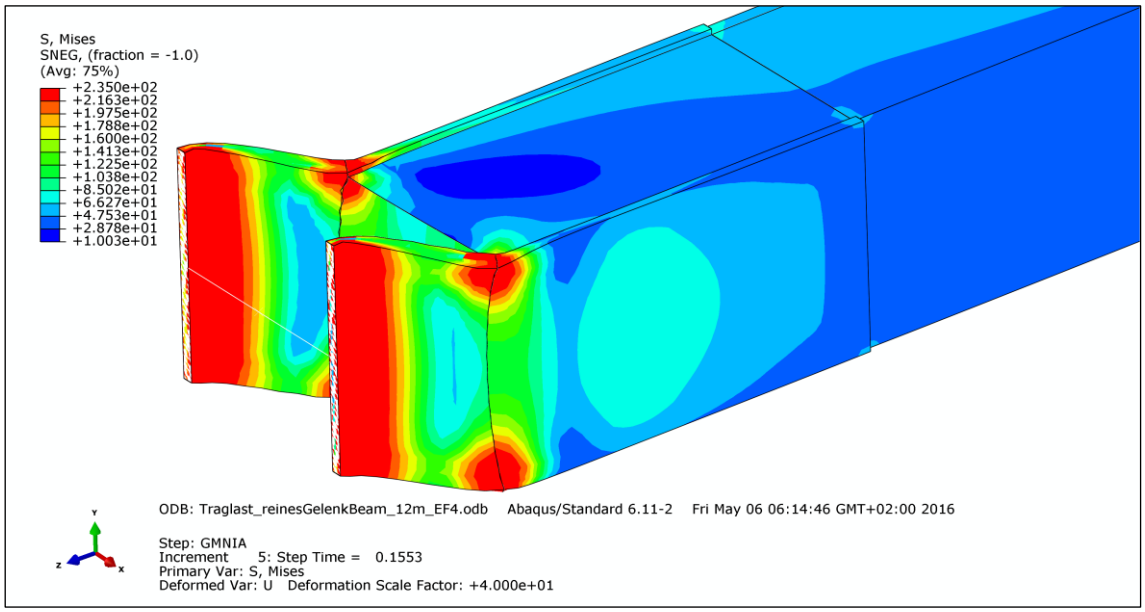


Abbildung 9-135: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





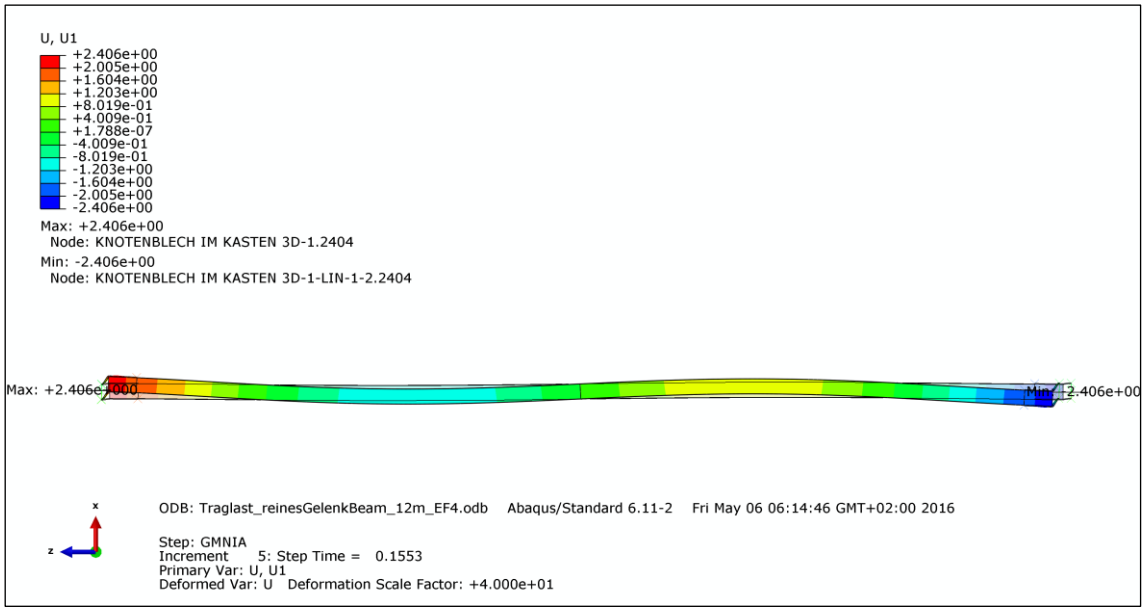
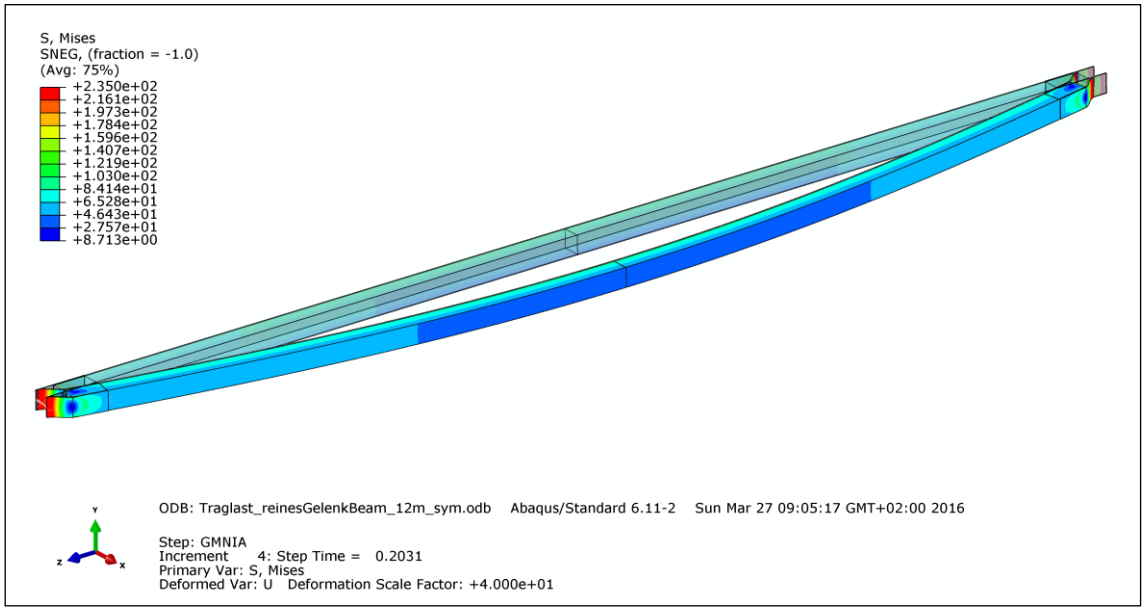
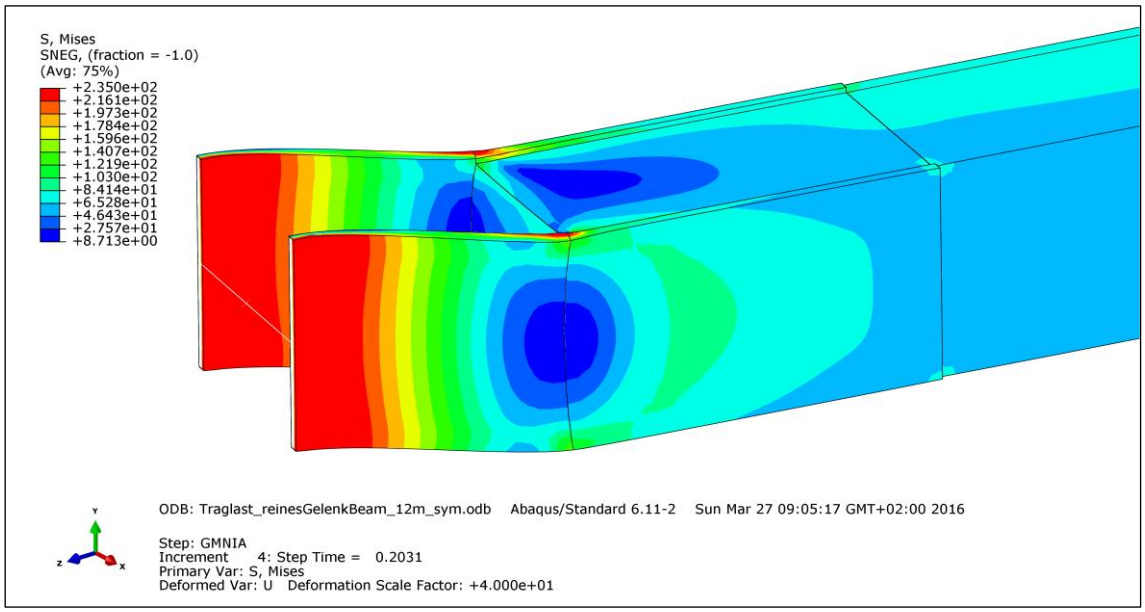


Abbildung 9-136: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4





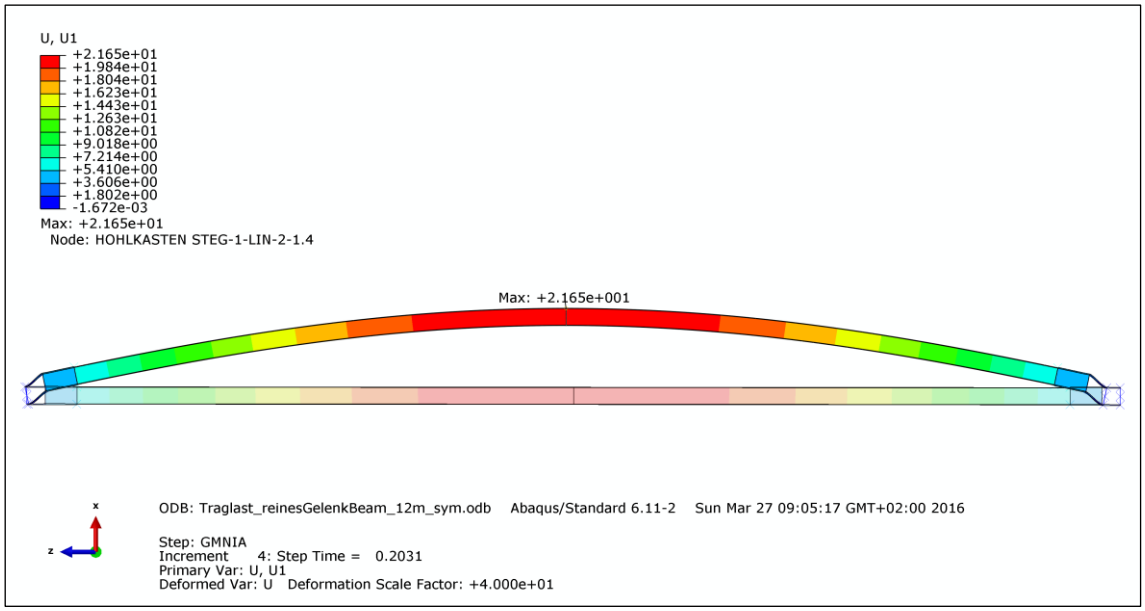
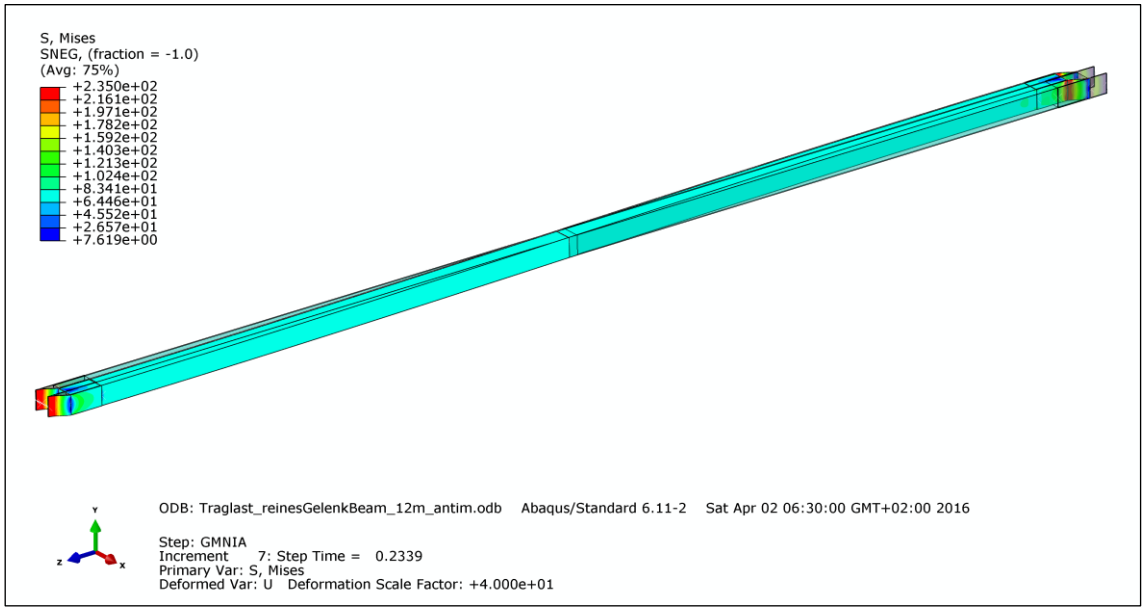
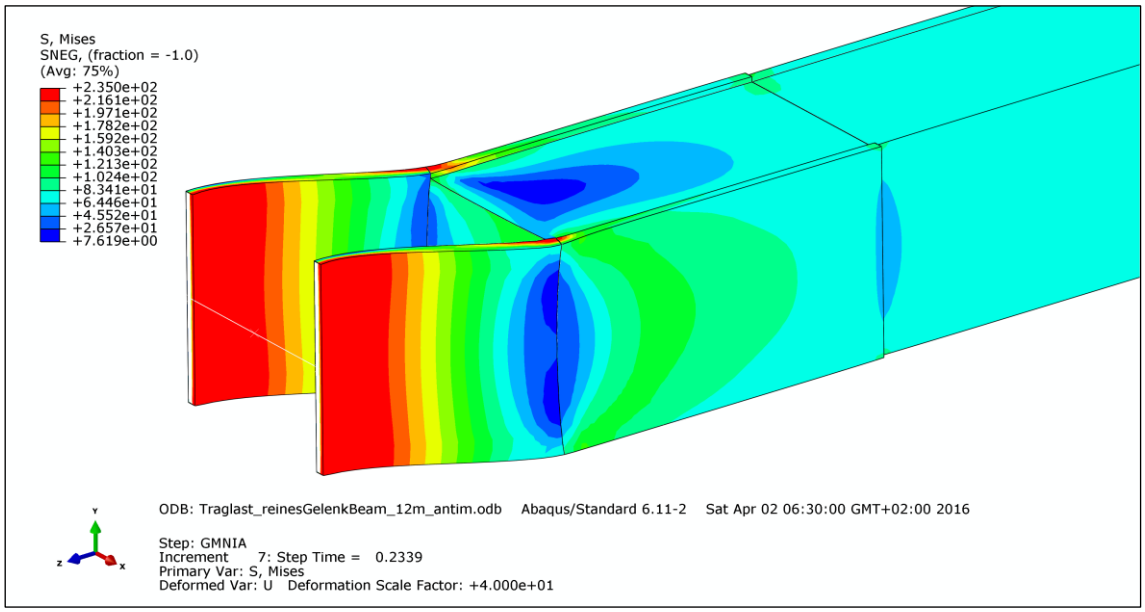


Abbildung 9-137: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





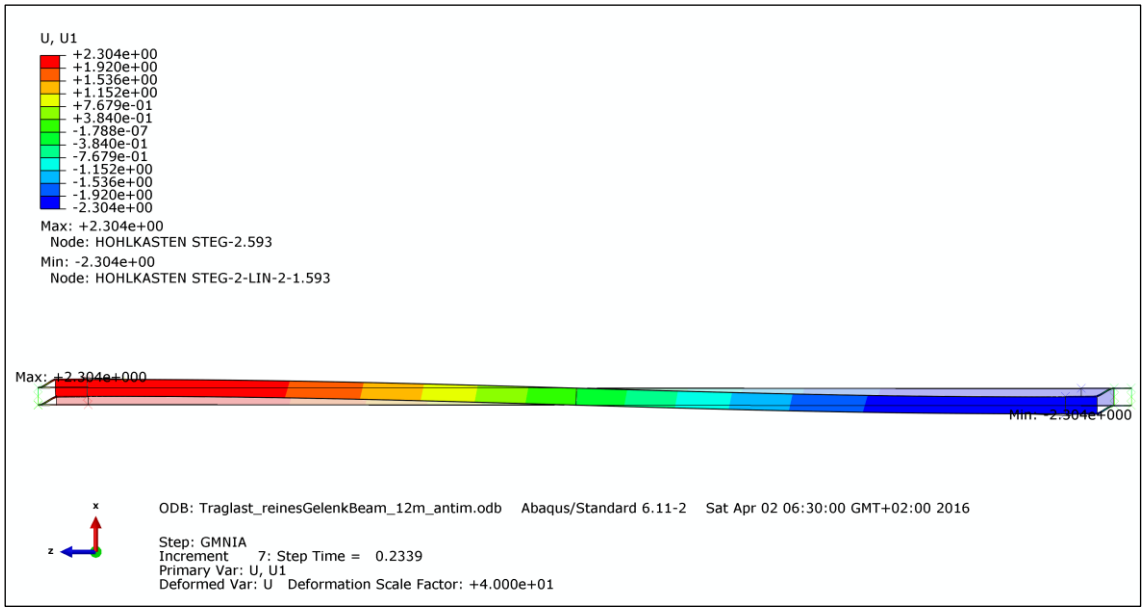


Abbildung 9-138: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)

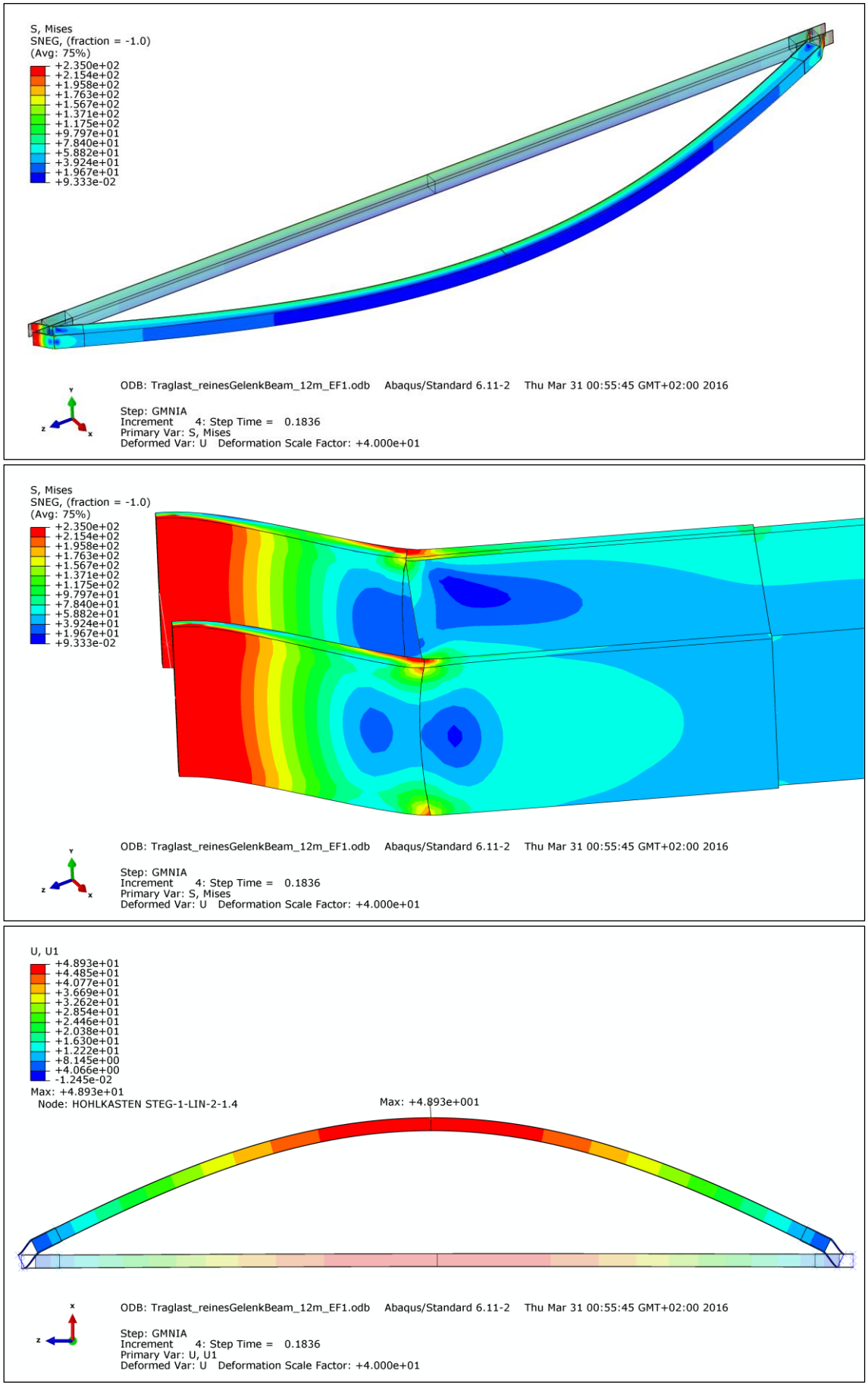
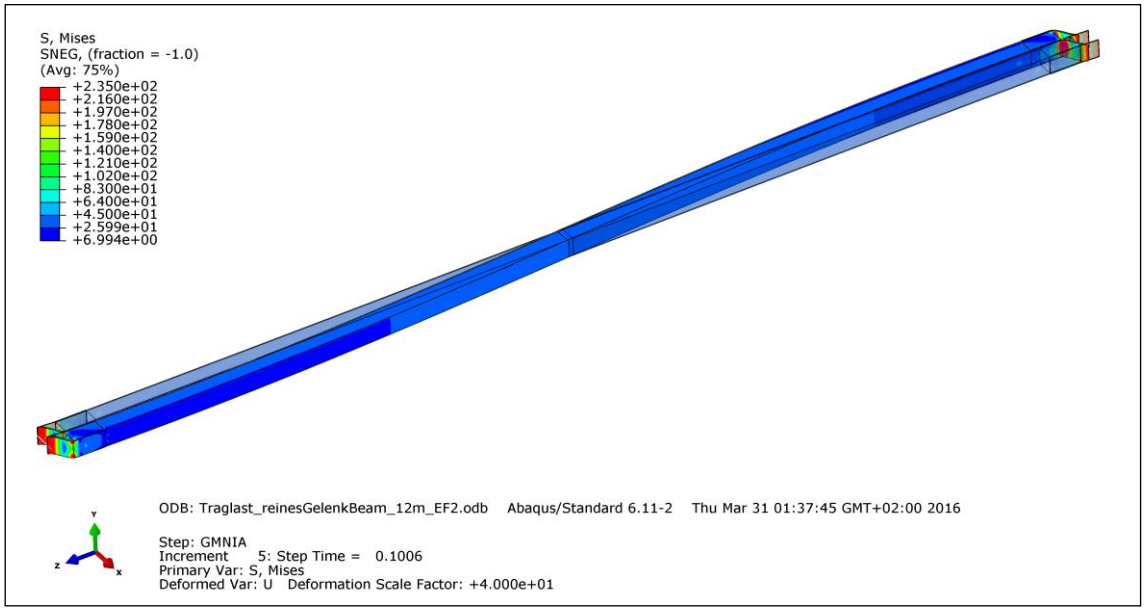
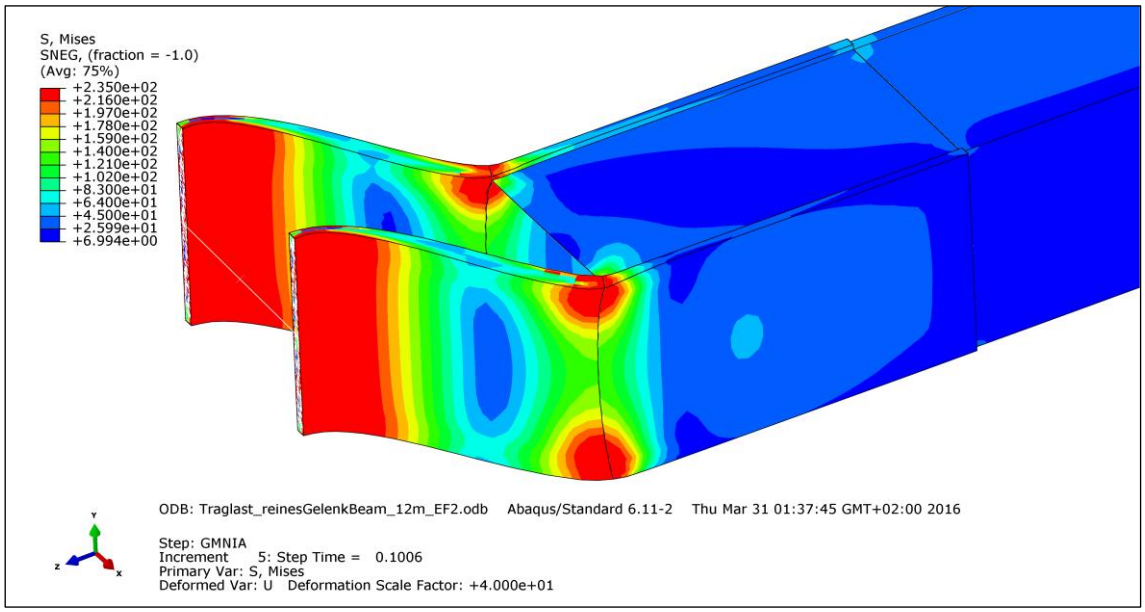


Abbildung 9-139: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





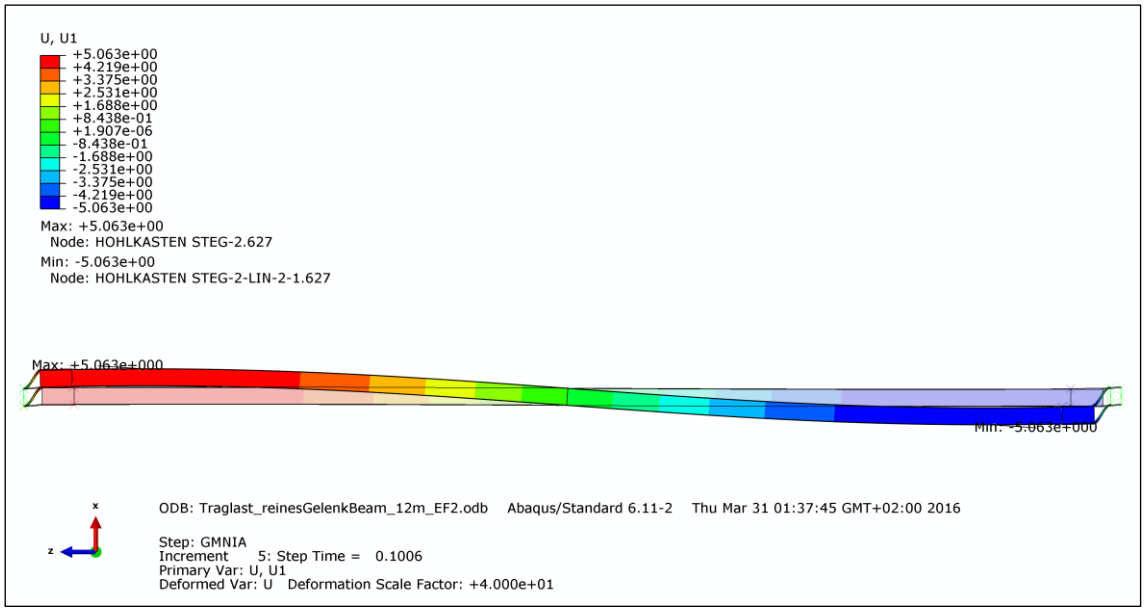
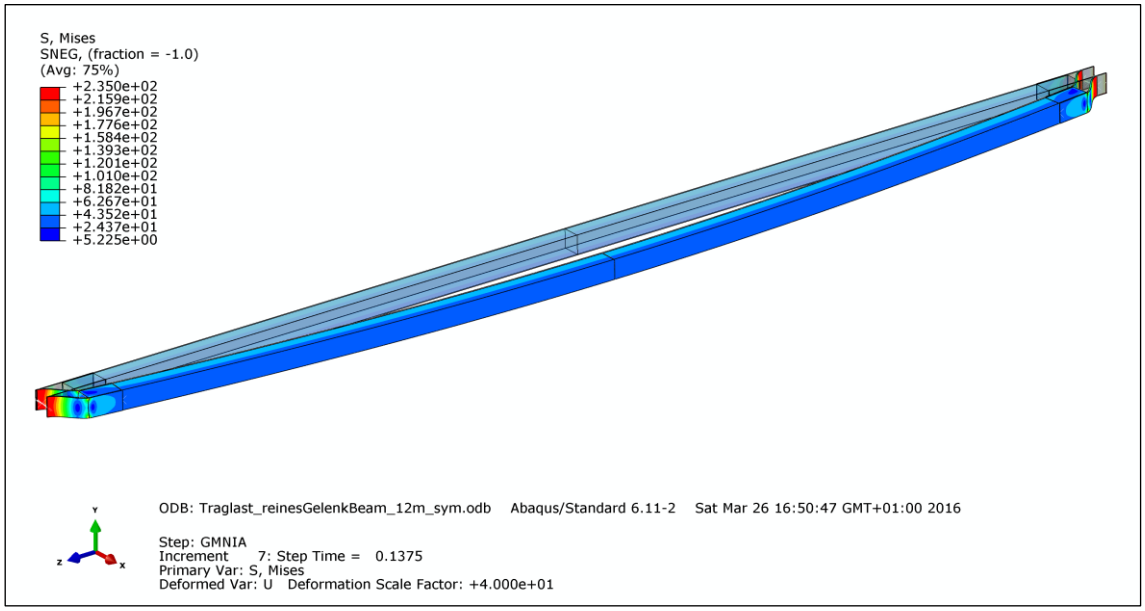
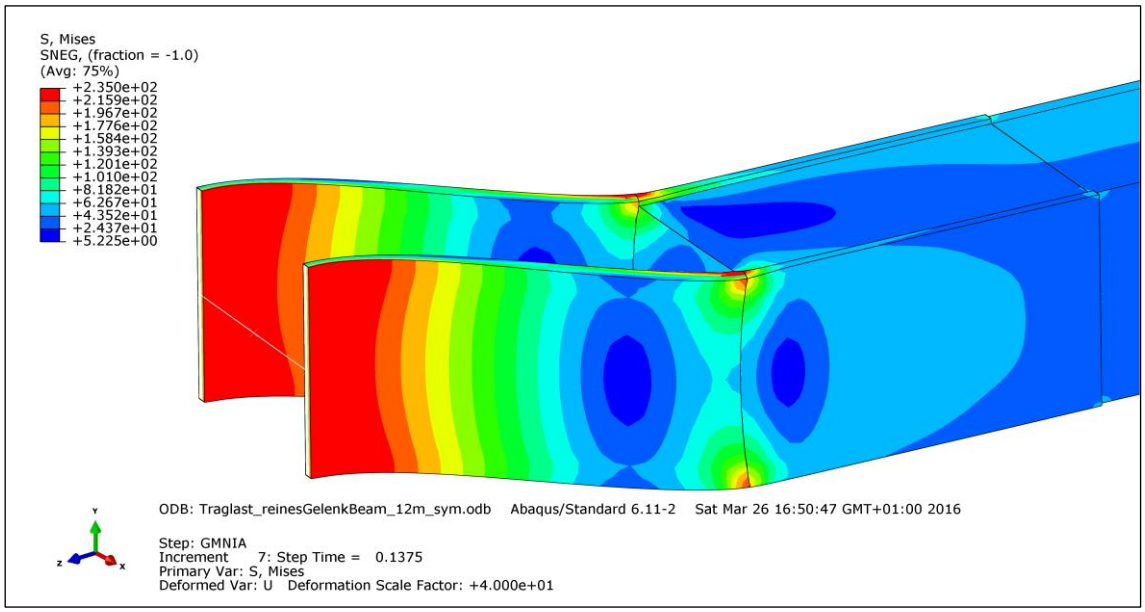


Abbildung 9-140: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





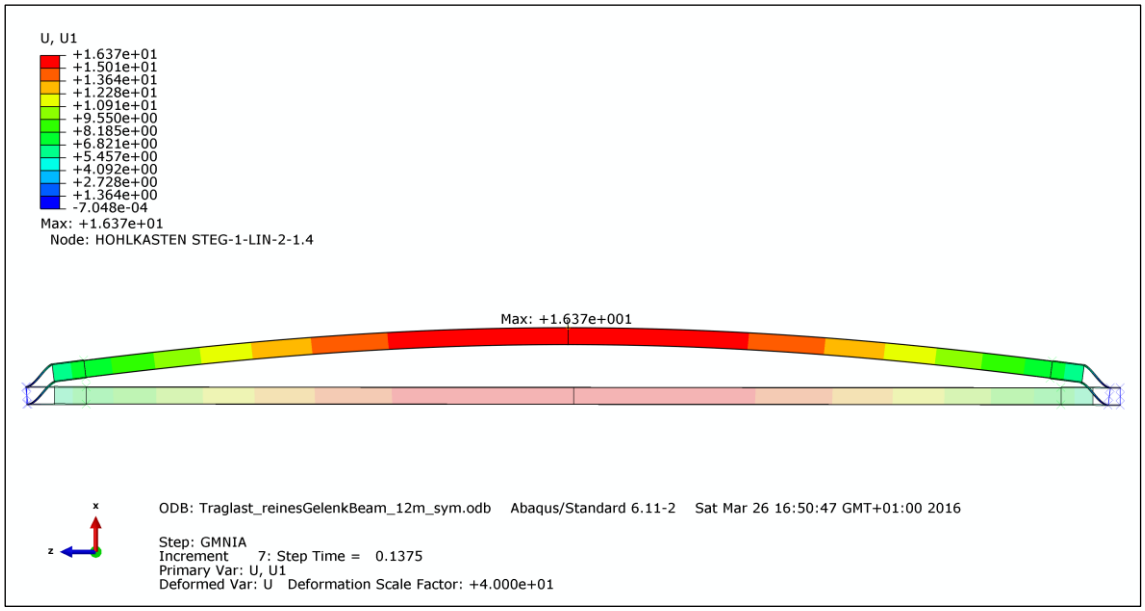
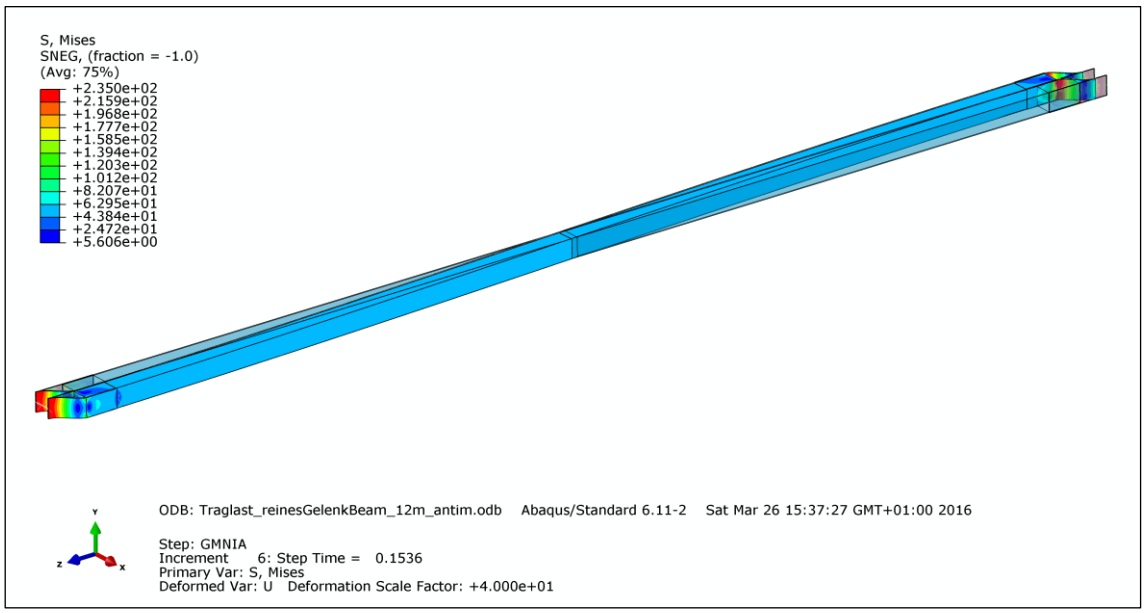
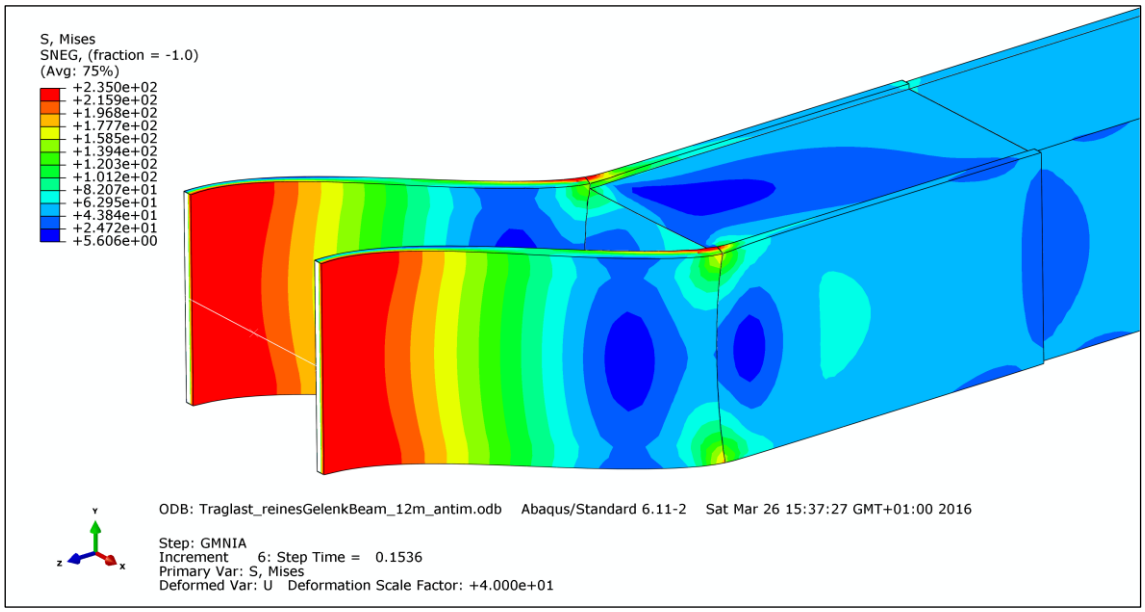


Abbildung 9-141: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





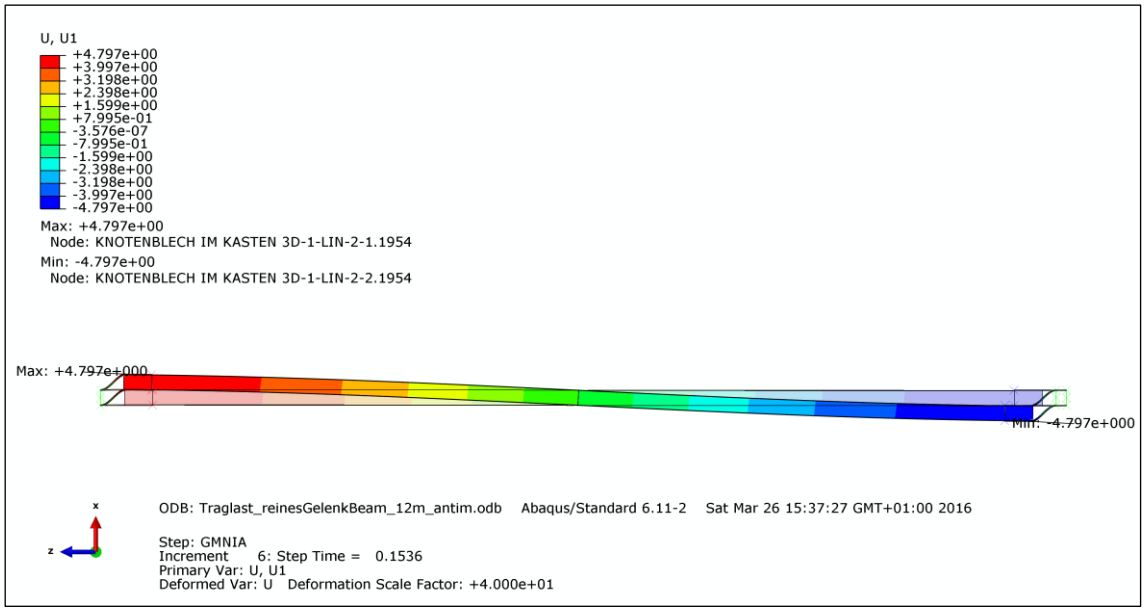
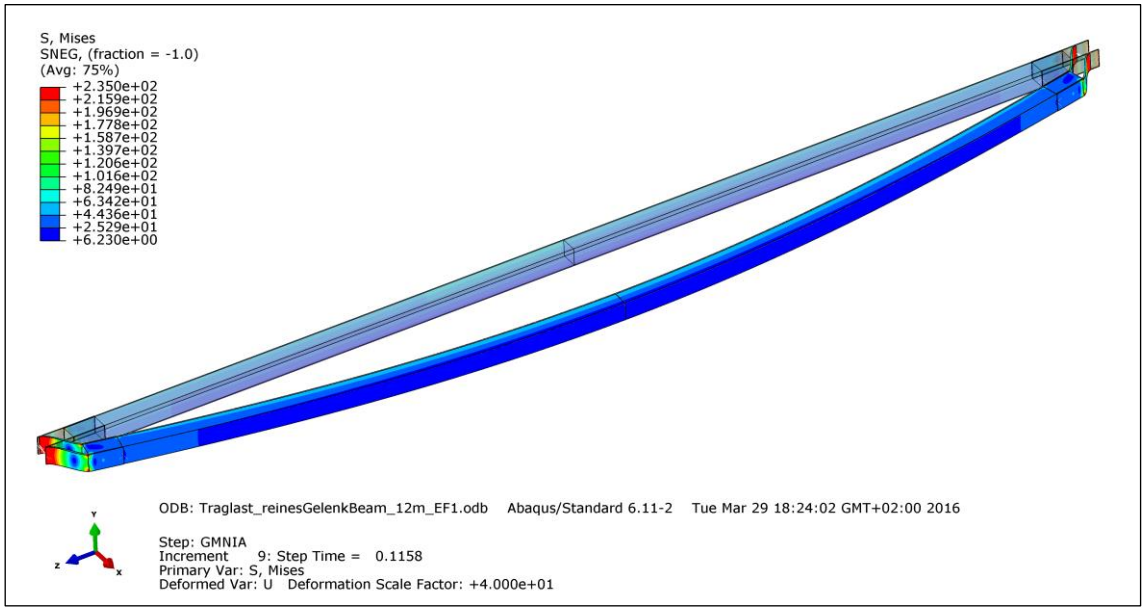
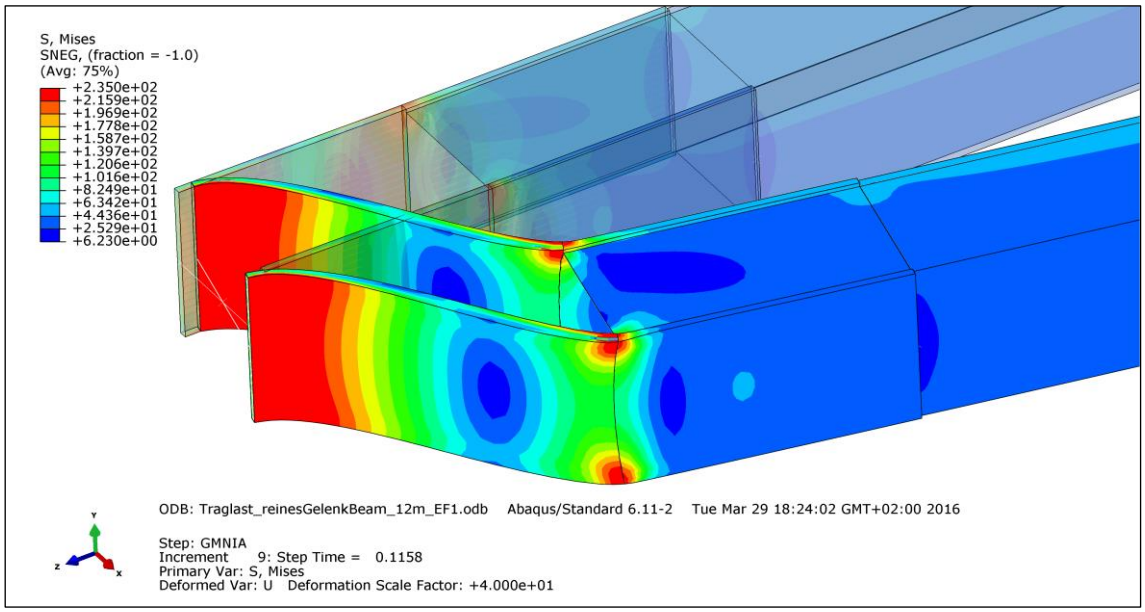


Abbildung 9-142: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





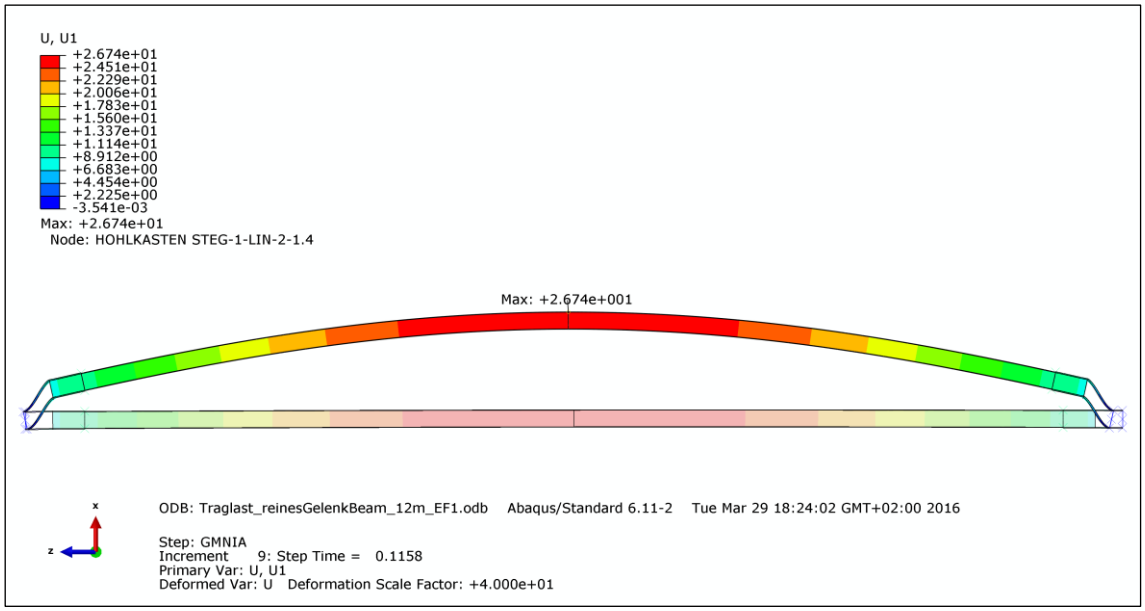
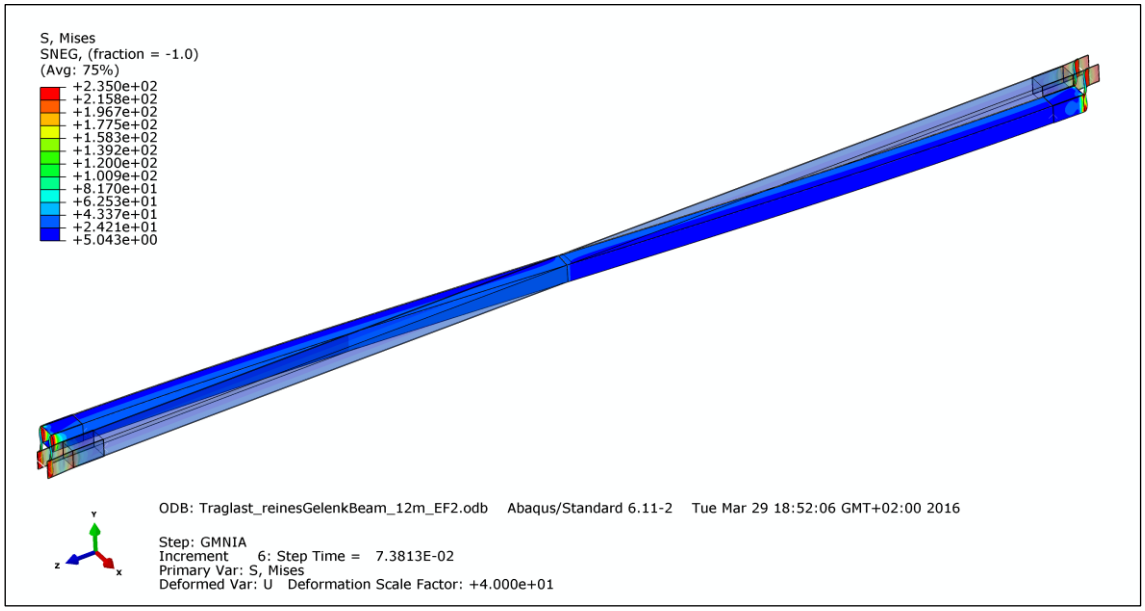
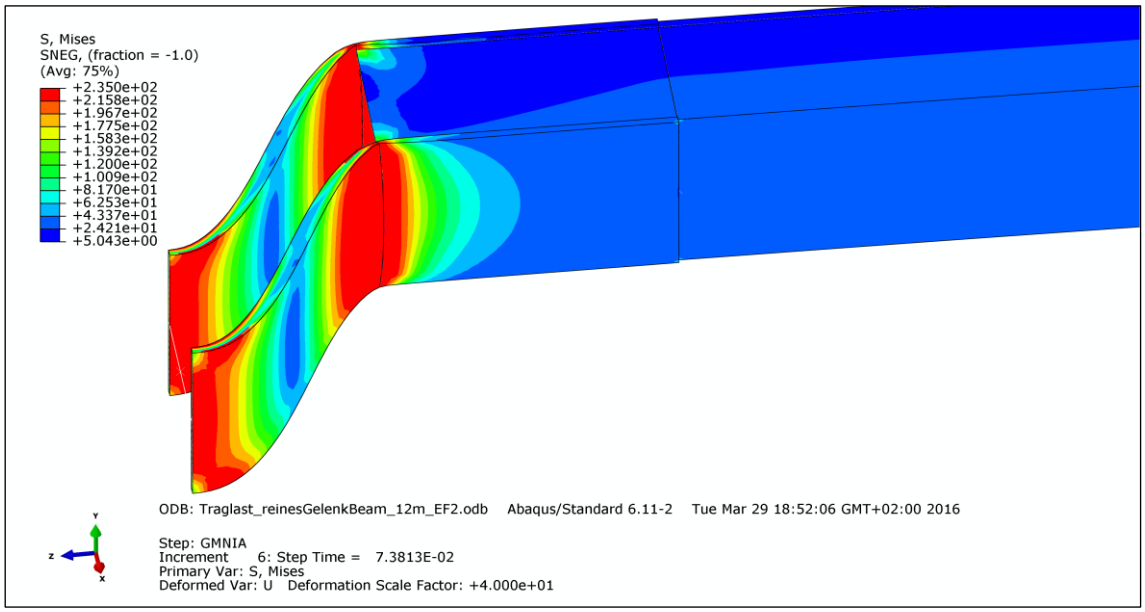


Abbildung 9-143: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





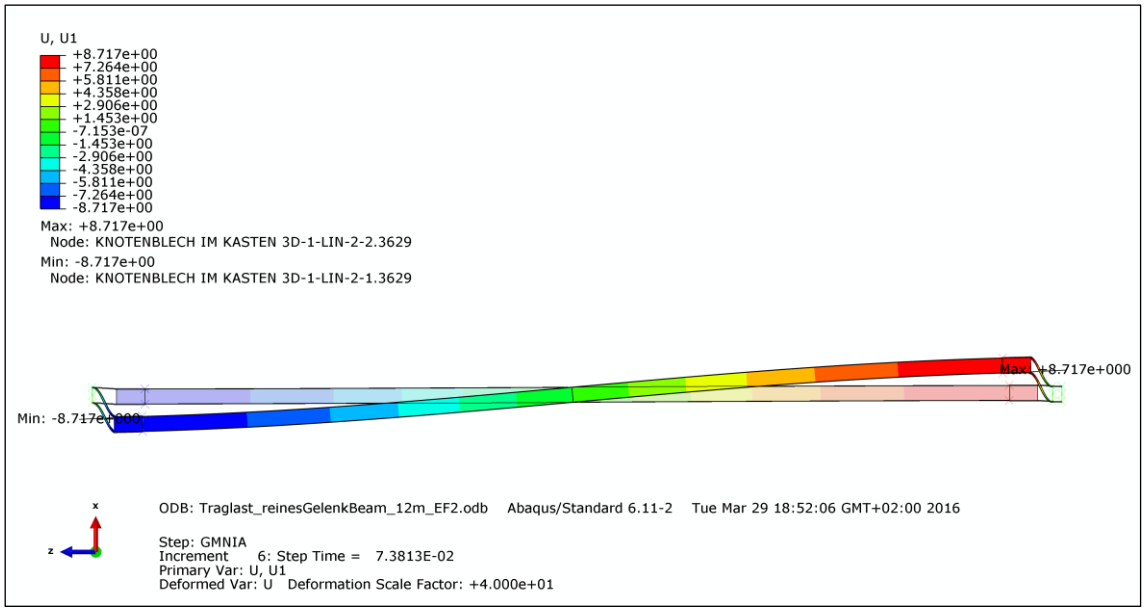
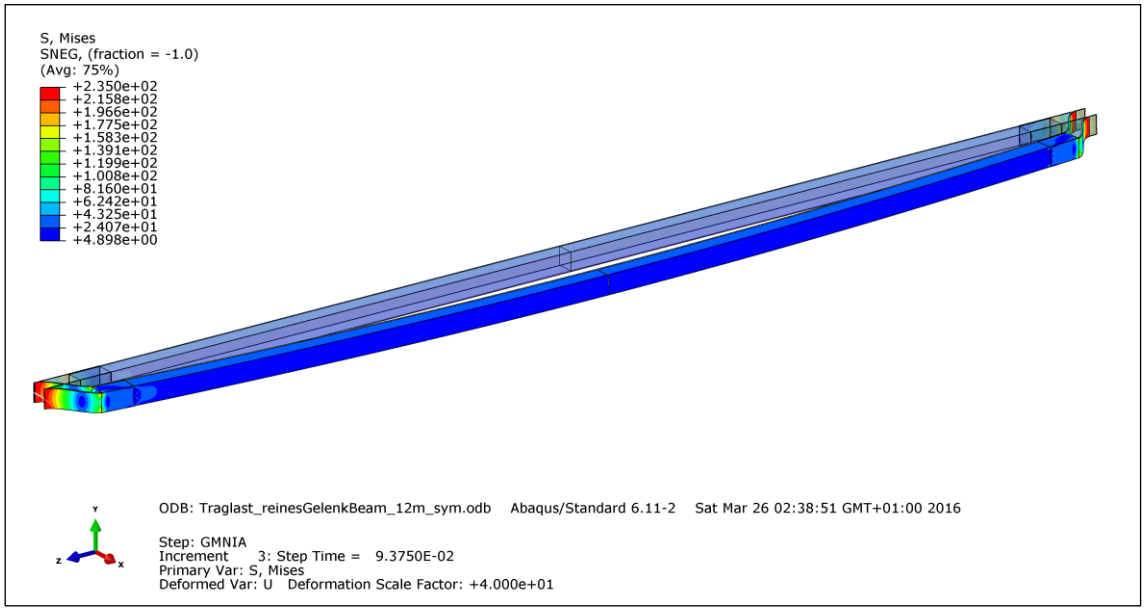
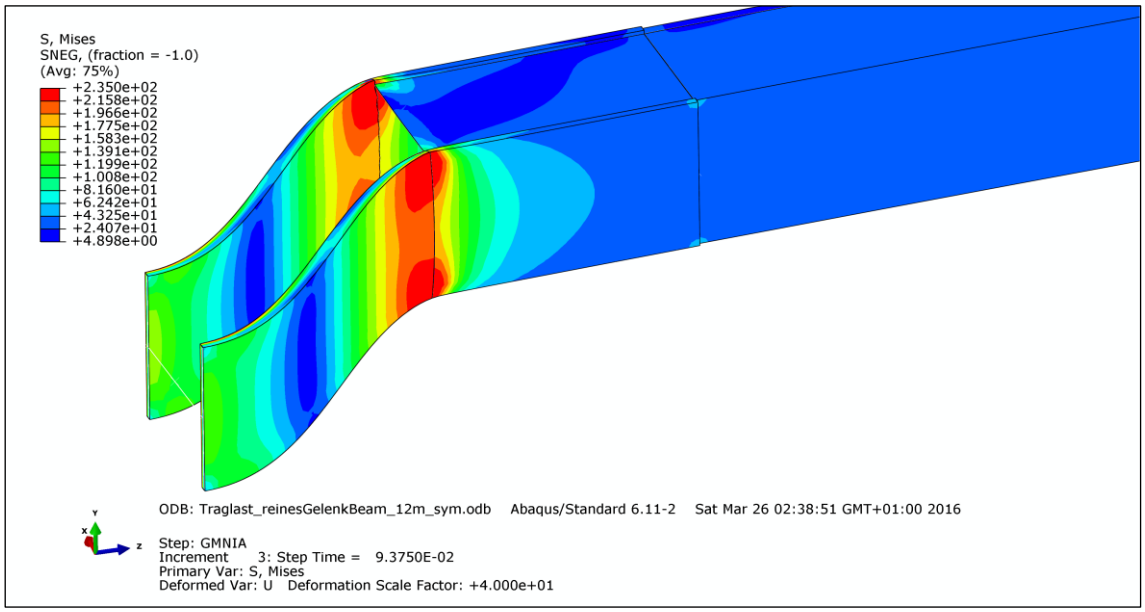


Abbildung 9-144: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





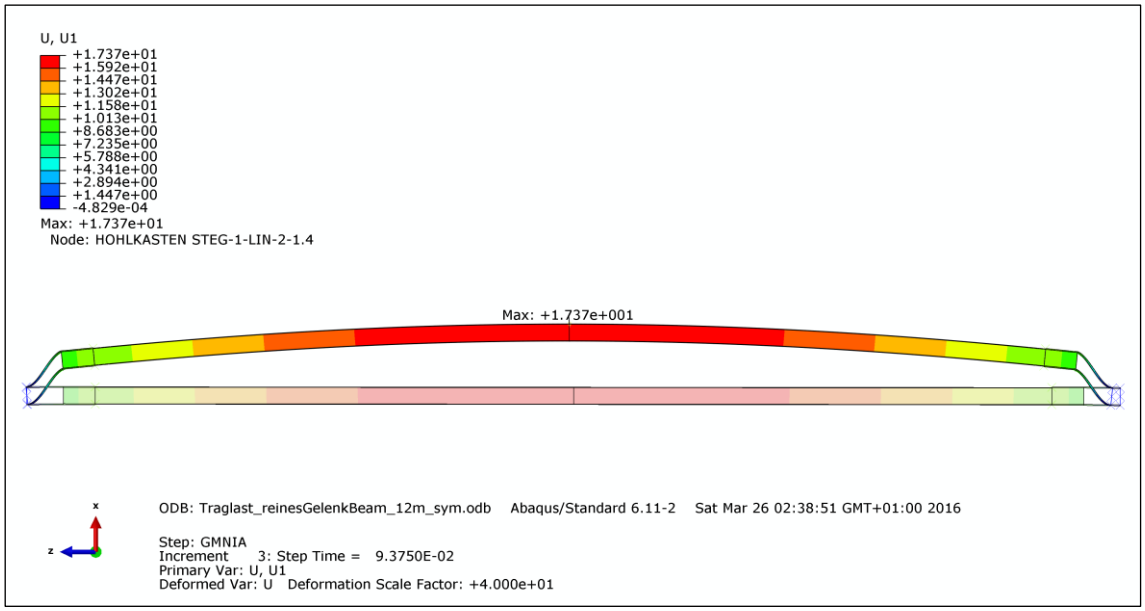
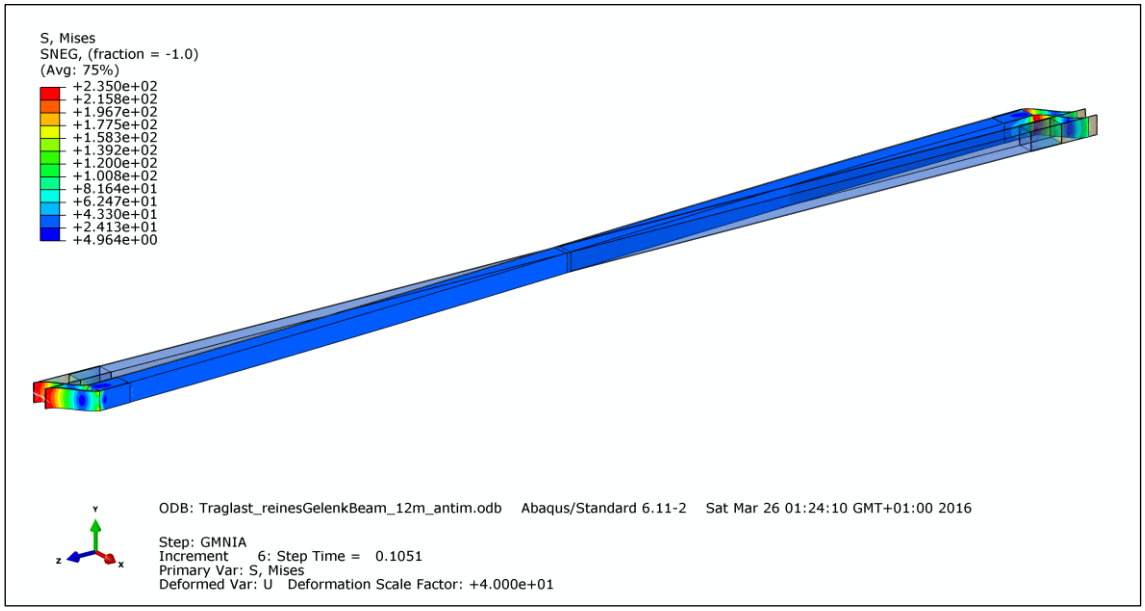
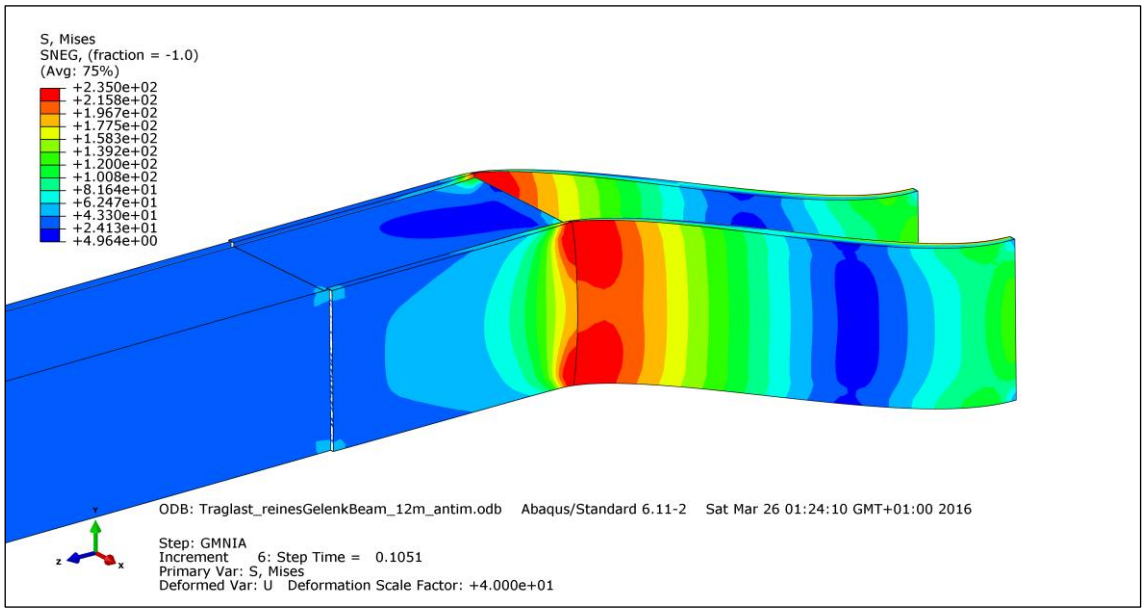


Abbildung 9-145: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





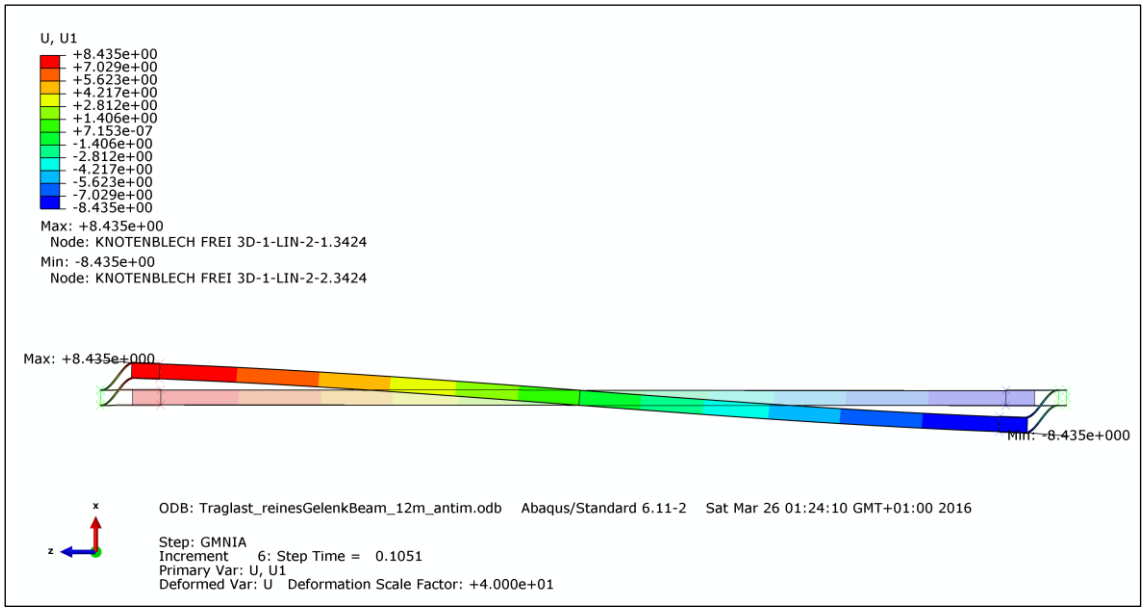
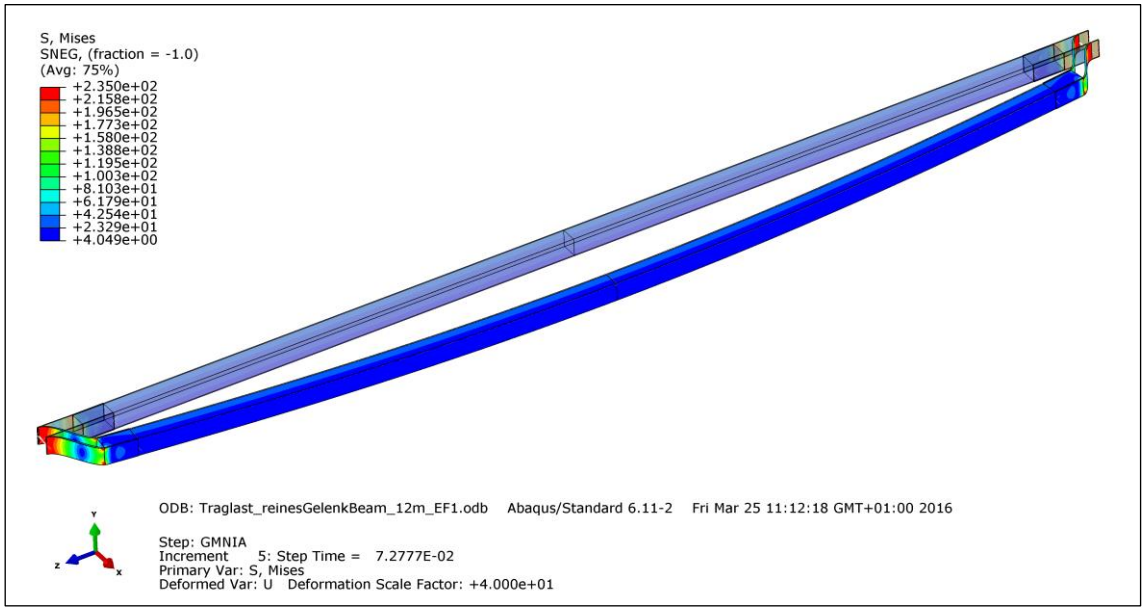
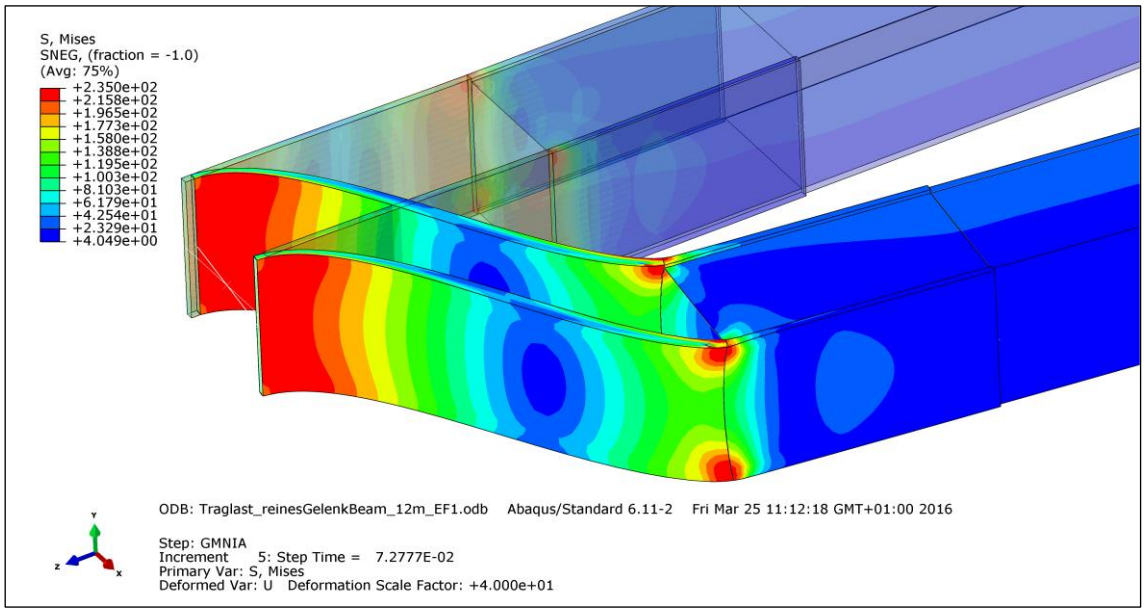


Abbildung 9-146: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





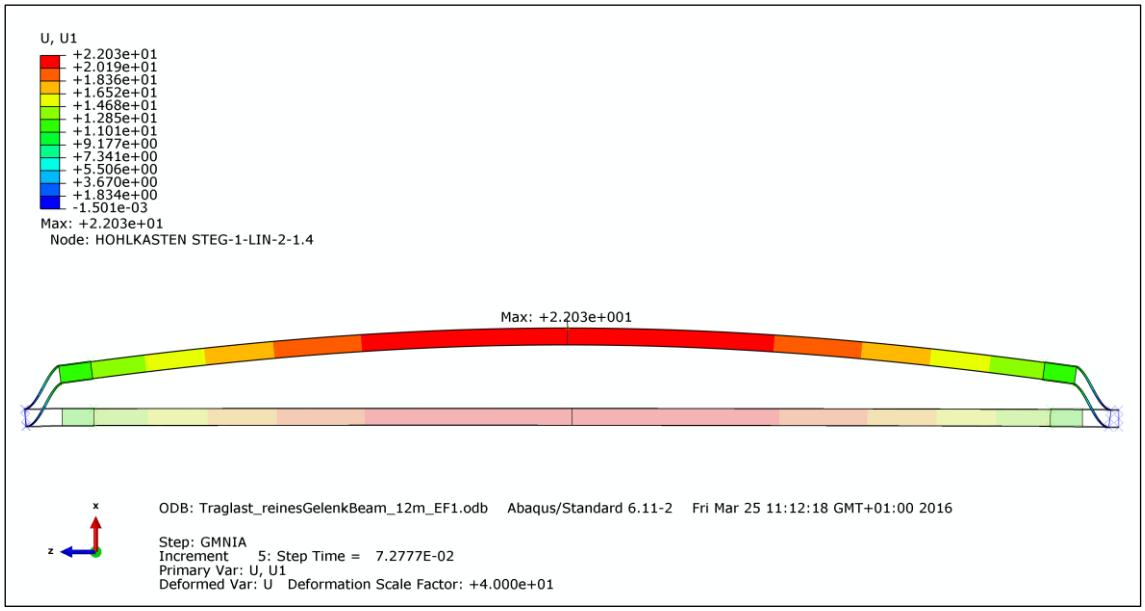
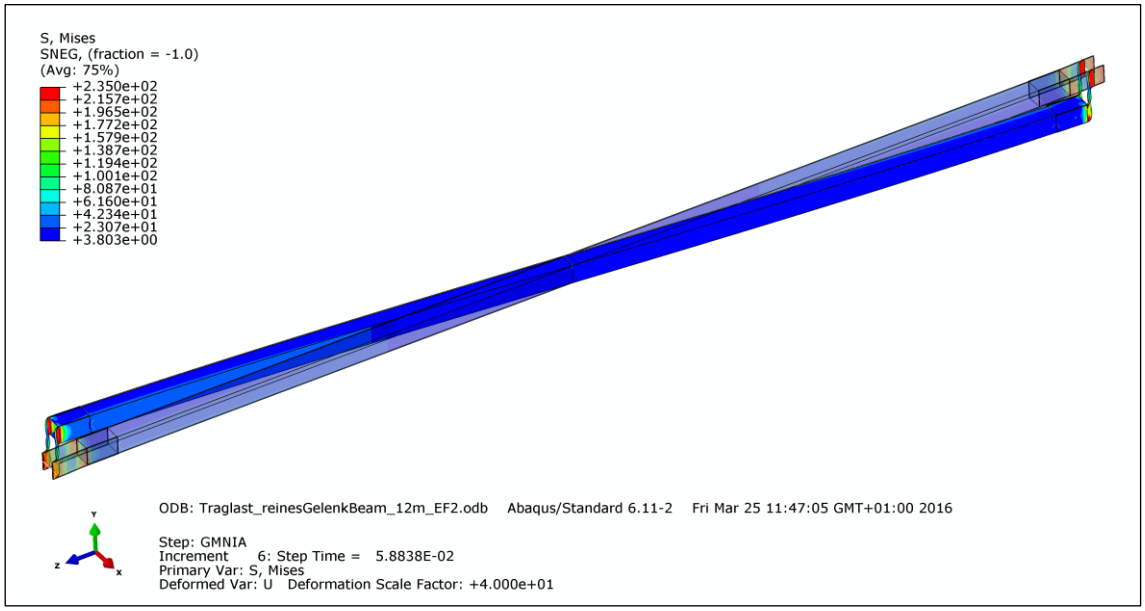
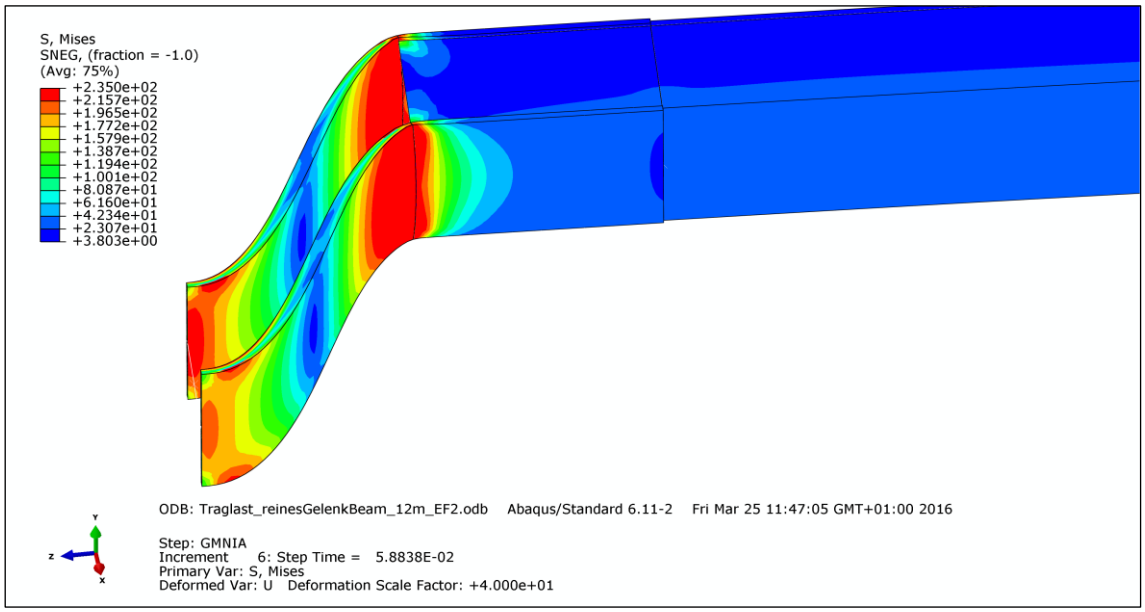


Abbildung 9-147: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





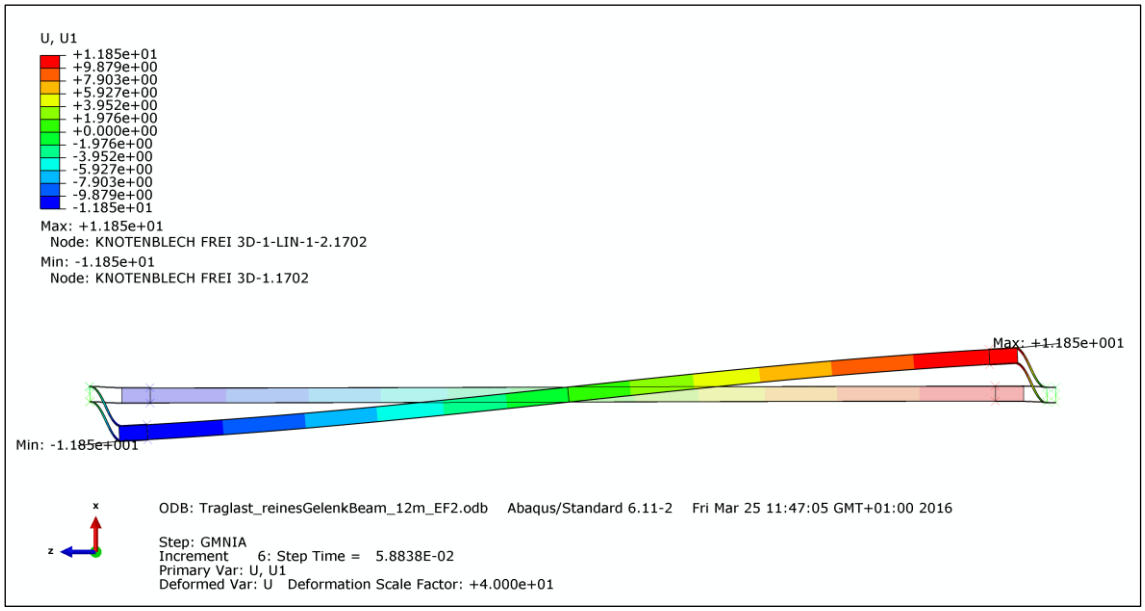
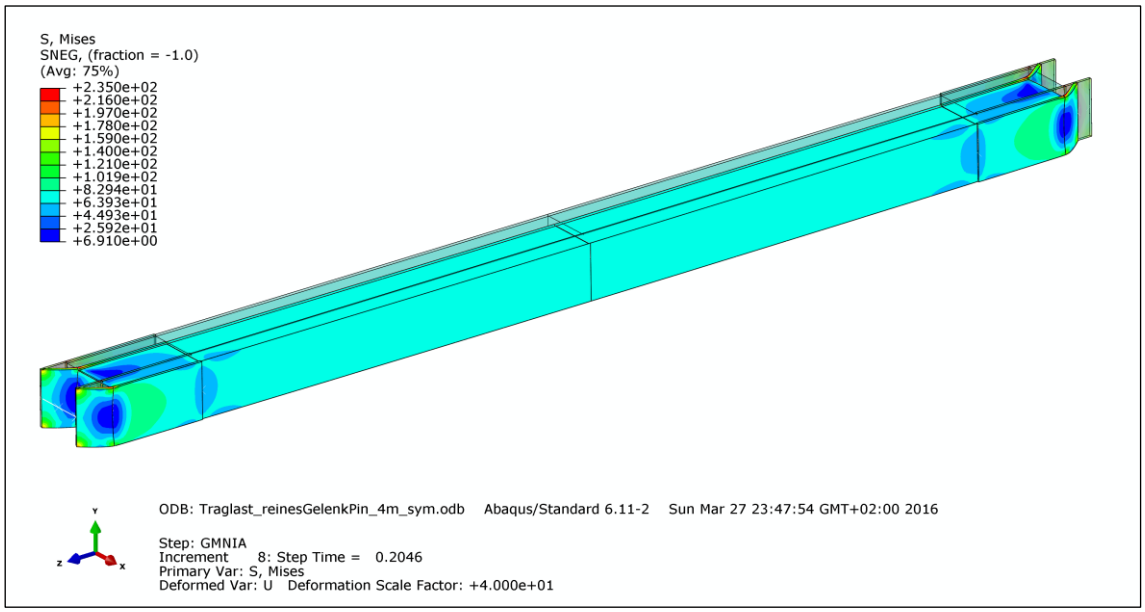
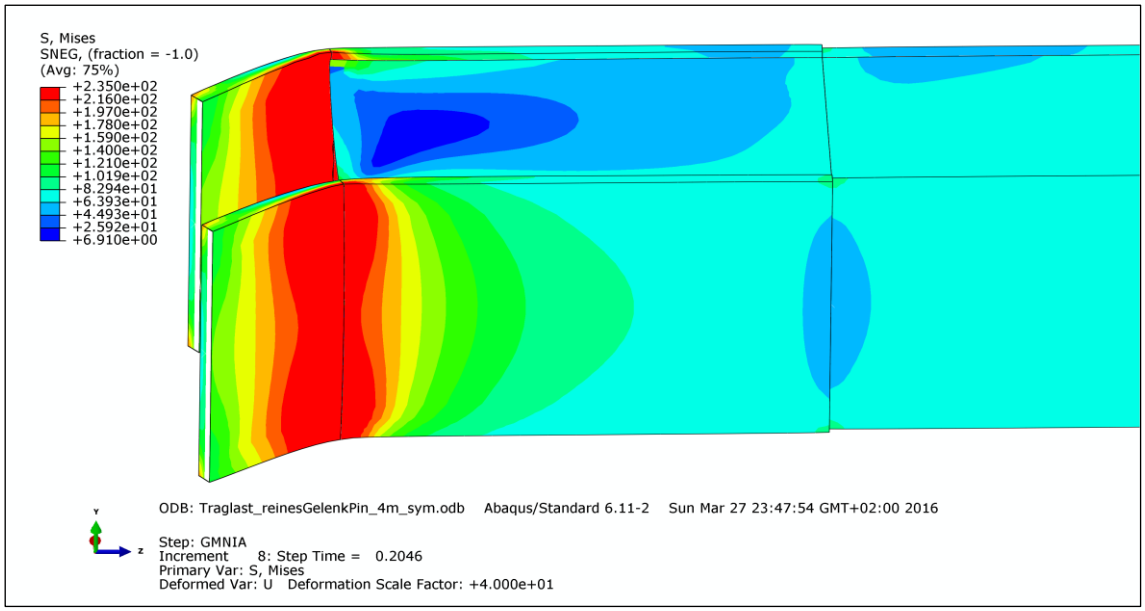


Abbildung 9-148: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm**





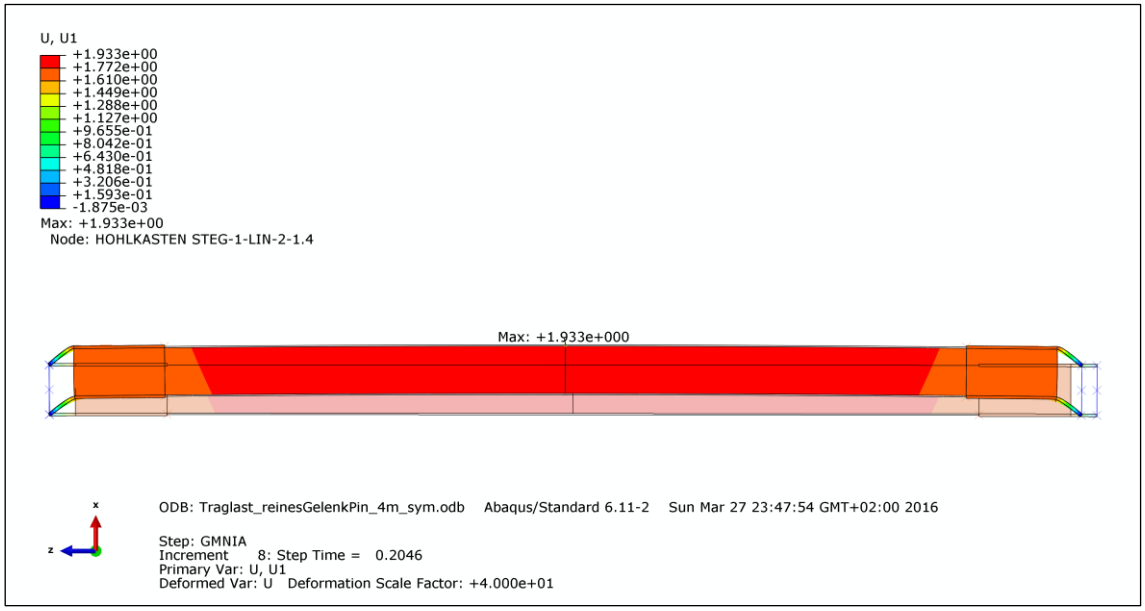
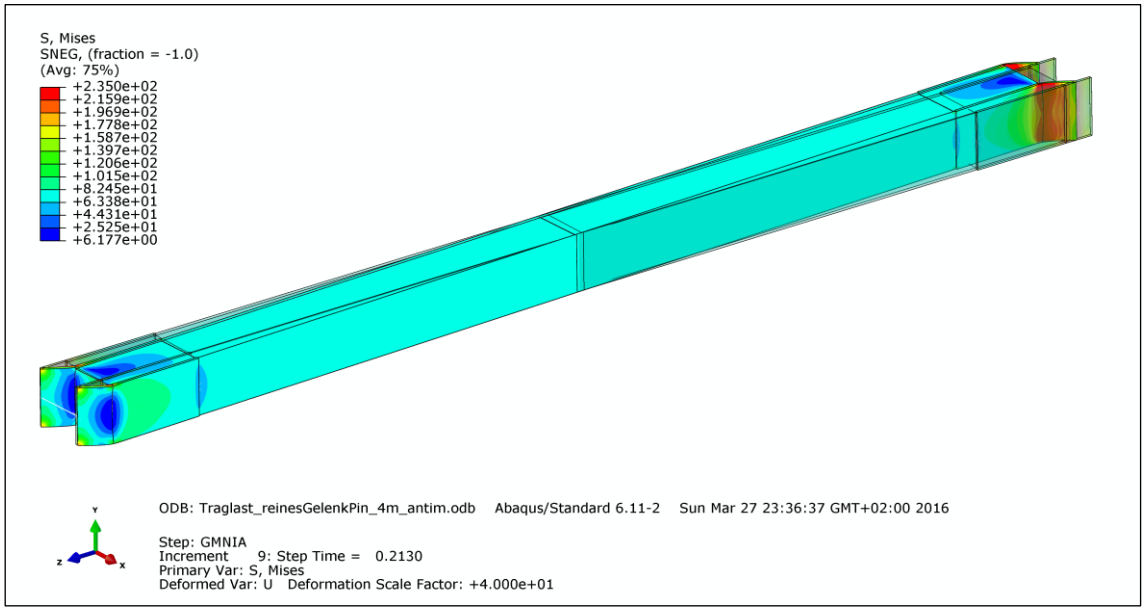
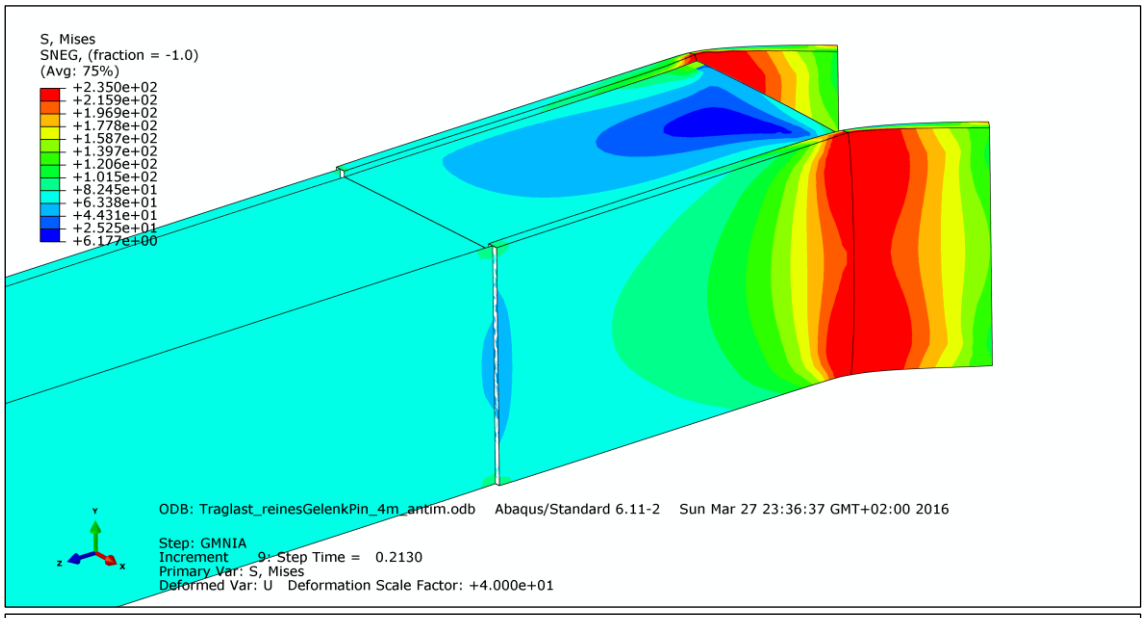


Abbildung 9-149: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





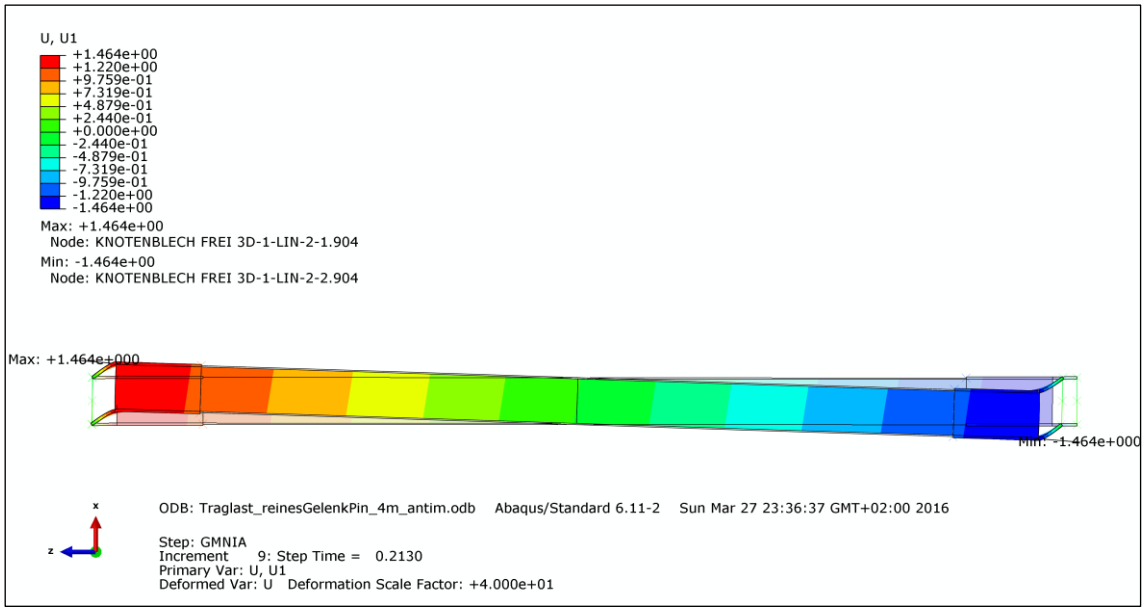
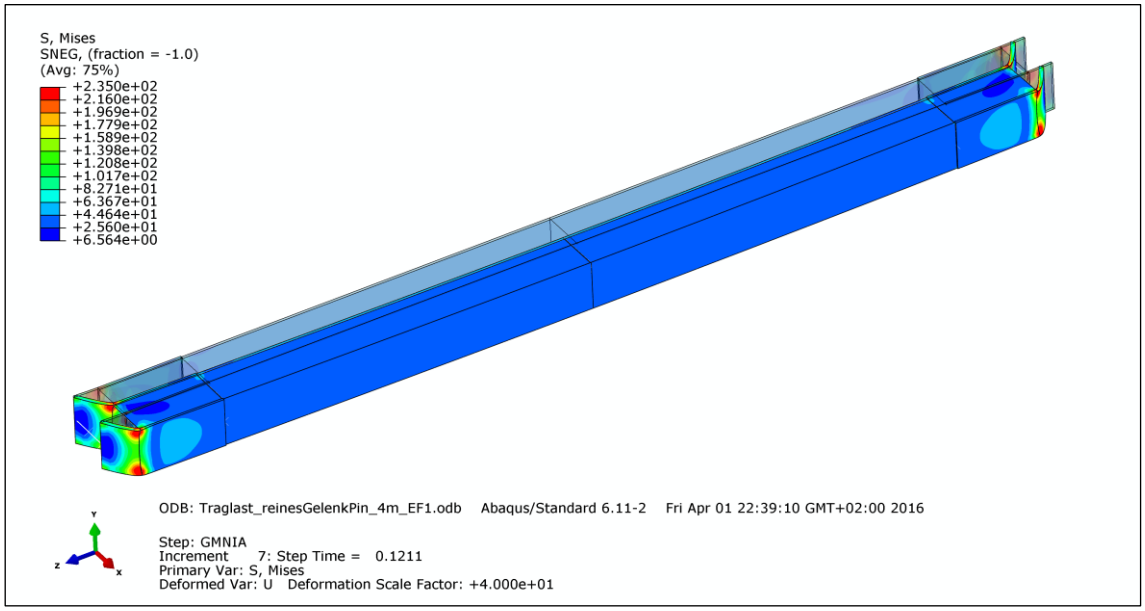
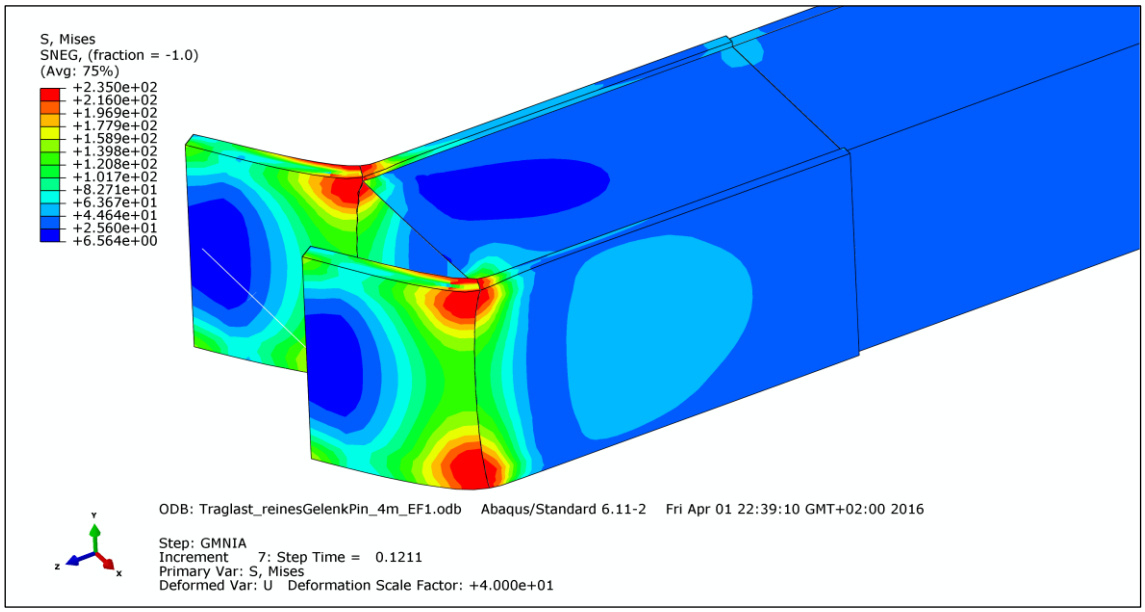


Abbildung 9-150: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





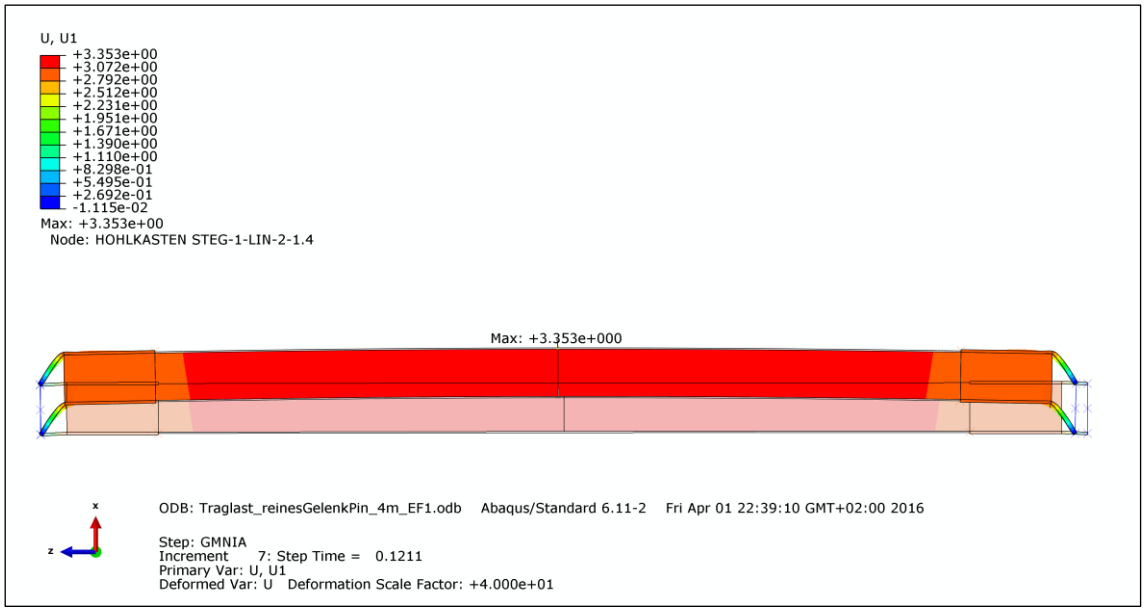
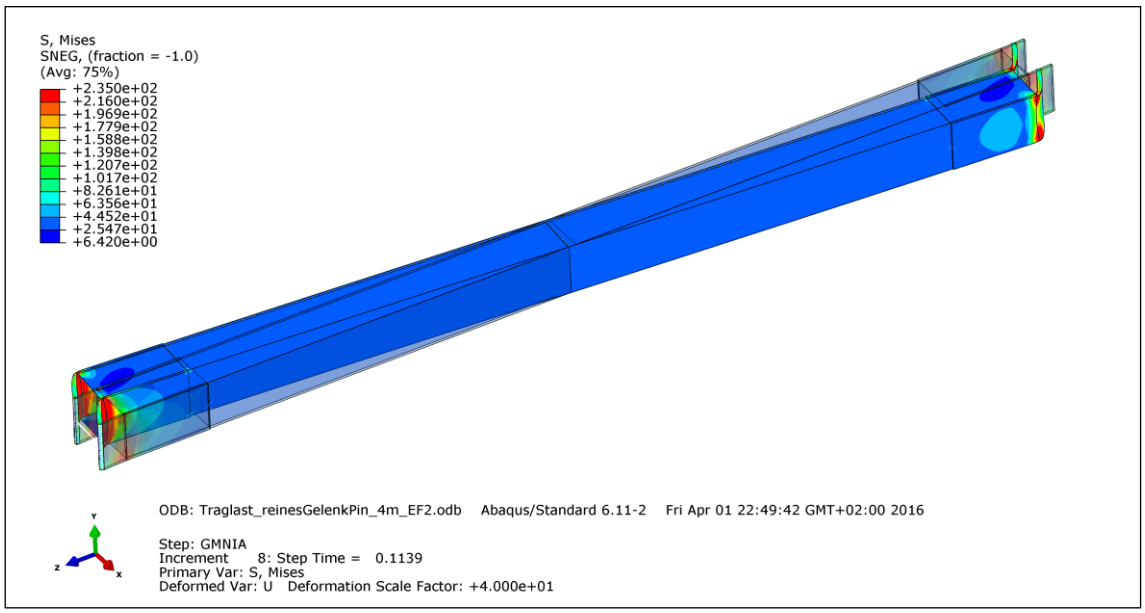
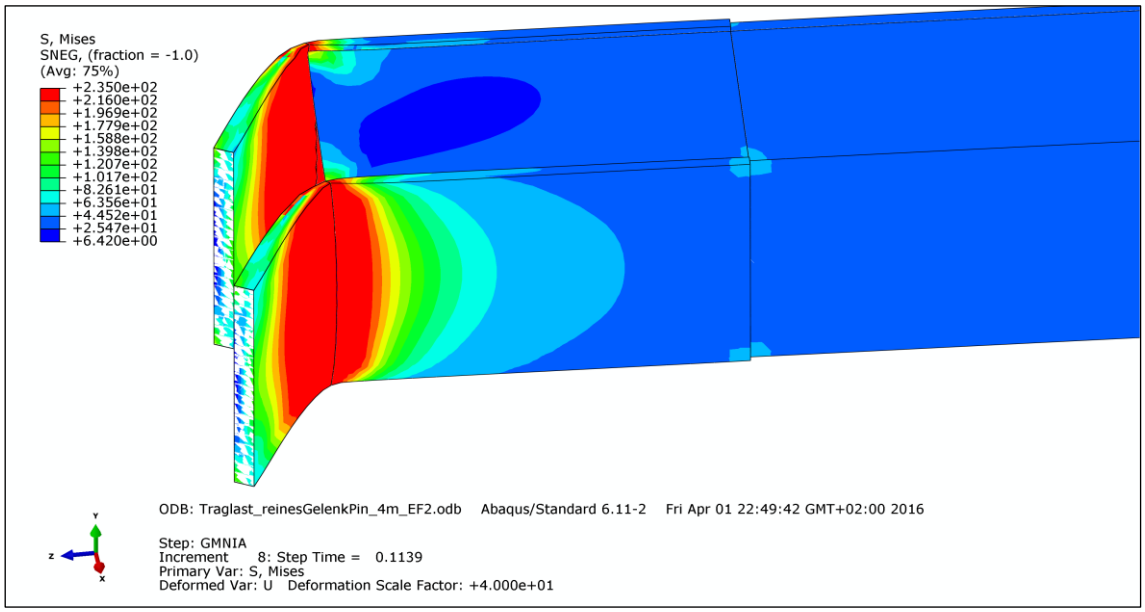


Abbildung 9-151: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





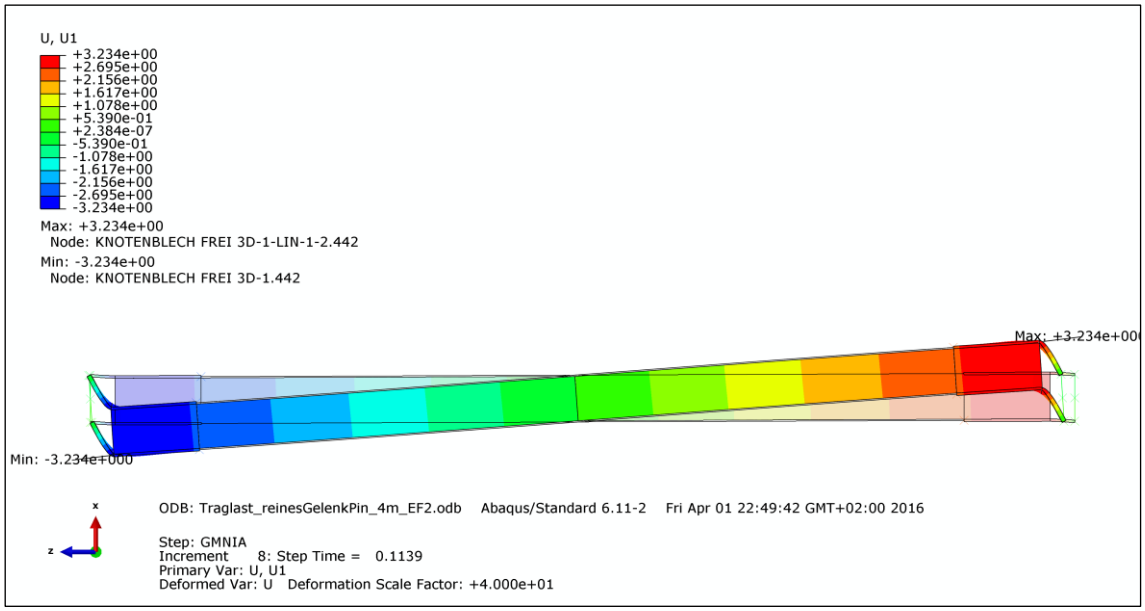
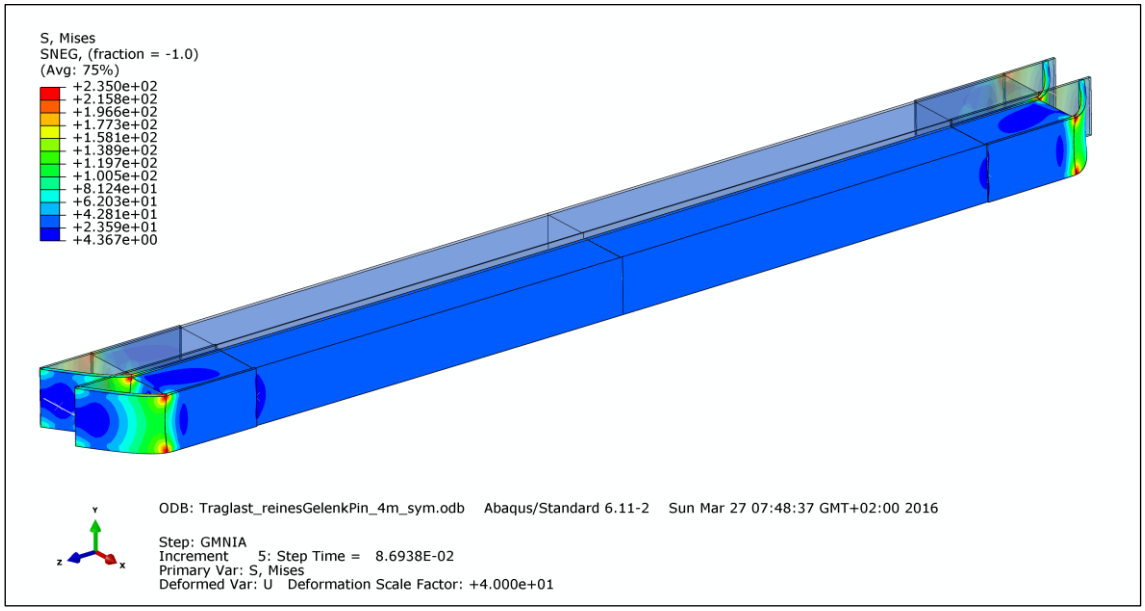
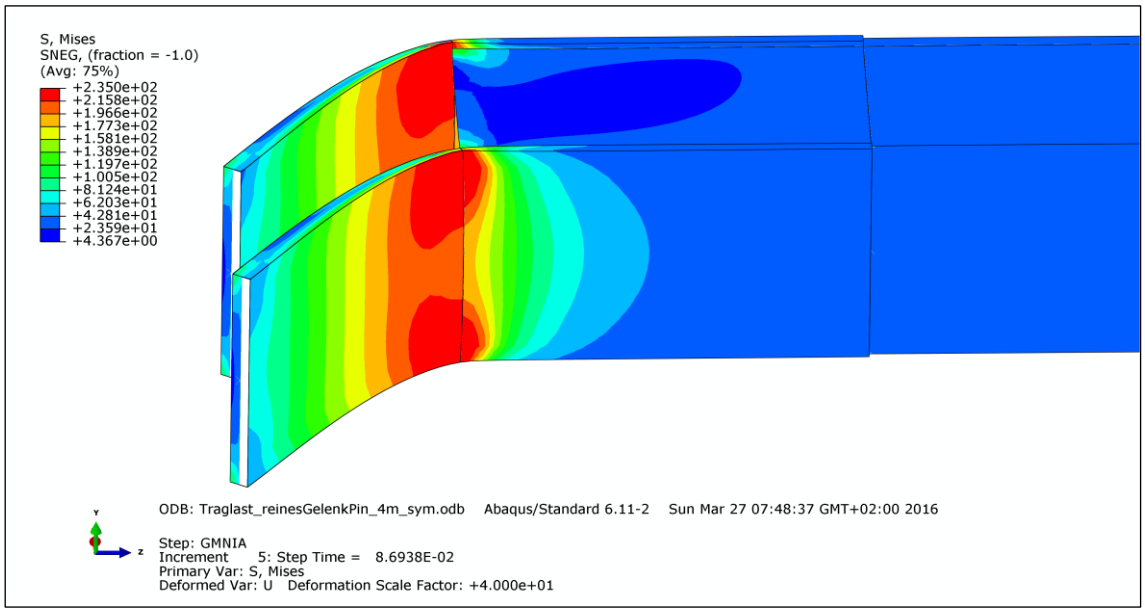


Abbildung 9-152: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





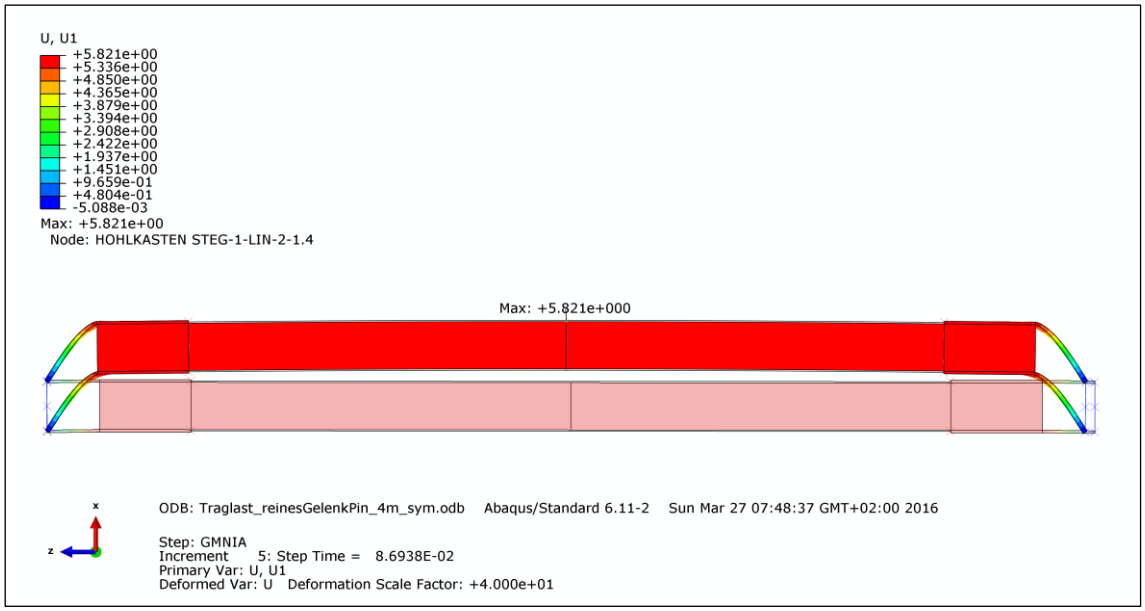
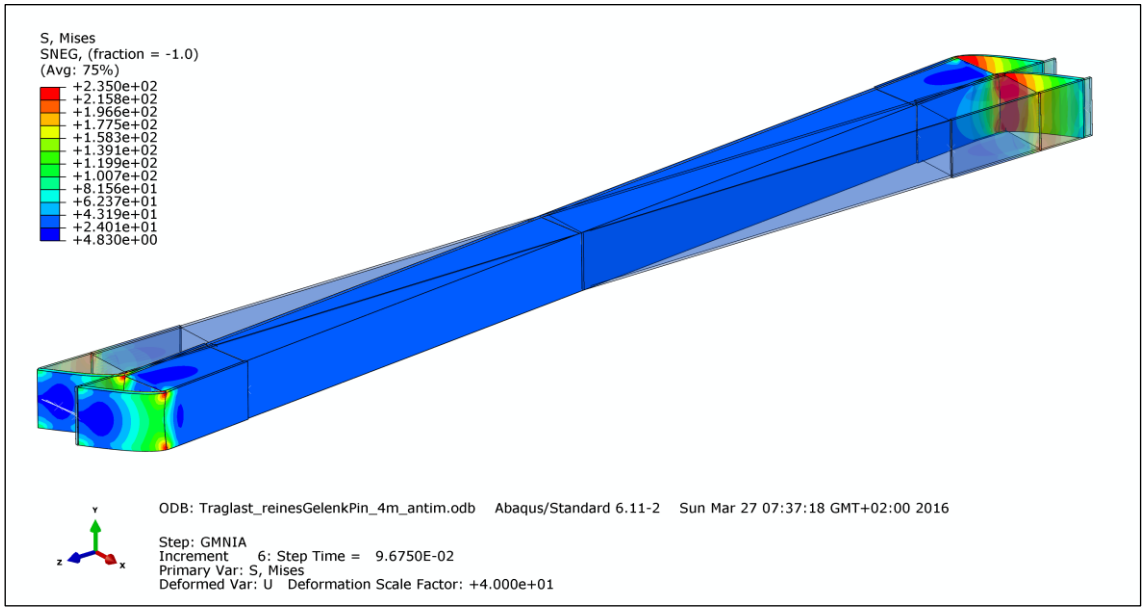
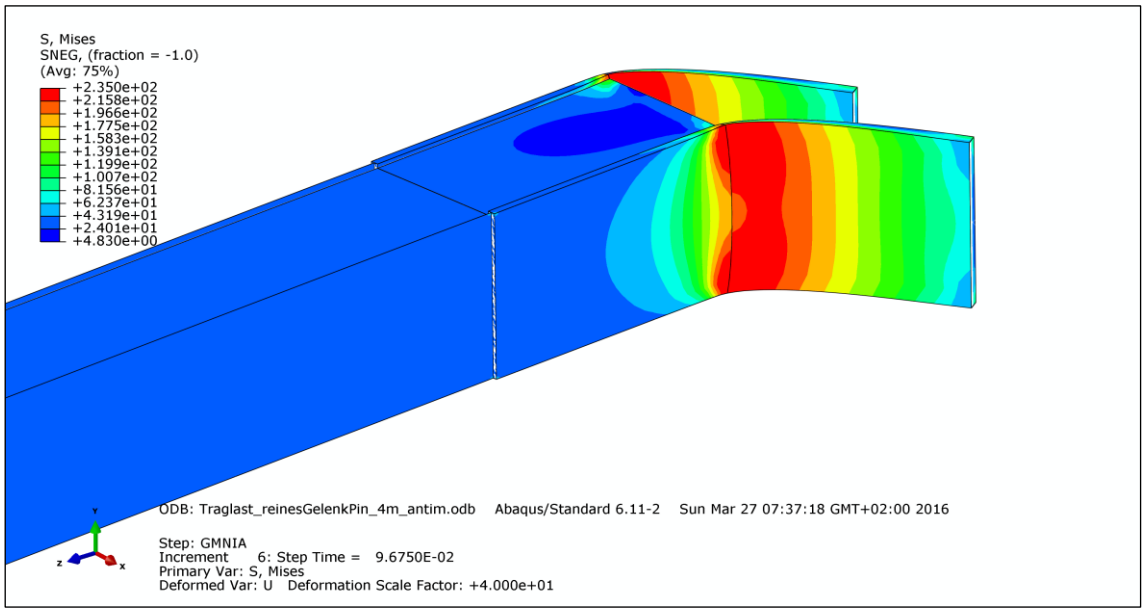


Abbildung 9-153: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





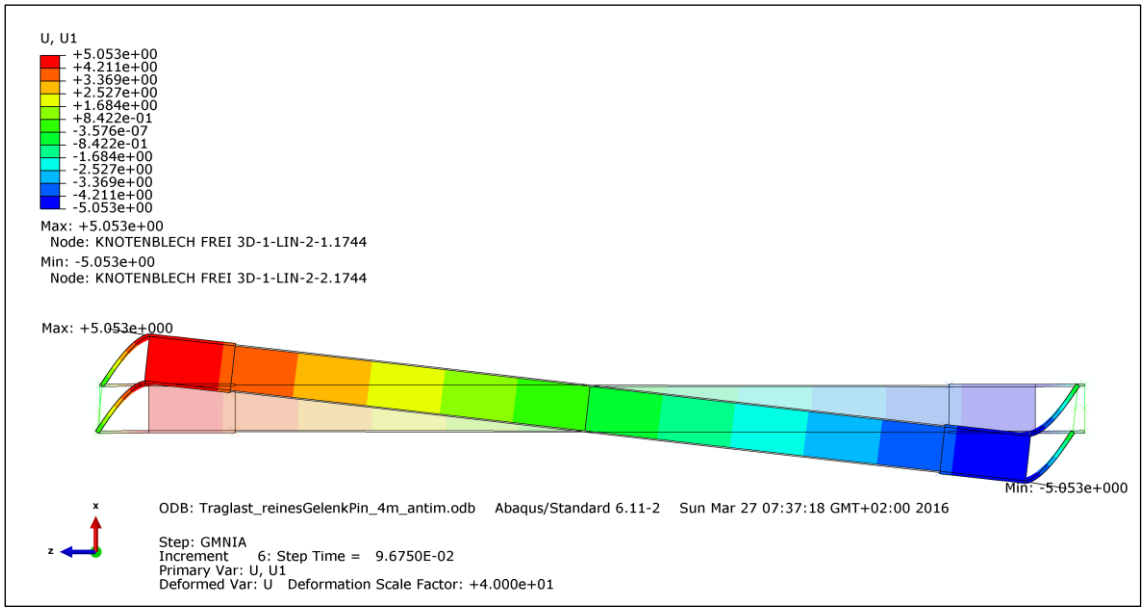
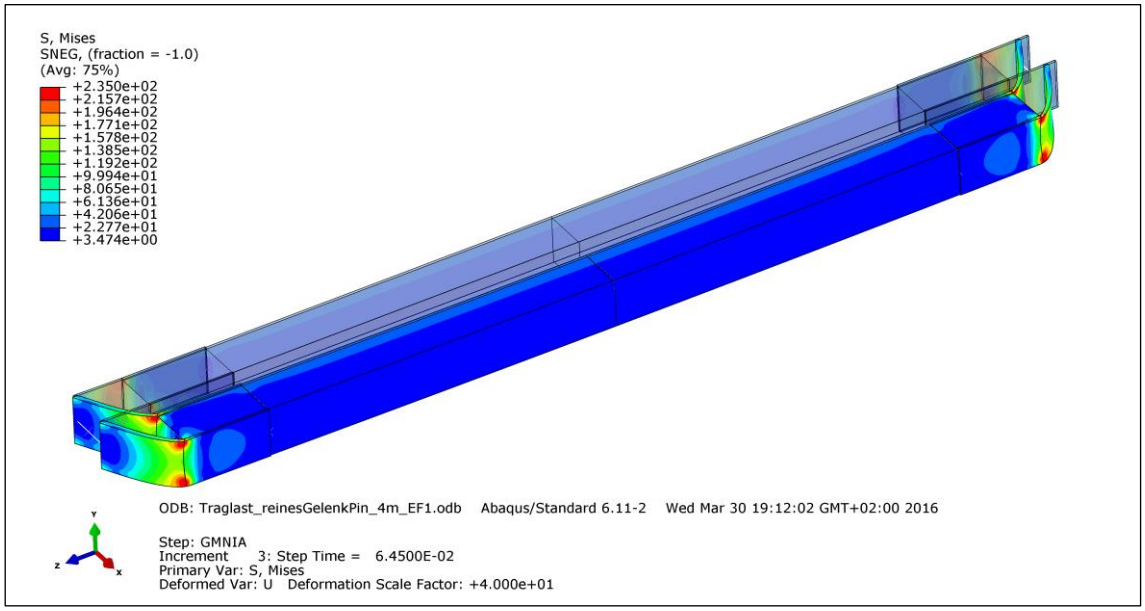
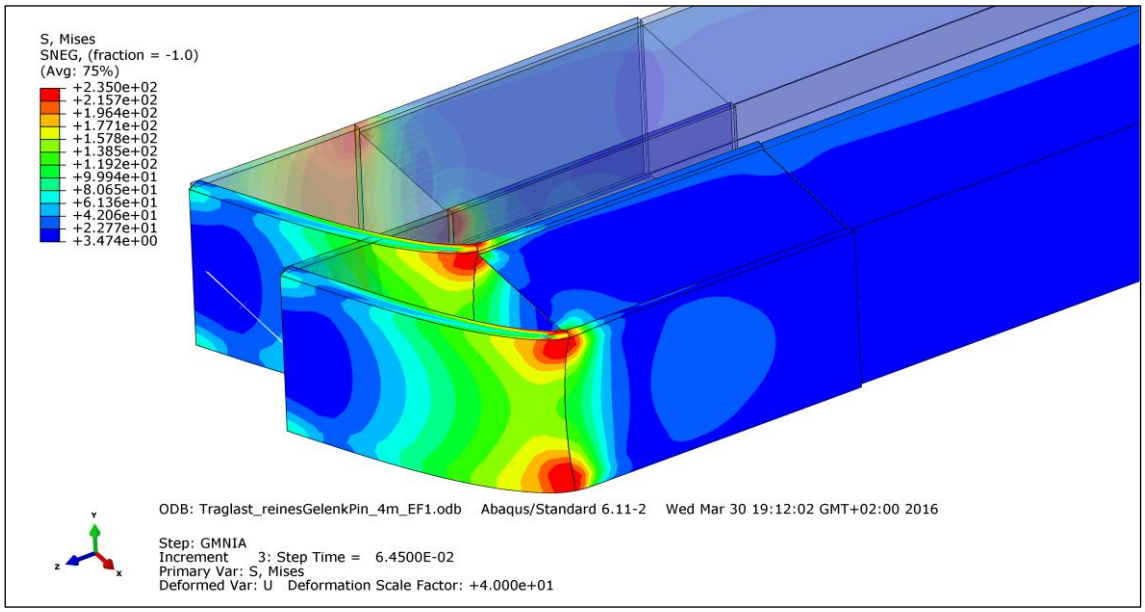


Abbildung 9-154: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





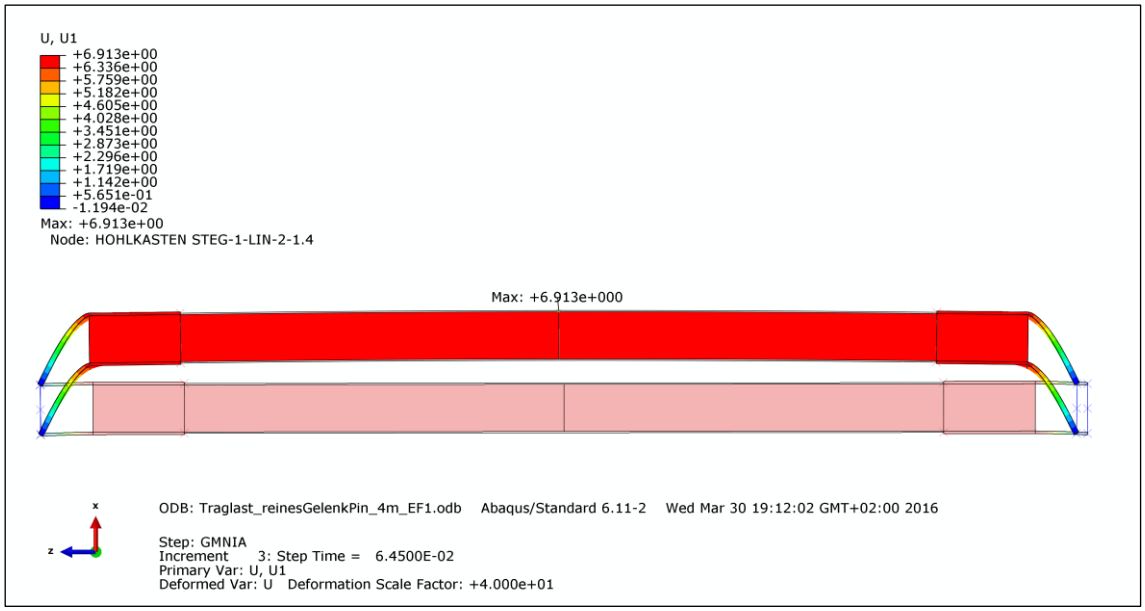
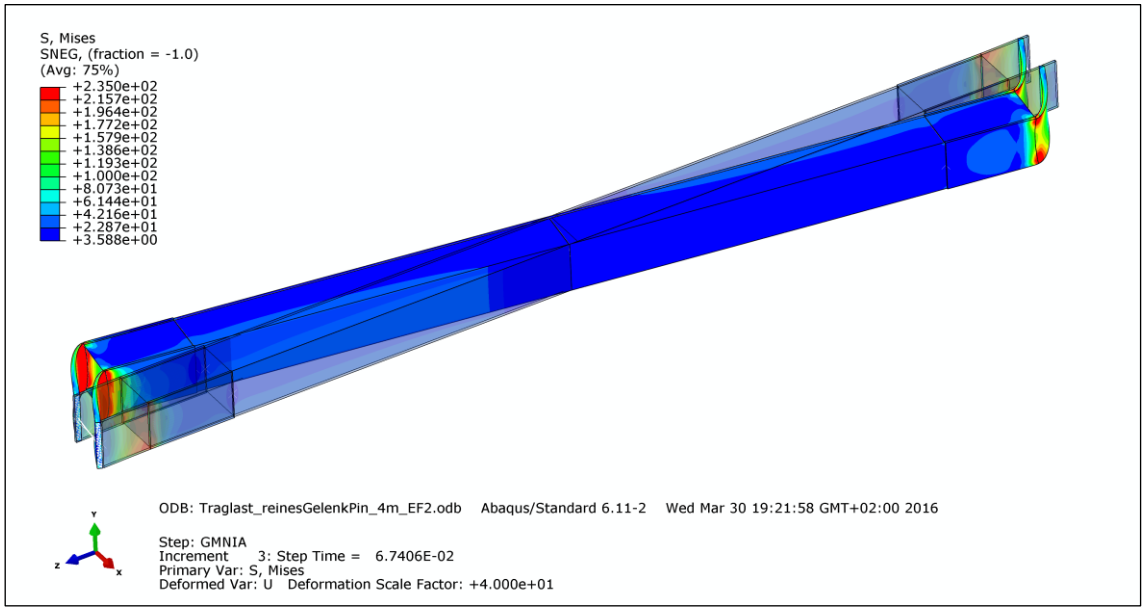
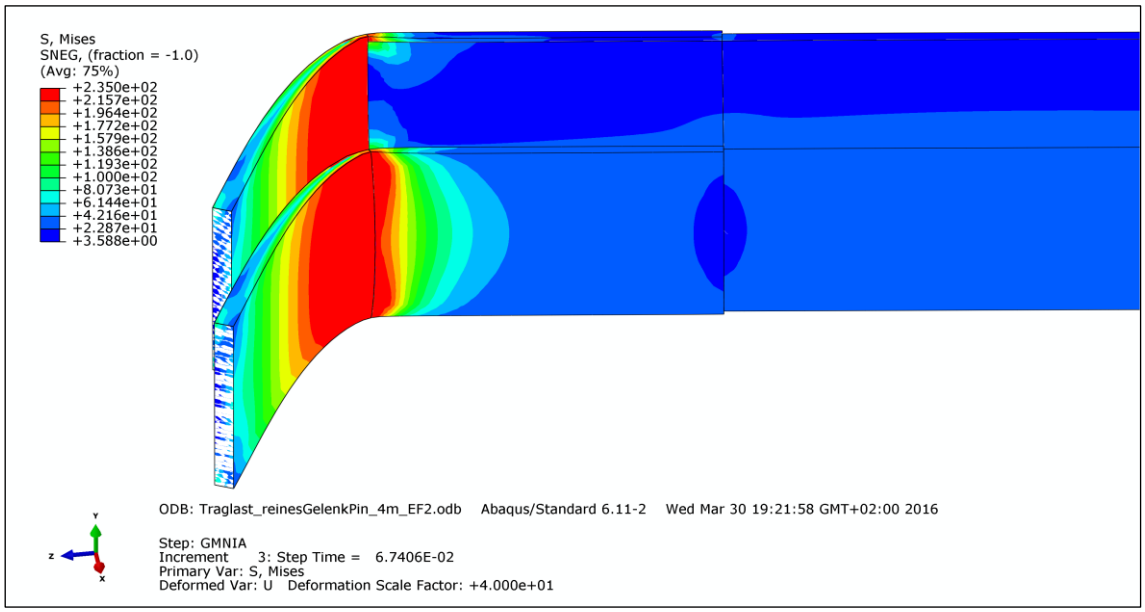


Abbildung 9-155: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





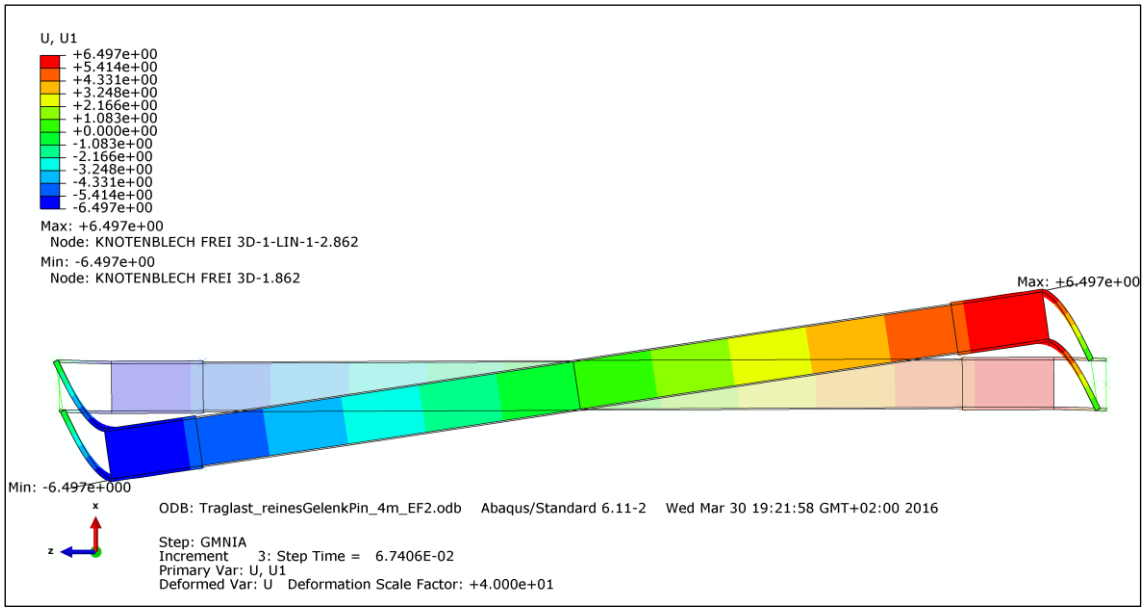
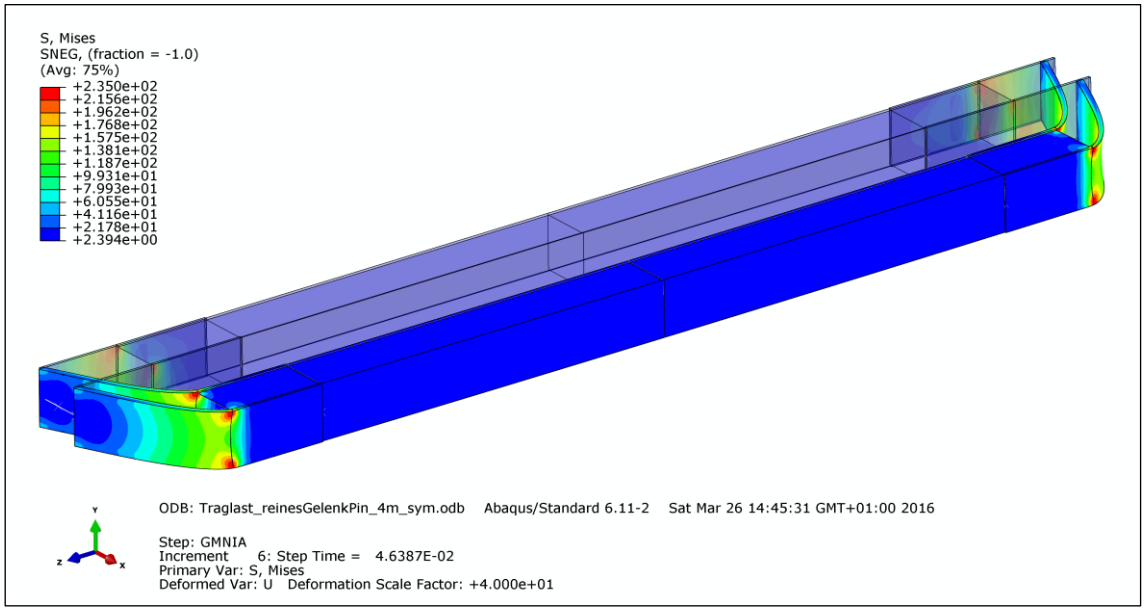
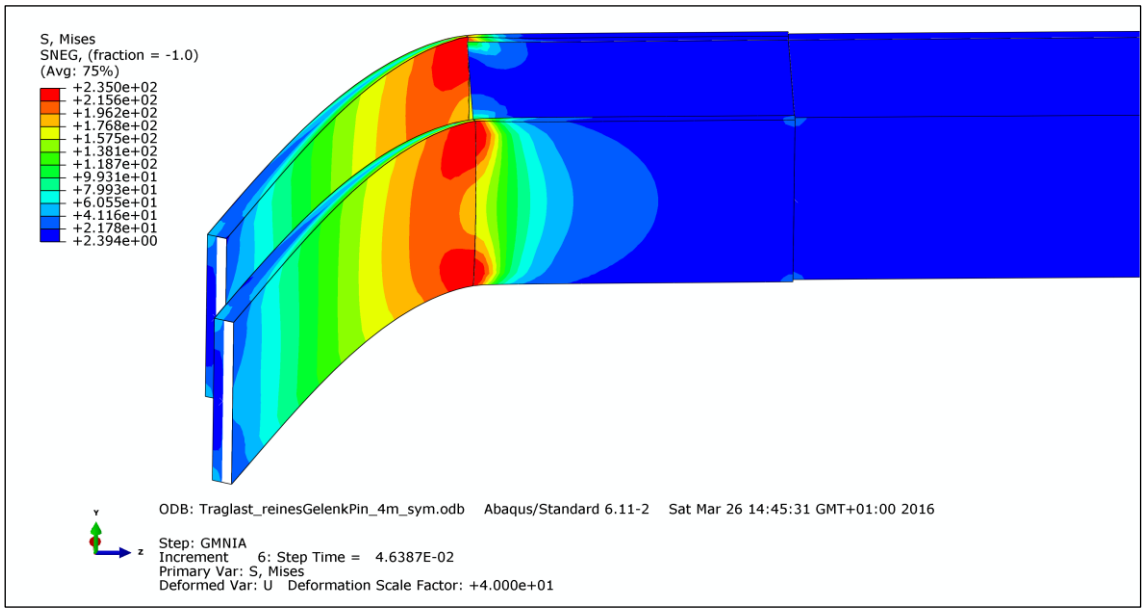


Abbildung 9-156: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





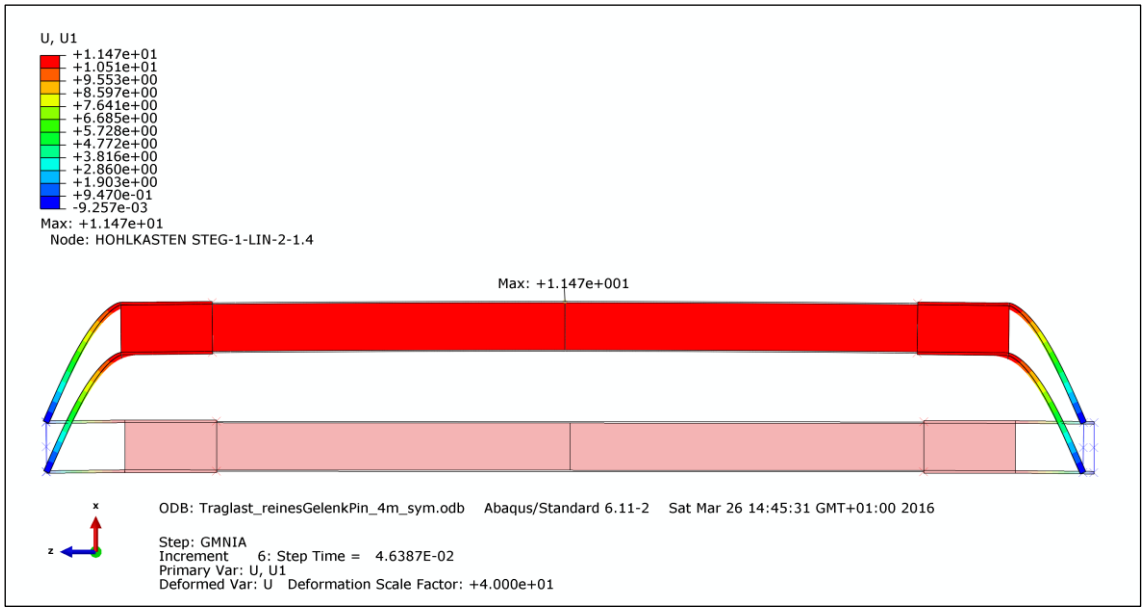
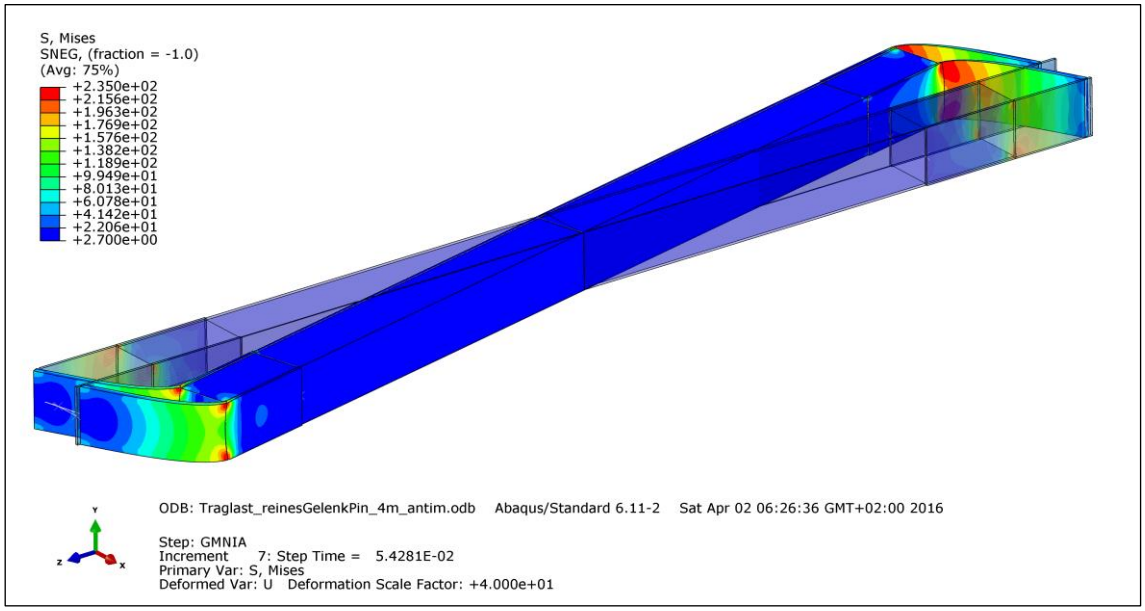
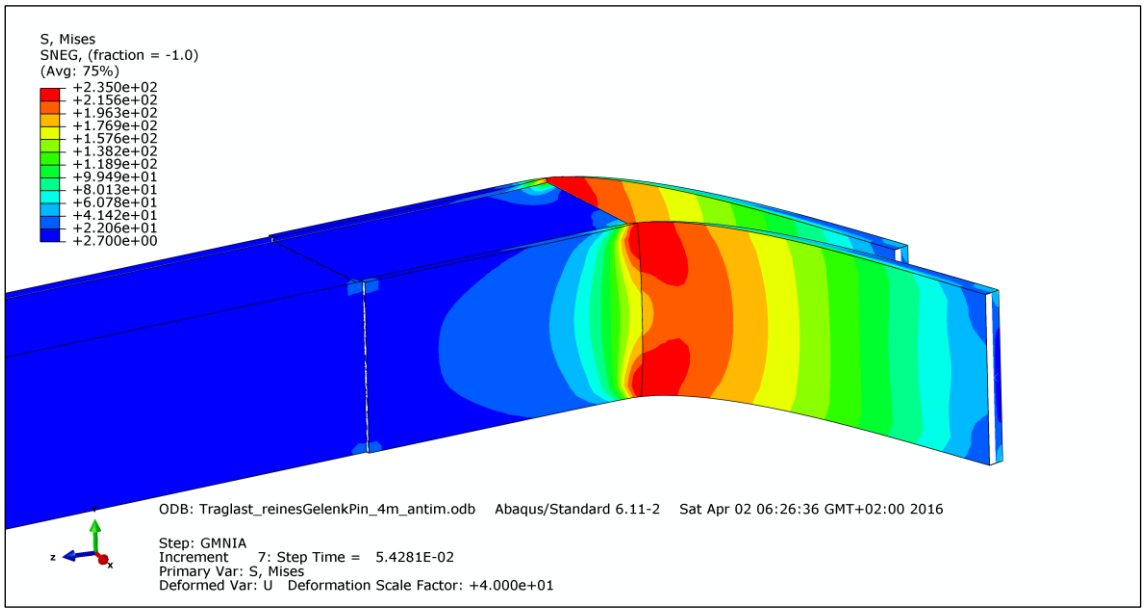


Abbildung 9-157: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





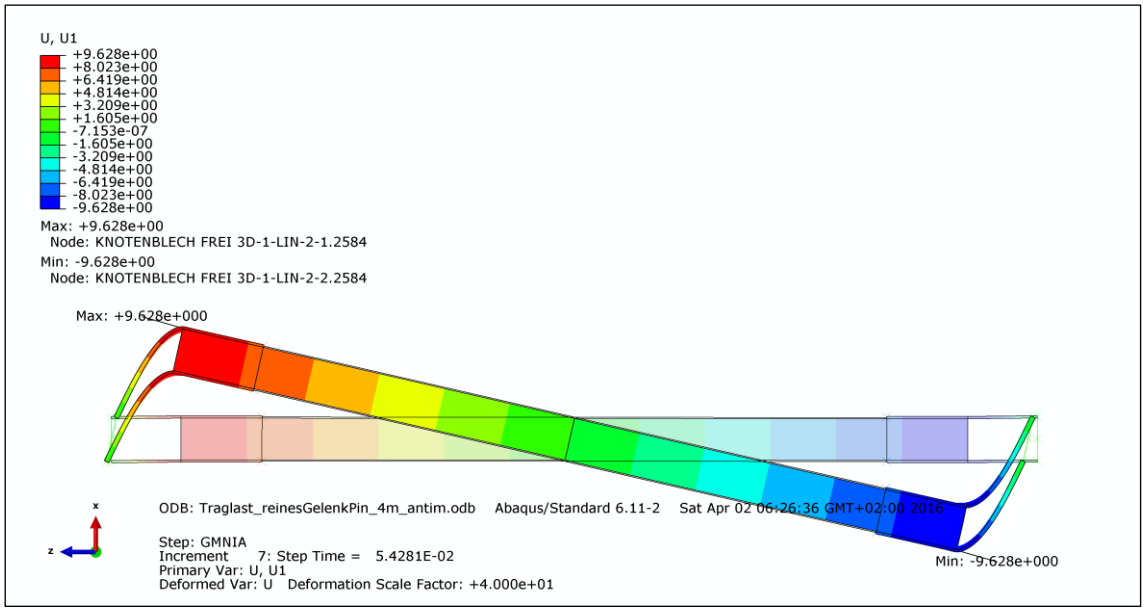


Abbildung 9-158: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)

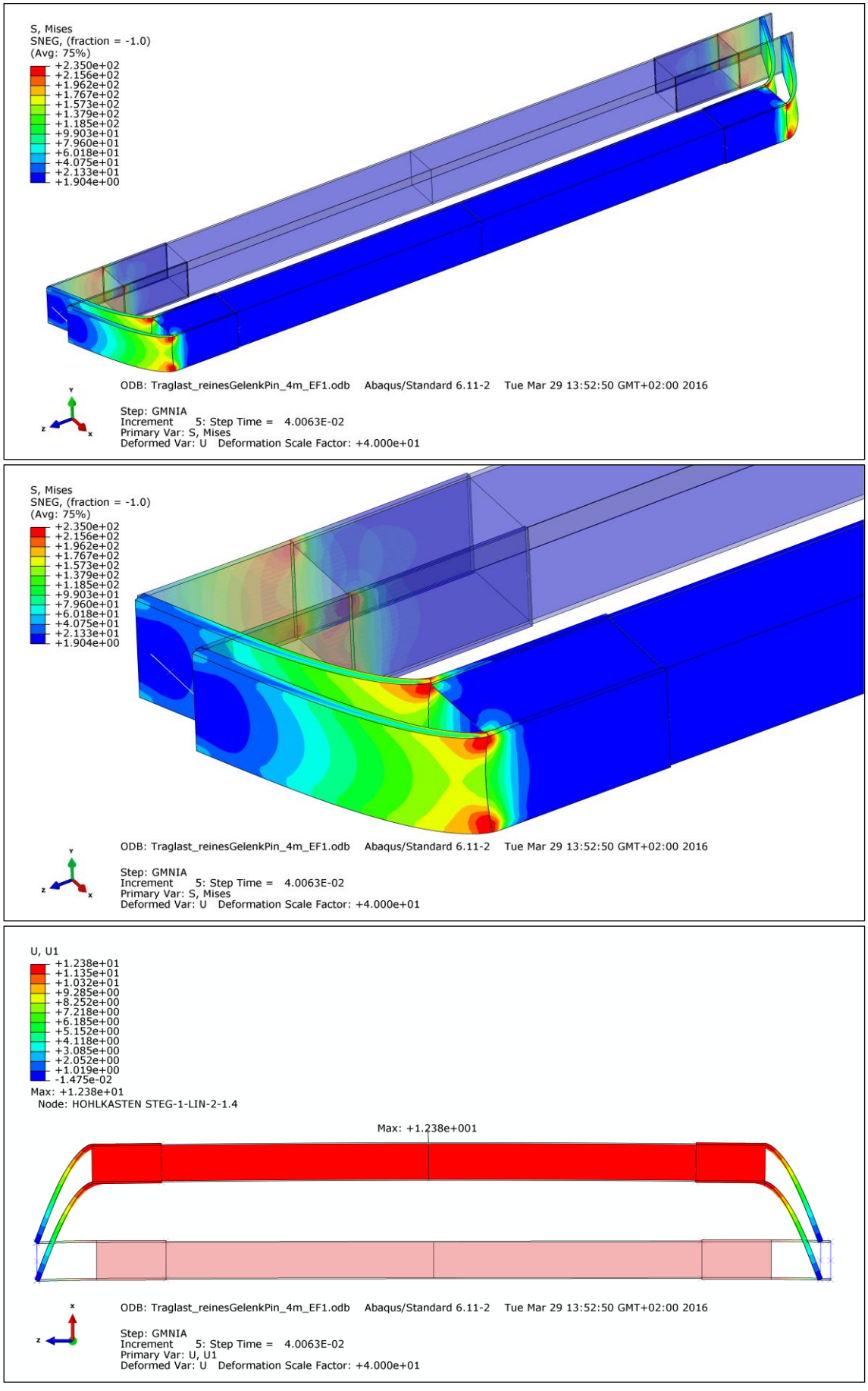
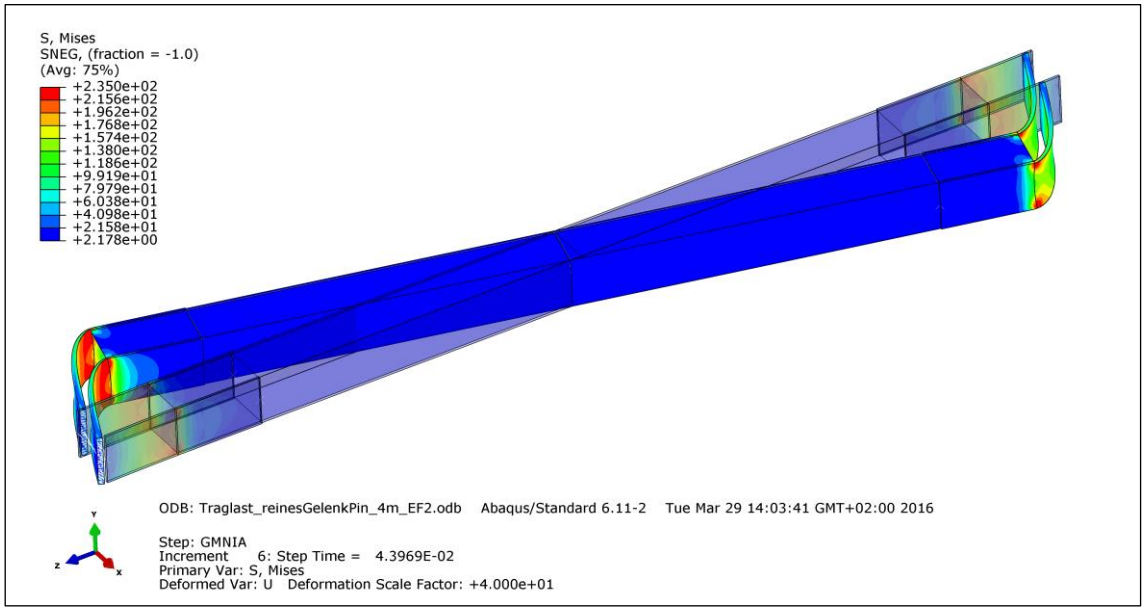
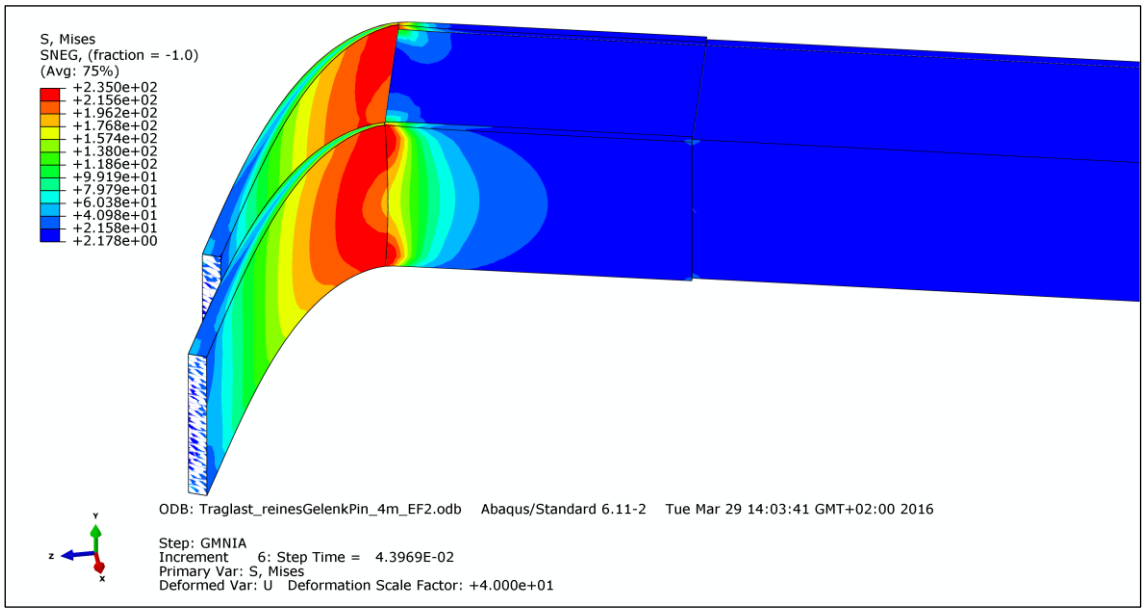


Abbildung 9-159: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





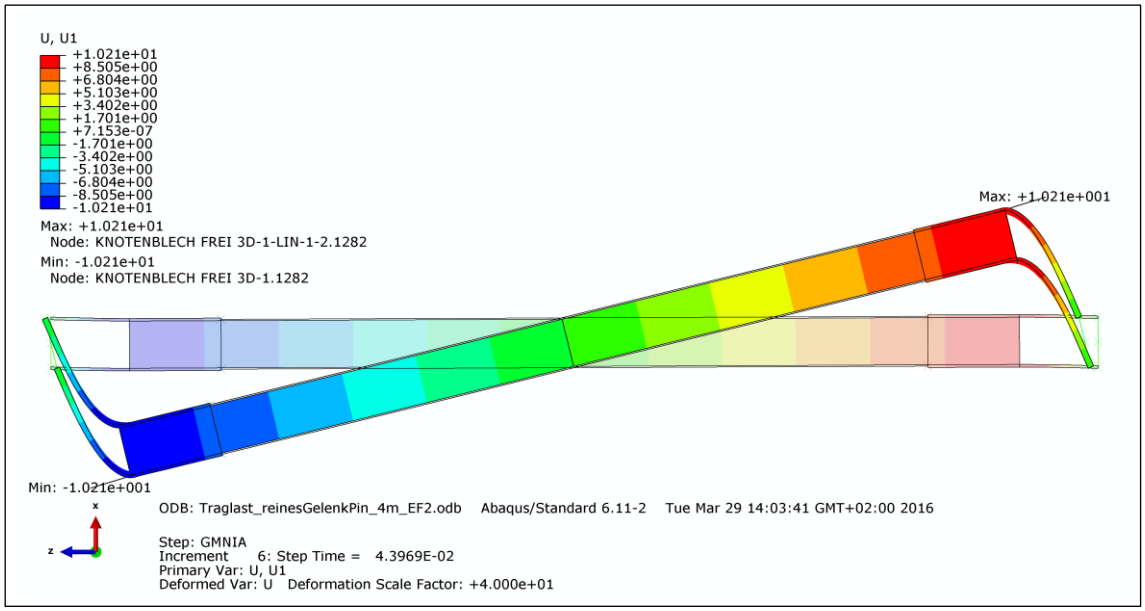
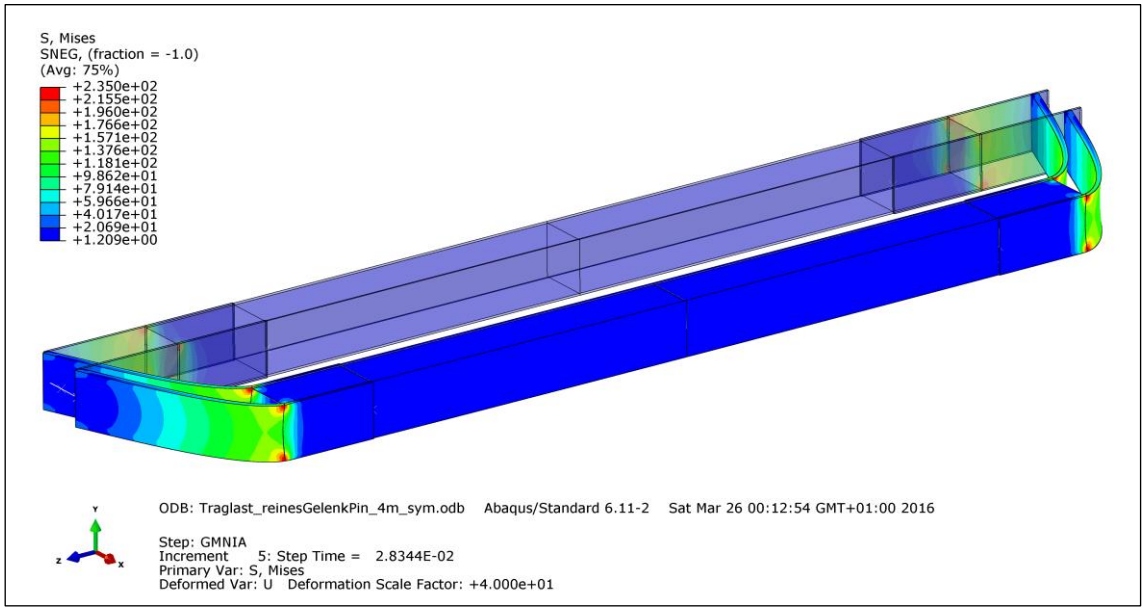
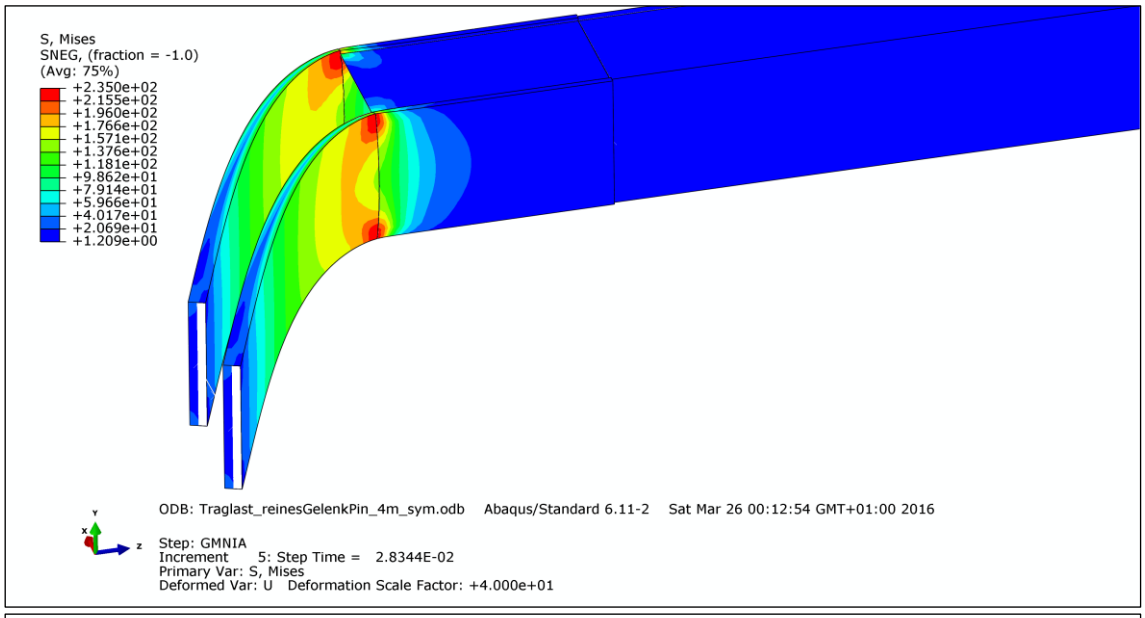


Abbildung 9-160: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





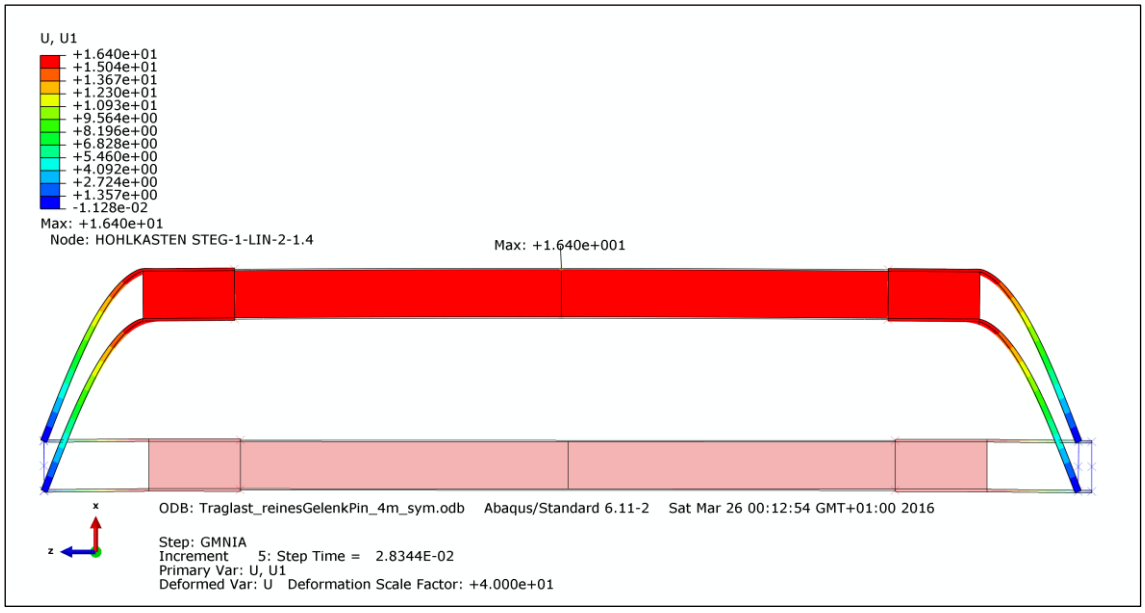
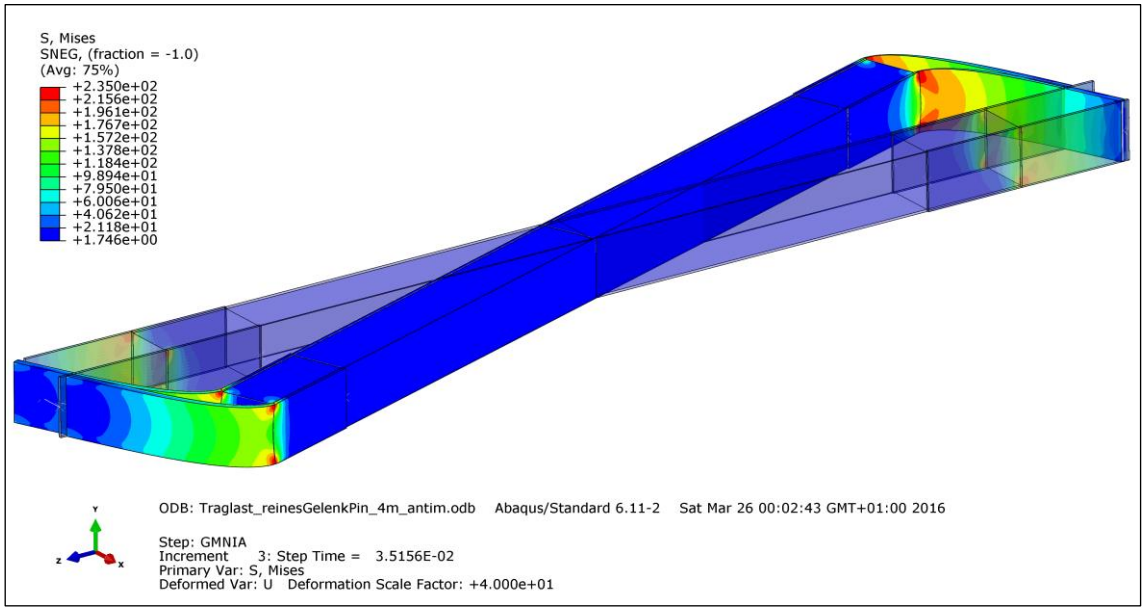
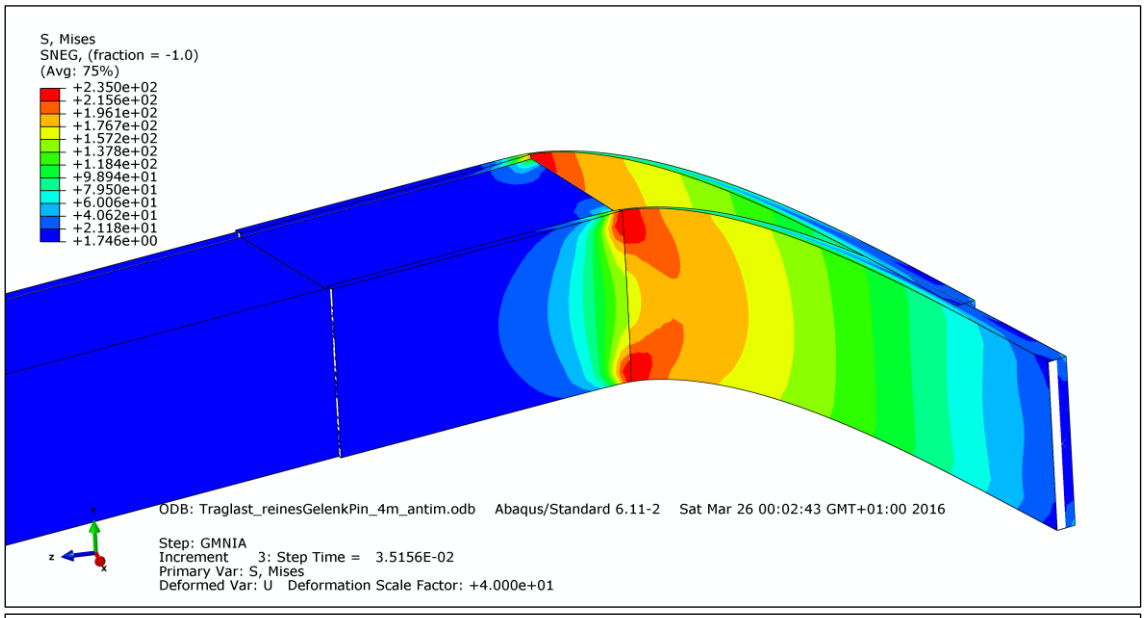


Abbildung 9-161: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





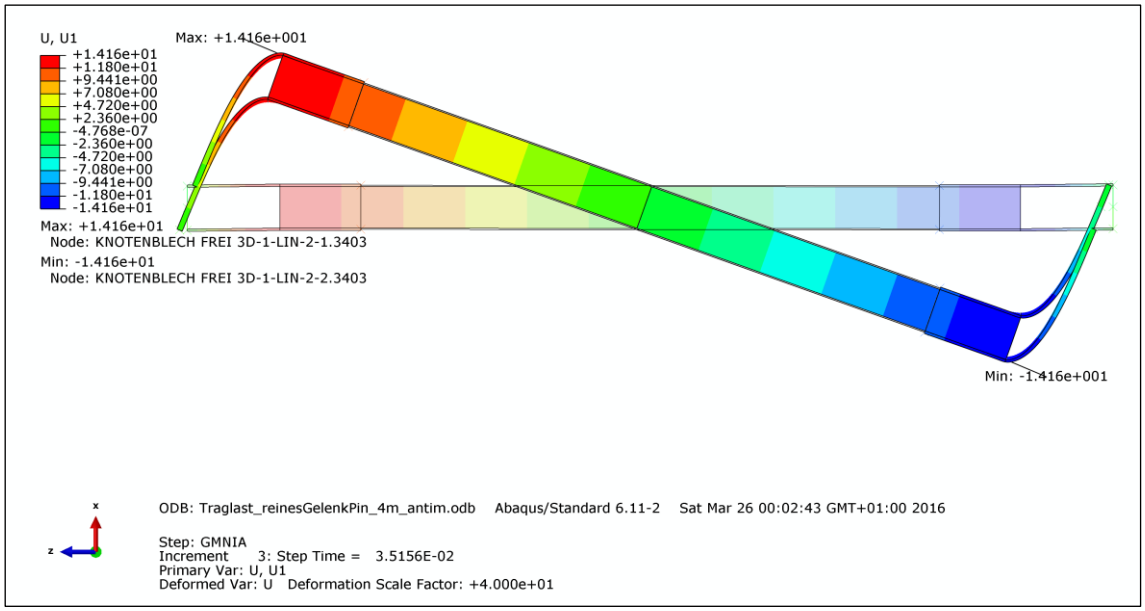
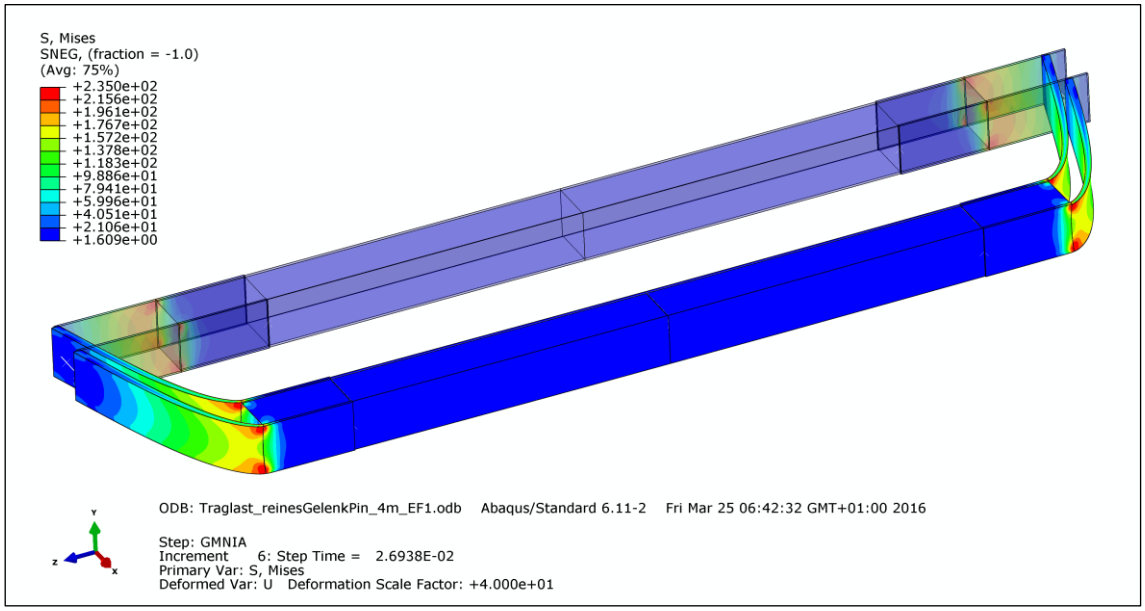
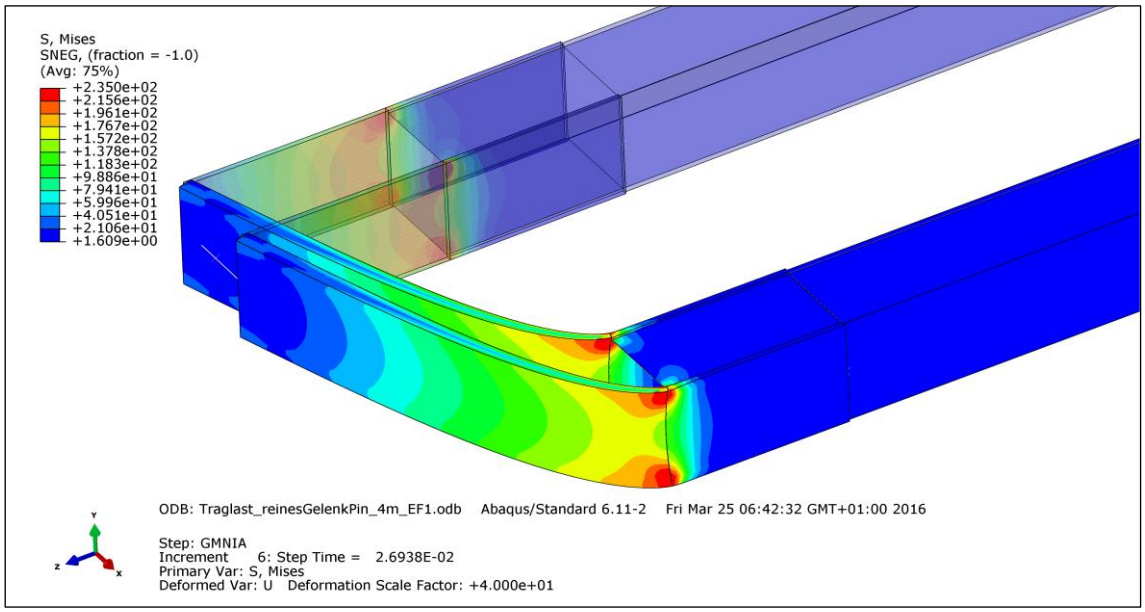


Abbildung 9-162: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





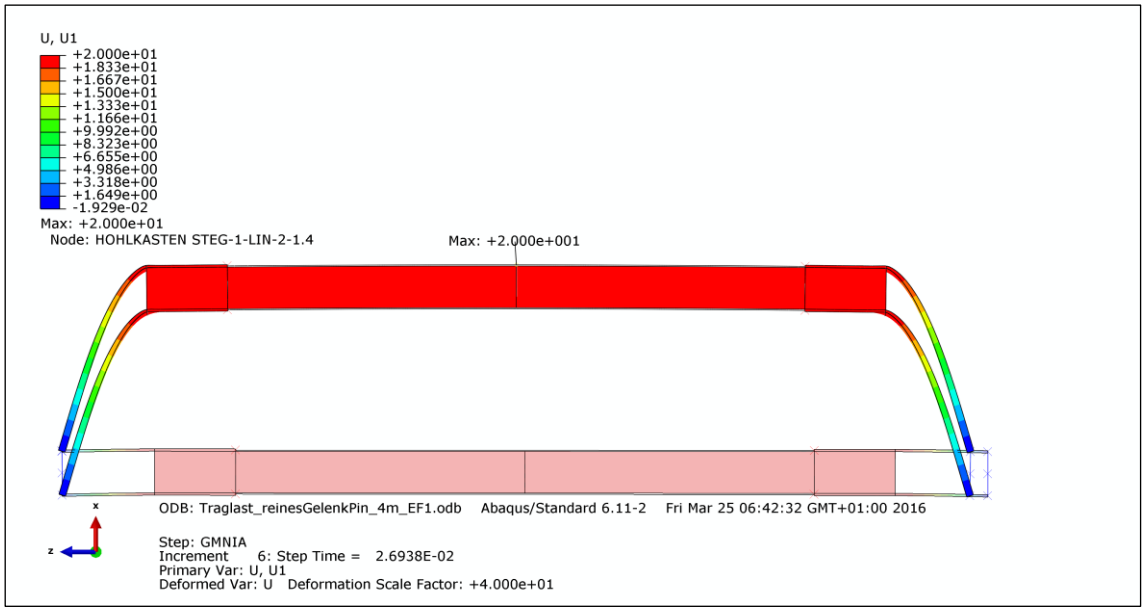
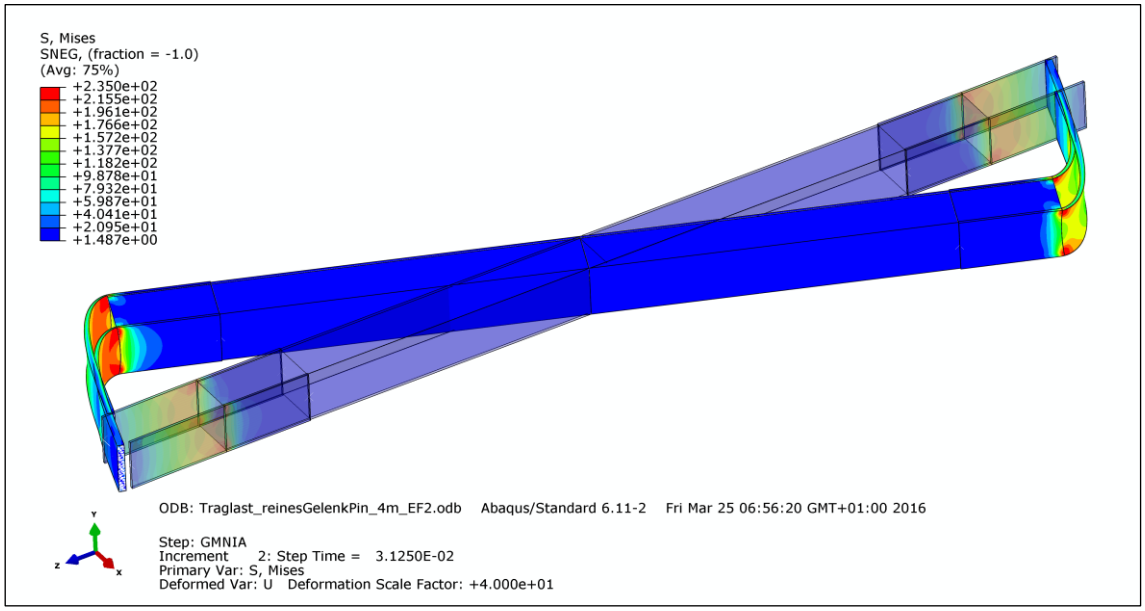
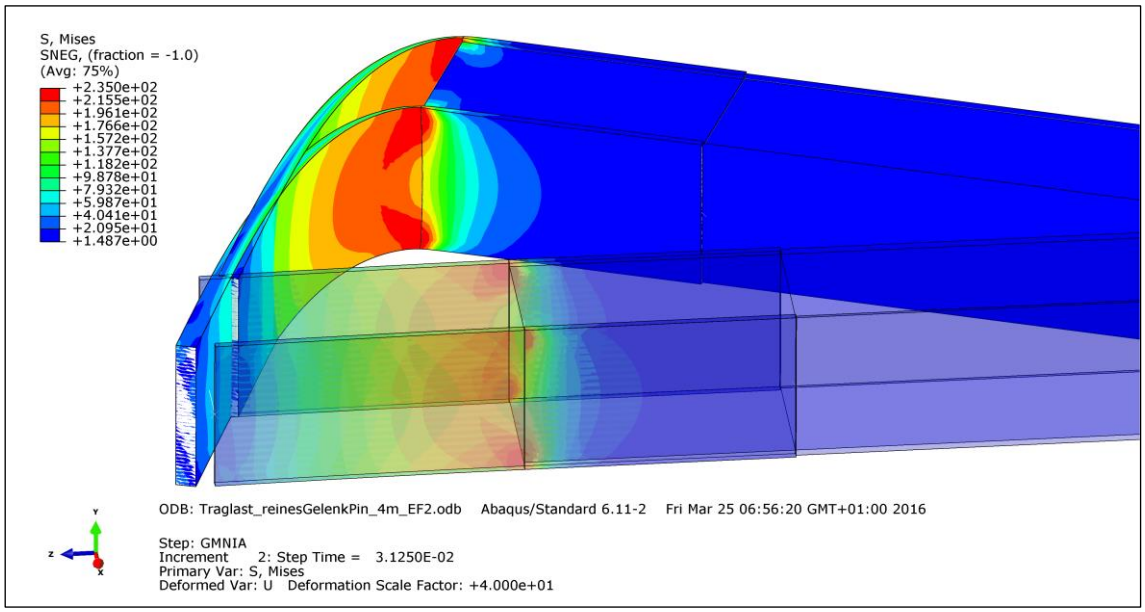


Abbildung 9-163: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





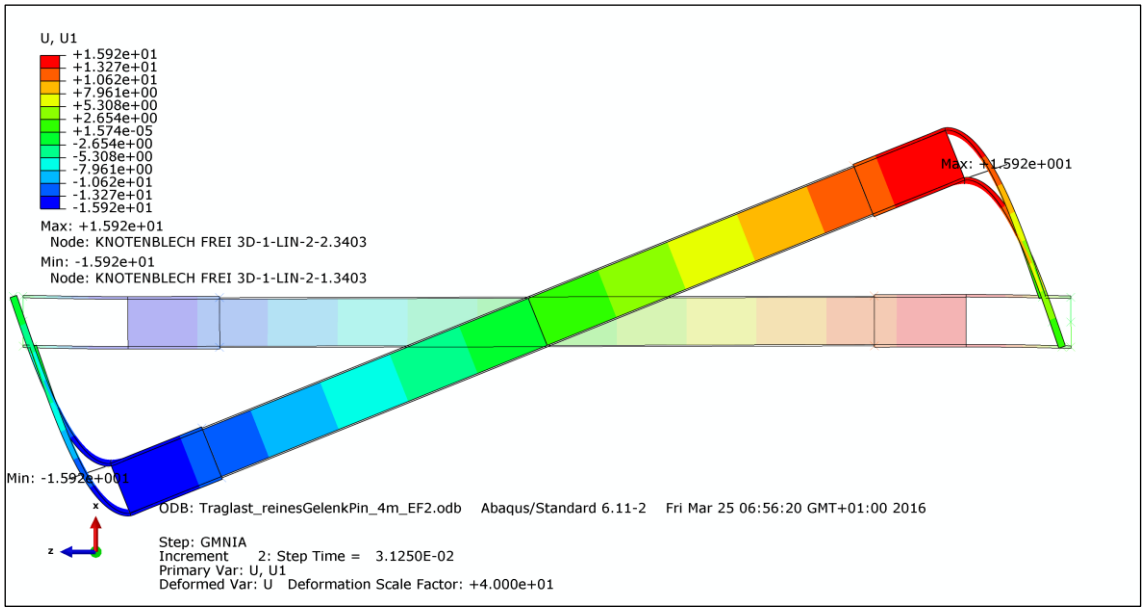


Abbildung 9-164: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm**

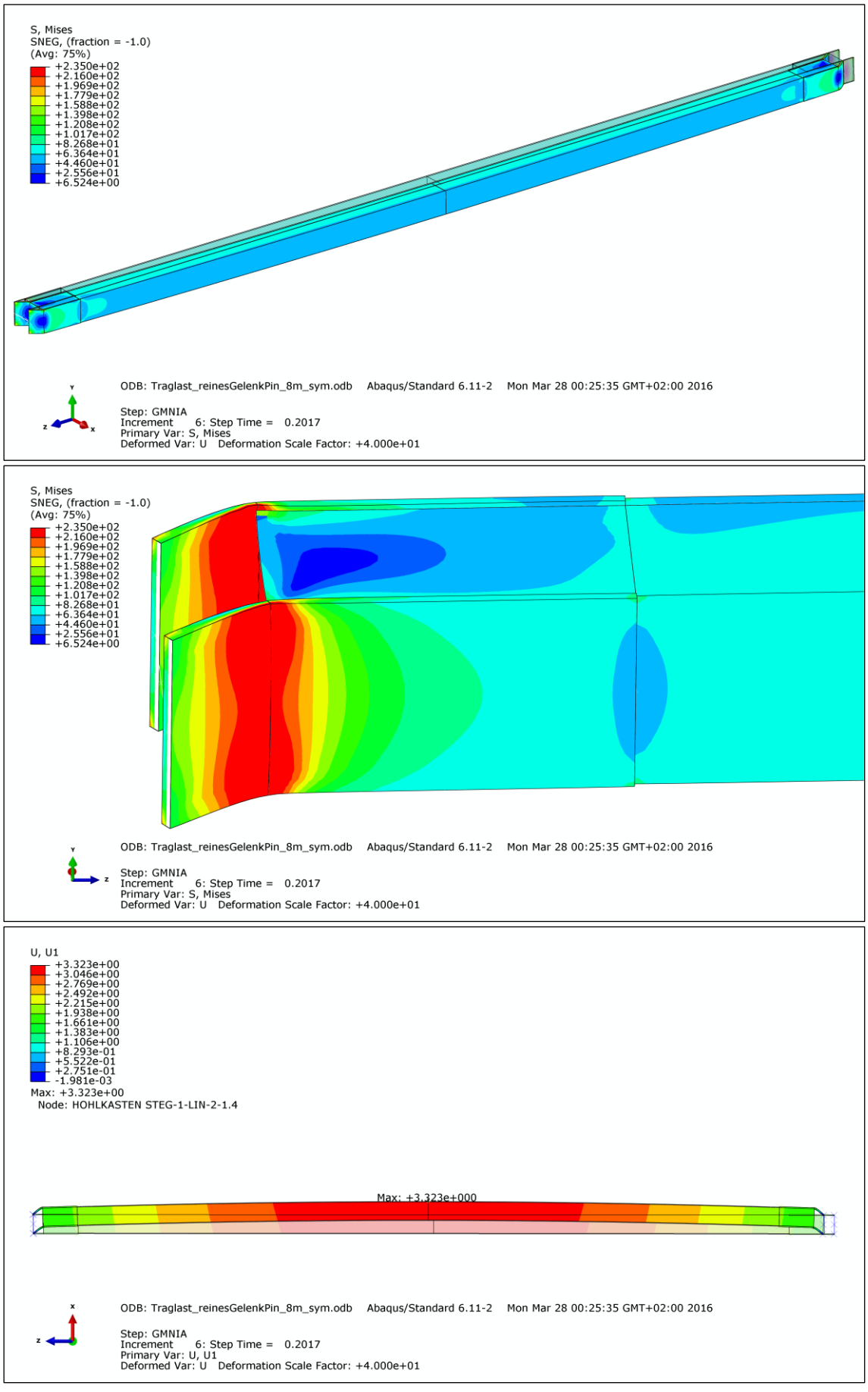
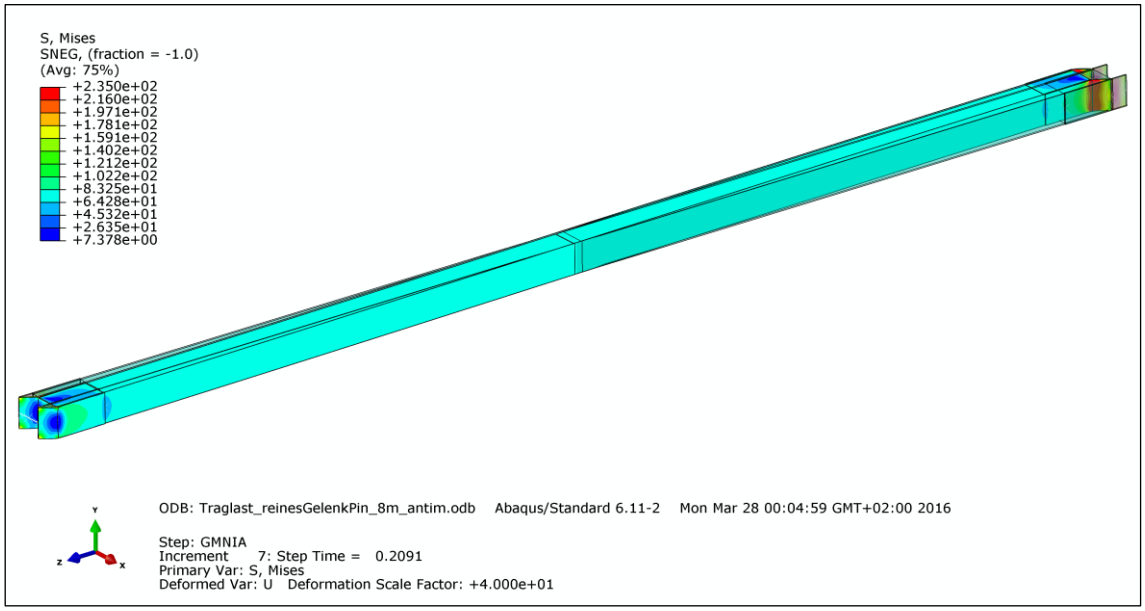
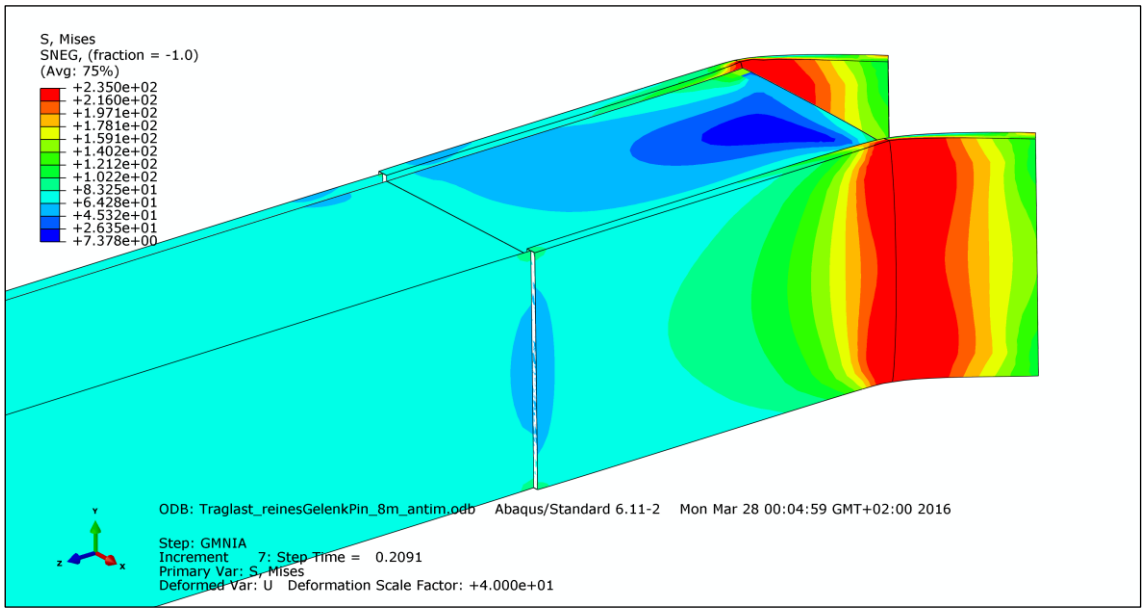


Abbildung 9-165: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





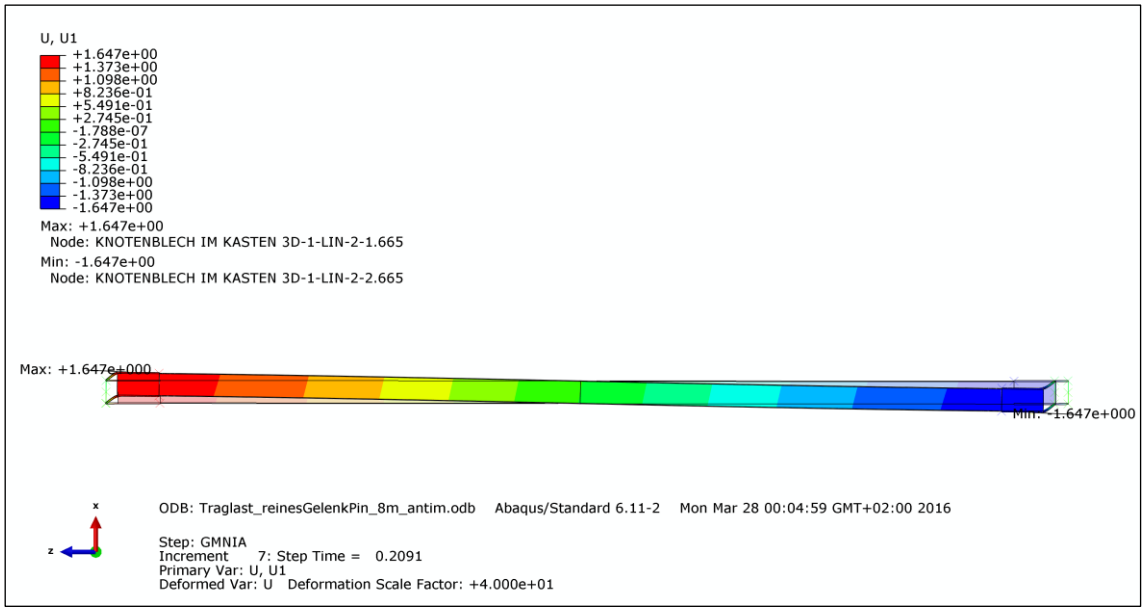
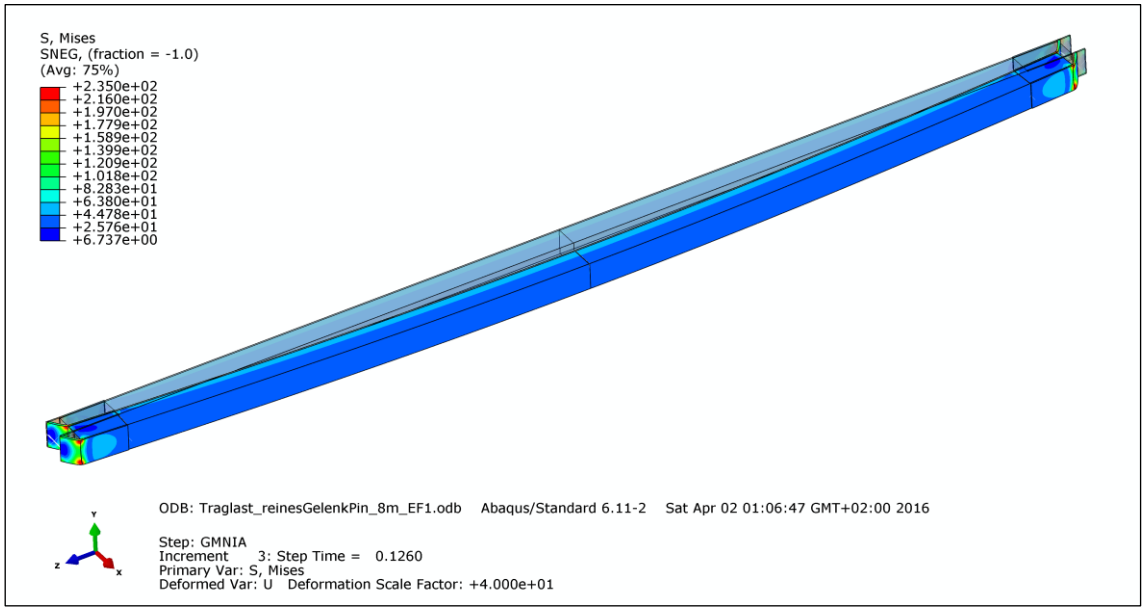
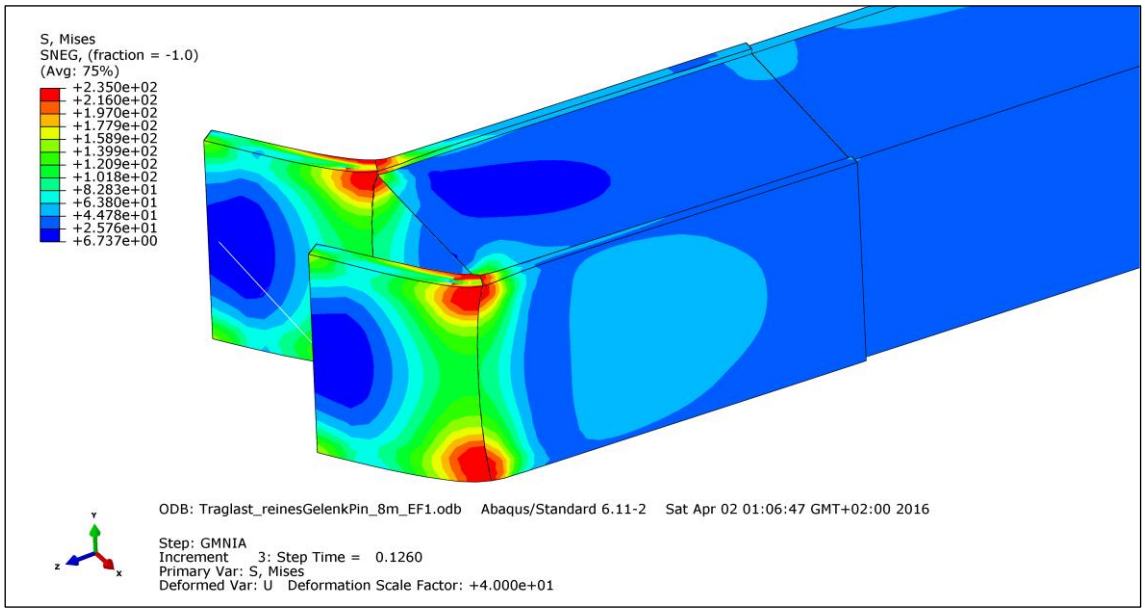


Abbildung 9-166: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





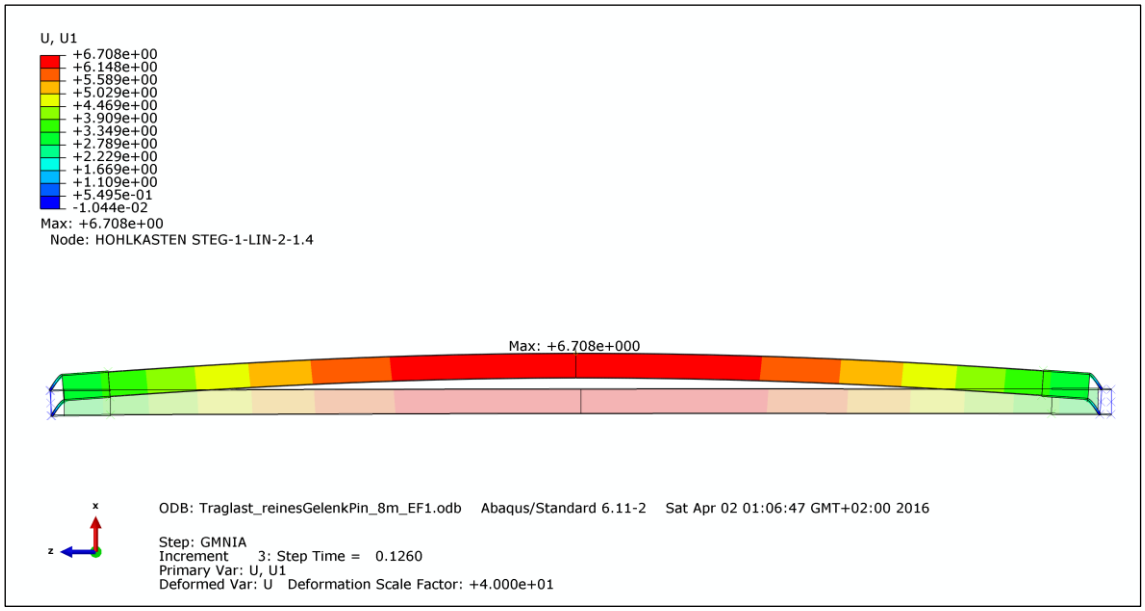
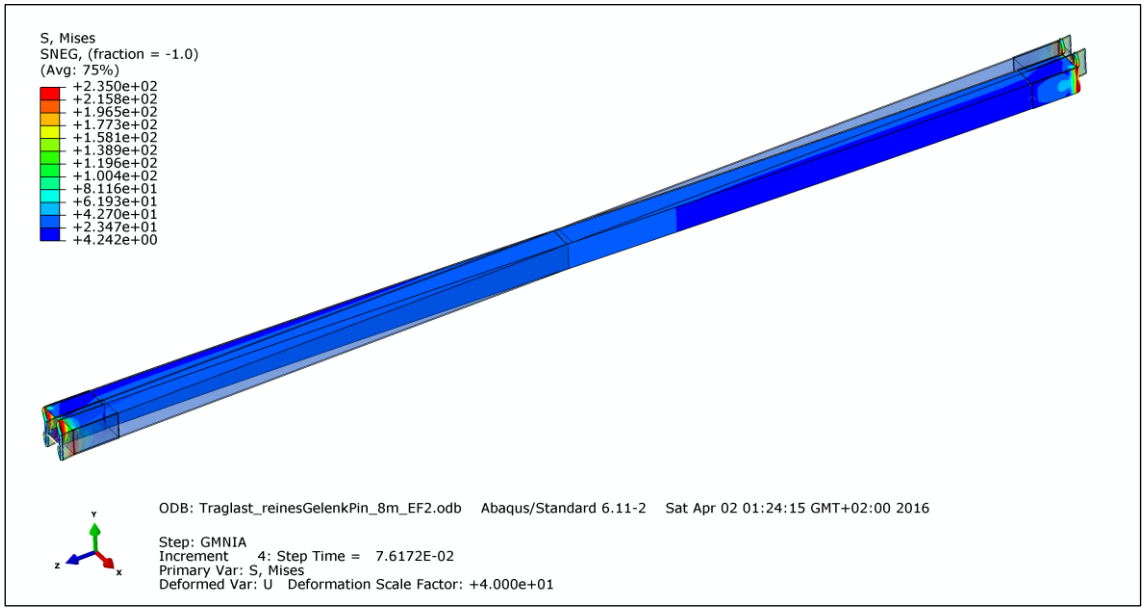
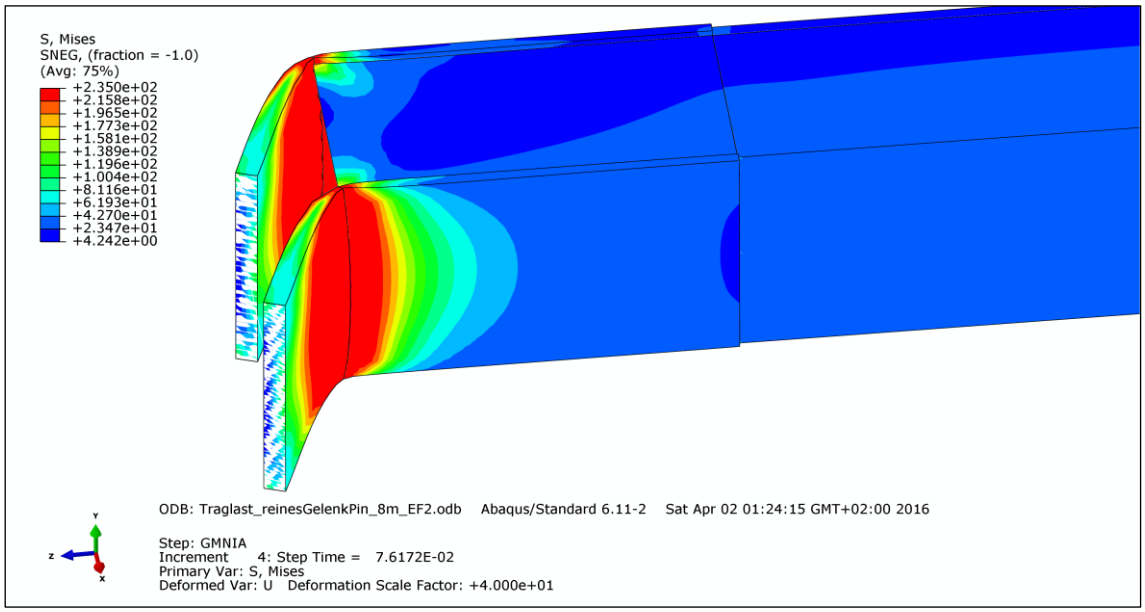


Abbildung 9-167: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





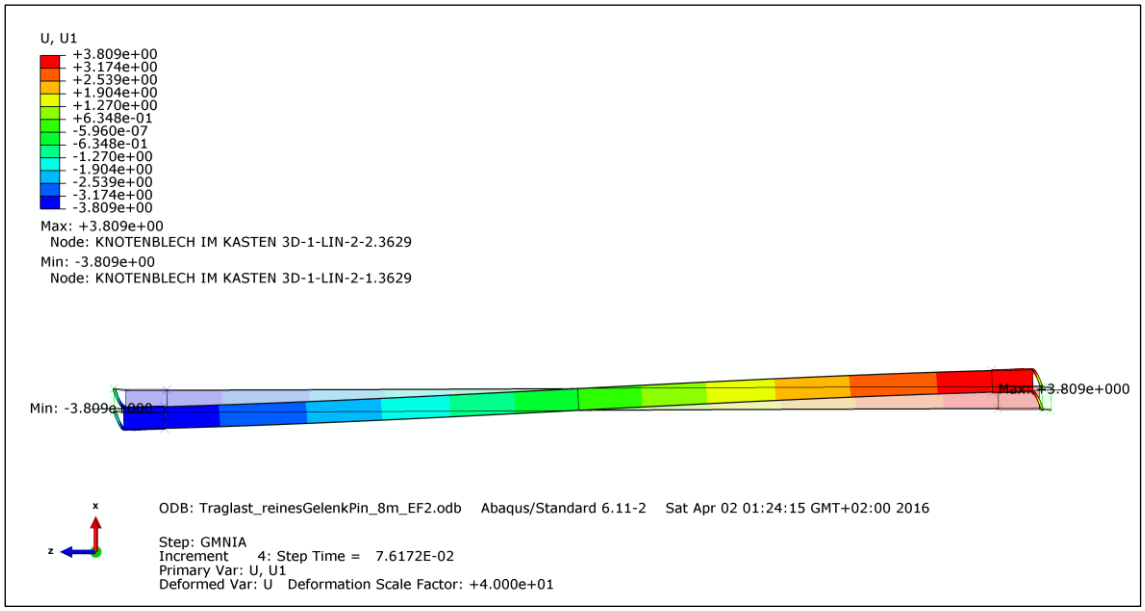
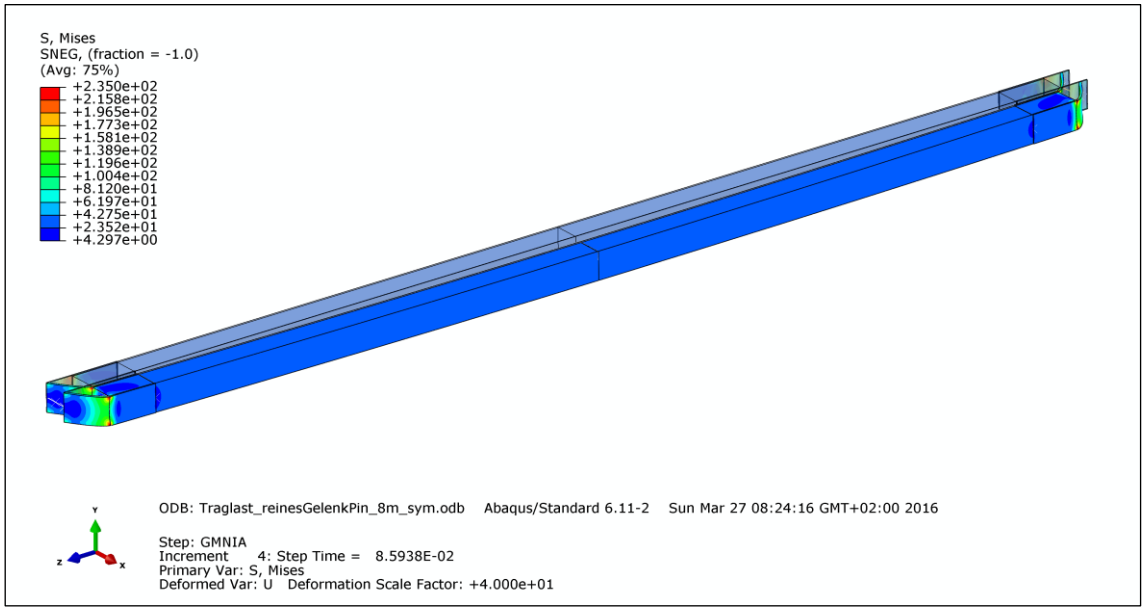
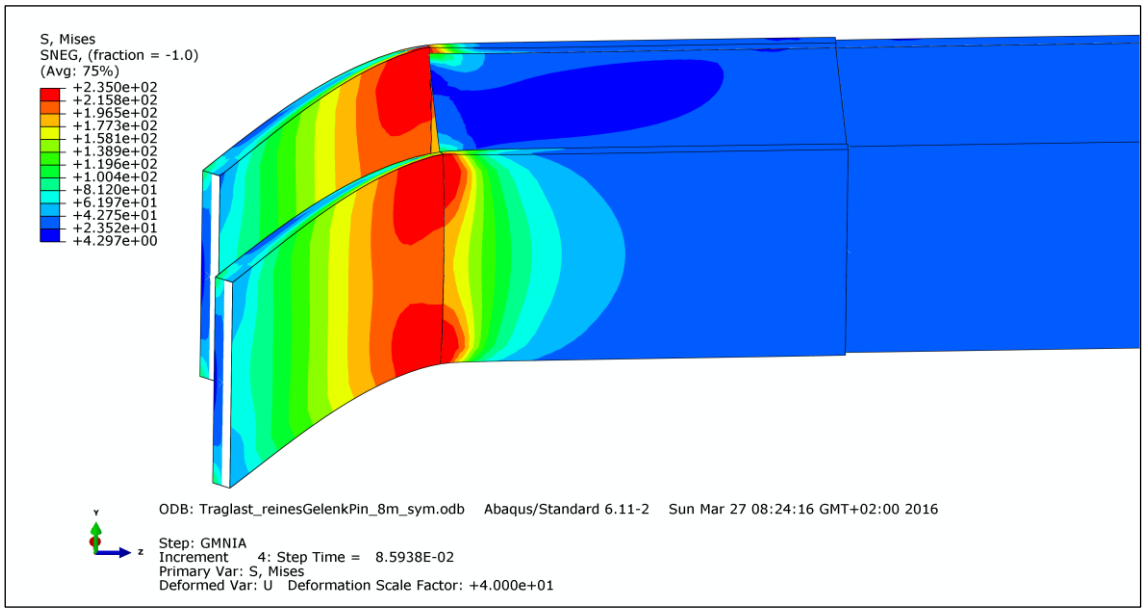


Abbildung 9-168: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





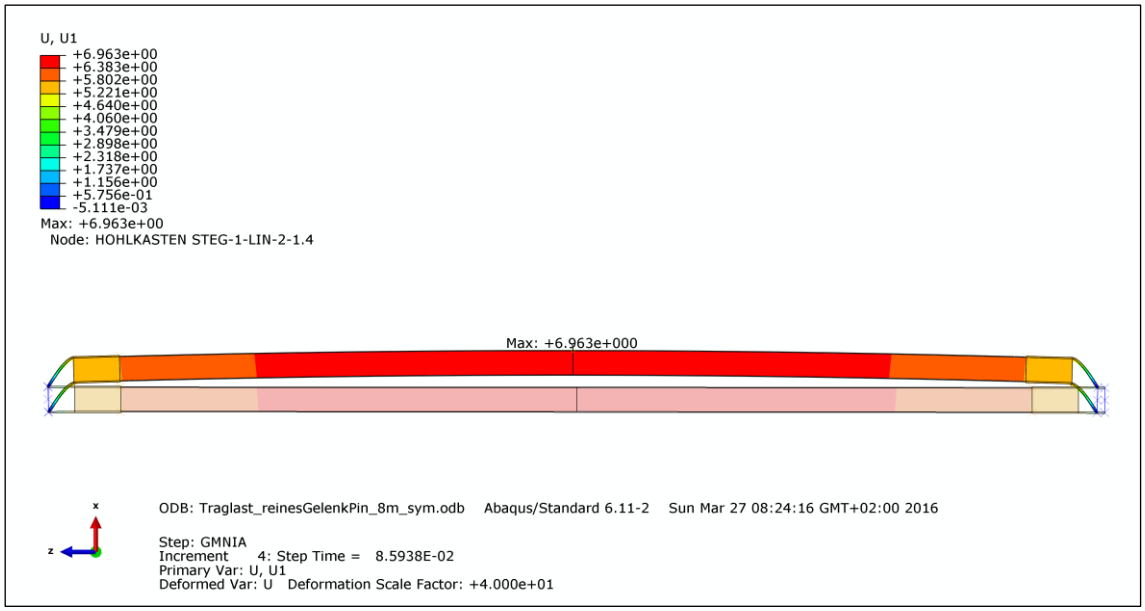


Abbildung 9-169: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)

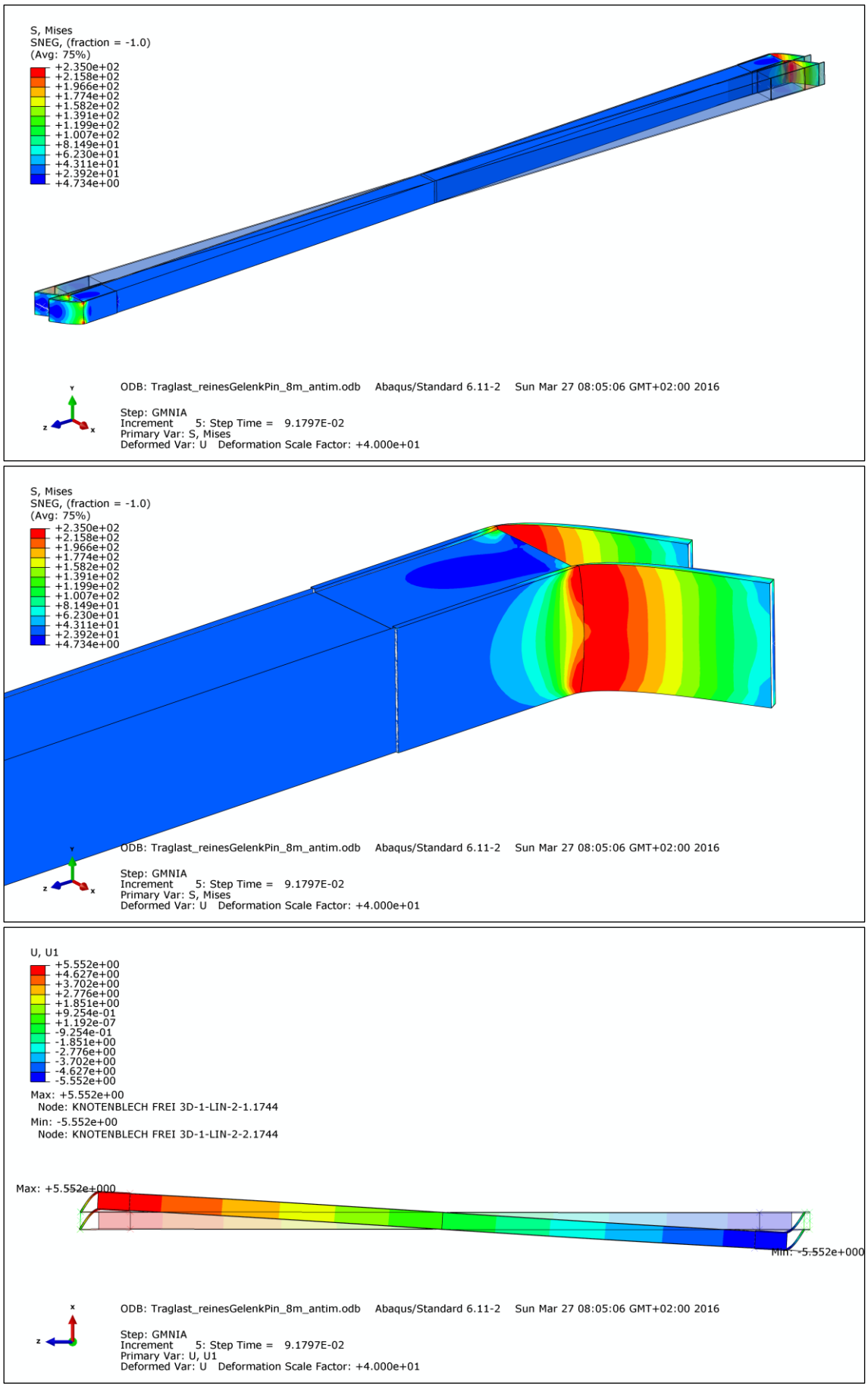
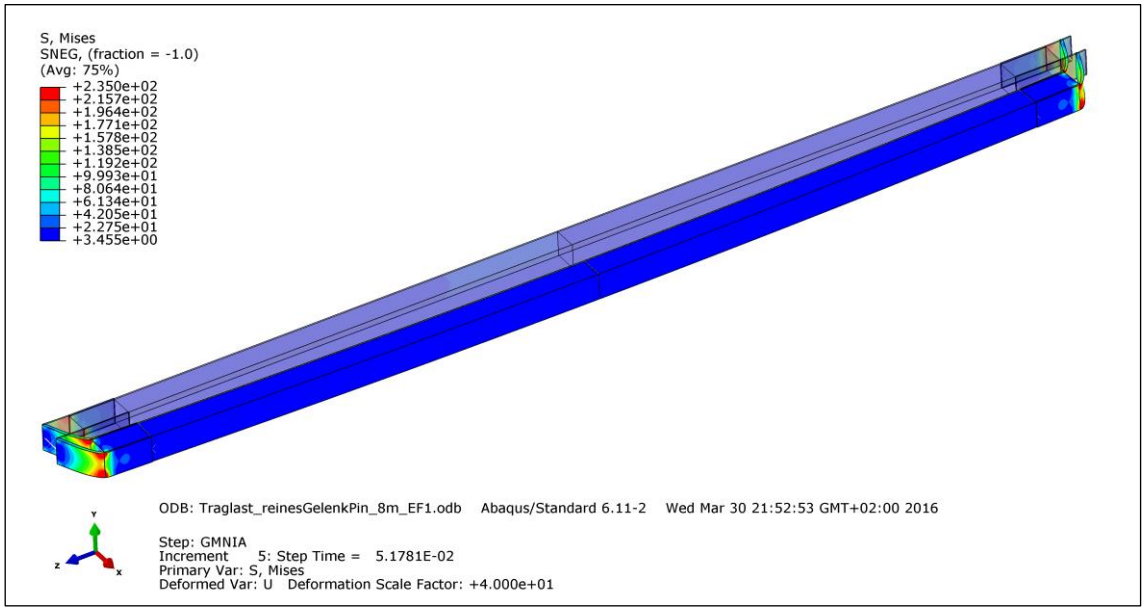
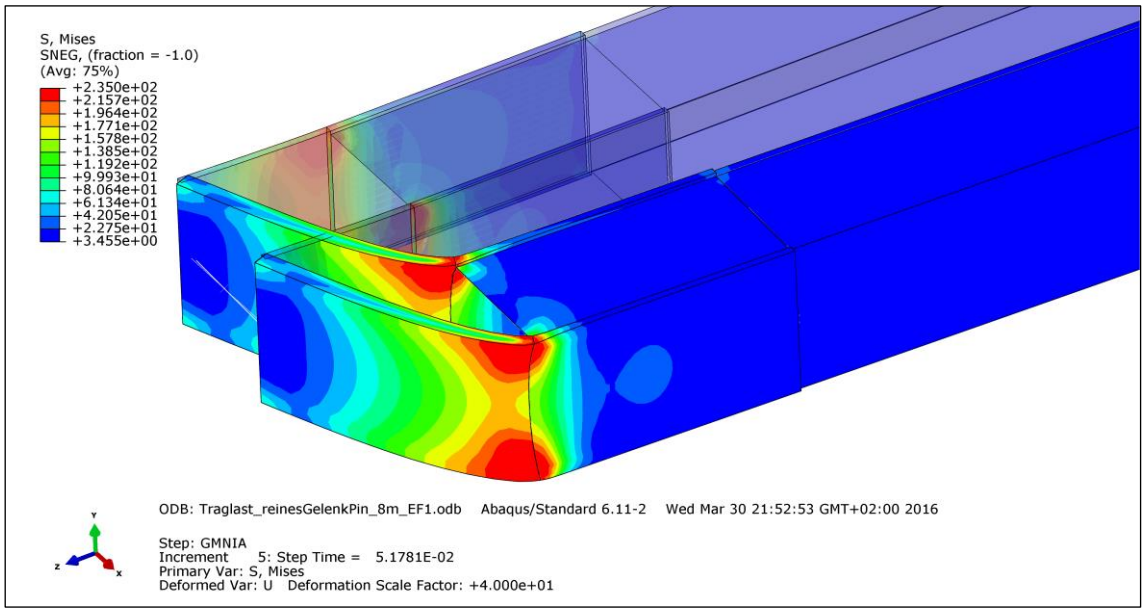


Abbildung 9-170: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





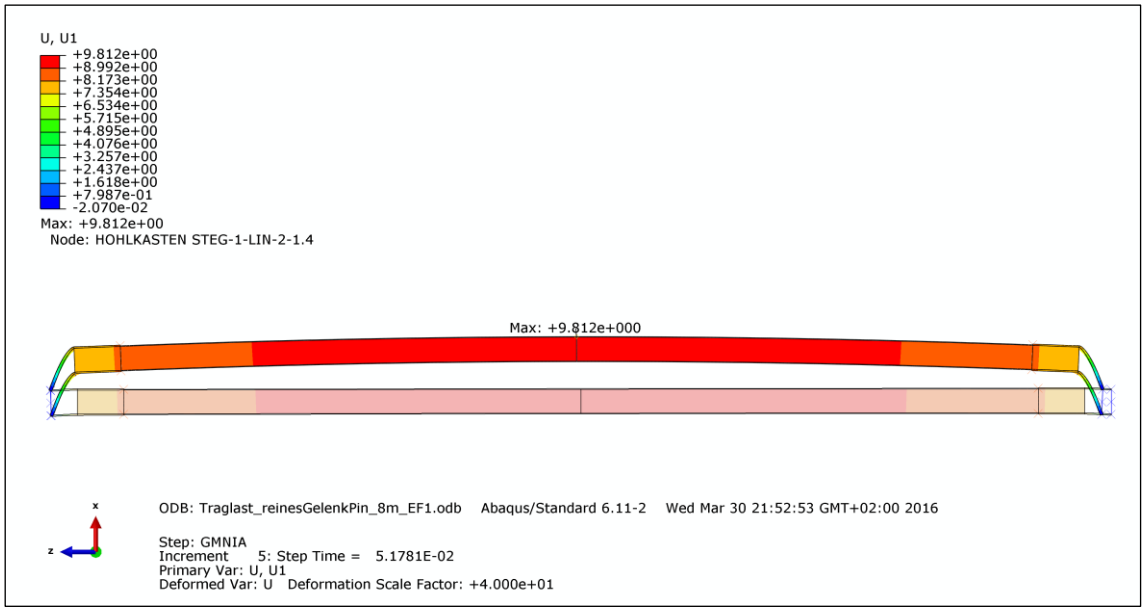
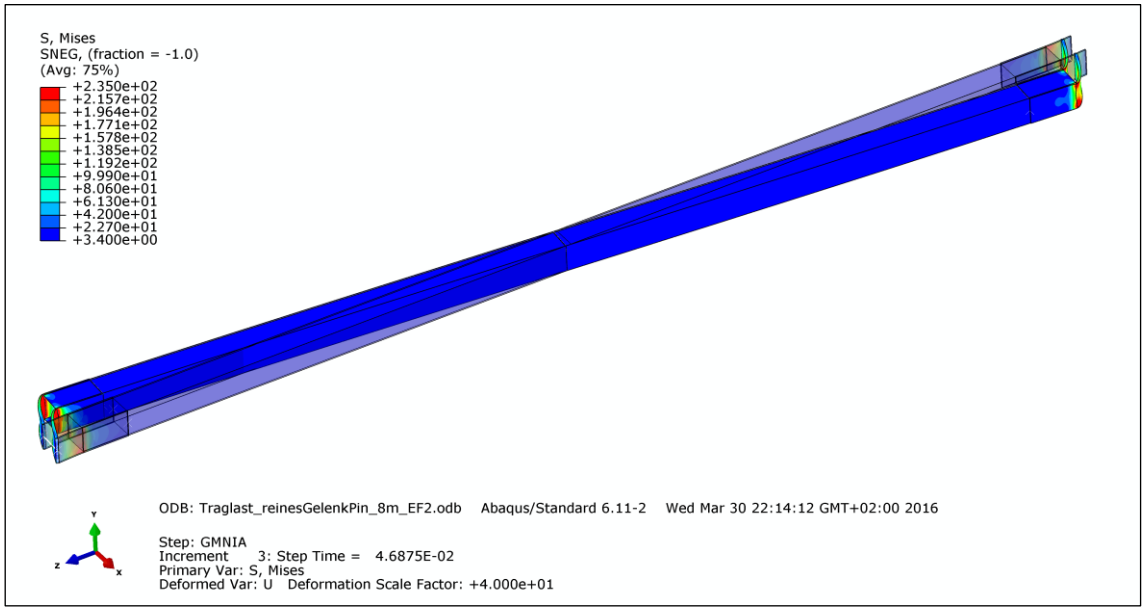
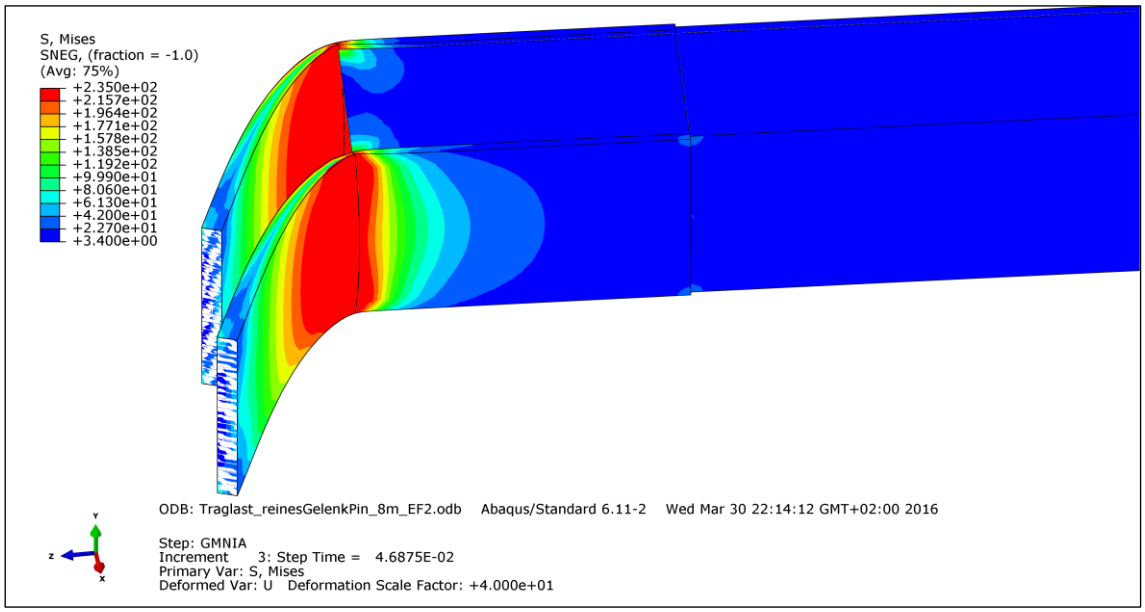


Abbildung 9-171: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





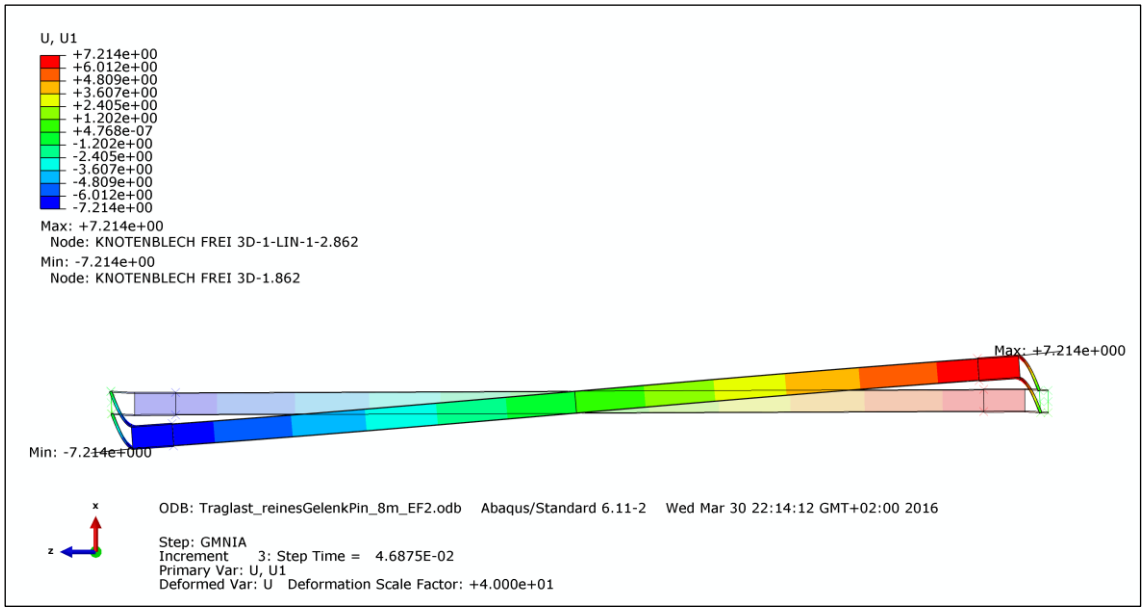
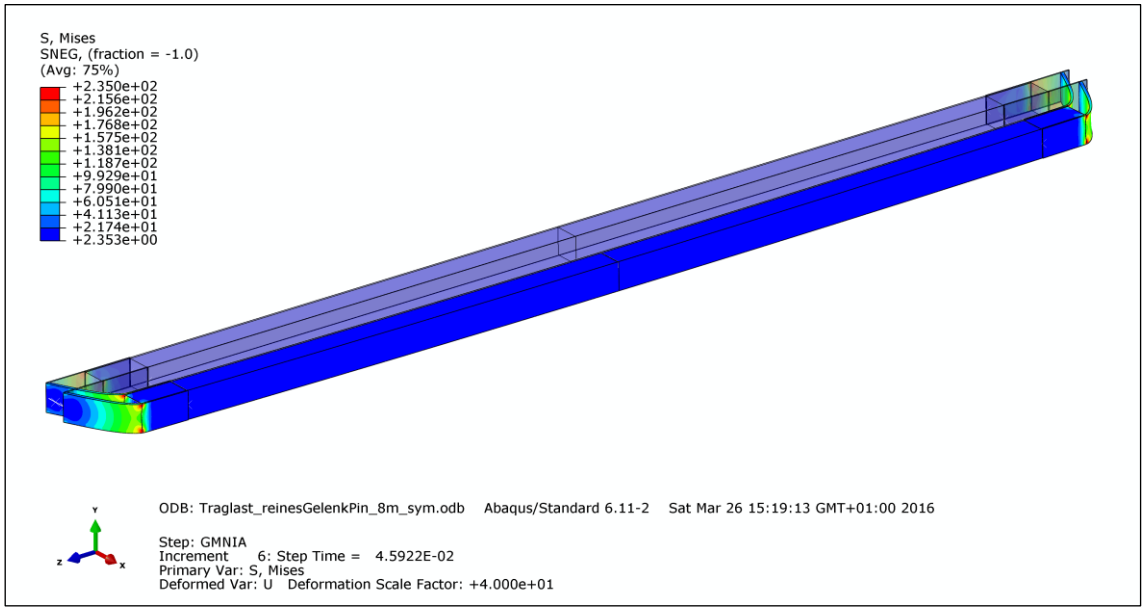
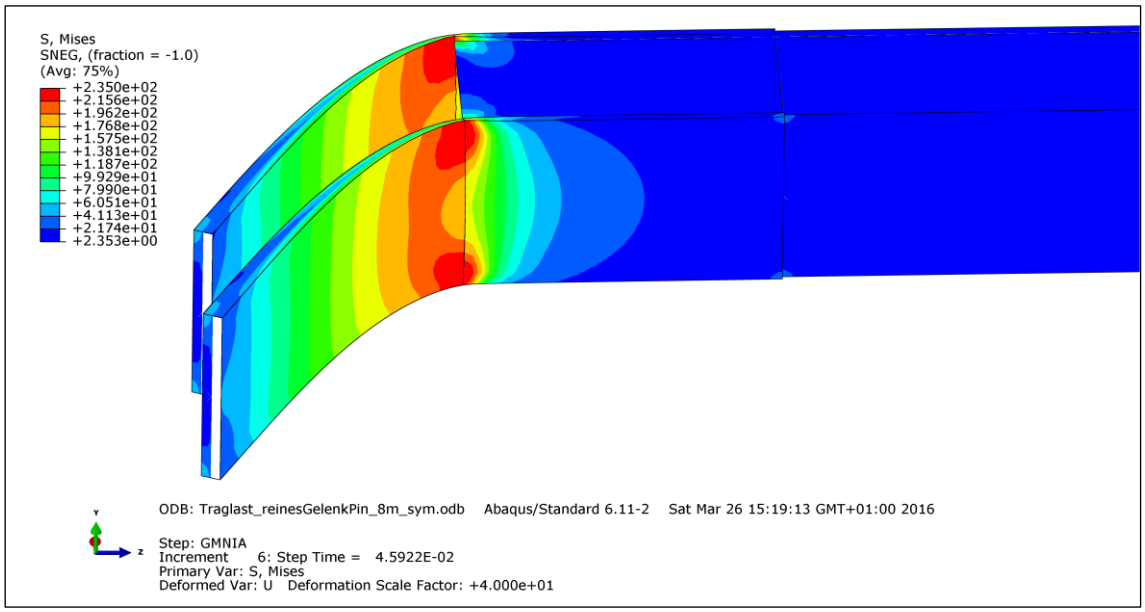


Abbildung 9-172: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





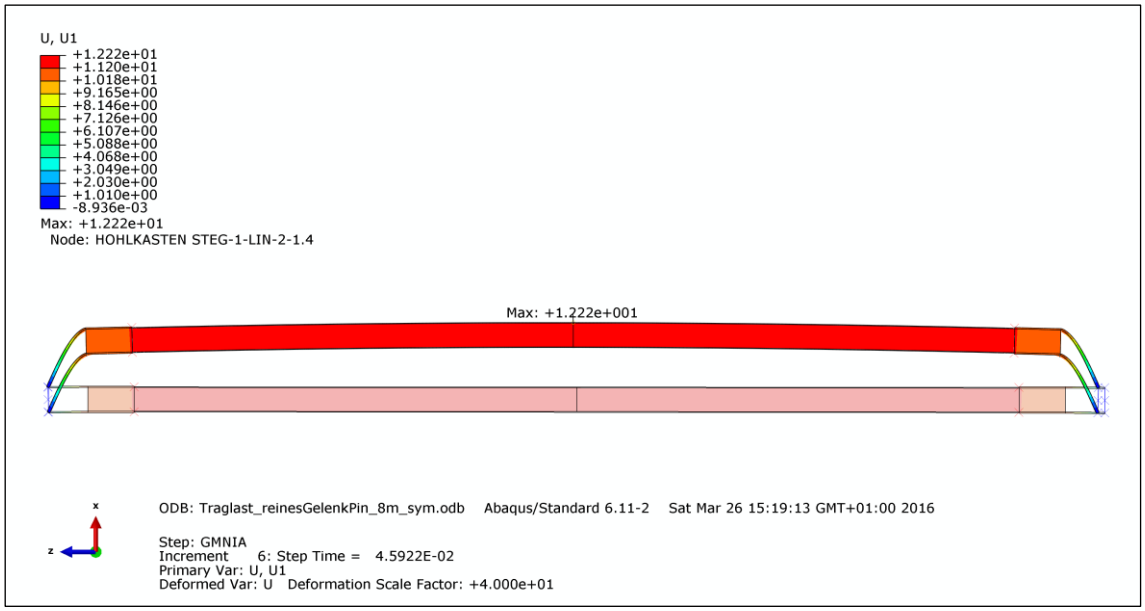
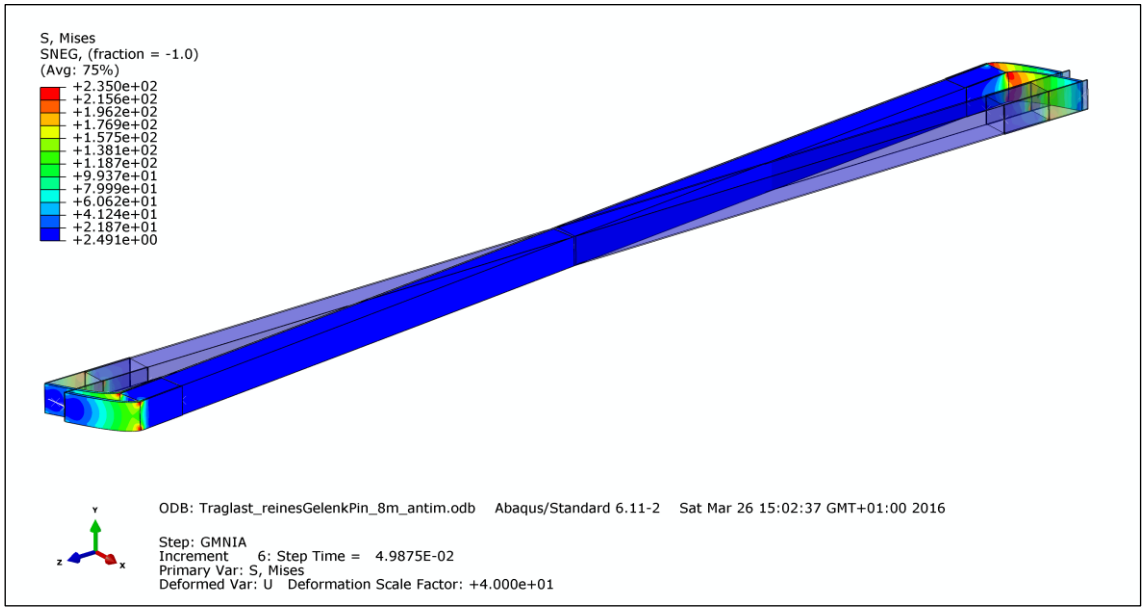
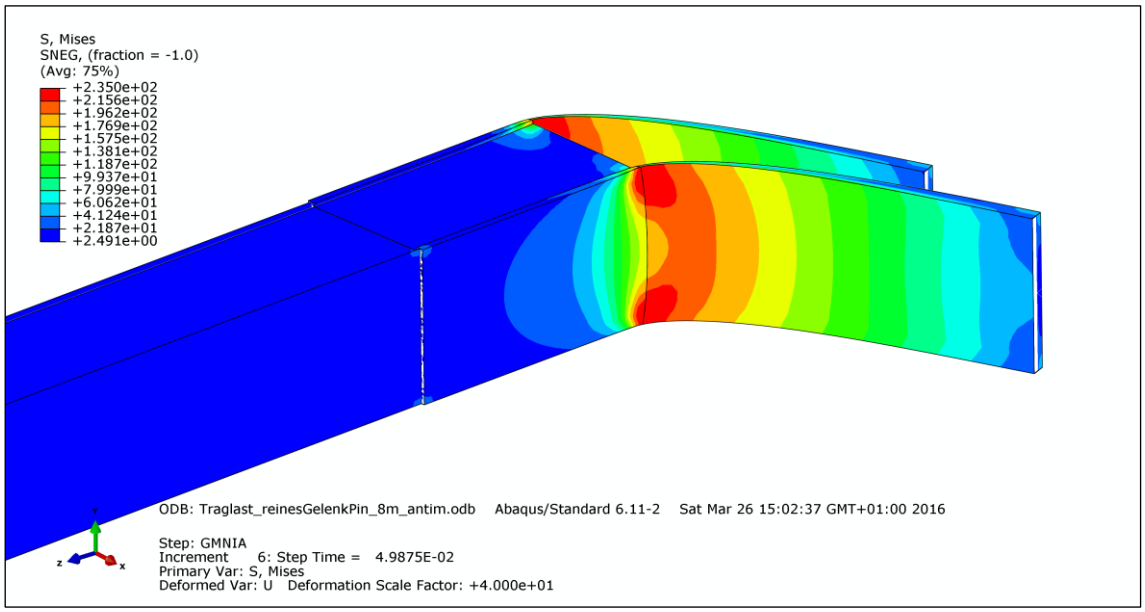


Abbildung 9-173: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





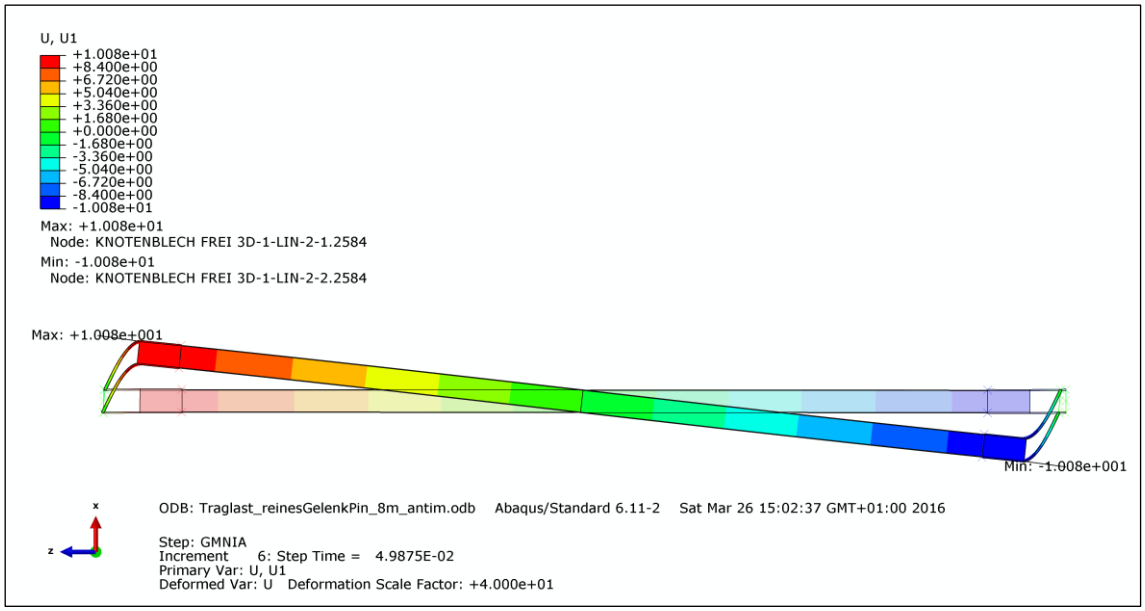
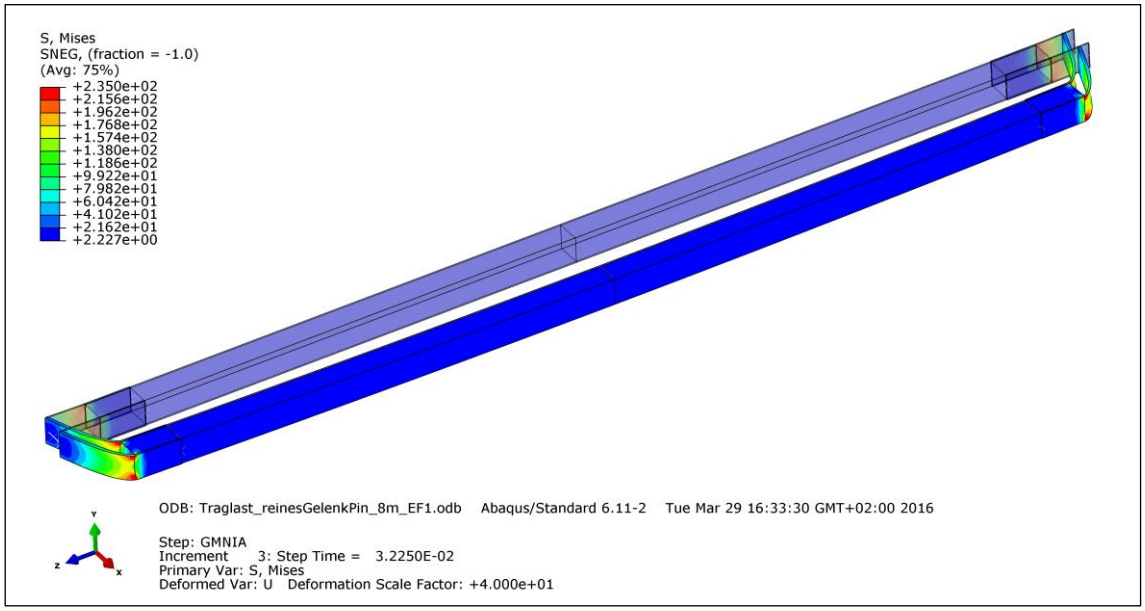
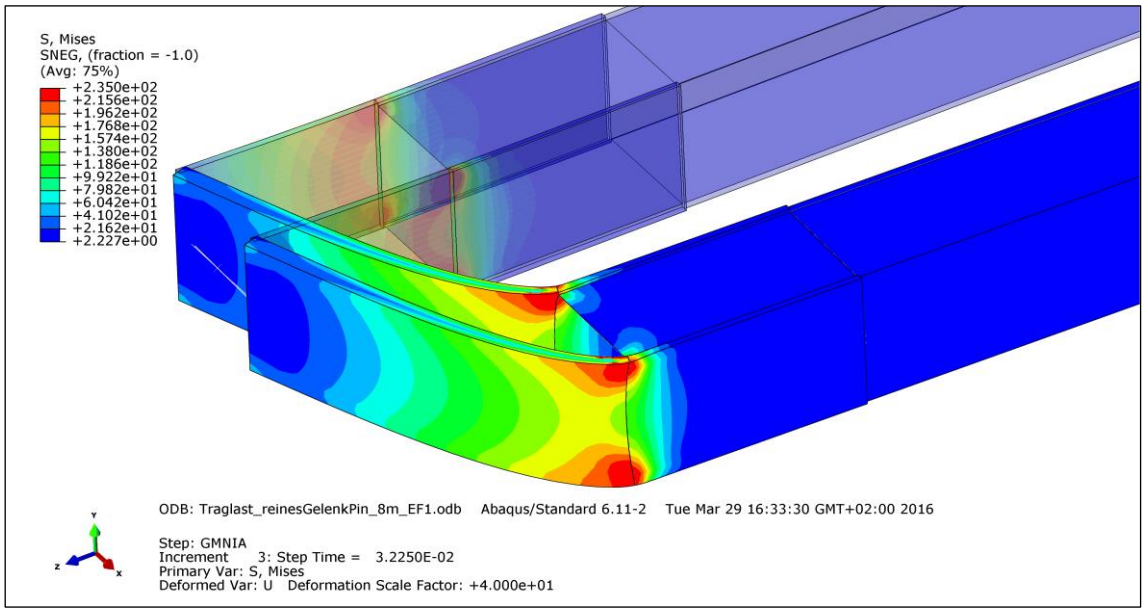


Abbildung 9-174: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





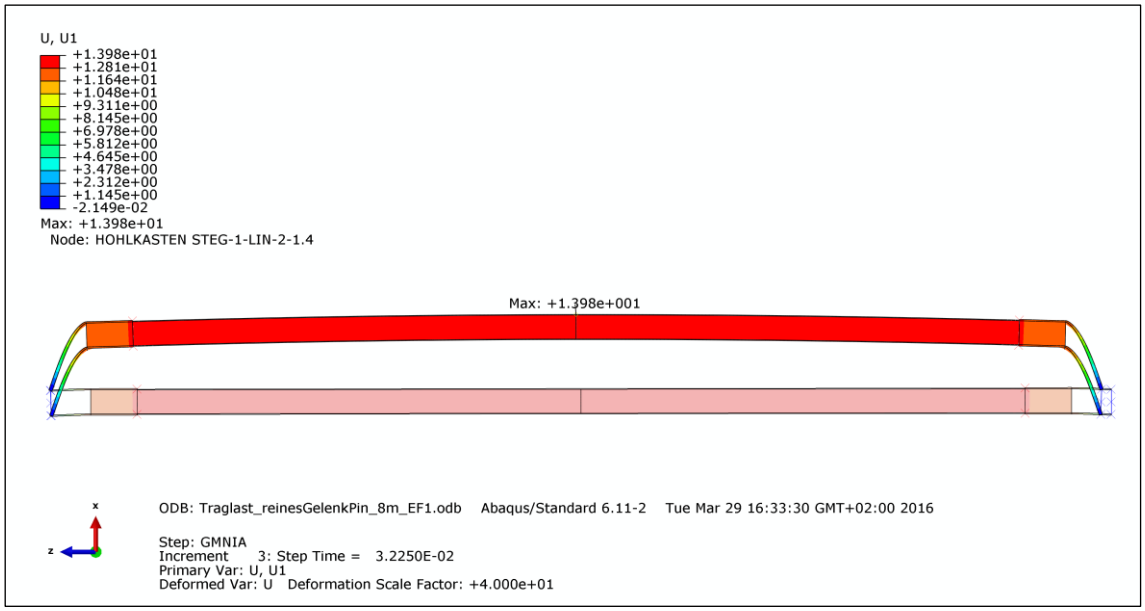
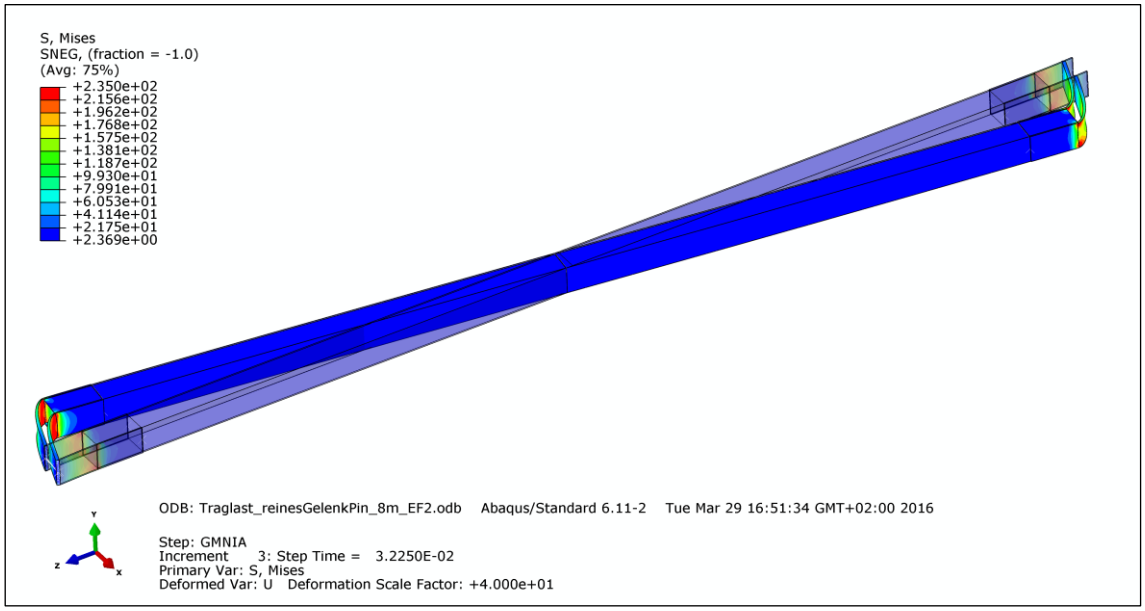
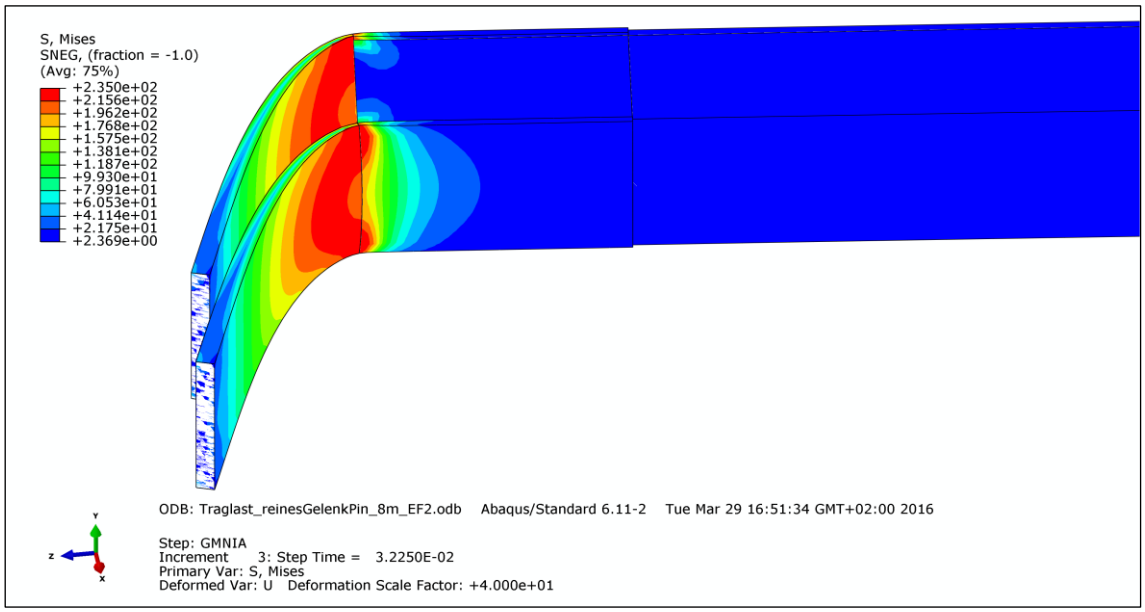


Abbildung 9-175: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





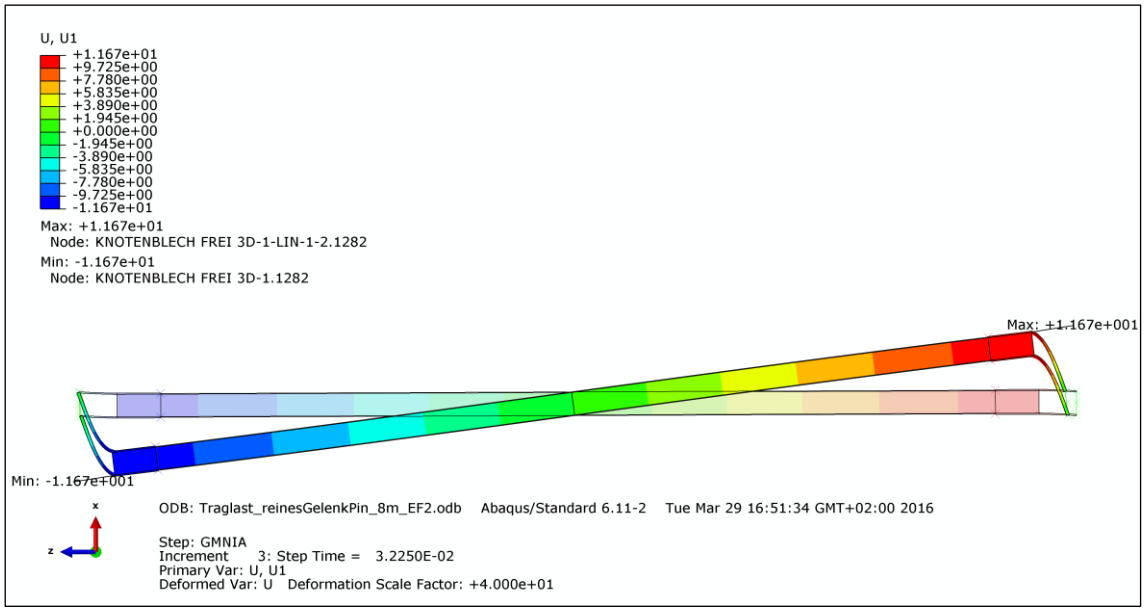
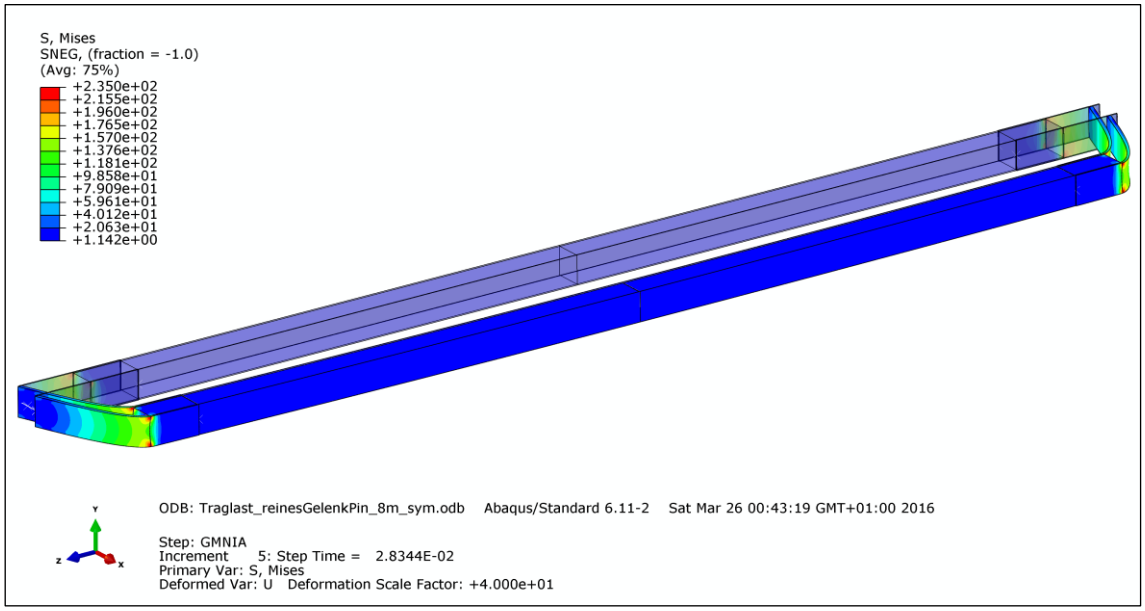
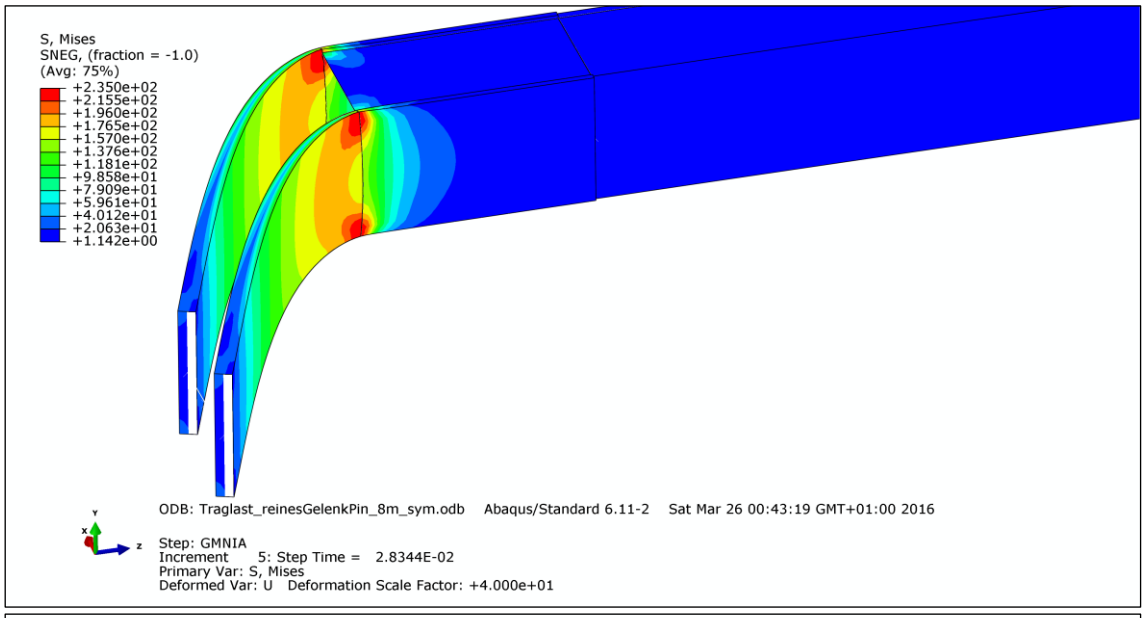


Abbildung 9-176: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





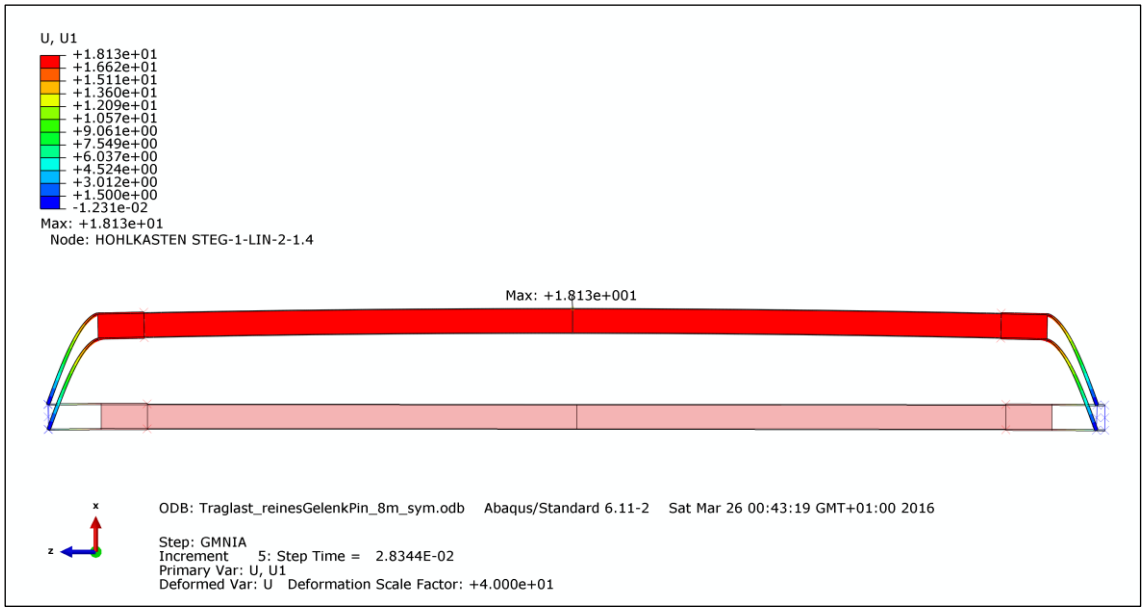
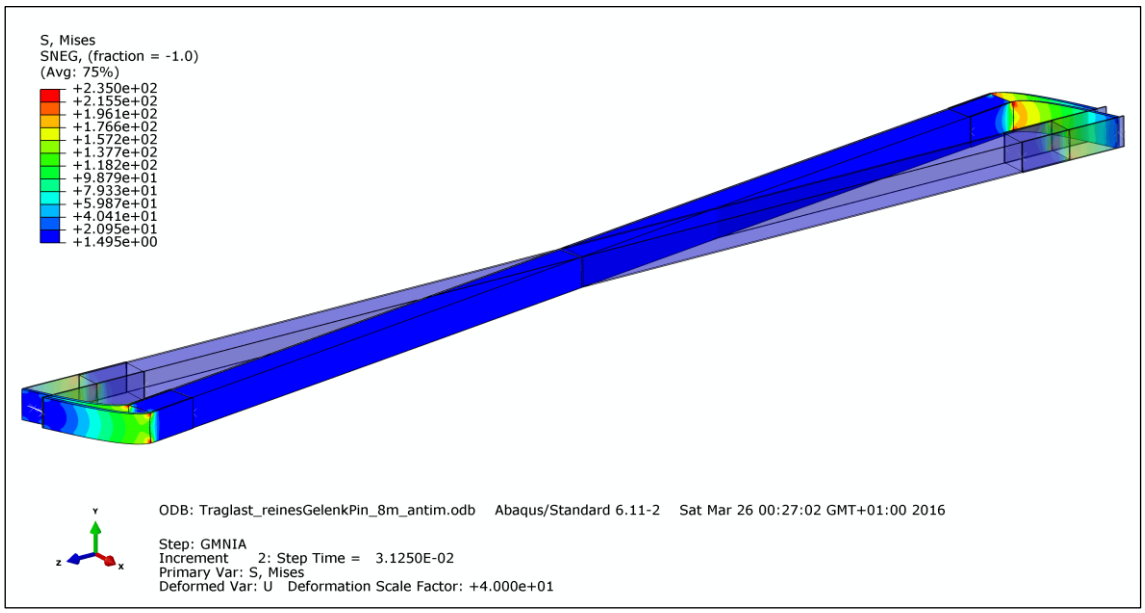
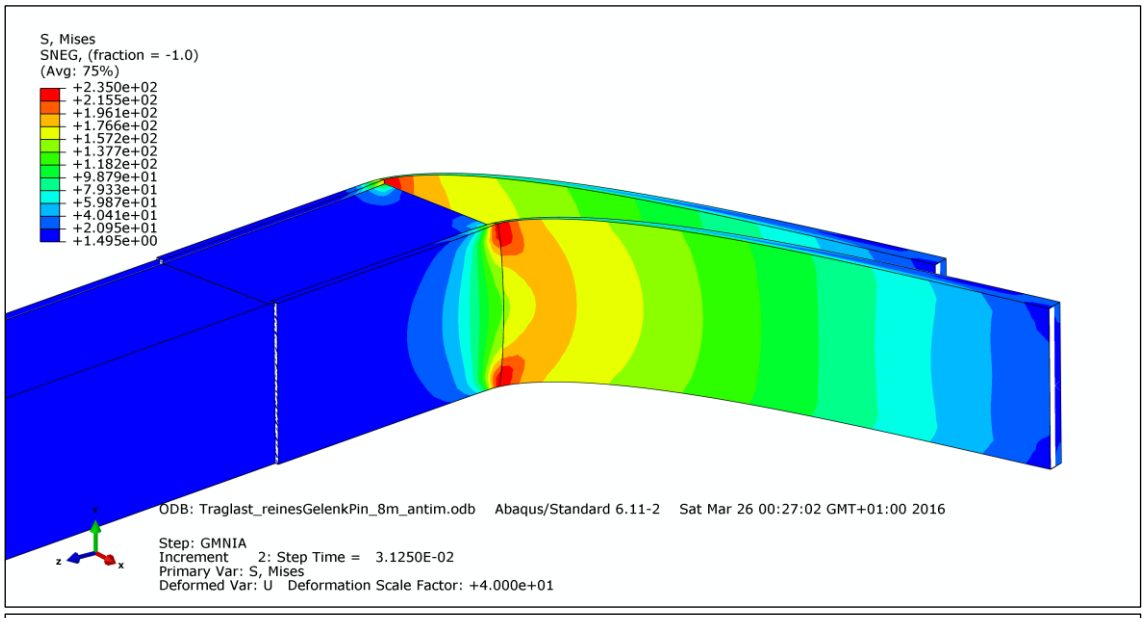


Abbildung 9-177: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





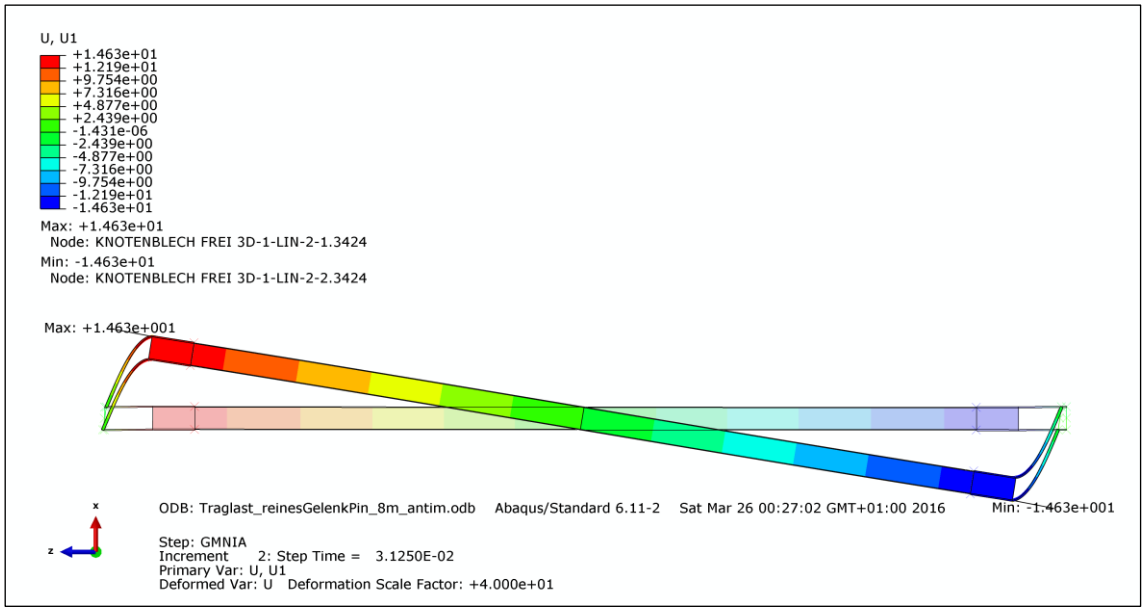
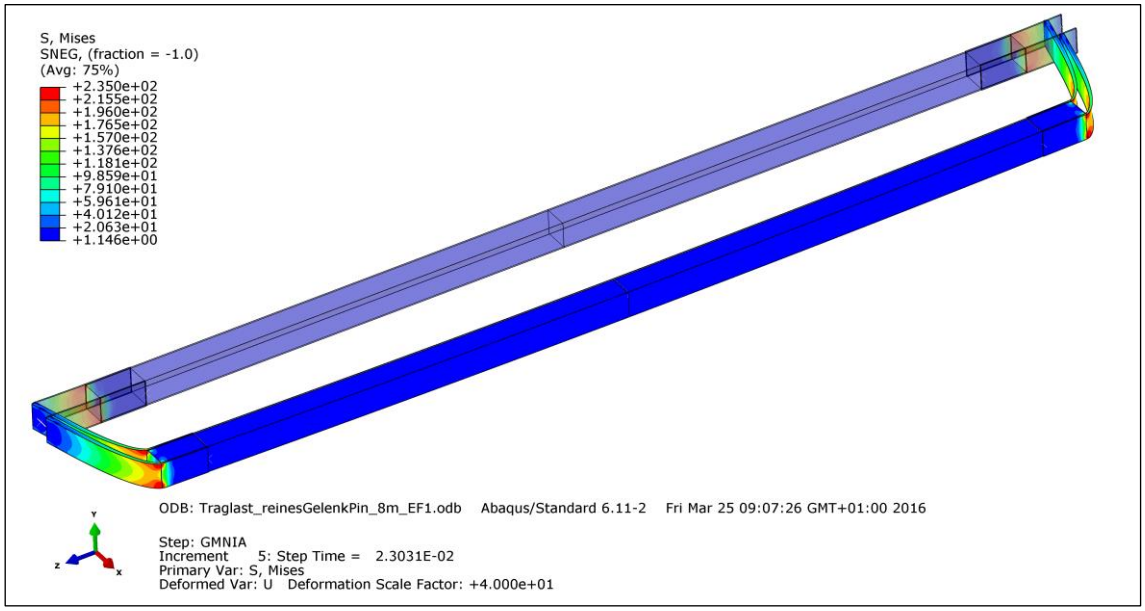
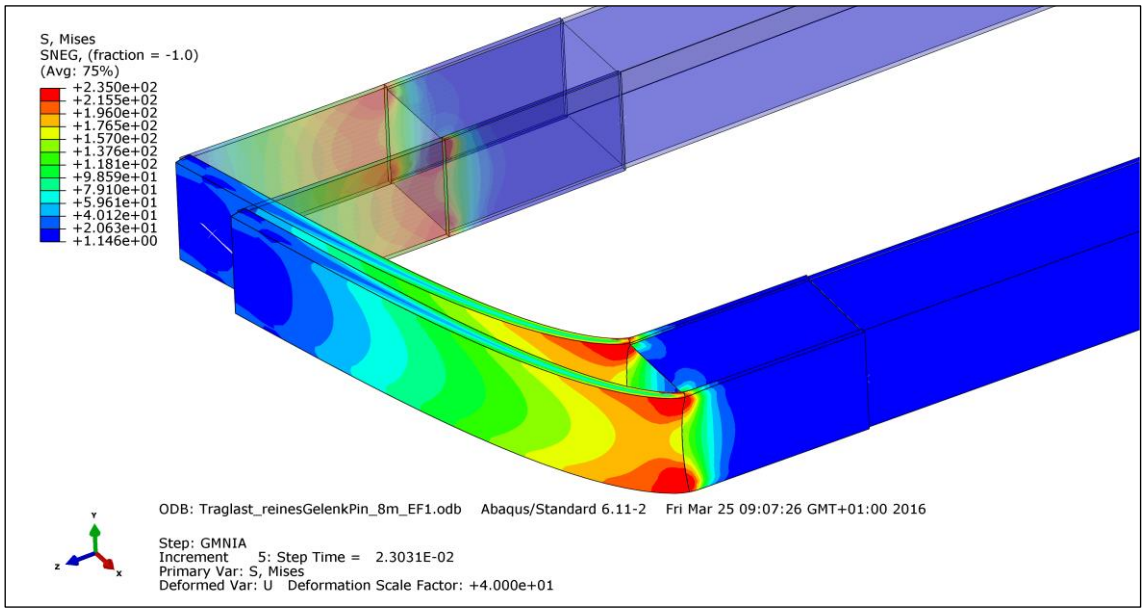


Abbildung 9-178: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





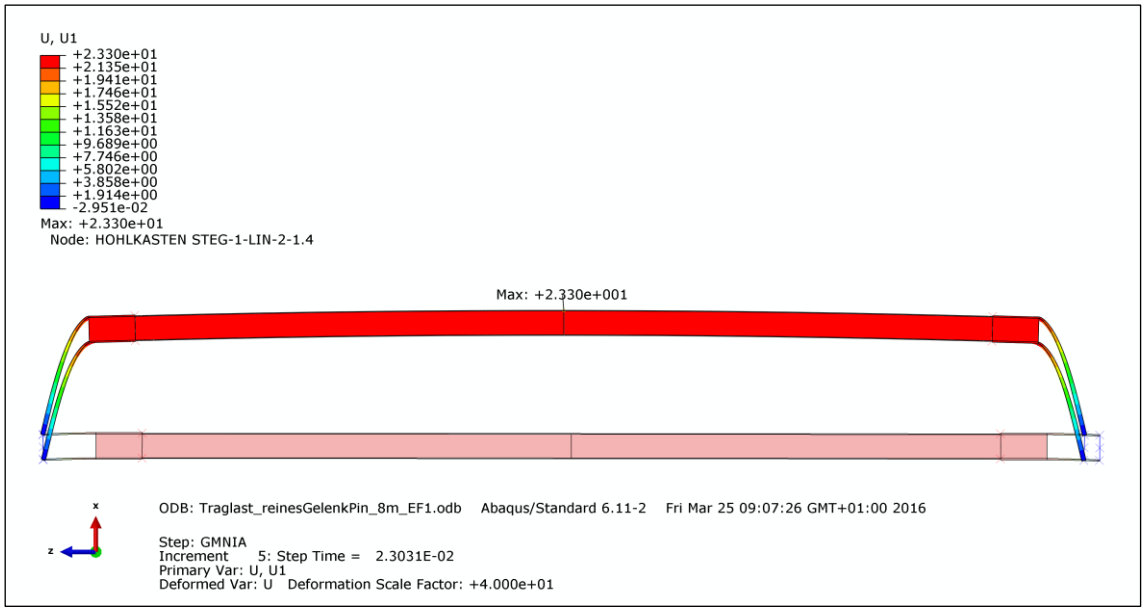
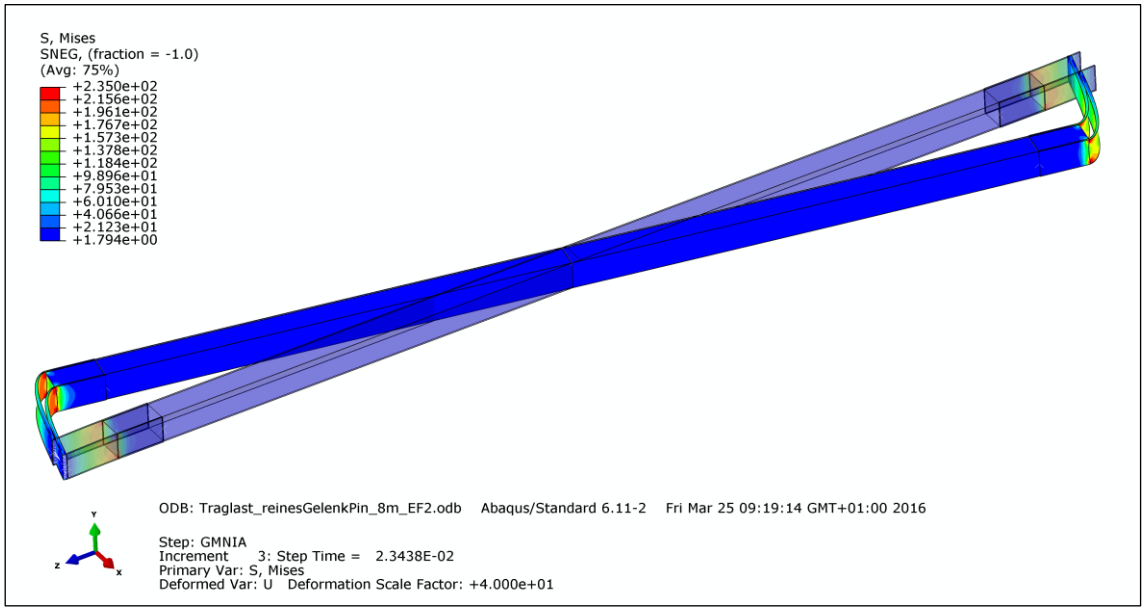
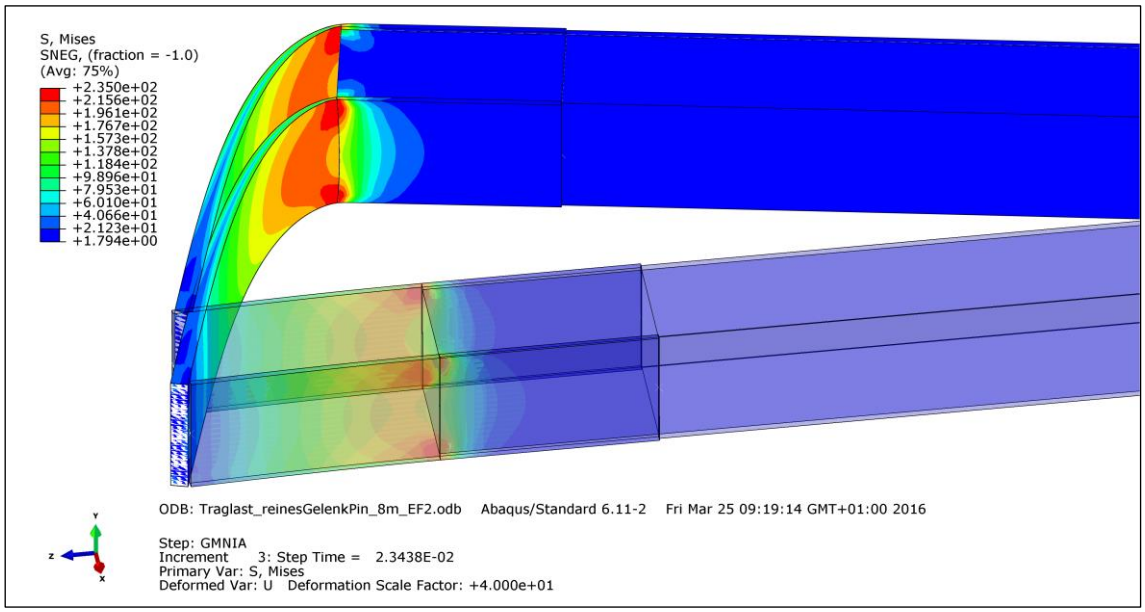


Abbildung 9-179: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





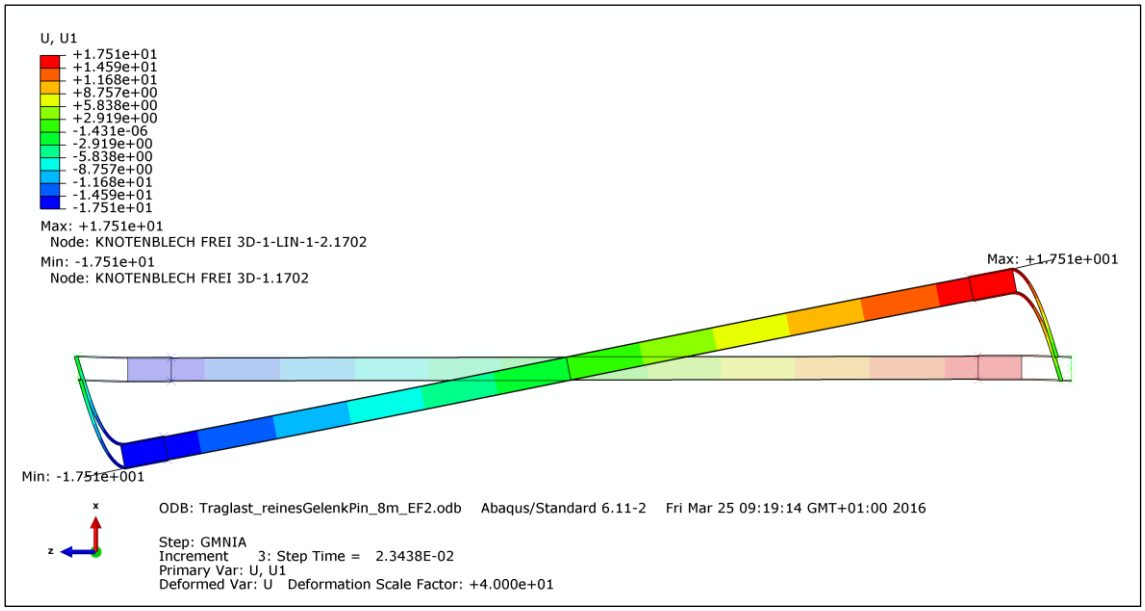


Abbildung 9-180: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm**

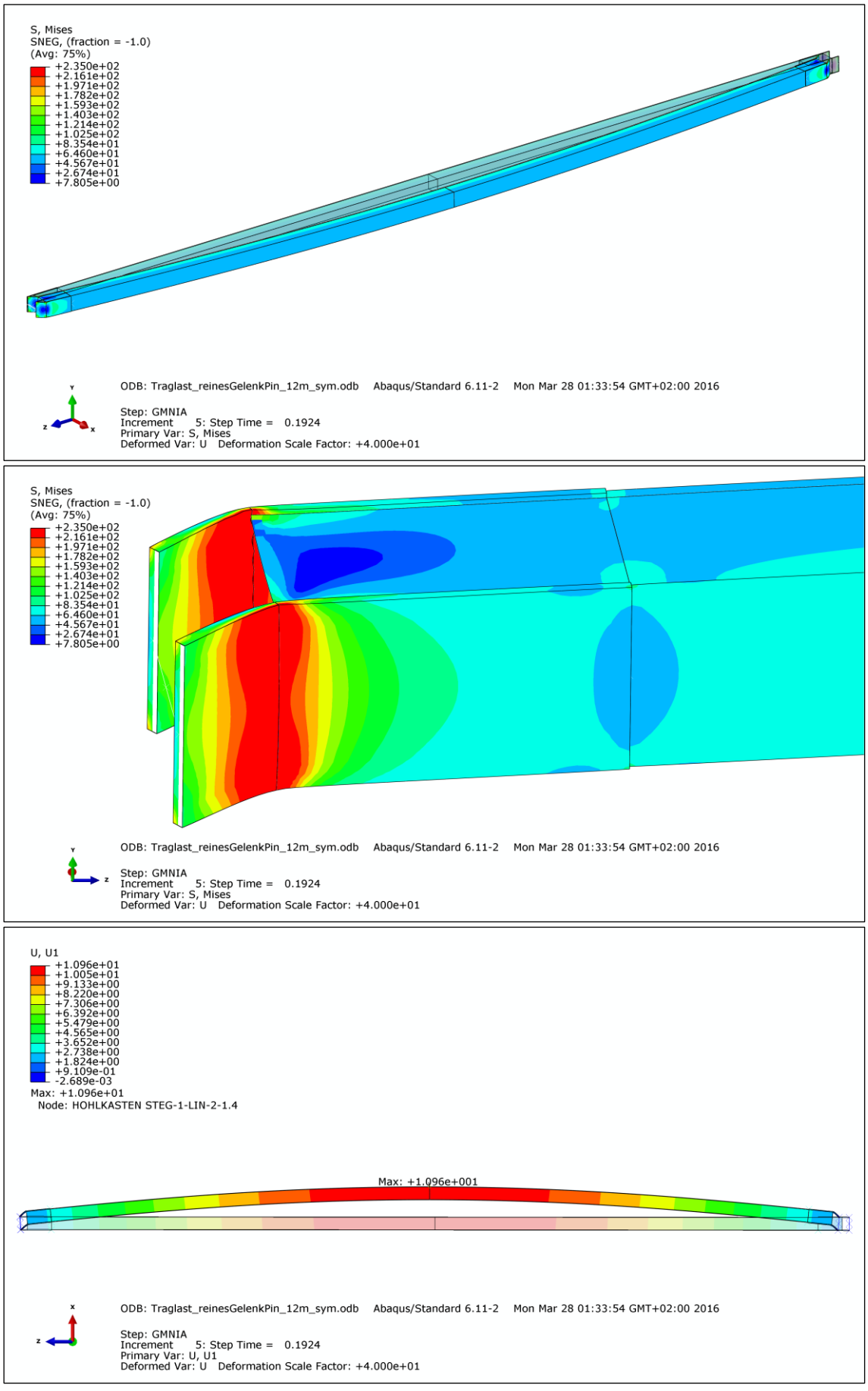
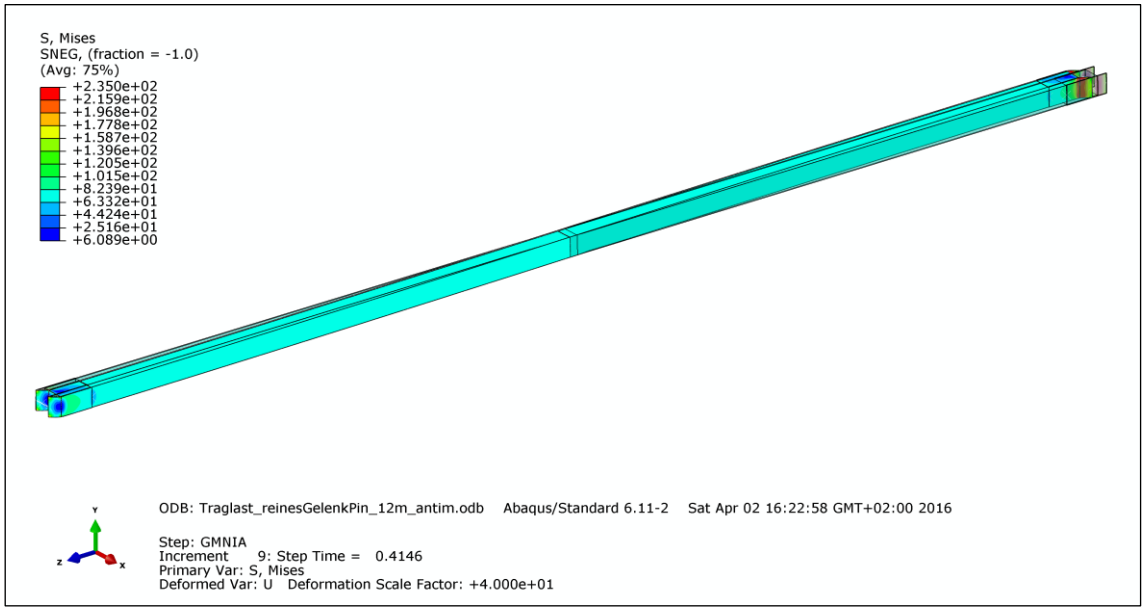
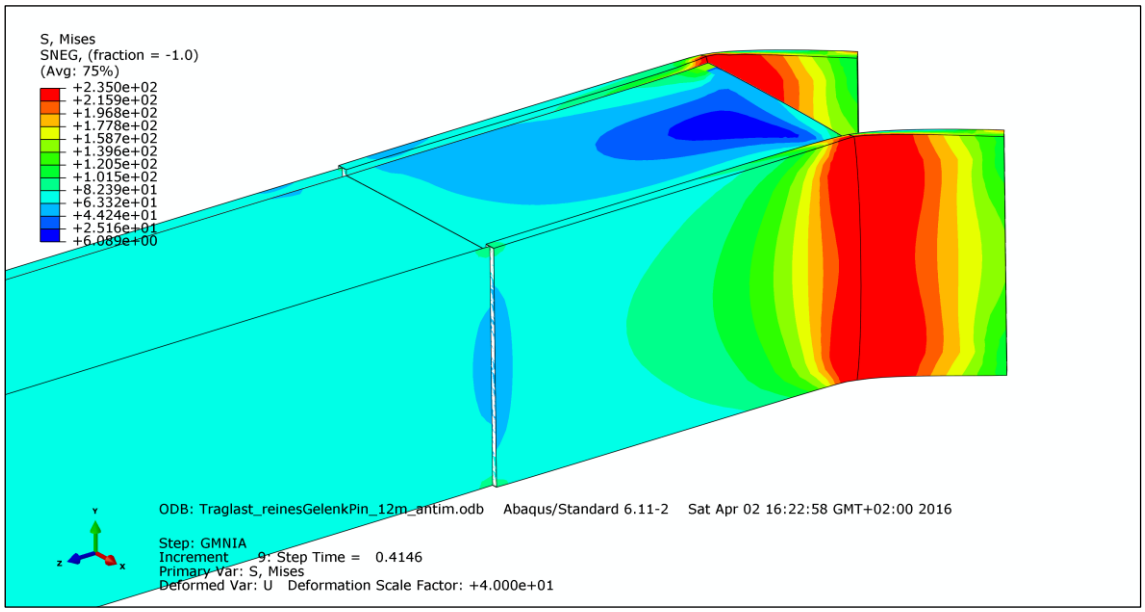


Abbildung 9-181: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





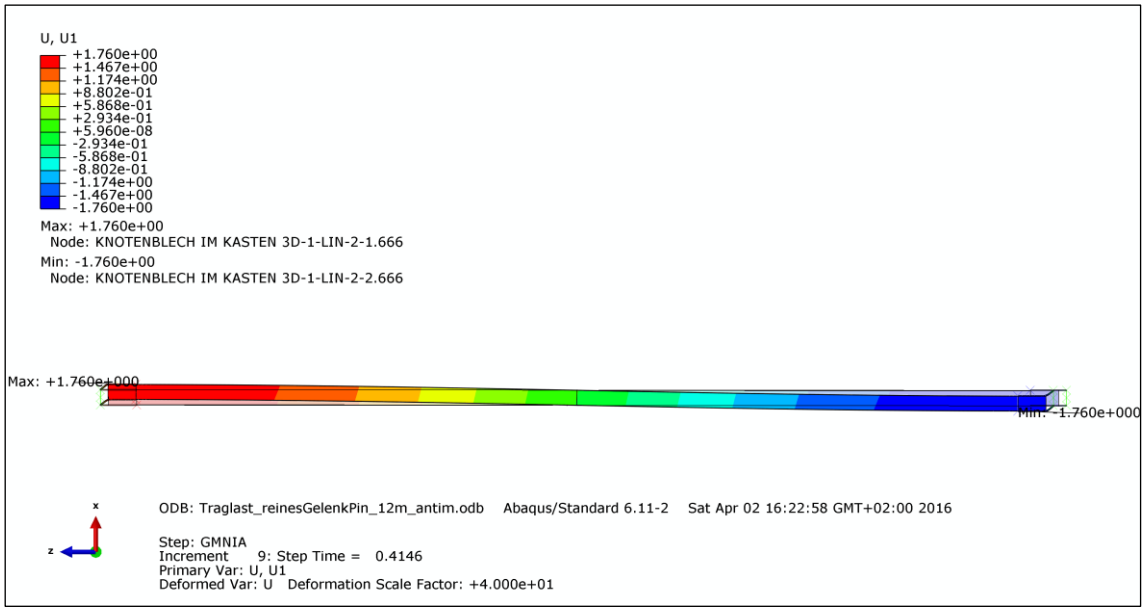
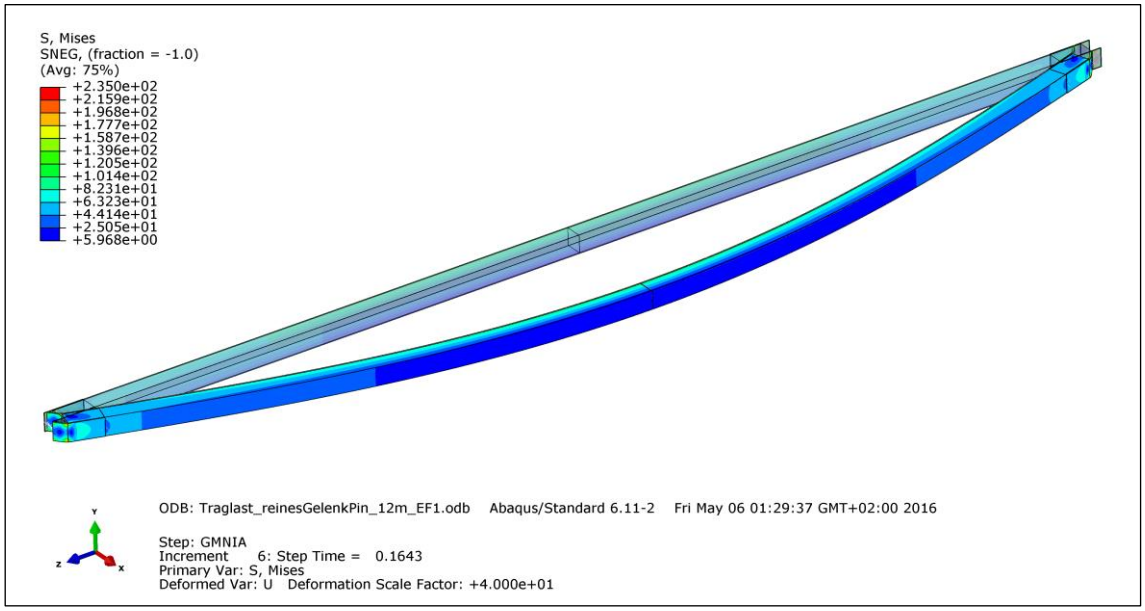
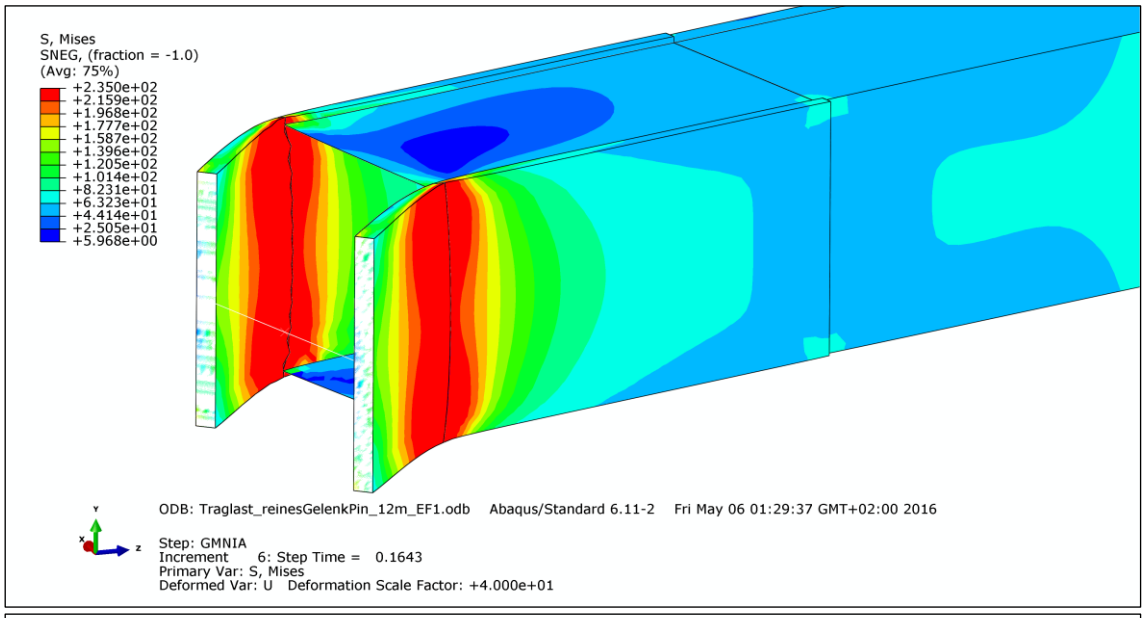


Abbildung 9-182: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





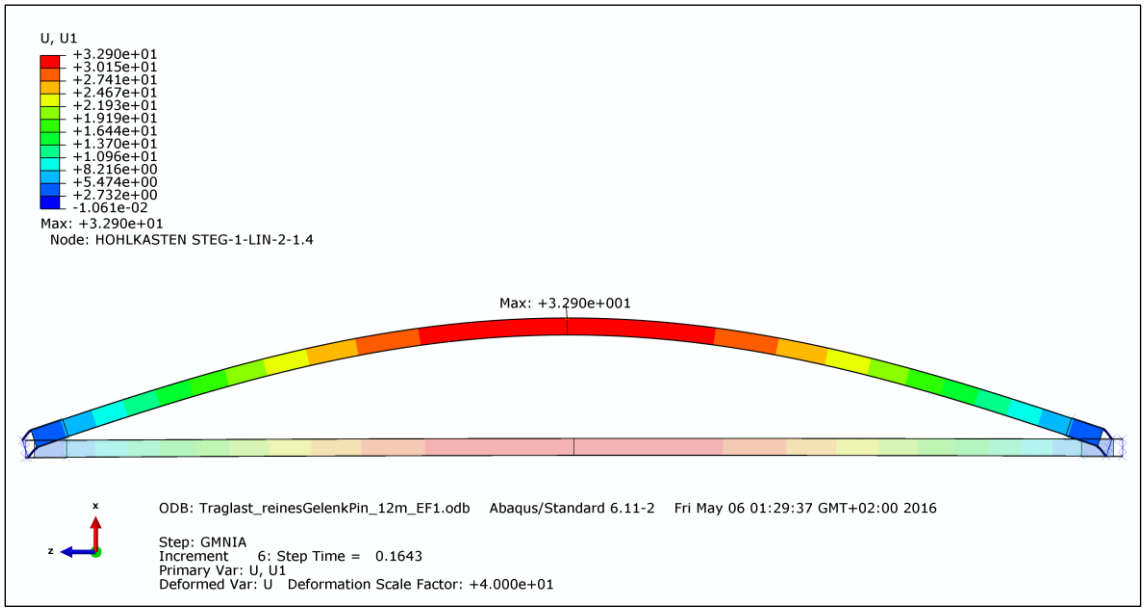
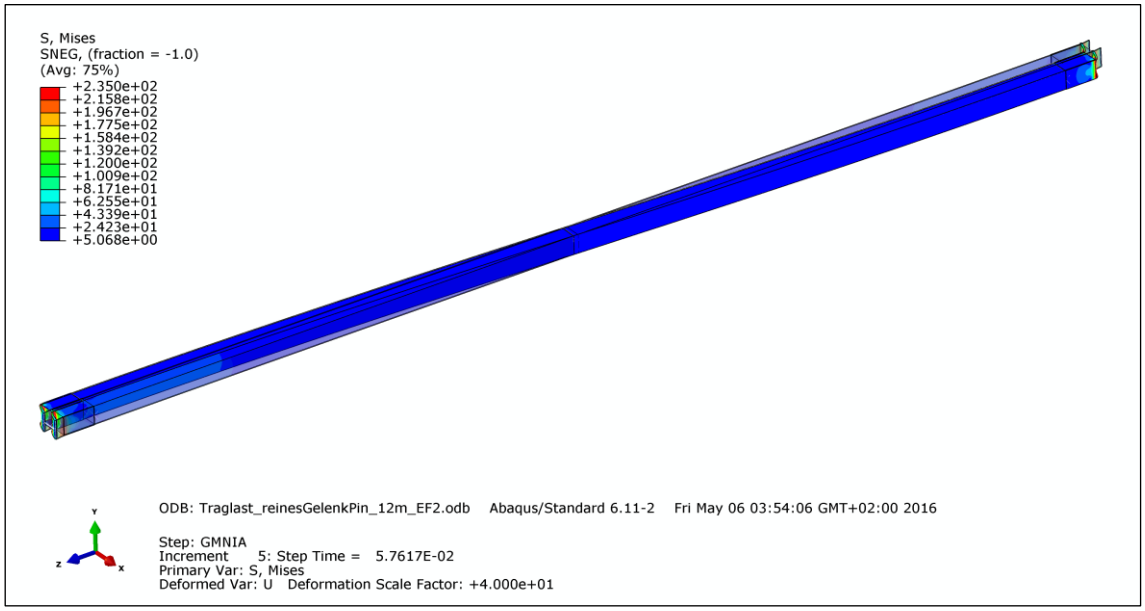
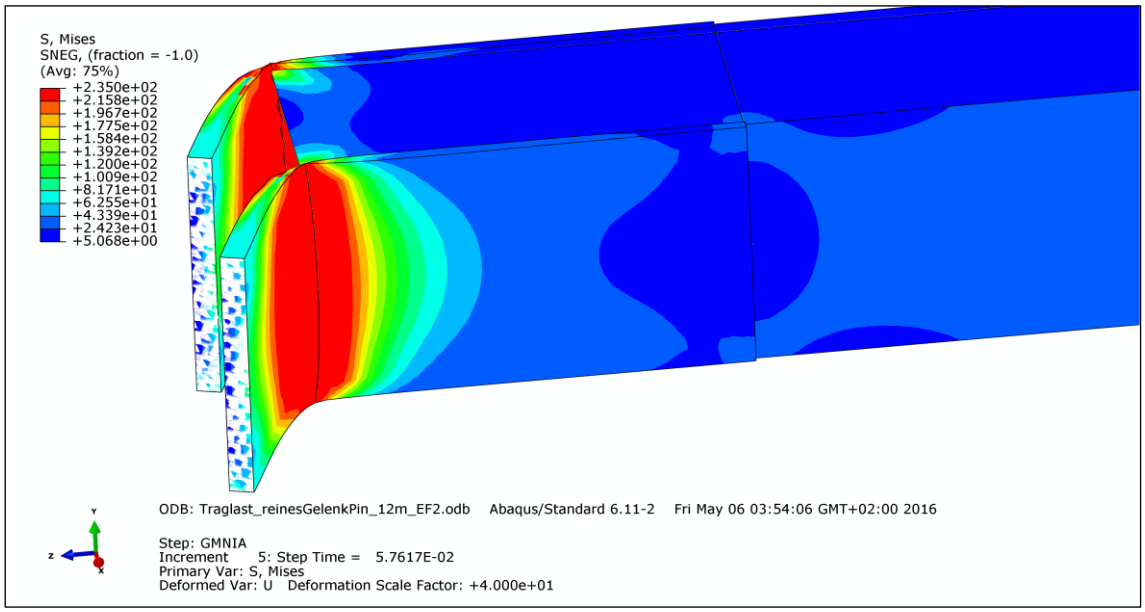


Abbildung 9-183: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





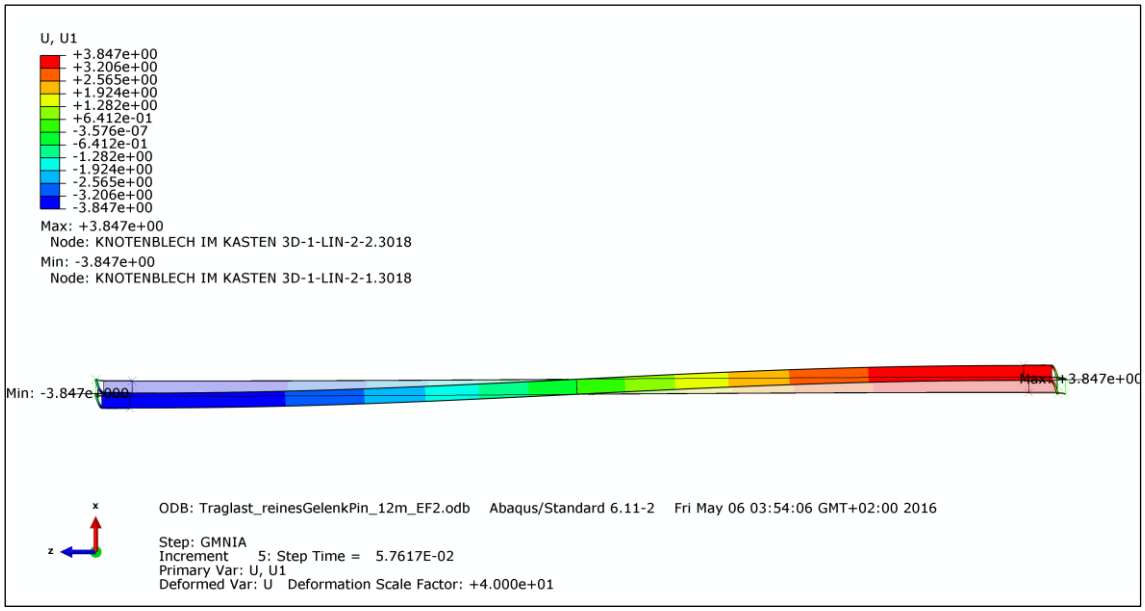
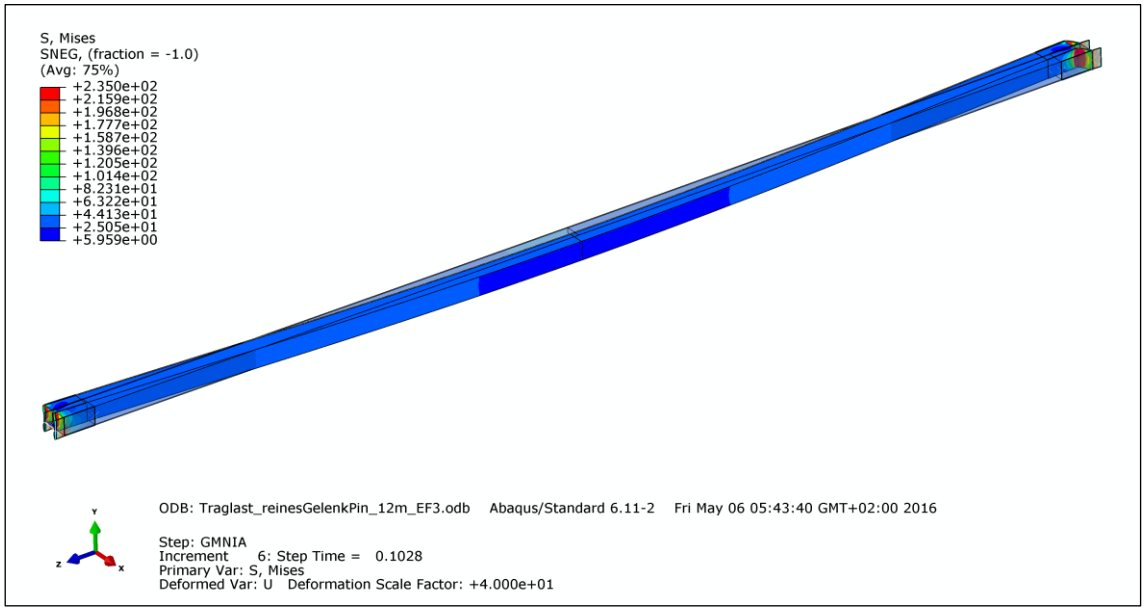
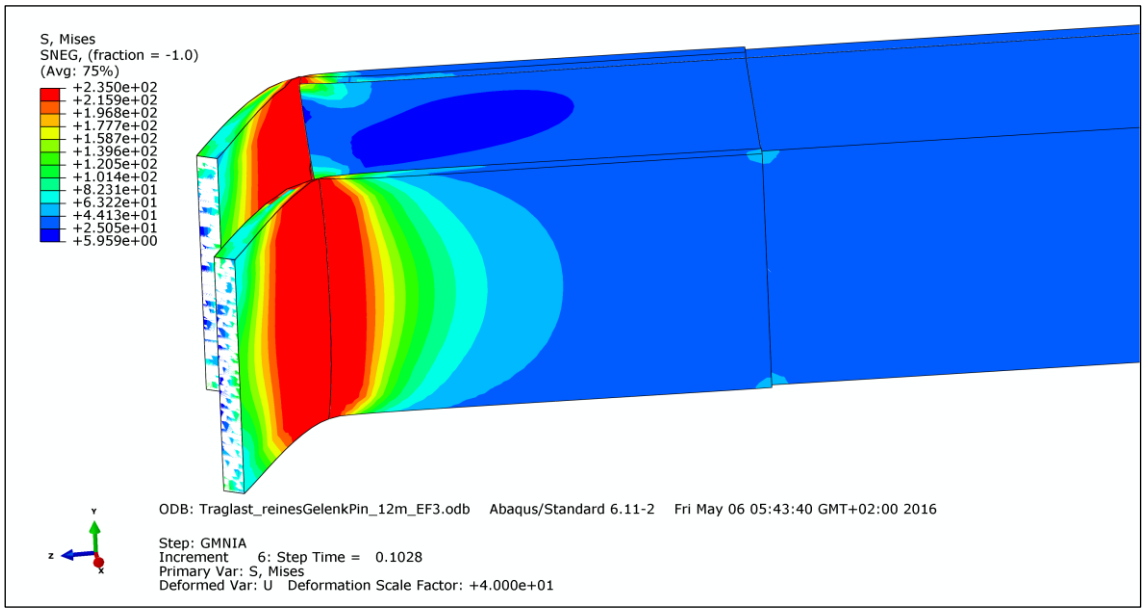


Abbildung 9-184: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





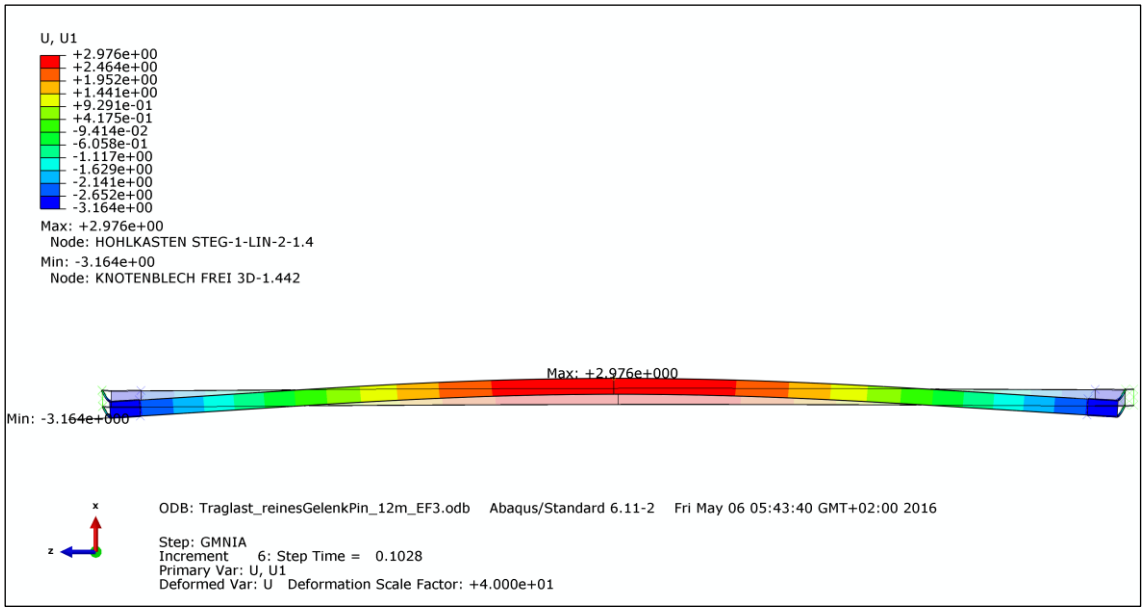
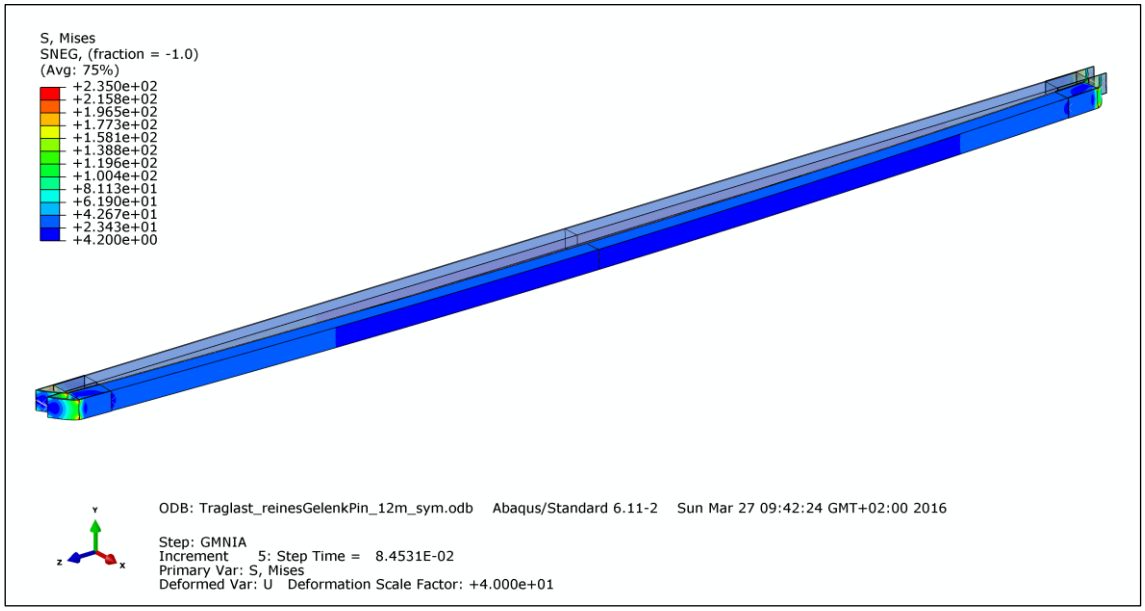
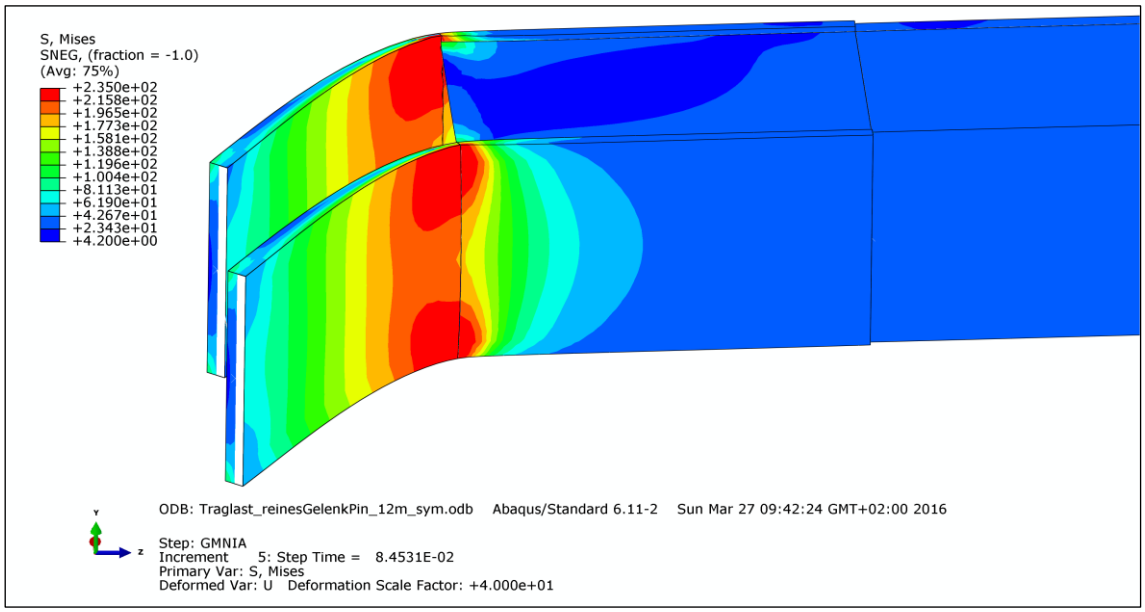


Abbildung 9-185: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





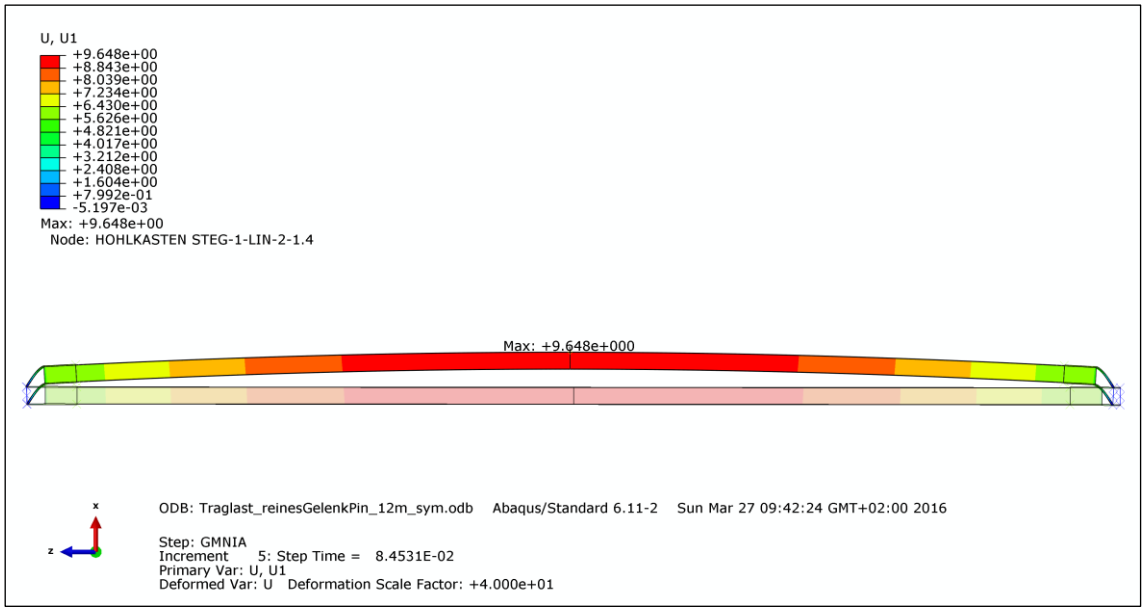
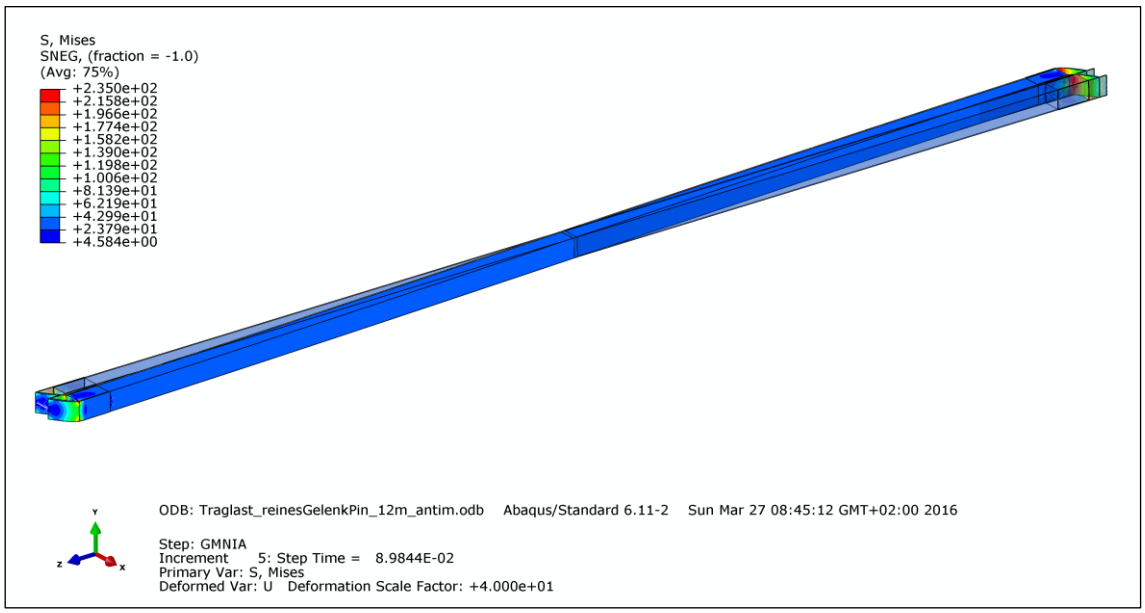
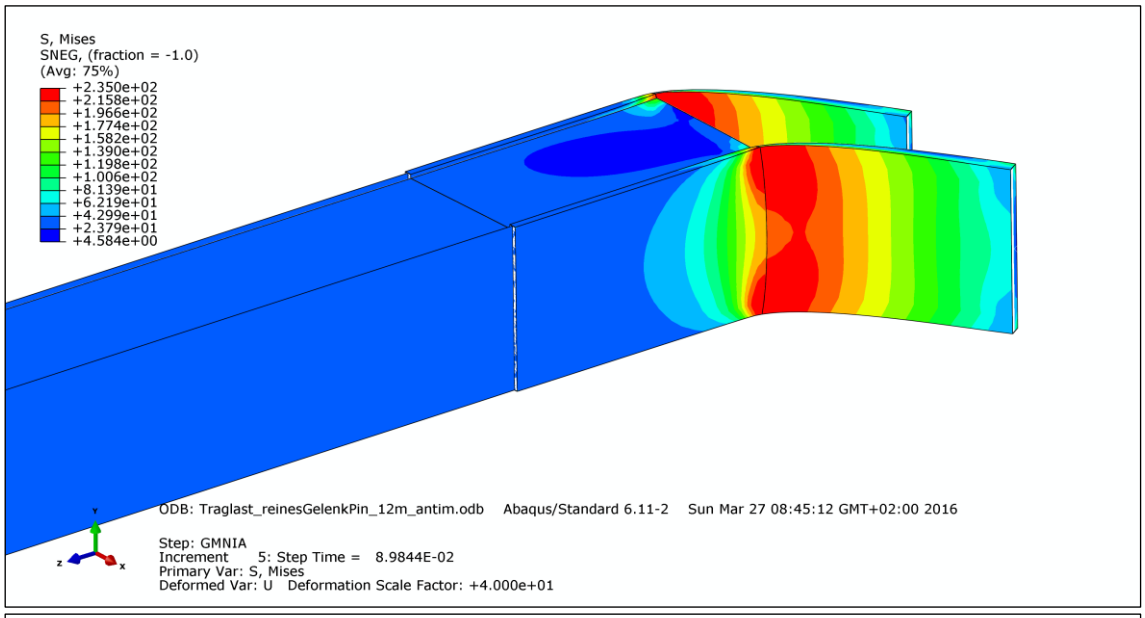


Abbildung 9-186: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





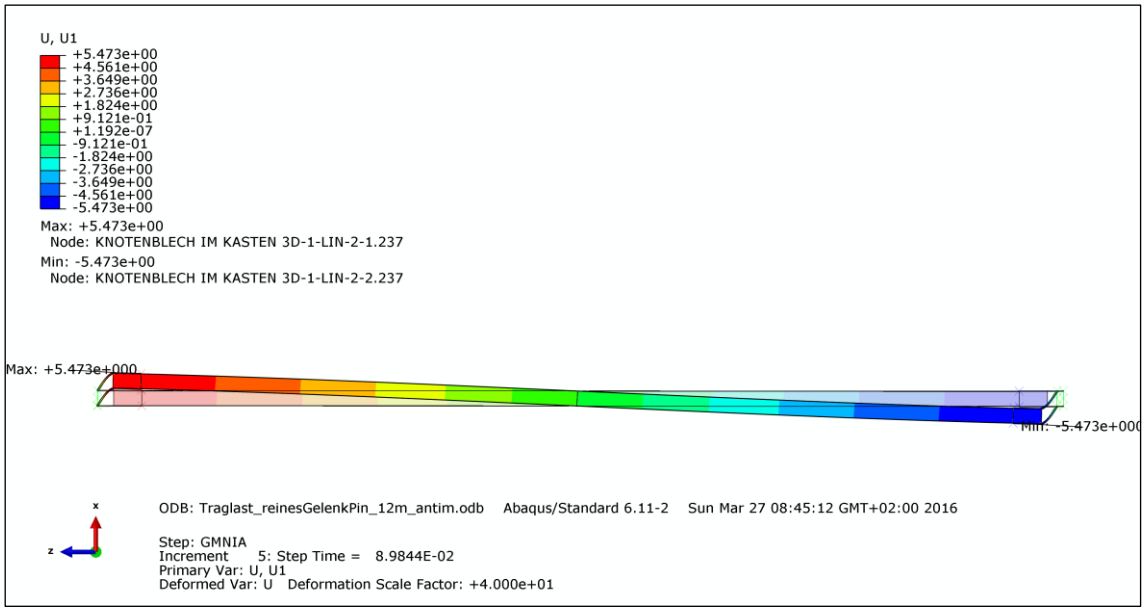
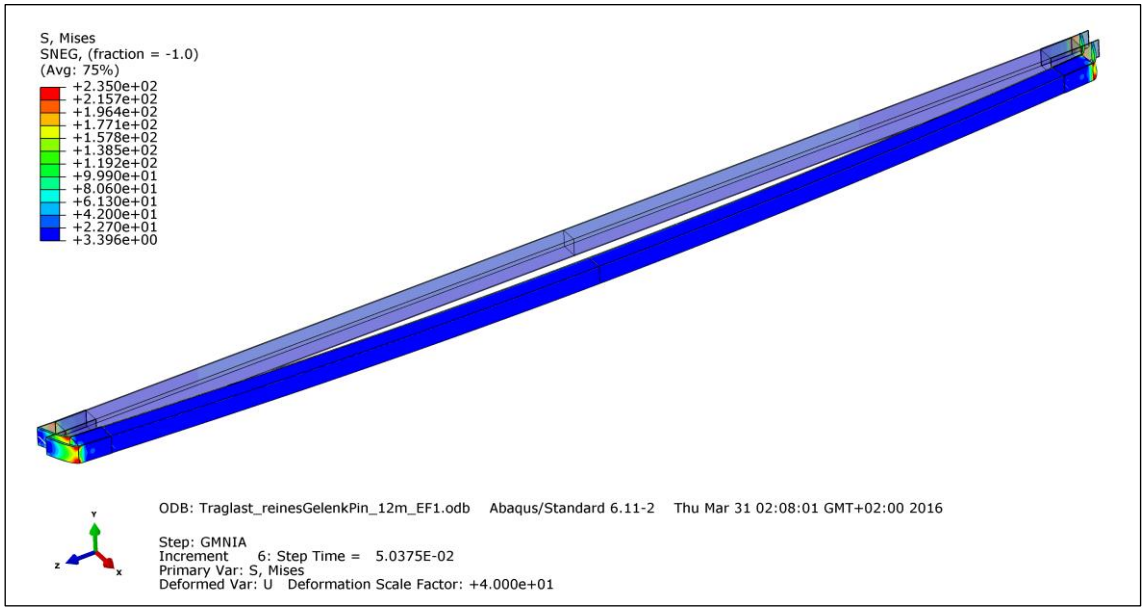
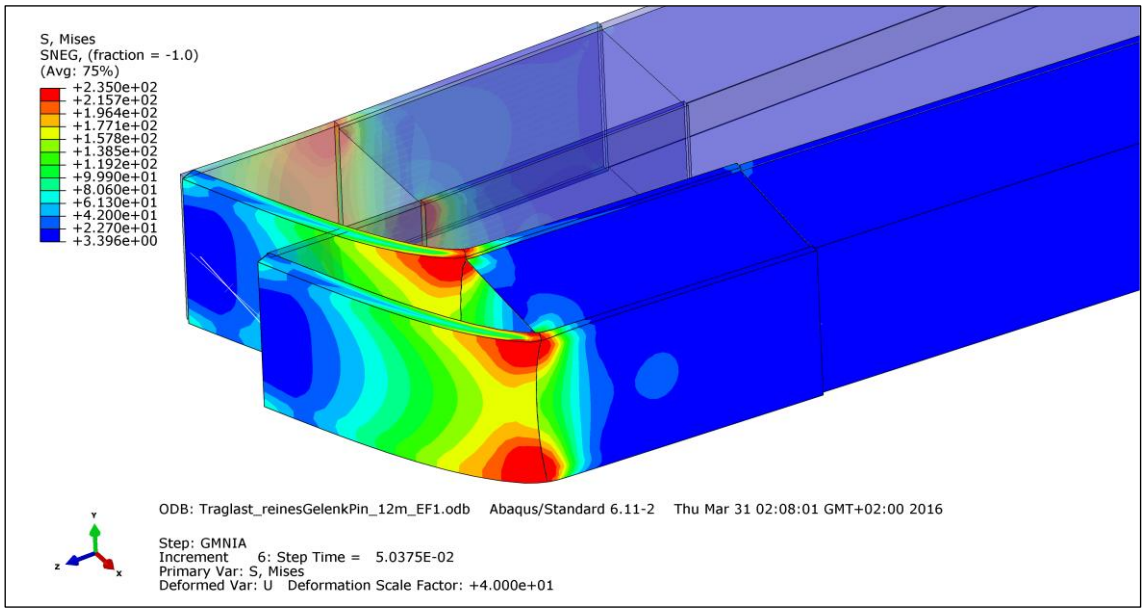


Abbildung 9-187: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





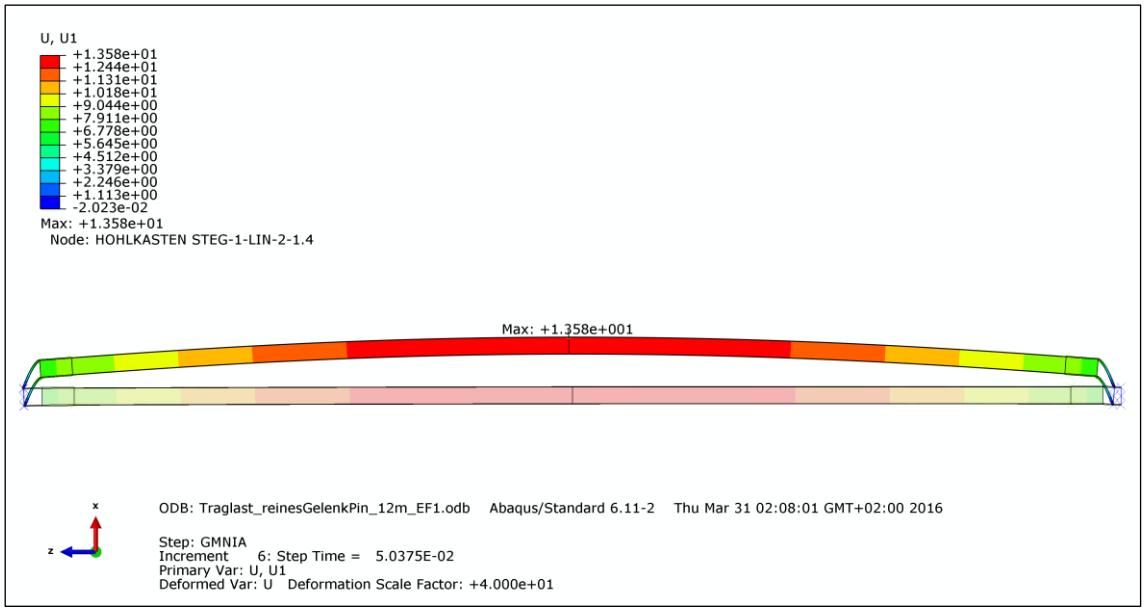
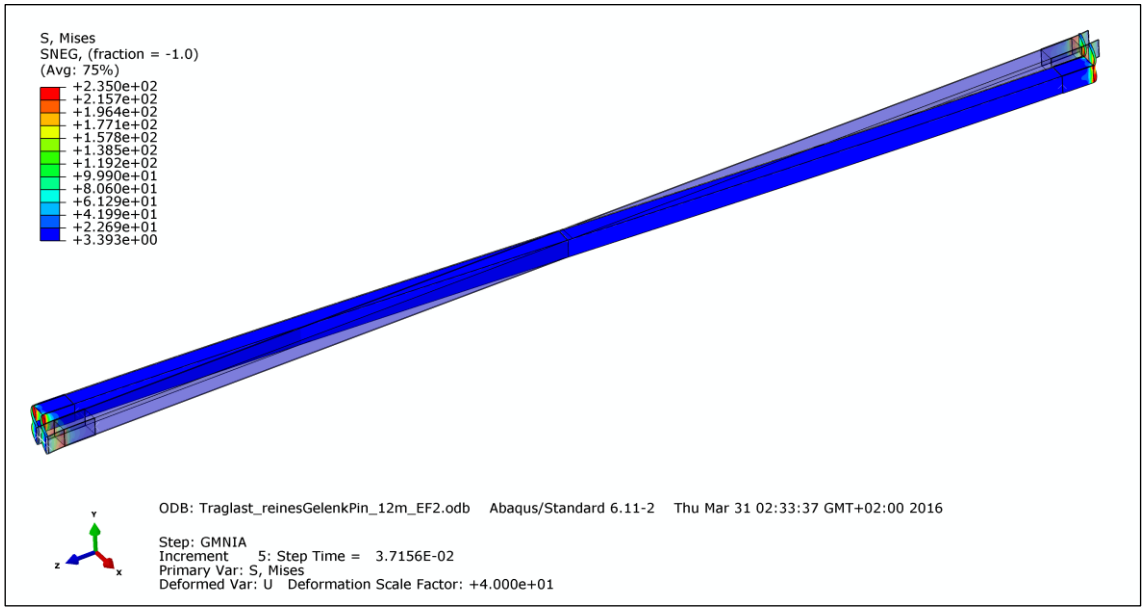
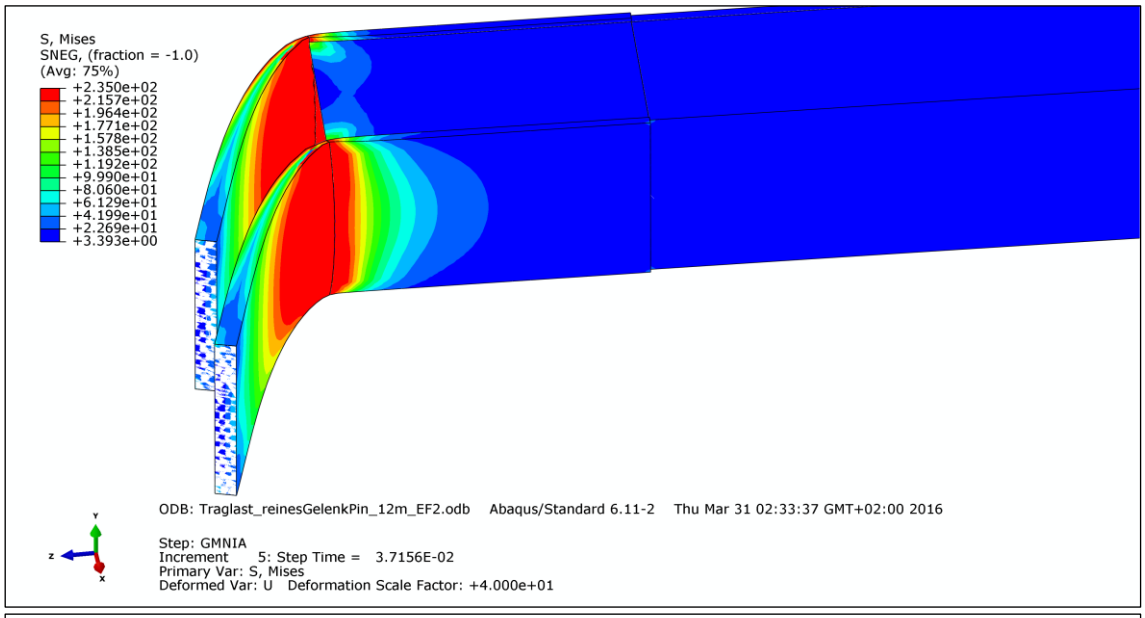


Abbildung 9-188: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





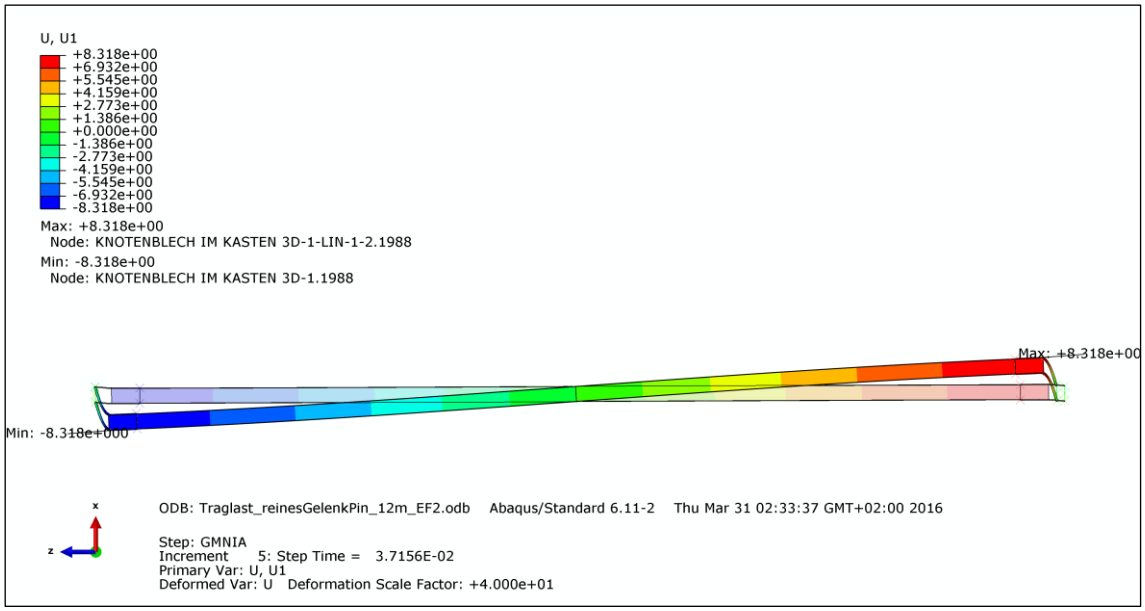
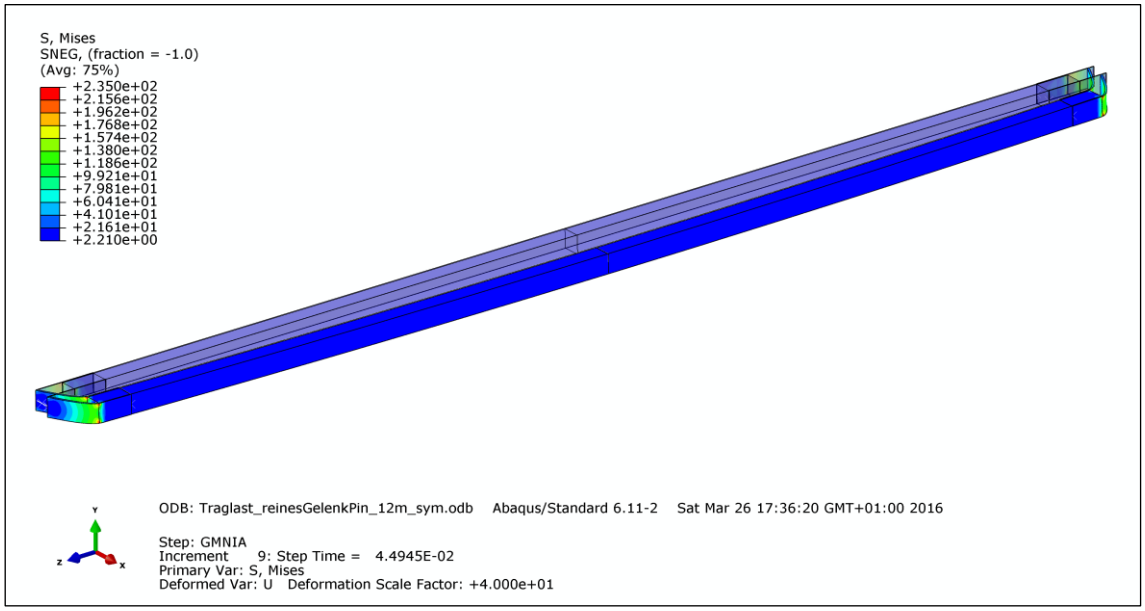
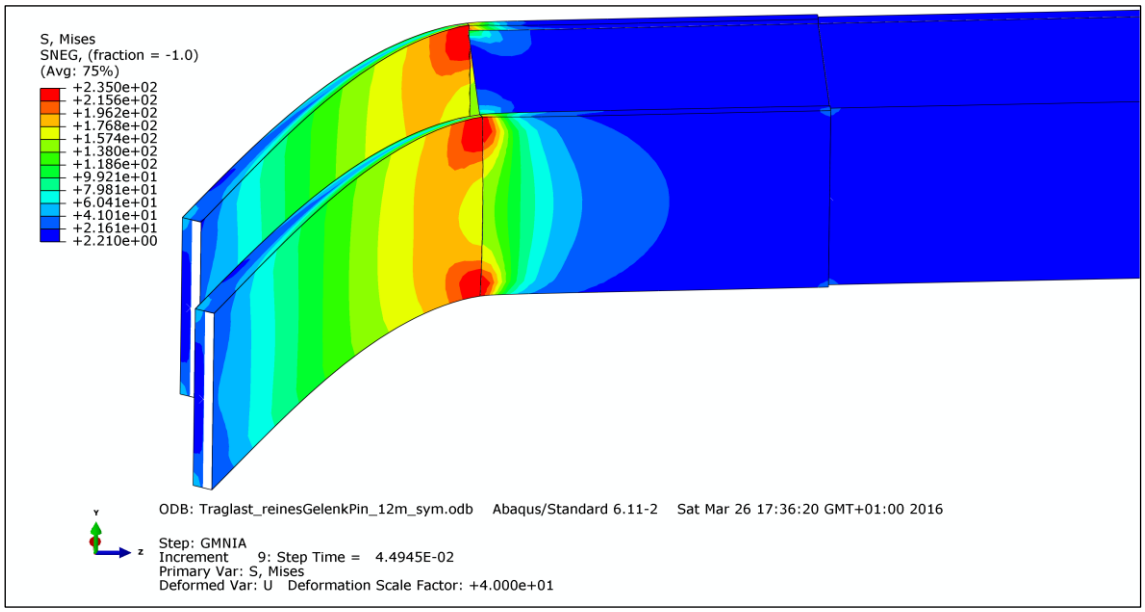


Abbildung 9-189: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





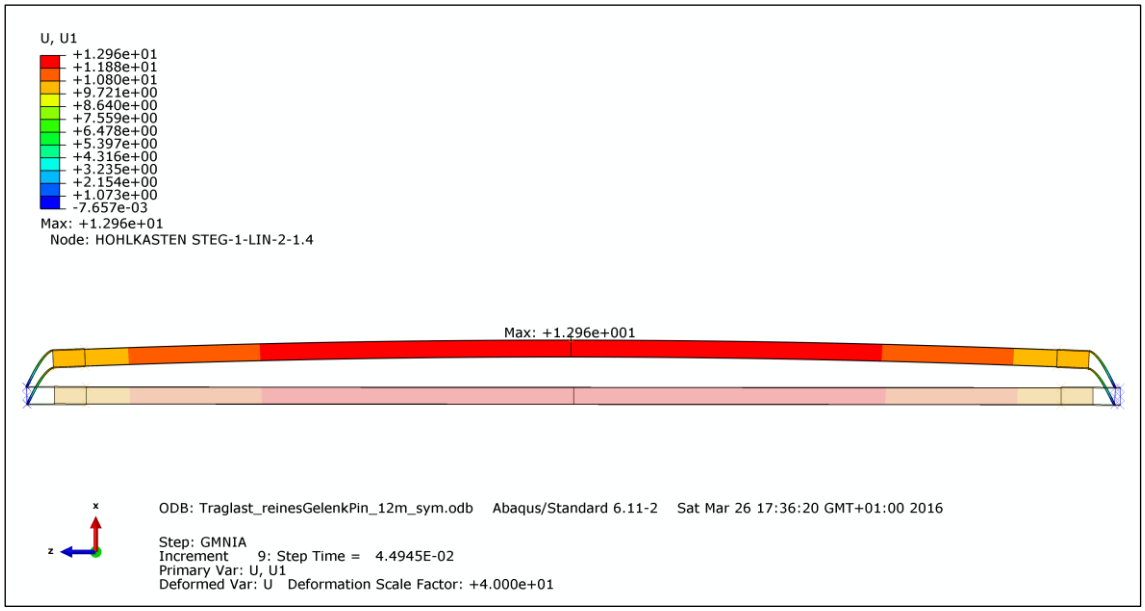
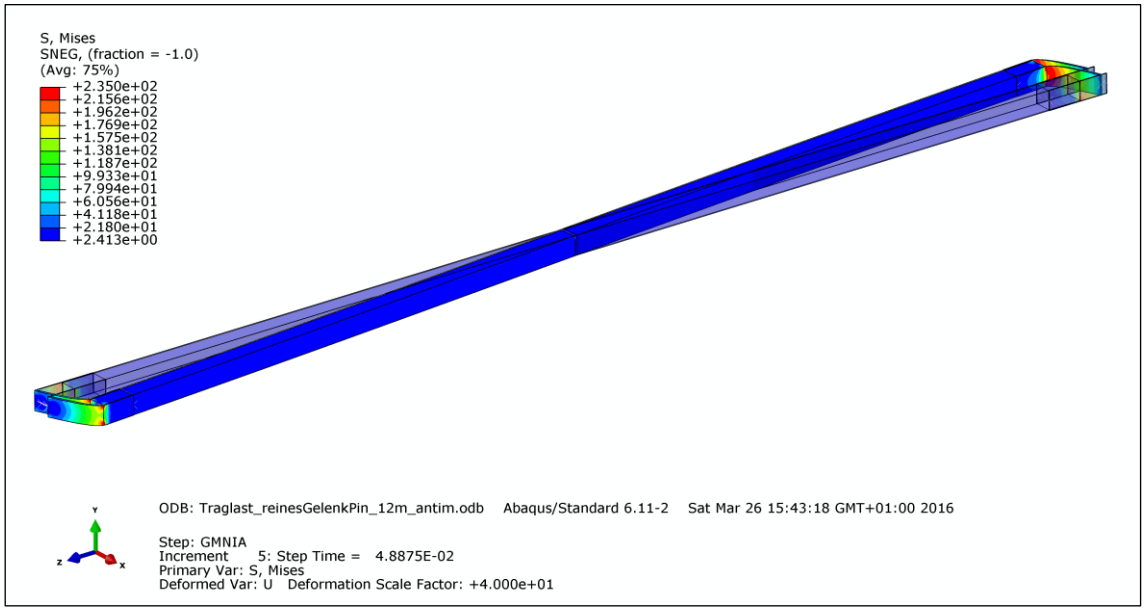
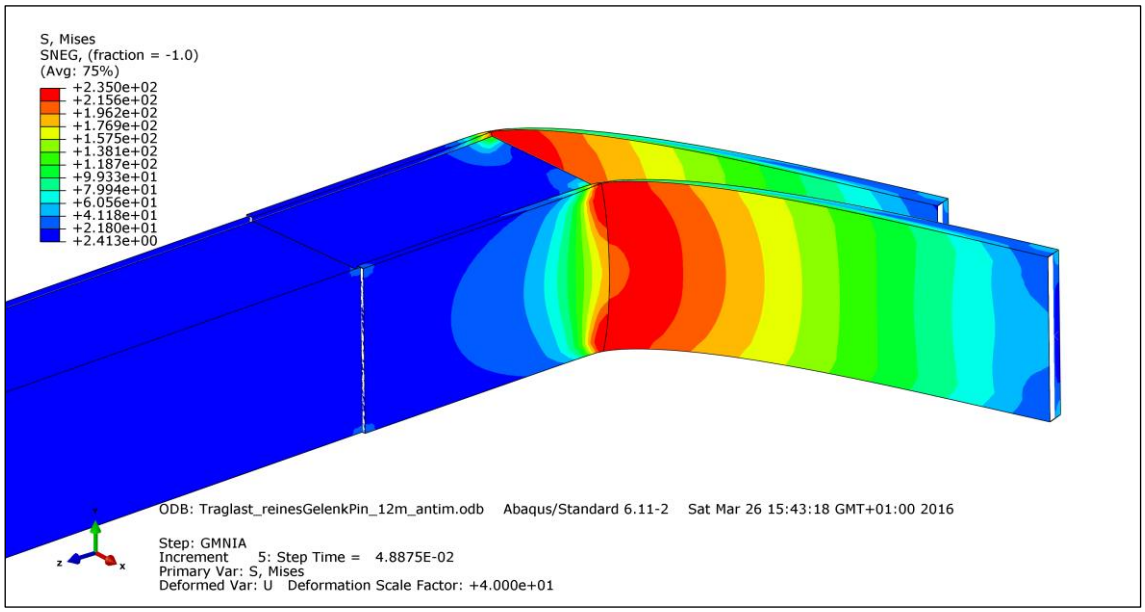


Abbildung 9-190: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





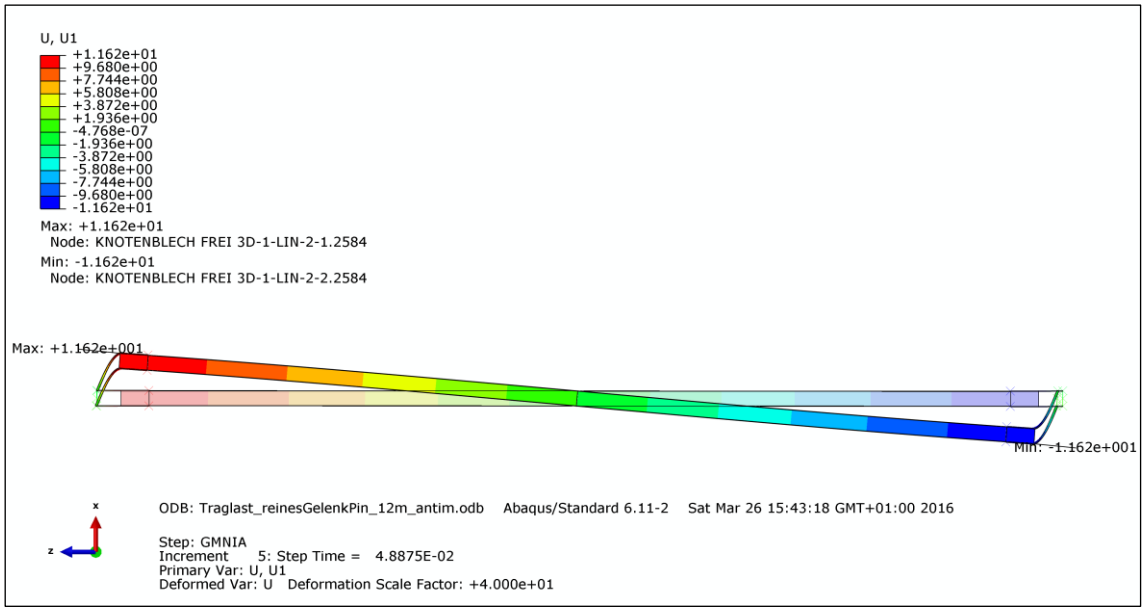
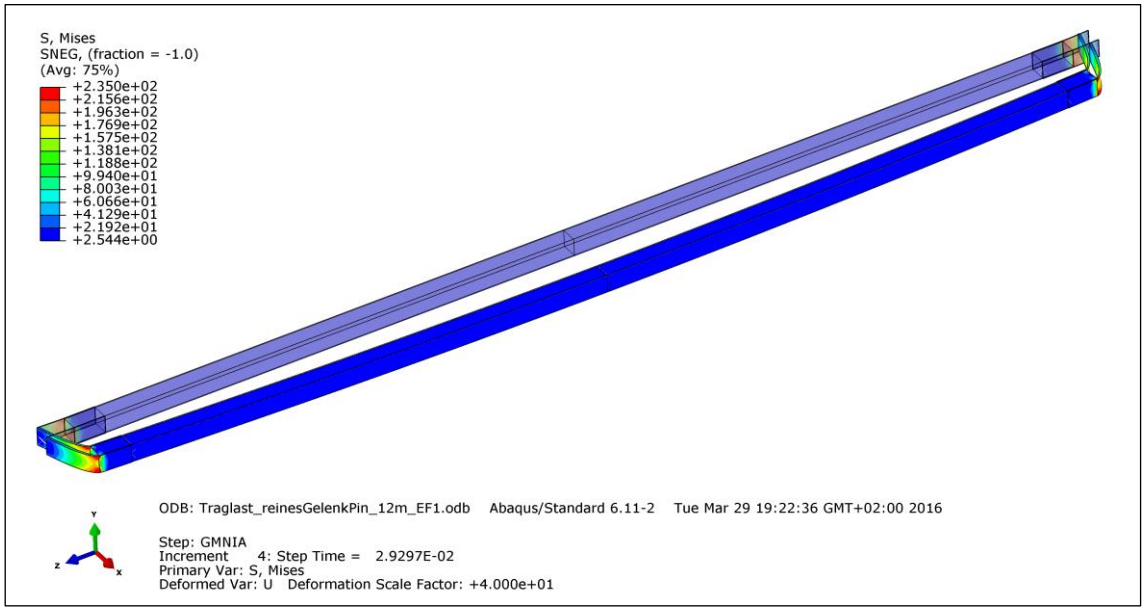
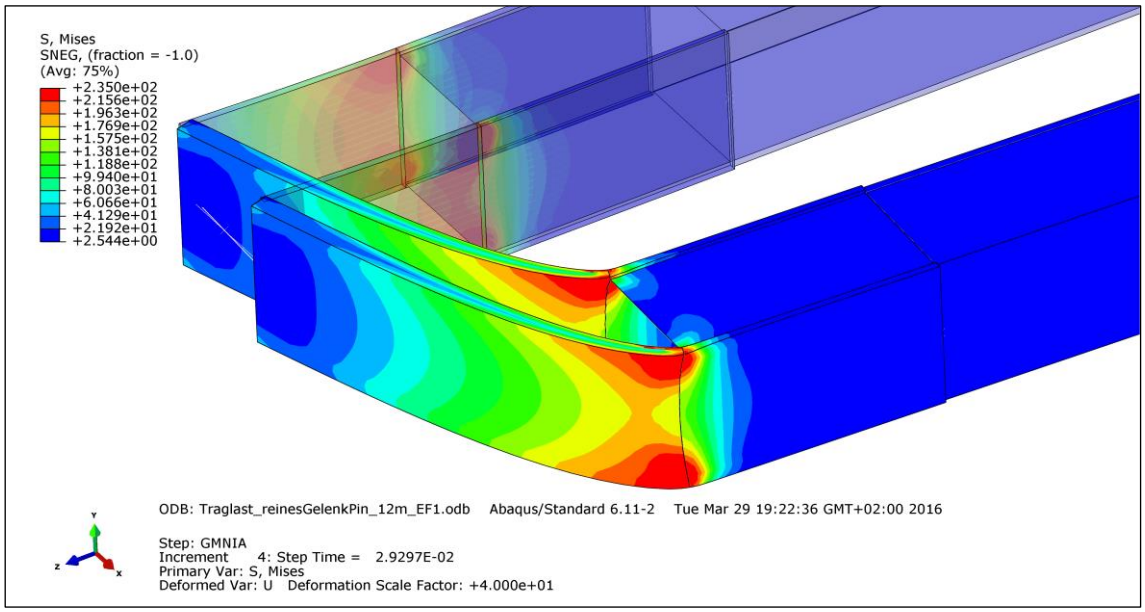


Abbildung 9-191: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





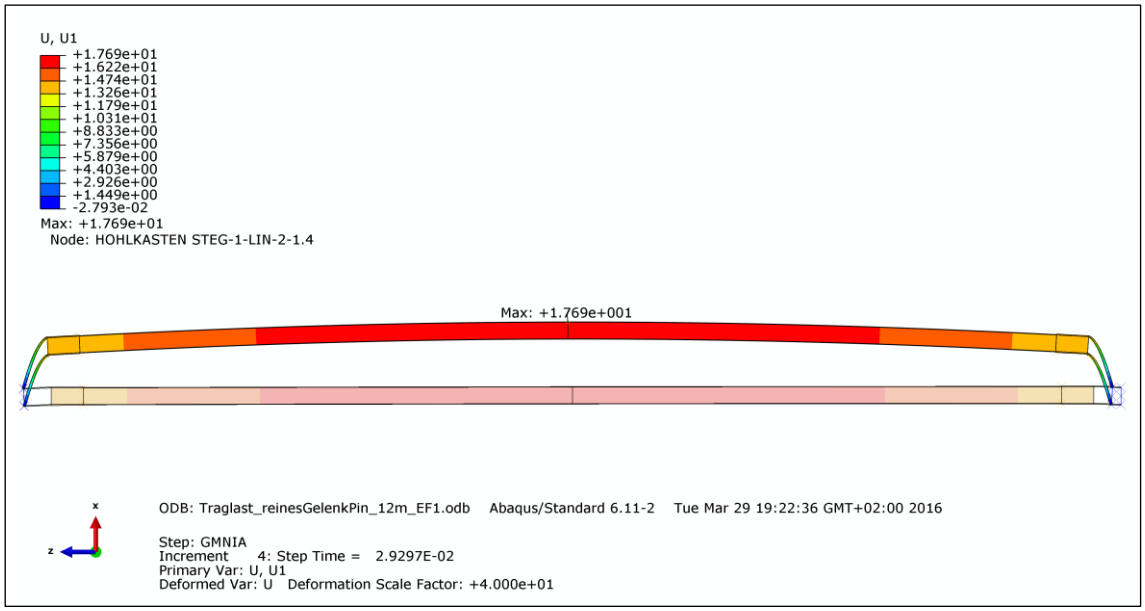
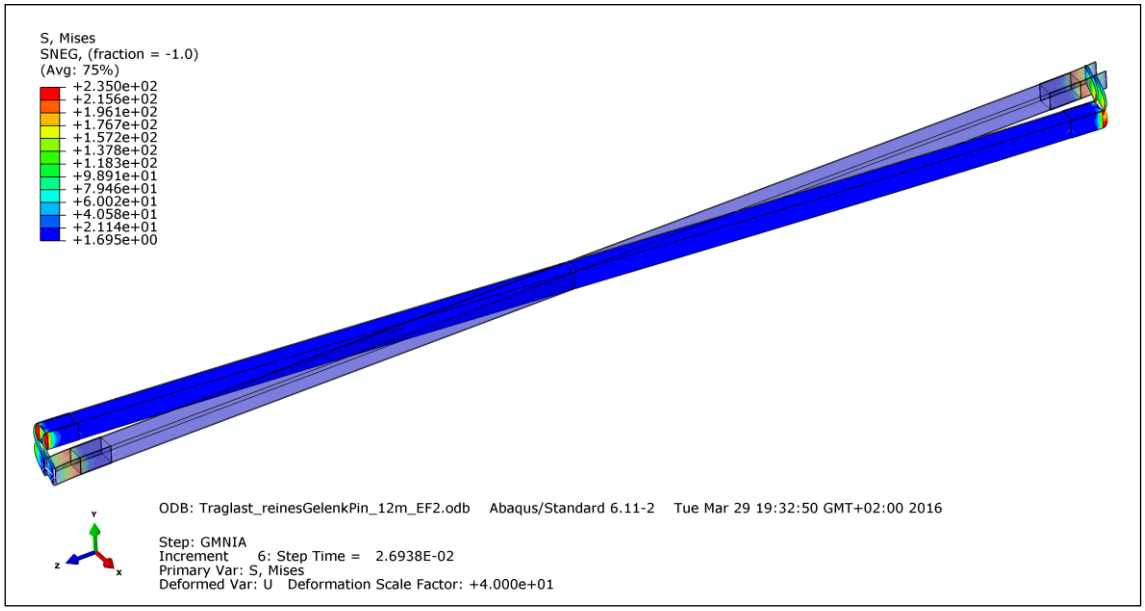
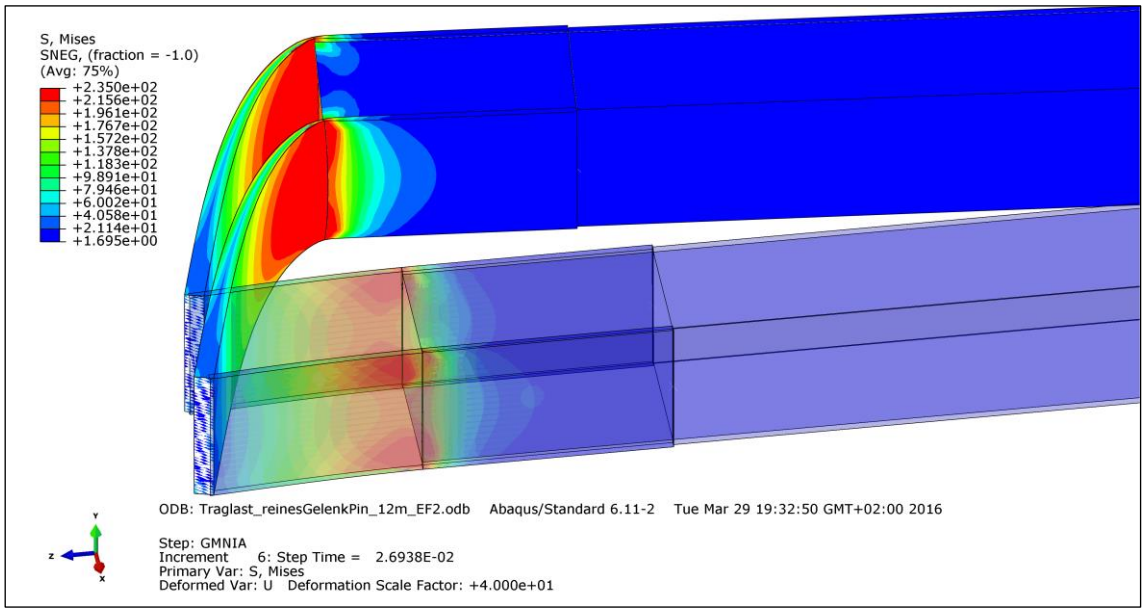


Abbildung 9-192: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





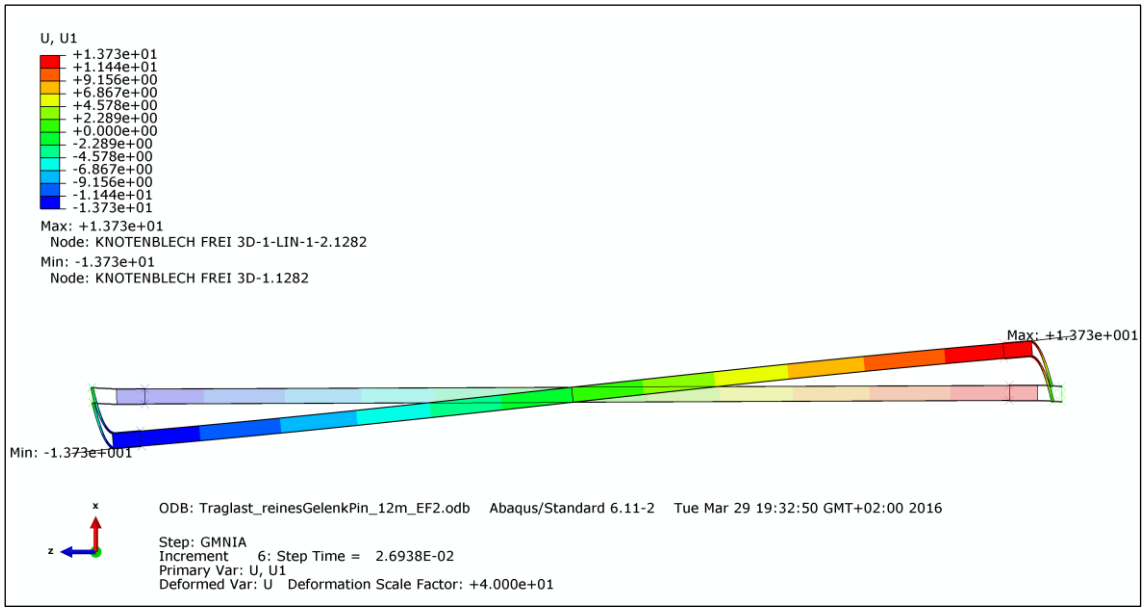
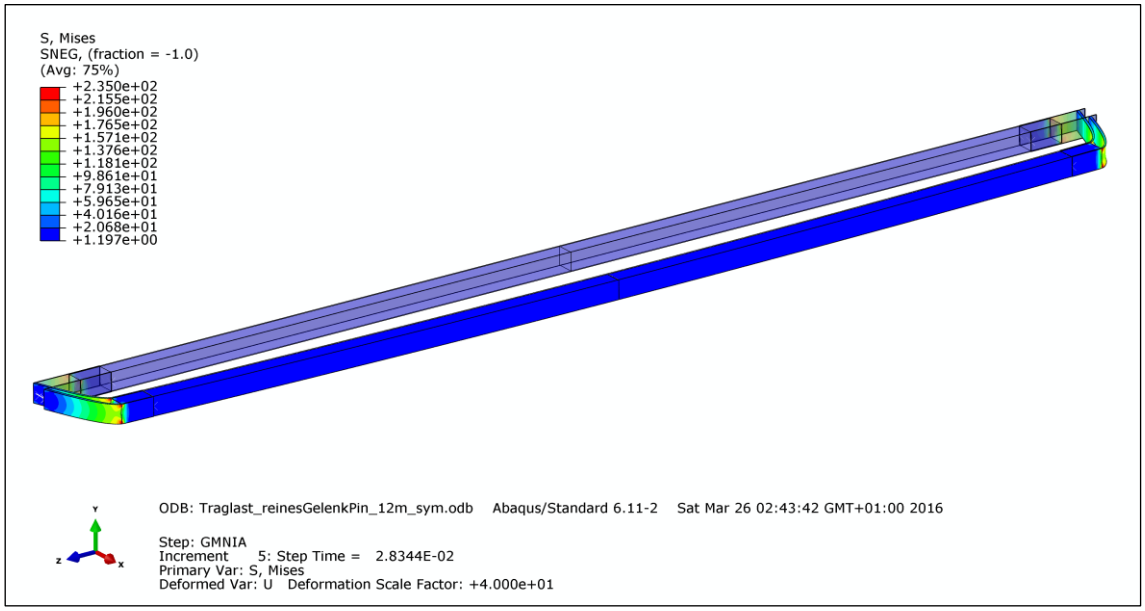
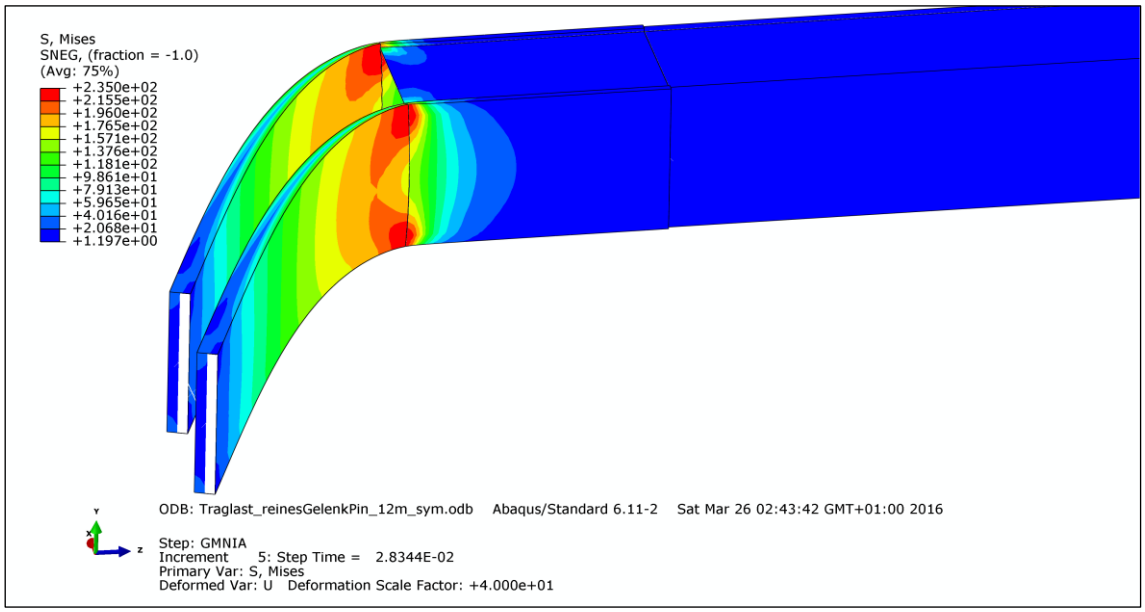


Abbildung 9-193: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





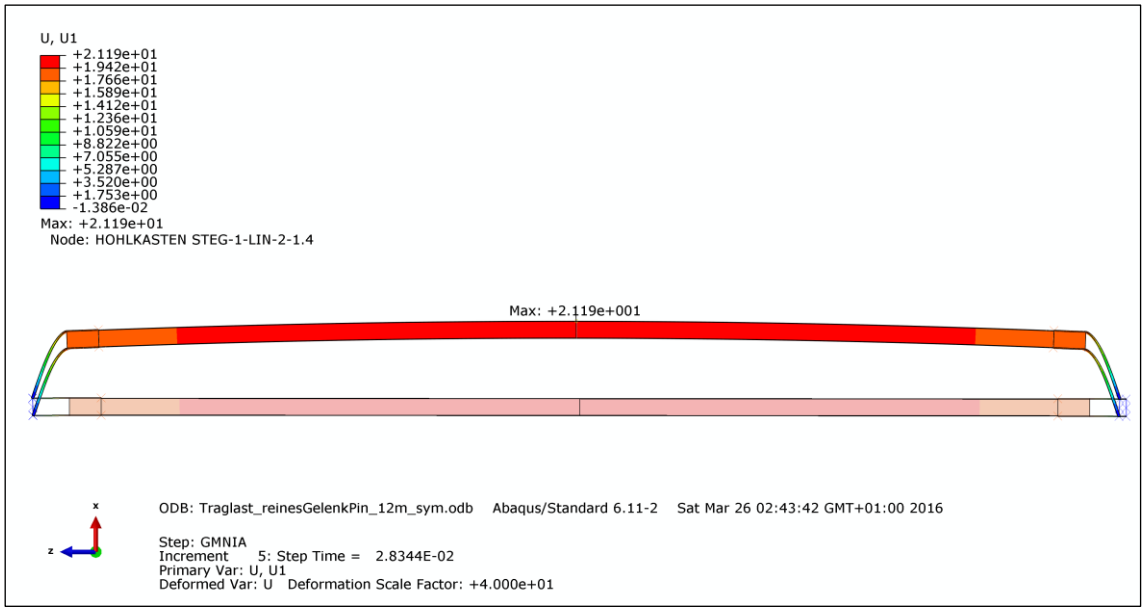
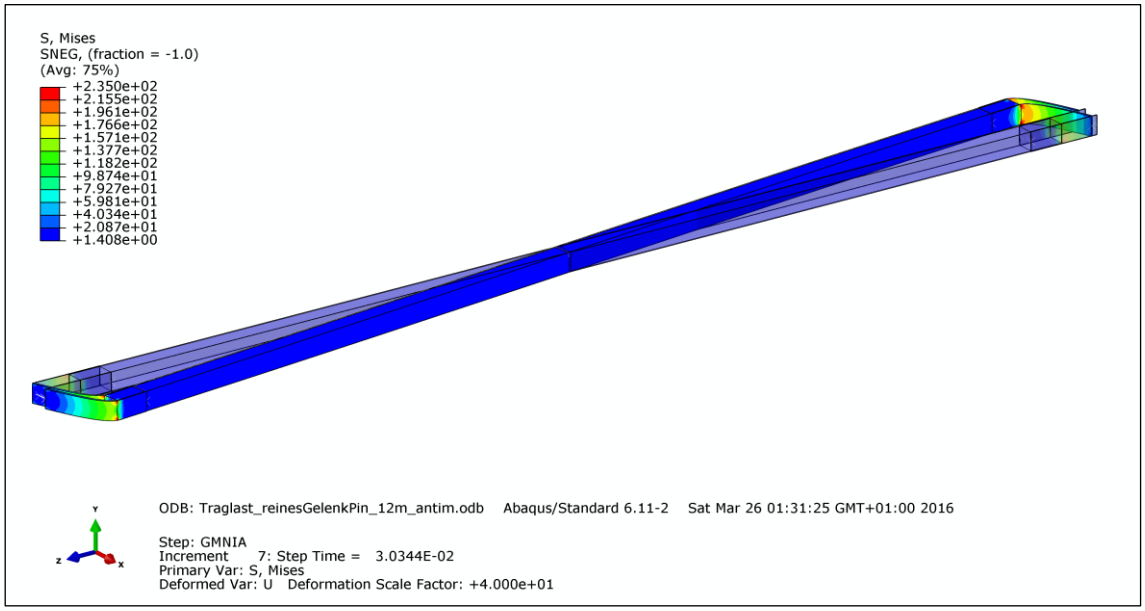
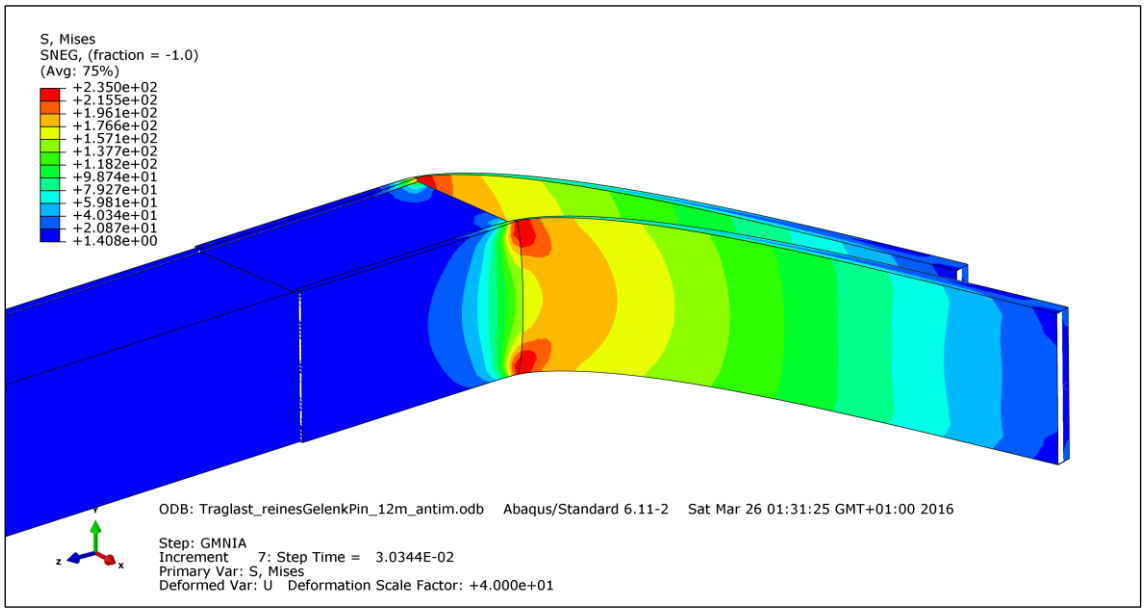


Abbildung 9-194: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





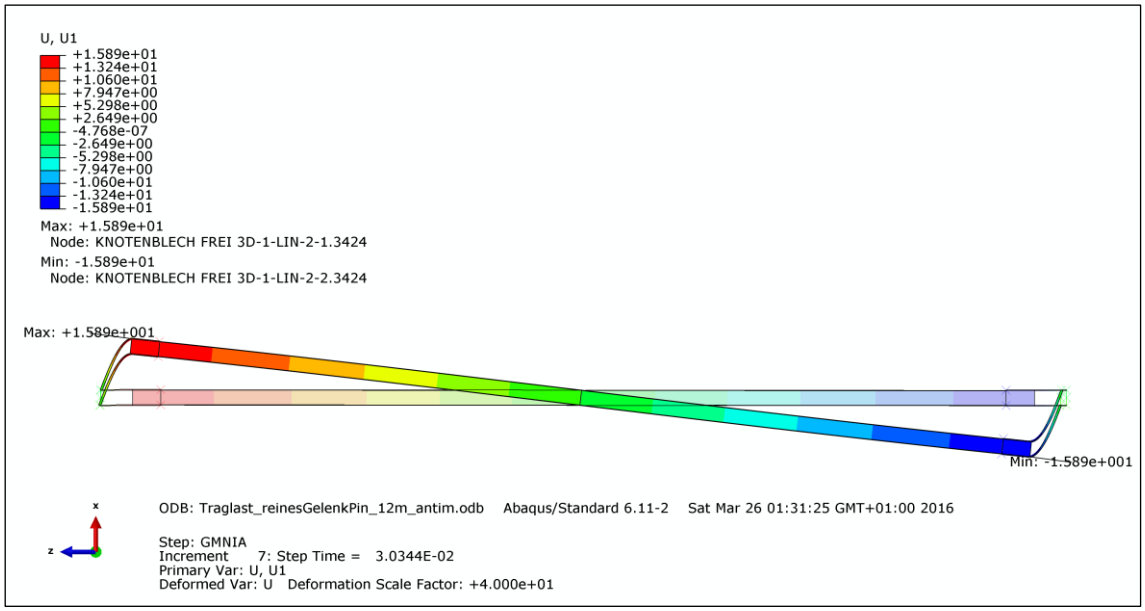
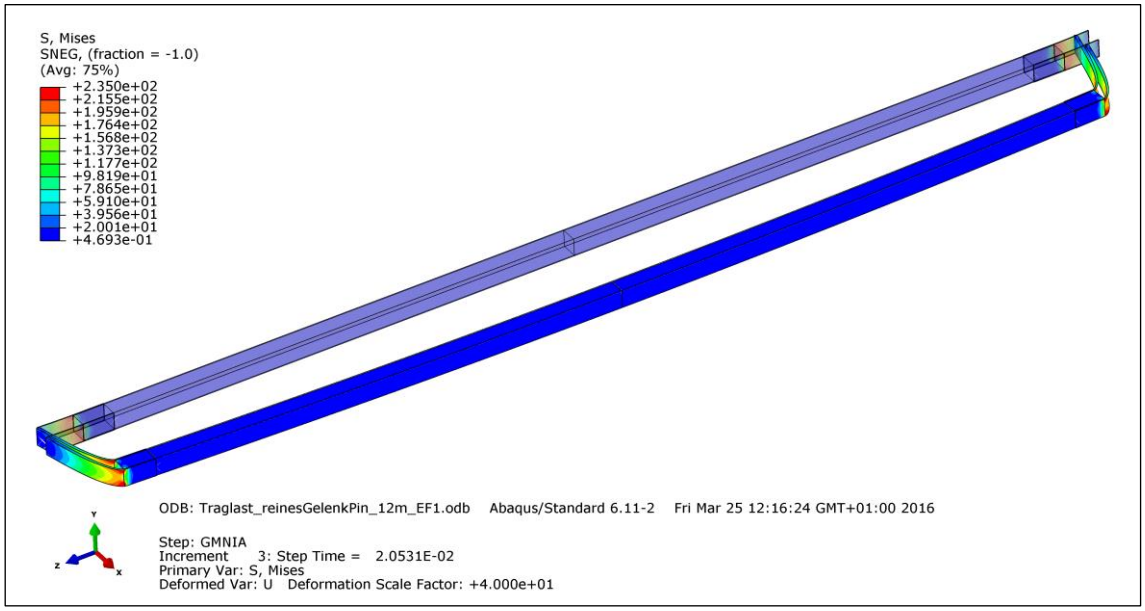
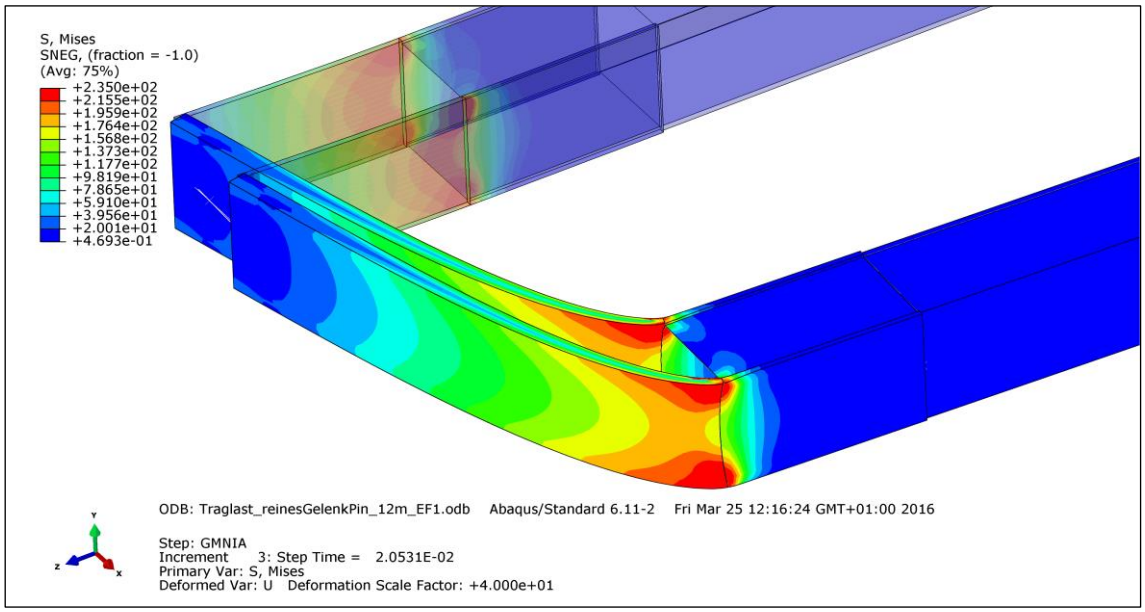


Abbildung 9-195: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





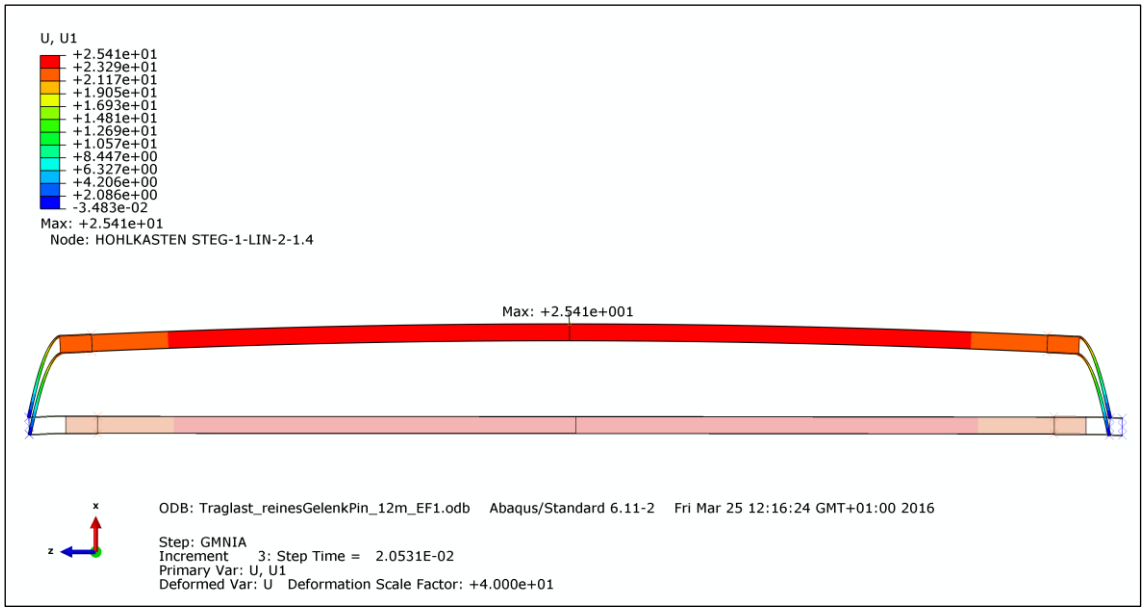
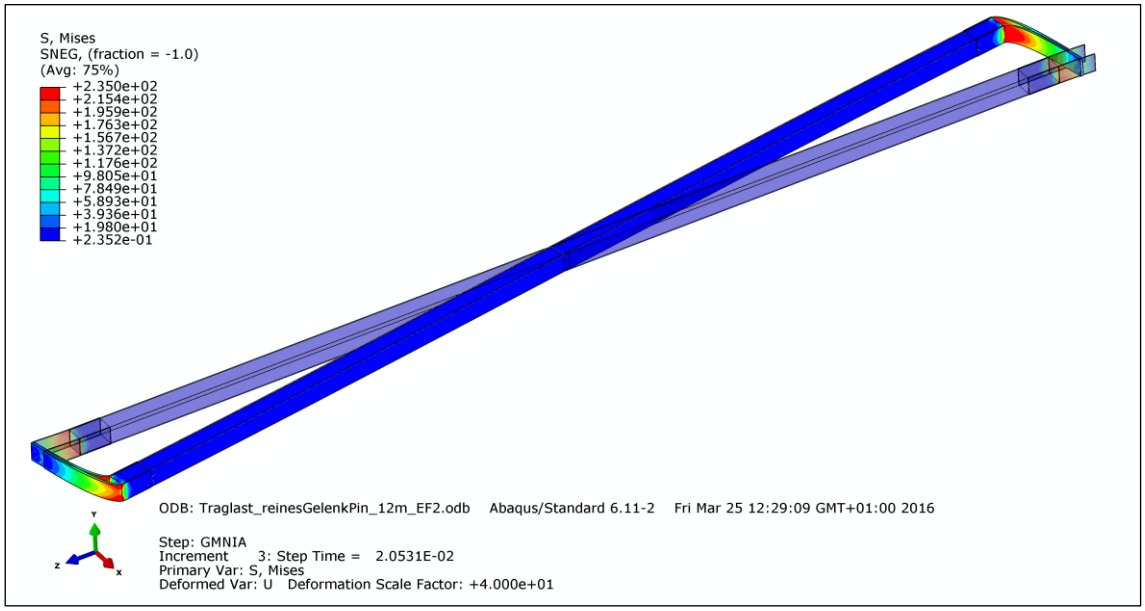
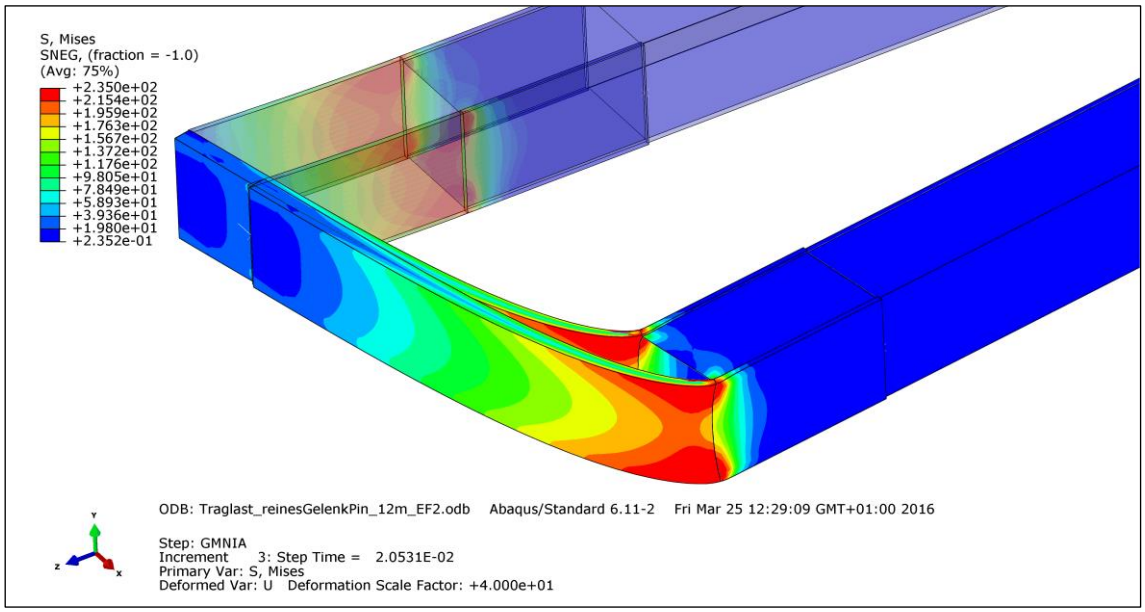


Abbildung 9-196: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





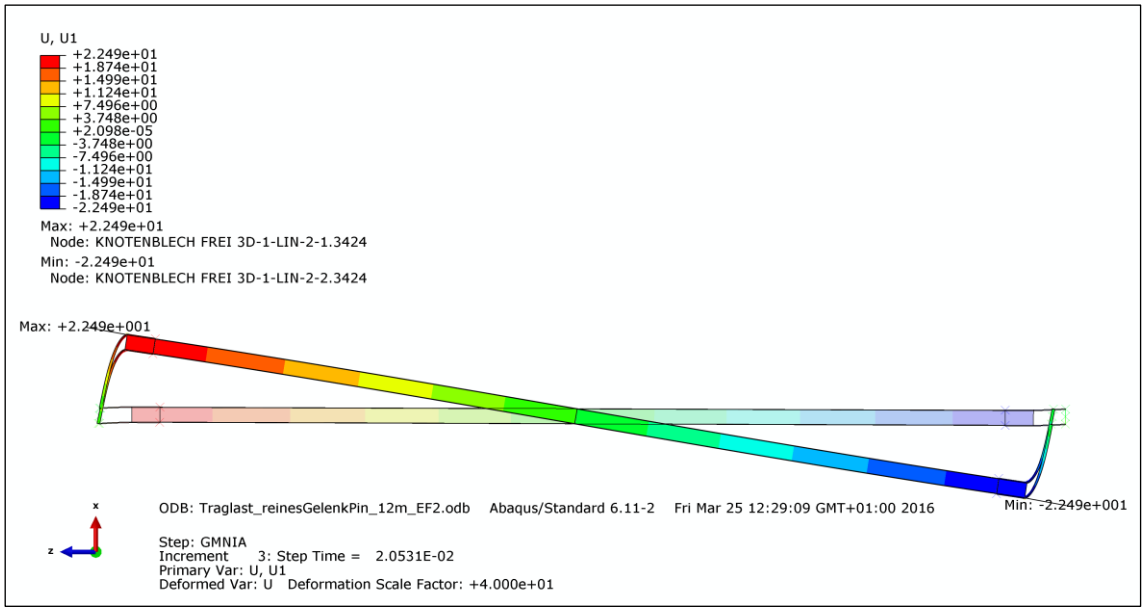


Abbildung 9-197: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

9.2.2 Knotenblechdicke $t_{KB} = 24$ mm

In den nachfolgenden Abbildungen 9-198 bis 9-443 sind die Ergebnisse der Traglastuntersuchung für sämtliche Systeme mit einer Knotenblechdicke von $t_{KB} = 24$ mm dargestellt.

Da die Knotenbleche eine hohe Steifigkeit aufweisen, tritt vor allem bei angesetzten Vorverformungen affin zur ersten Eigenform bei einigen Systemen ein Versagen in Stabmitte ein. Dabei wurde im Zuge der Ergebnisstudie festgestellt, dass bei identen Systemen und gleichen Auflagerungsbedingungen die angesetzten Imperfektionen einen ganz entscheidenden Einfluss auf den Ort des Versagens haben. So sind einige Fälle eingetreten, bei welchen das System bei angesetzter Vorverformung affin zur ersten und zweiten Eigenform im Bereich des Hohlprofils versagt und erst bei der Traglastuntersuchung von höheren eigenformaffinen Vorverformungsansätzen ein Versagen im Bereich der Knotenbleche eintritt. In Abhängigkeit von den Systemlängen kann jedoch die Tragfähigkeit der Knotenbleche deutlich unter jenen des Hohlprofils liegen und somit maßgebend werden. Eine Untersuchung der Traglasten für lediglich die erste und zweite Eigenform kann in diesen Fällen somit zu einem erheblichen Überschätzen der aufnehmbaren Belastung führen.

- **System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm**

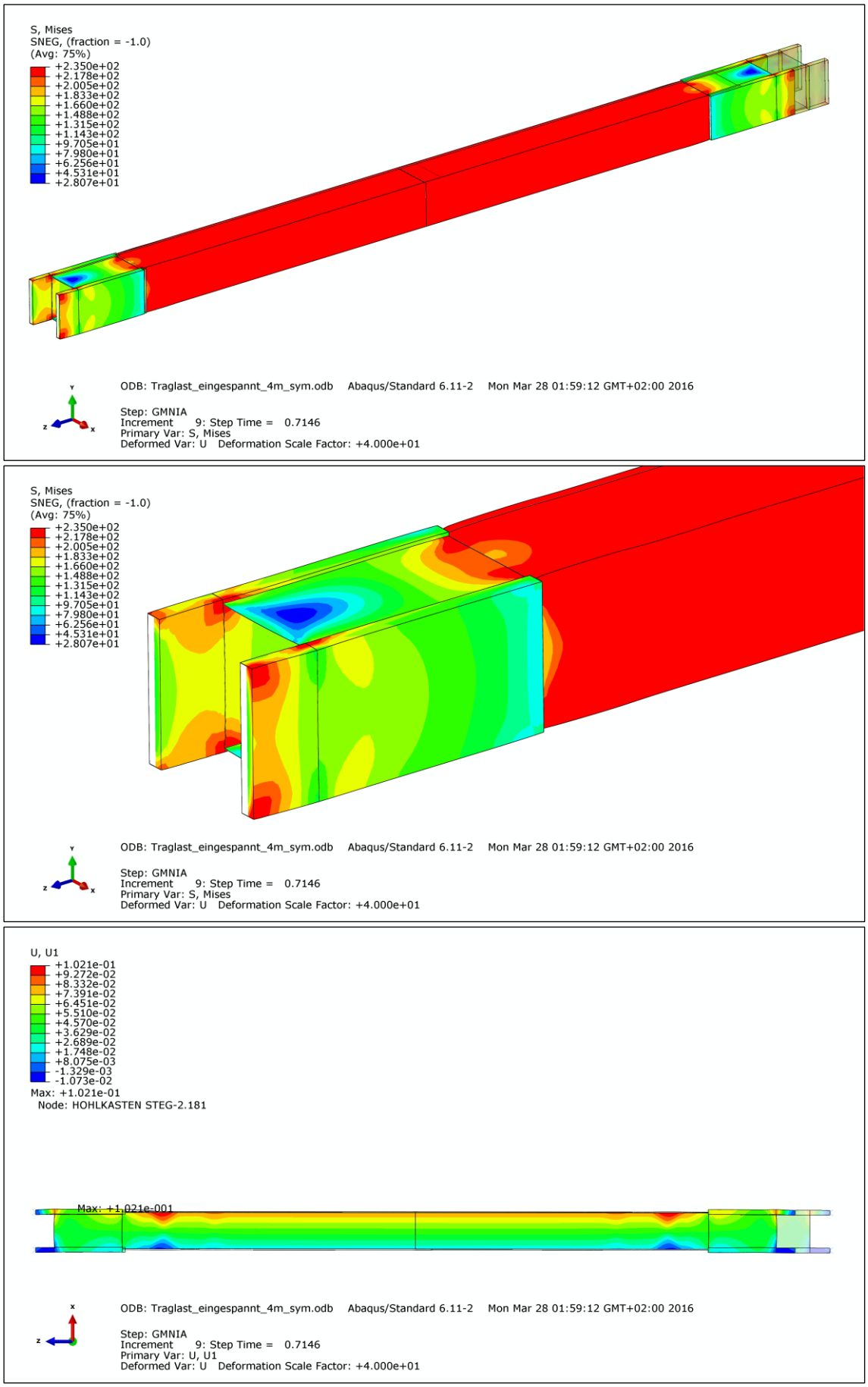
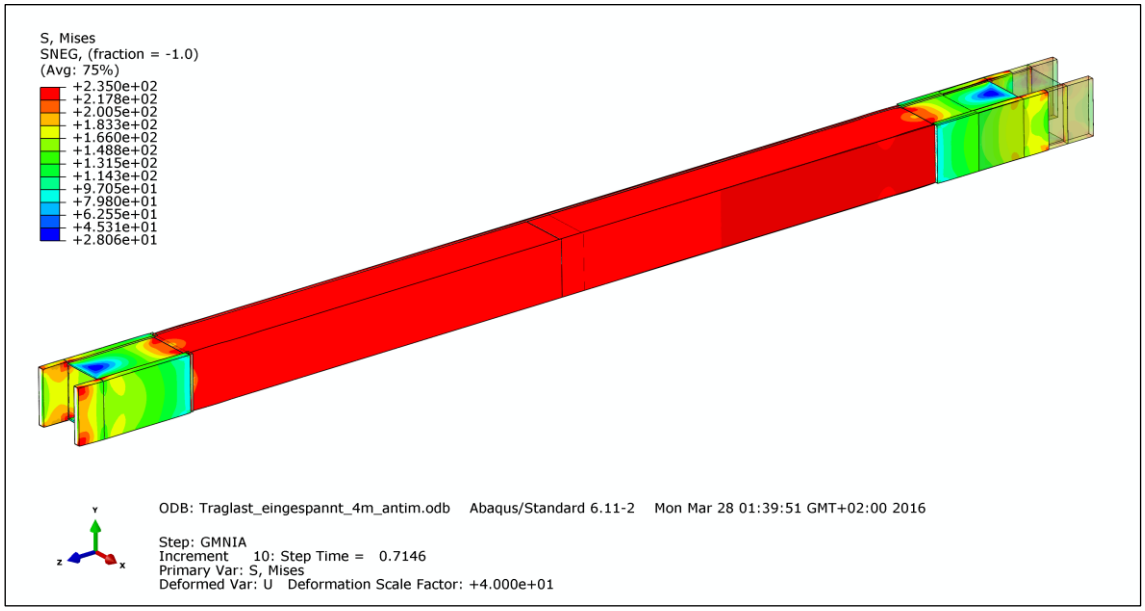
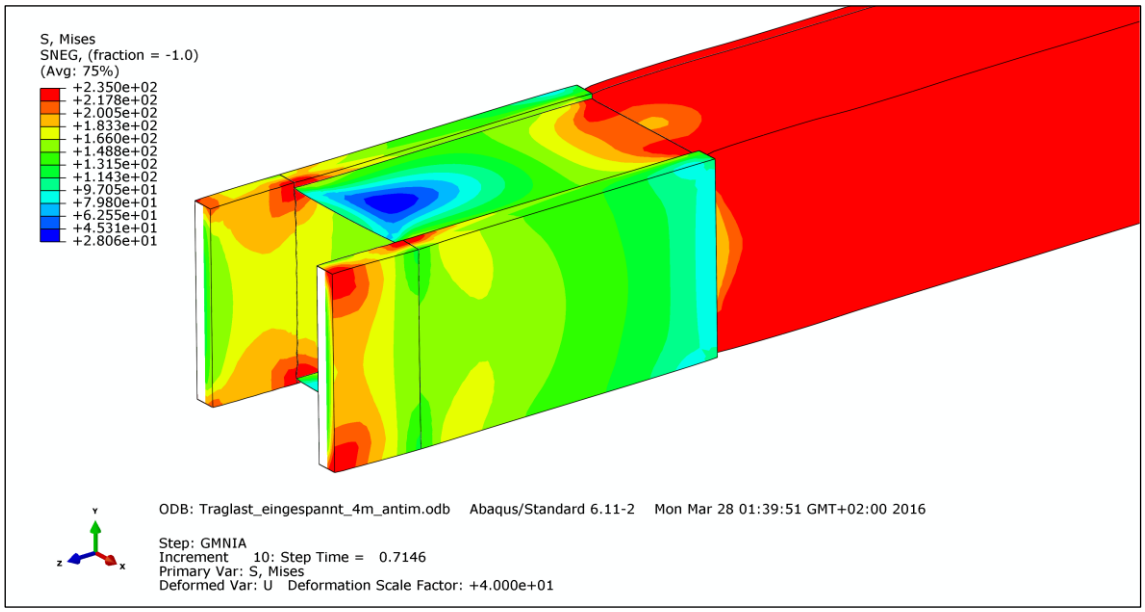


Abbildung 9-198: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





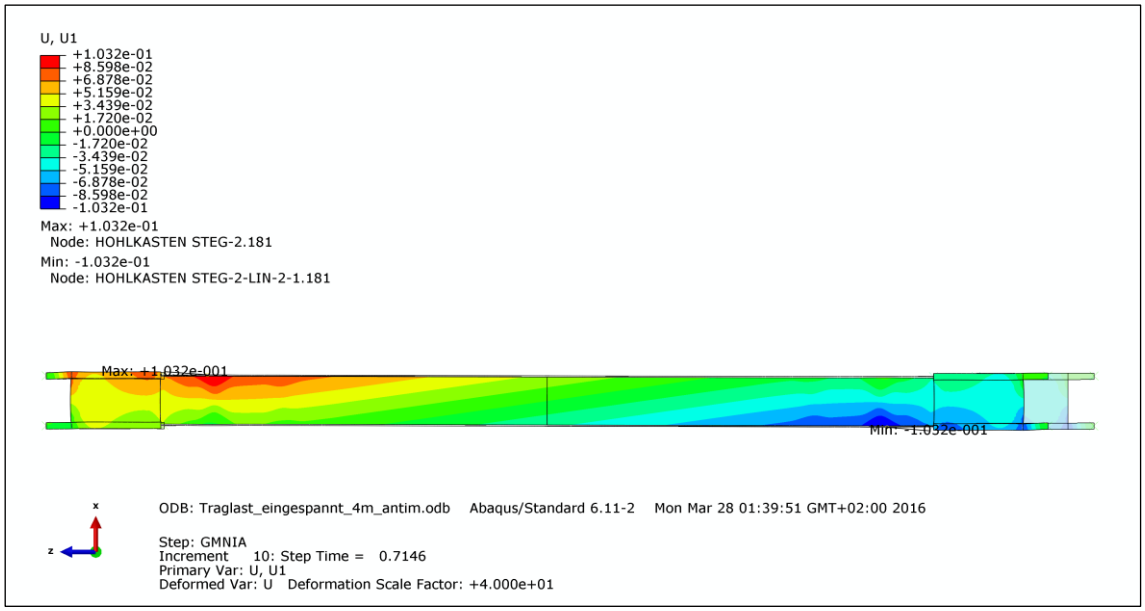
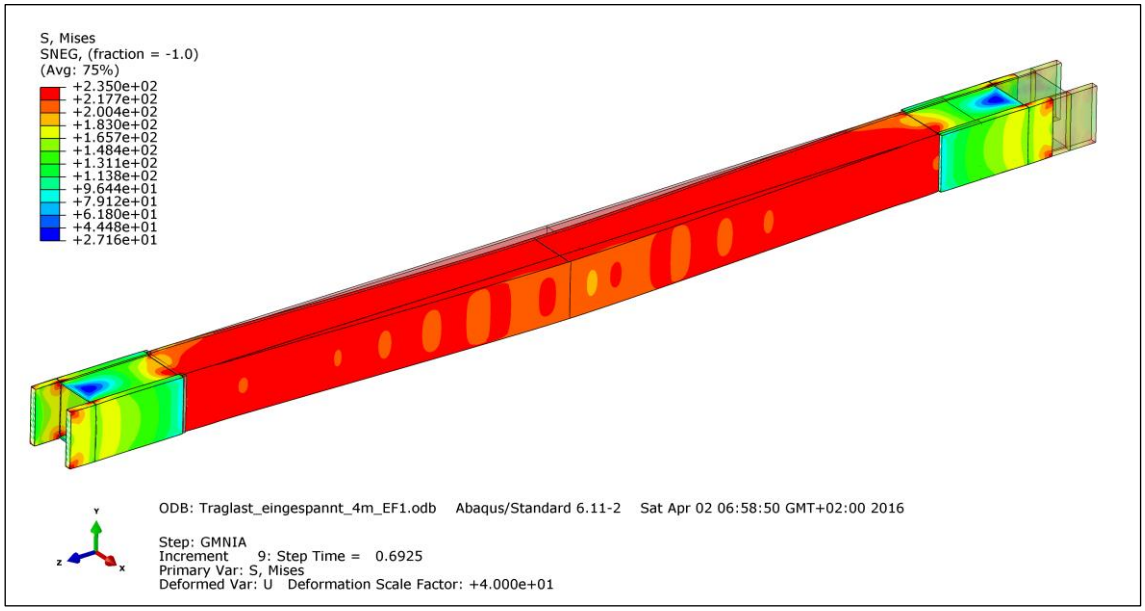
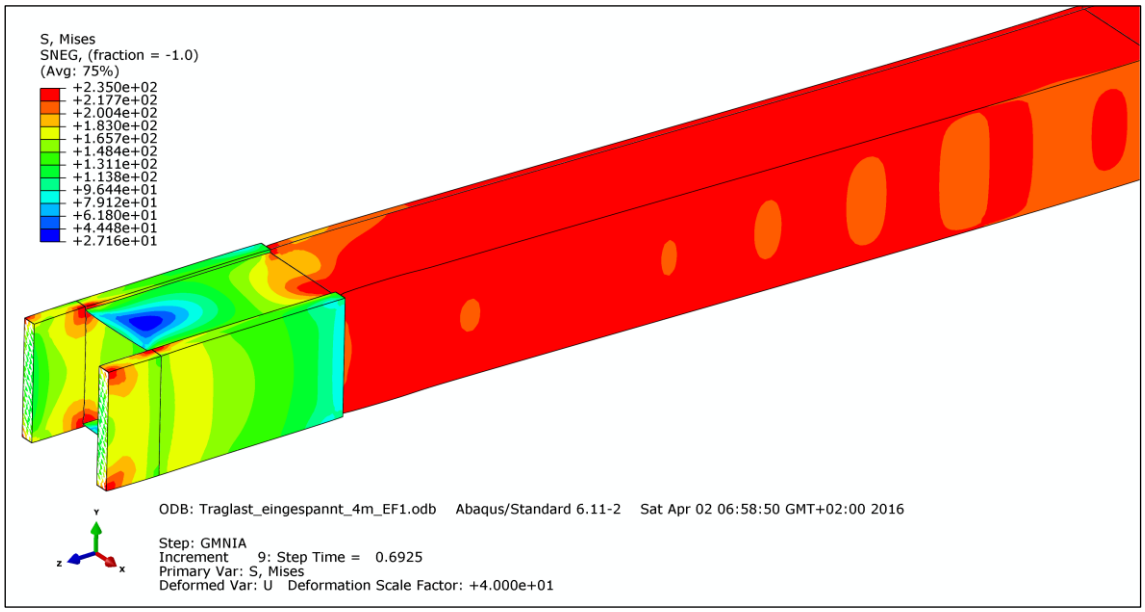


Abbildung 9-199: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





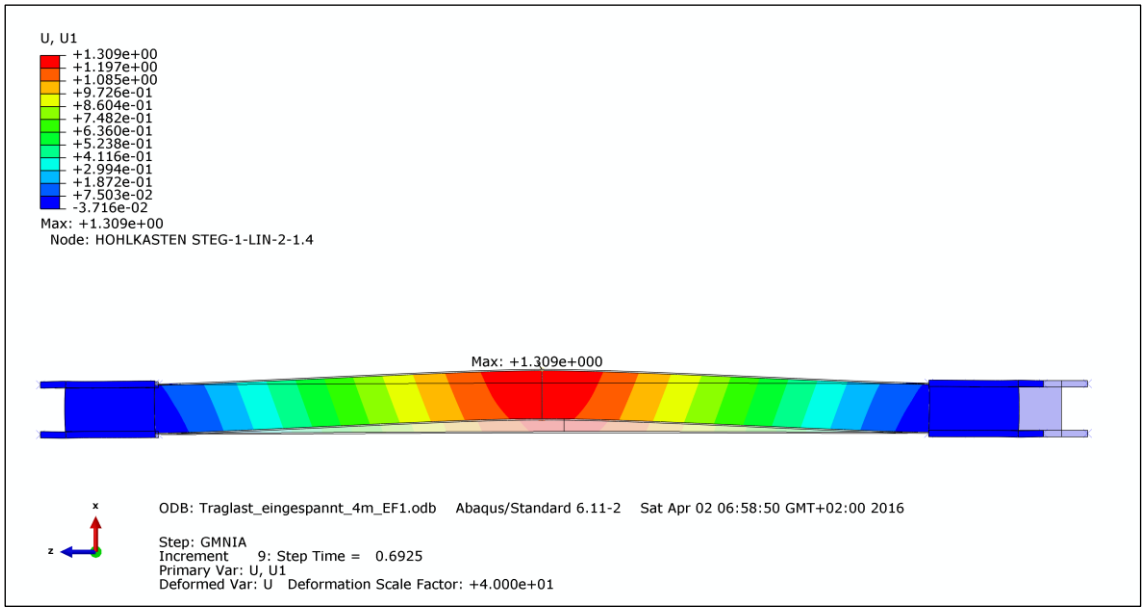
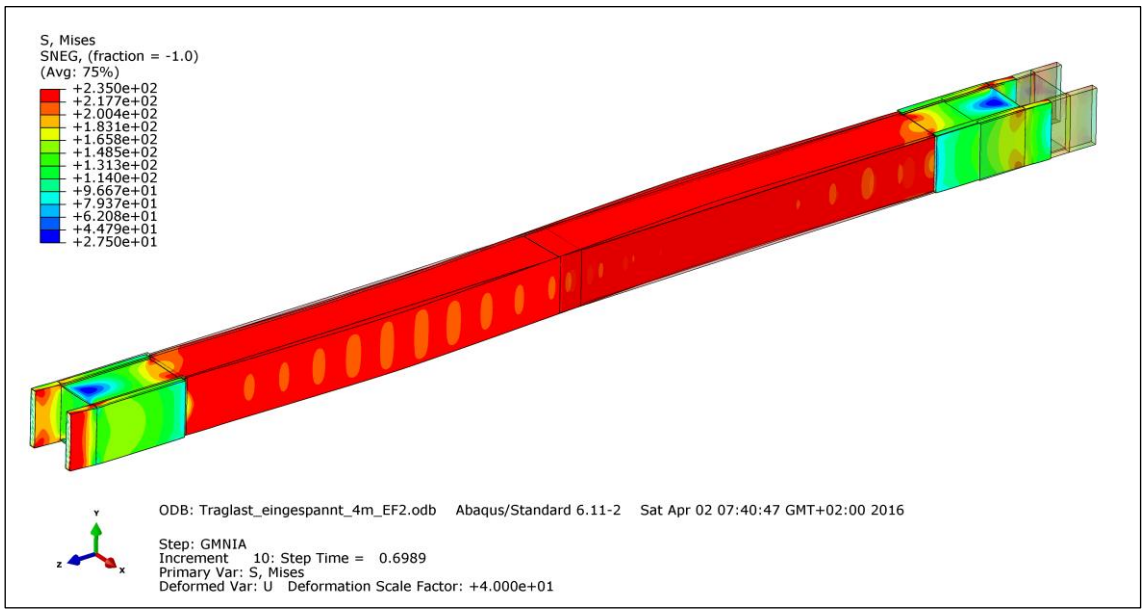
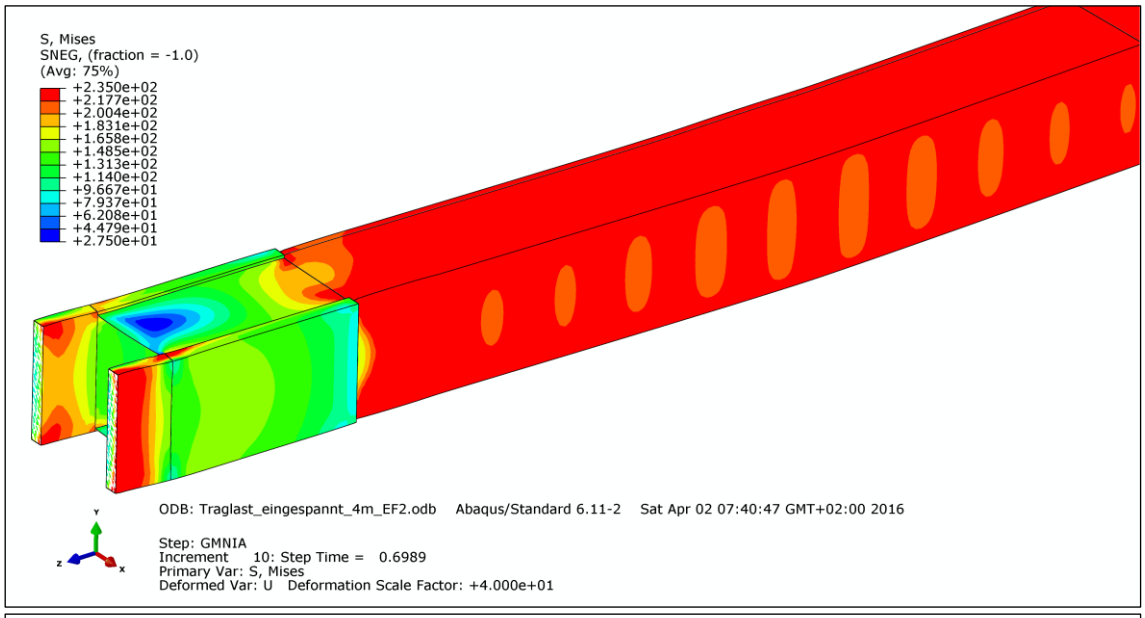


Abbildung 9-200: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





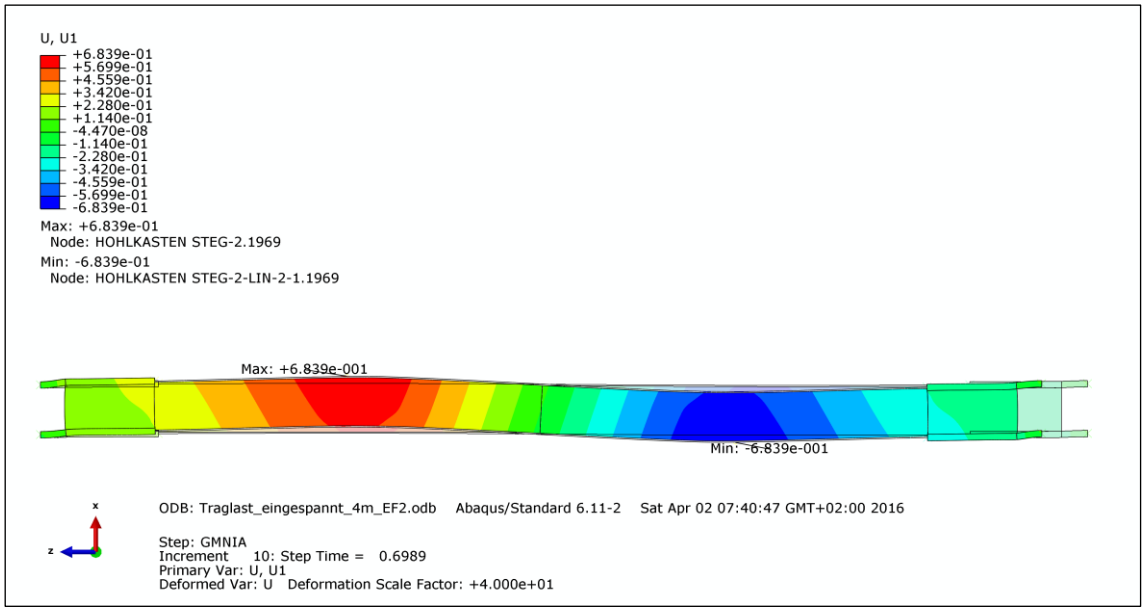
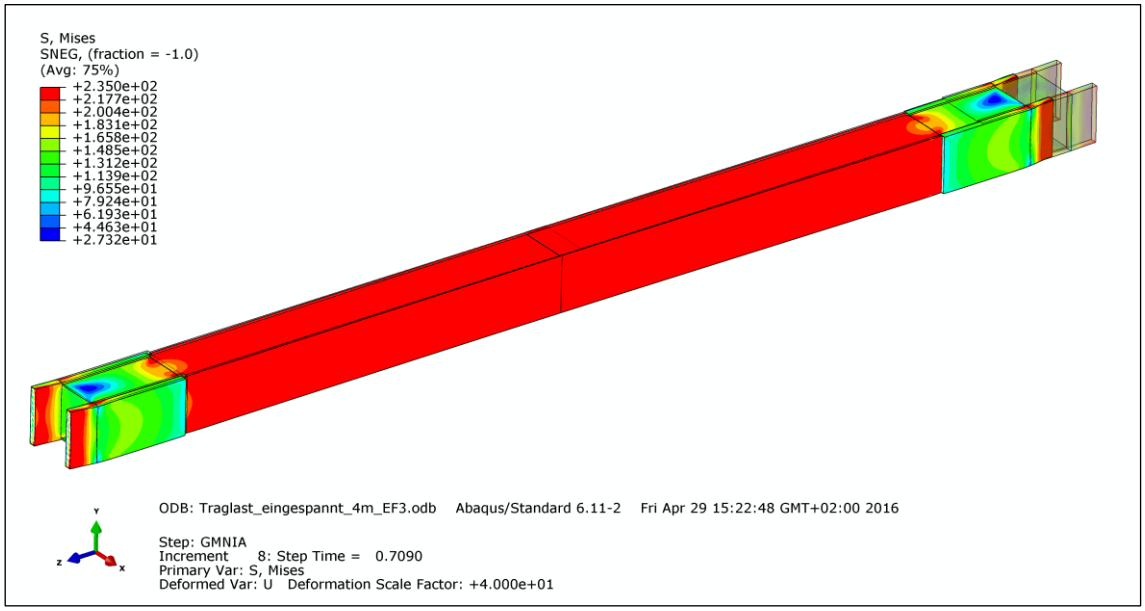
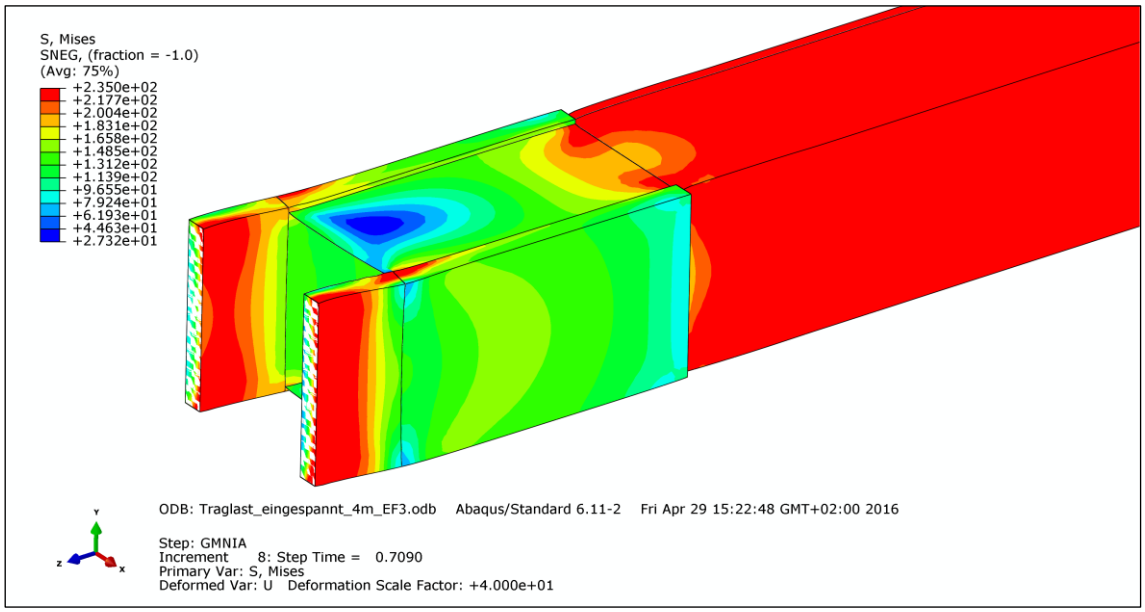


Abbildung 9-201: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





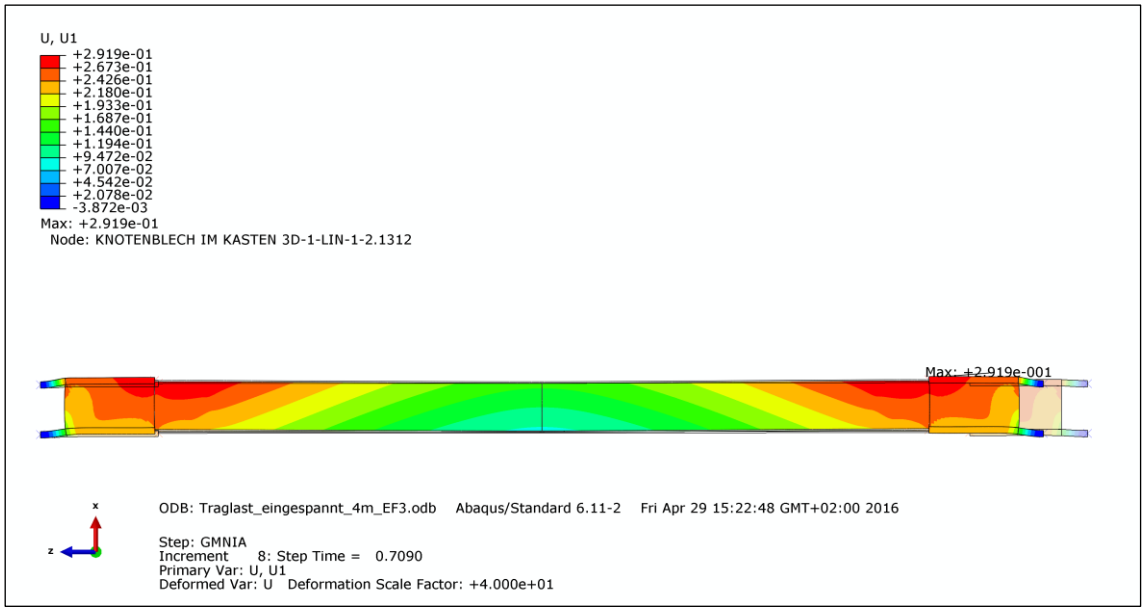


Abbildung 9-202: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

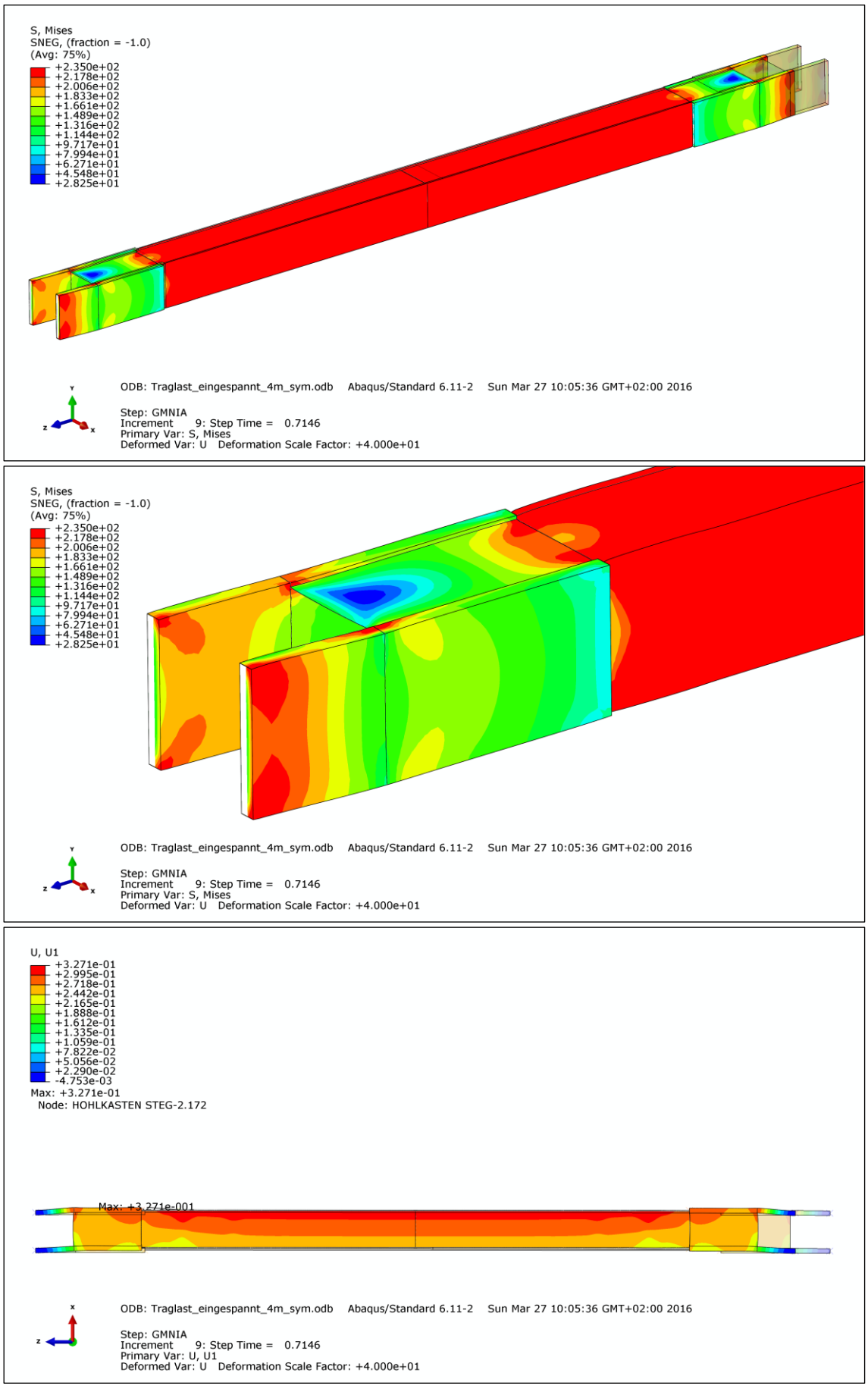


Abbildung 9-203: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)

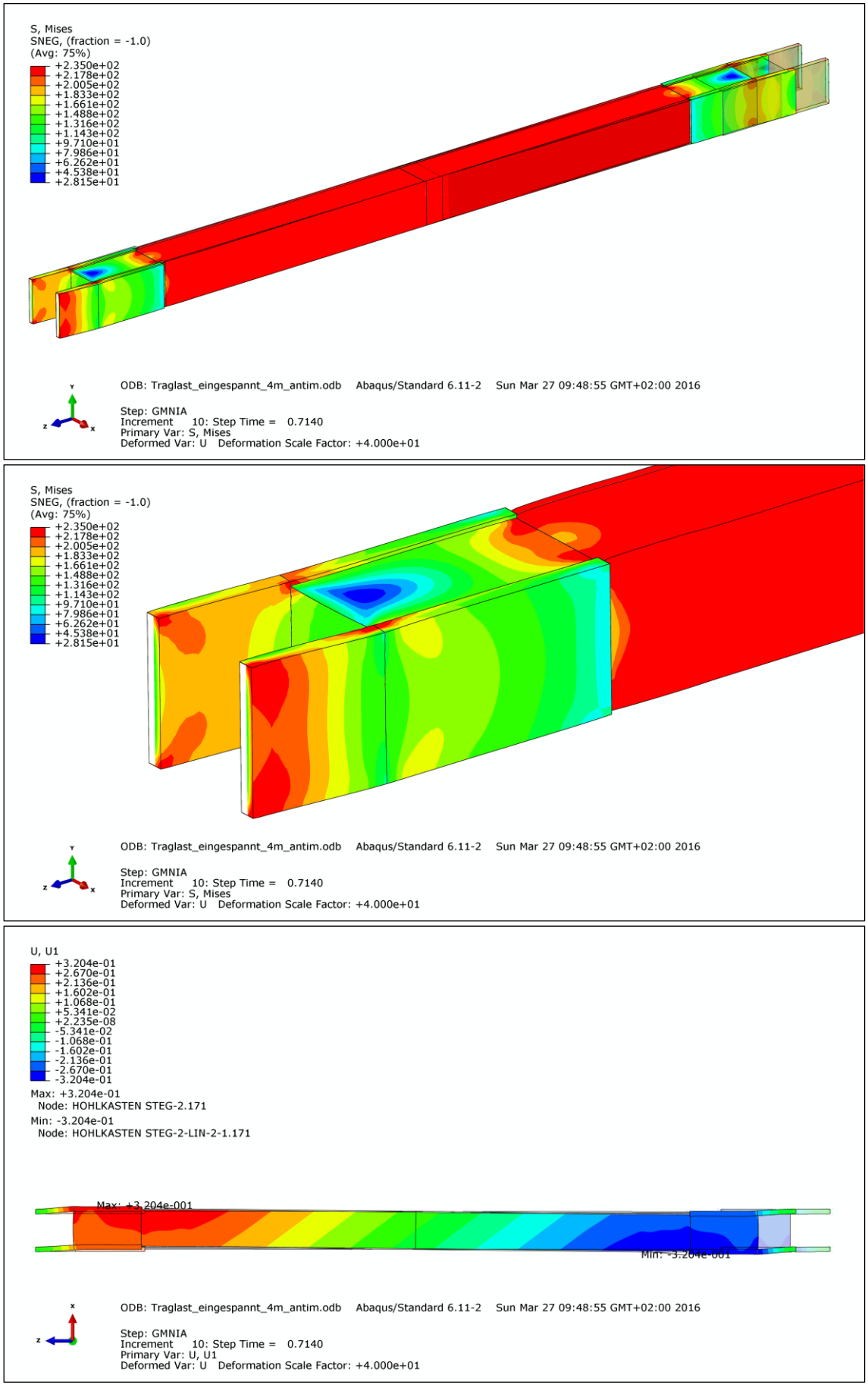
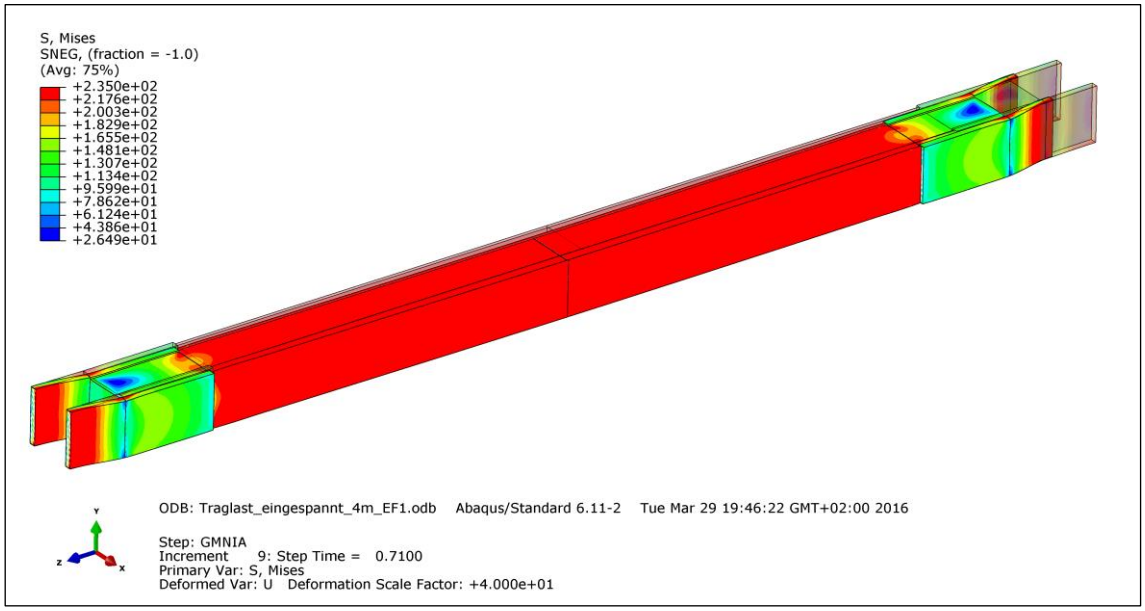
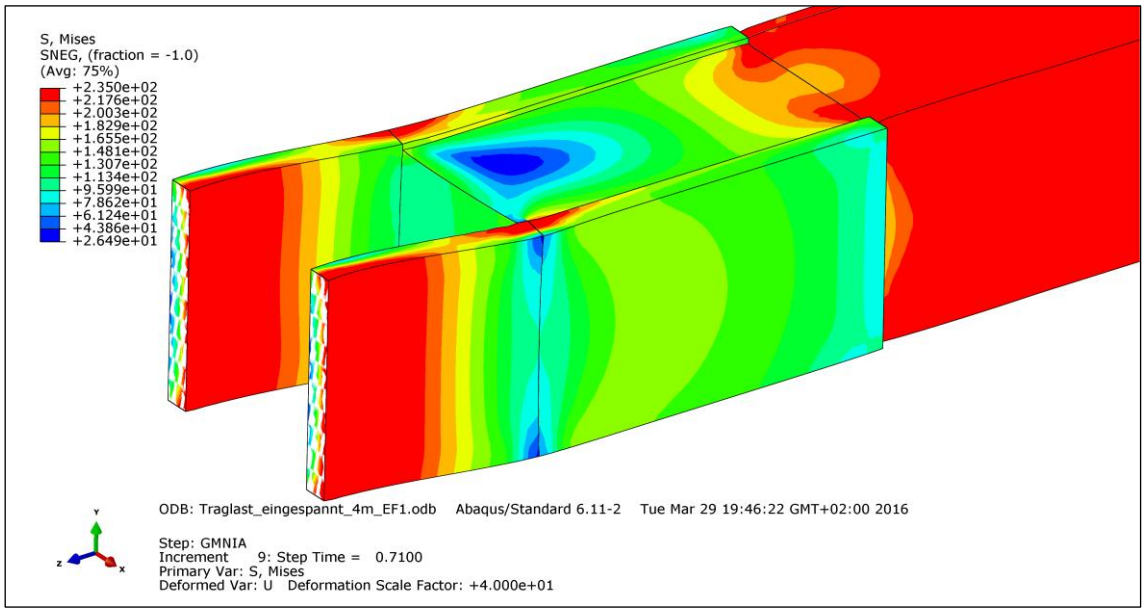


Abbildung 9-204: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





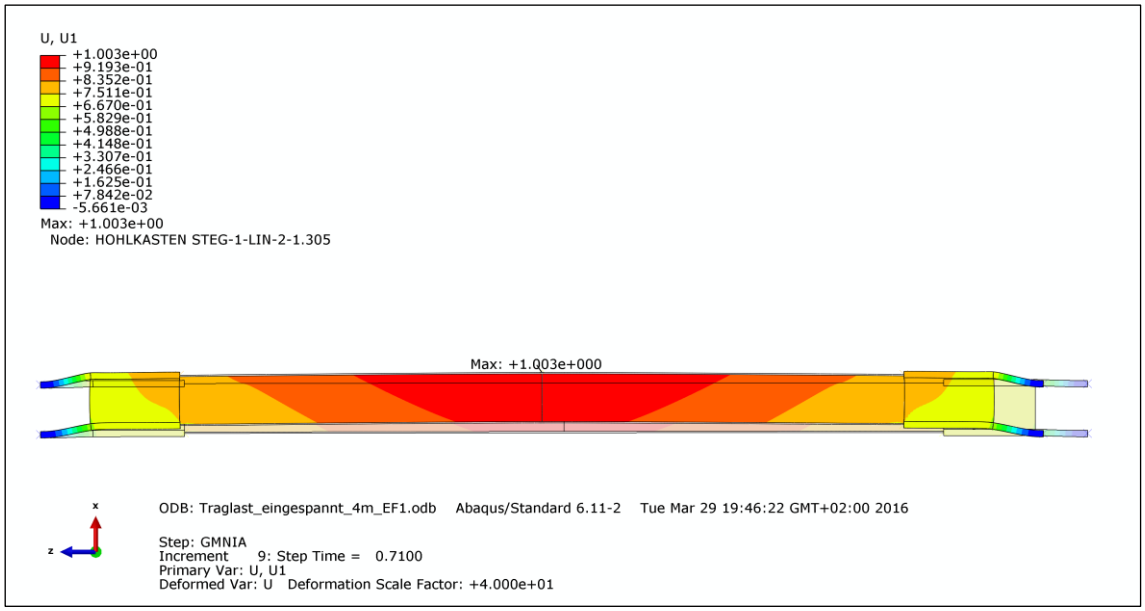


Abbildung 9-205: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

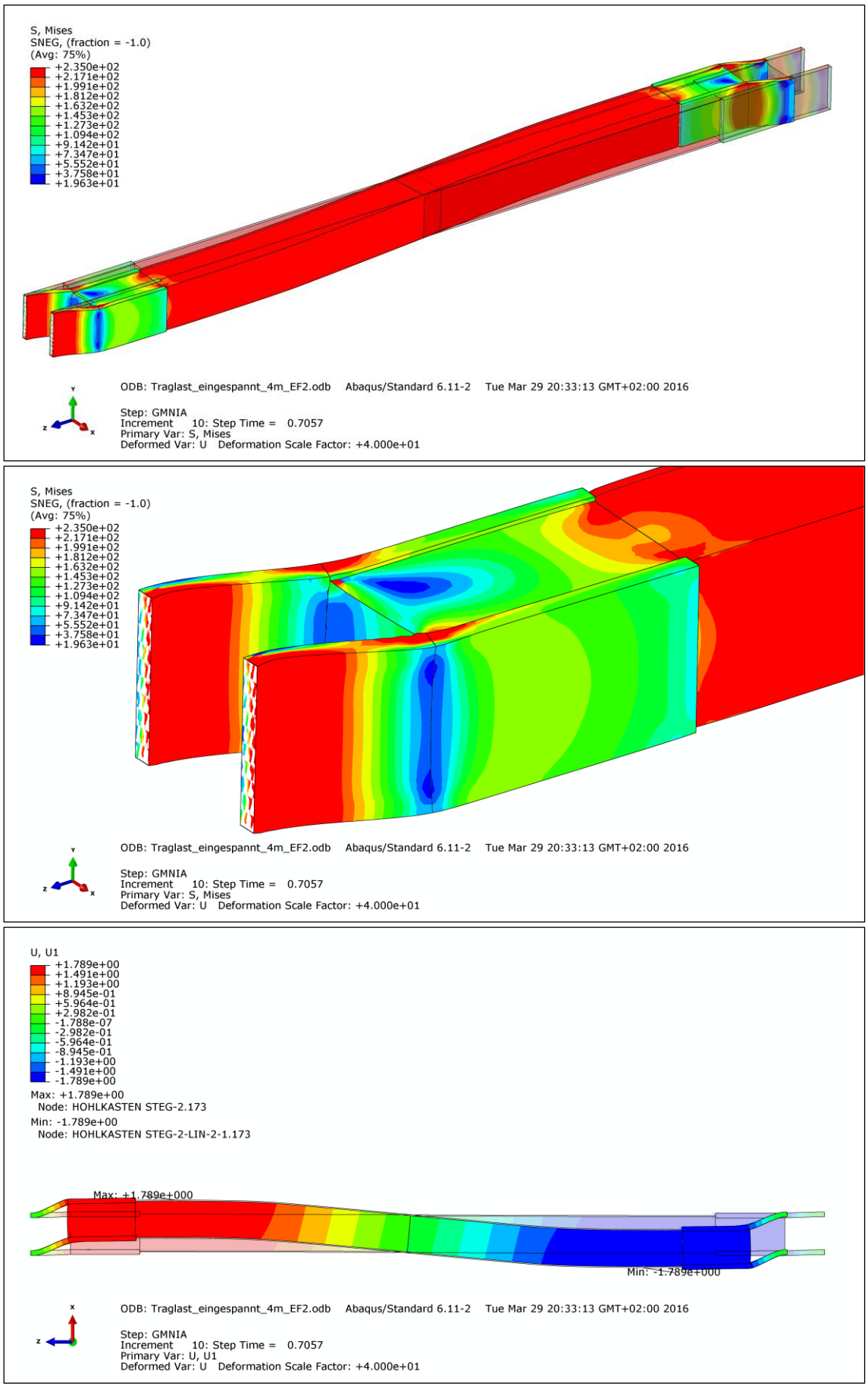


Abbildung 9-206: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2

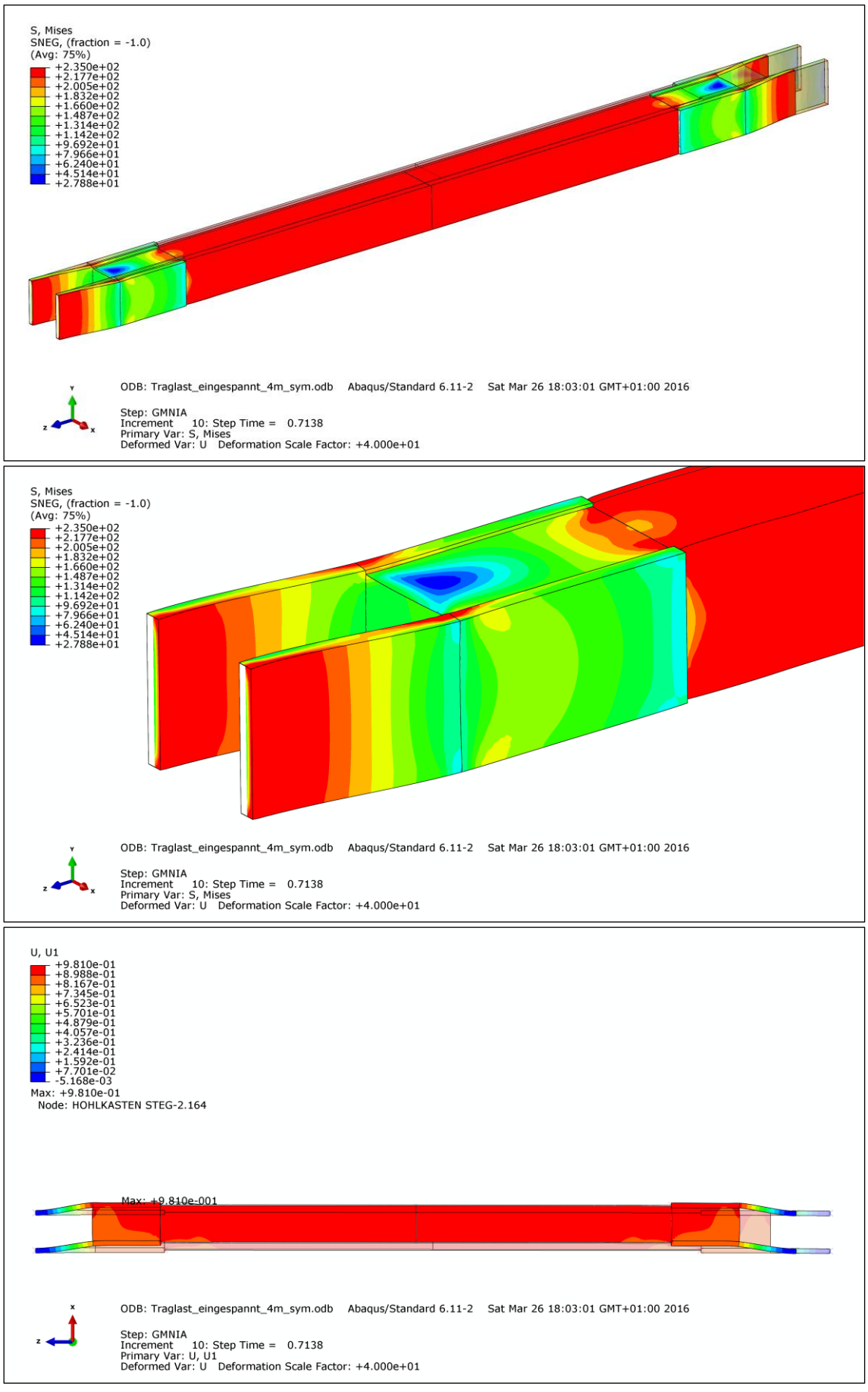
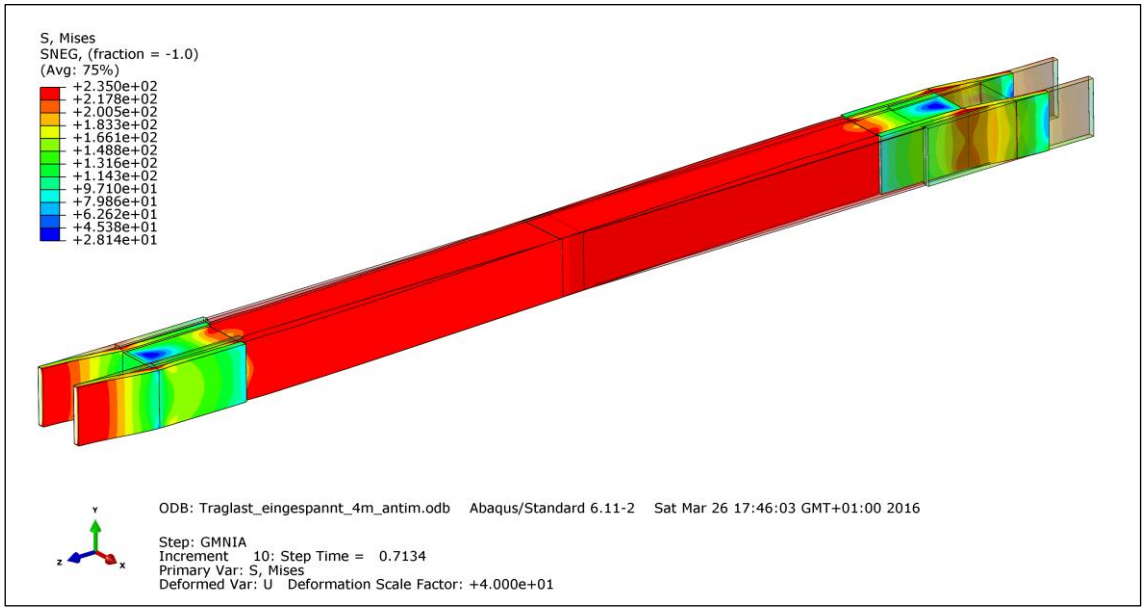
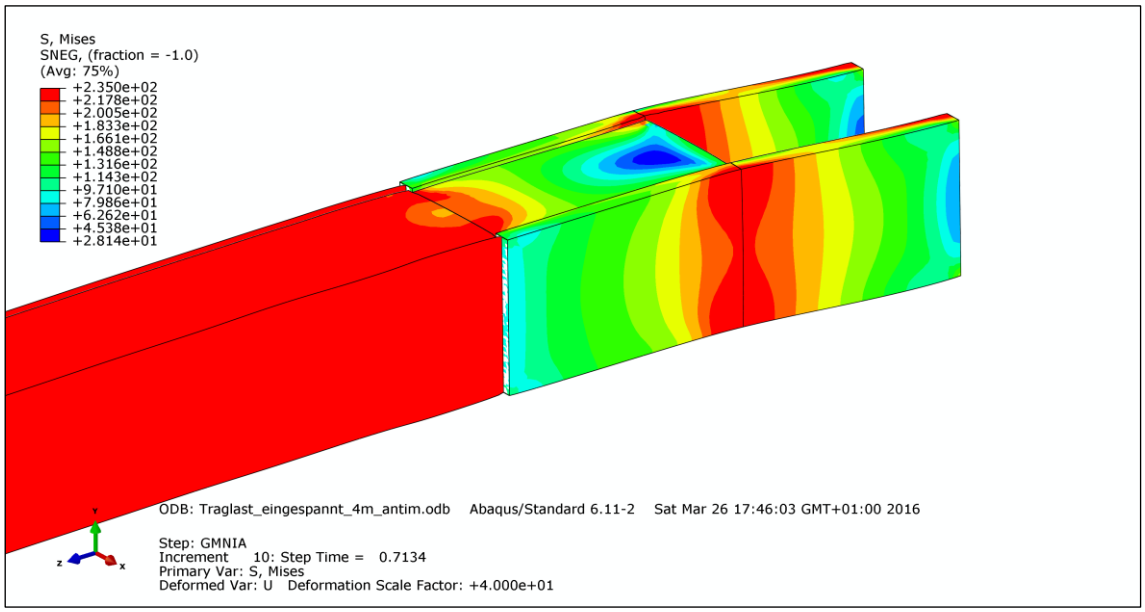


Abbildung 9-207: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





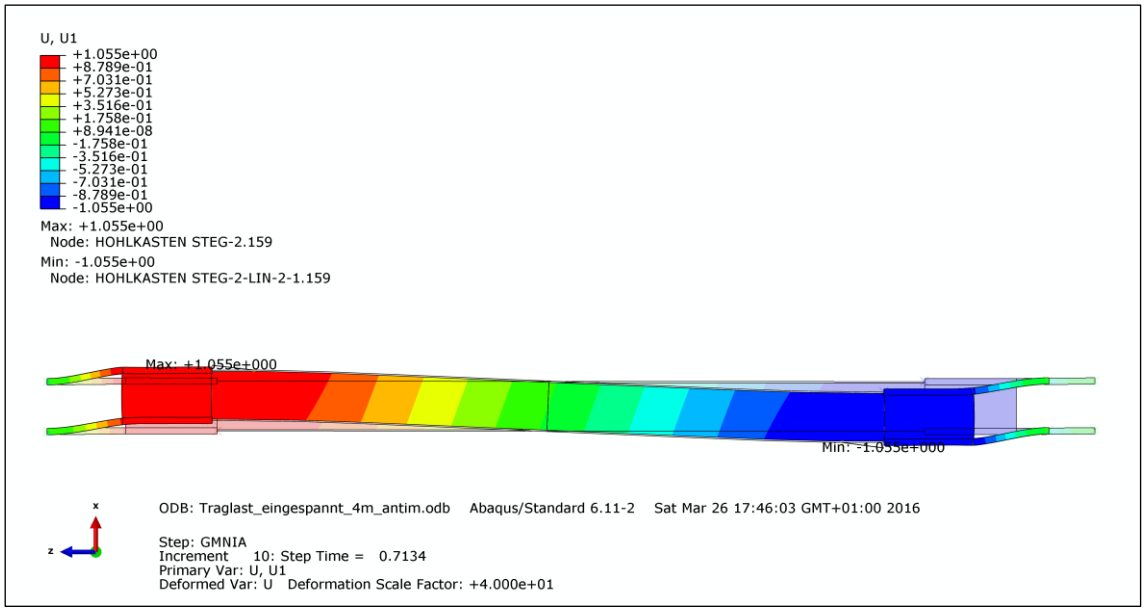


Abbildung 9-208: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)

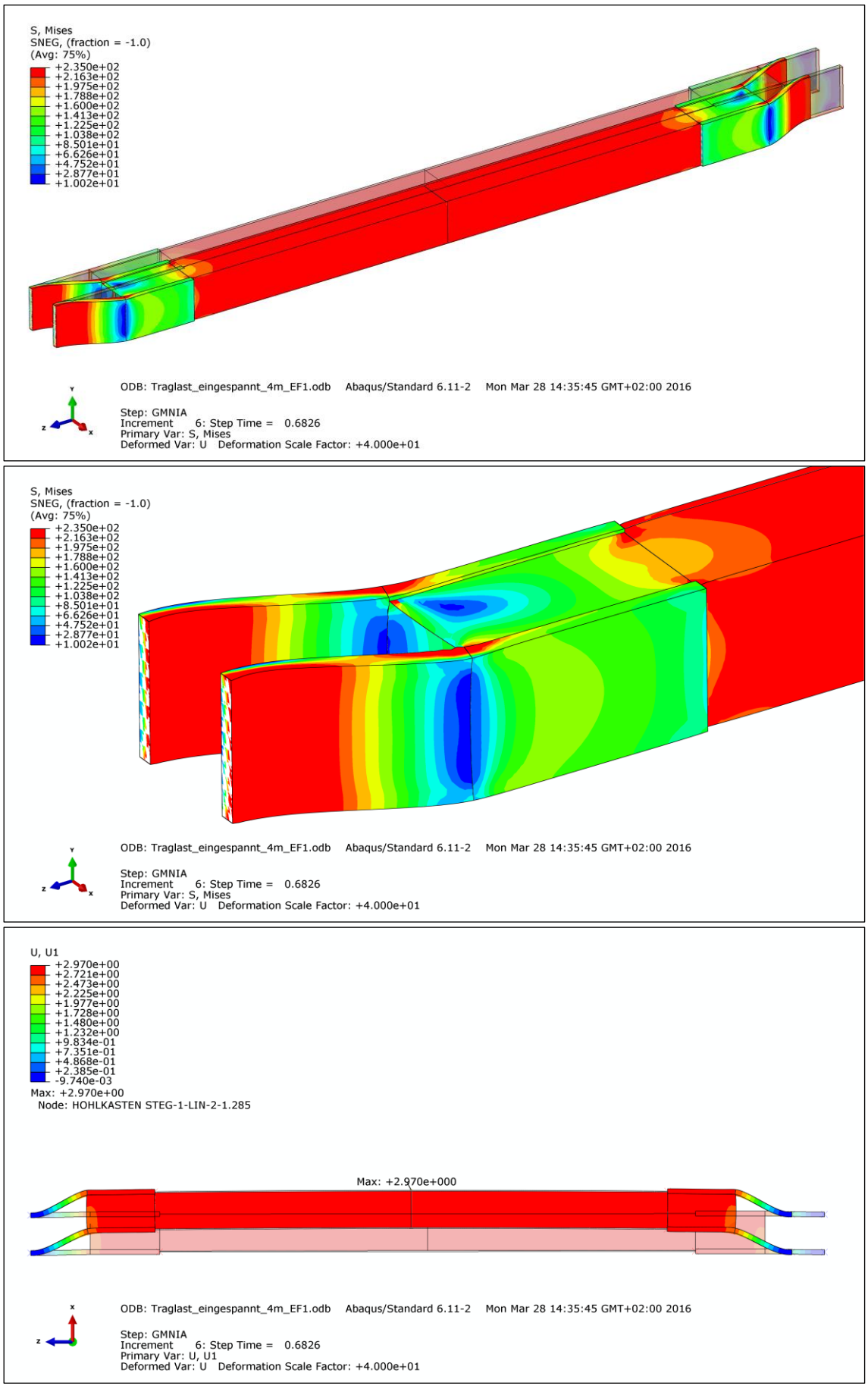
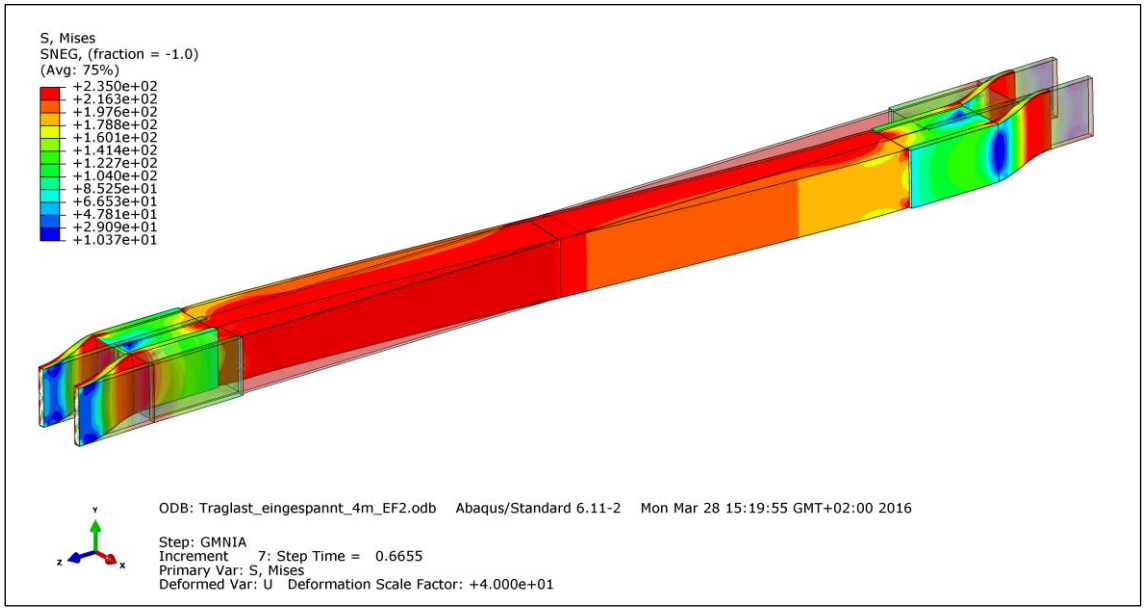
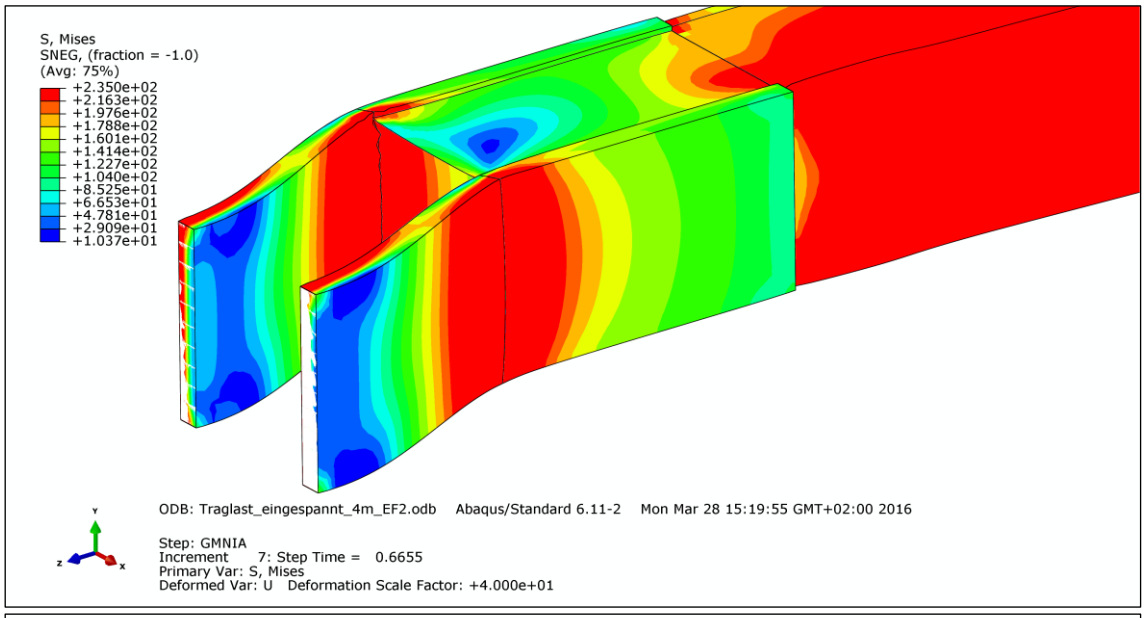


Abbildung 9-209: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





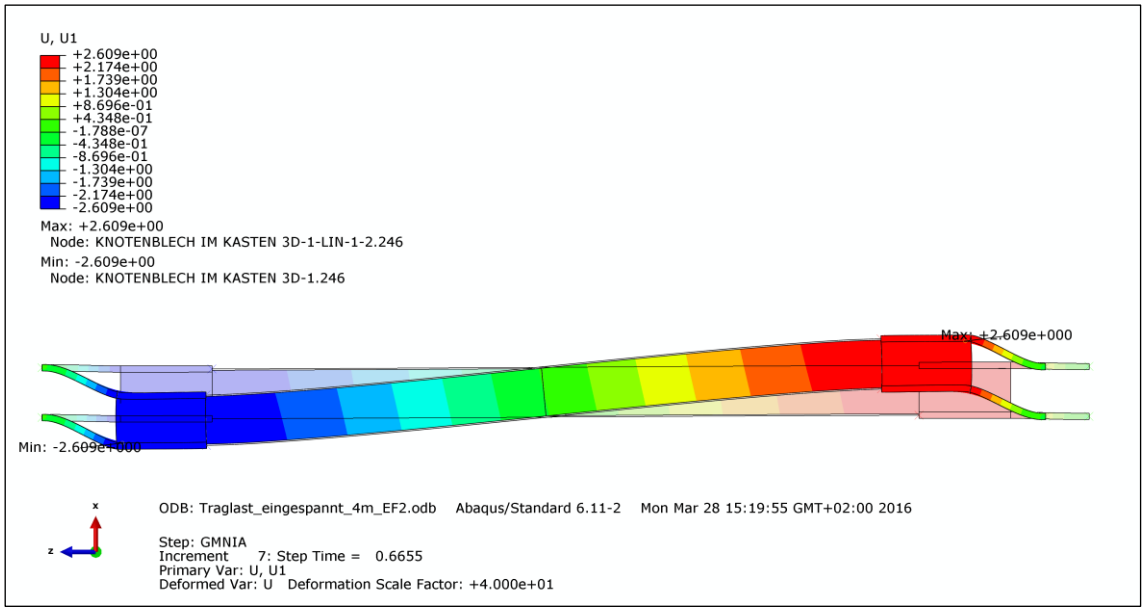


Abbildung 9-210: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

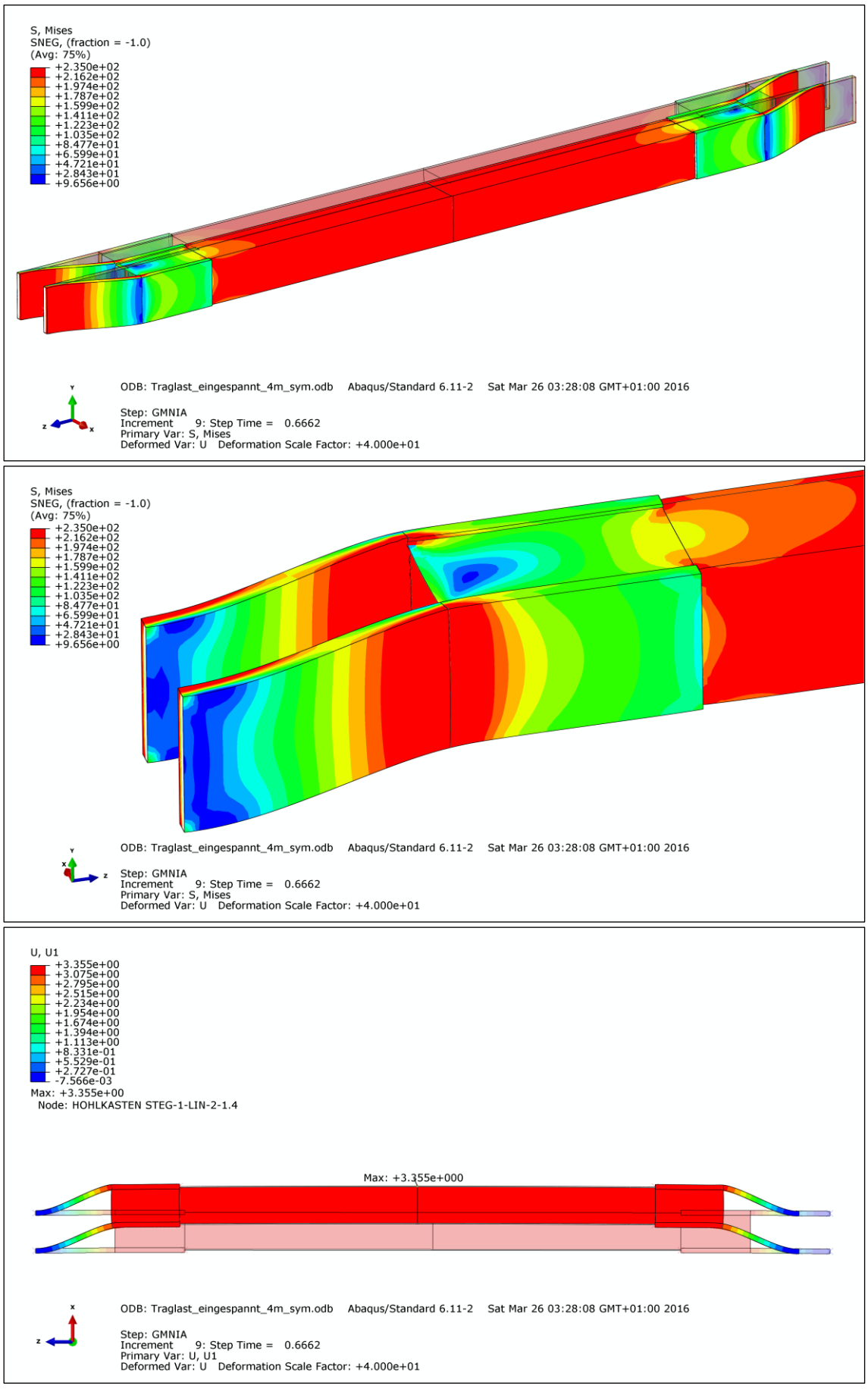
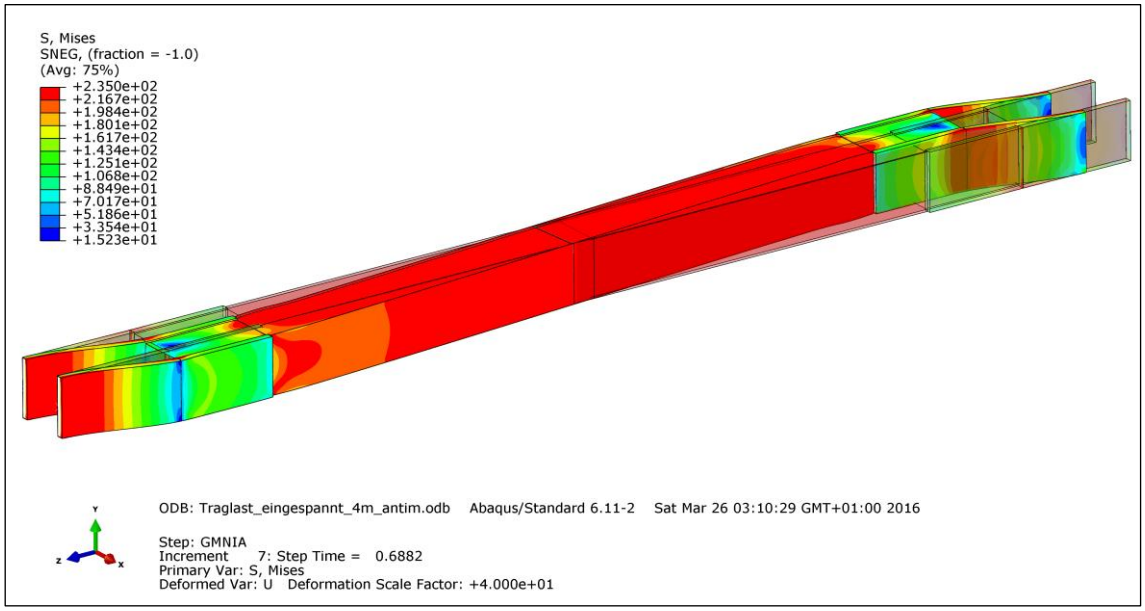
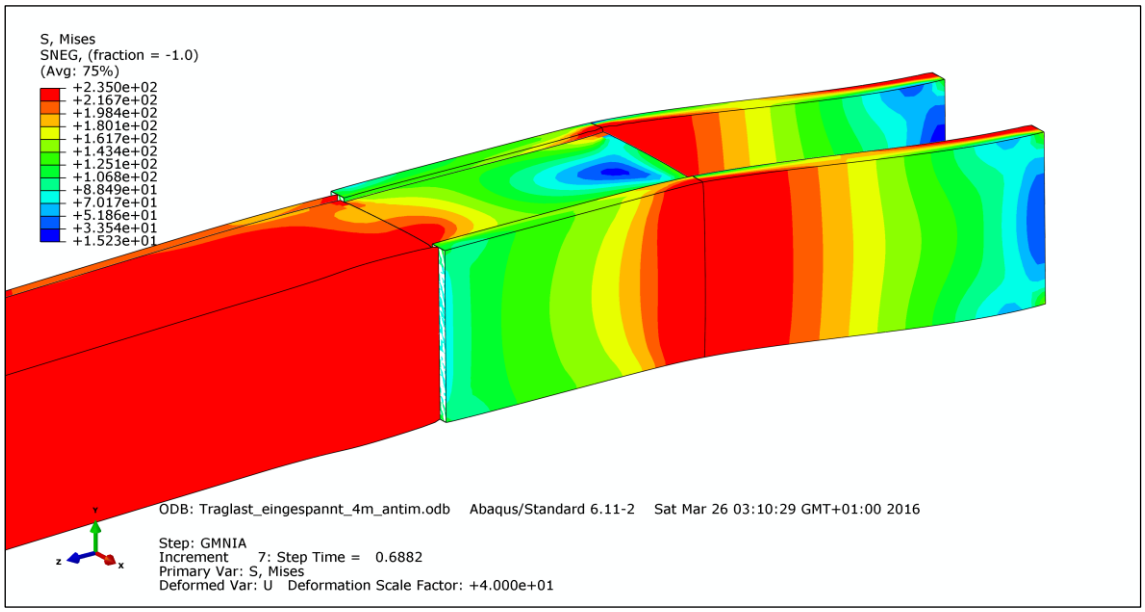


Abbildung 9-211: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





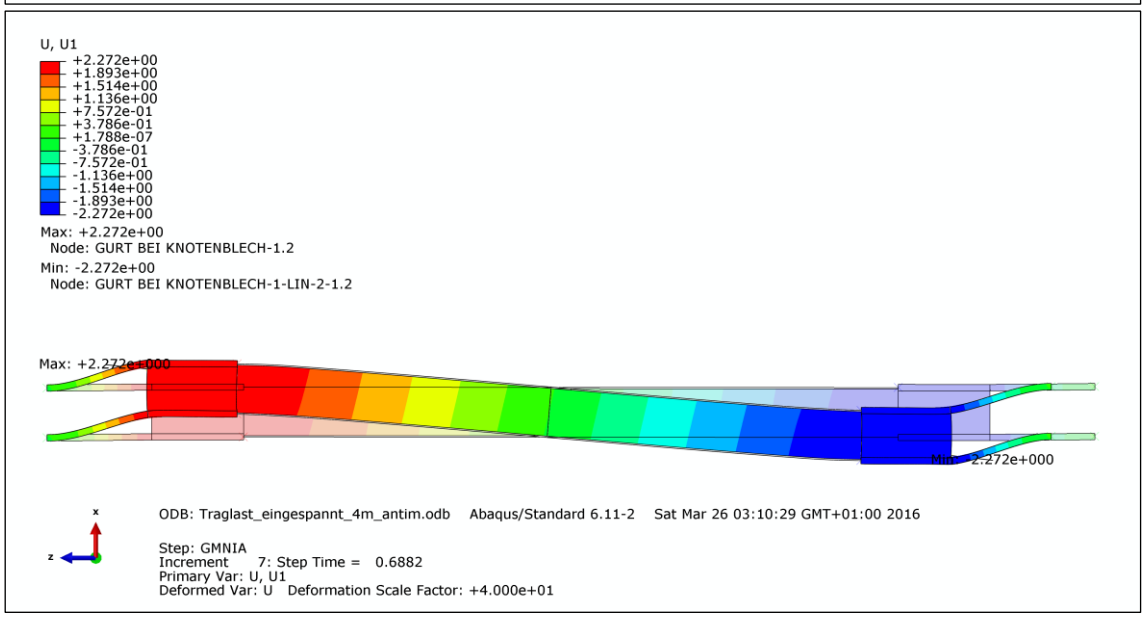
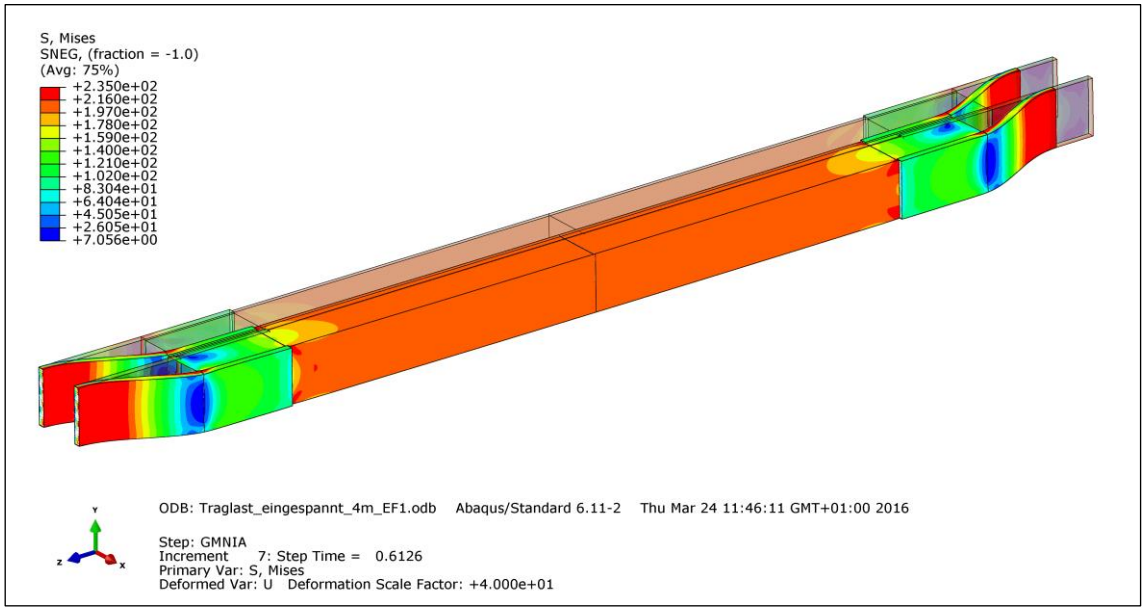
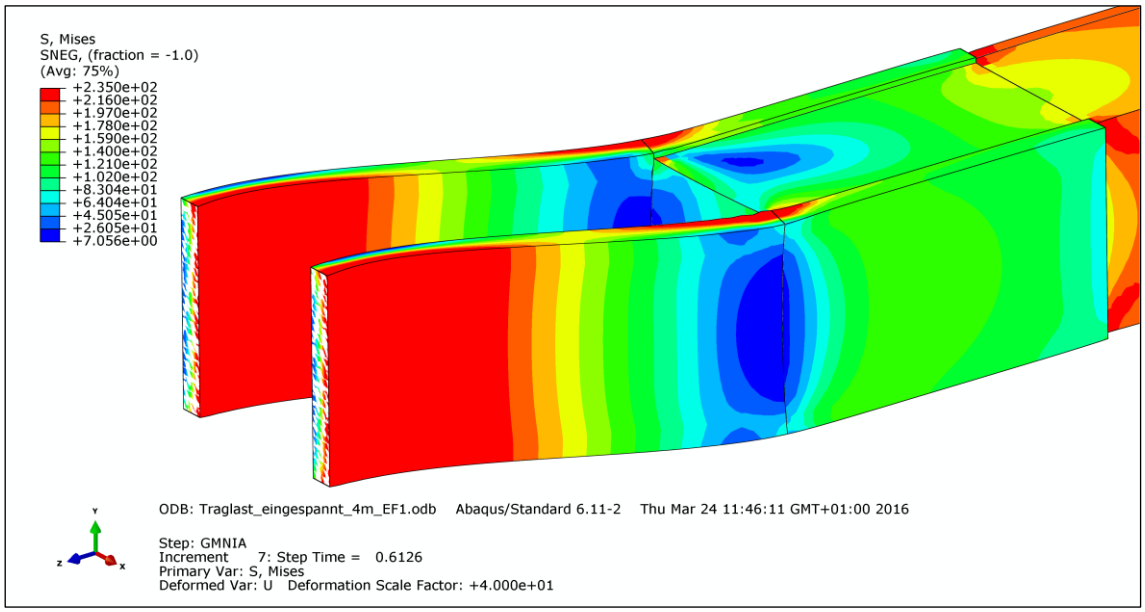


Abbildung 9-212: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





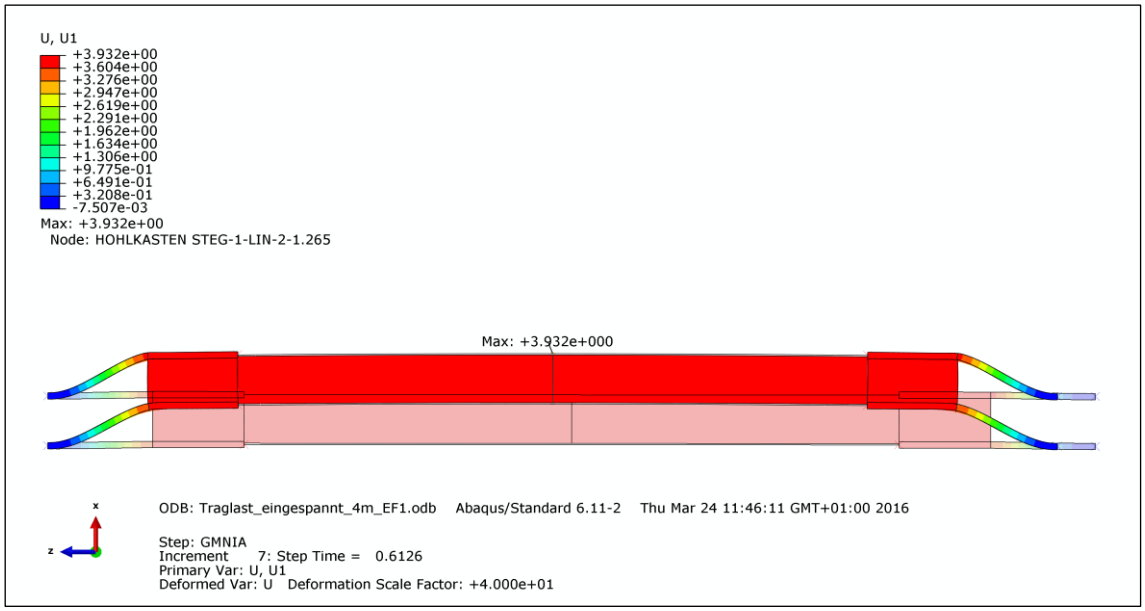
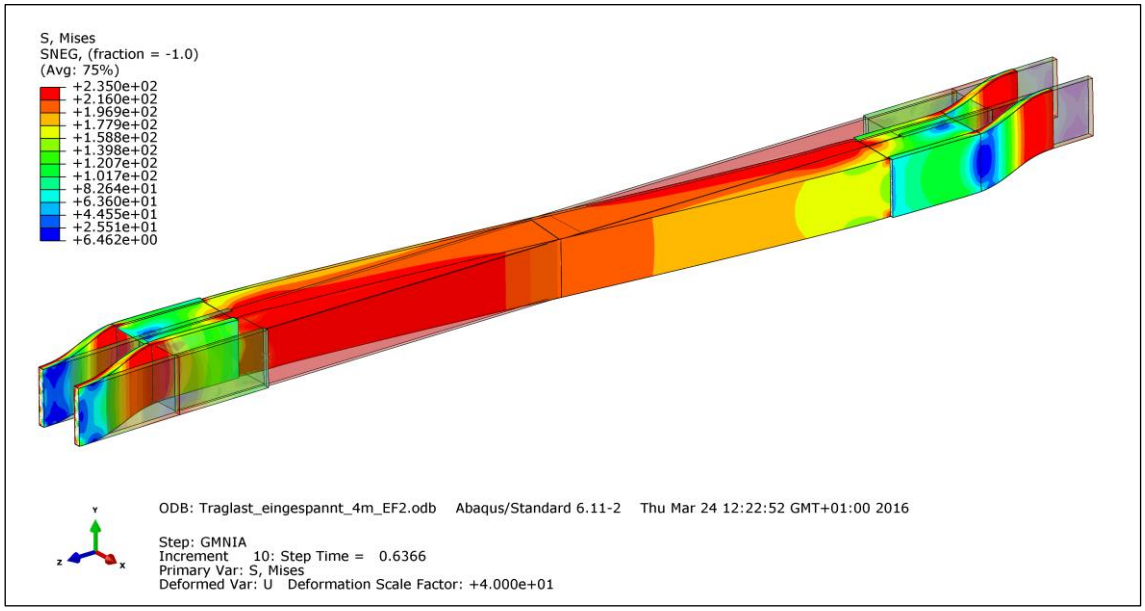
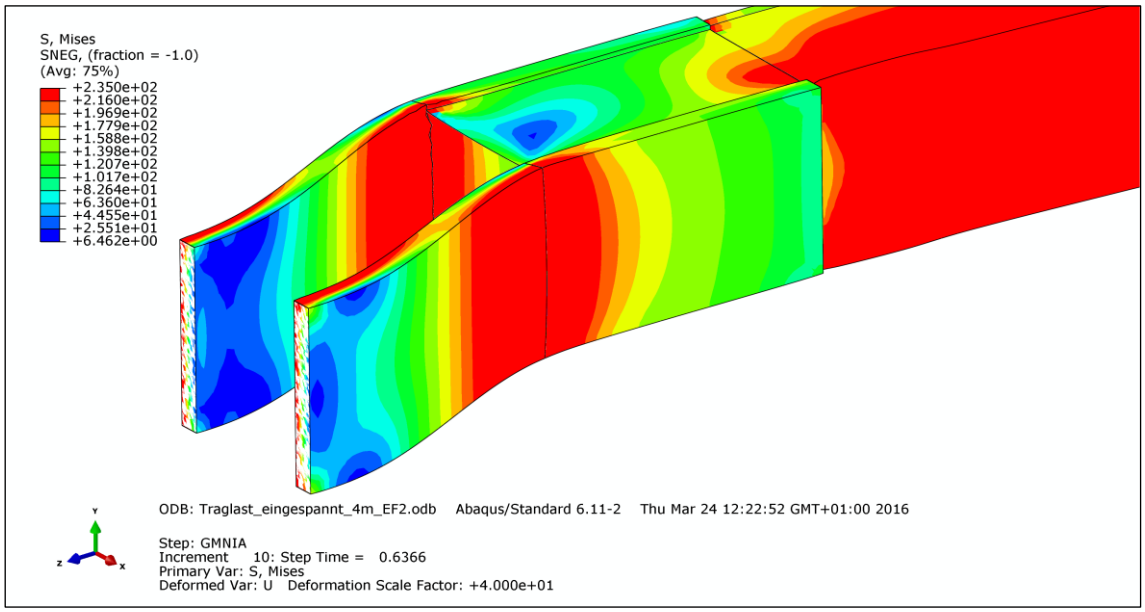


Abbildung 9-213: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





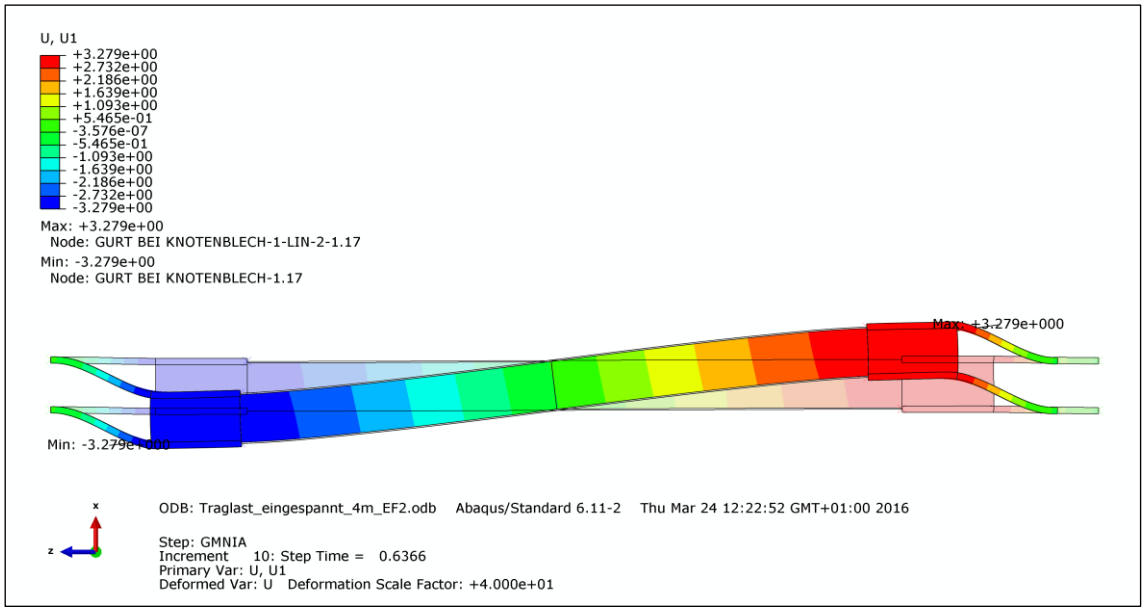


Abbildung 9-214: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm**

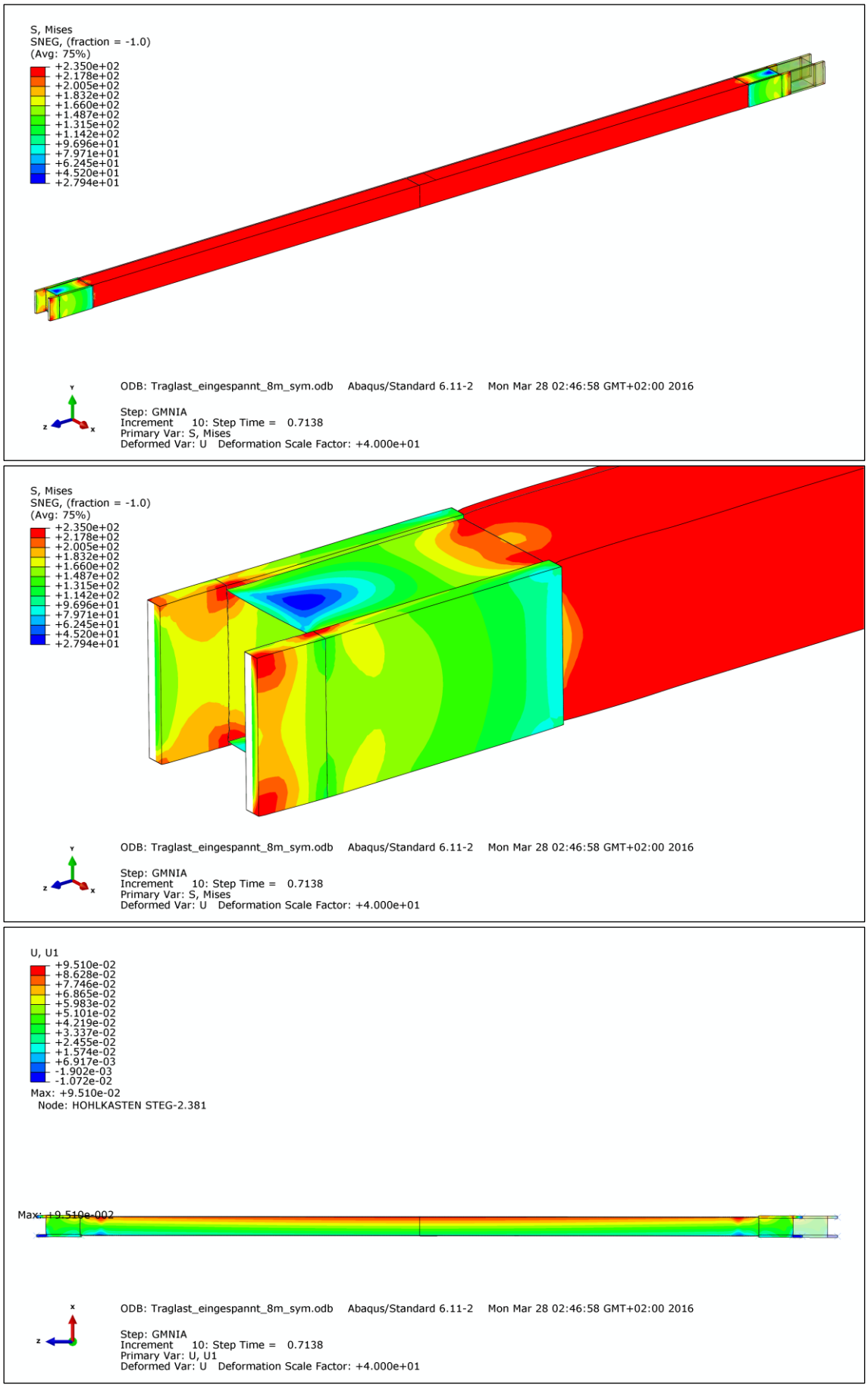
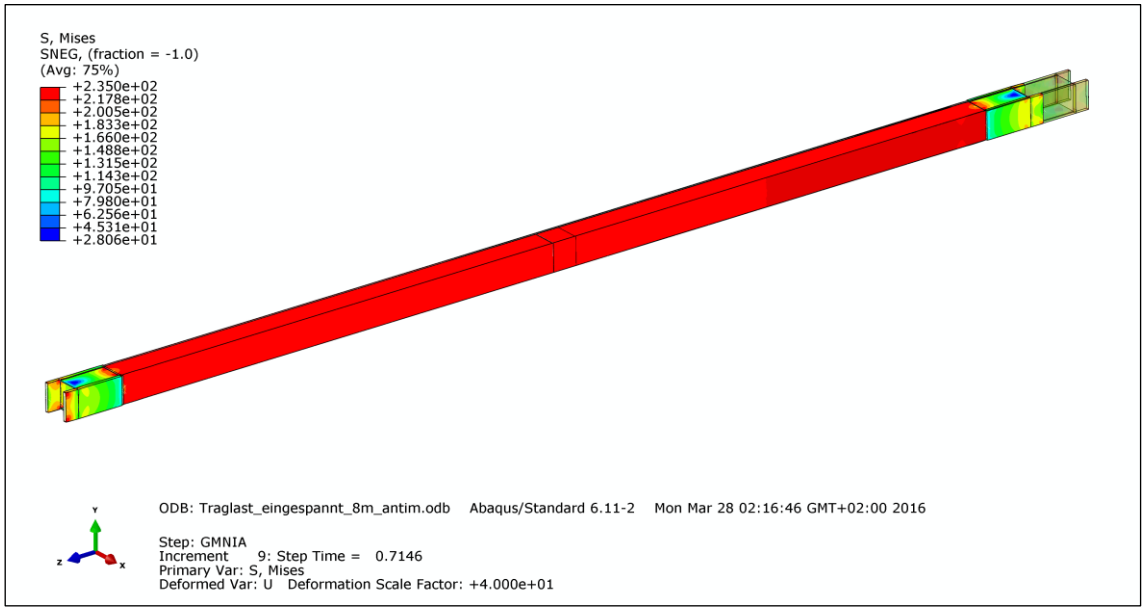
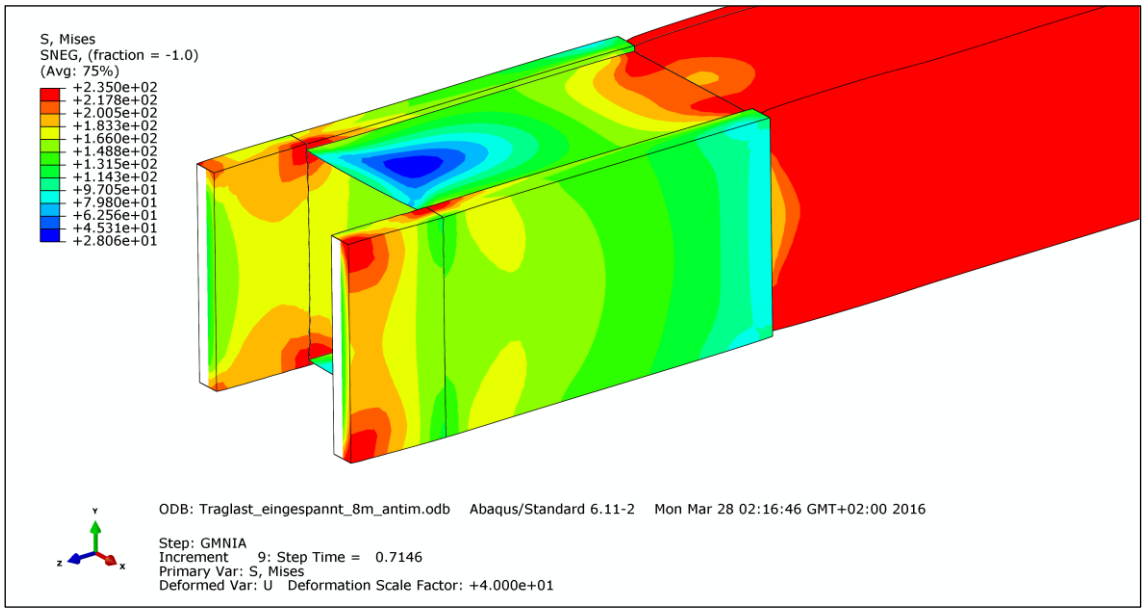


Abbildung 9-215: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





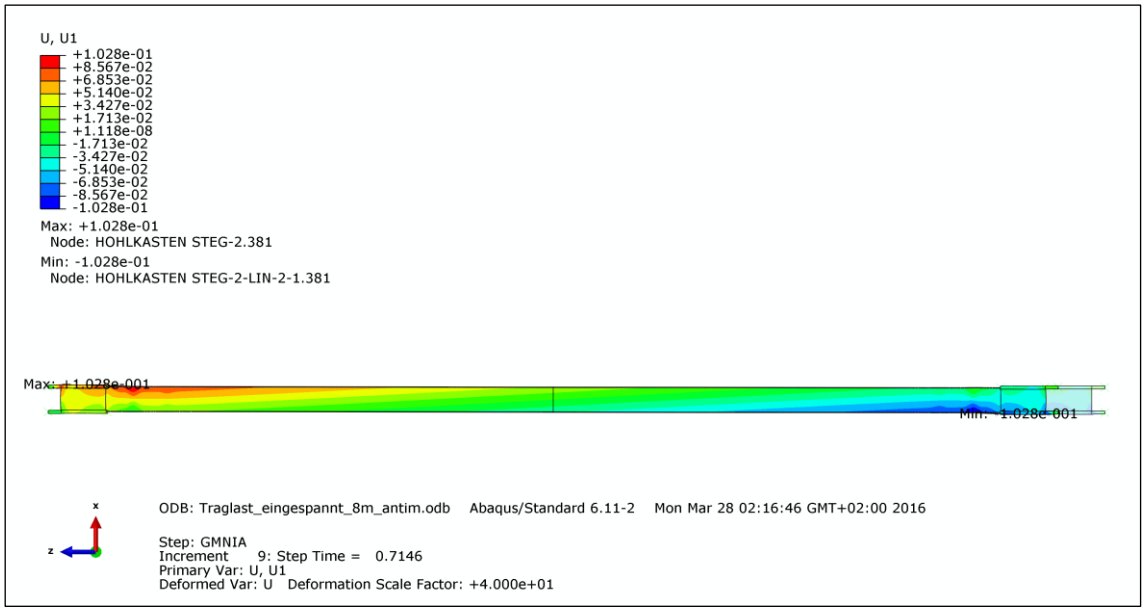


Abbildung 9-216: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)

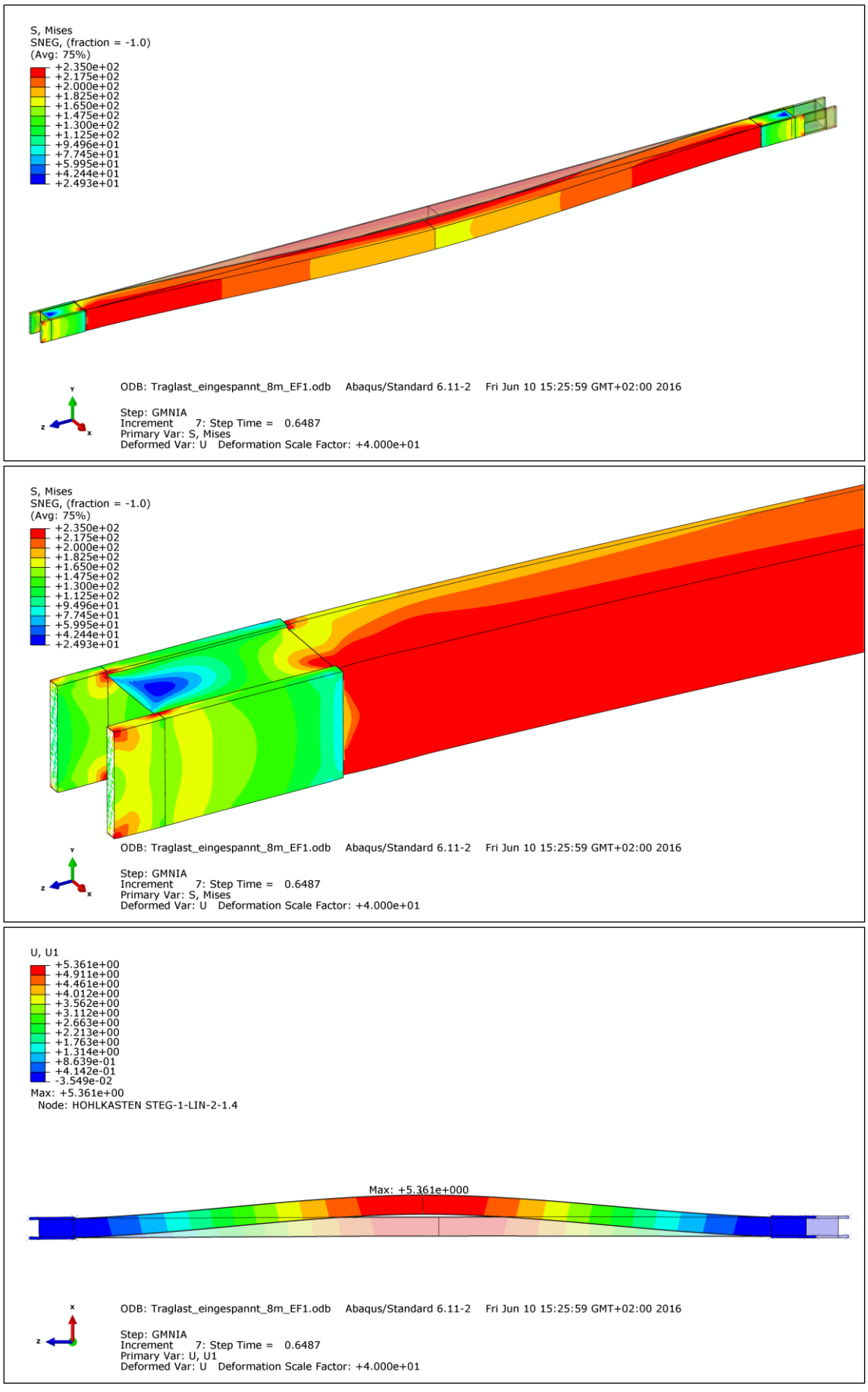


Abbildung 9-217: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

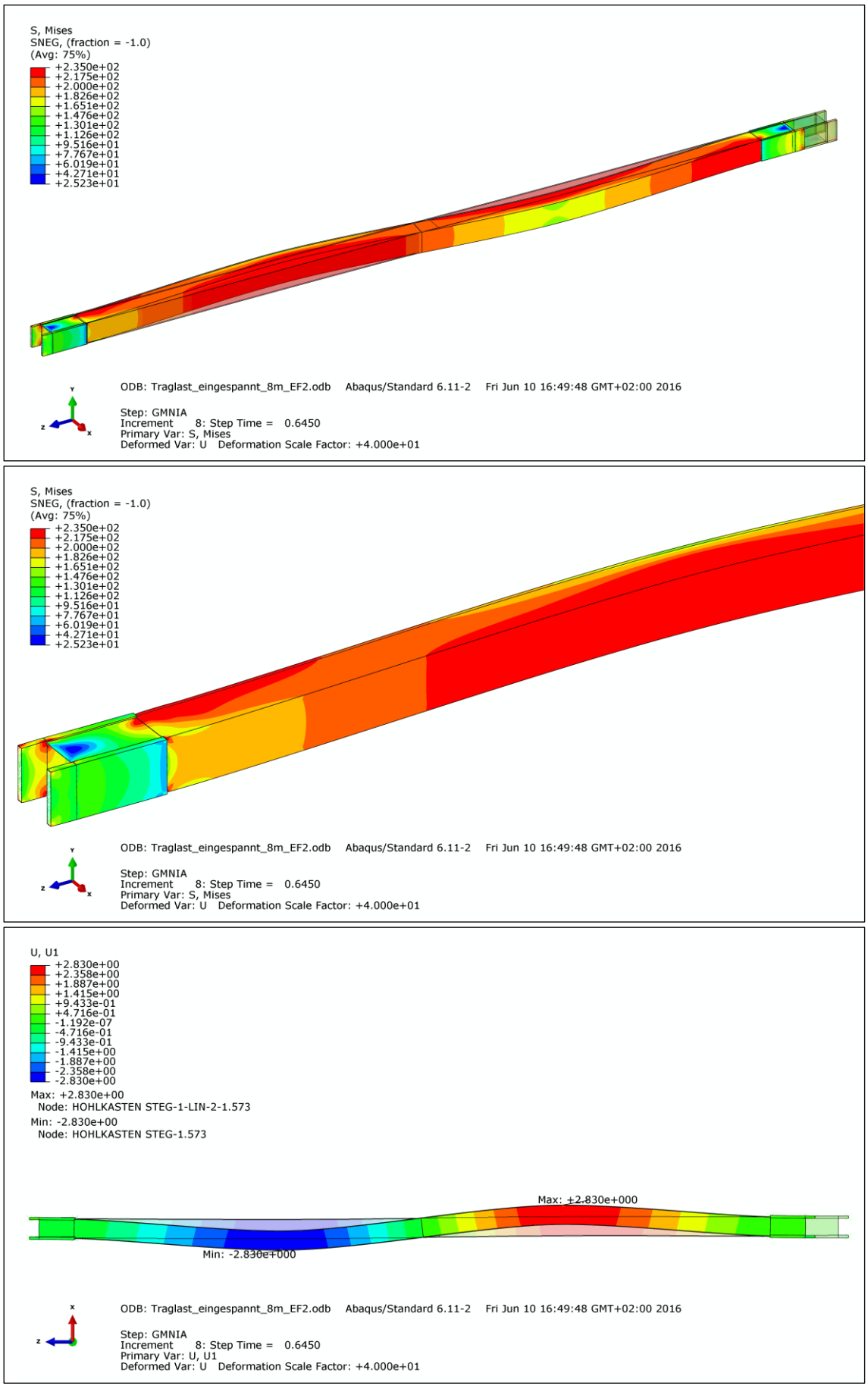


Abbildung 9-218: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

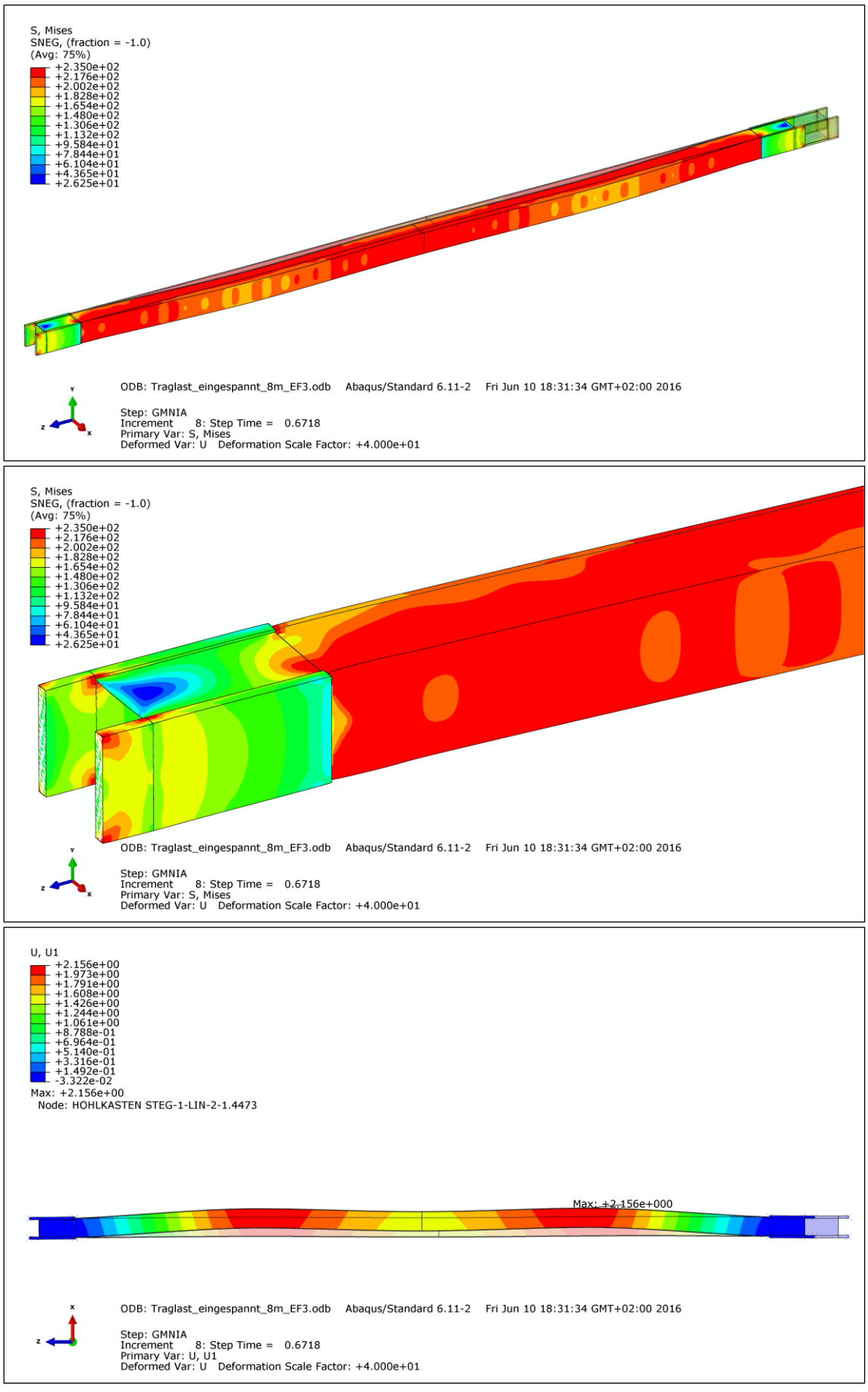


Abbildung 9-219: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

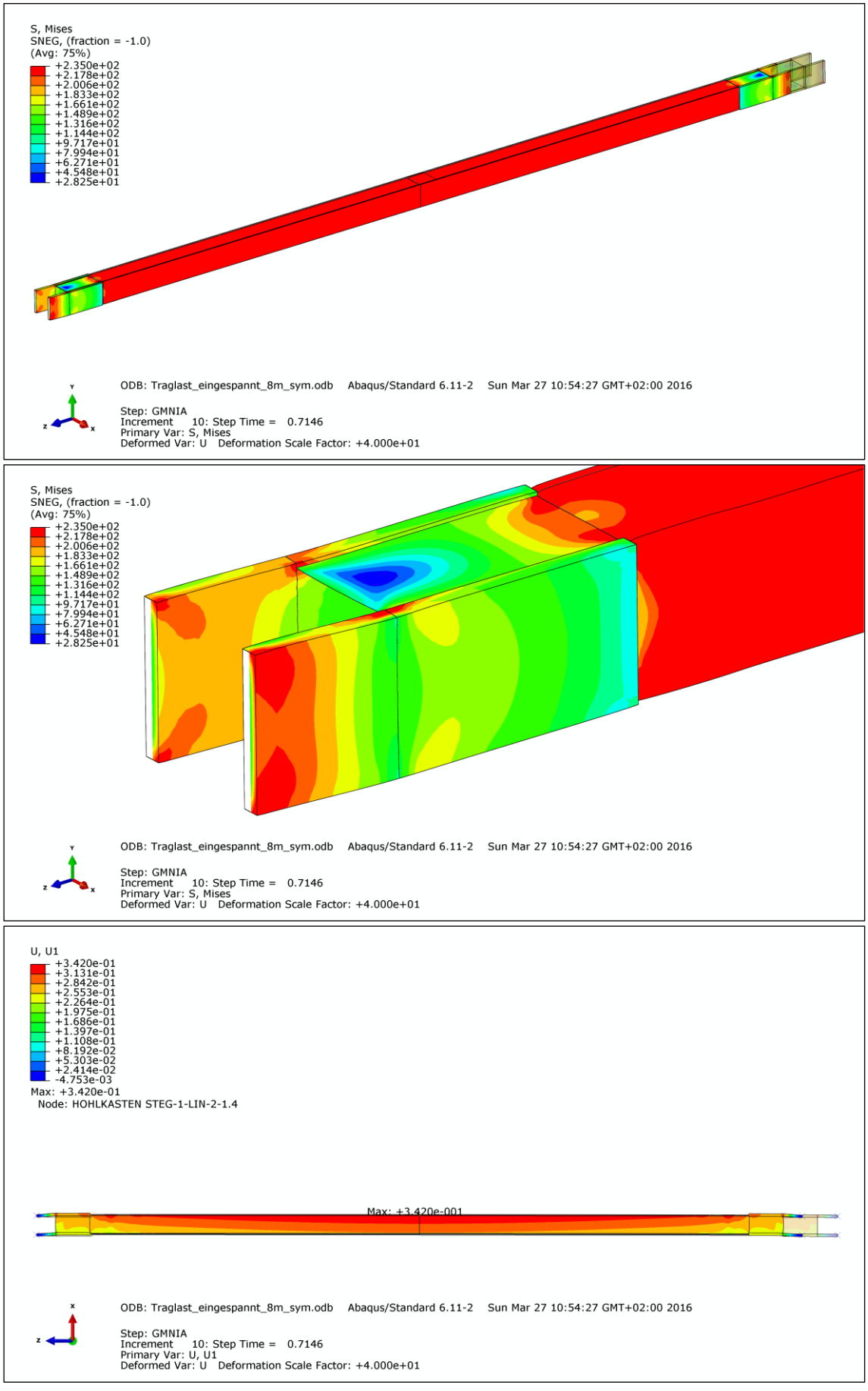
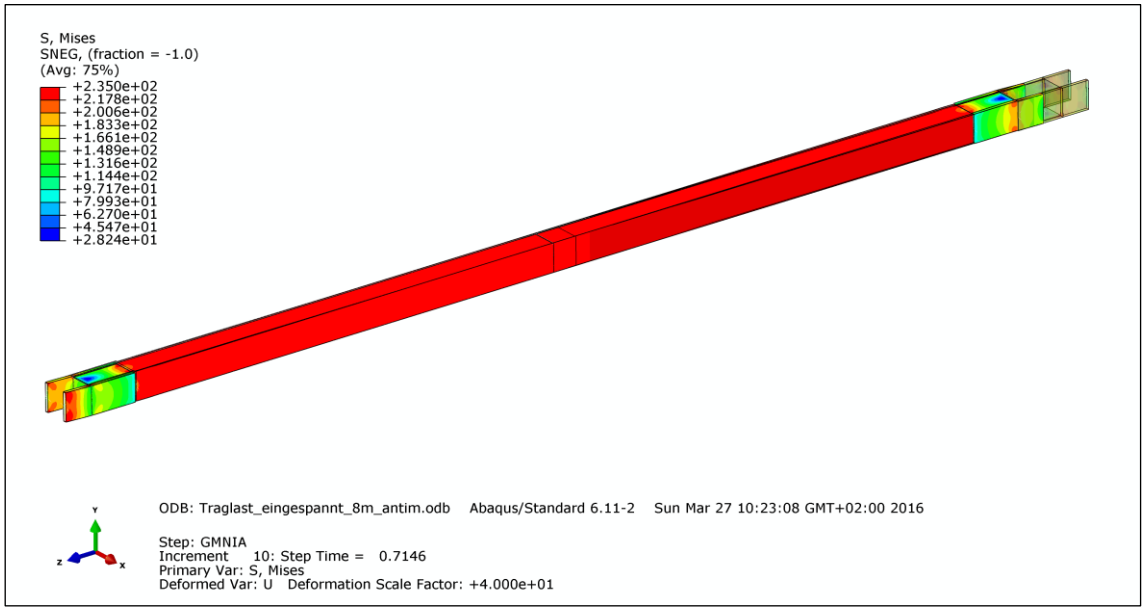
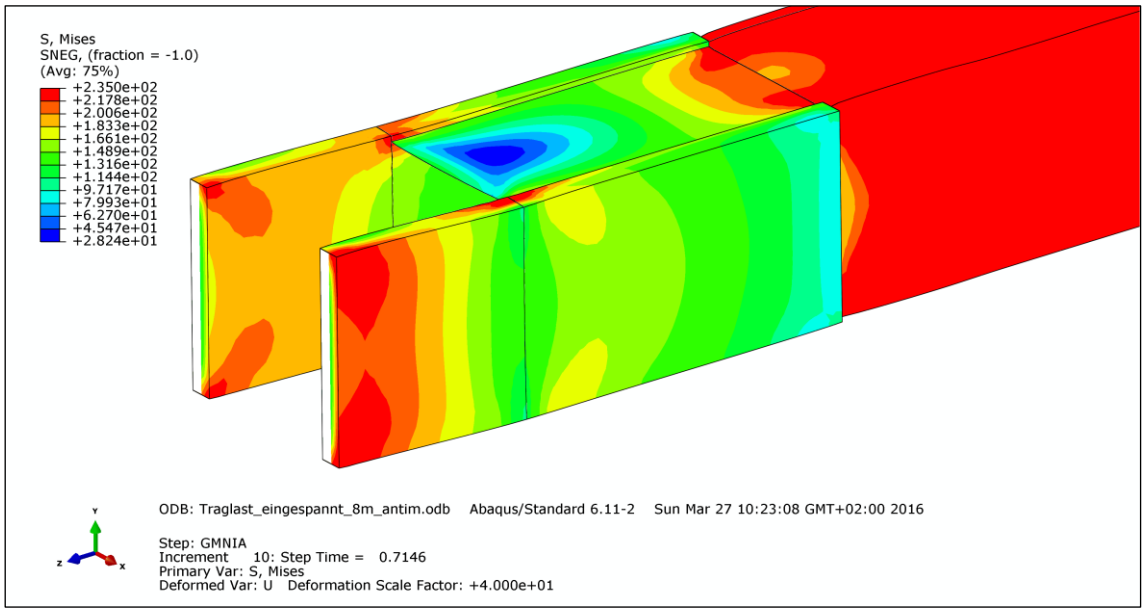


Abbildung 9-220: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





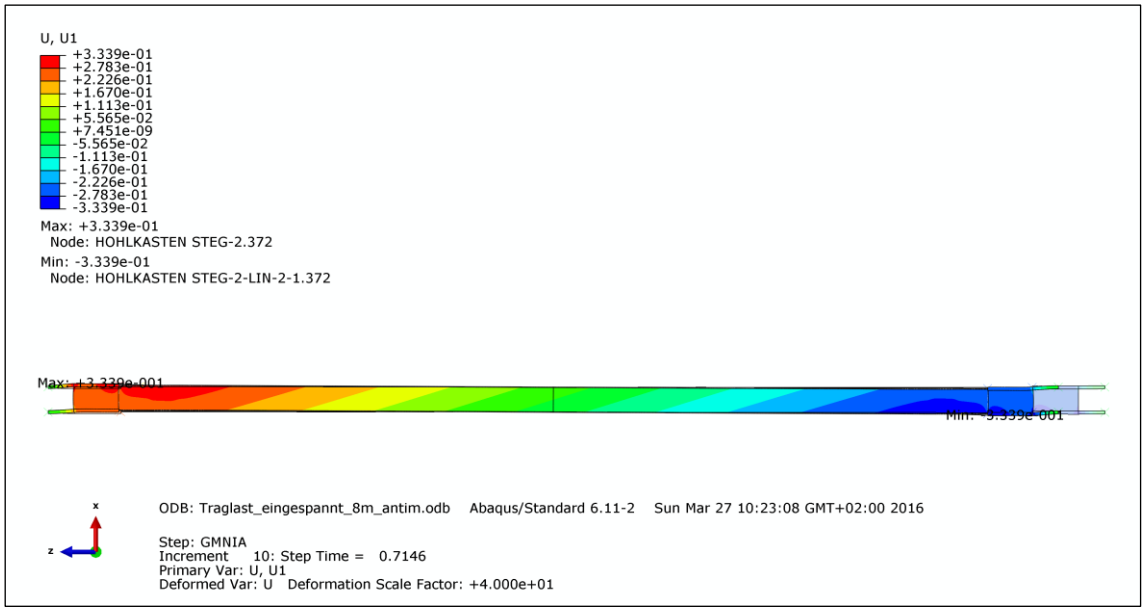
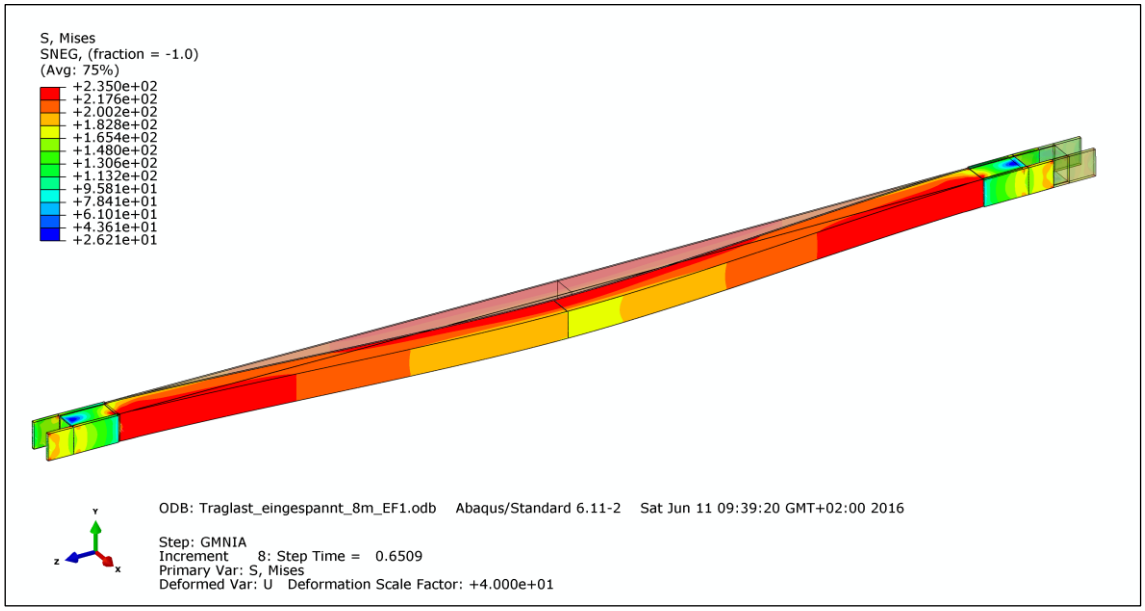
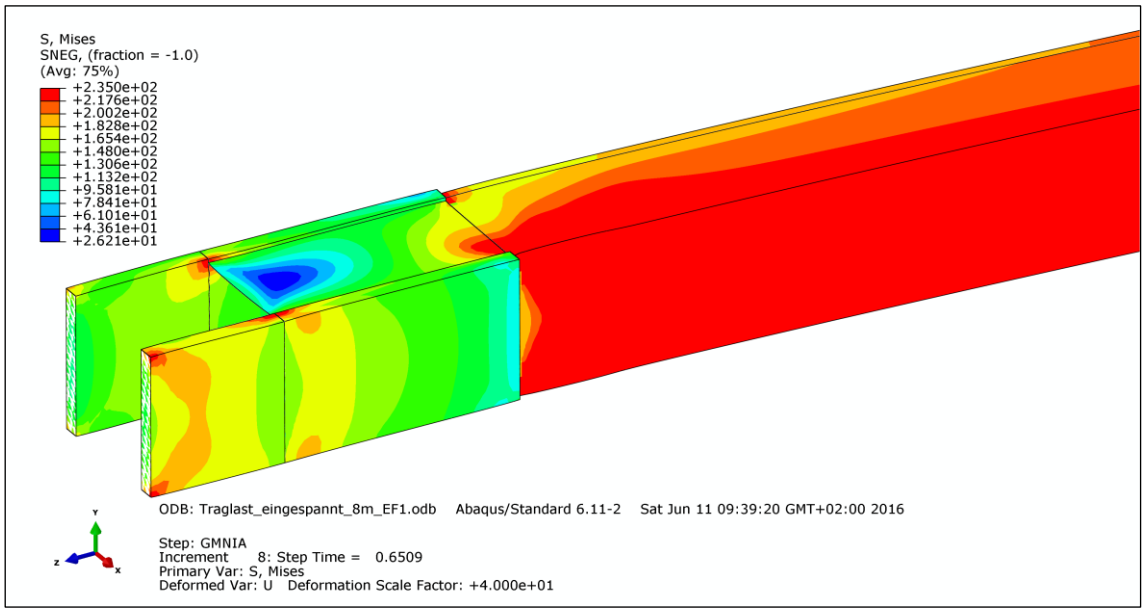


Abbildung 9-221: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





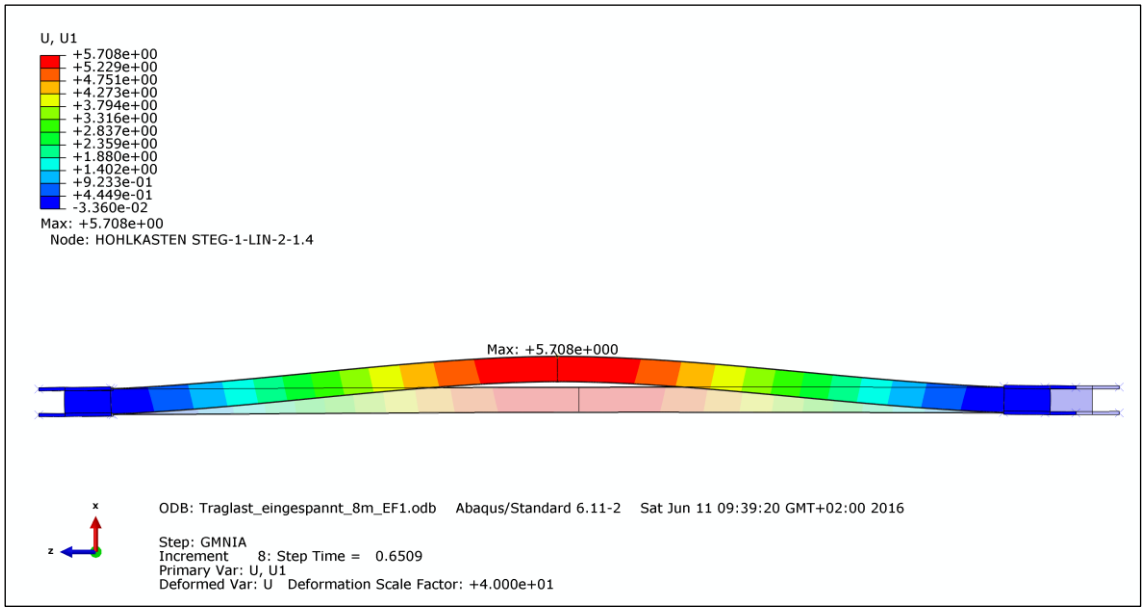


Abbildung 9-222: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

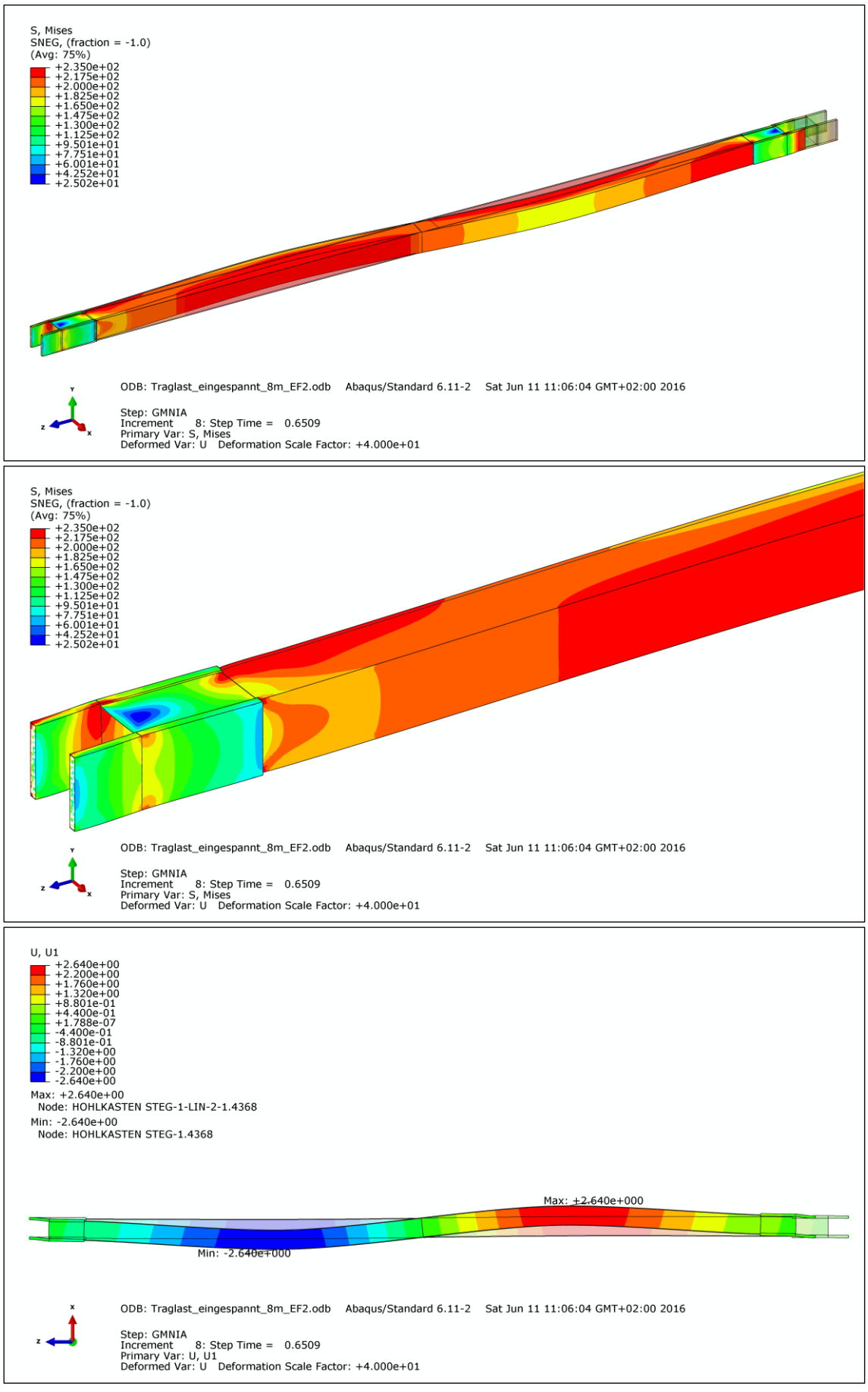
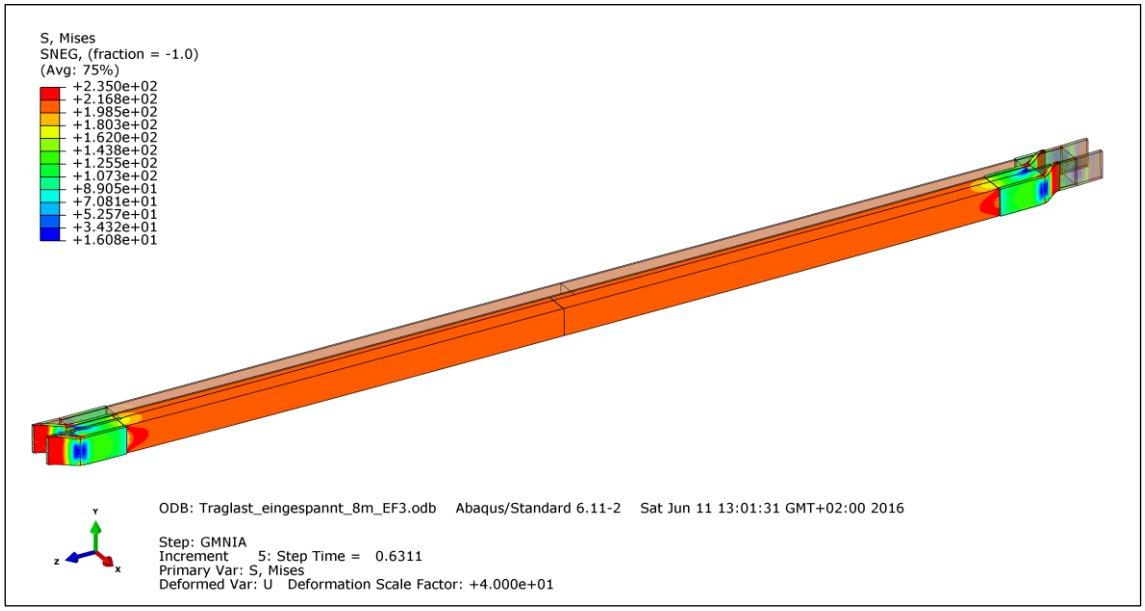
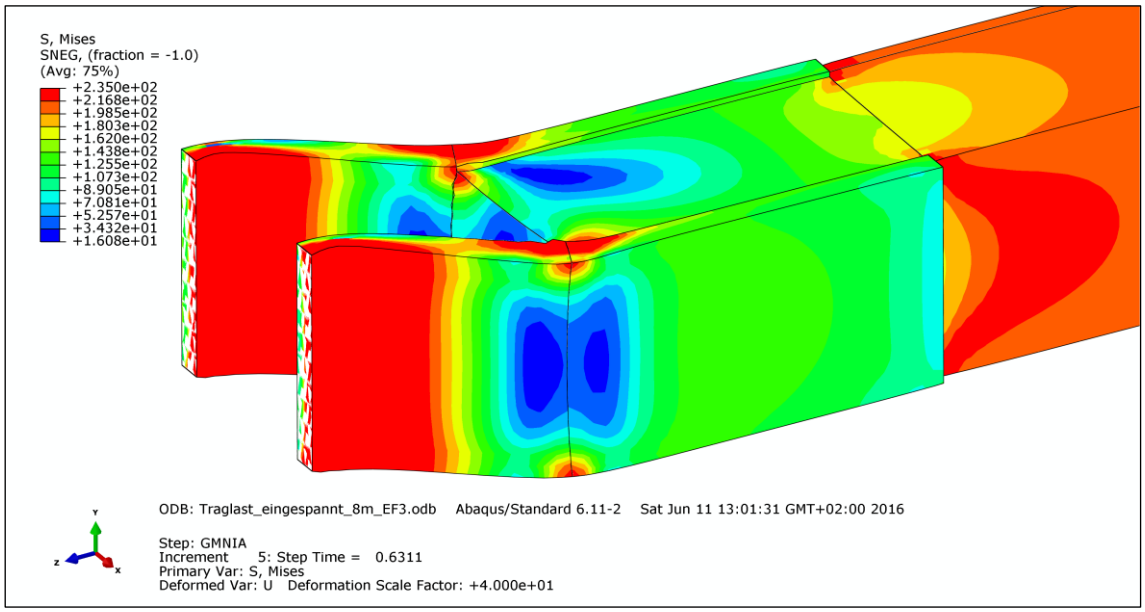


Abbildung 9-223: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





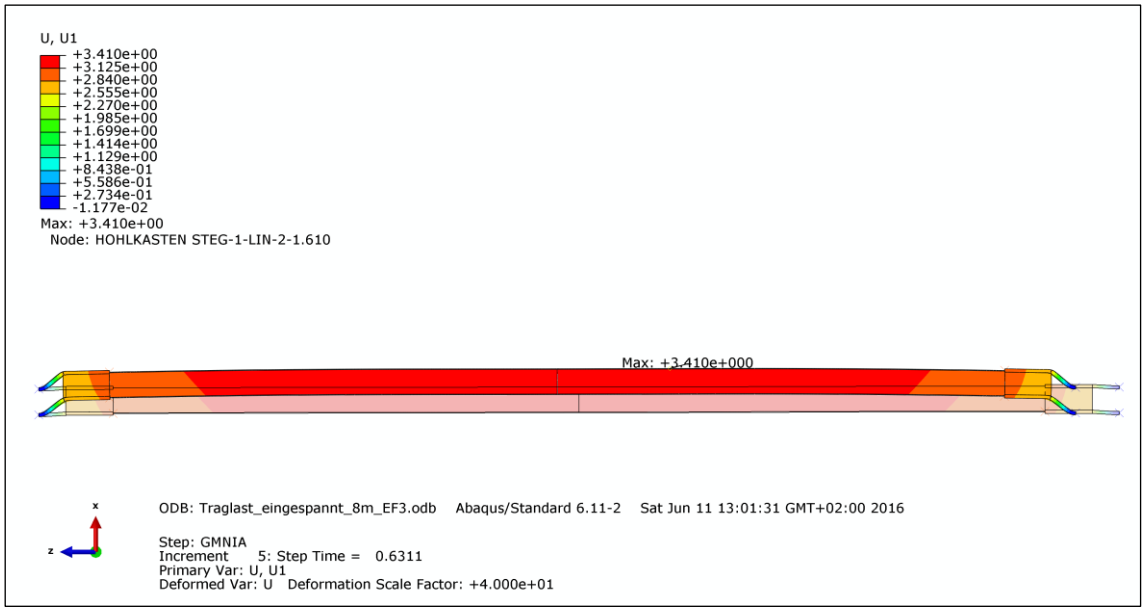
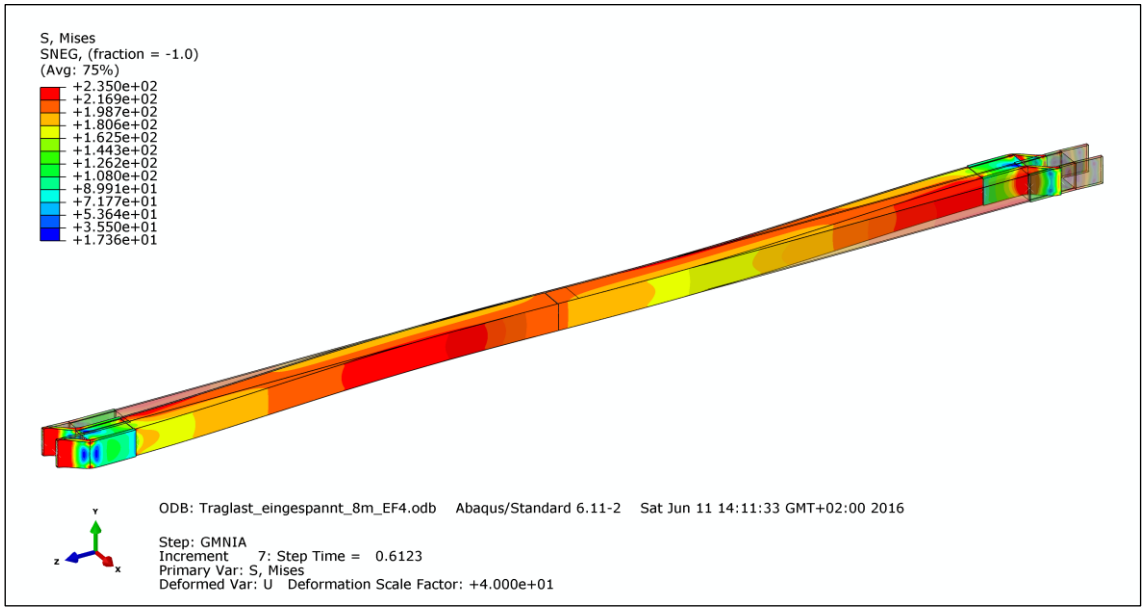
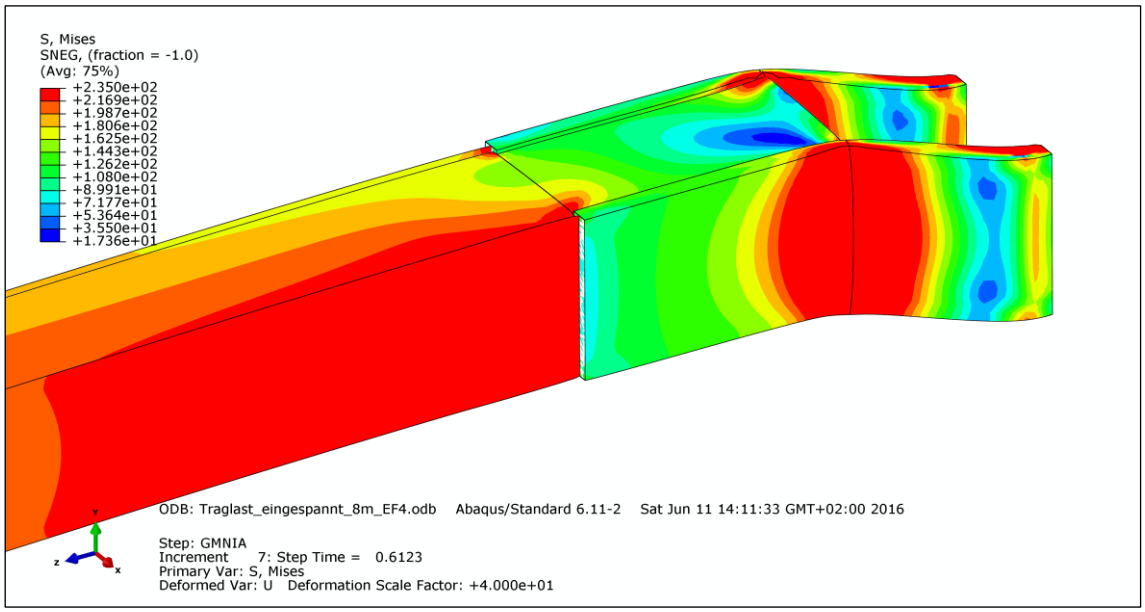


Abbildung 9-224: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3





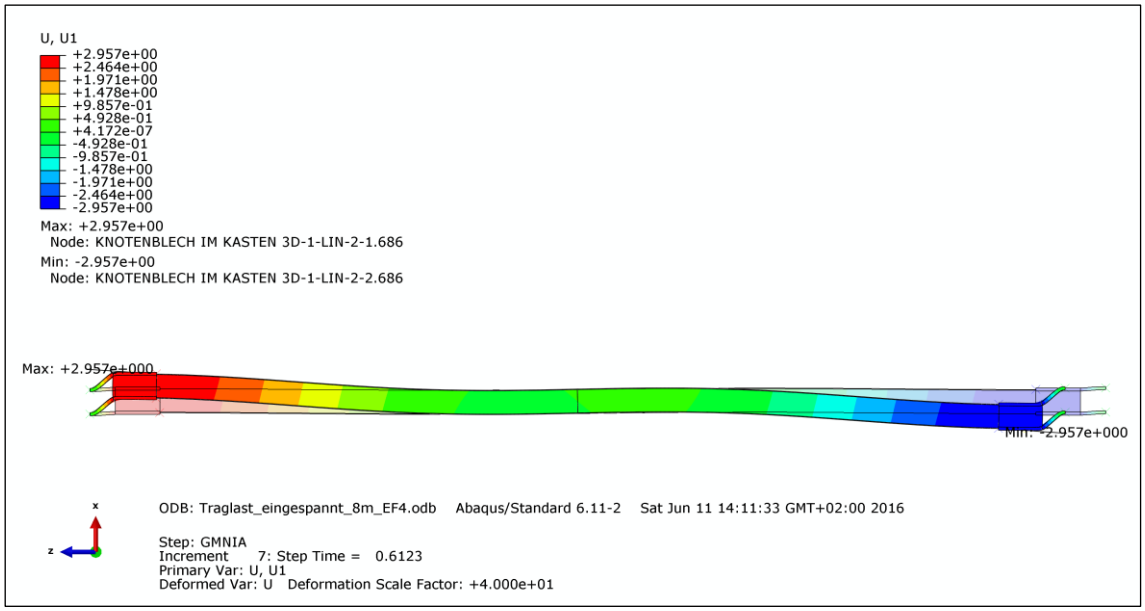
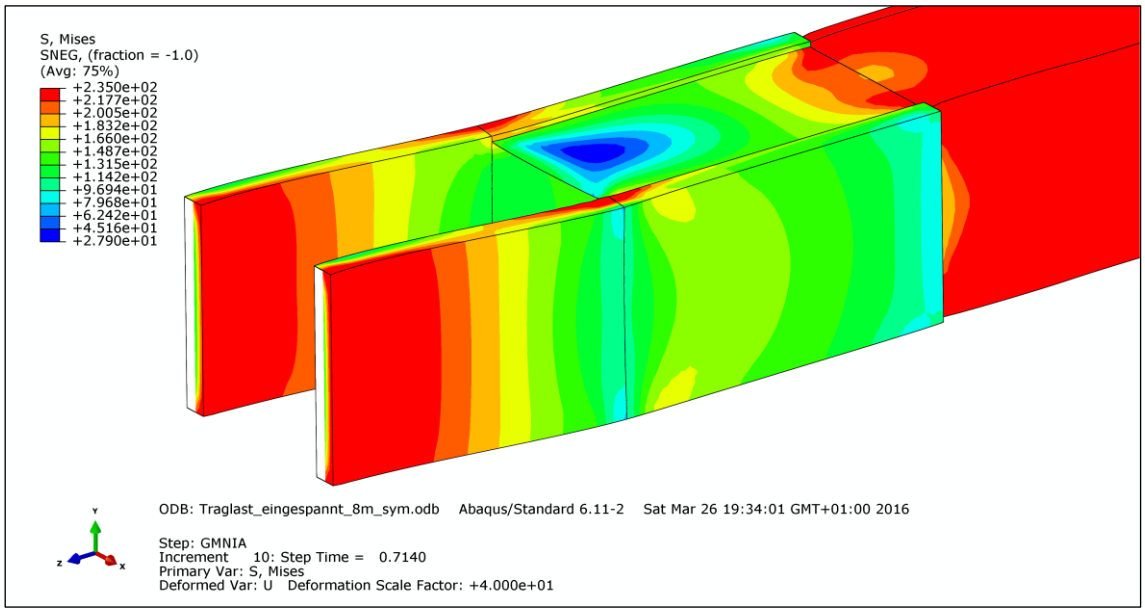


Abbildung 9-225: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4



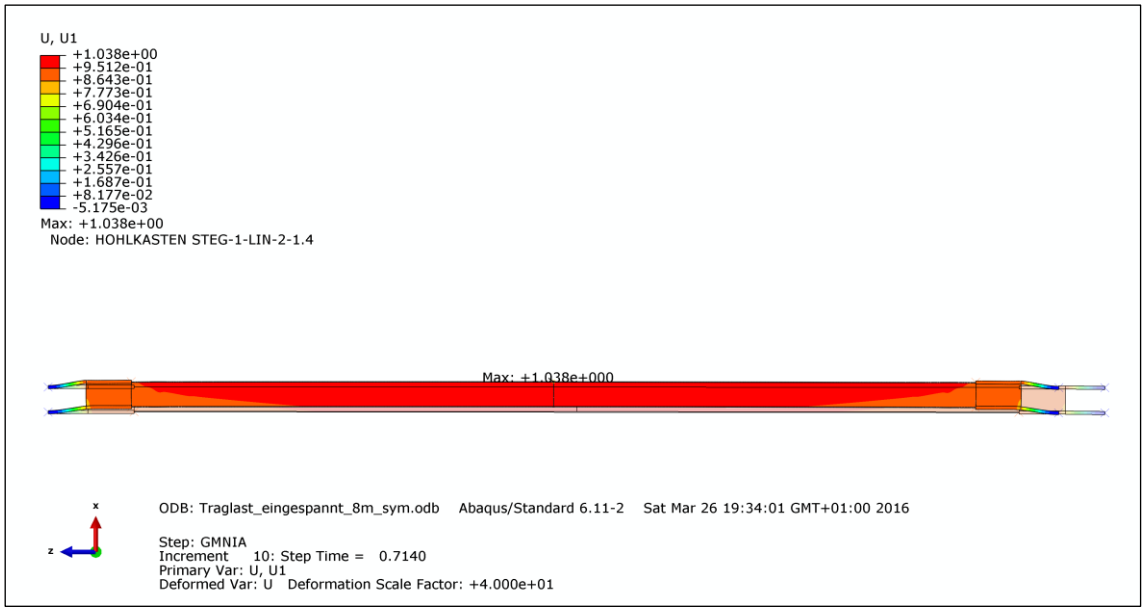
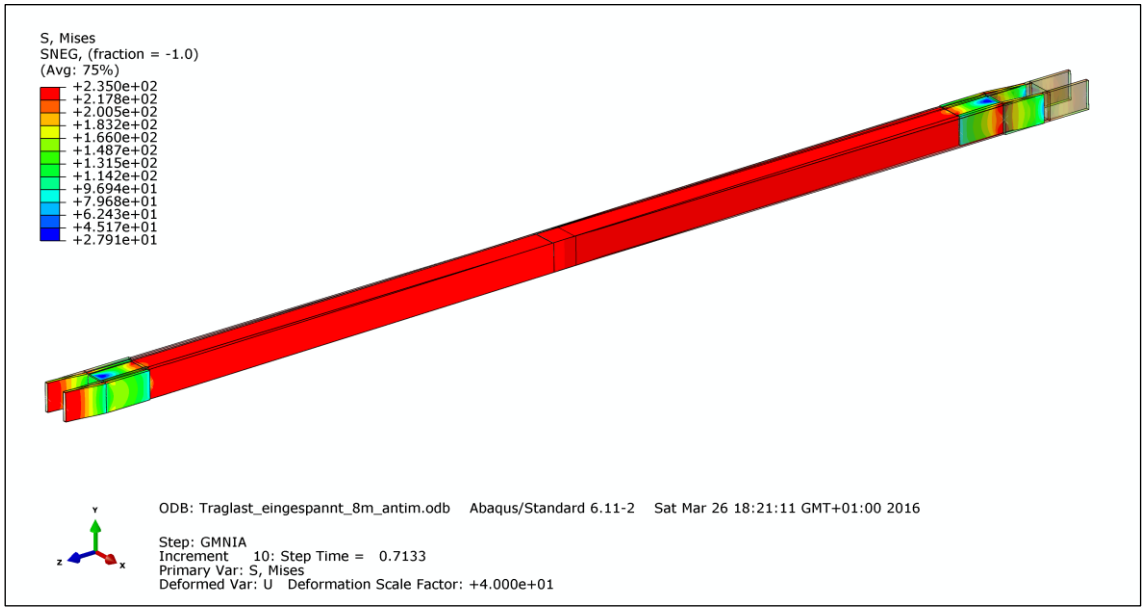
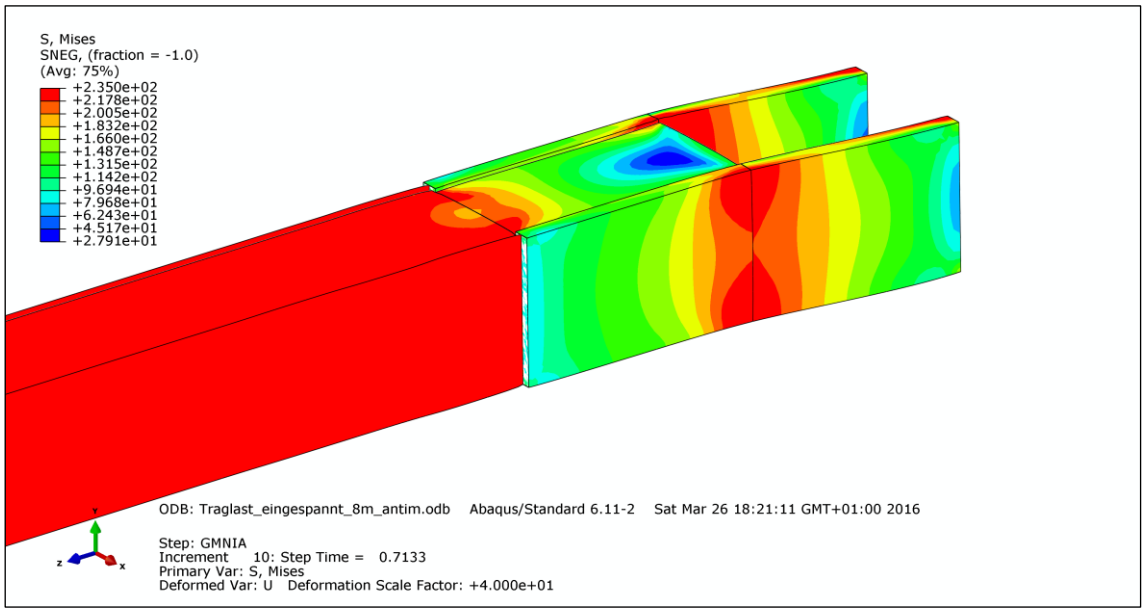


Abbildung 9-226: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





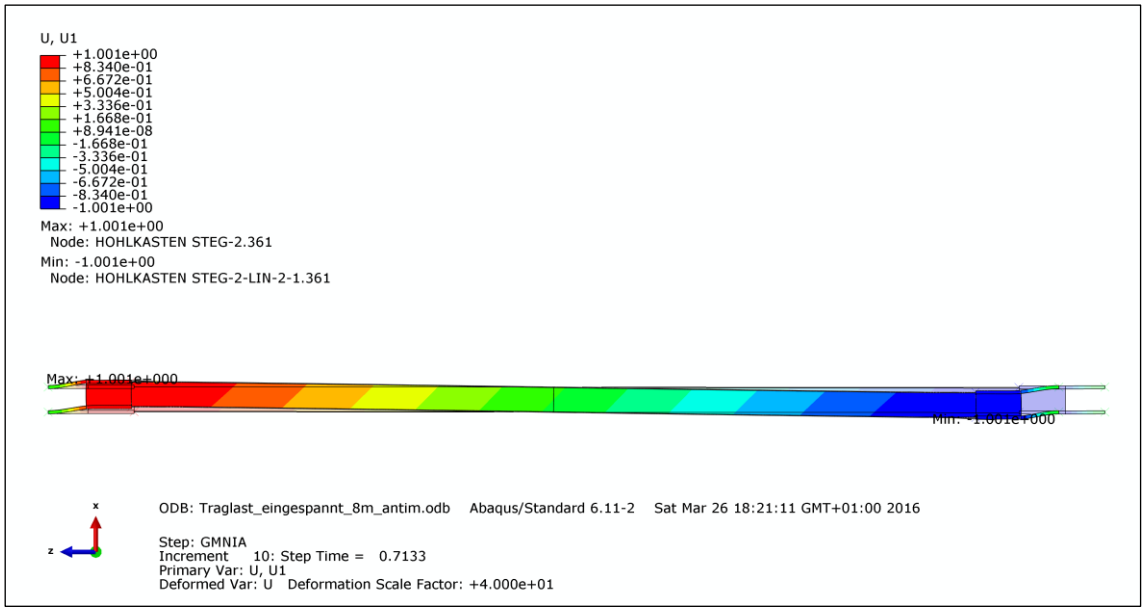
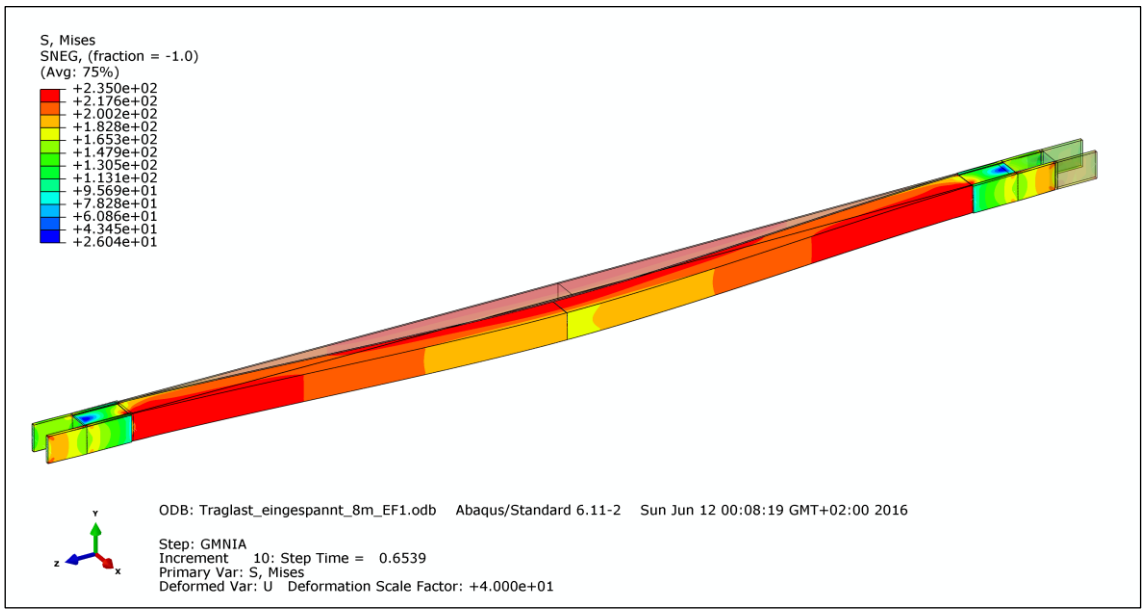
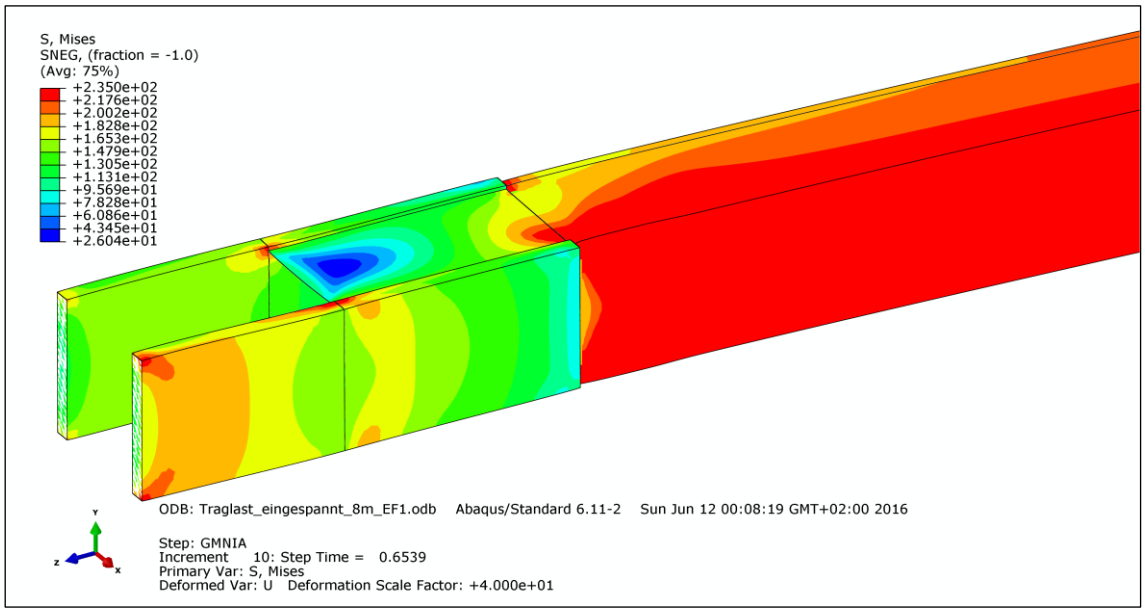


Abbildung 9-227: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





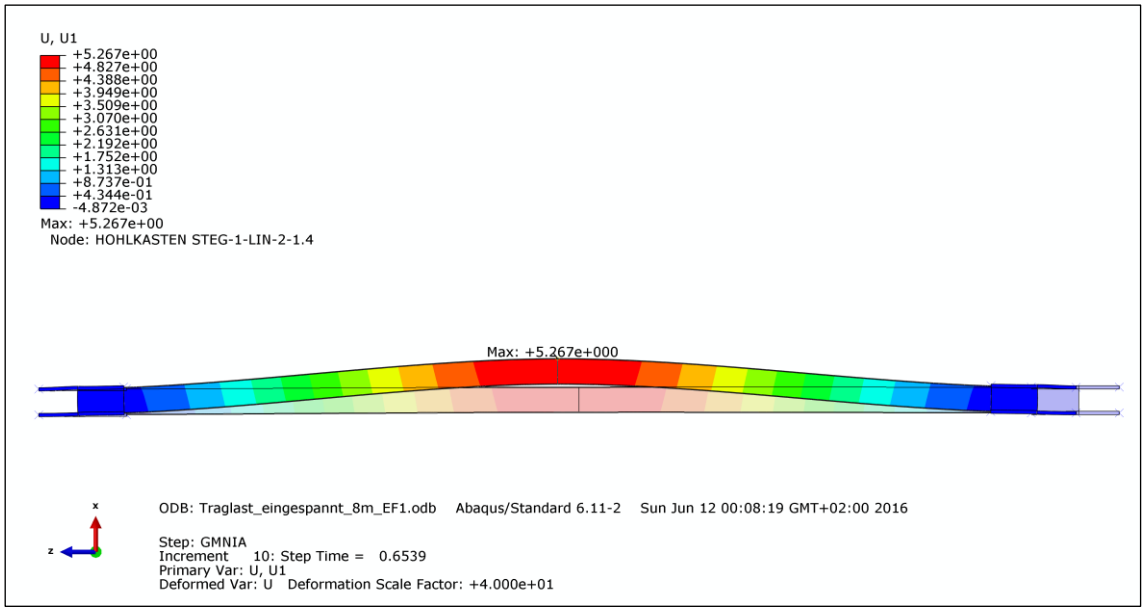
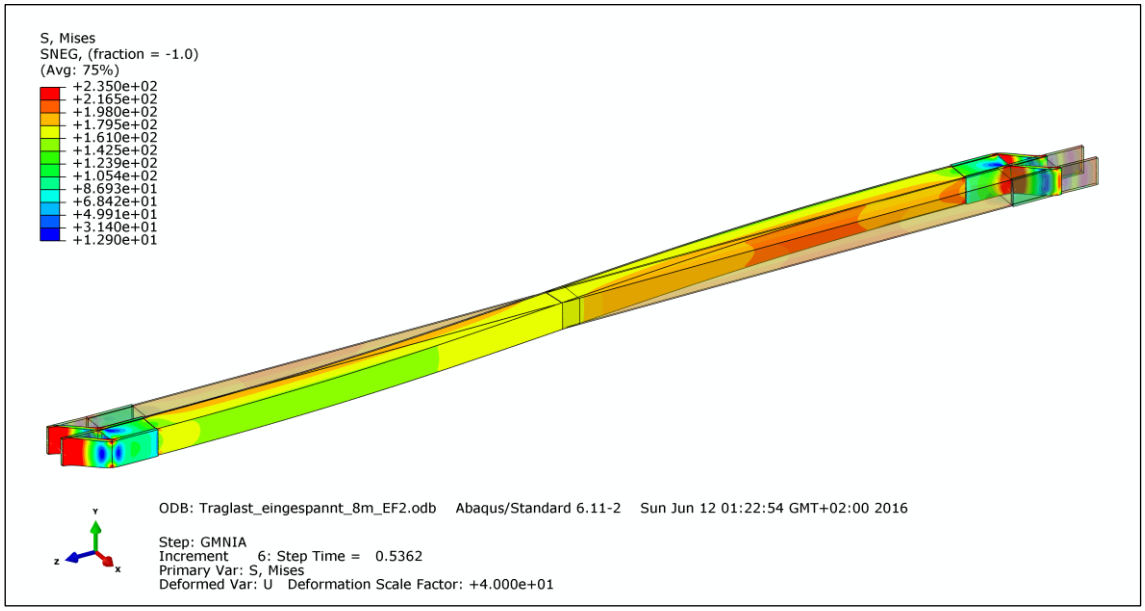
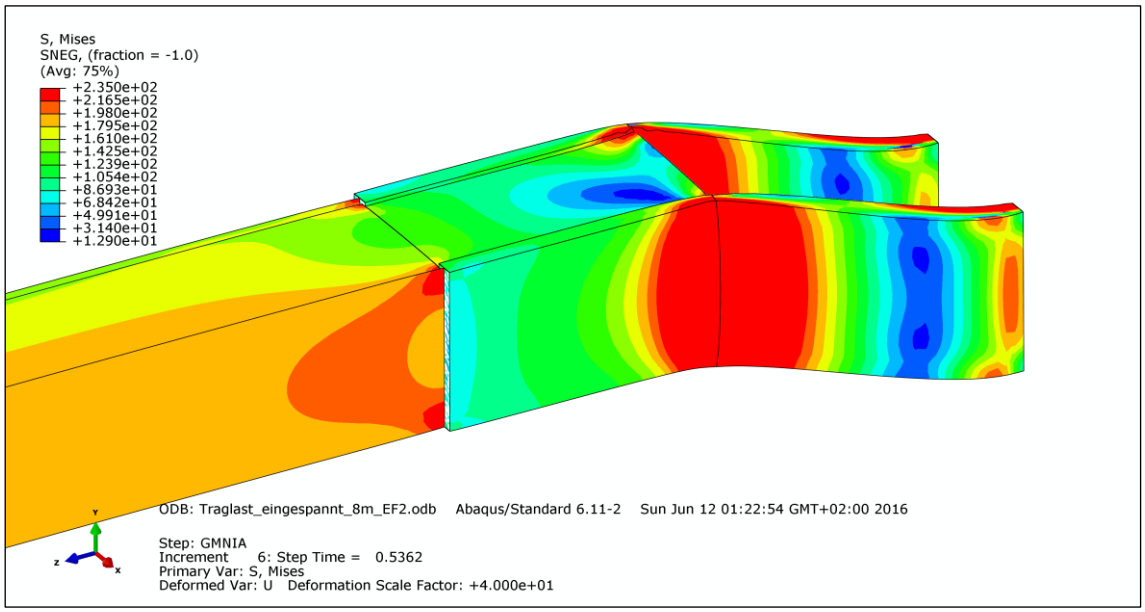


Abbildung 9-228: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





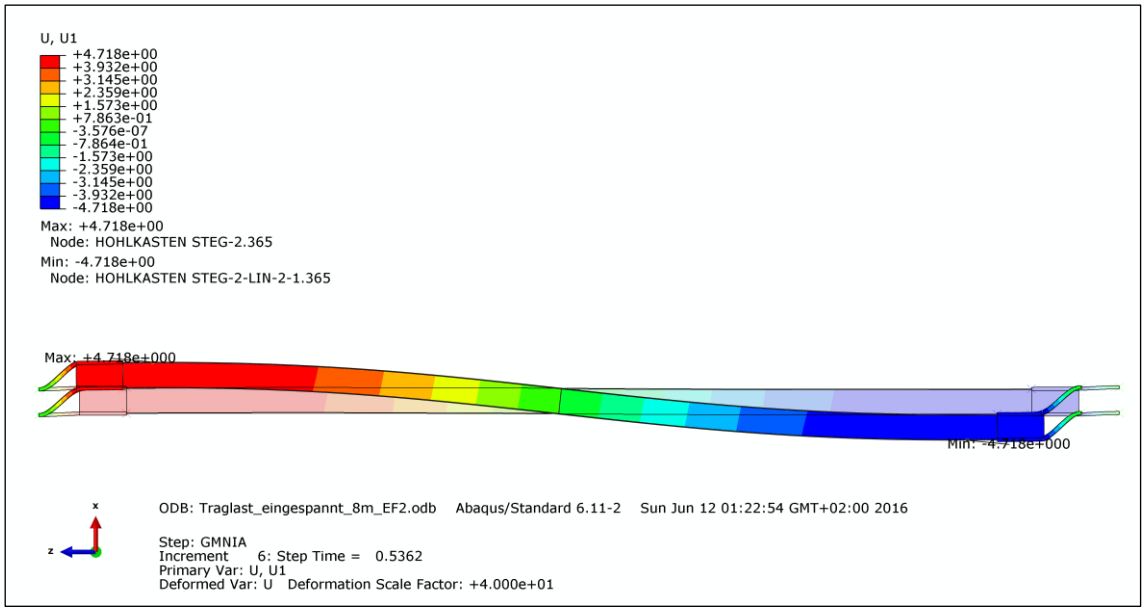


Abbildung 9-229: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

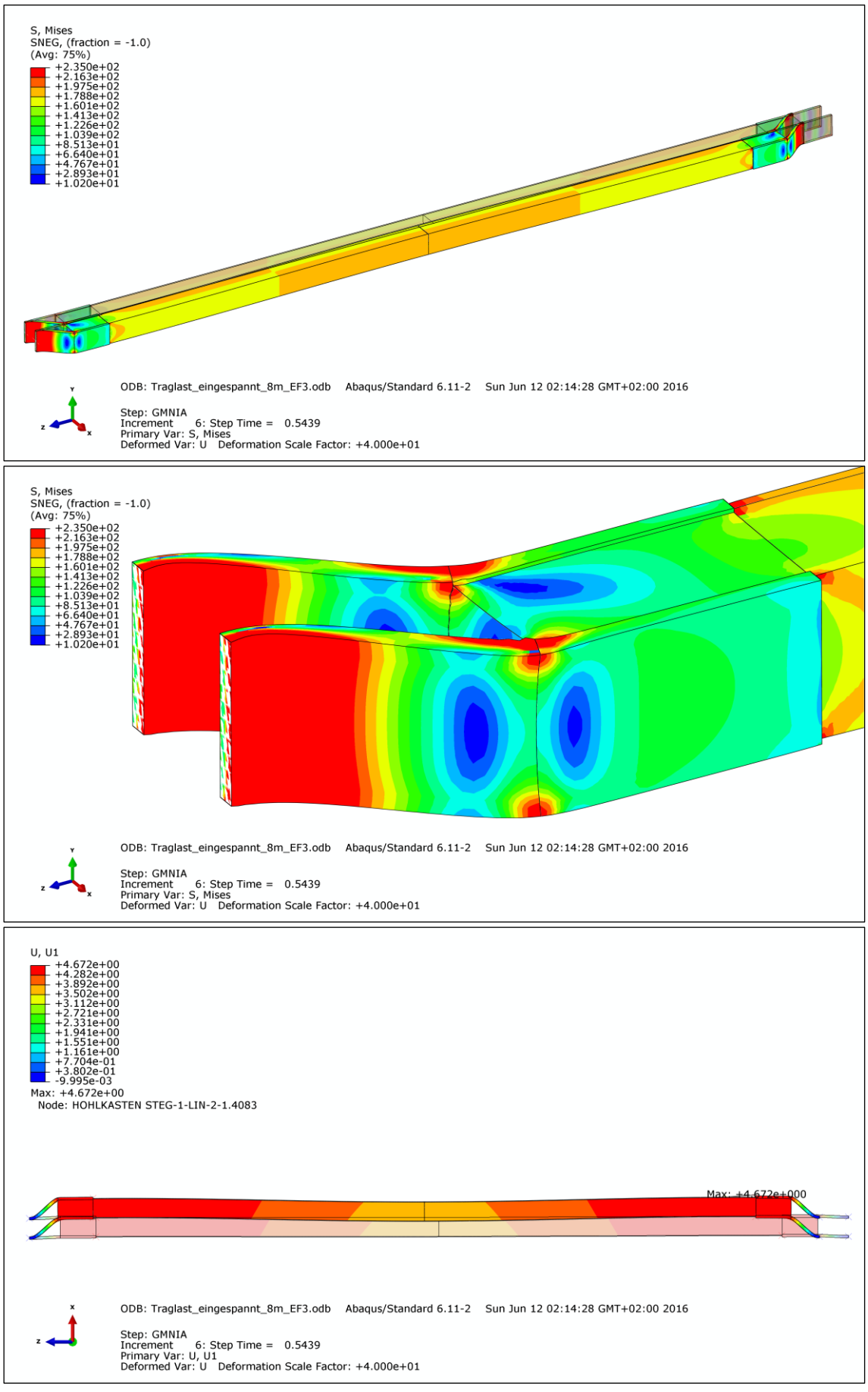


Abbildung 9-230: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3

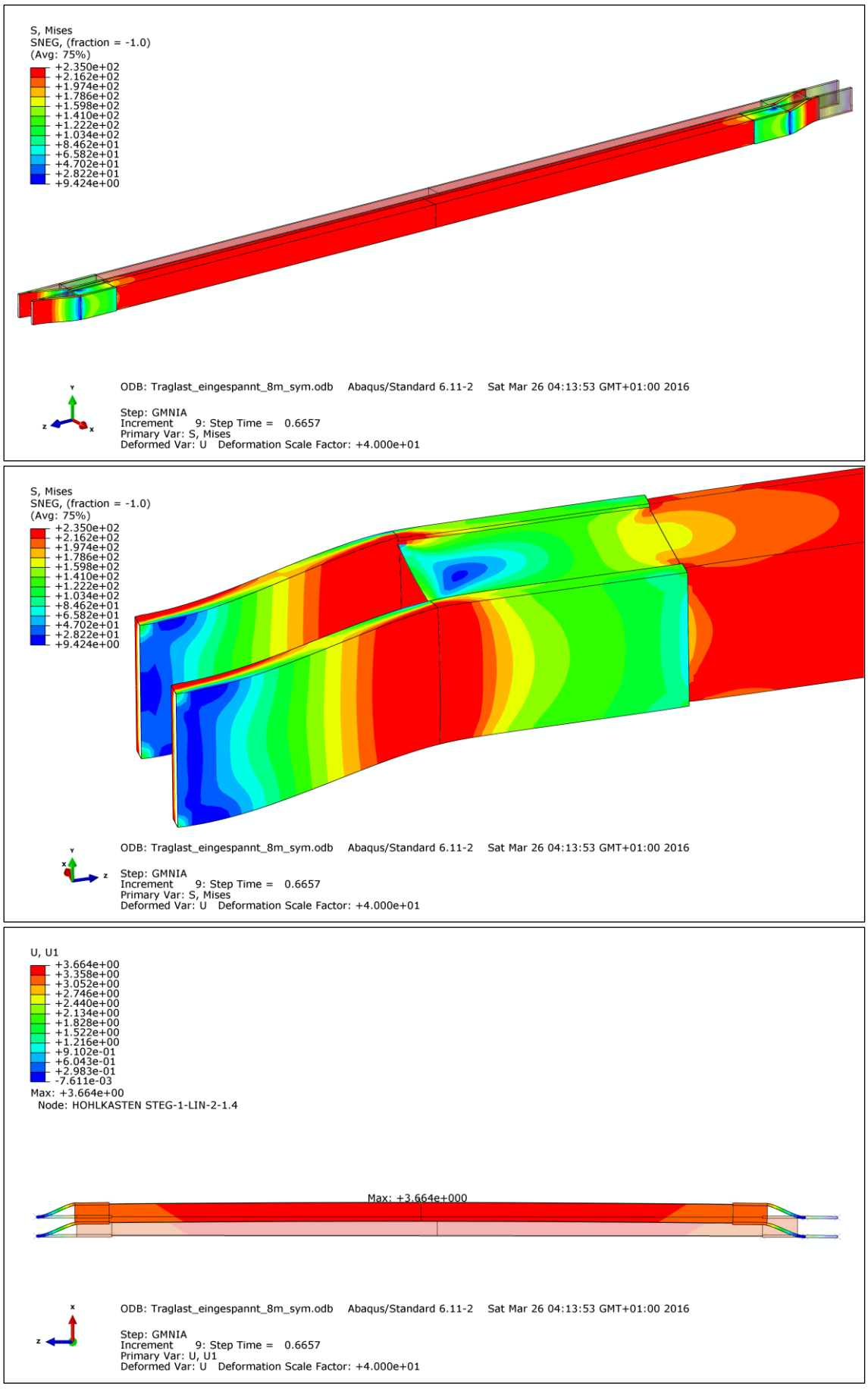
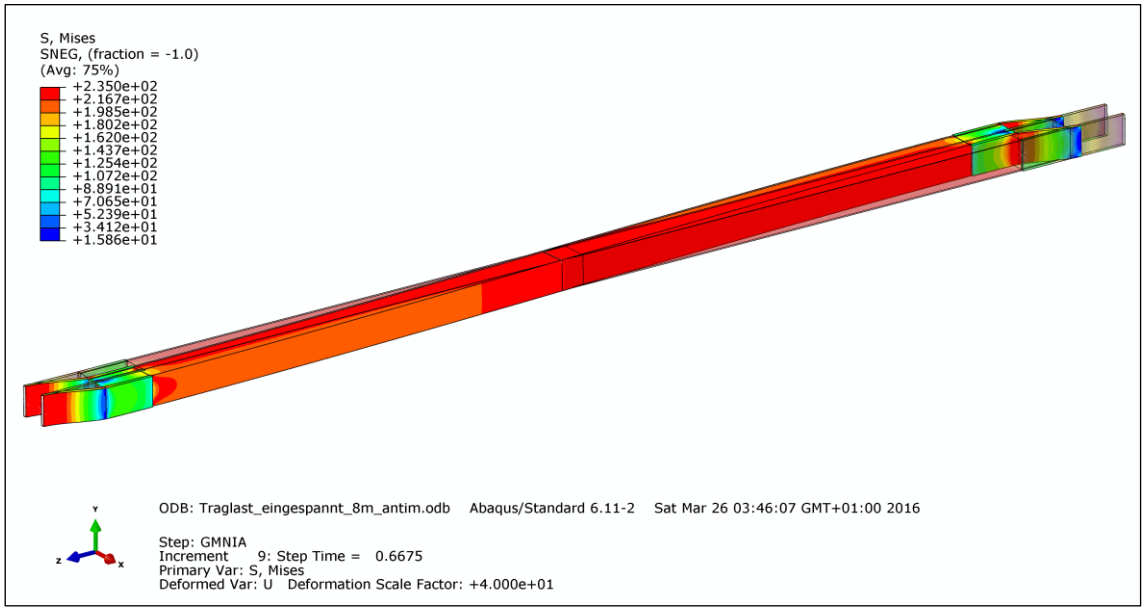
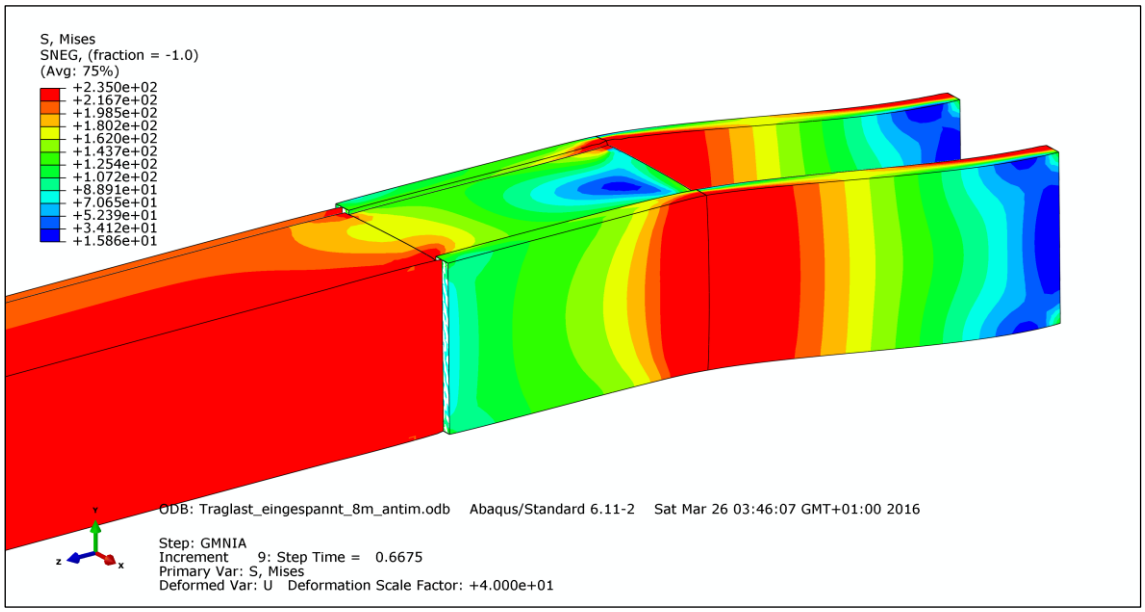


Abbildung 9-231: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





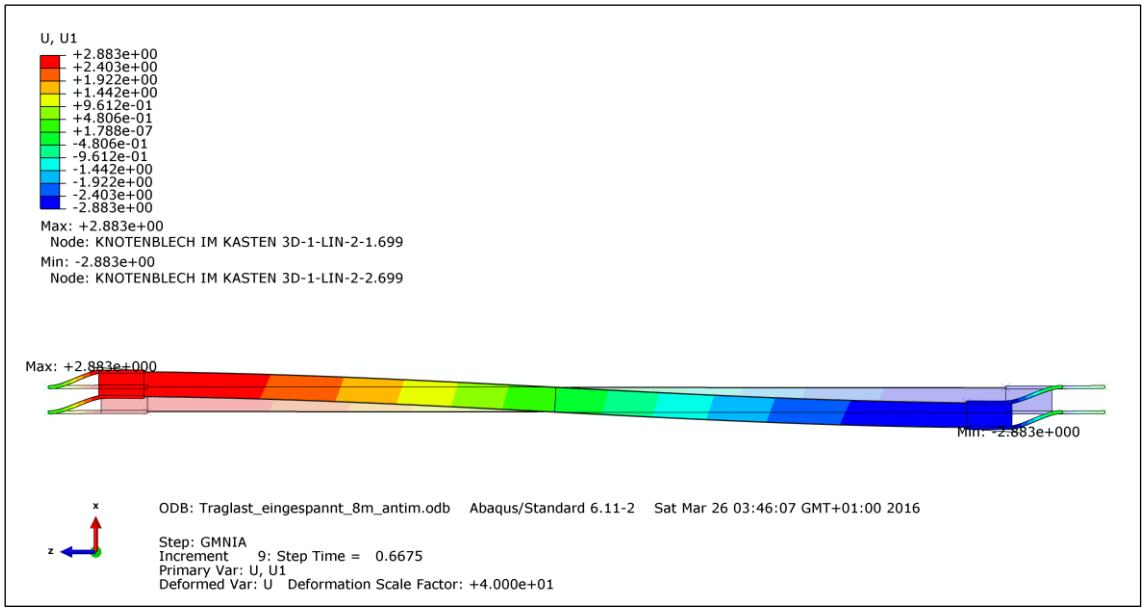


Abbildung 9-232: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)

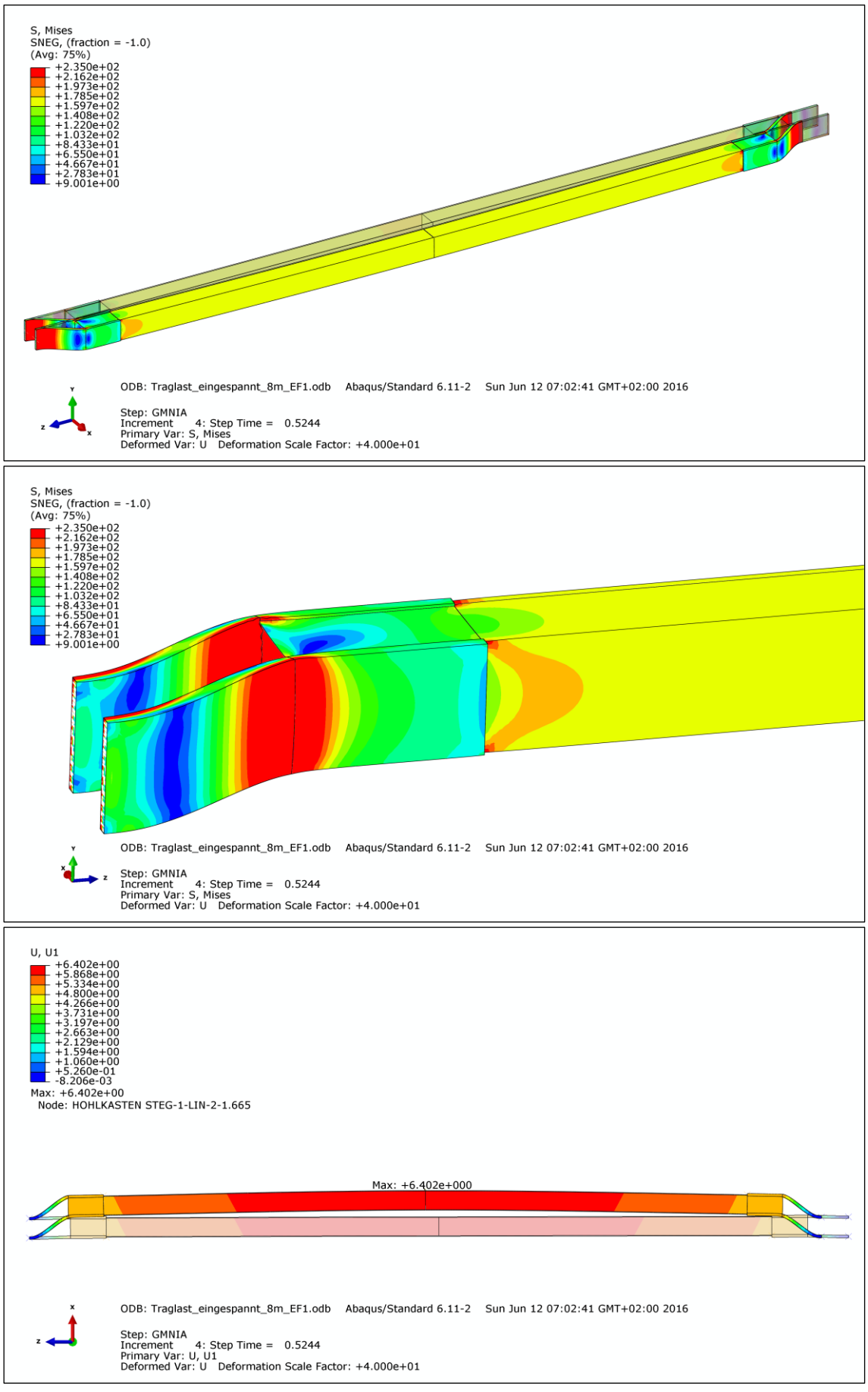
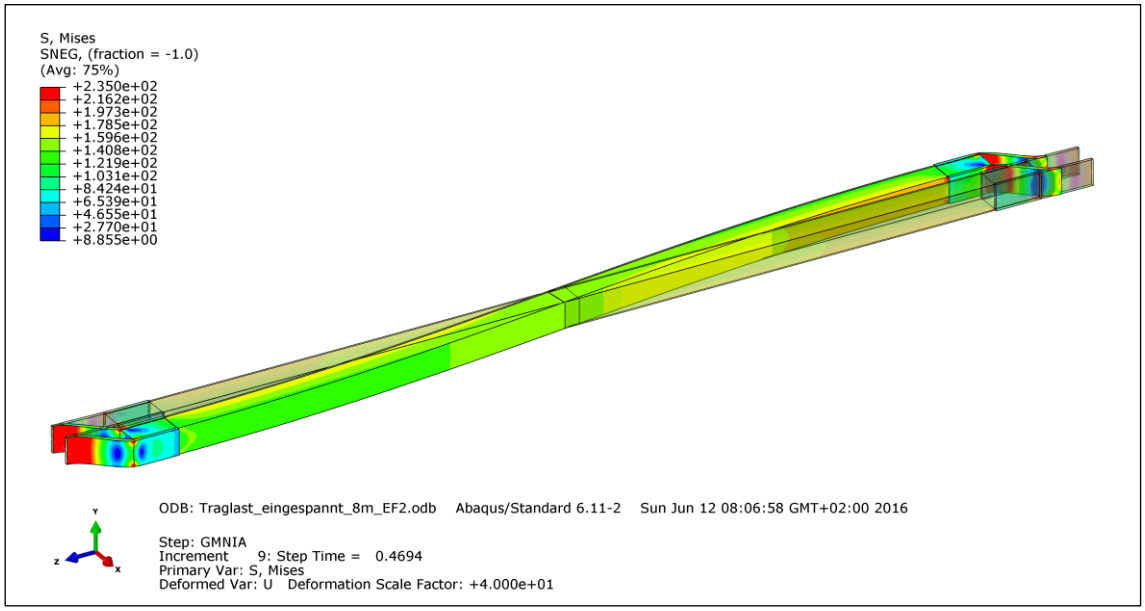
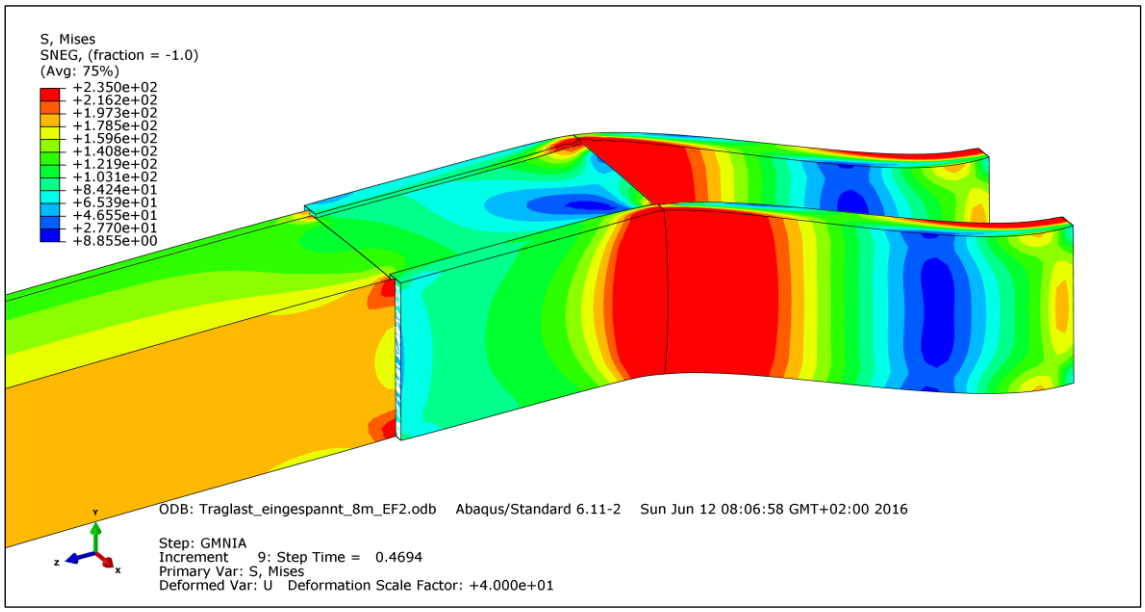


Abbildung 9-233: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





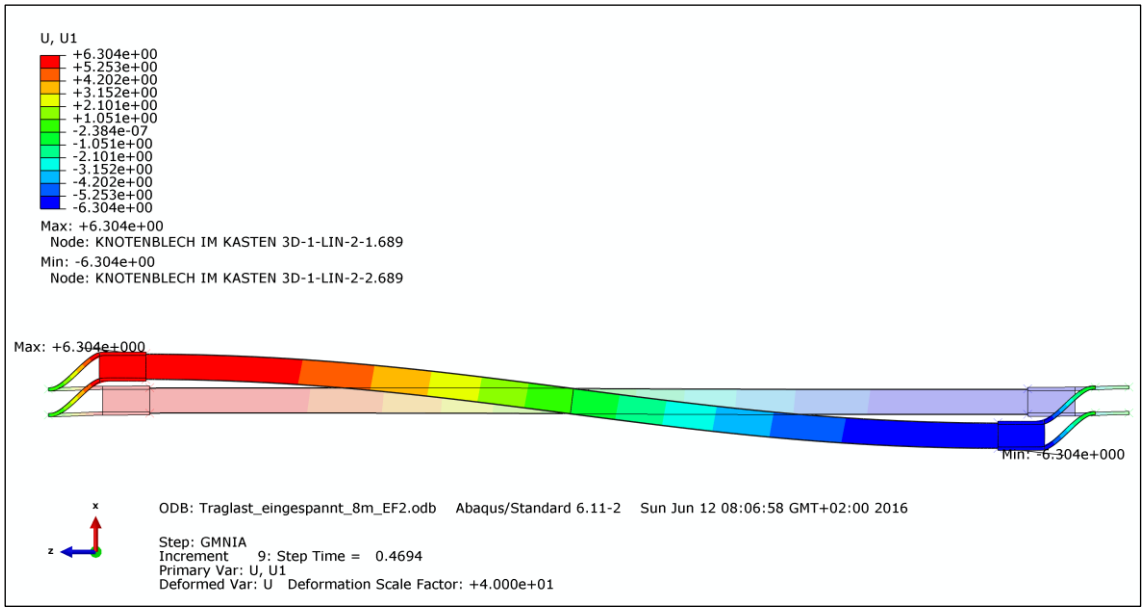


Abbildung 9-234: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm**

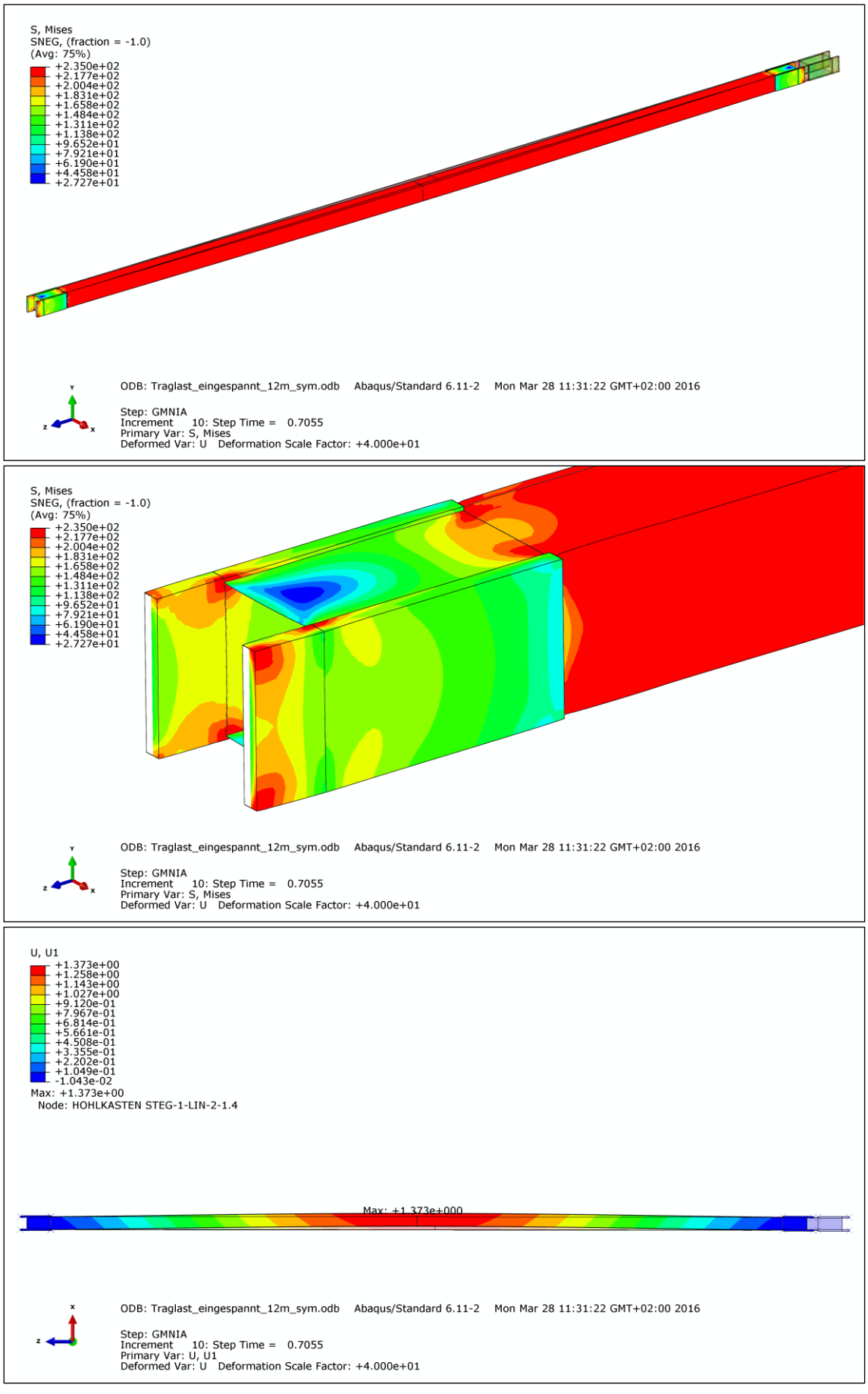
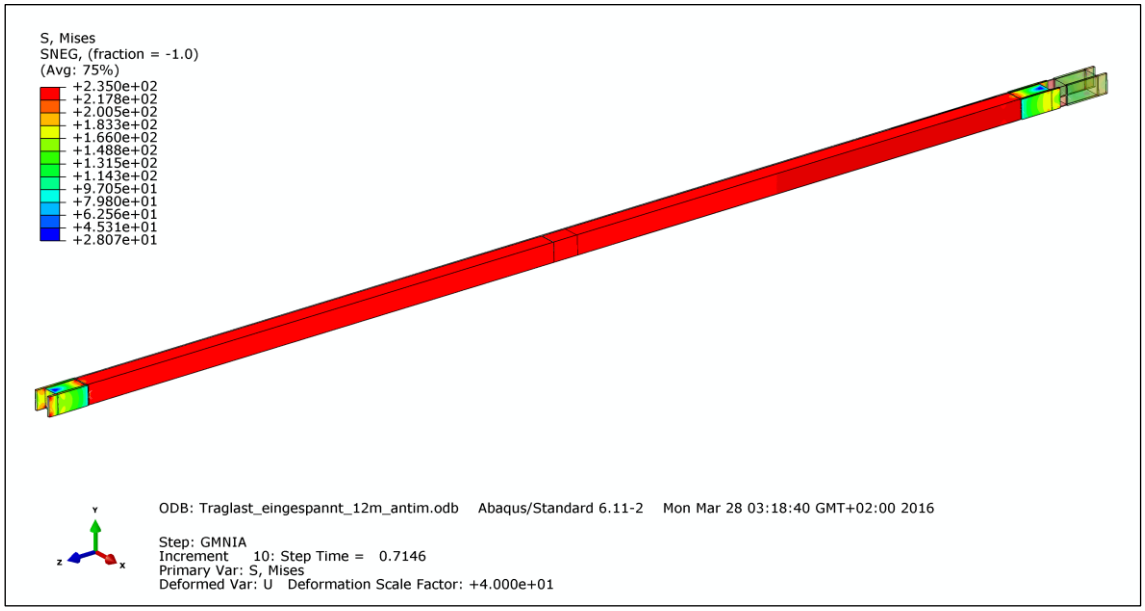
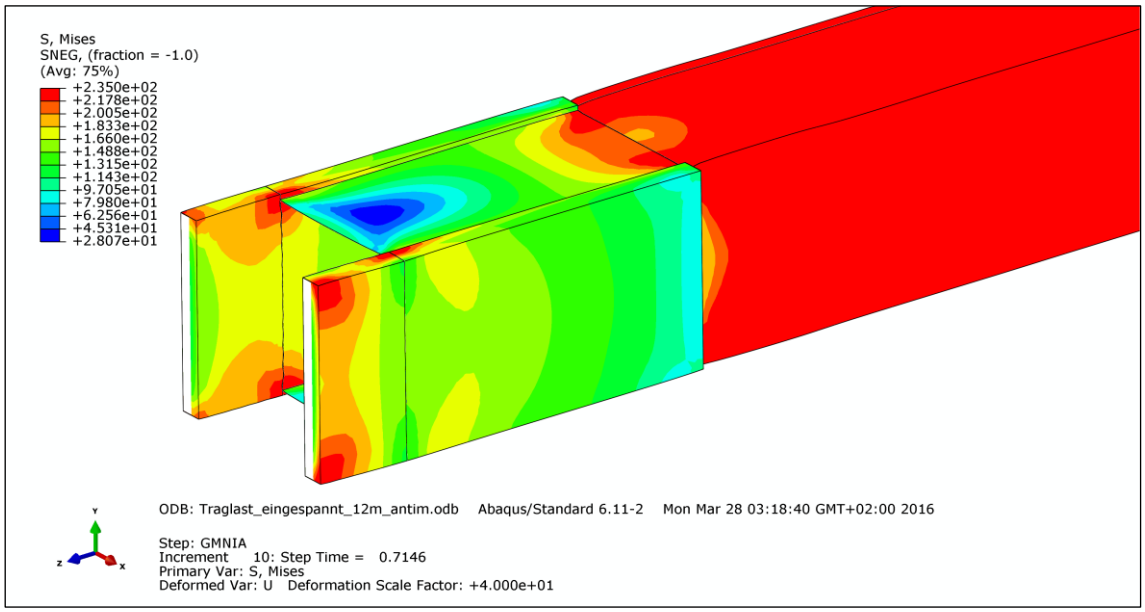


Abbildung 9-235: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





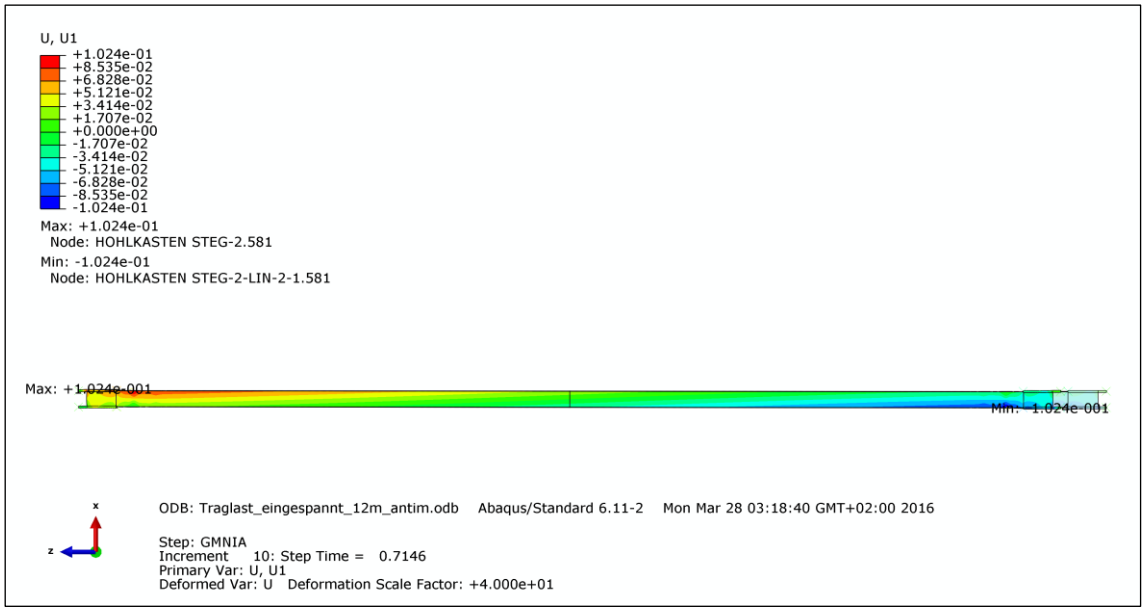
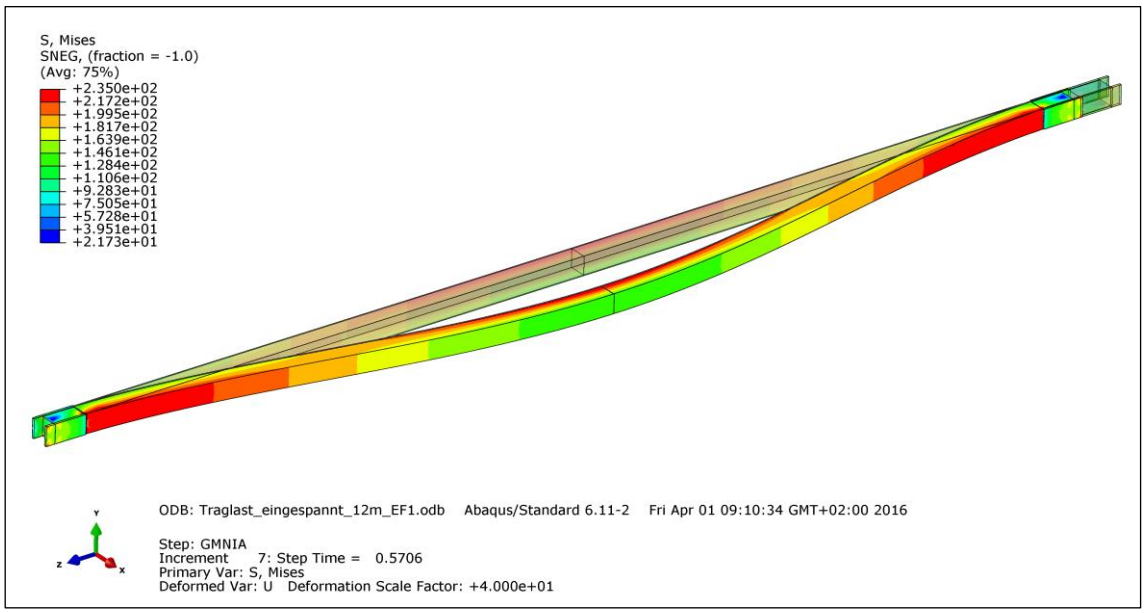
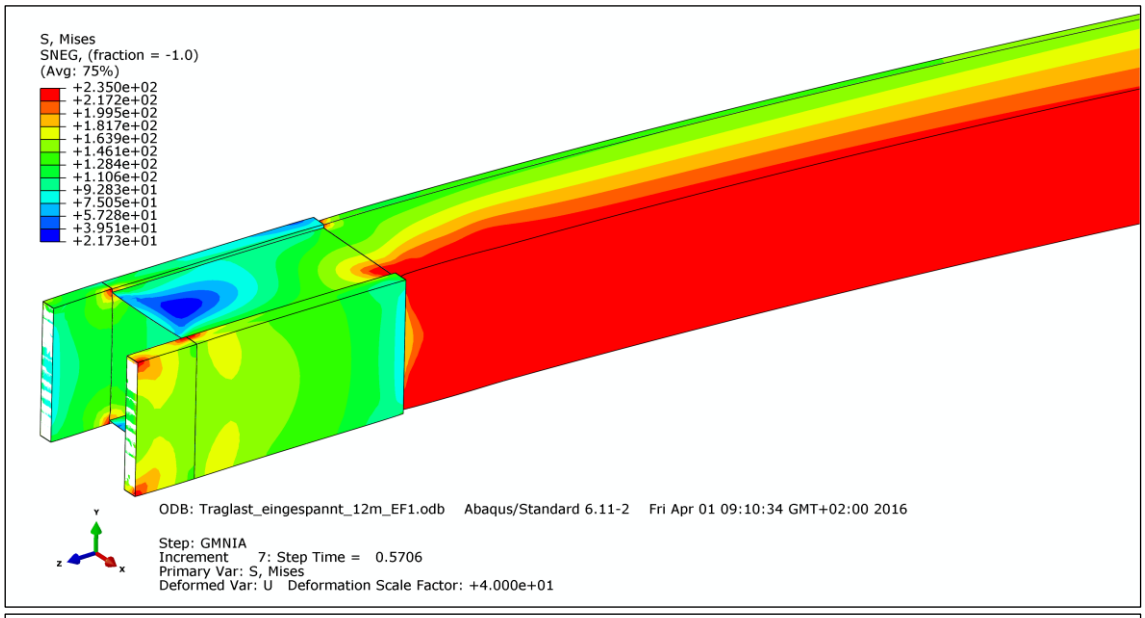


Abbildung 9-236: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





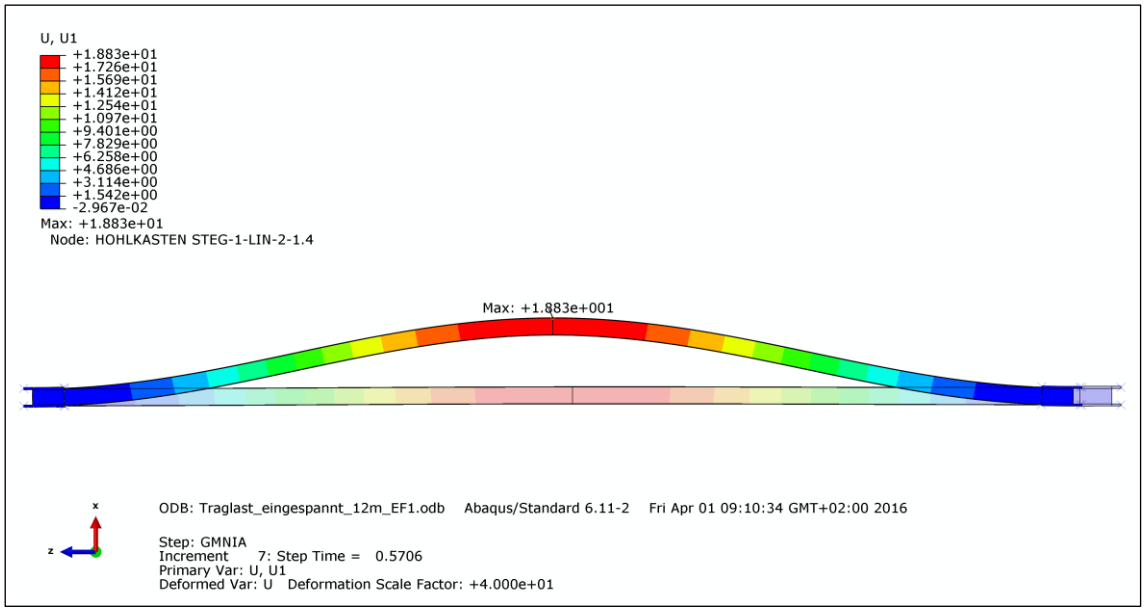


Abbildung 9-237: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

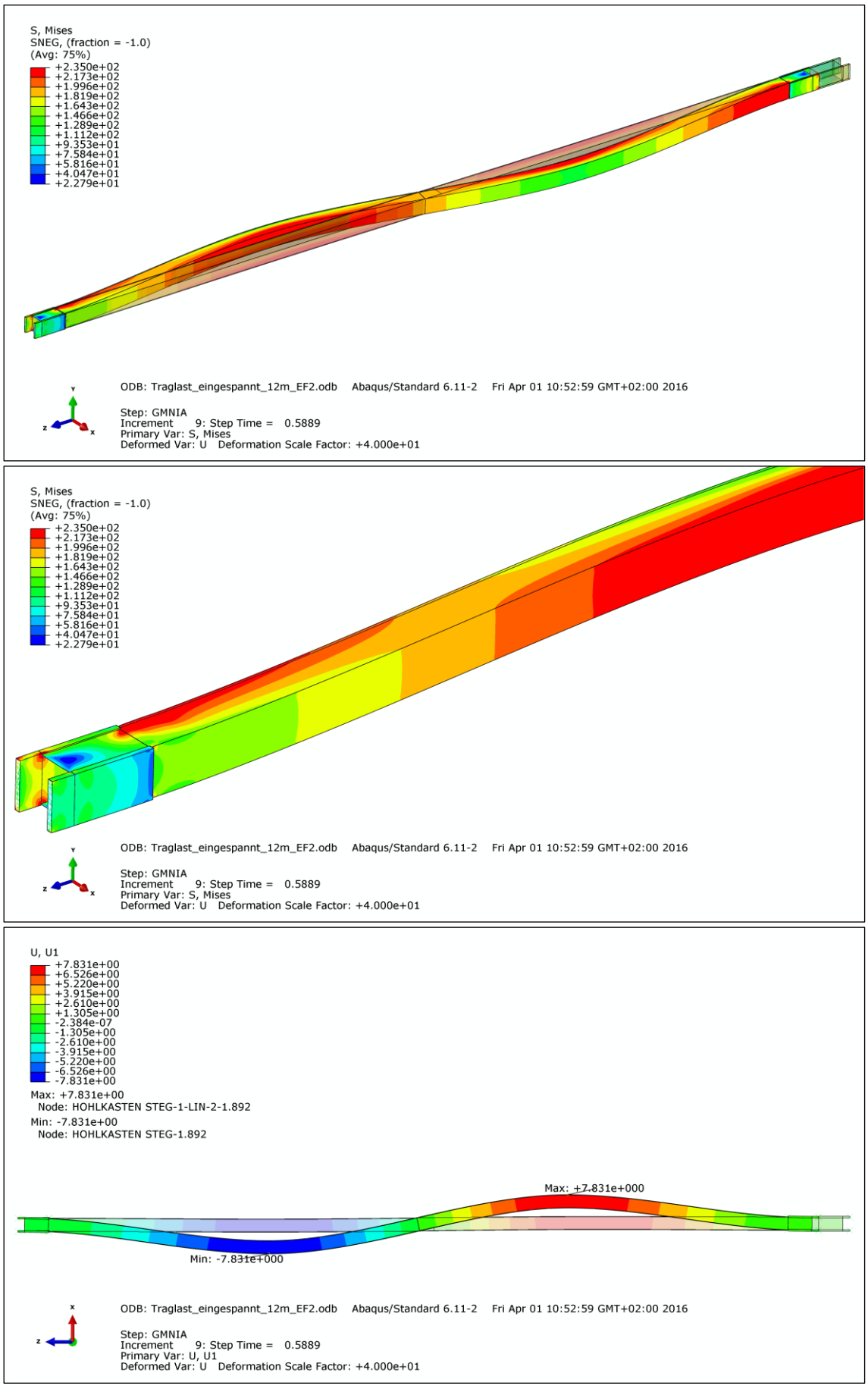
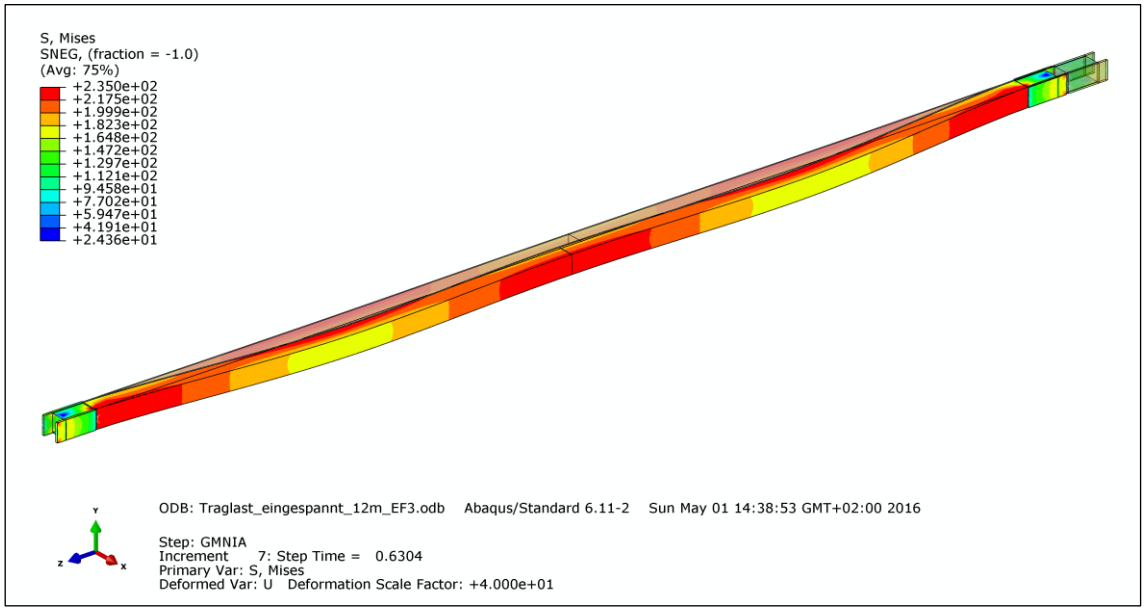
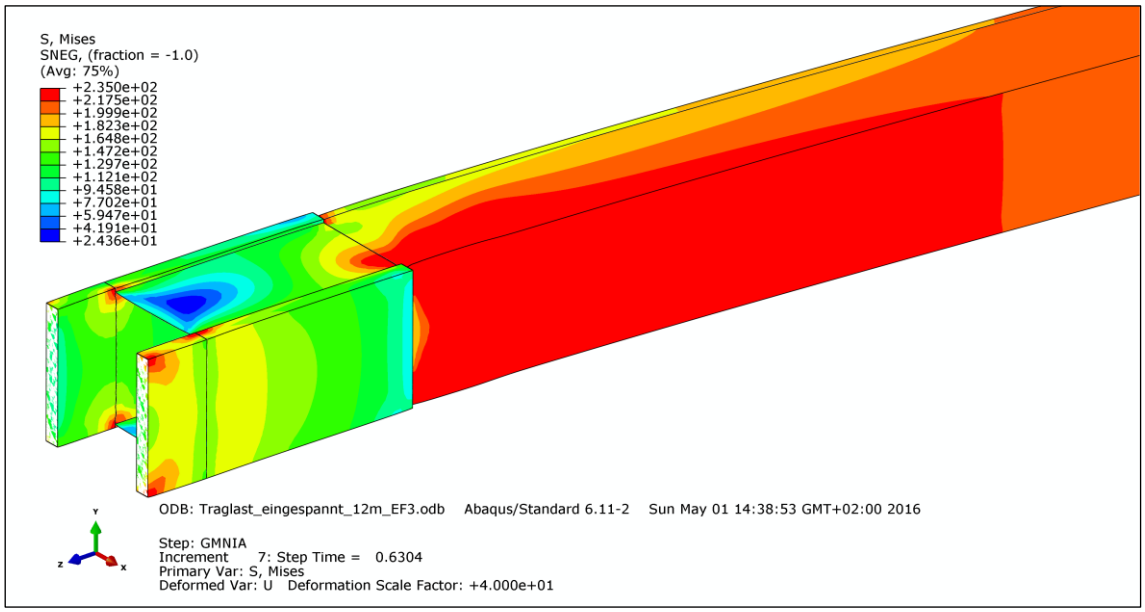


Abbildung 9-238: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





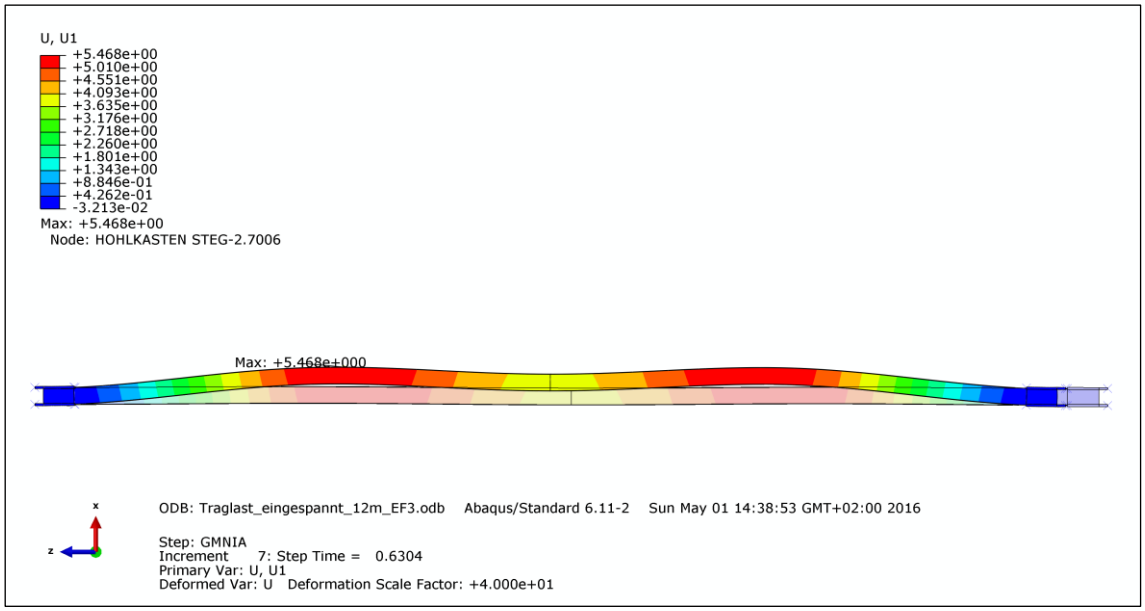


Abbildung 9-239: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

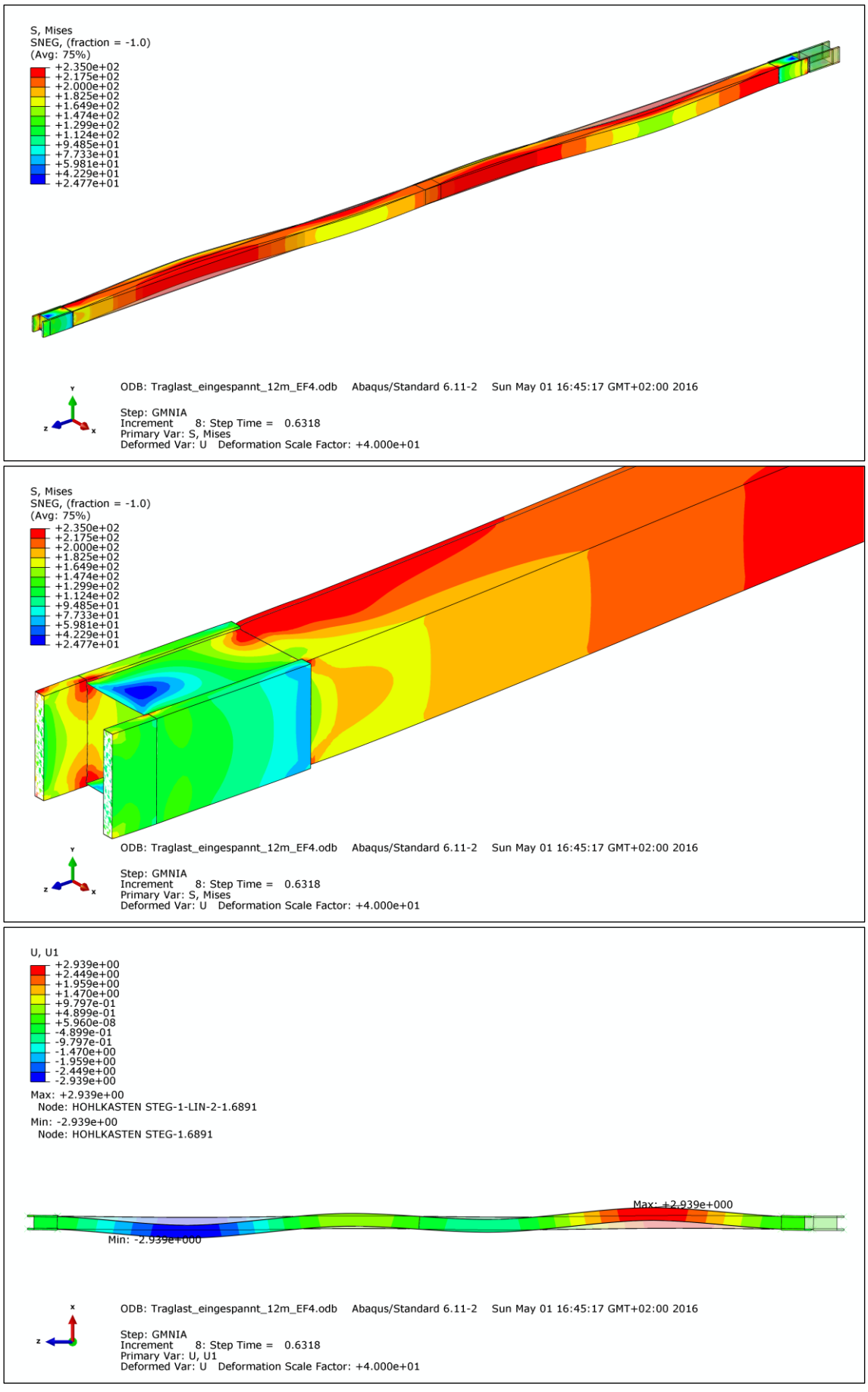
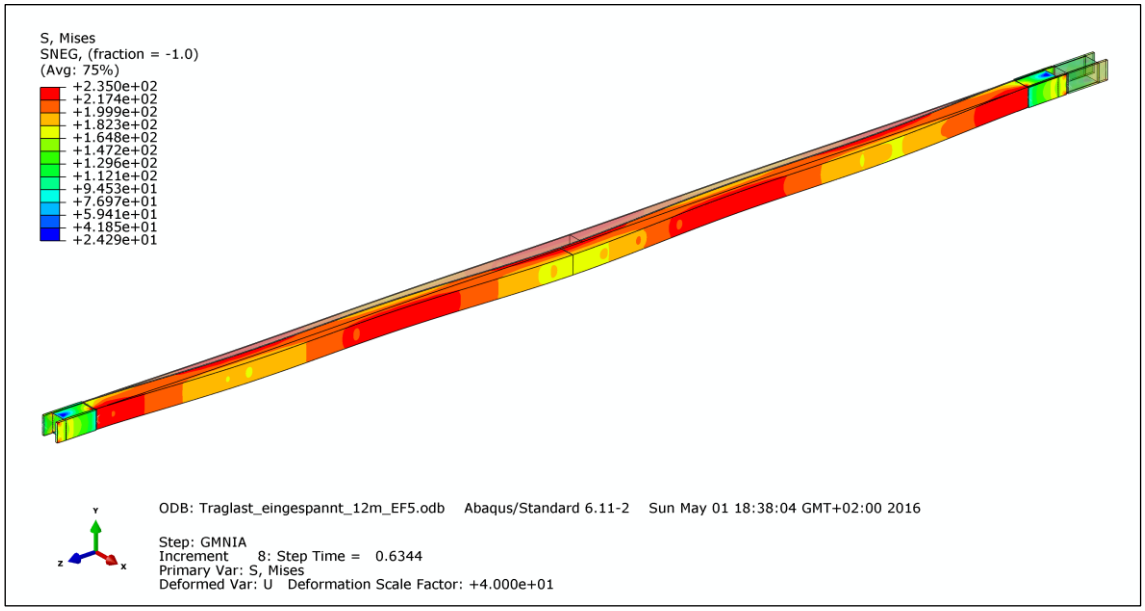
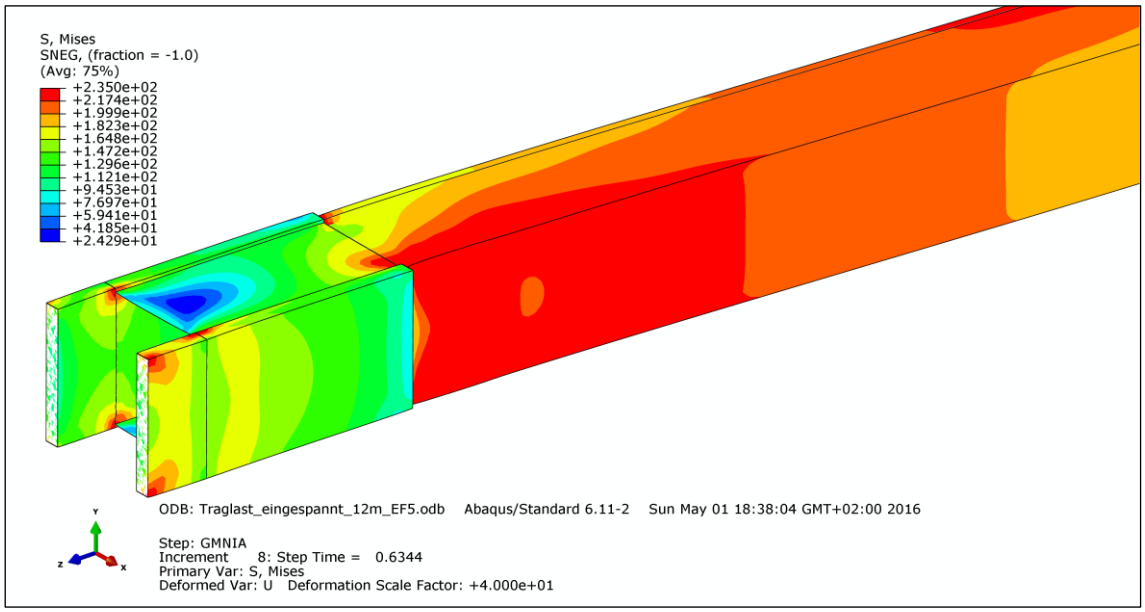


Abbildung 9-240: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4





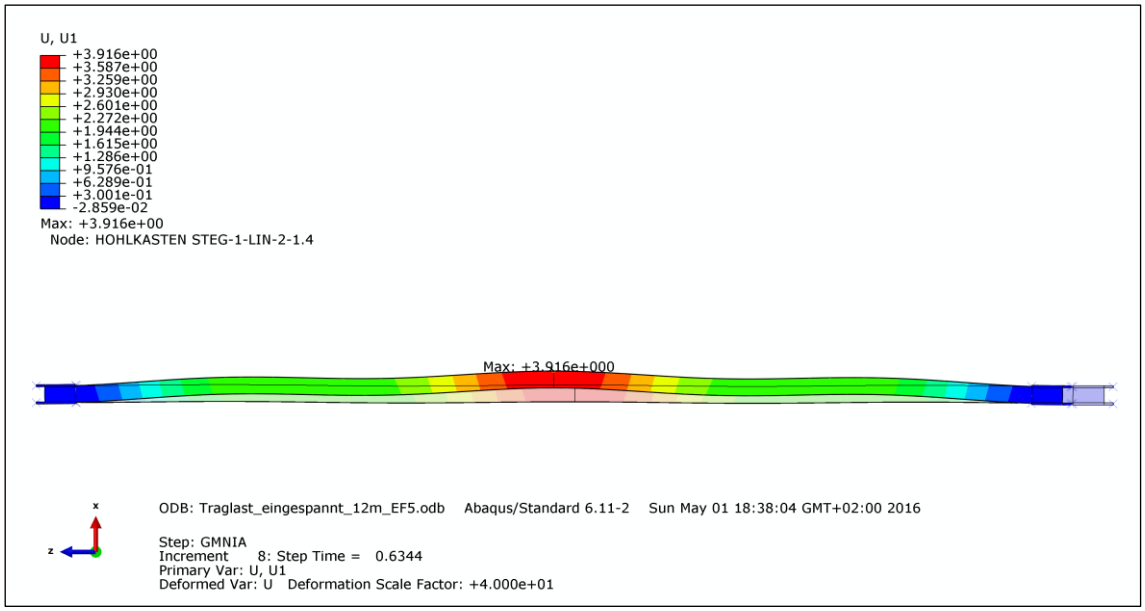


Abbildung 9-241: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5

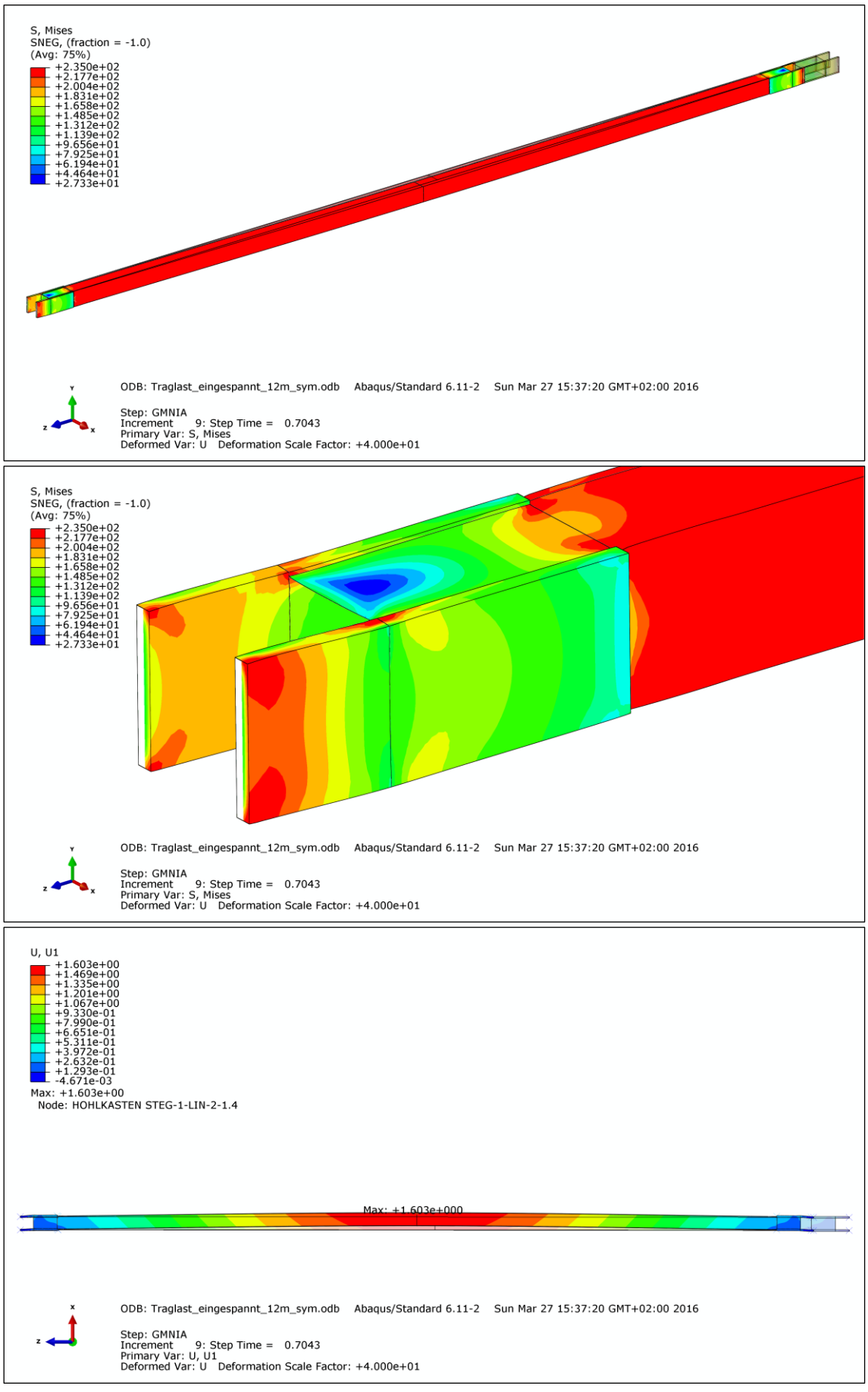
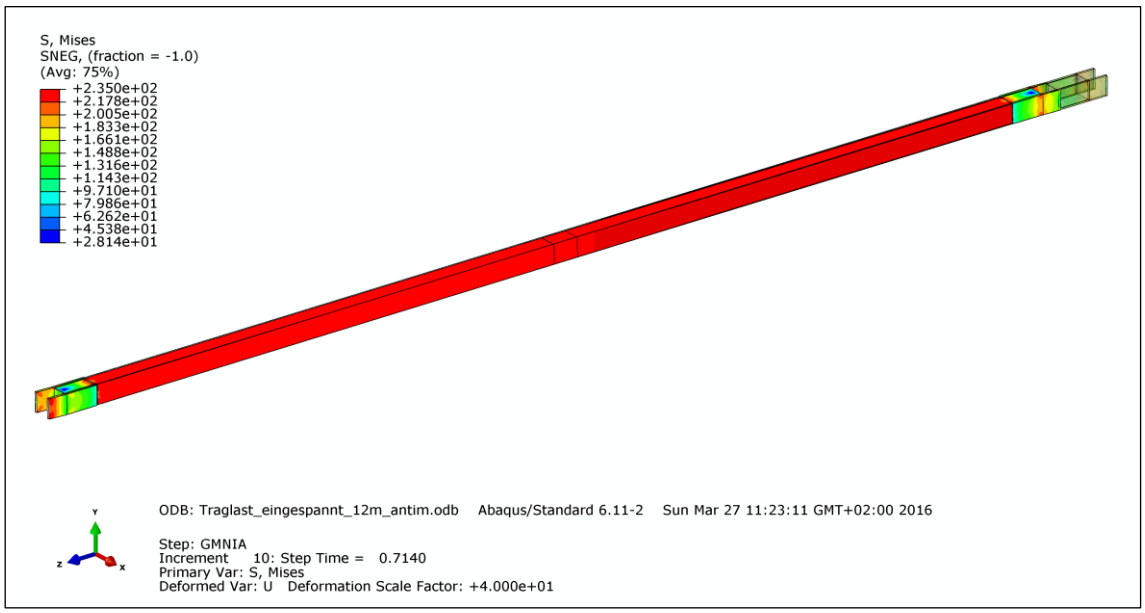
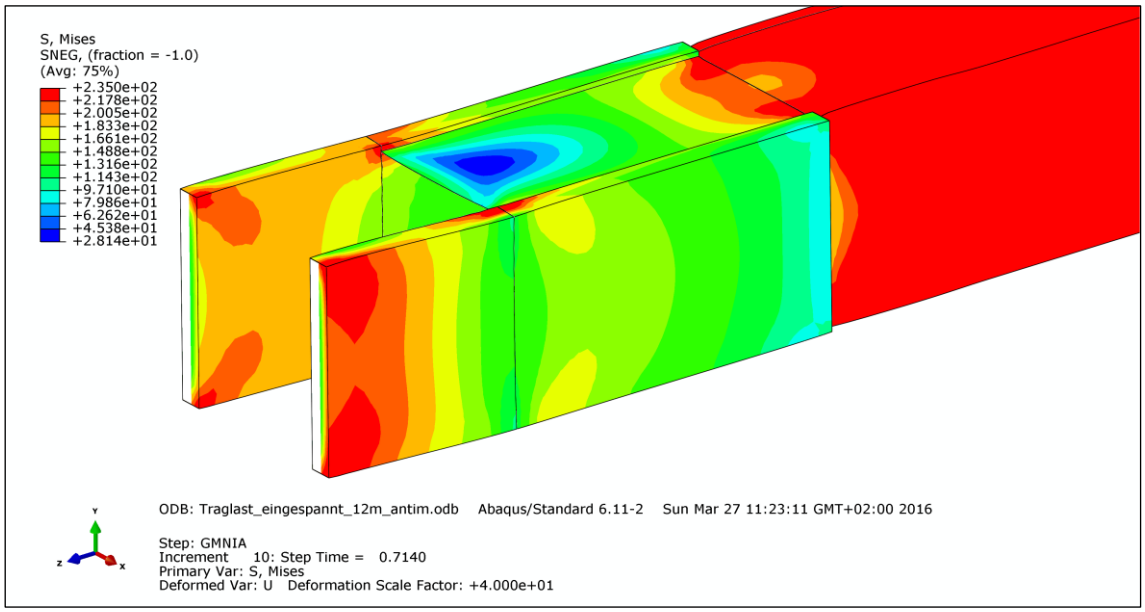


Abbildung 9-242: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





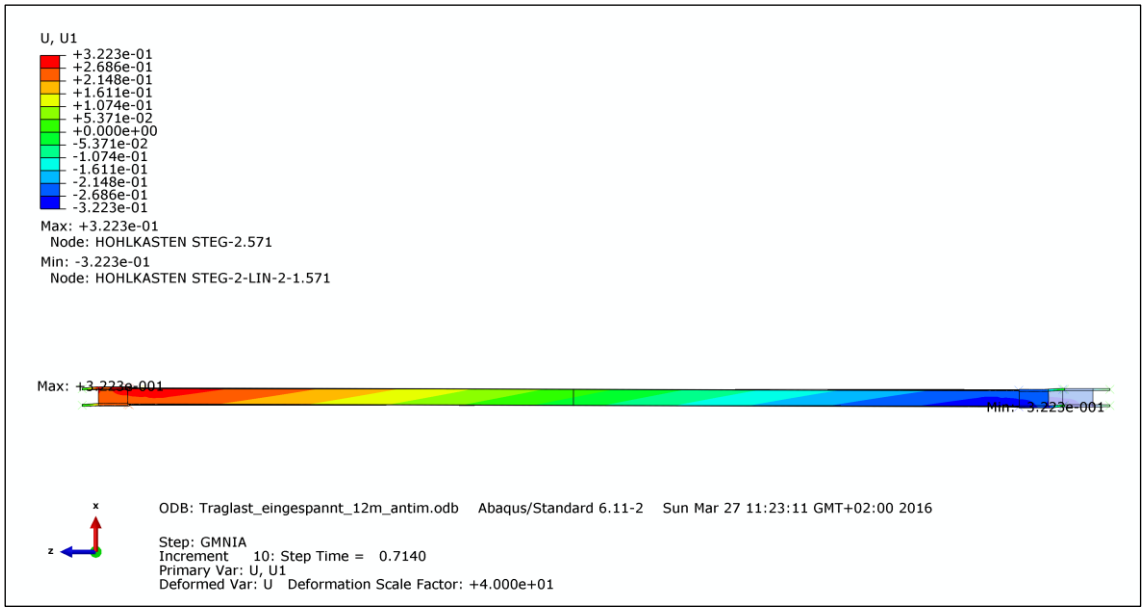
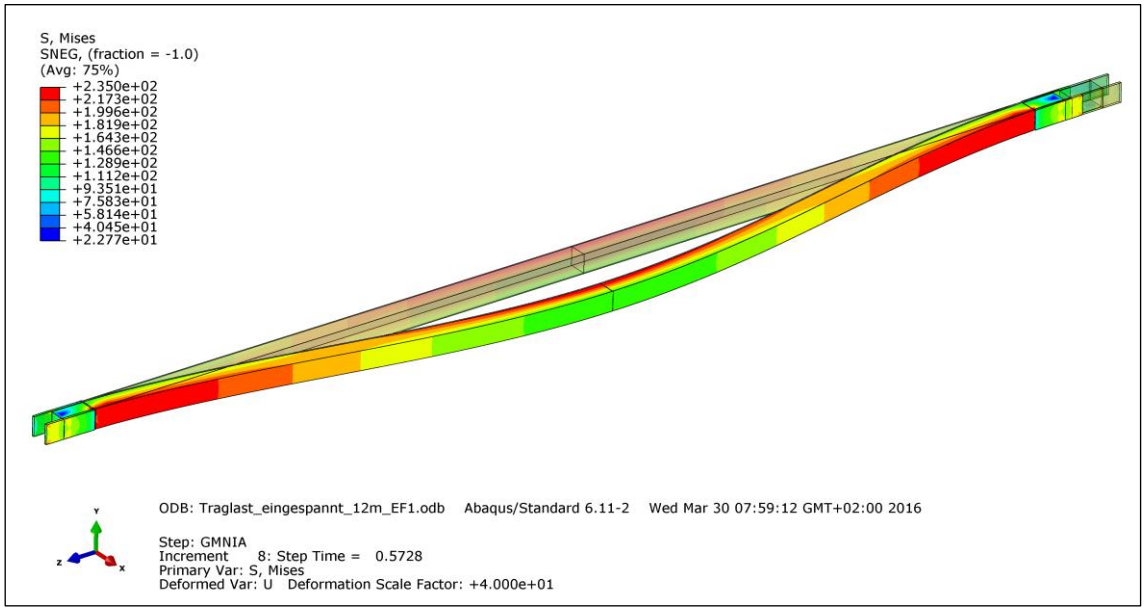
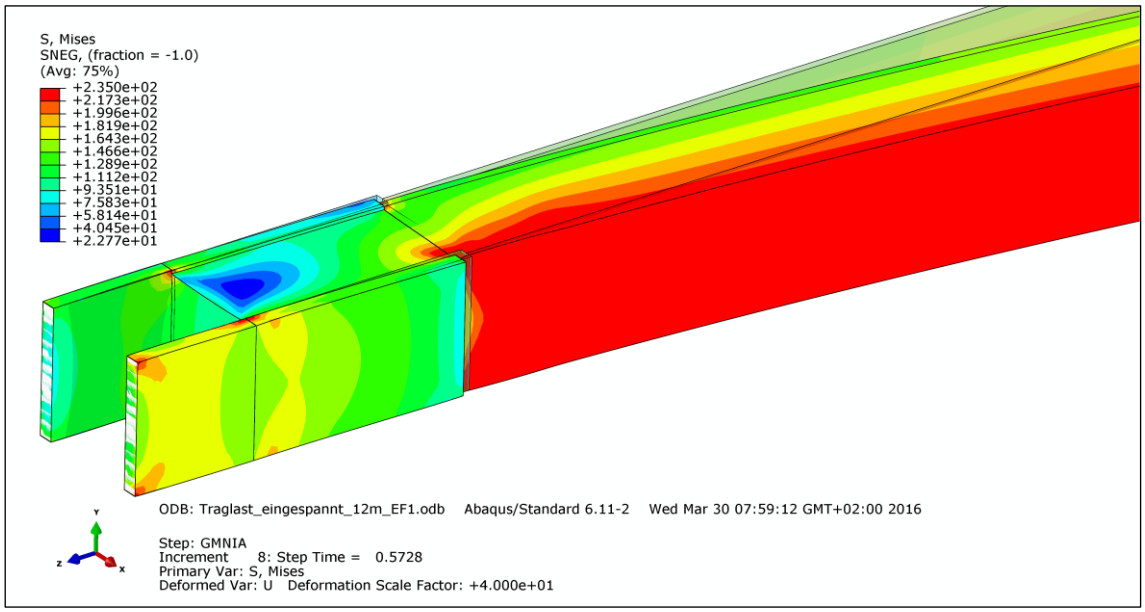


Abbildung 9-243: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





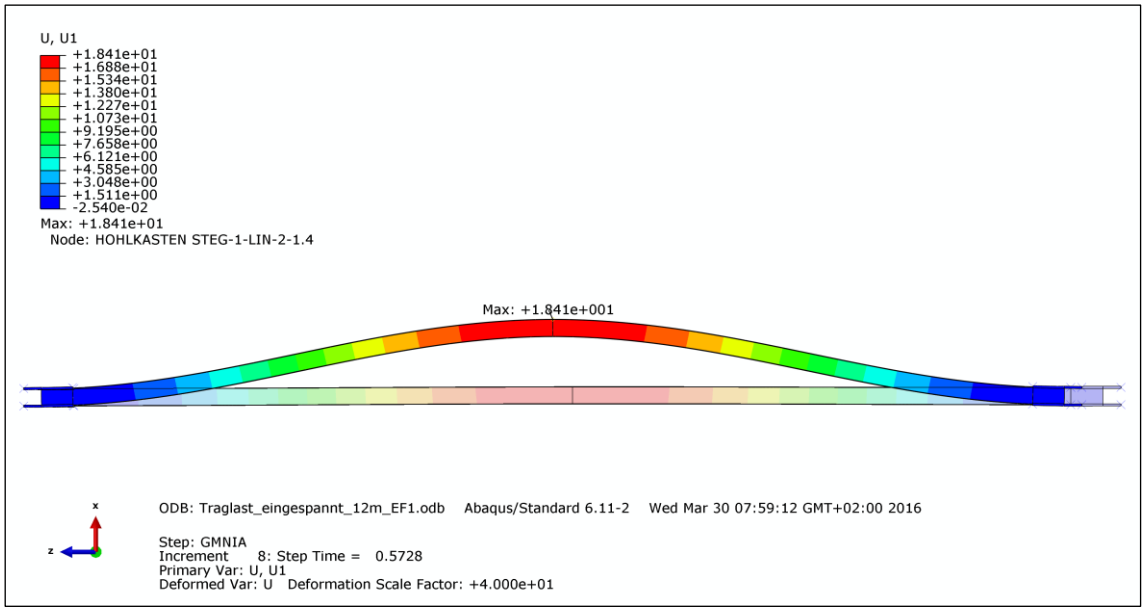


Abbildung 9-244: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

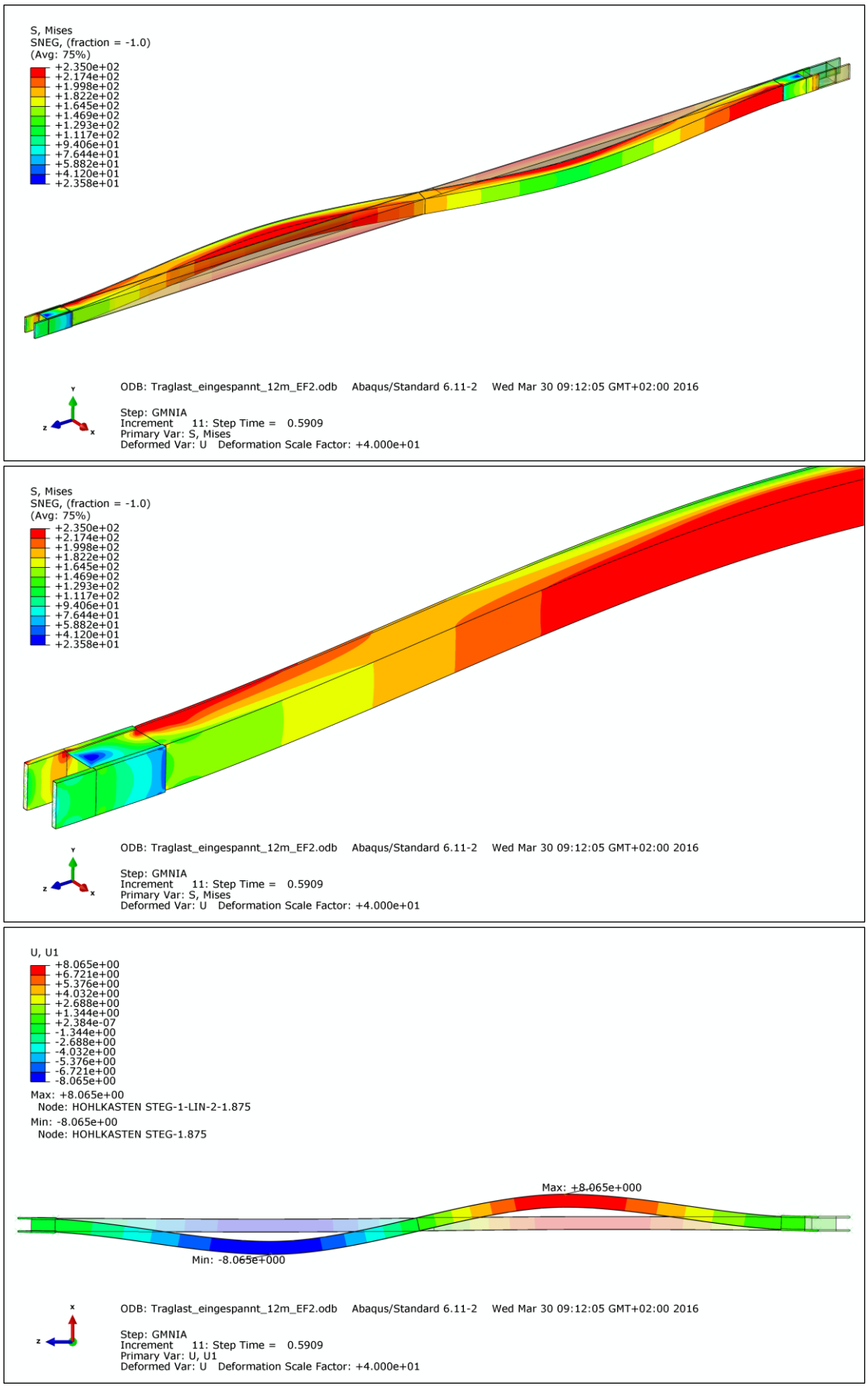
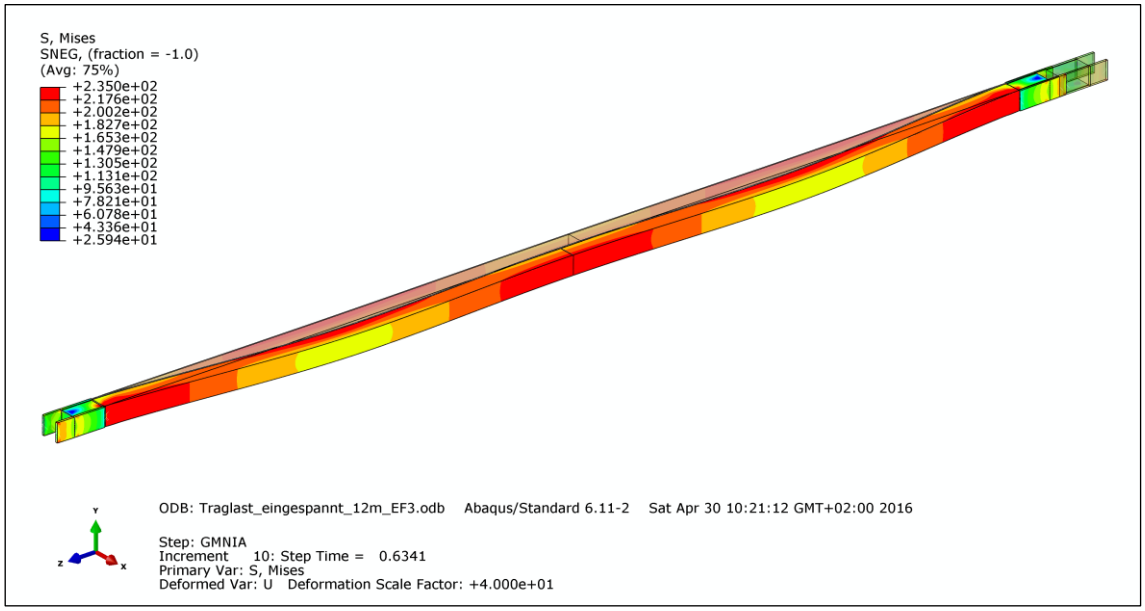
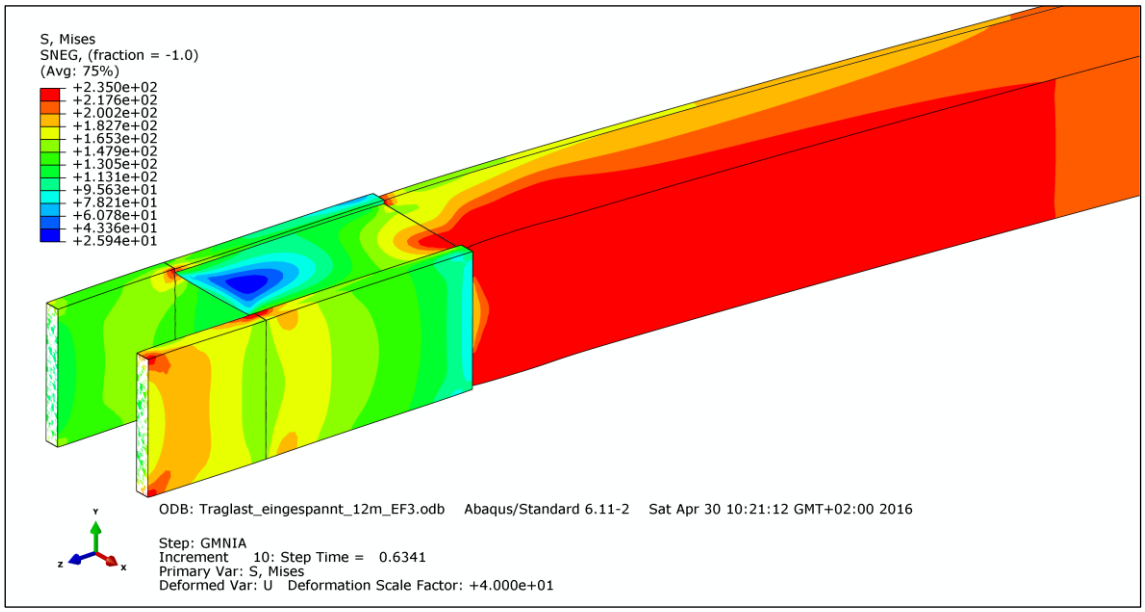


Abbildung 9-245: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





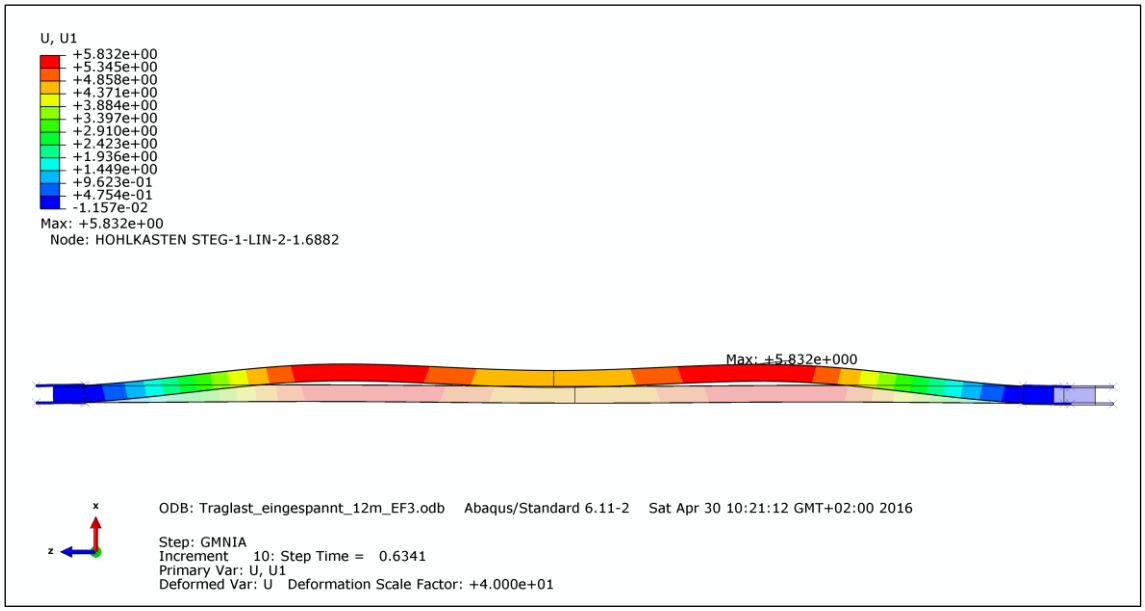
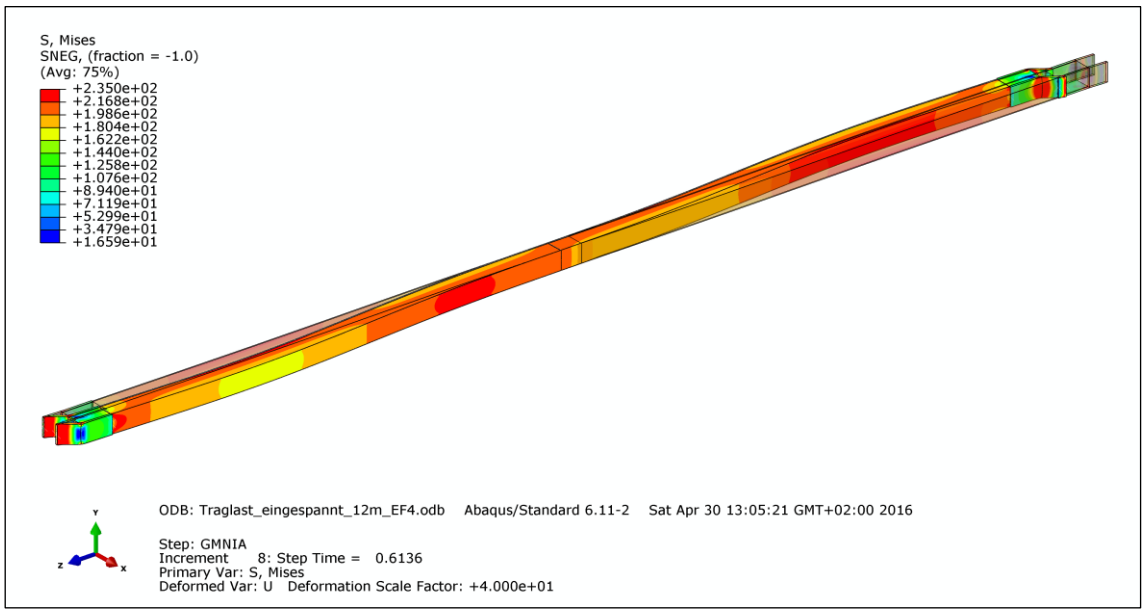
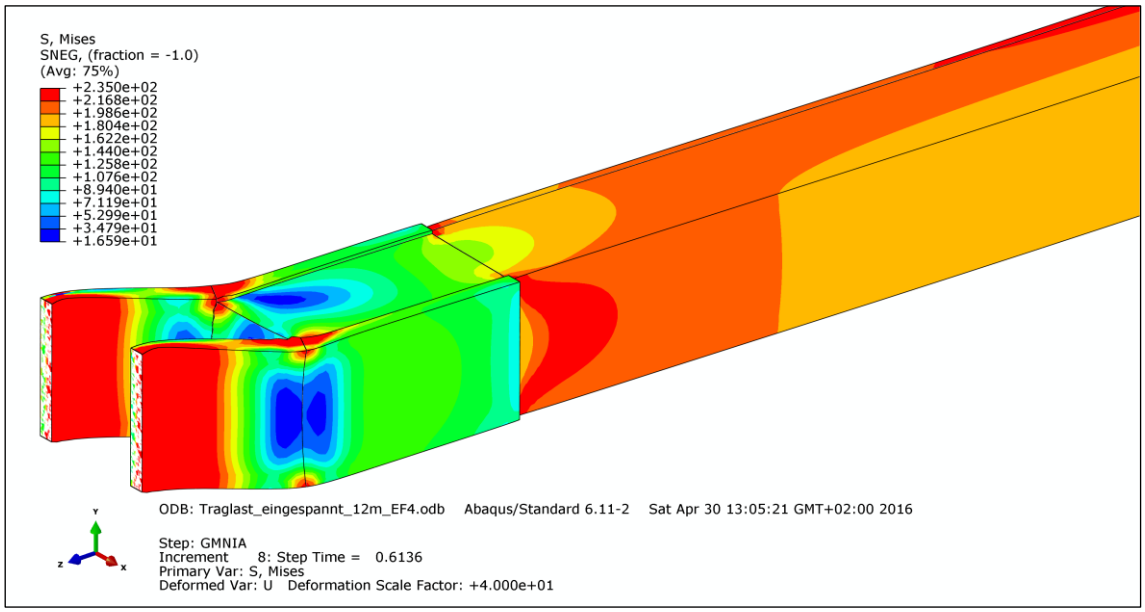


Abbildung 9-246: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3





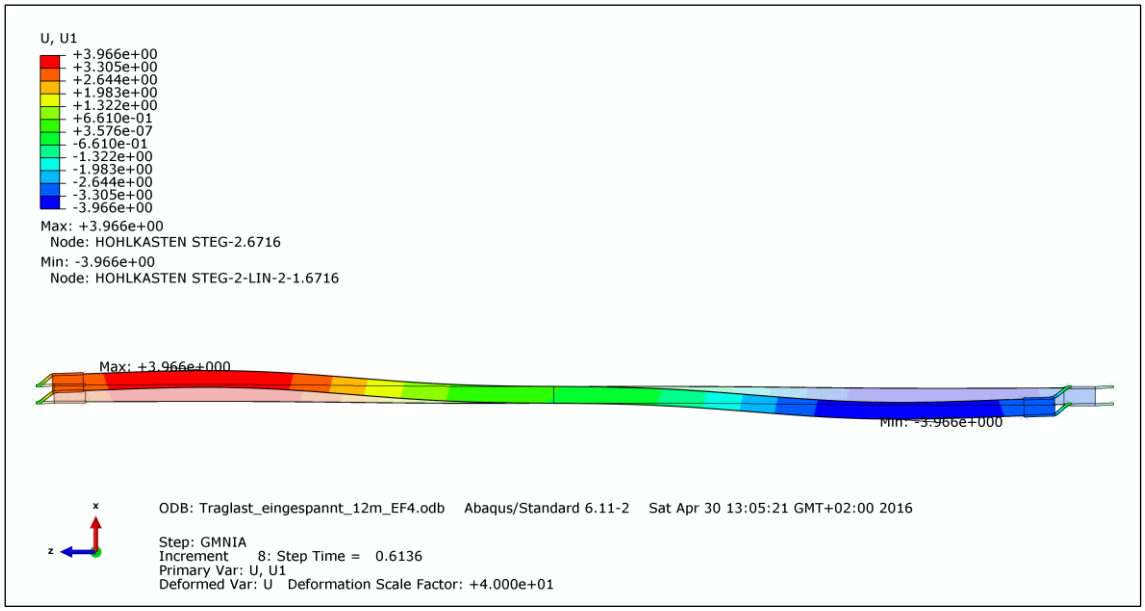
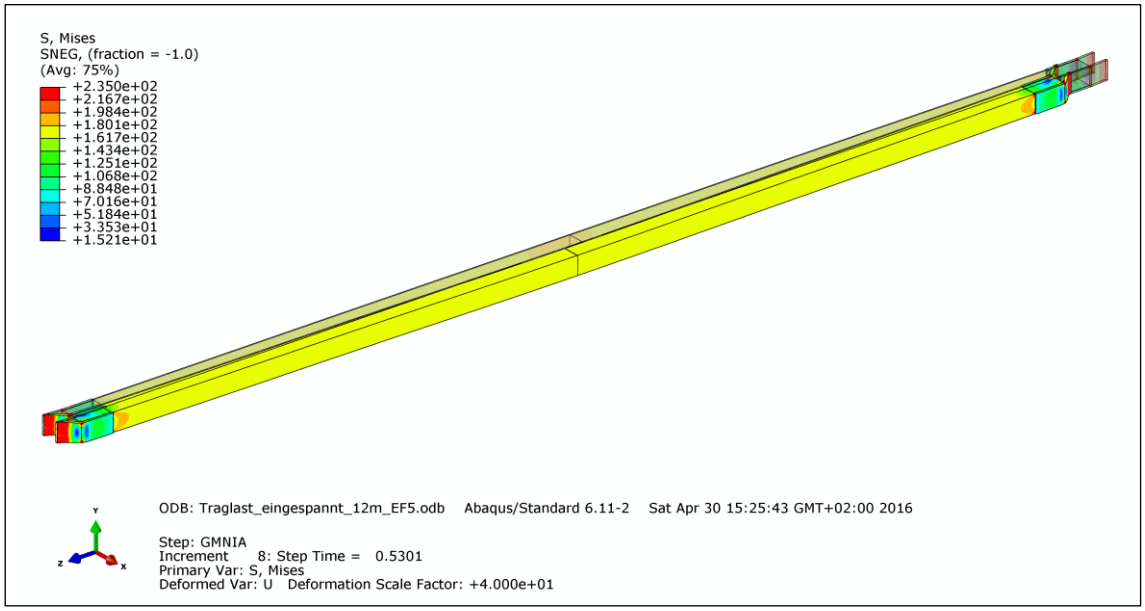
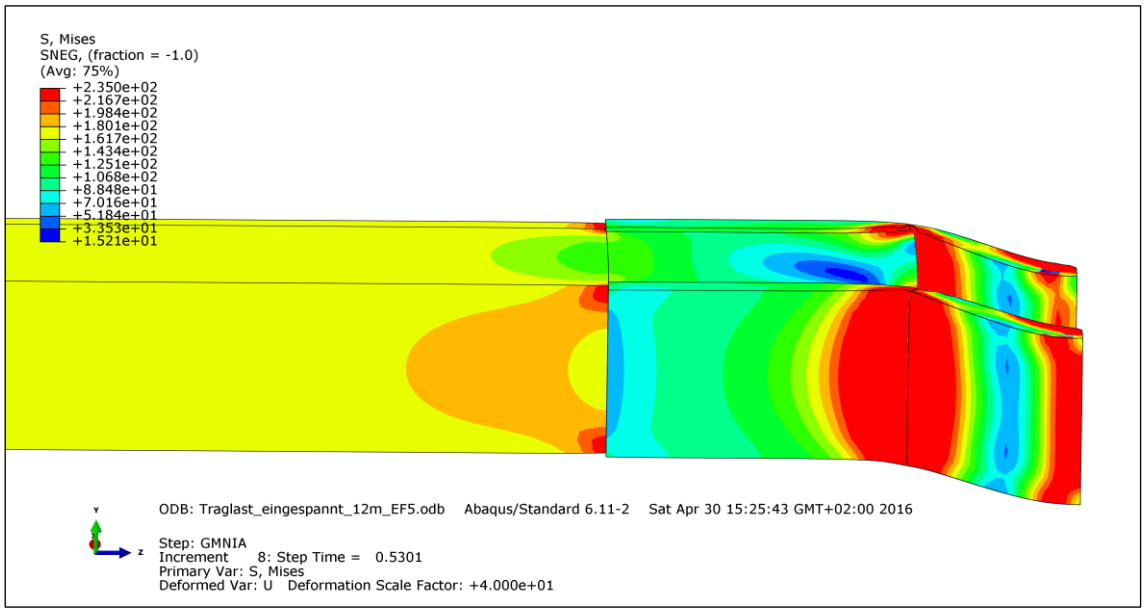


Abbildung 9-247: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4





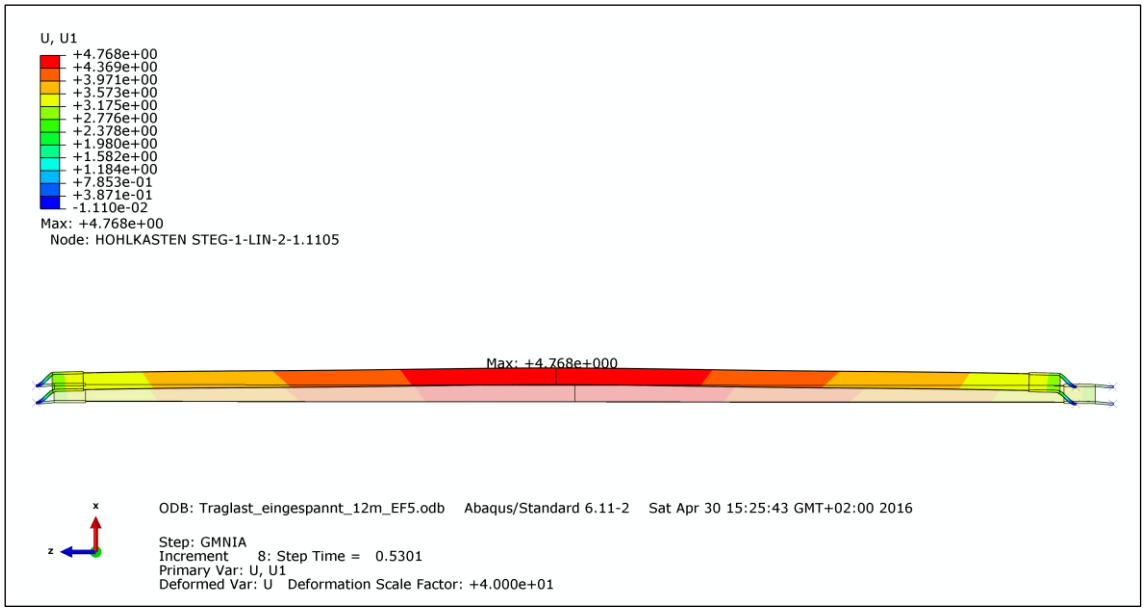


Abbildung 9-248: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5

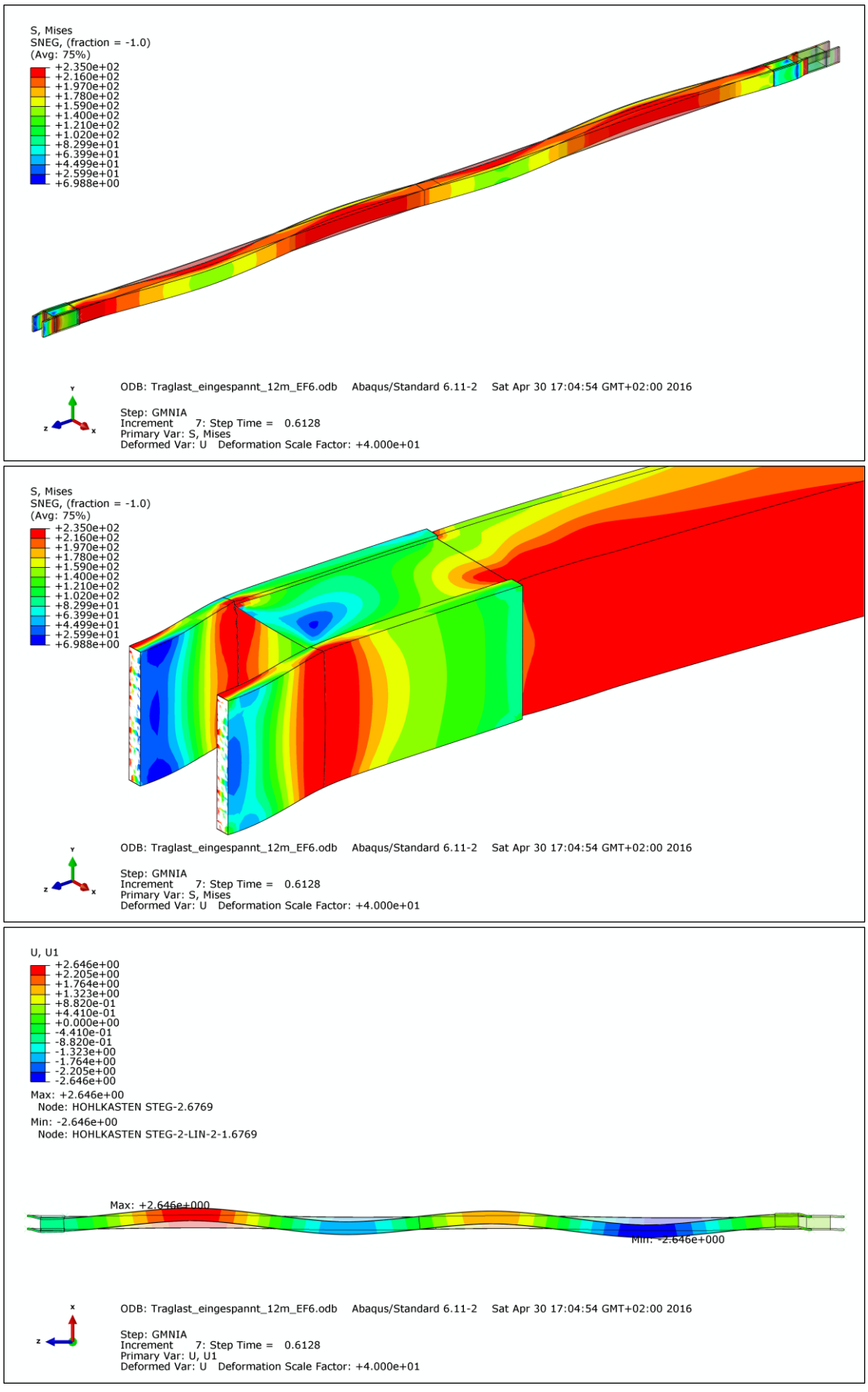
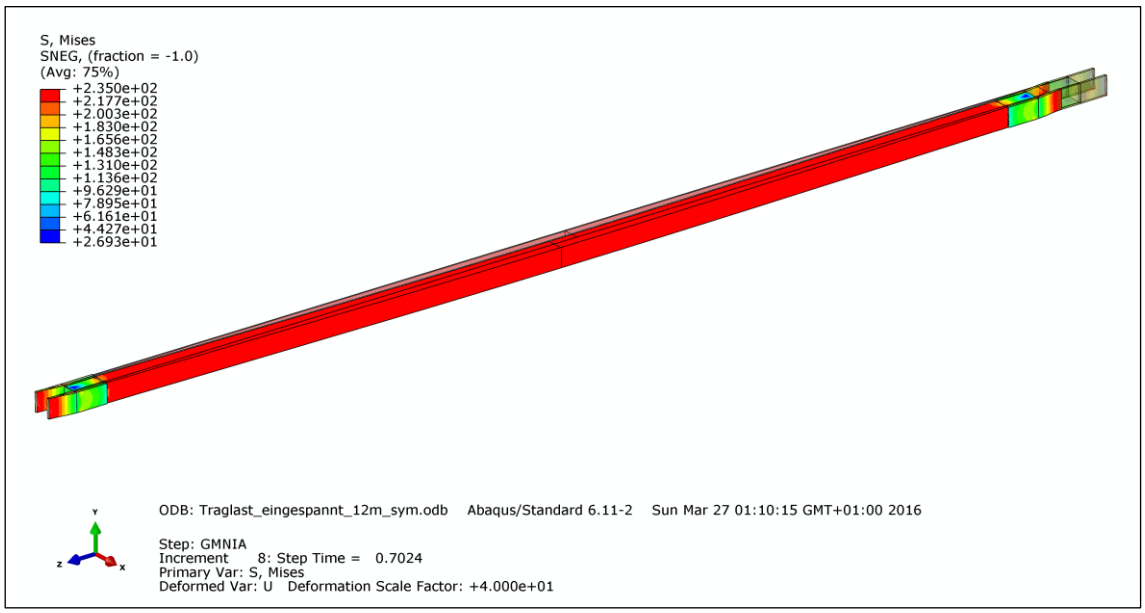
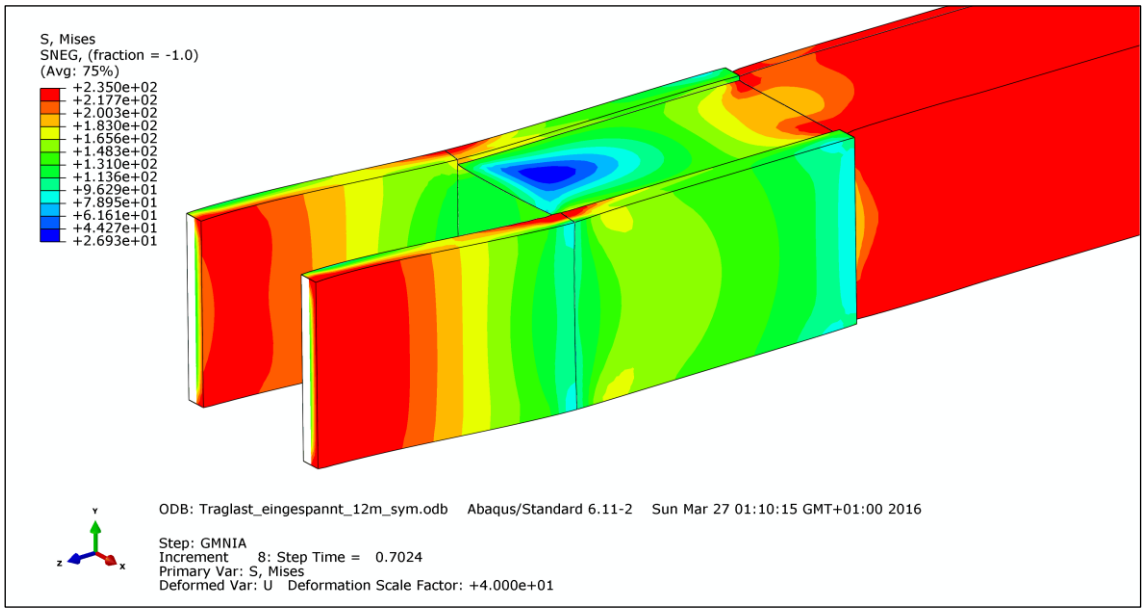


Abbildung 9-249: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF6





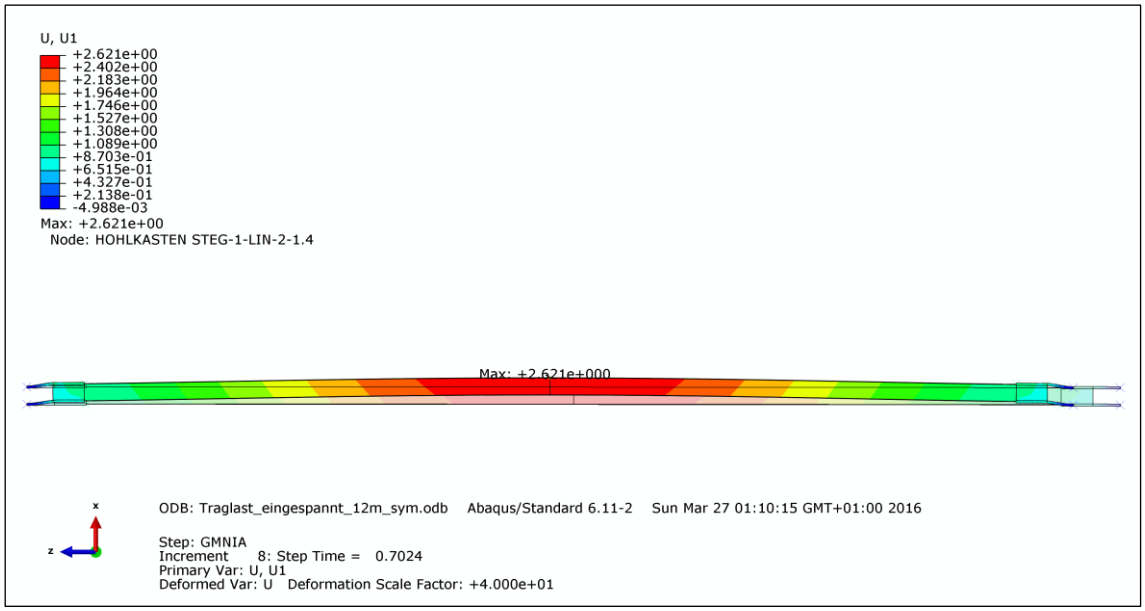
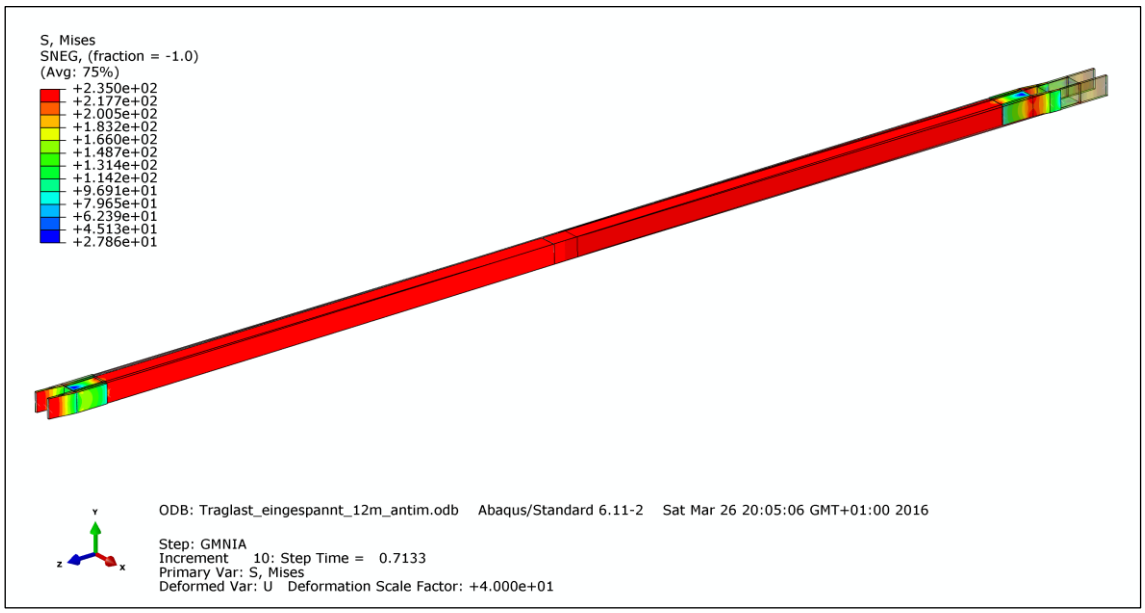
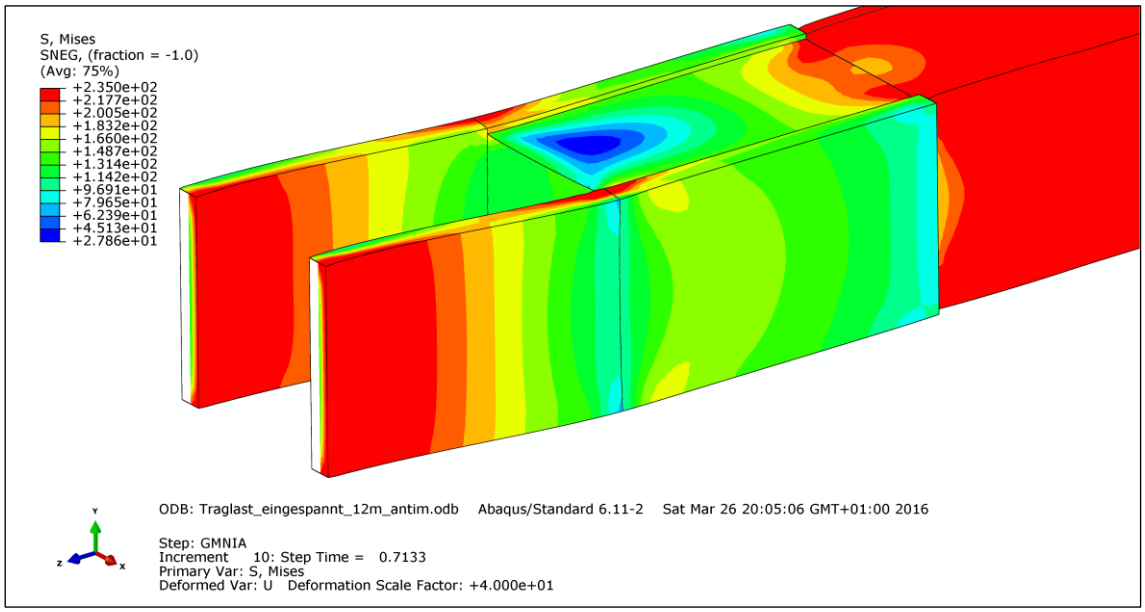


Abbildung 9-250: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





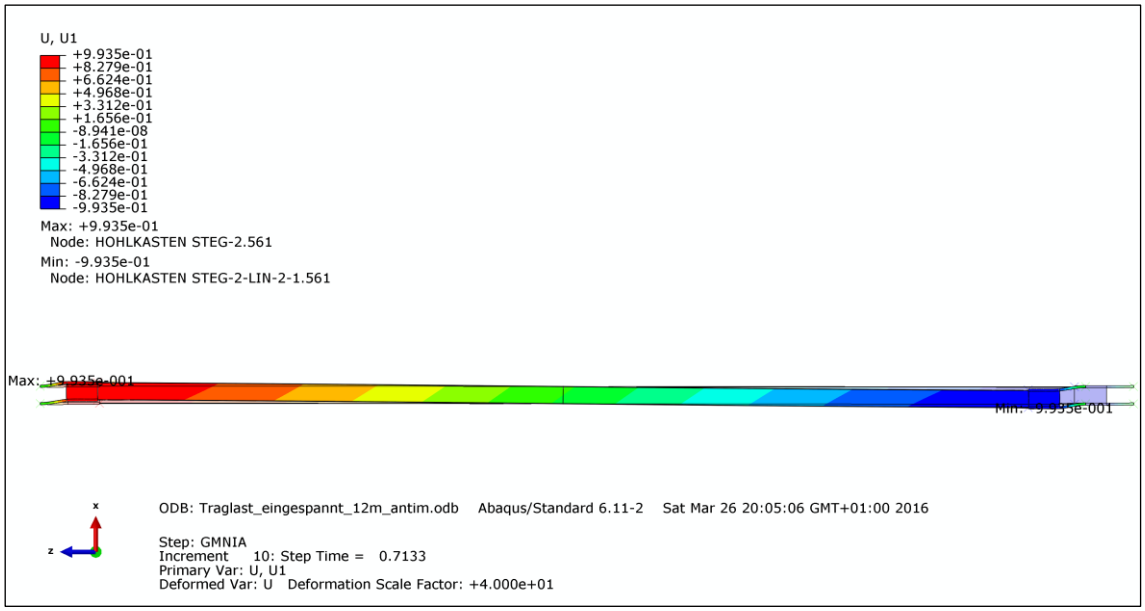
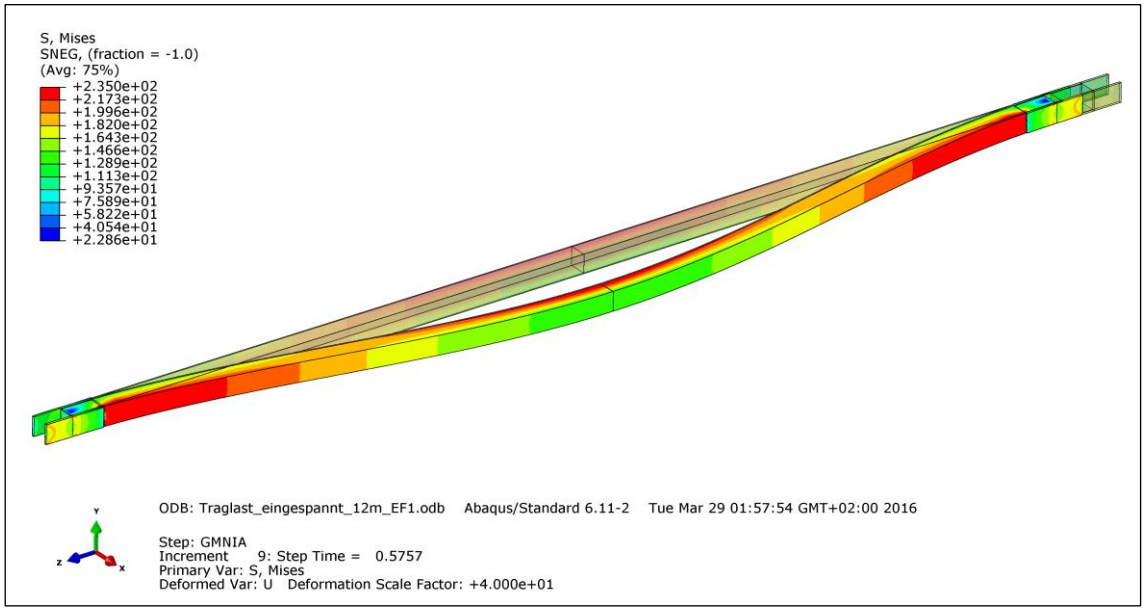
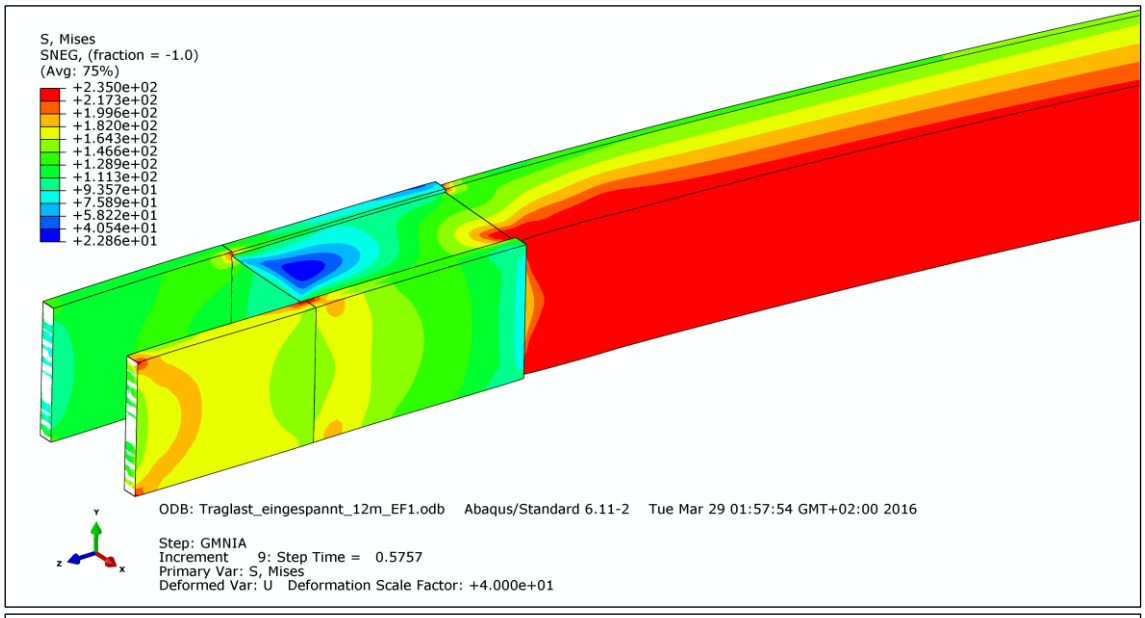


Abbildung 9-251: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





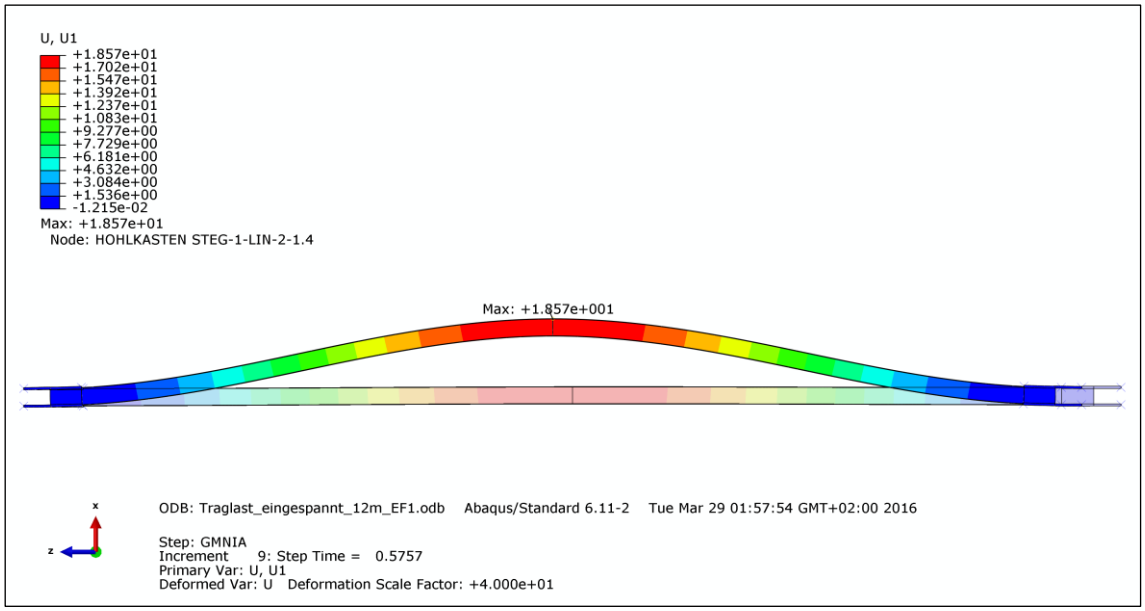
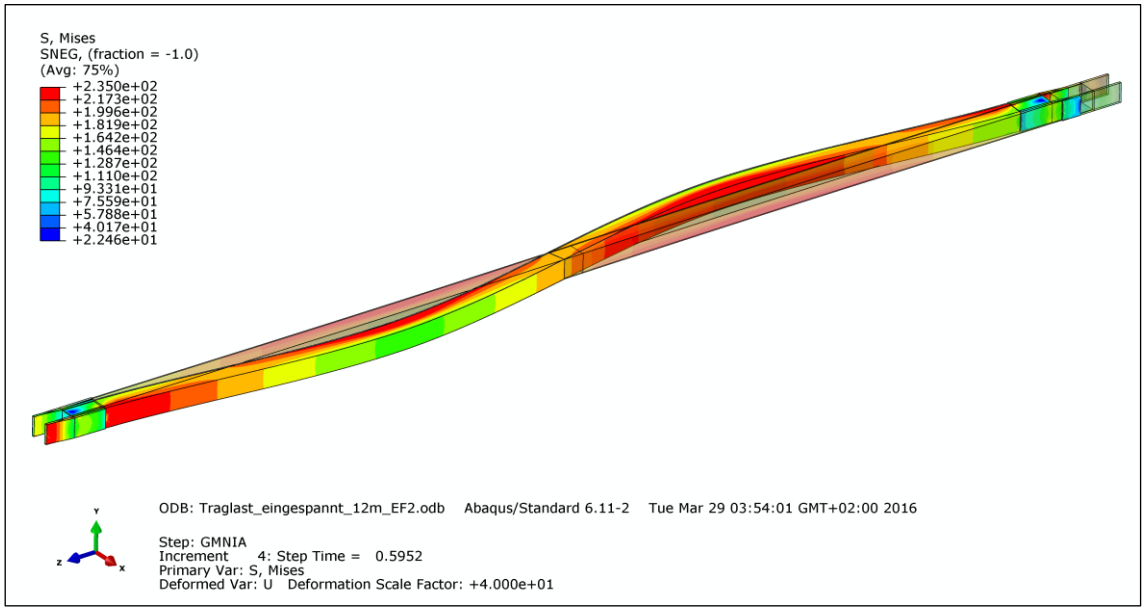
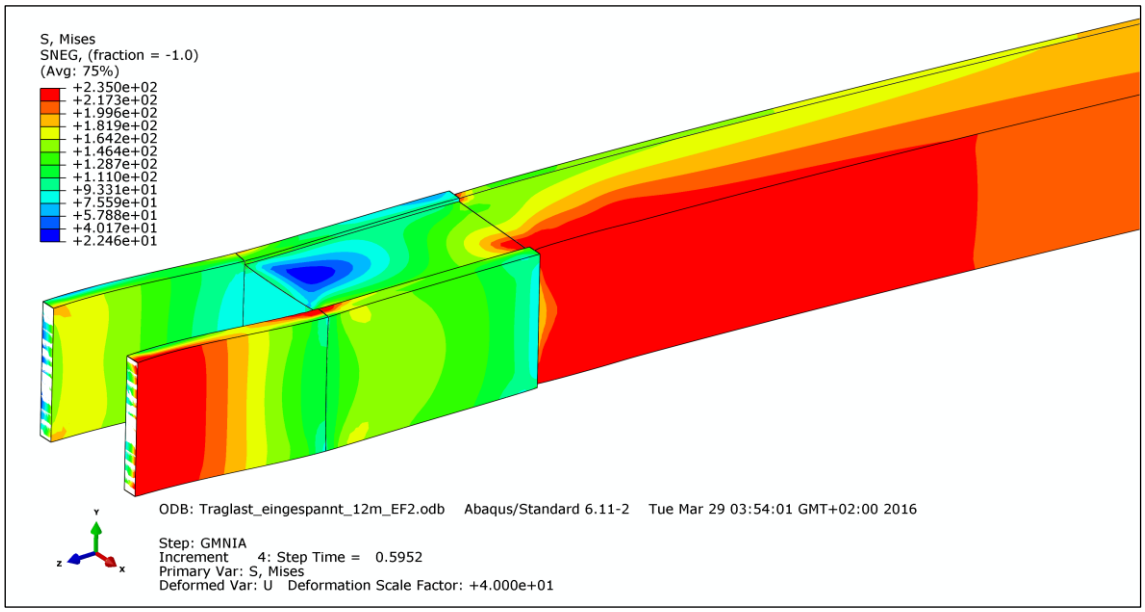


Abbildung 9-252: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





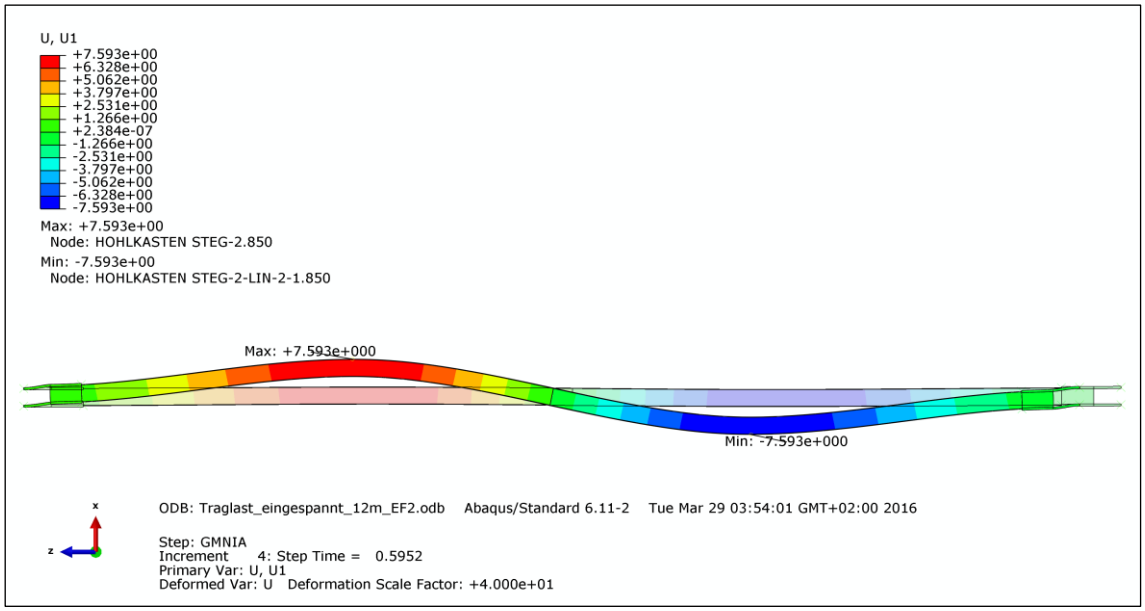
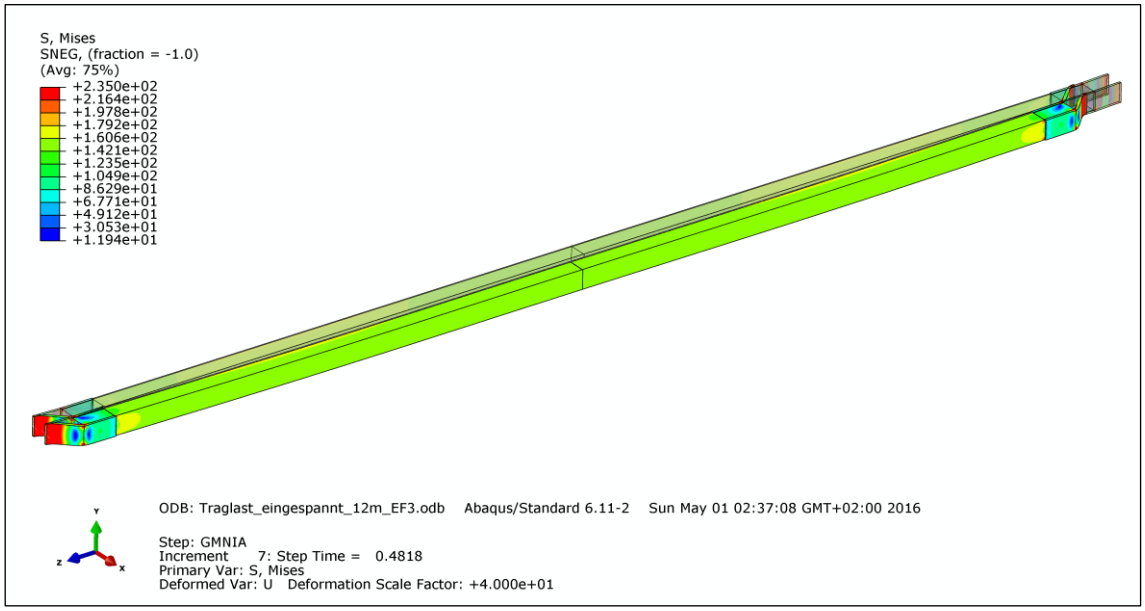
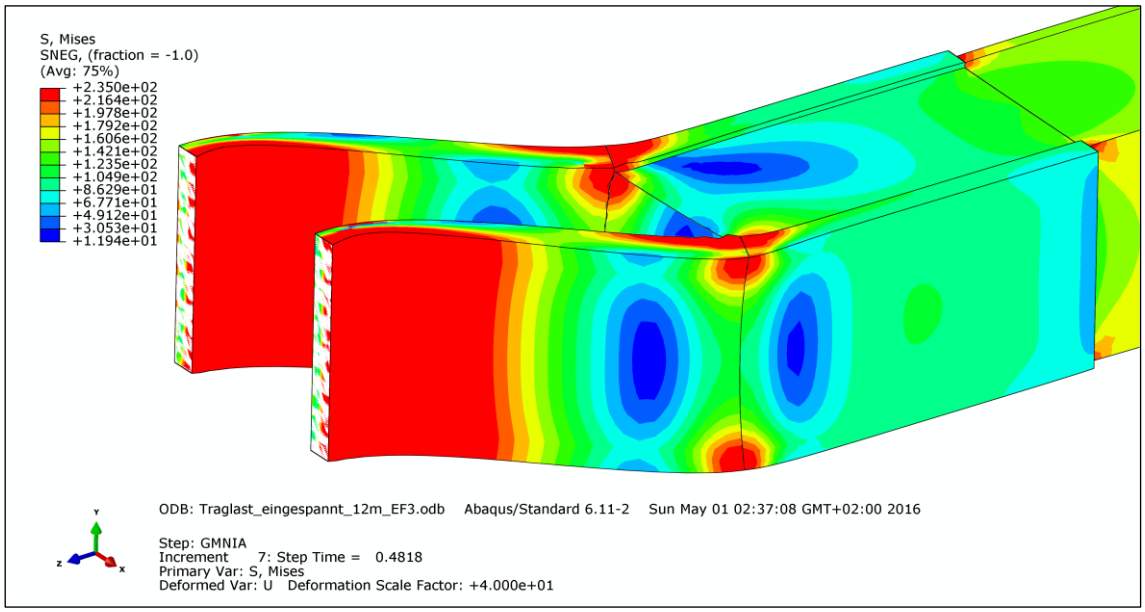


Abbildung 9-253: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





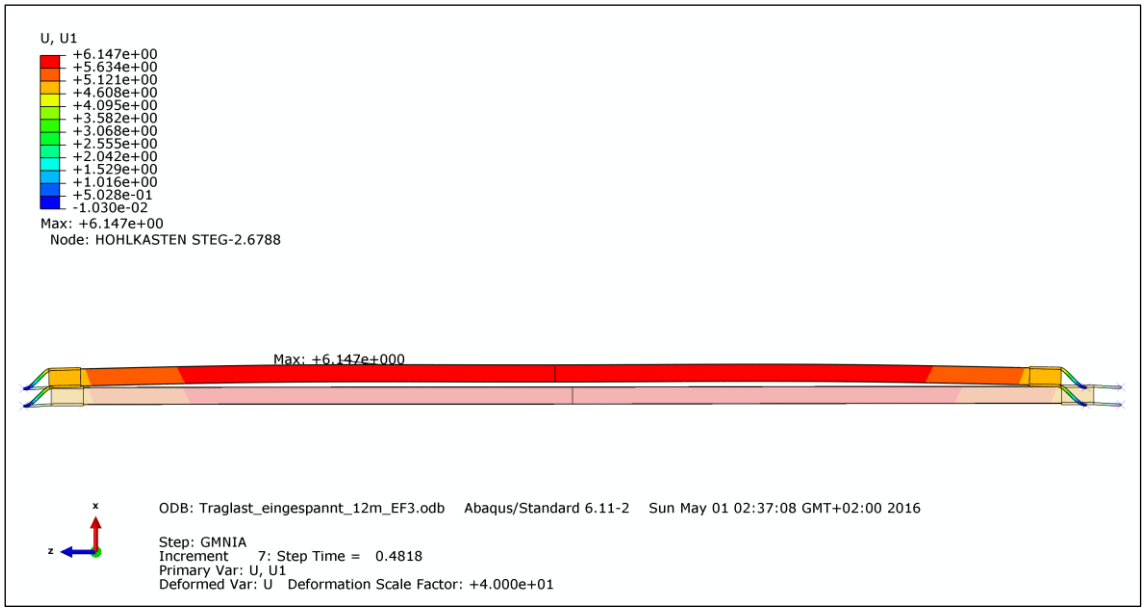
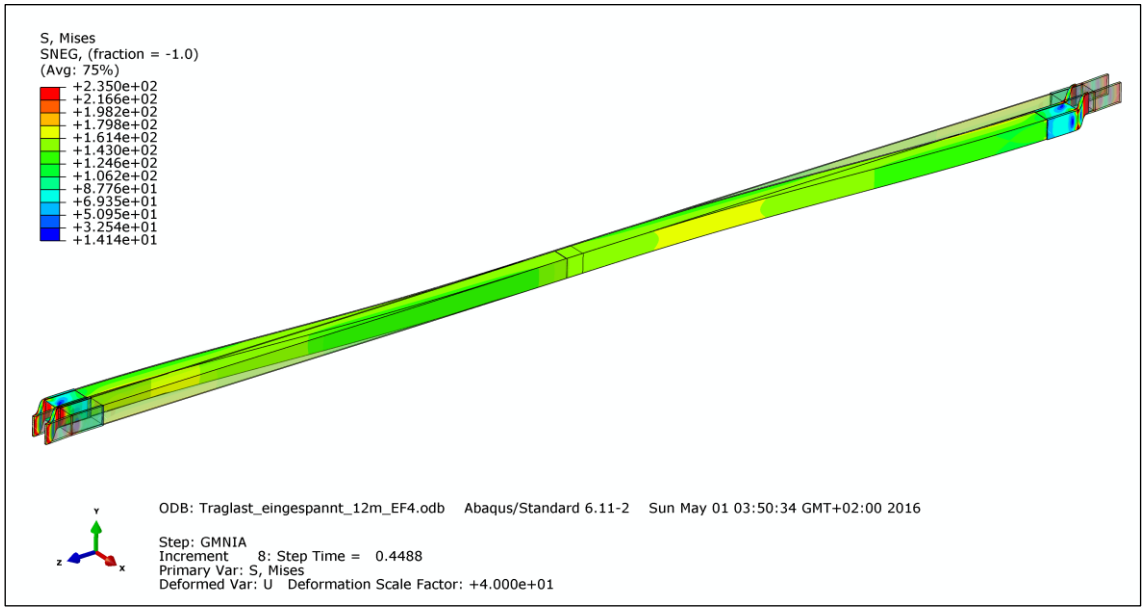
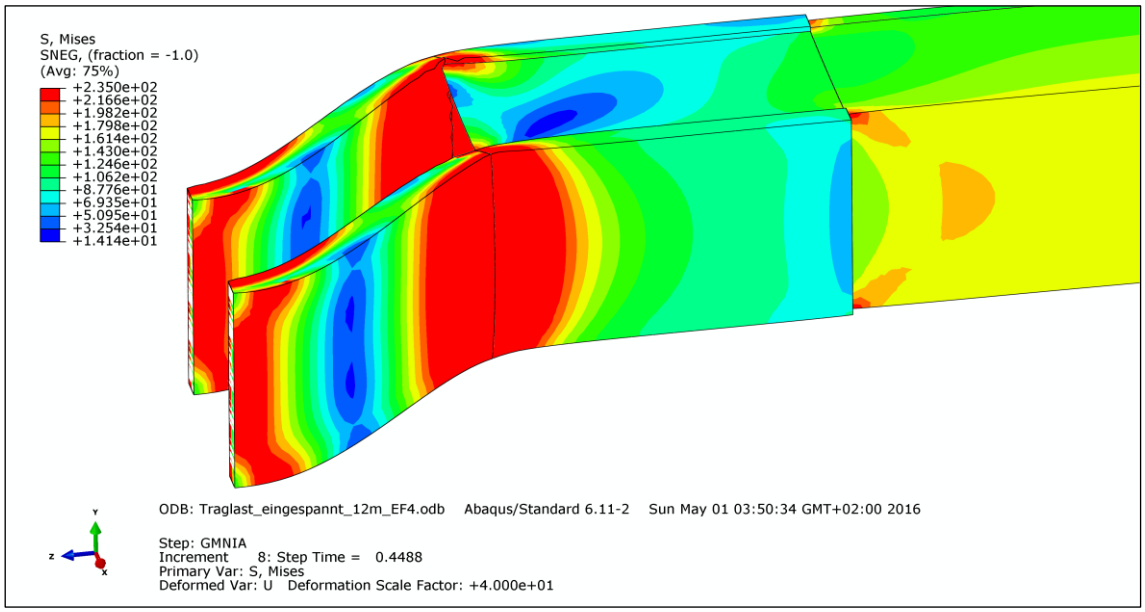


Abbildung 9-254: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3





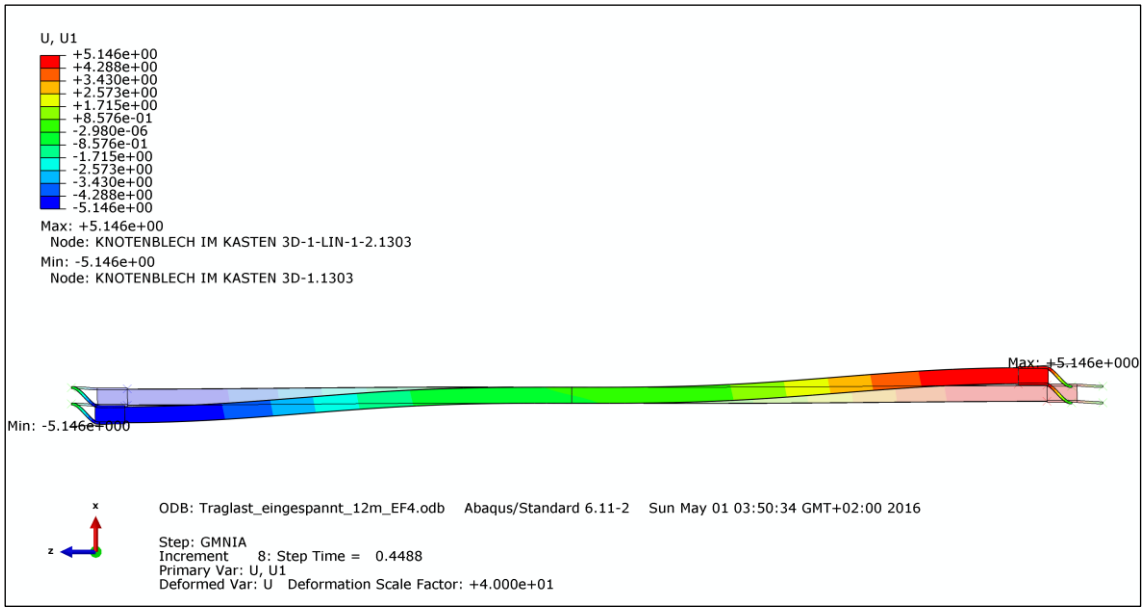
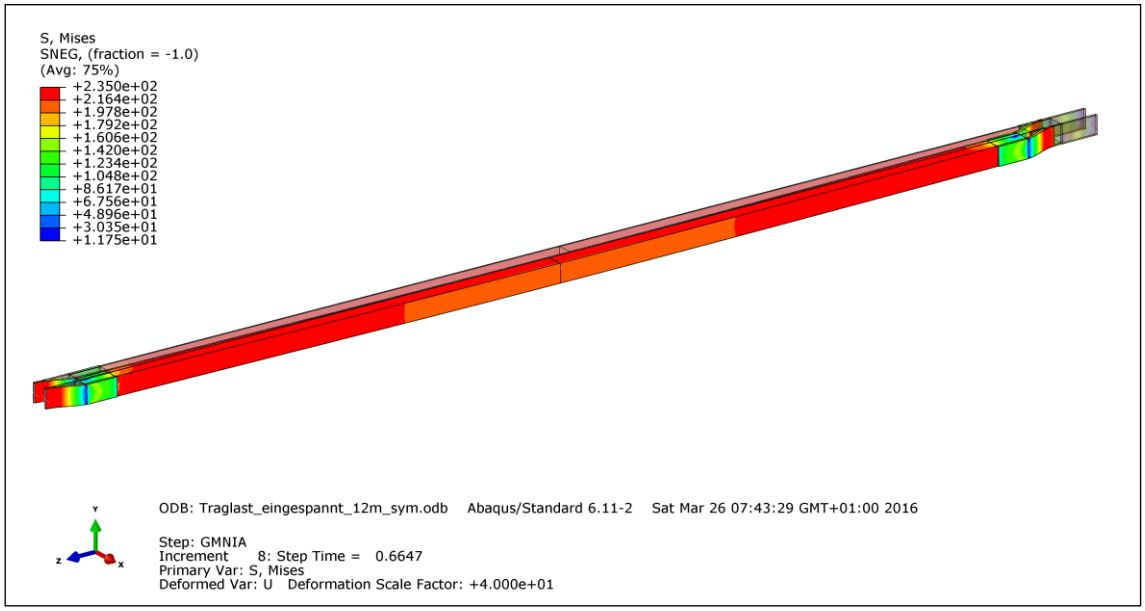
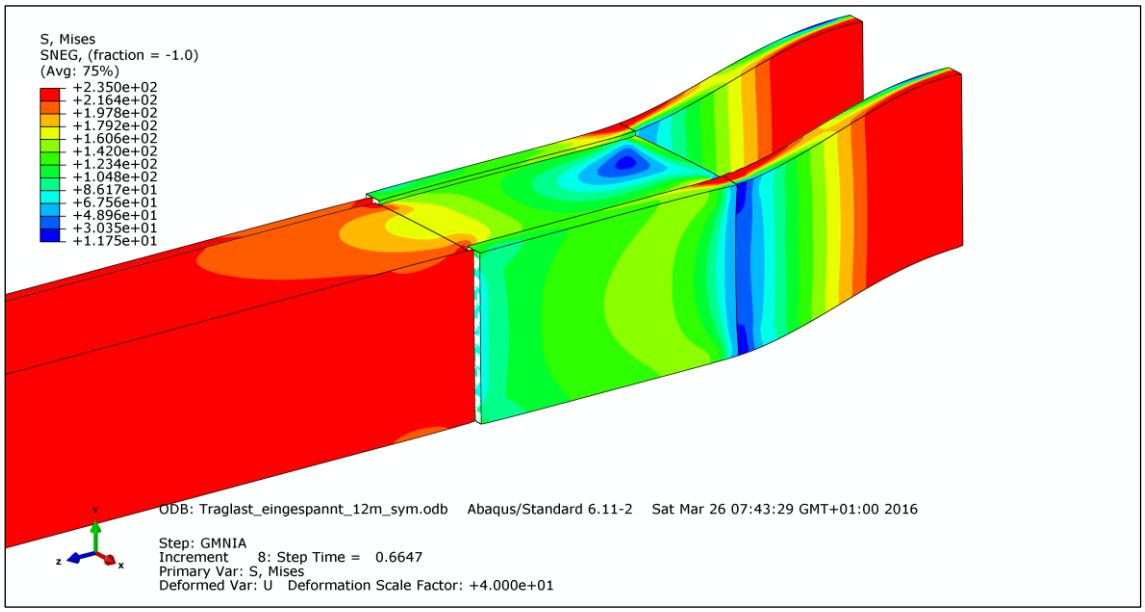


Abbildung 9-255: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4





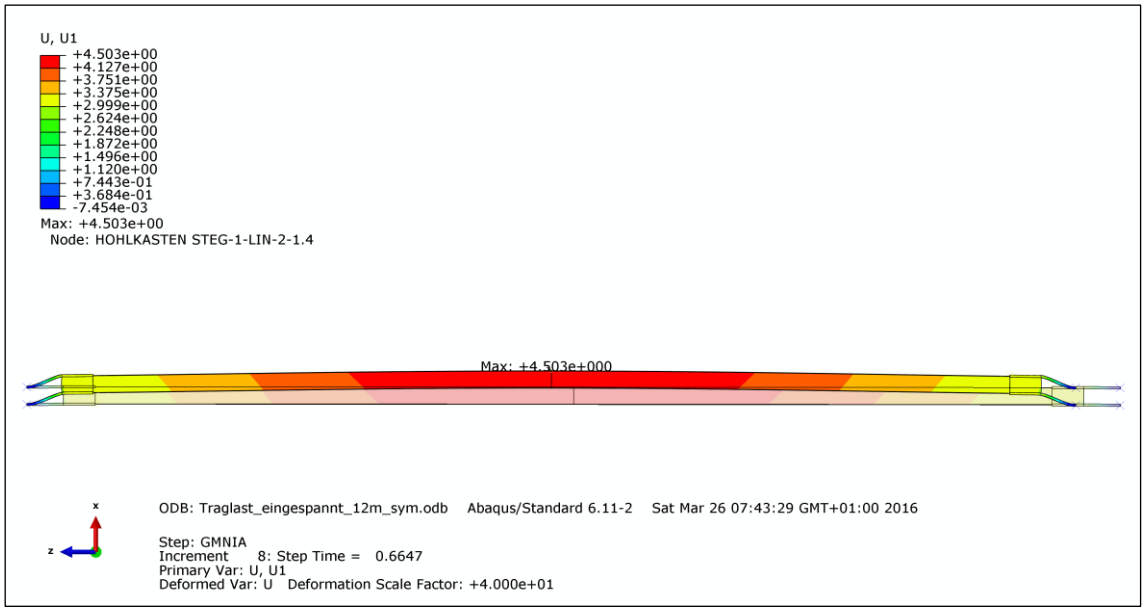
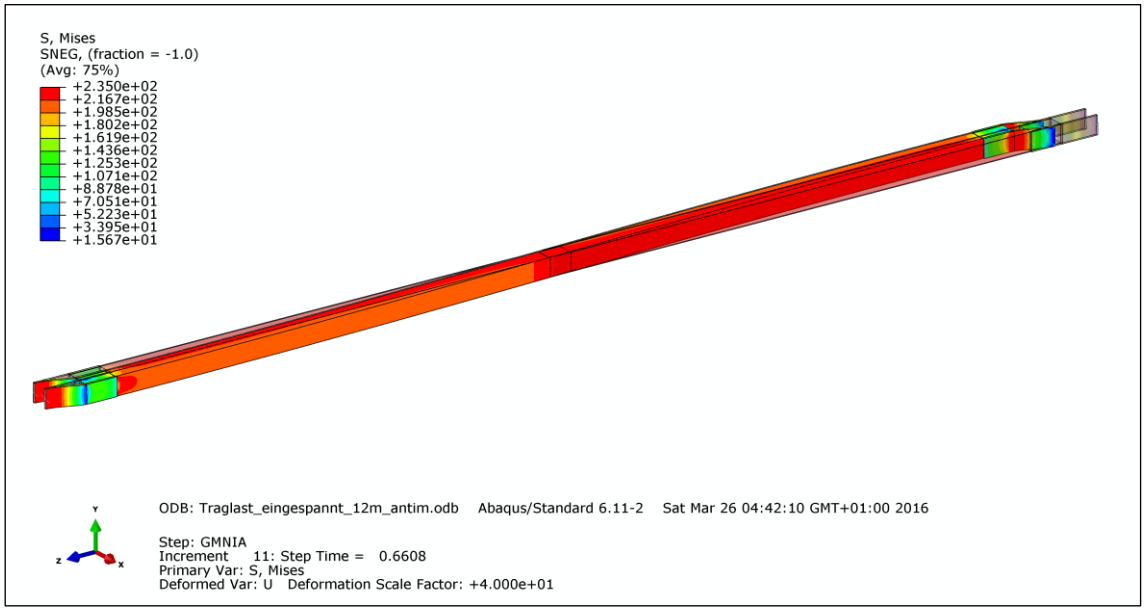
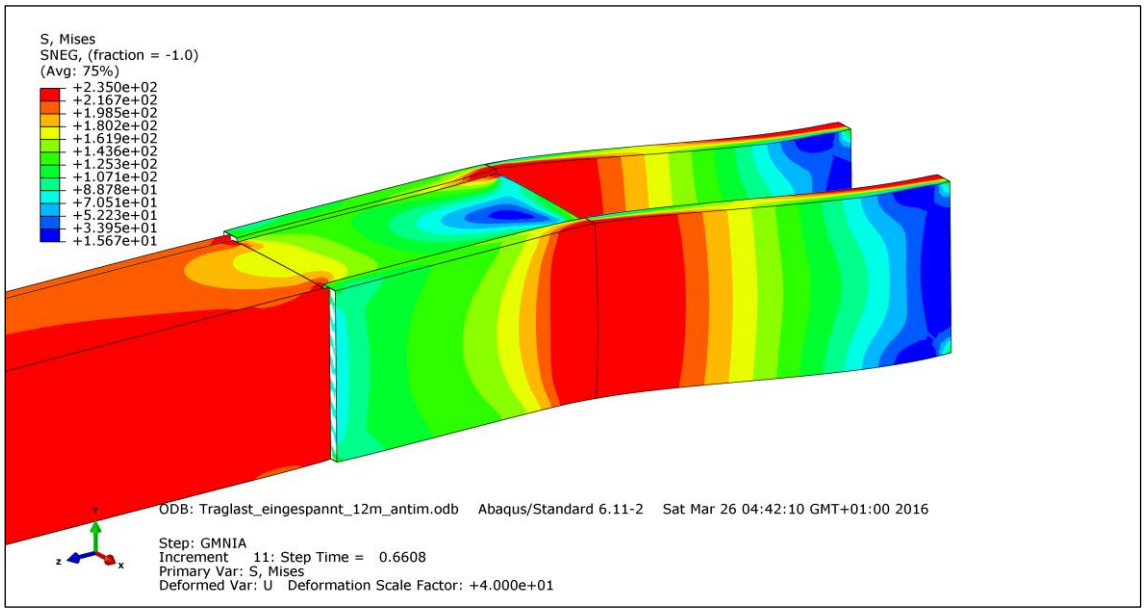


Abbildung 9-256: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





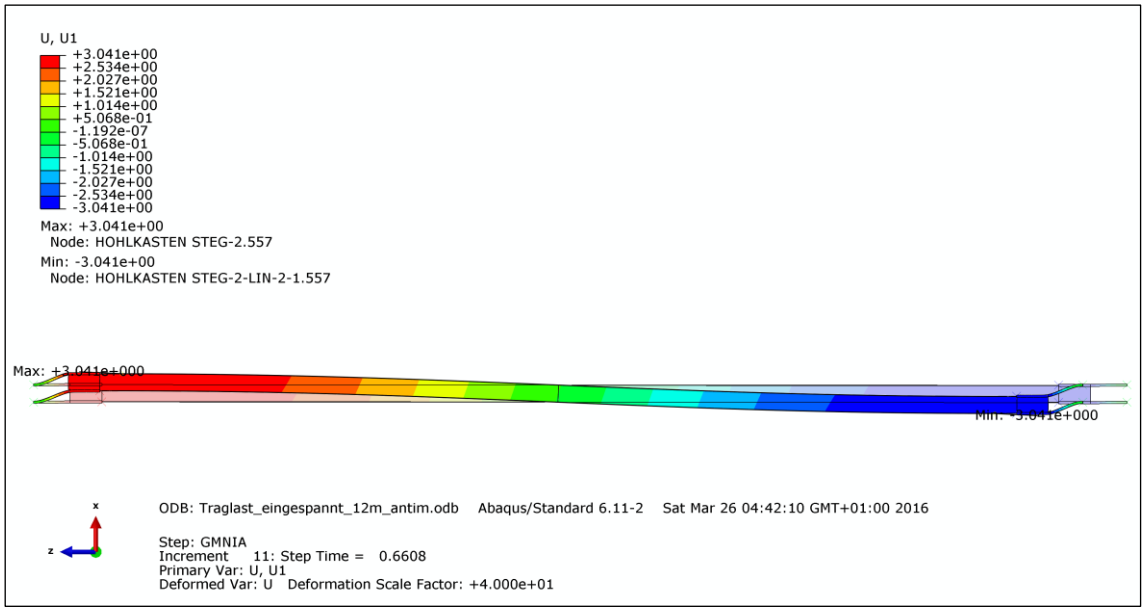
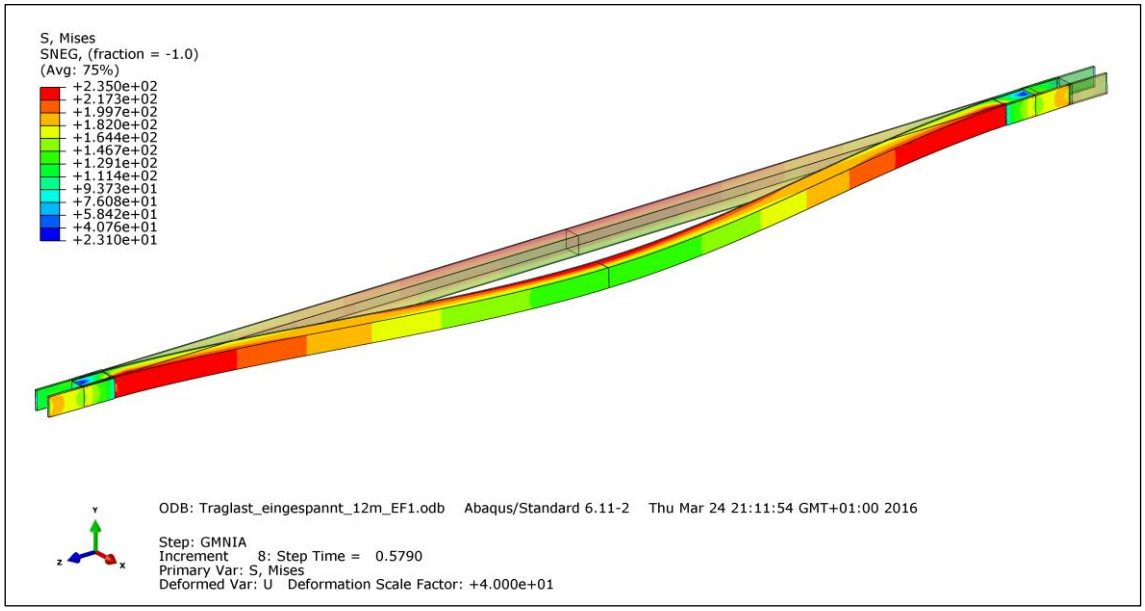
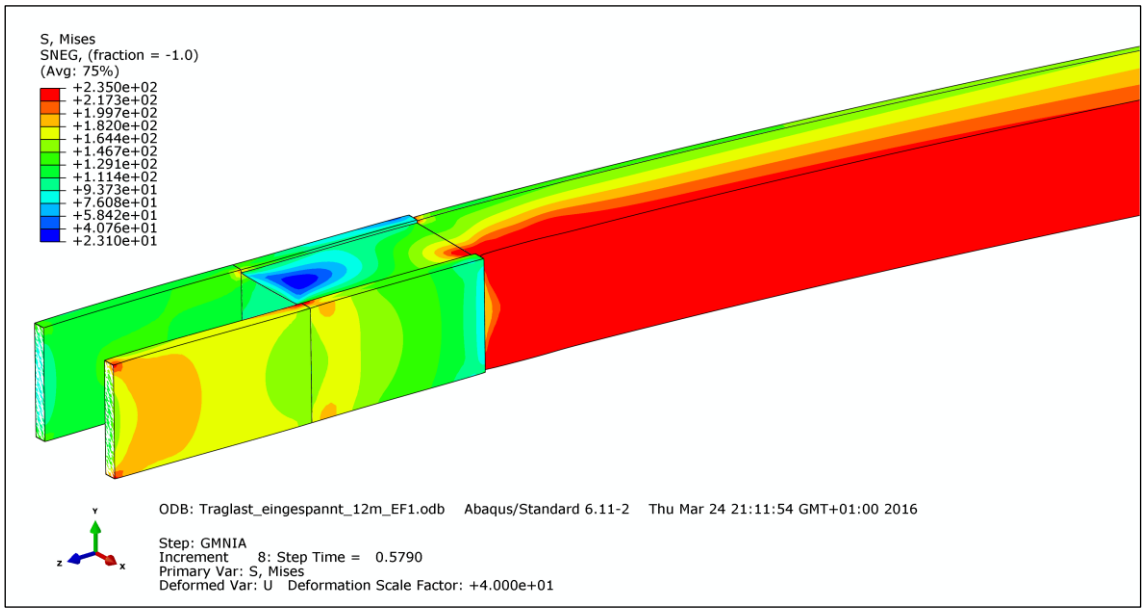


Abbildung 9-257: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





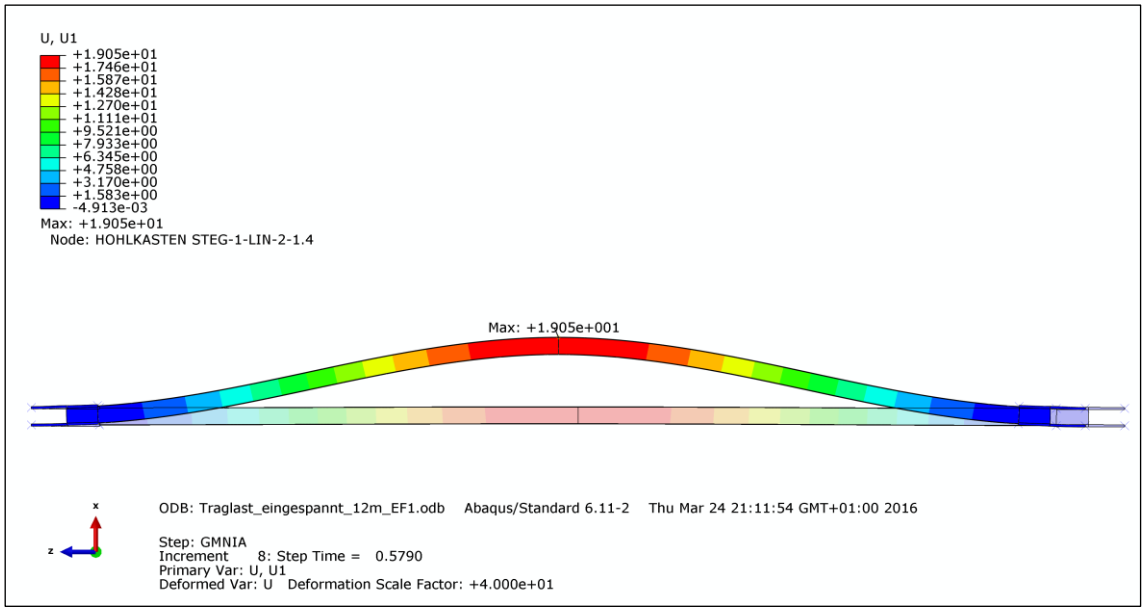
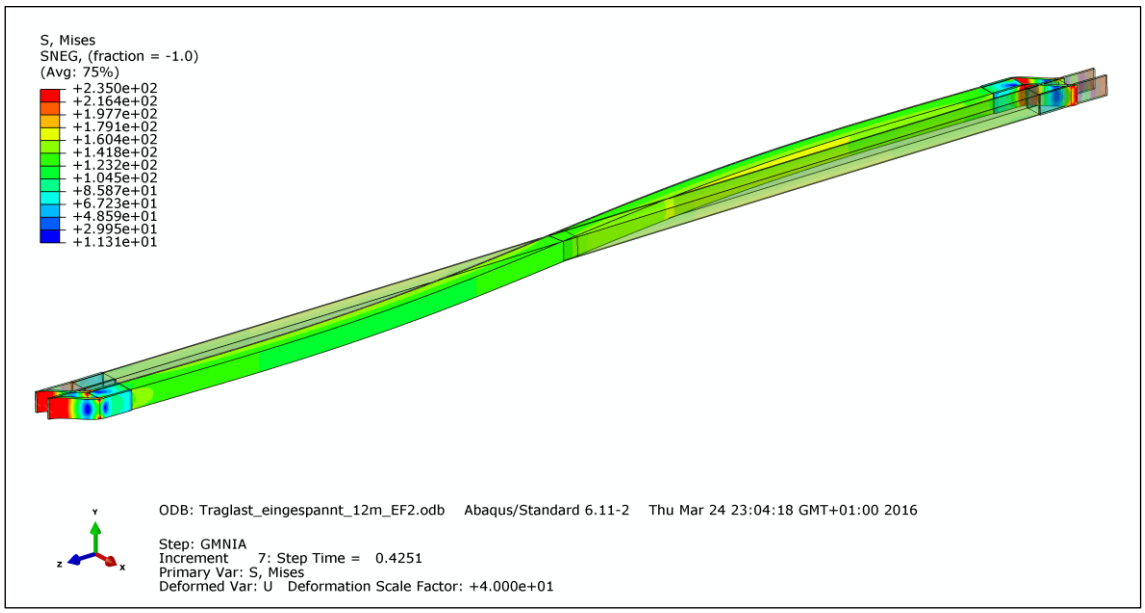
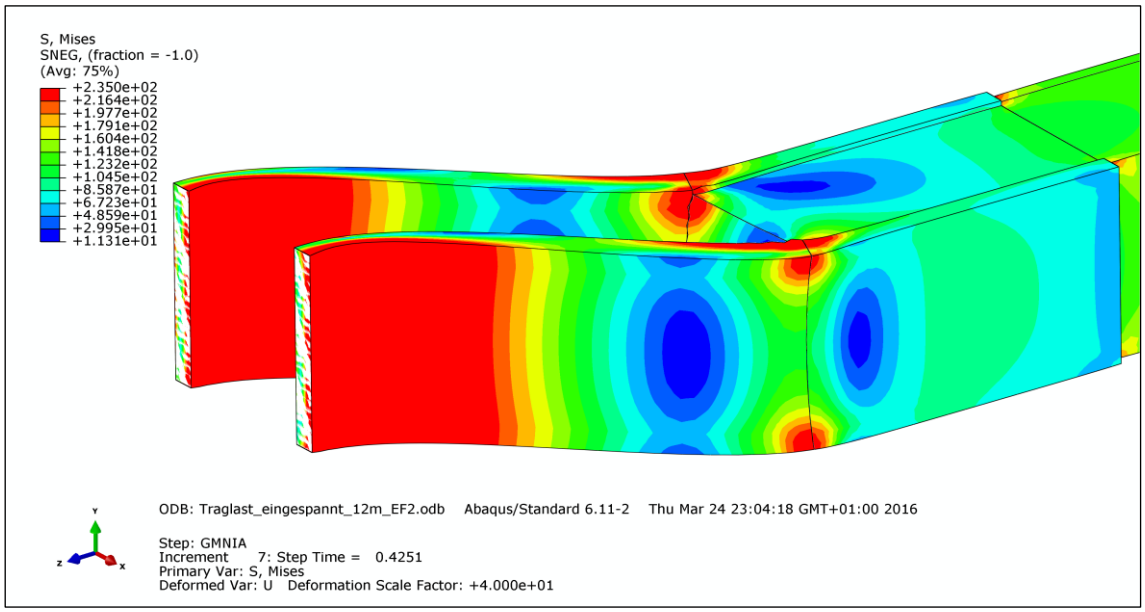


Abbildung 9-258: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





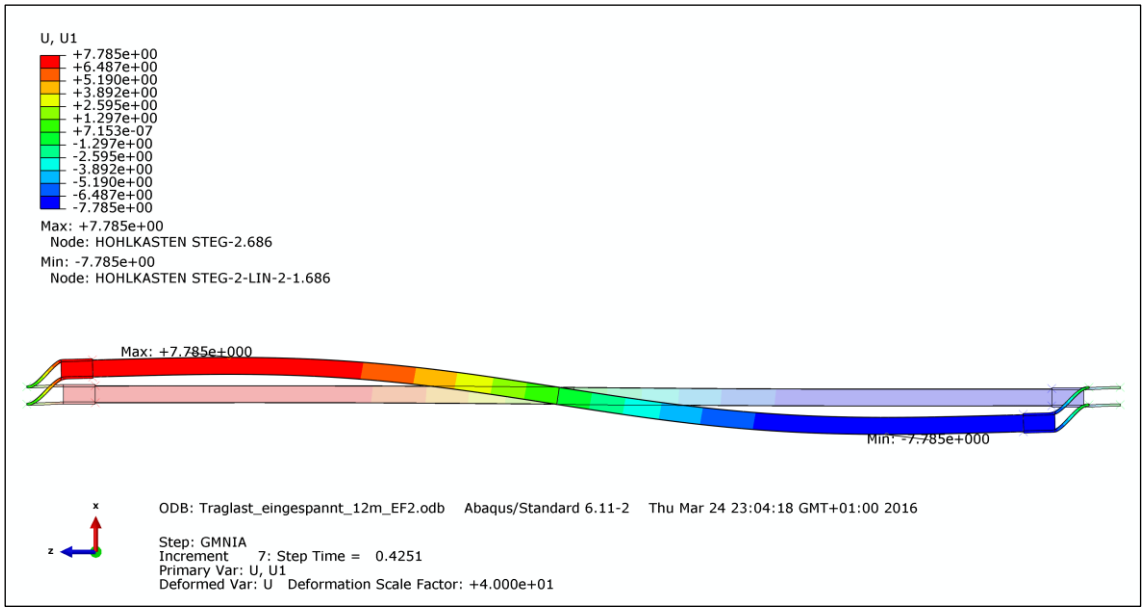
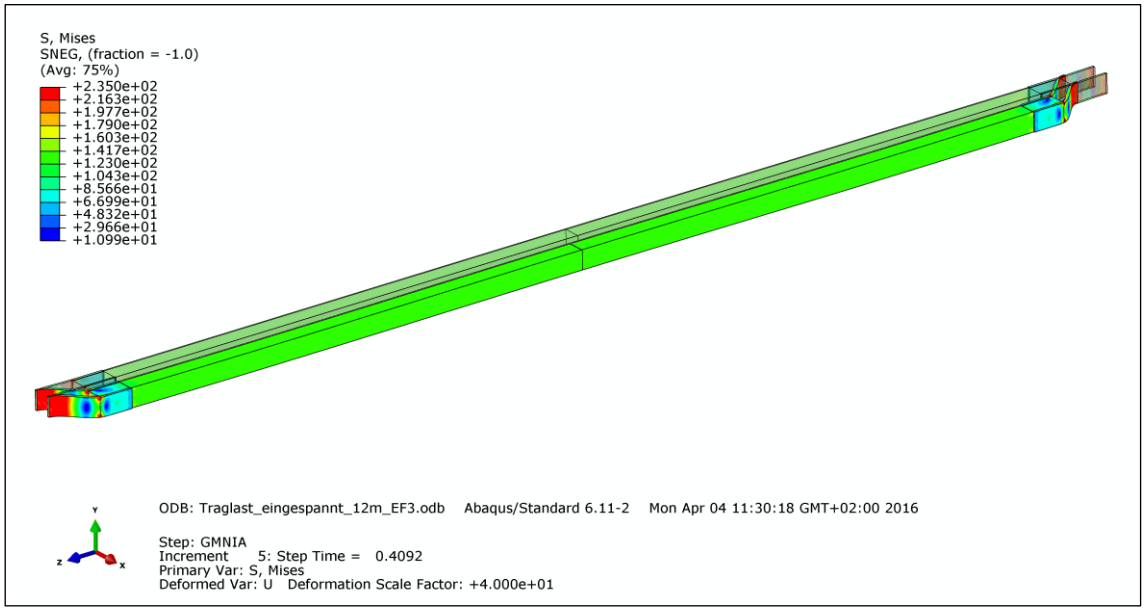
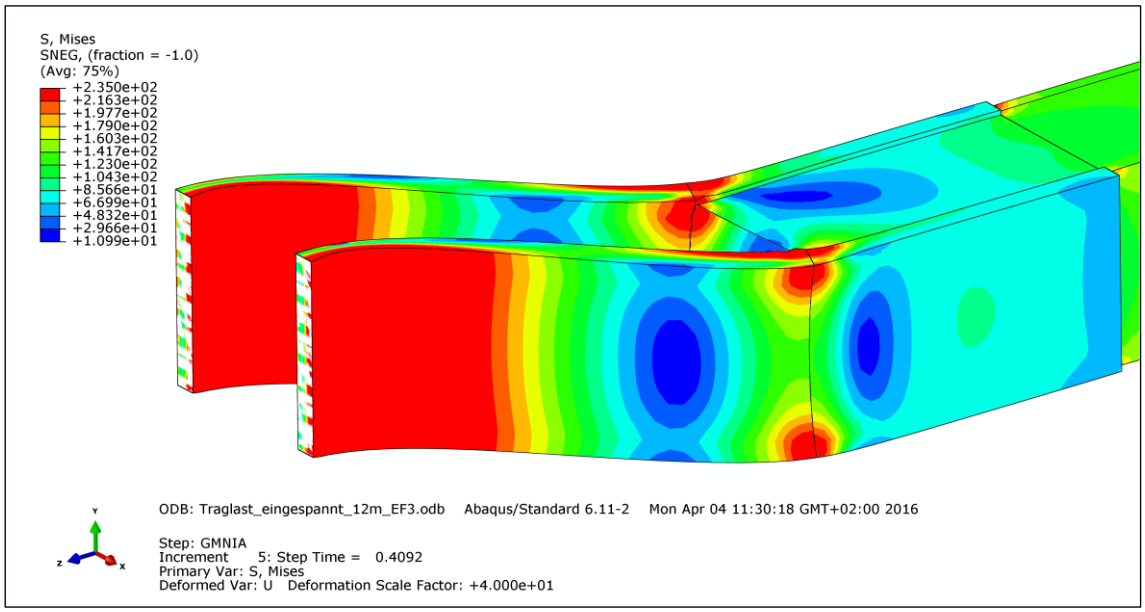


Abbildung 9-259: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2





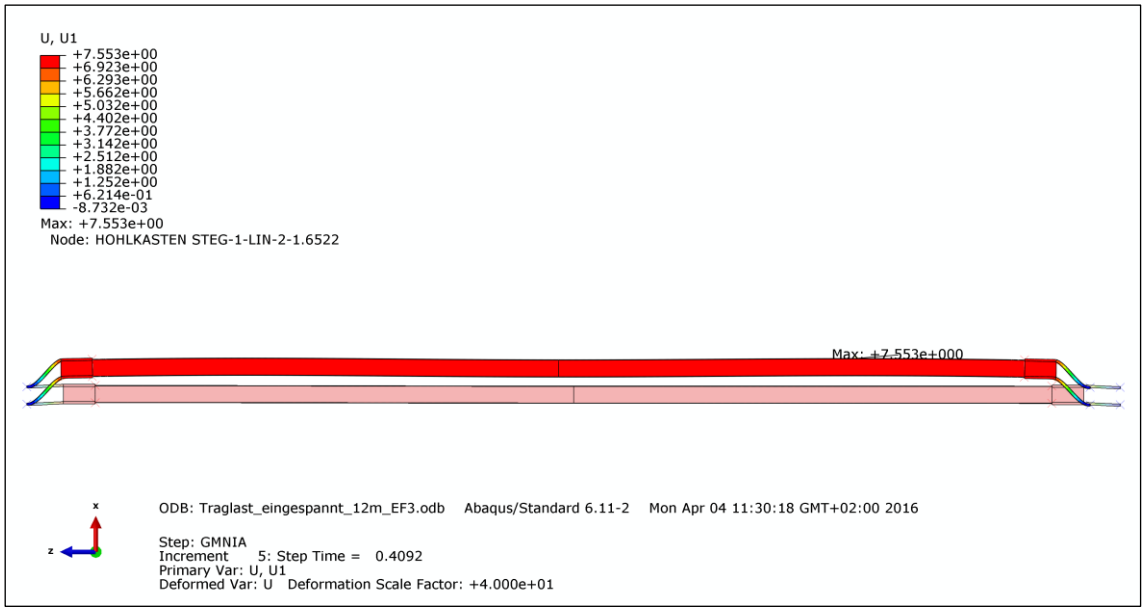


Abbildung 9-260: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm**

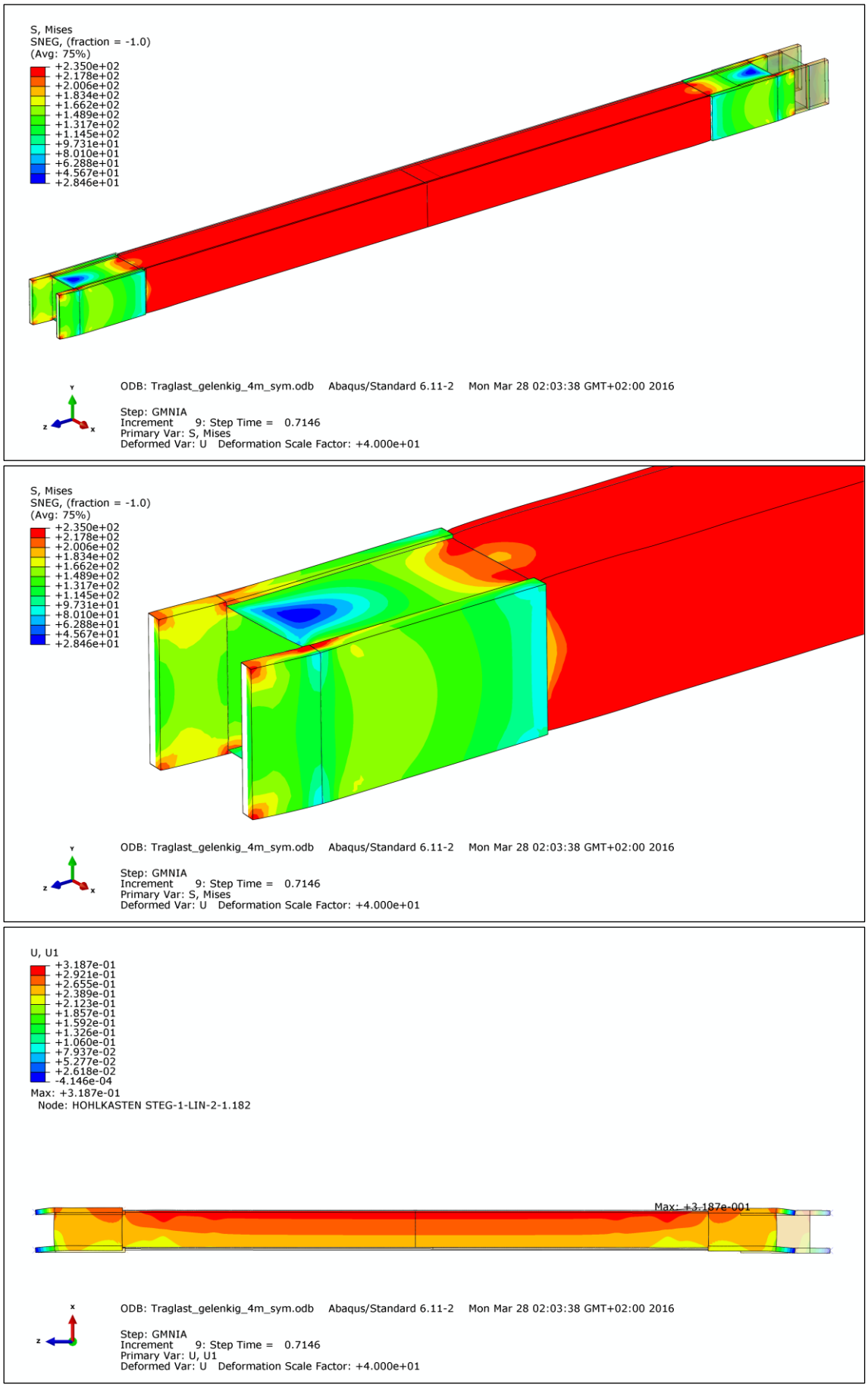
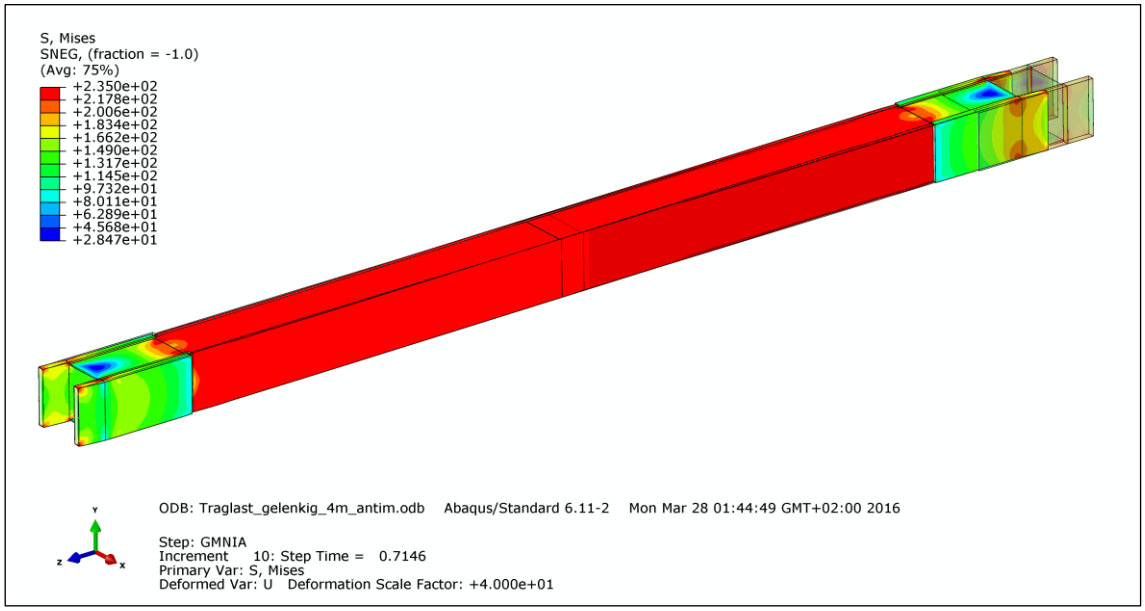
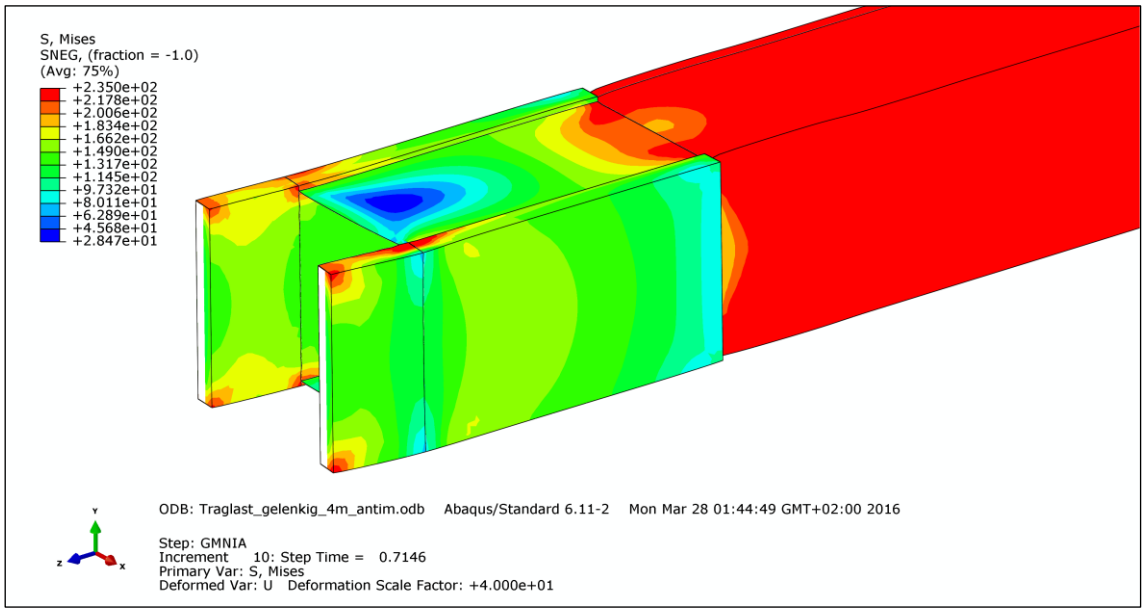


Abbildung 9-261: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





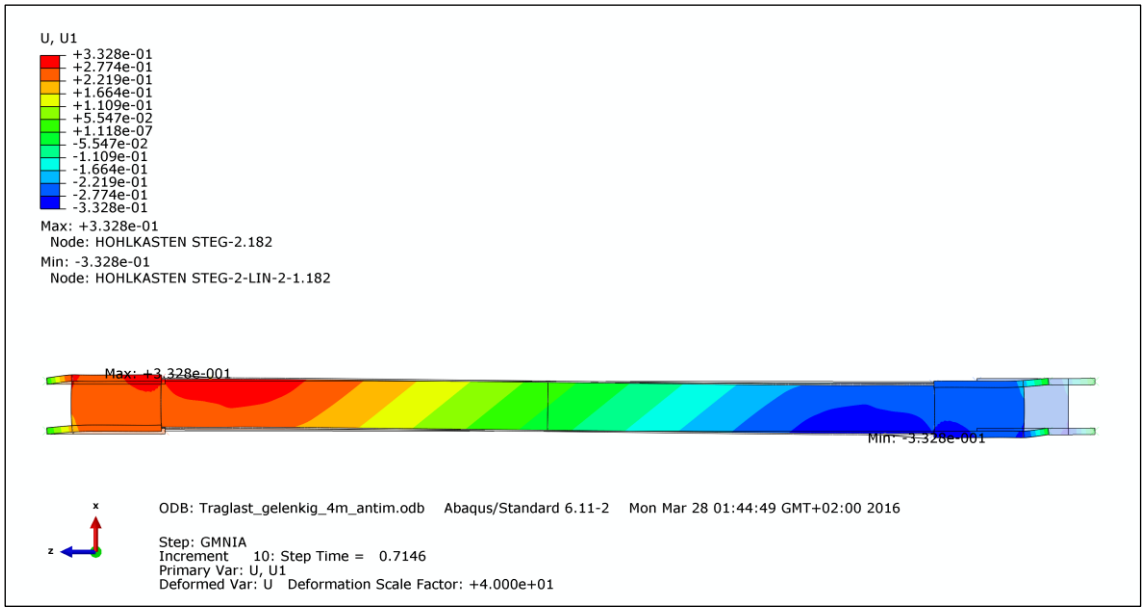
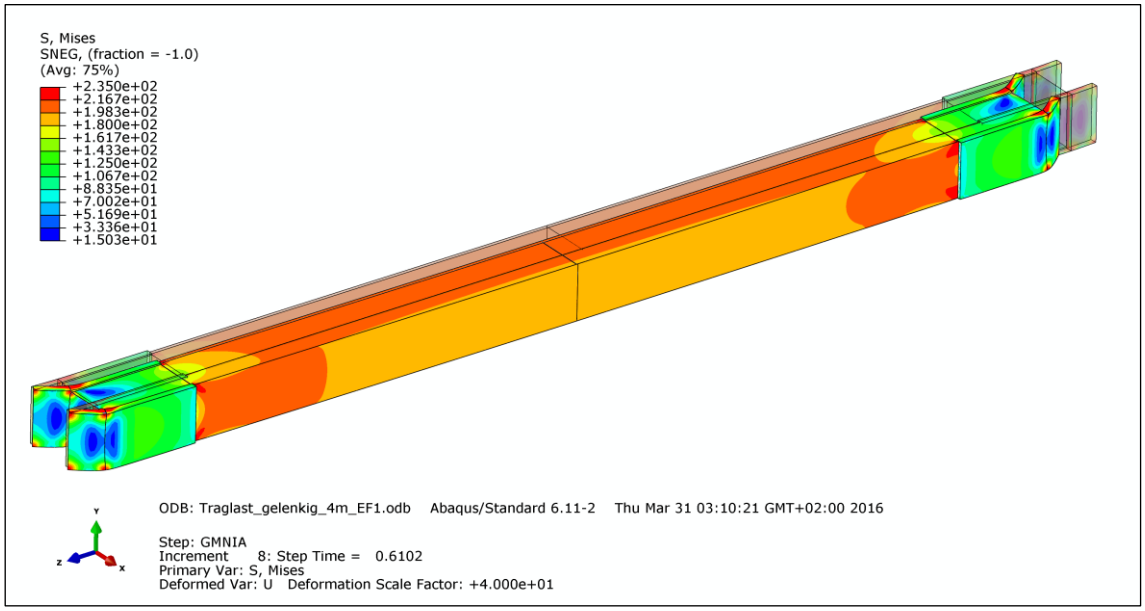
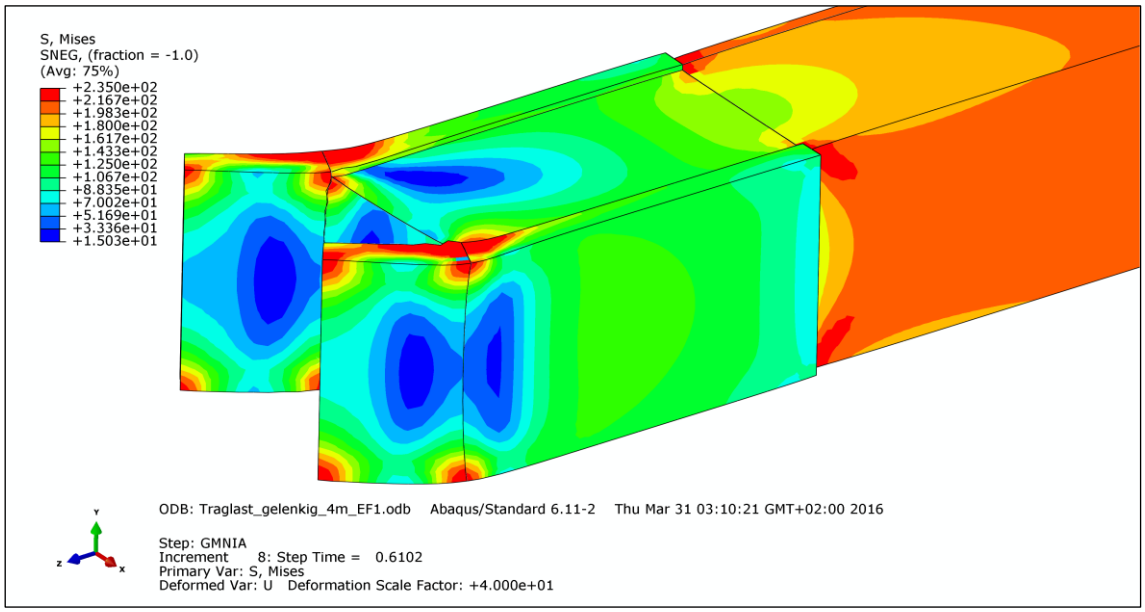


Abbildung 9-262: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





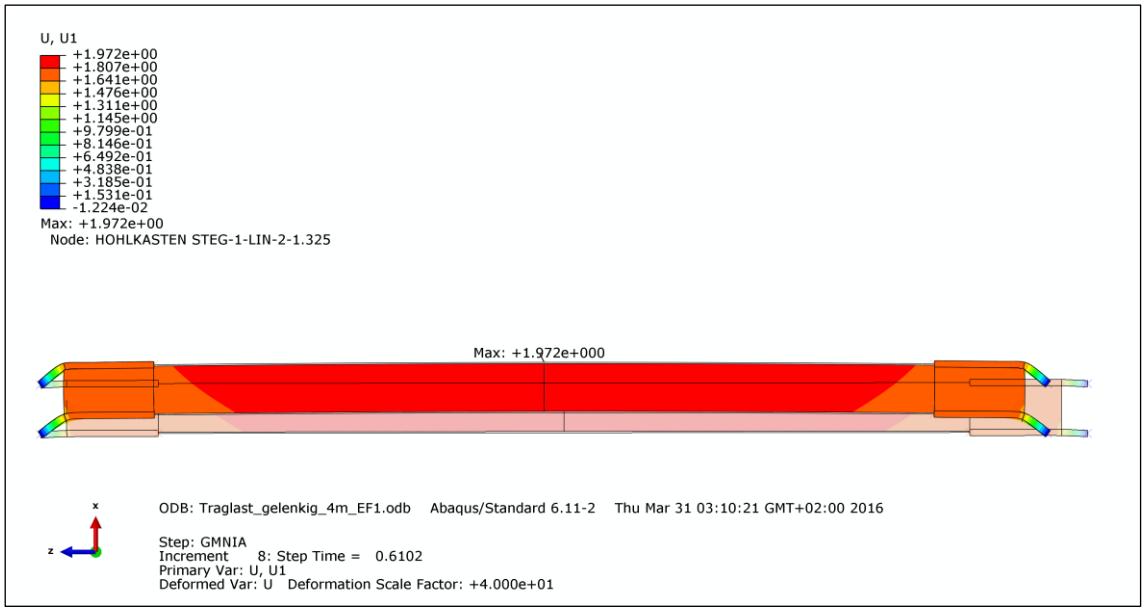


Abbildung 9-263: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

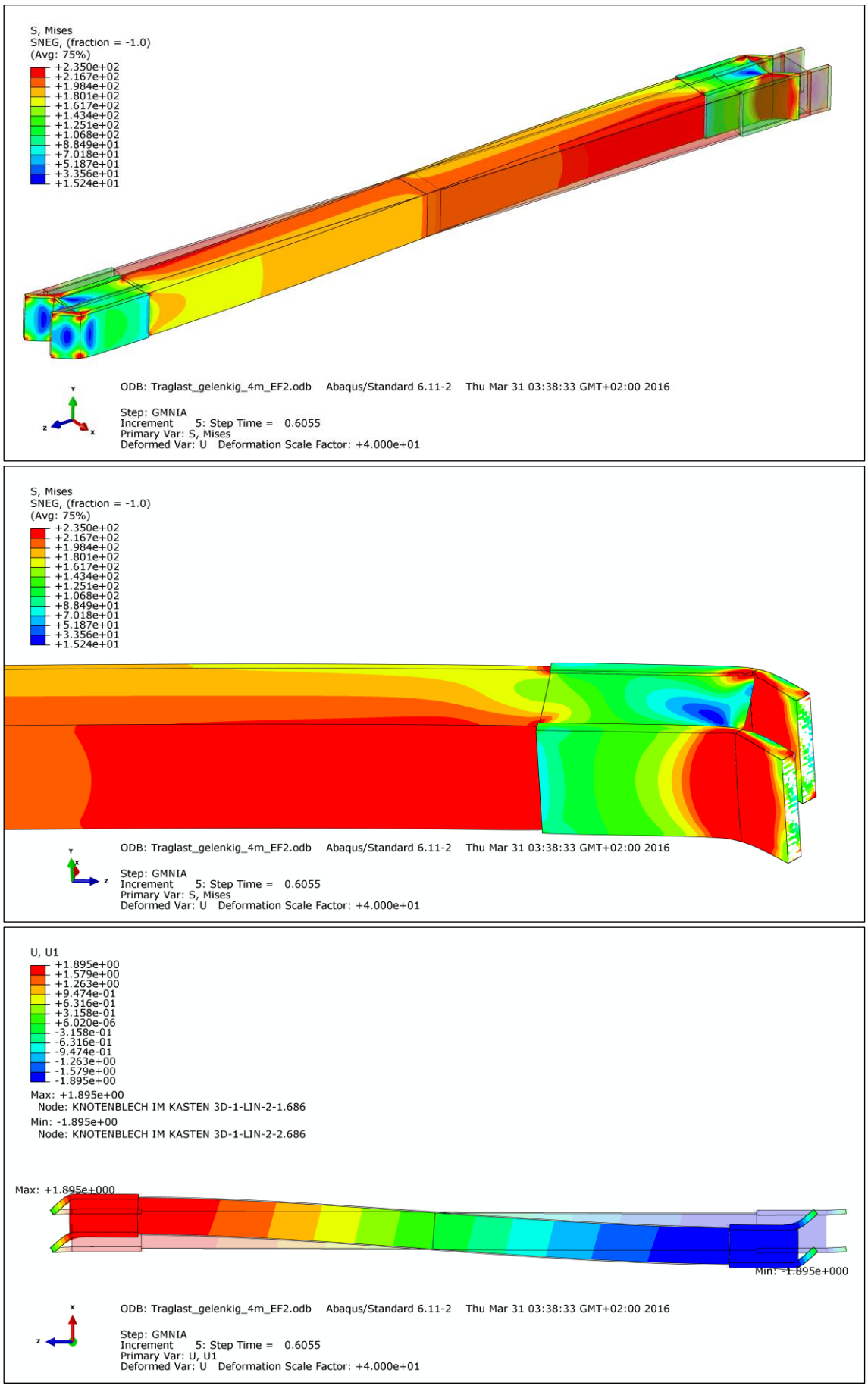


Abbildung 9-264: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

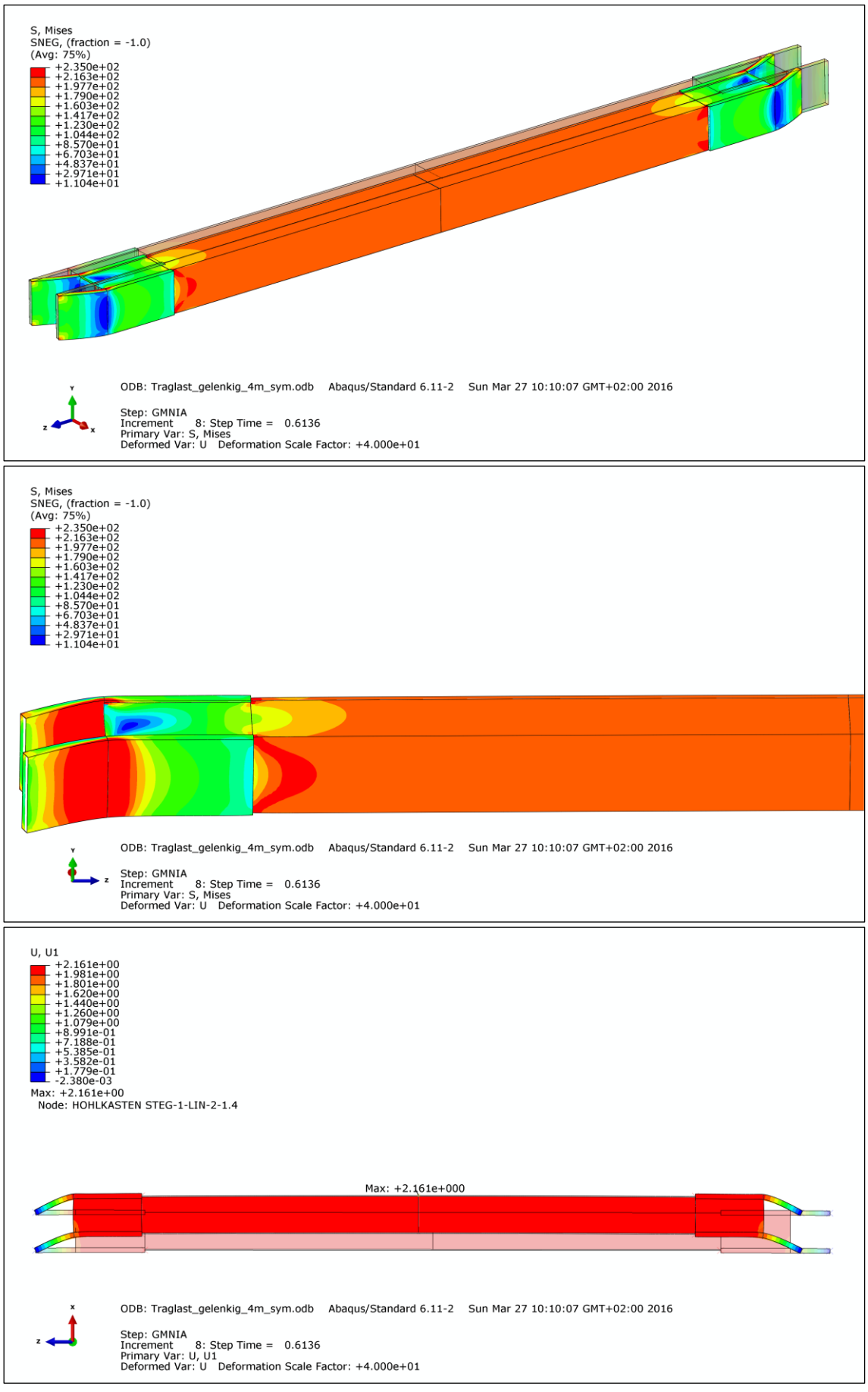
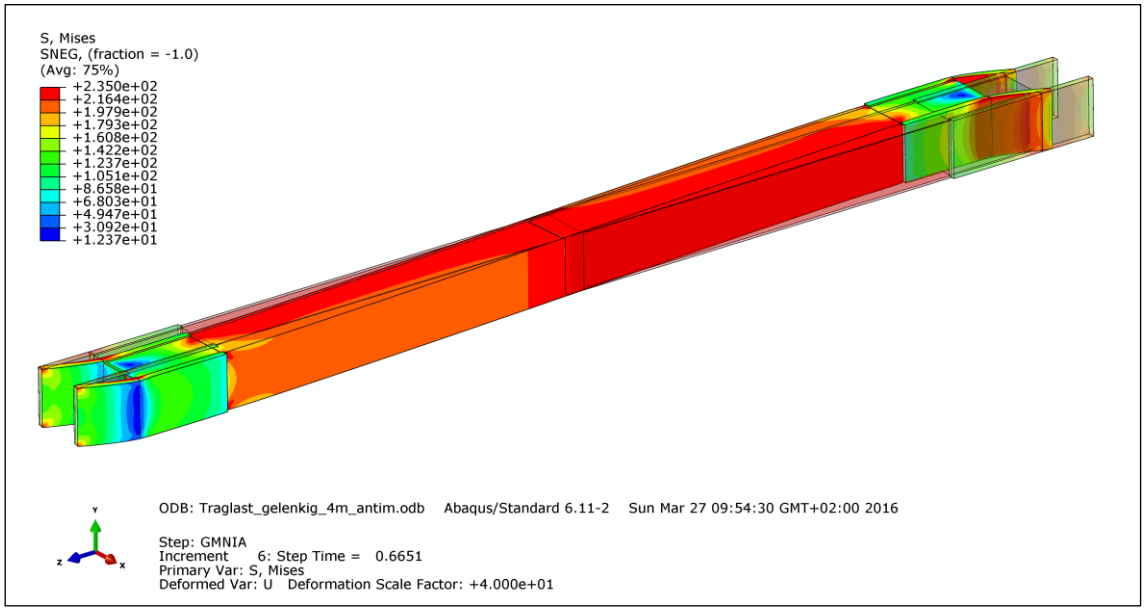
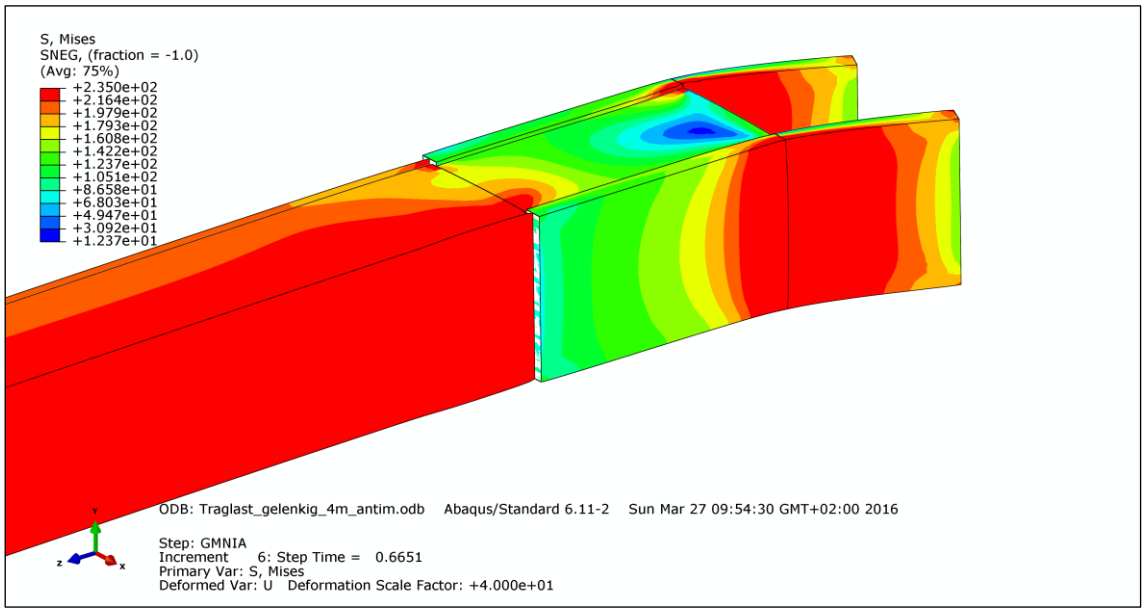


Abbildung 9-265: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





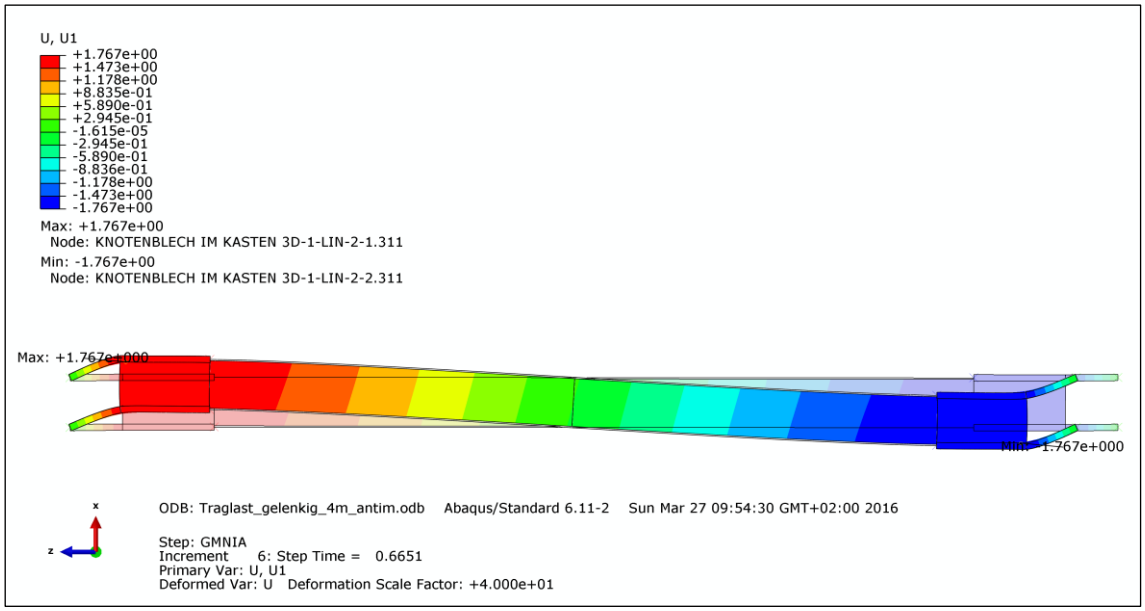
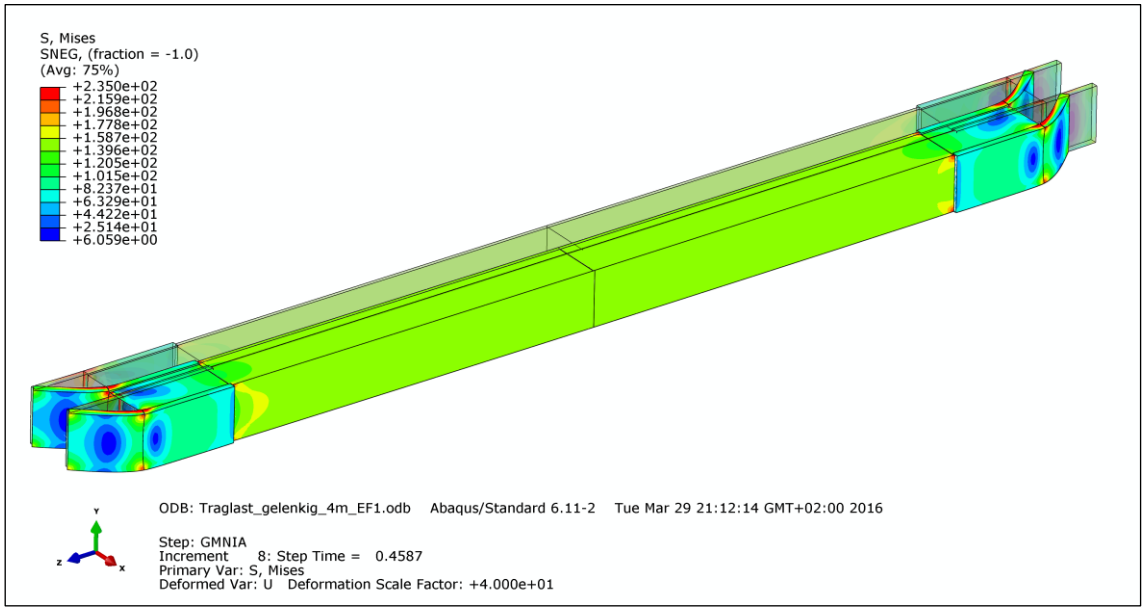
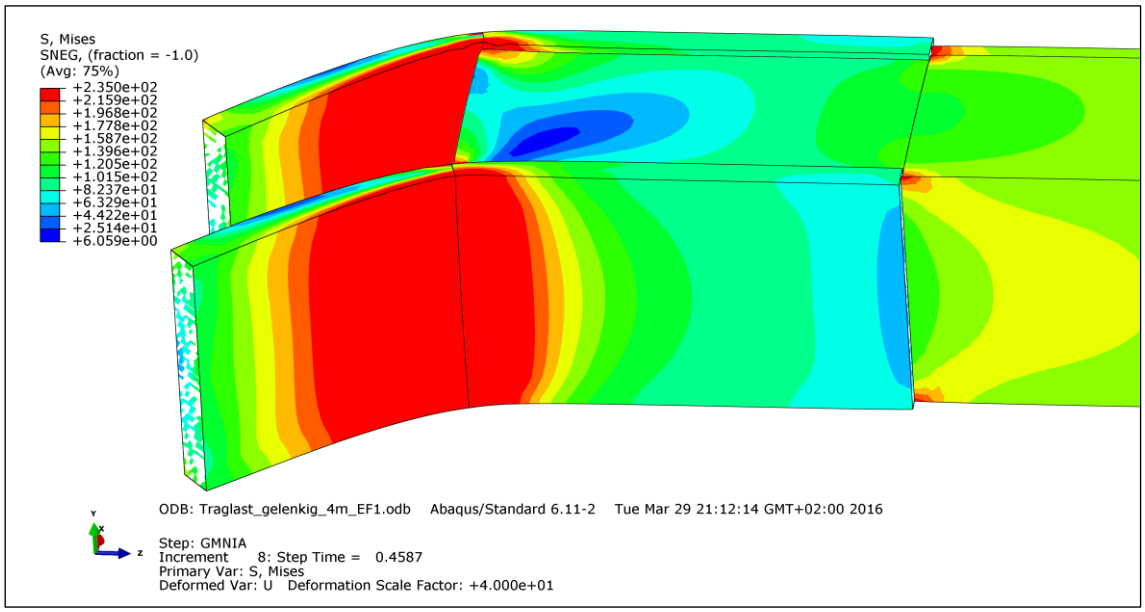


Abbildung 9-266: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





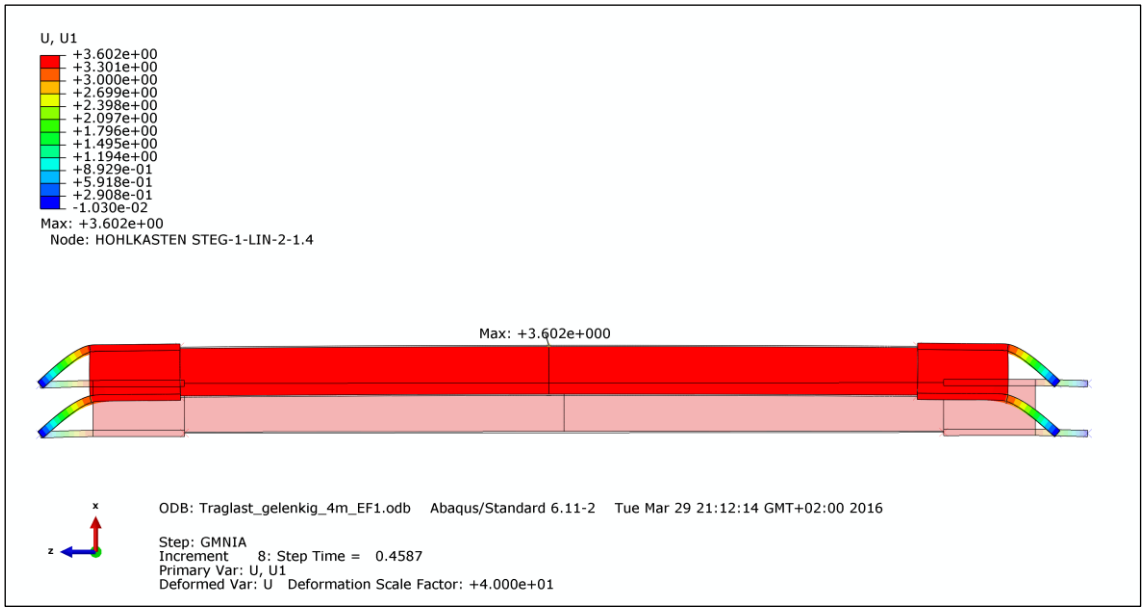


Abbildung 9-267: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

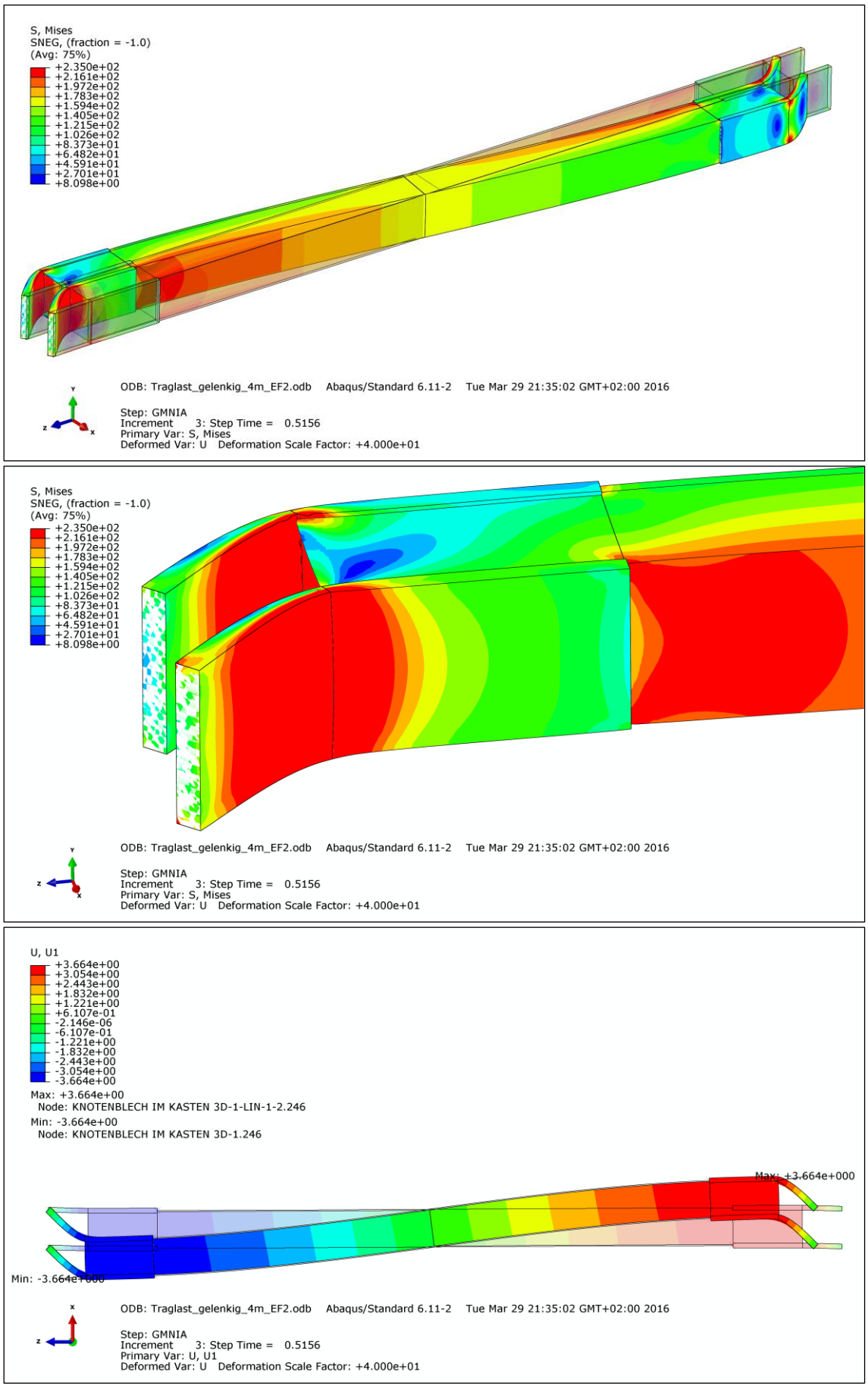
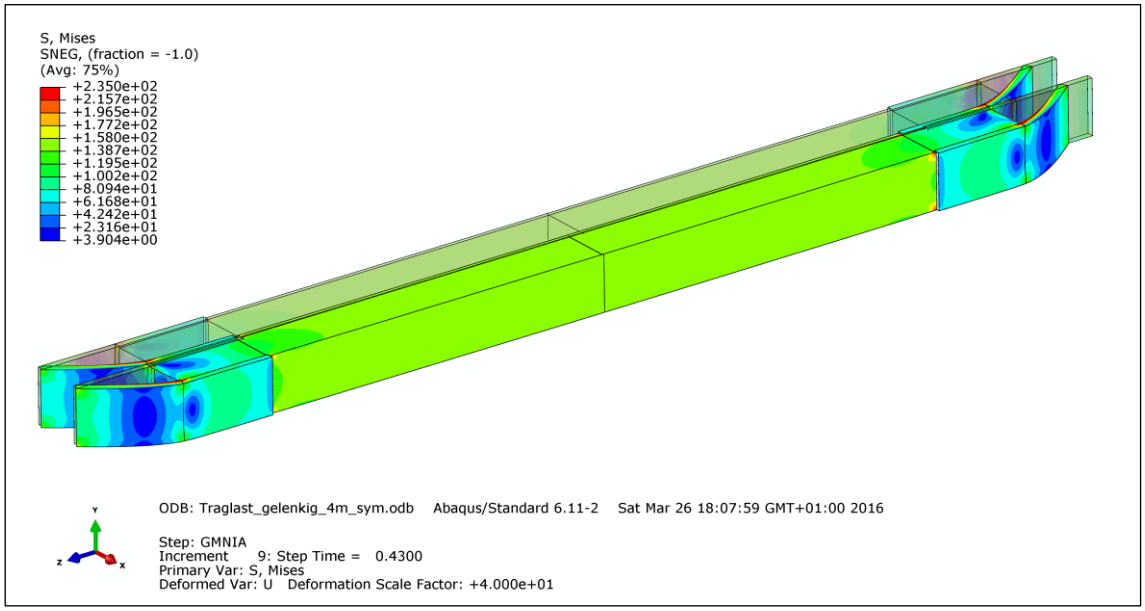
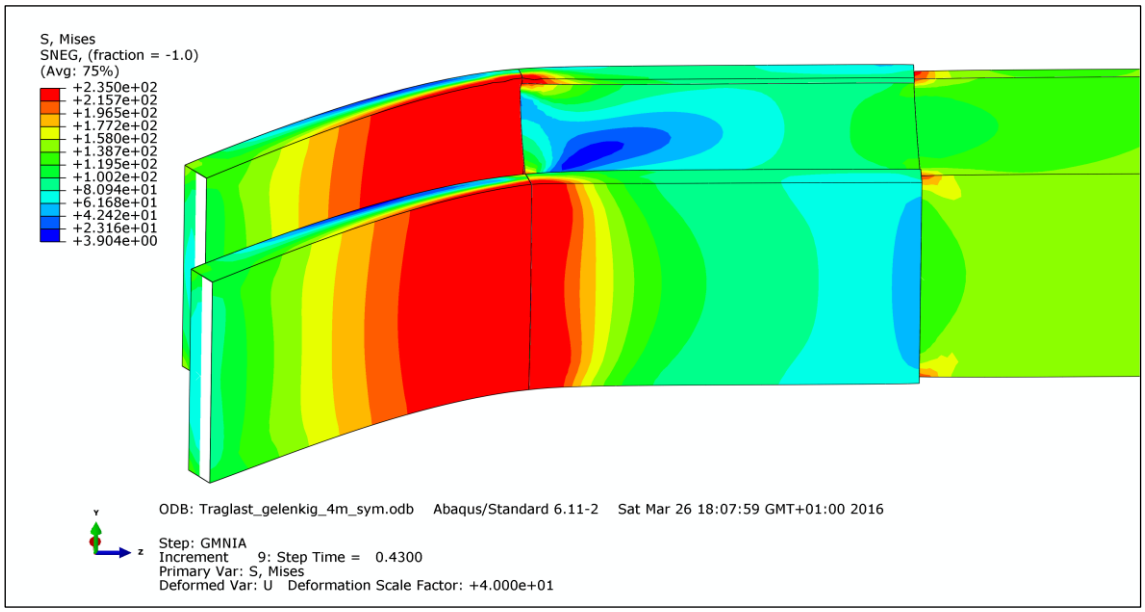


Abbildung 9-268: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





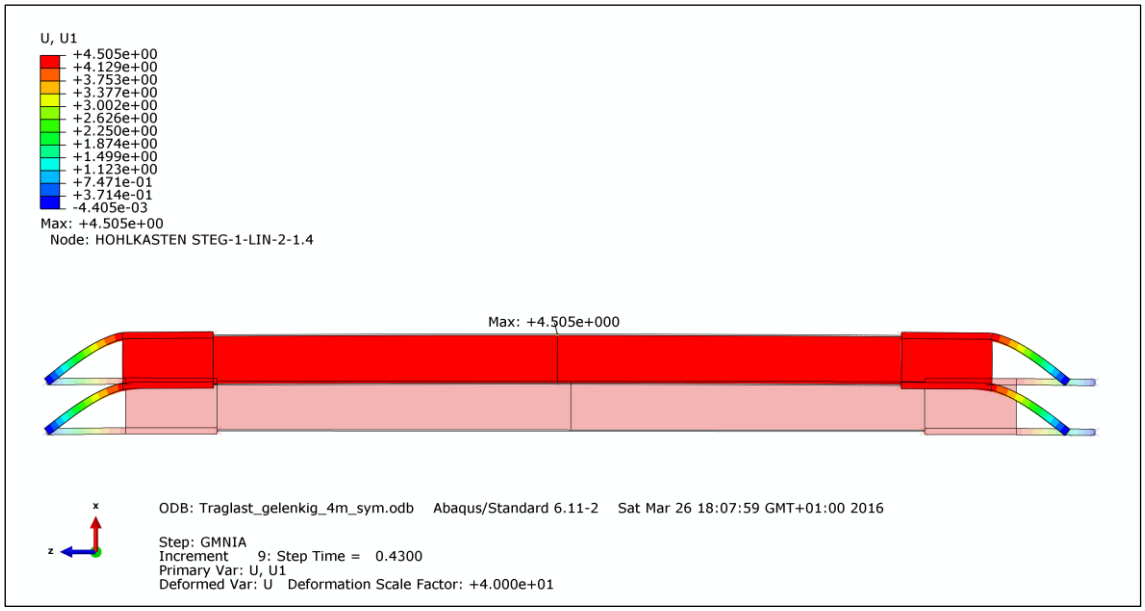
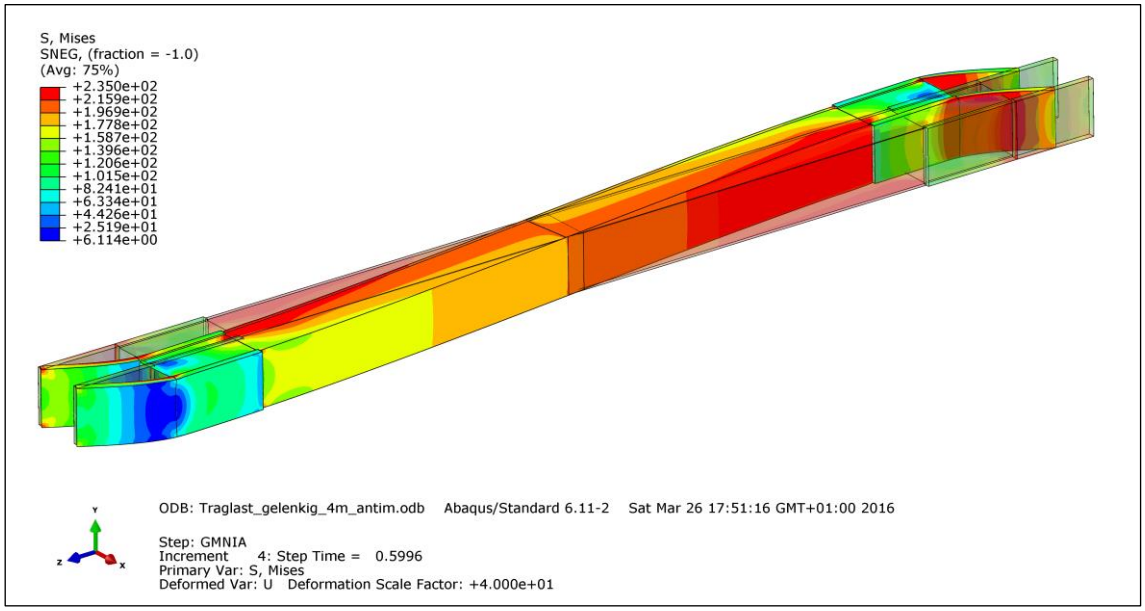
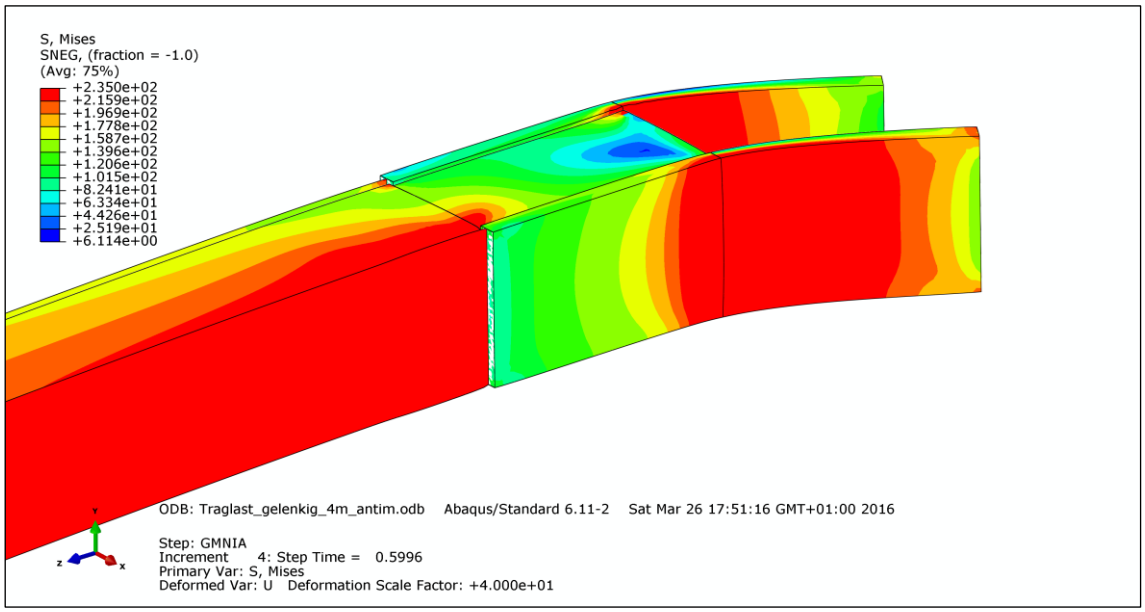


Abbildung 9-269: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





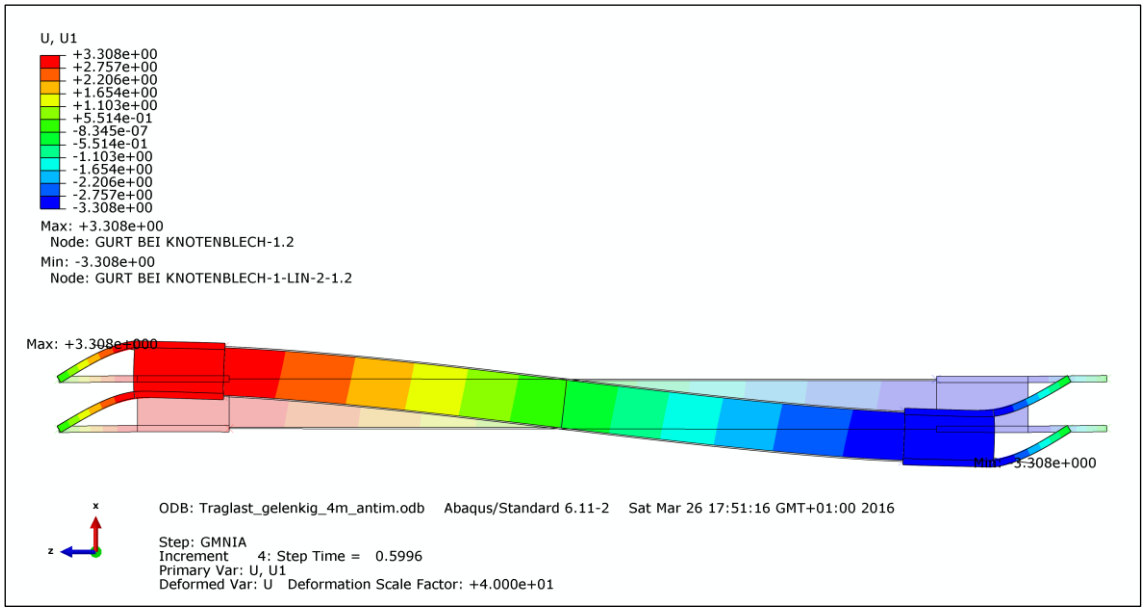
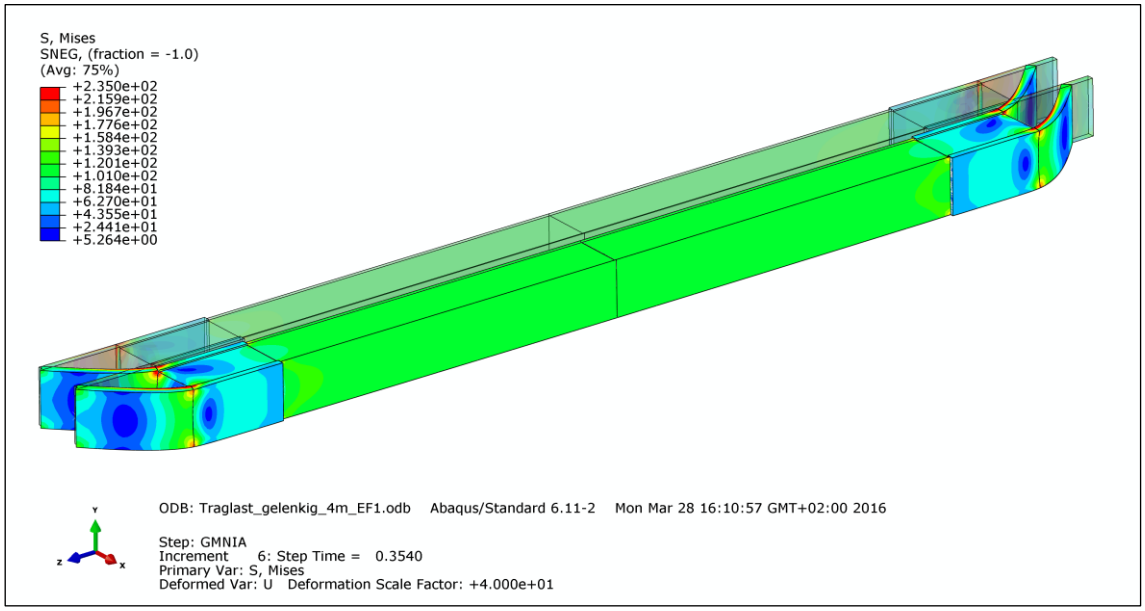
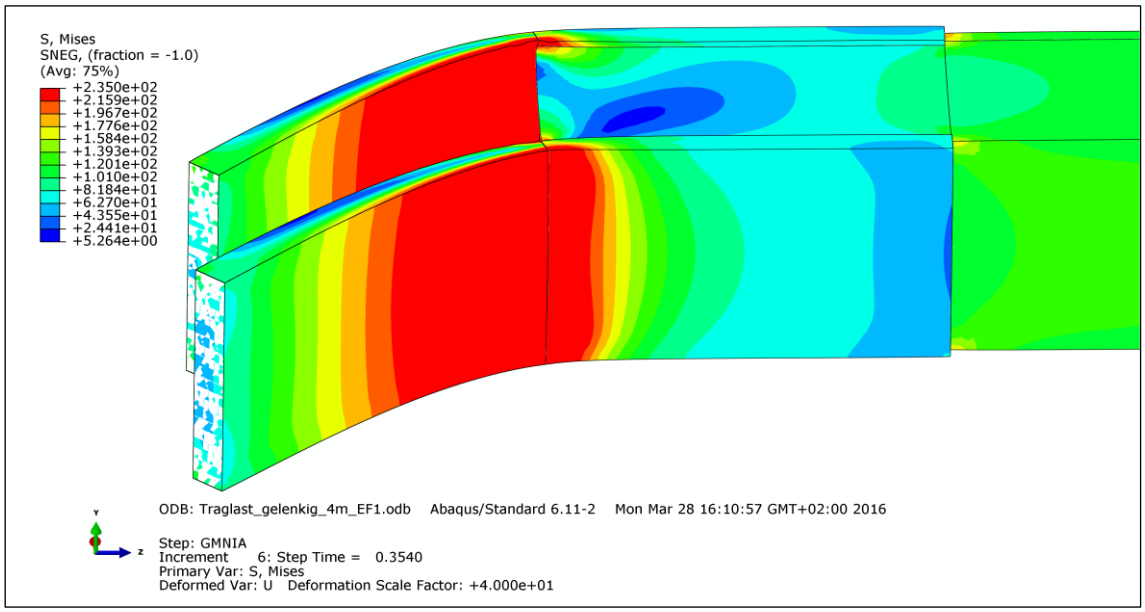


Abbildung 9-270: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





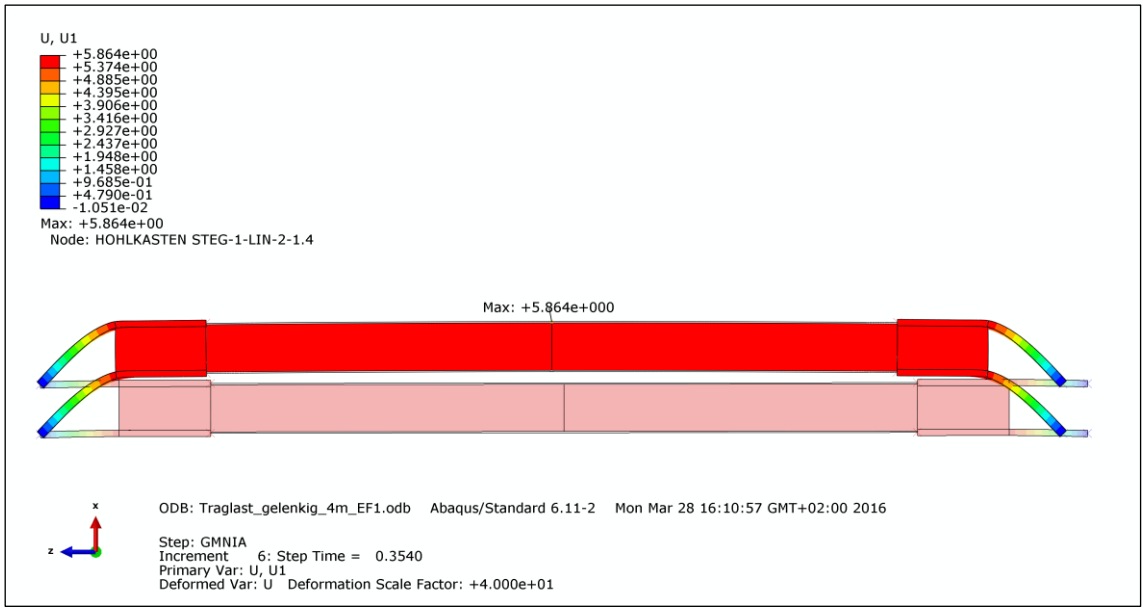
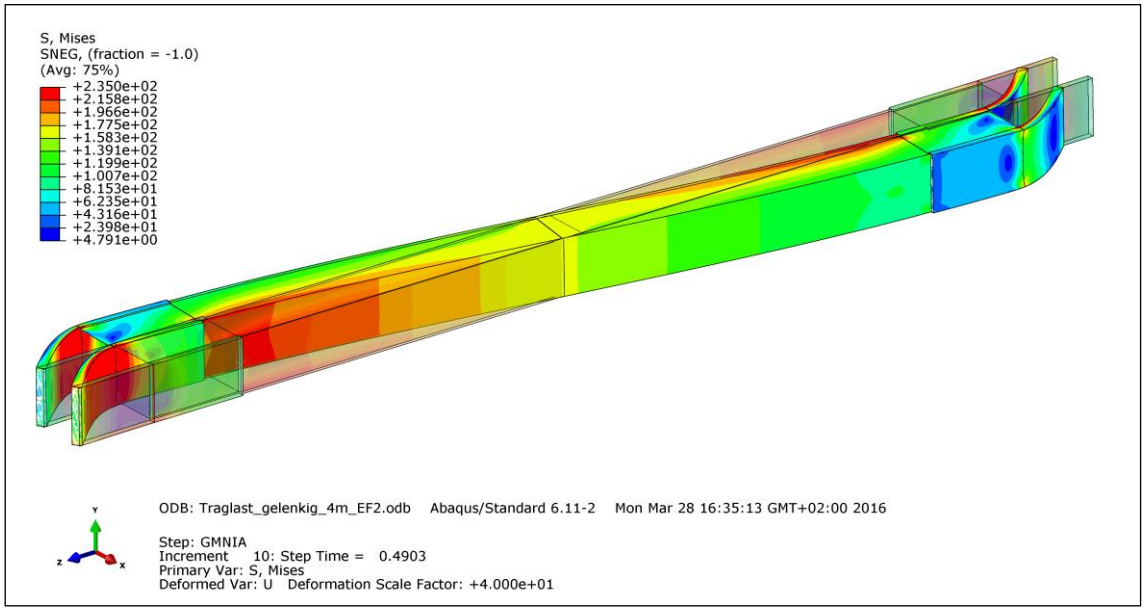
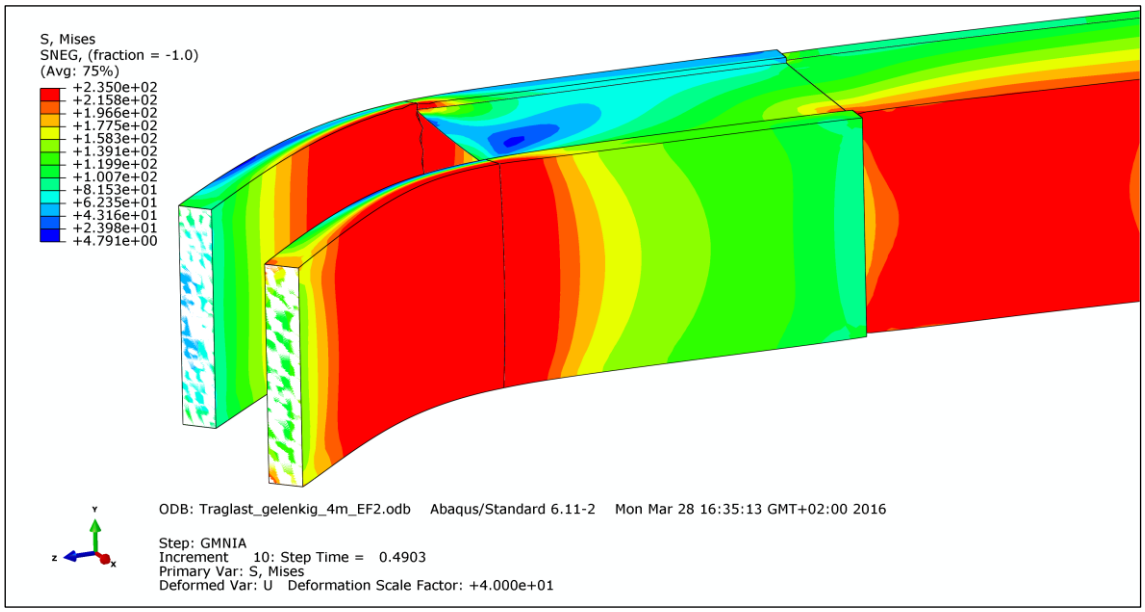


Abbildung 9-271: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





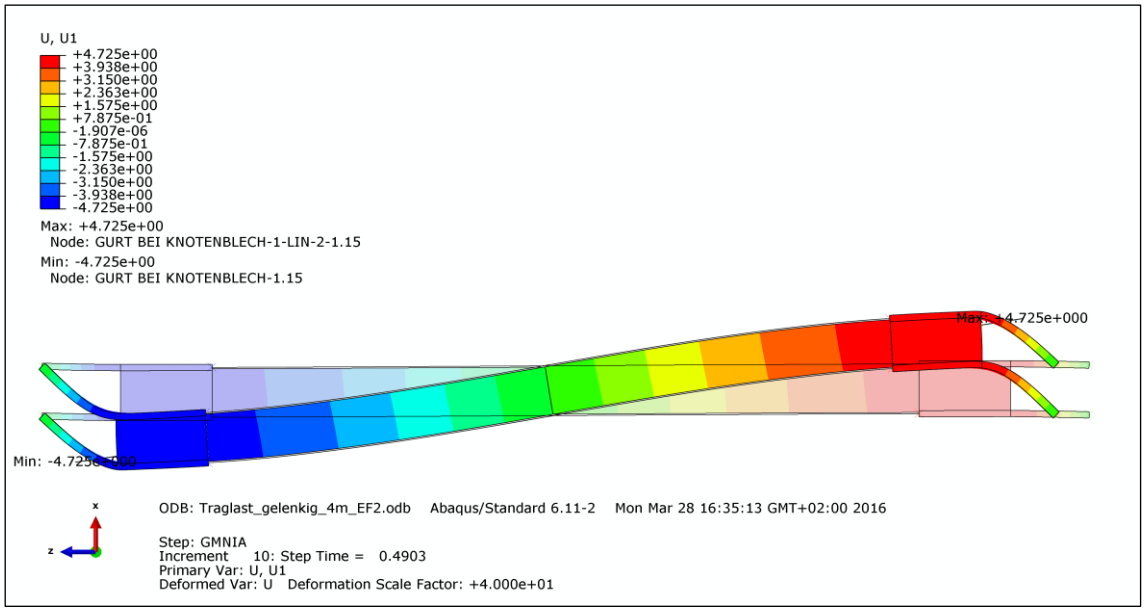
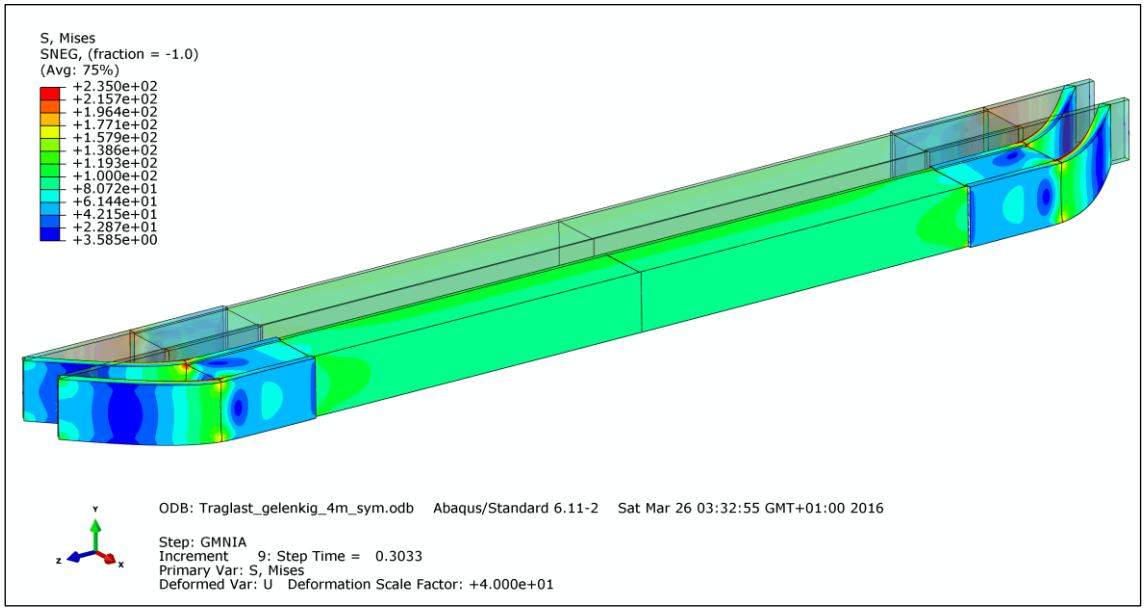
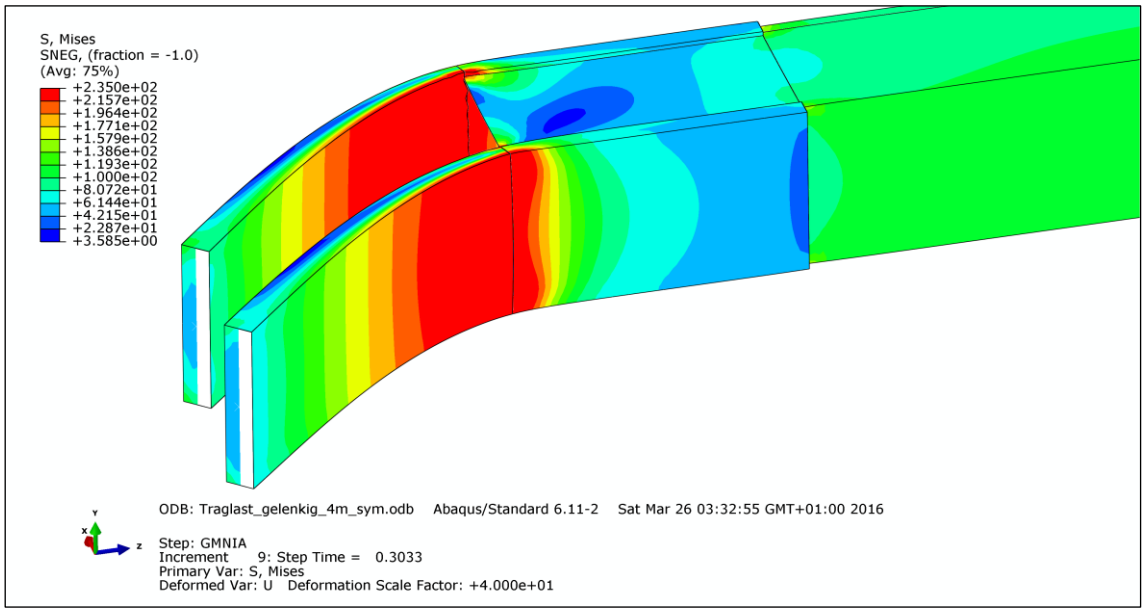


Abbildung 9-272: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





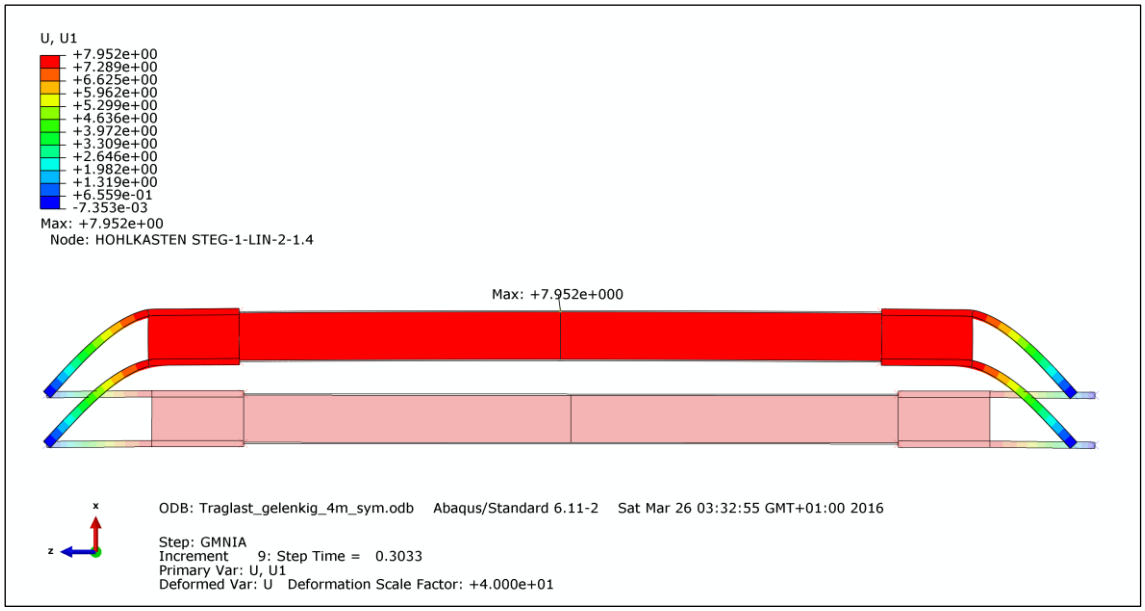


Abbildung 9-273: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)

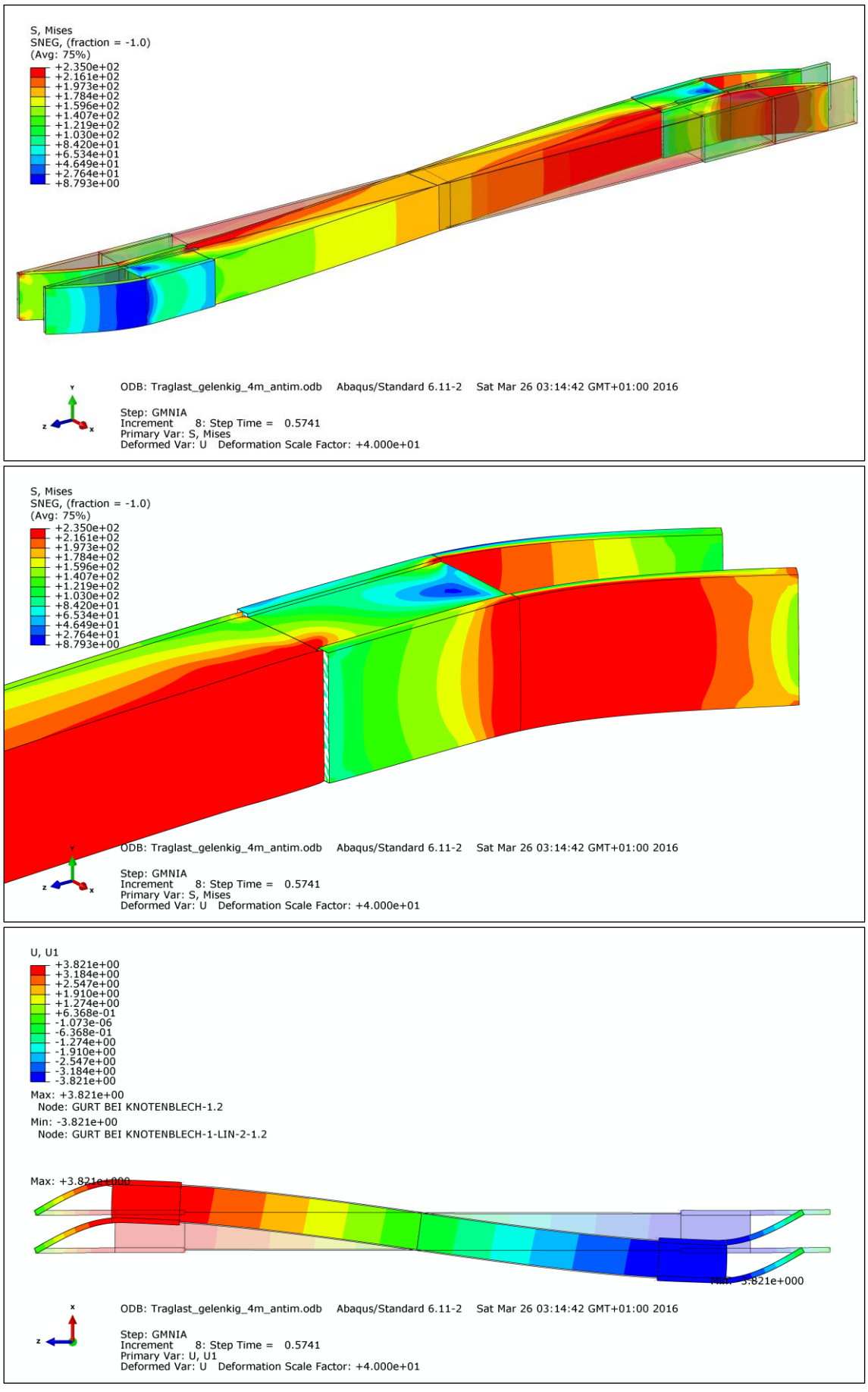
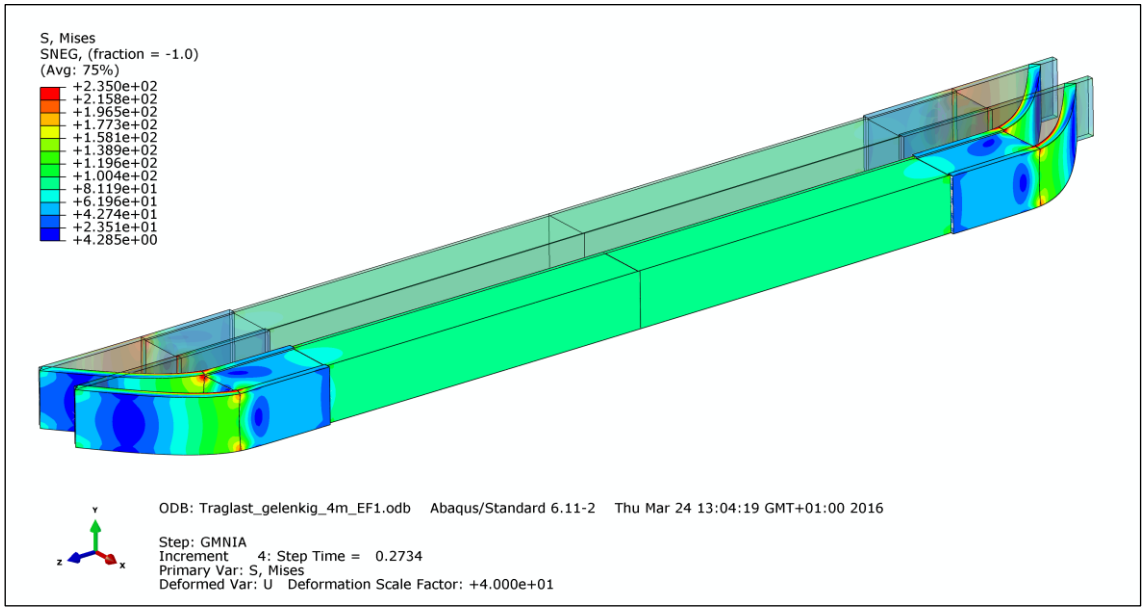
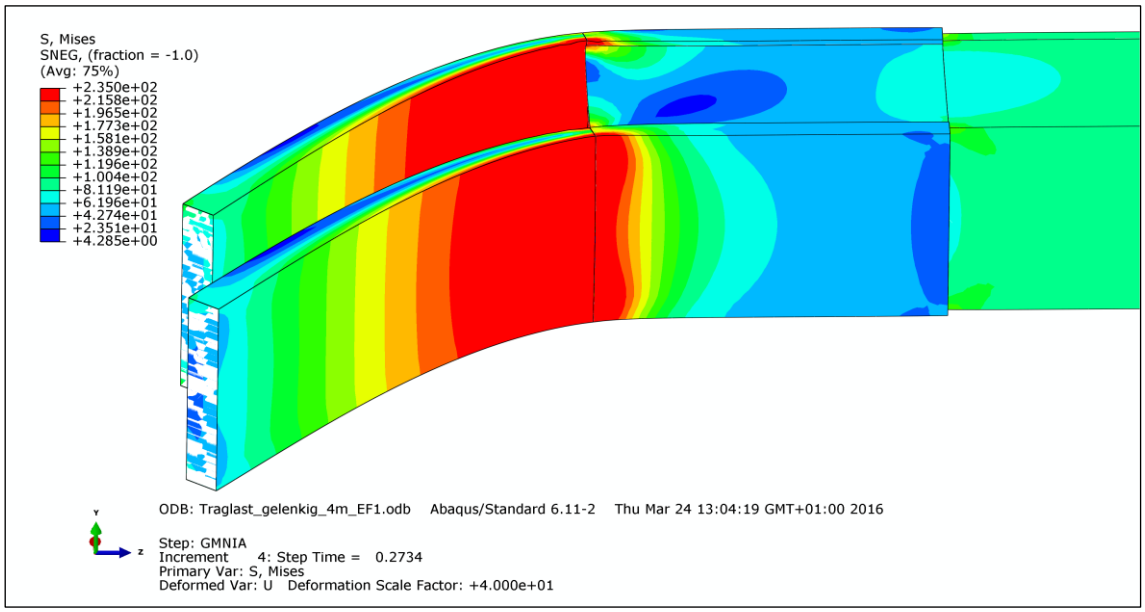


Abbildung 9-274: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





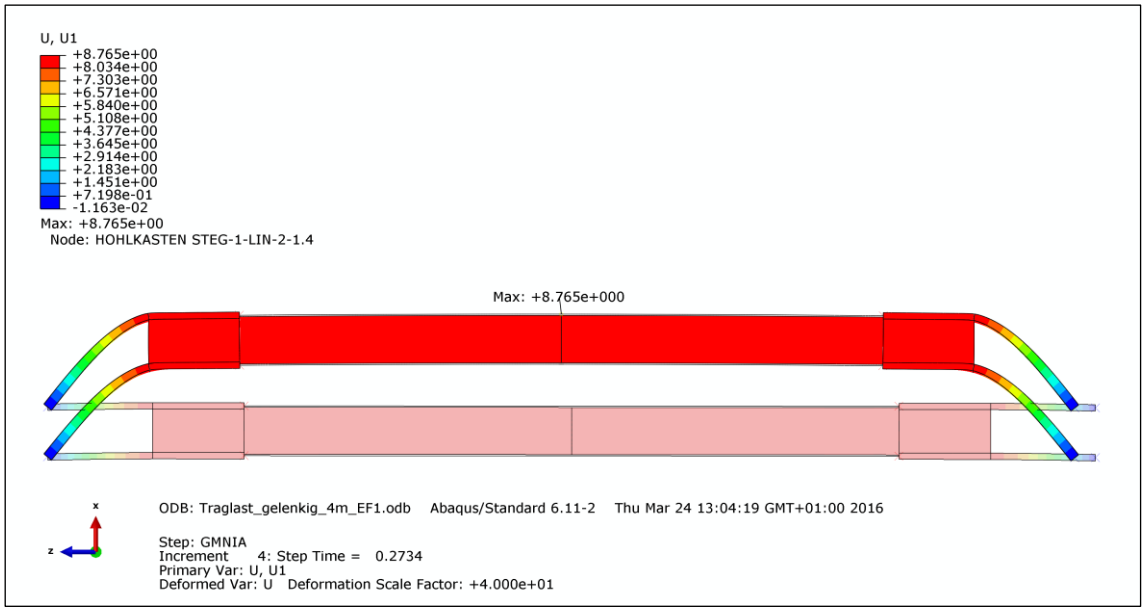


Abbildung 9-275: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

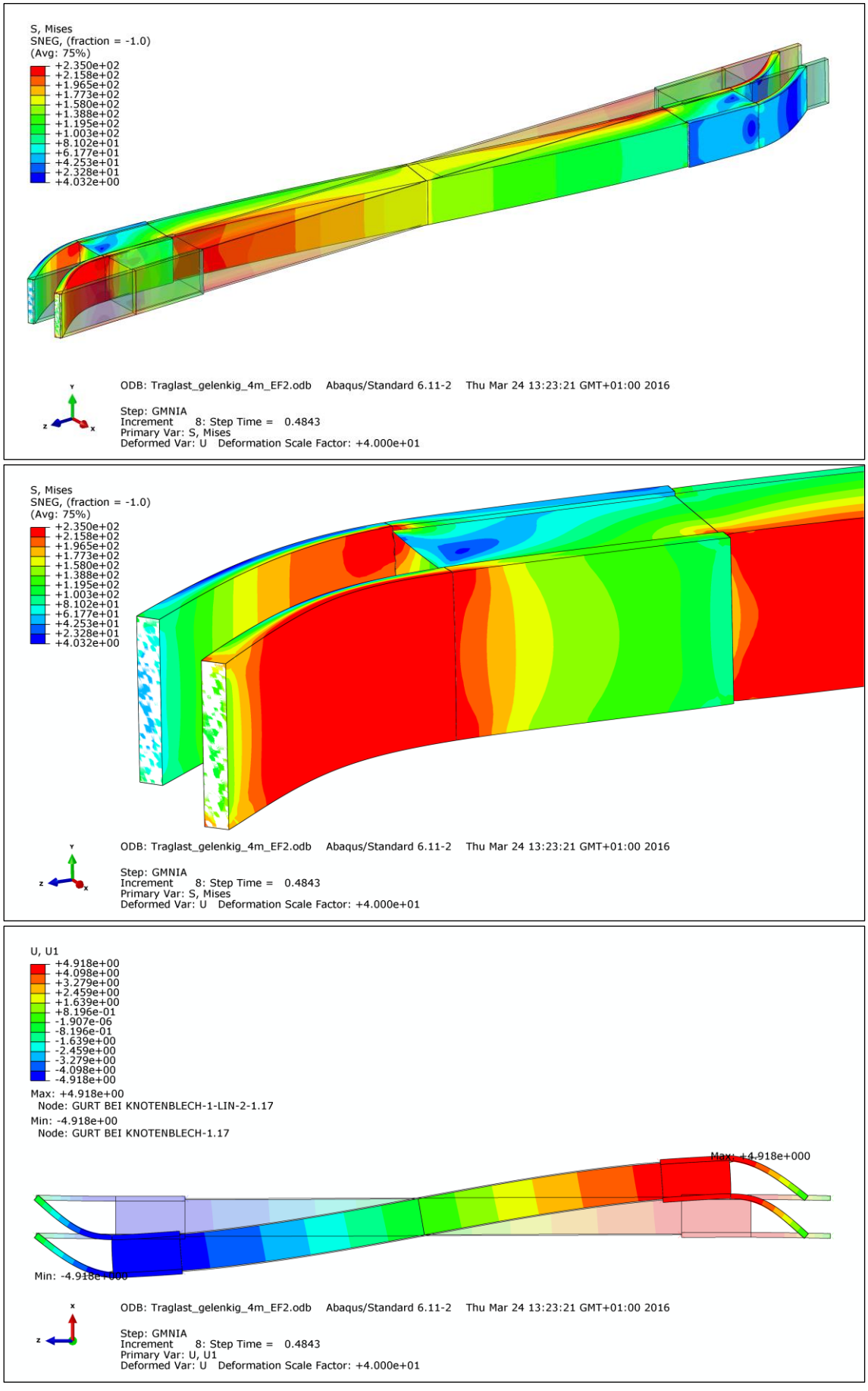


Abbildung 9-276: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

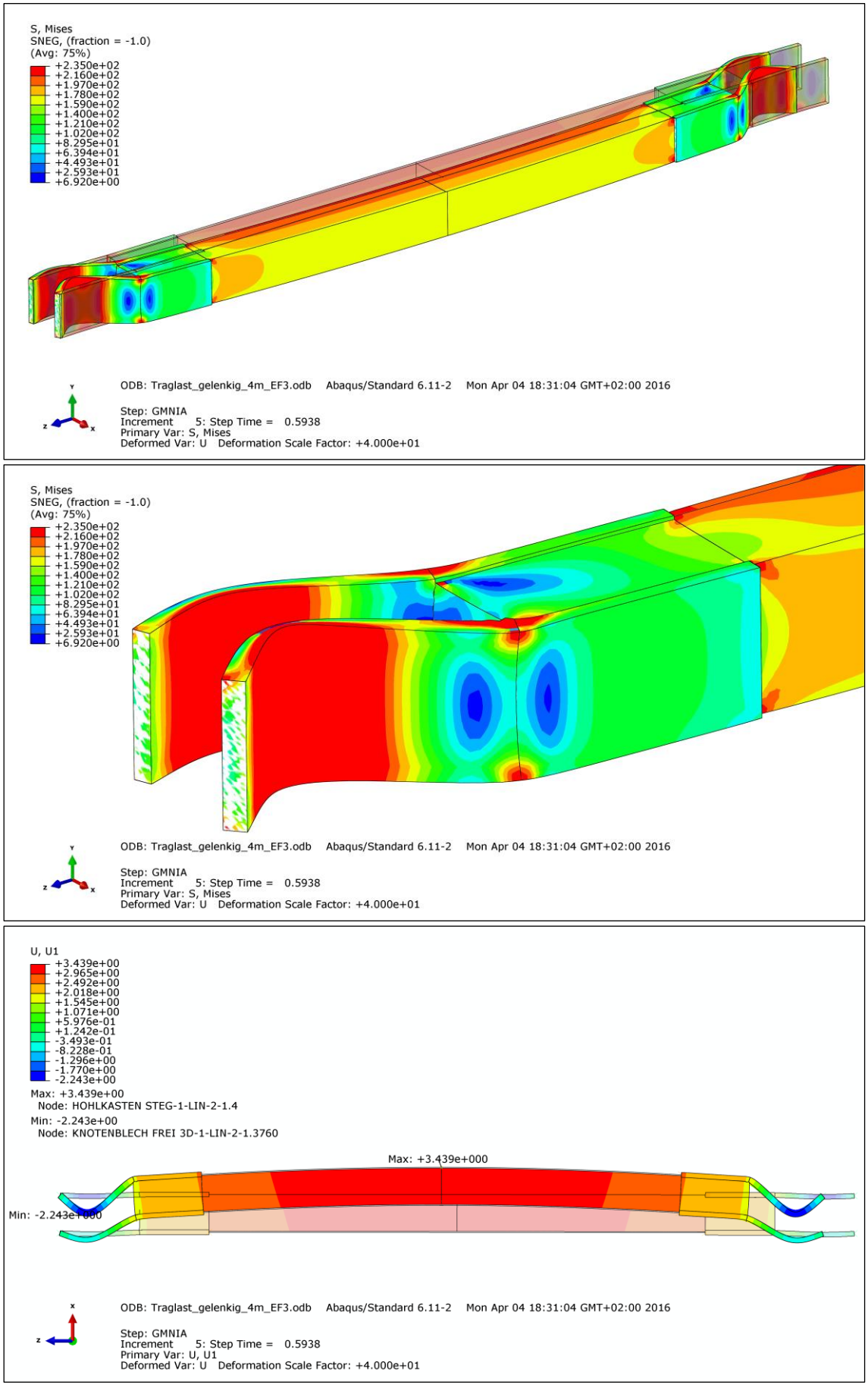


Abbildung 9-277: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm**

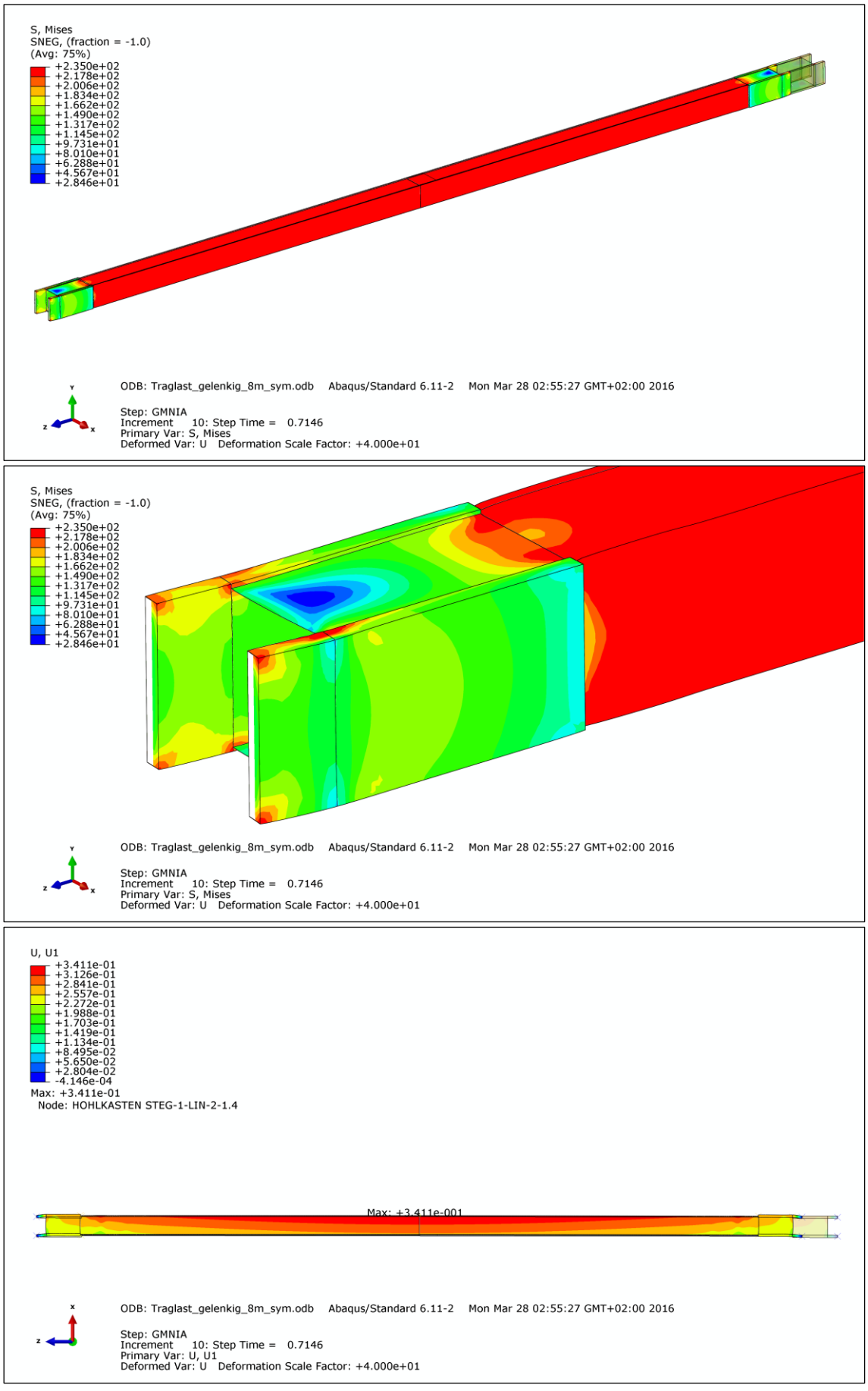
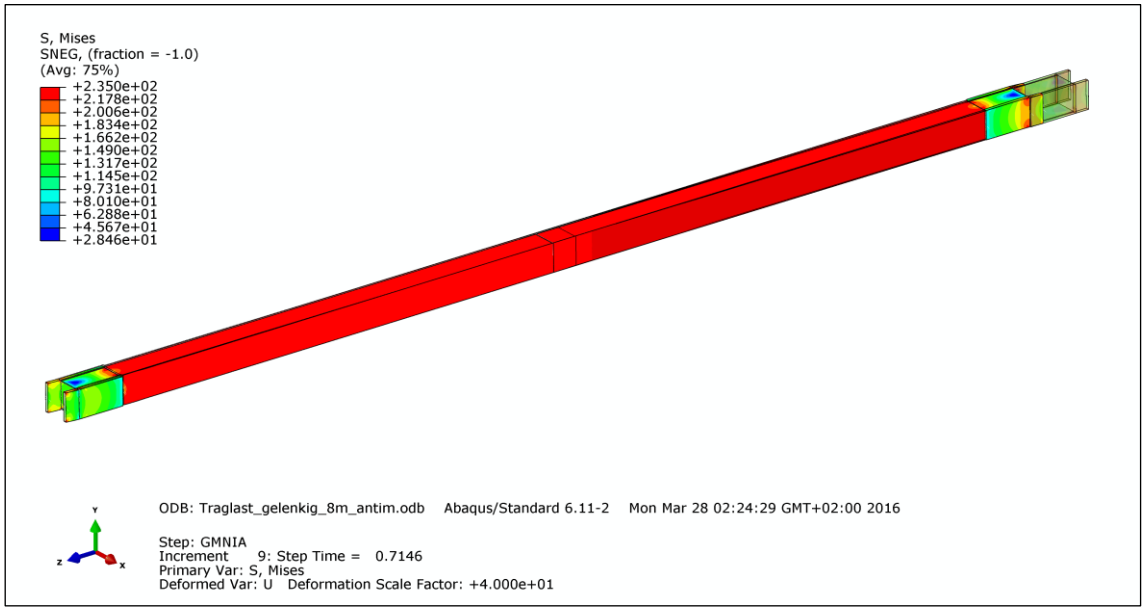
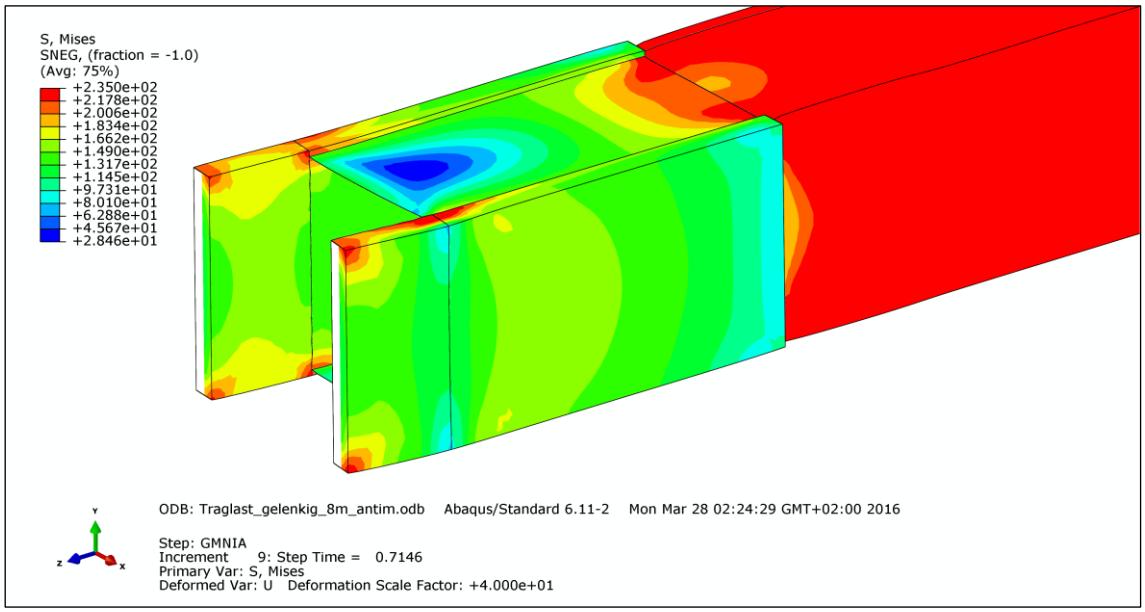


Abbildung 9-278: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





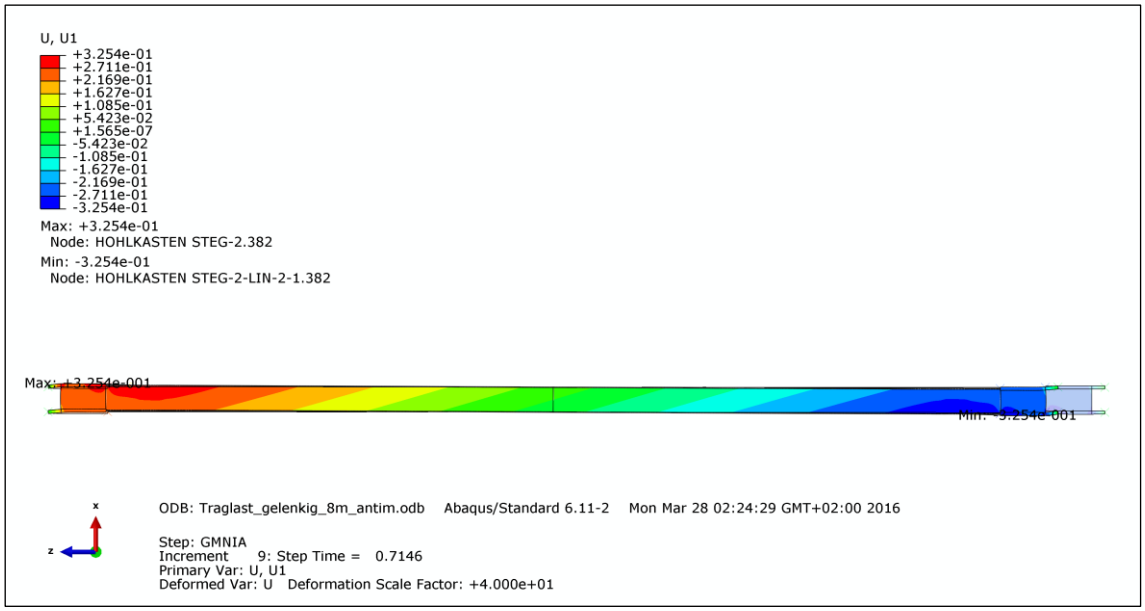
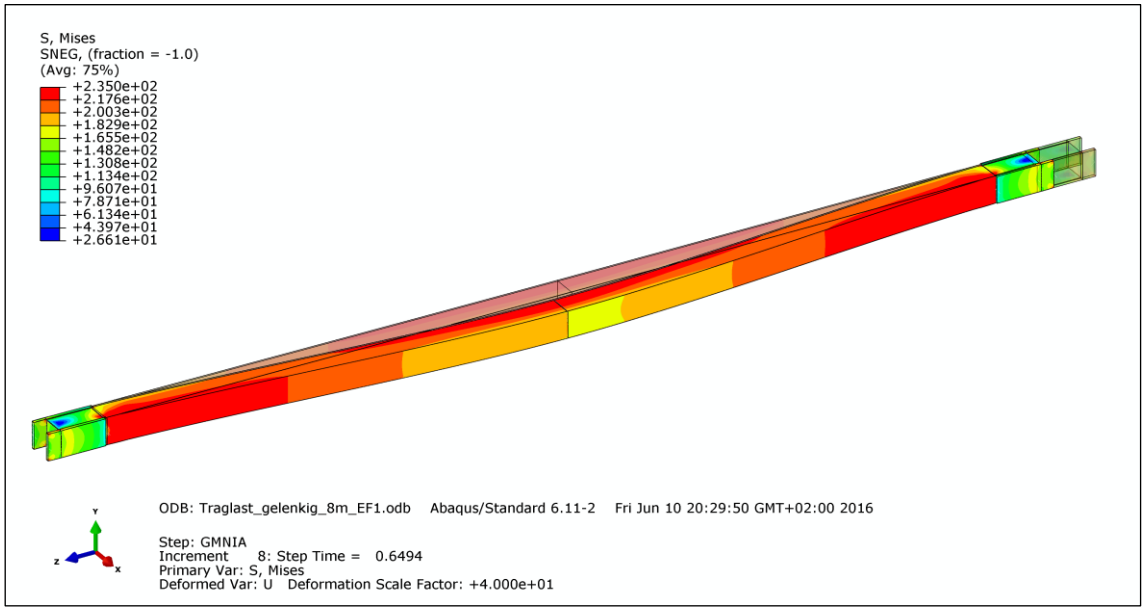
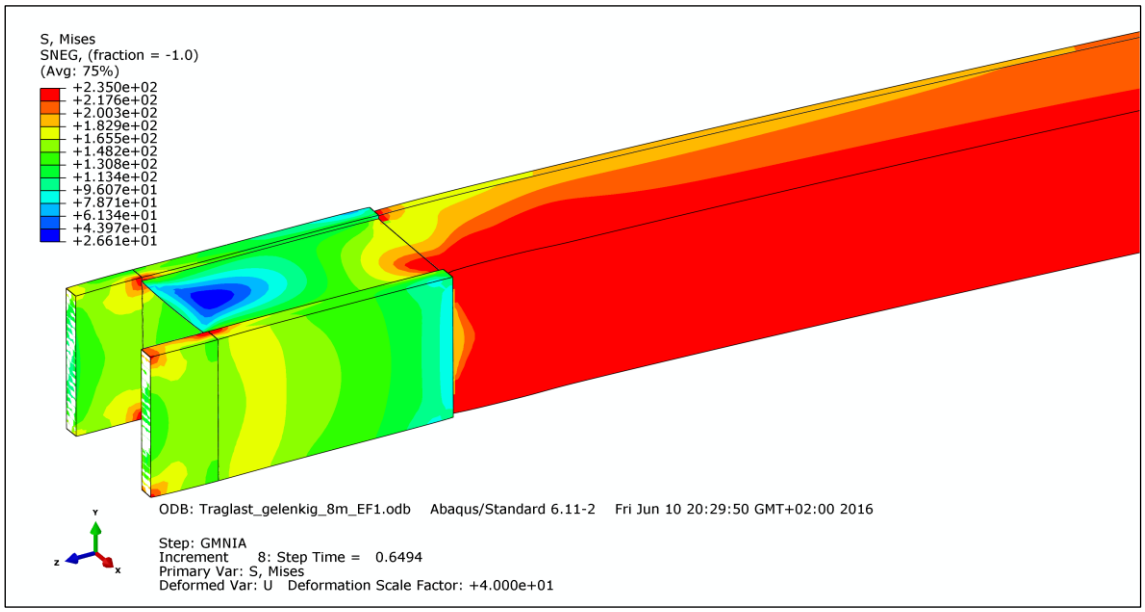


Abbildung 9-279: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





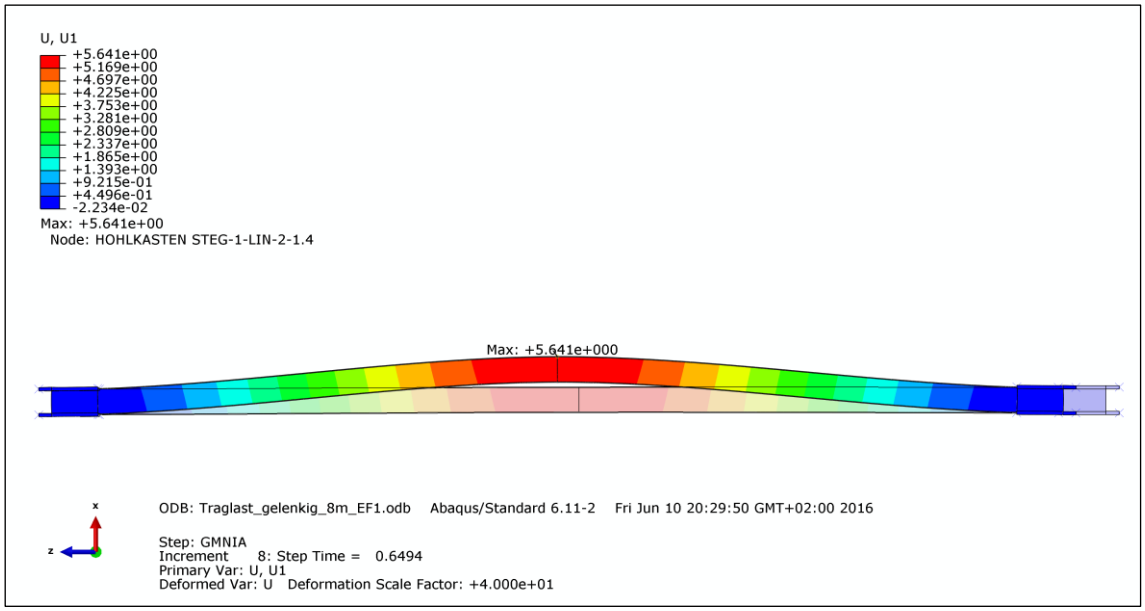
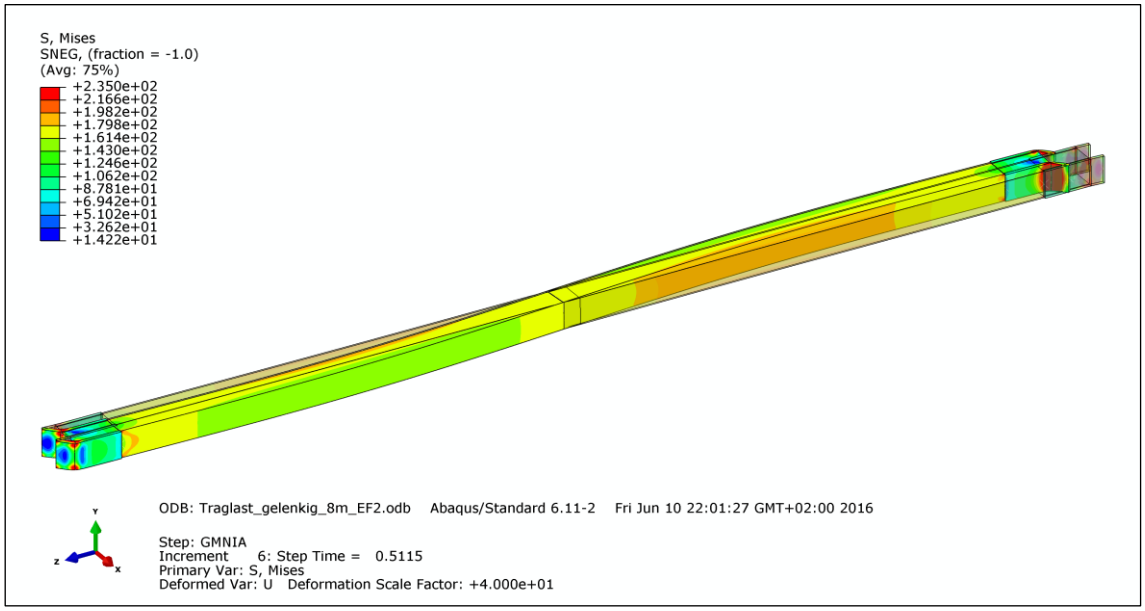
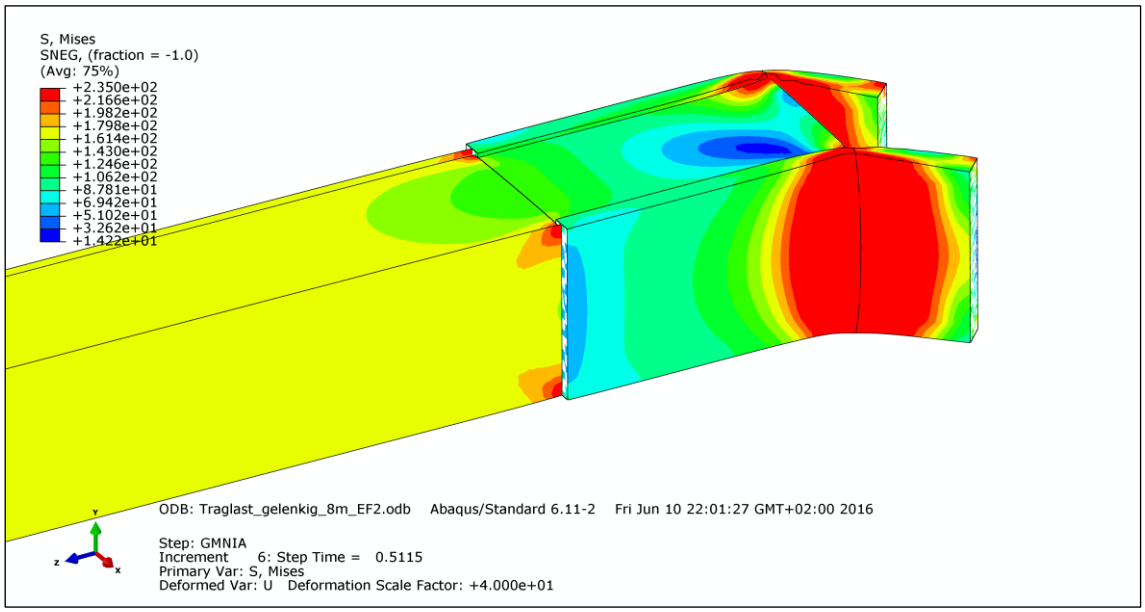


Abbildung 9-280: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





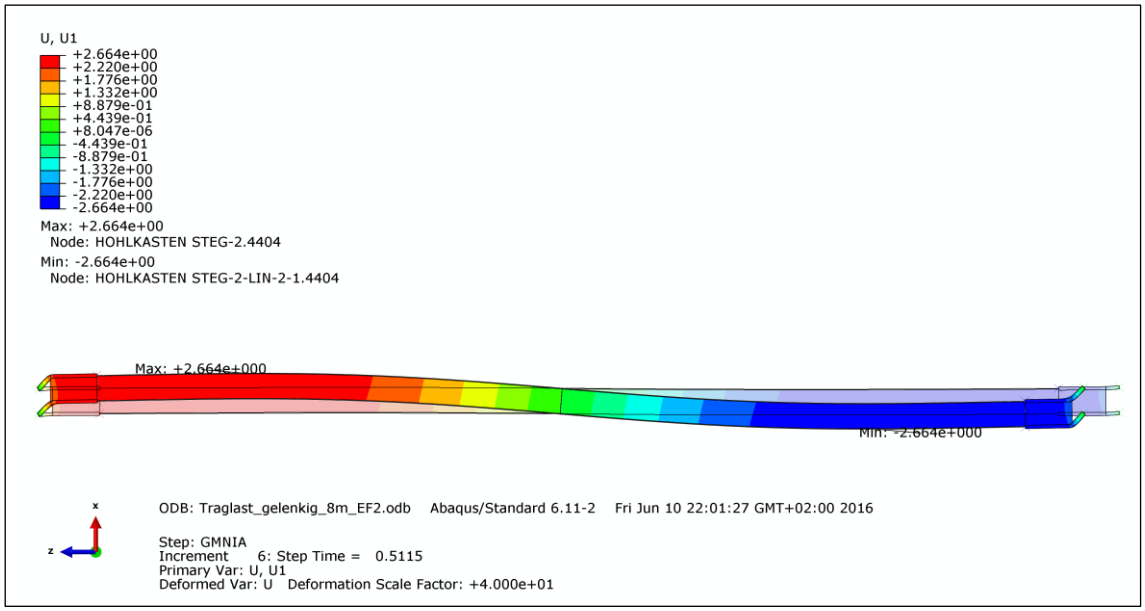
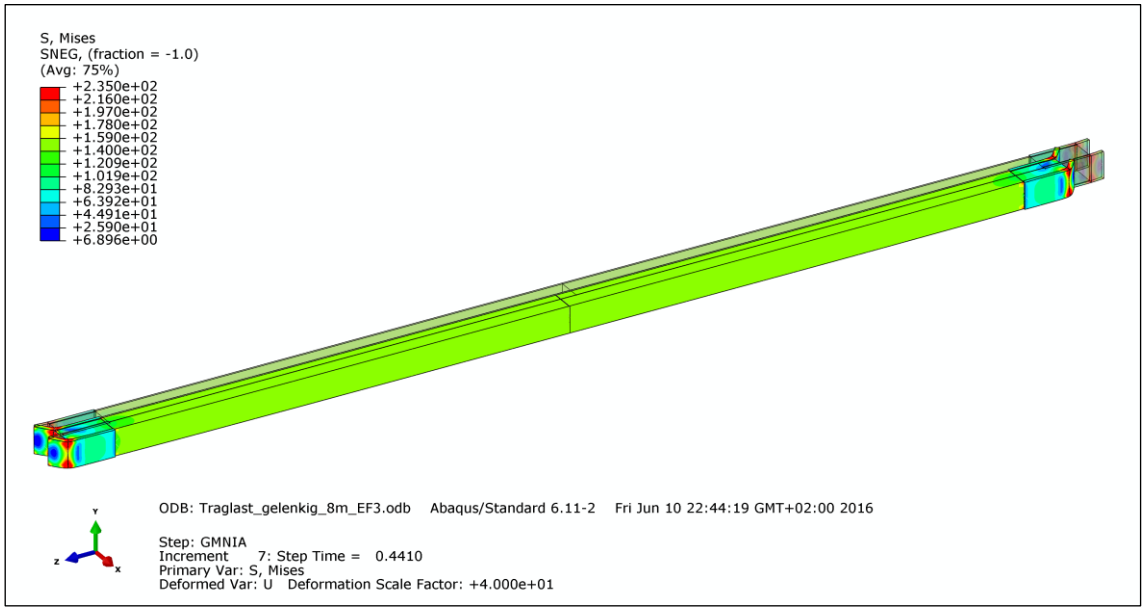
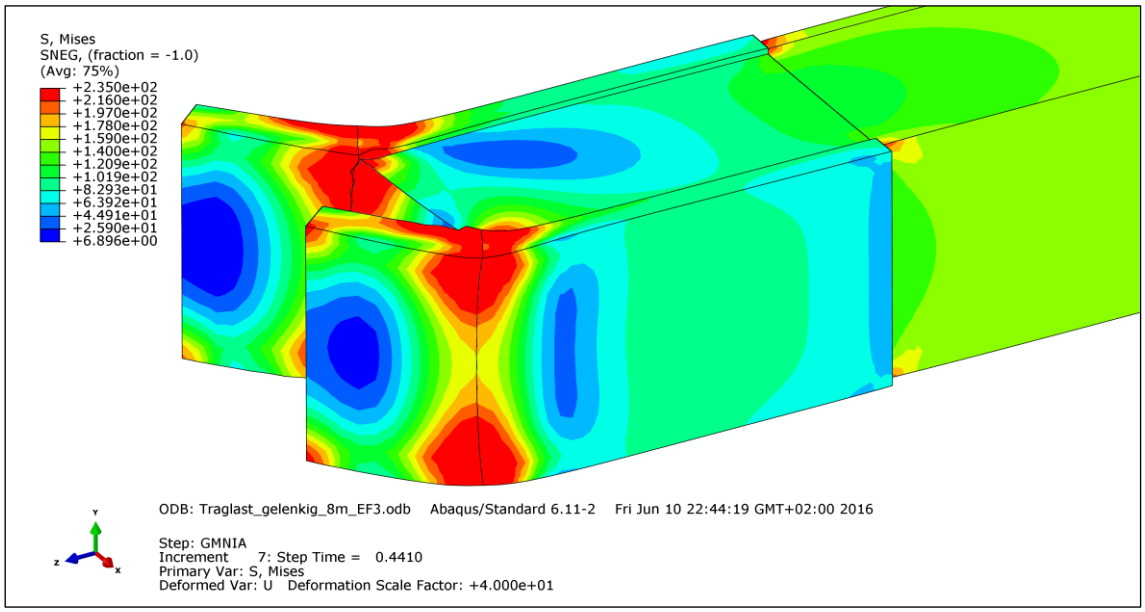


Abbildung 9-281: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





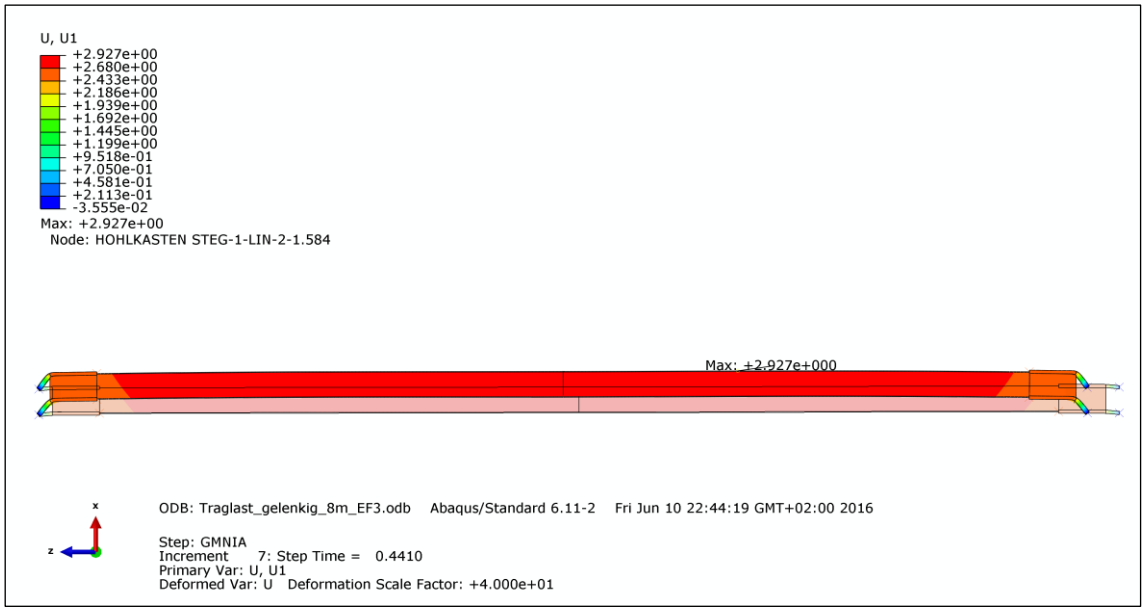
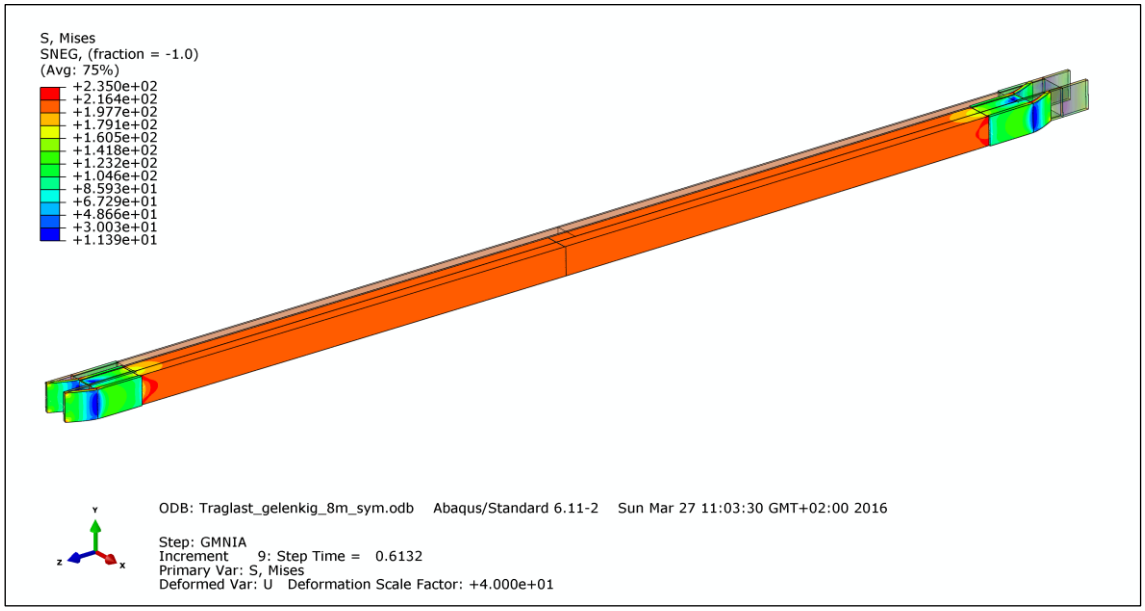
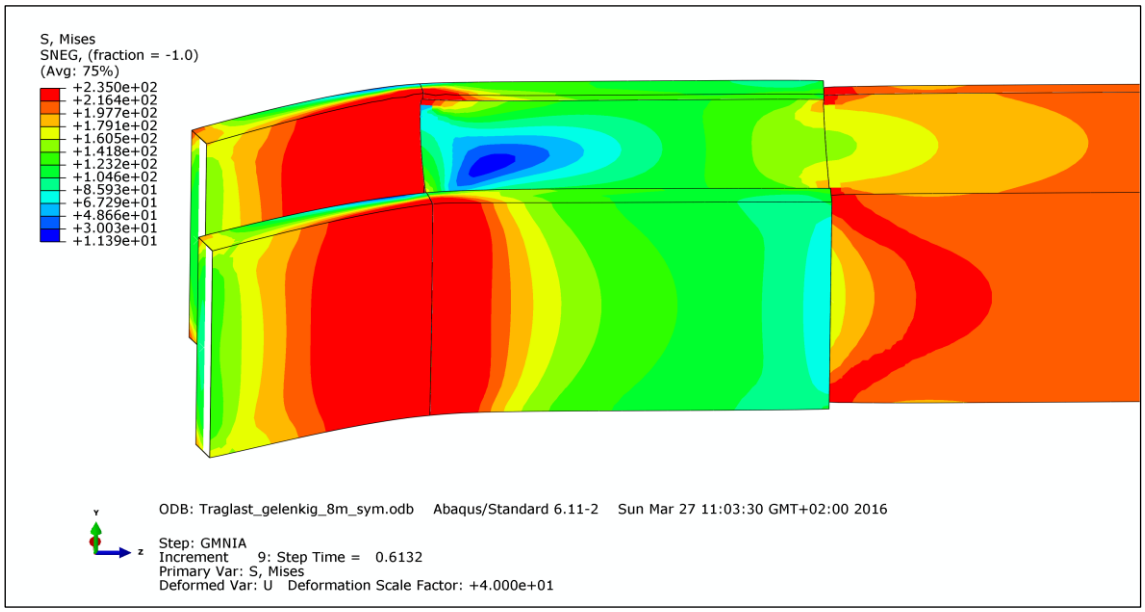


Abbildung 9-282: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





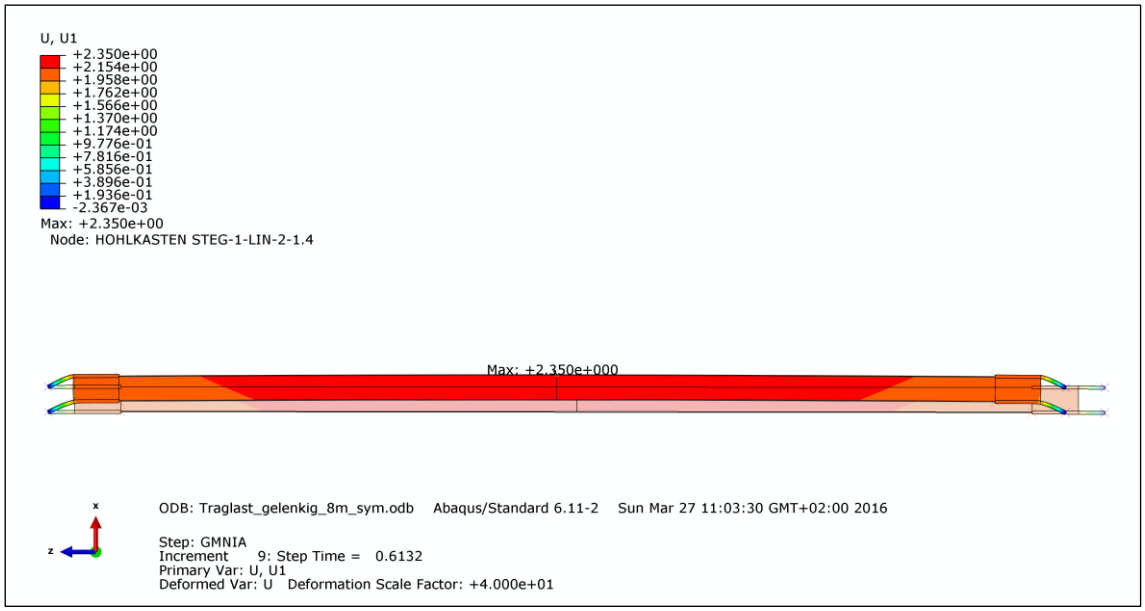
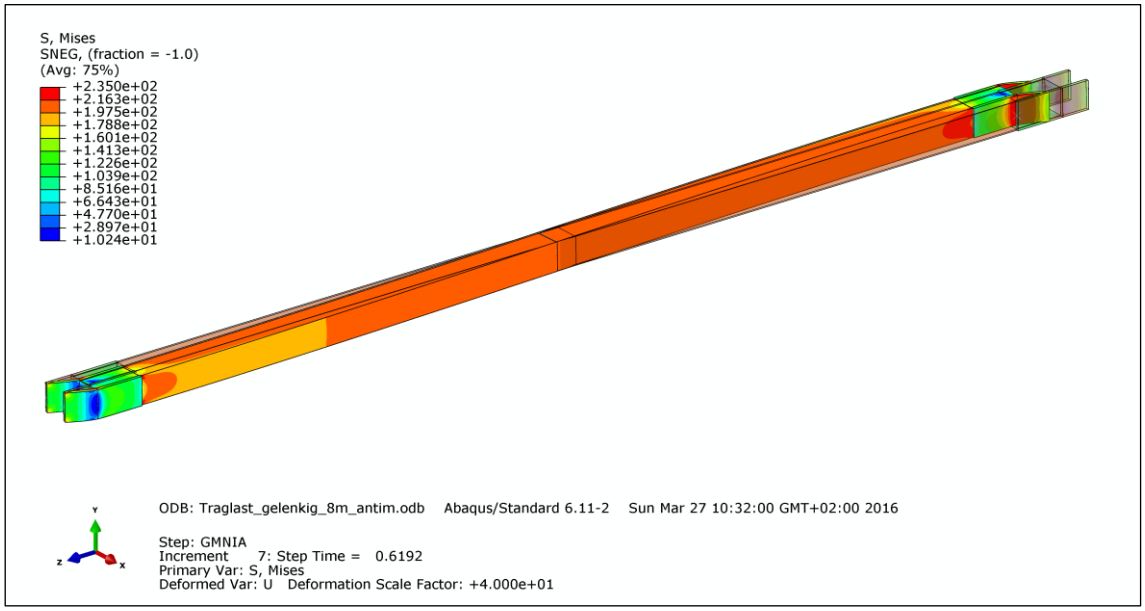
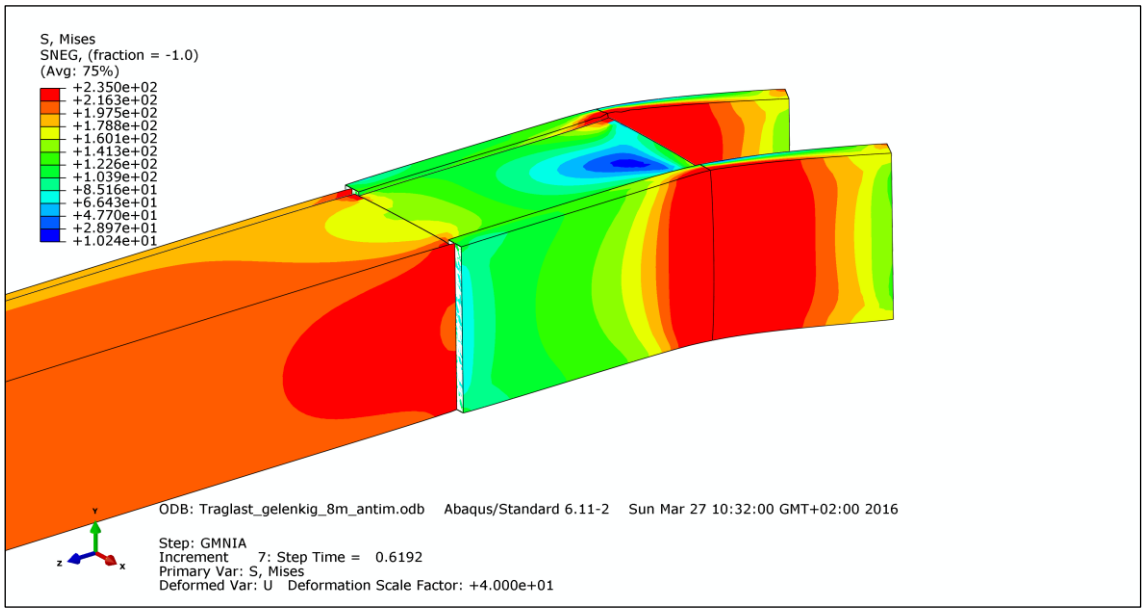


Abbildung 9-283: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





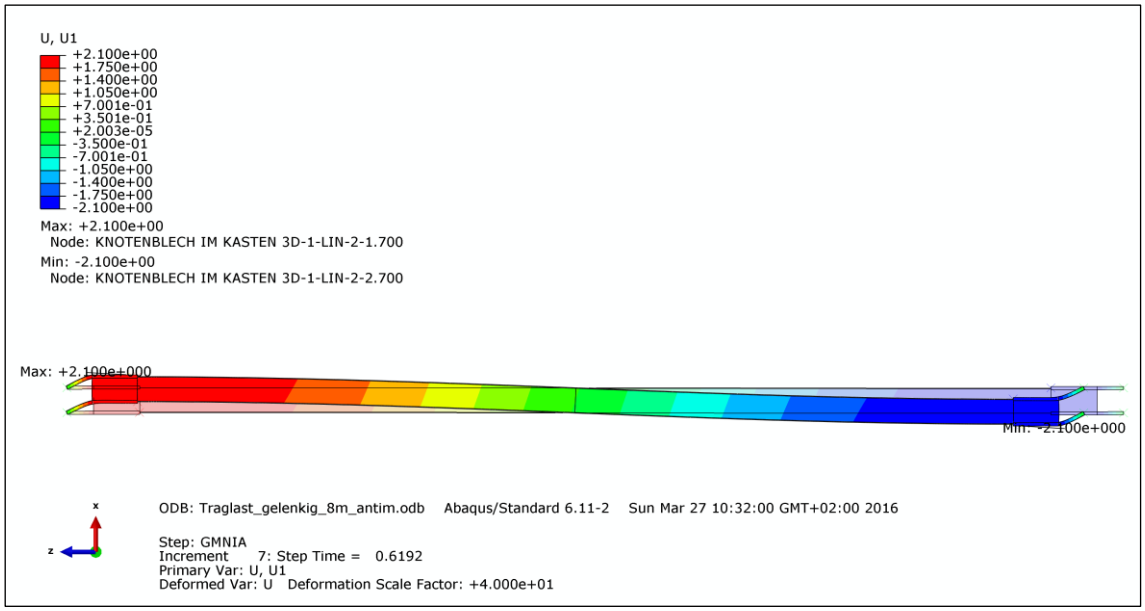
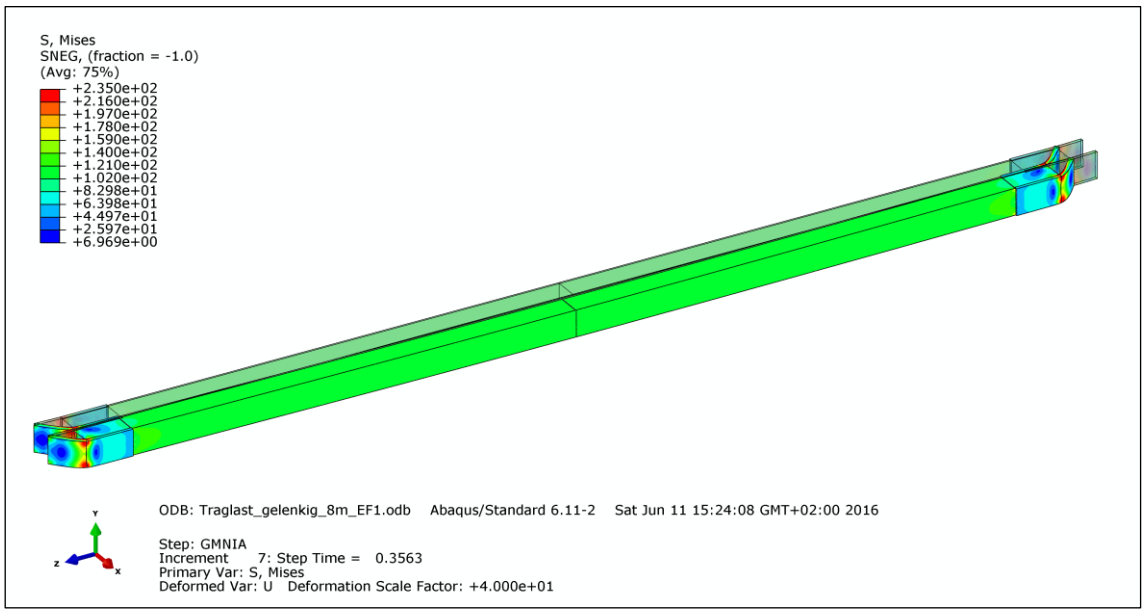
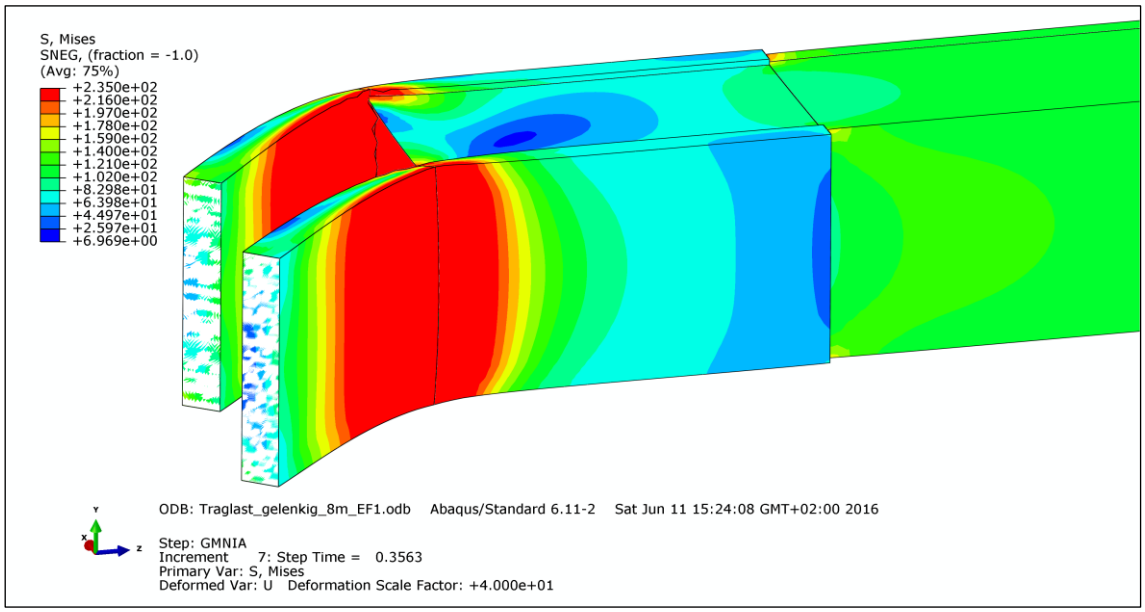


Abbildung 9-284: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





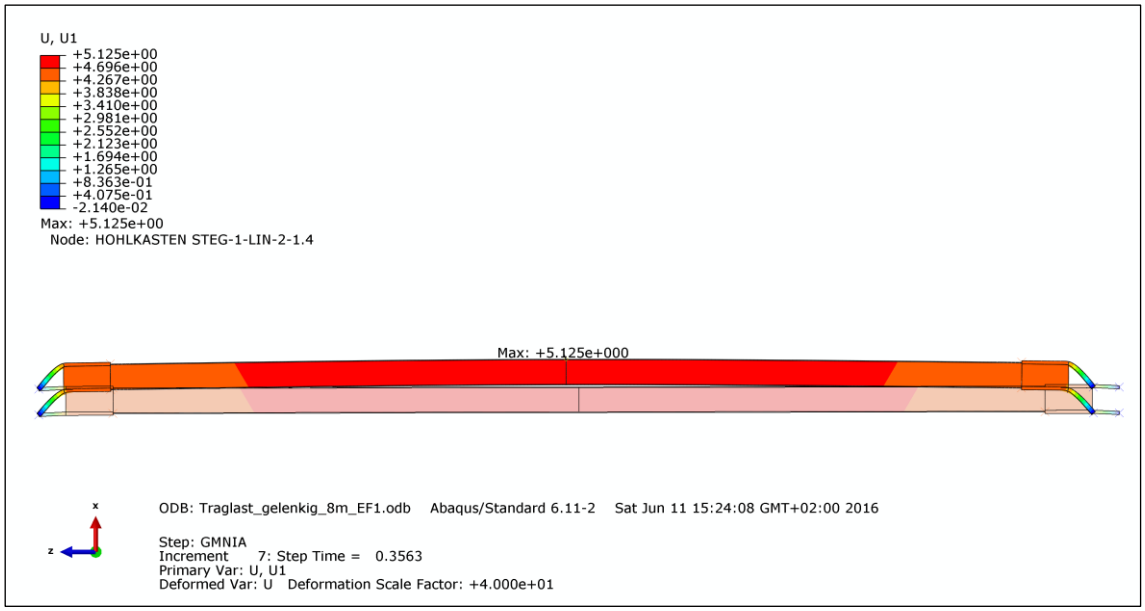
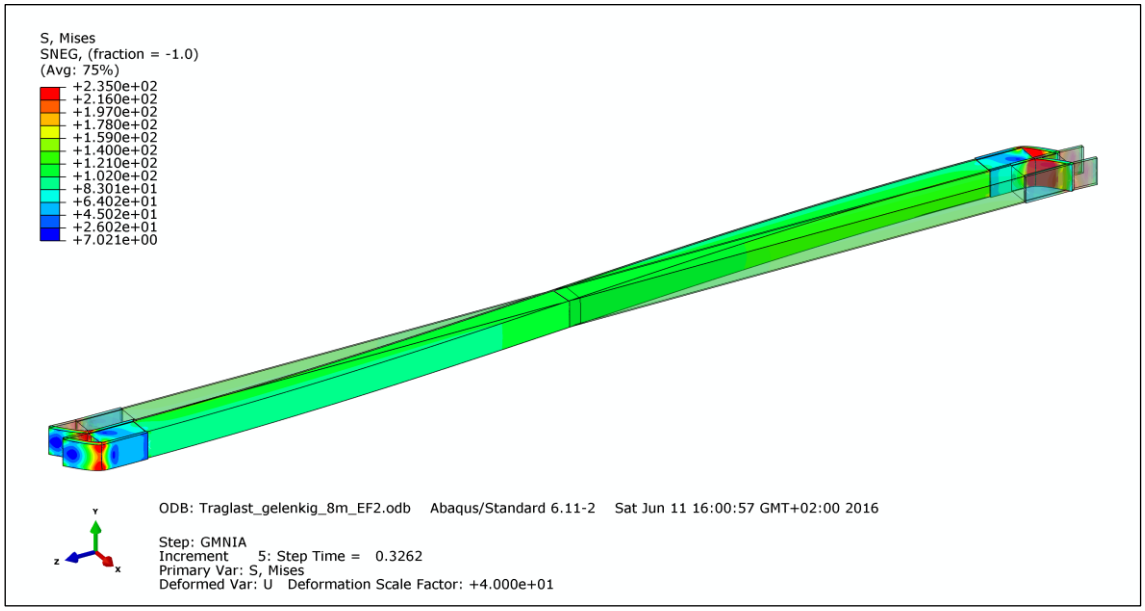
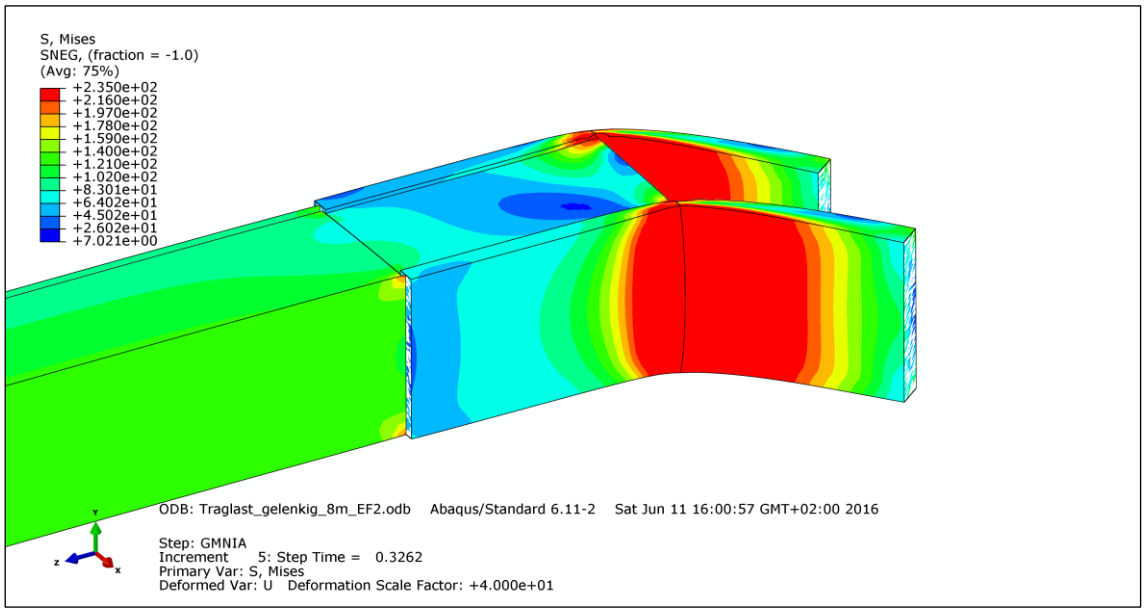


Abbildung 9-285: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





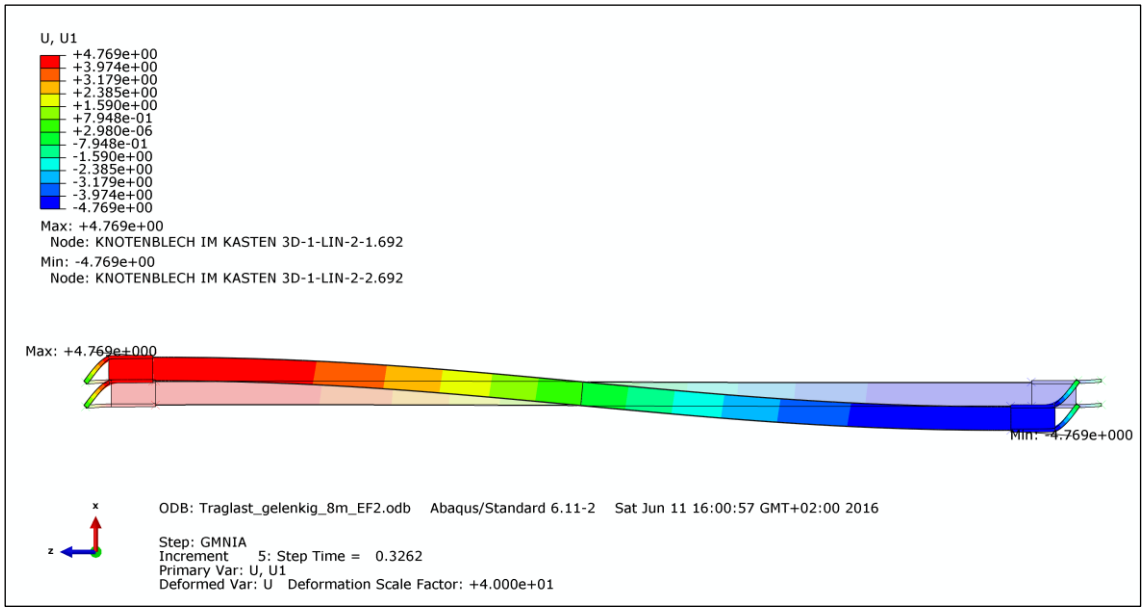
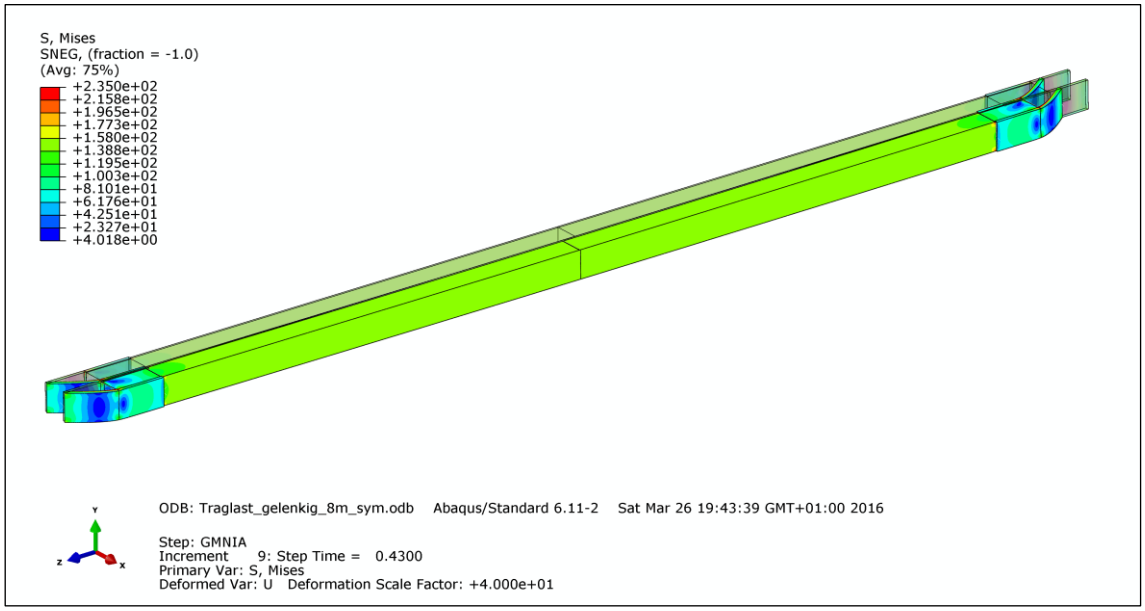
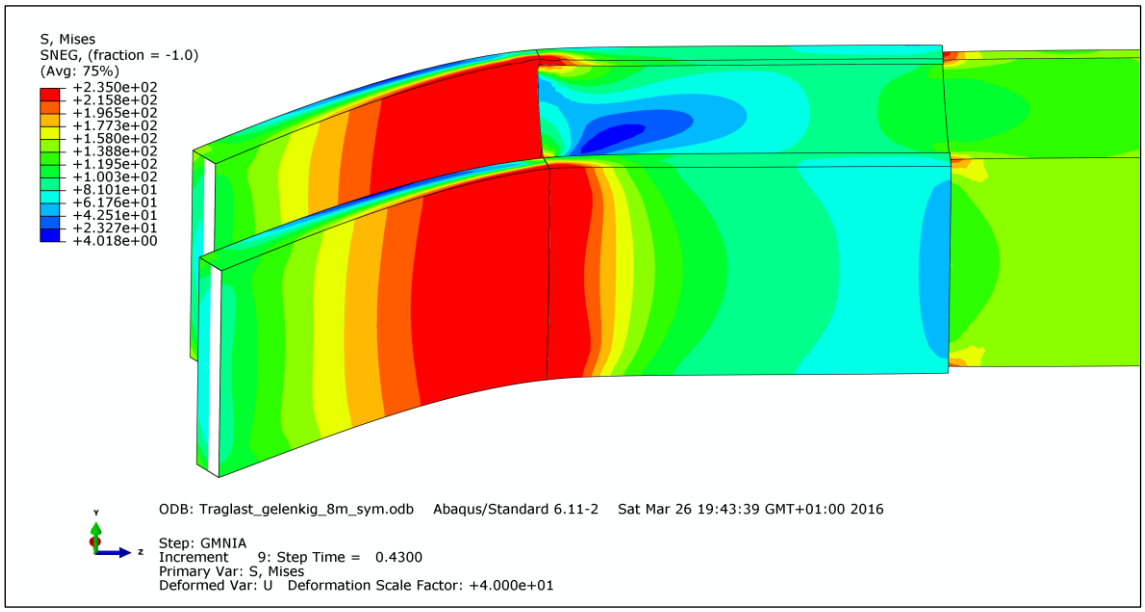


Abbildung 9-286: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





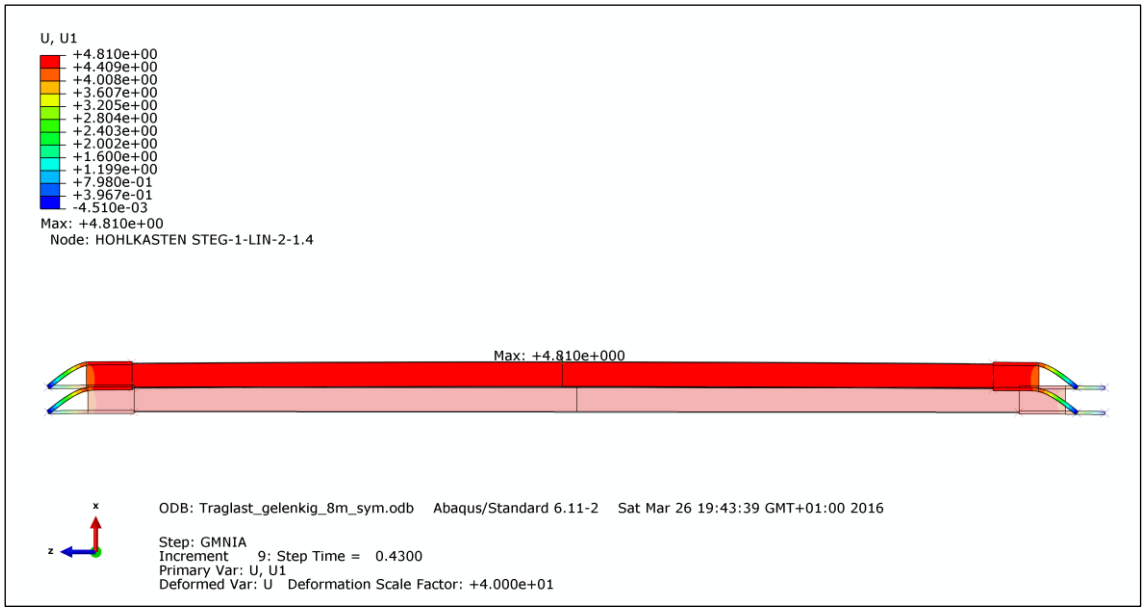
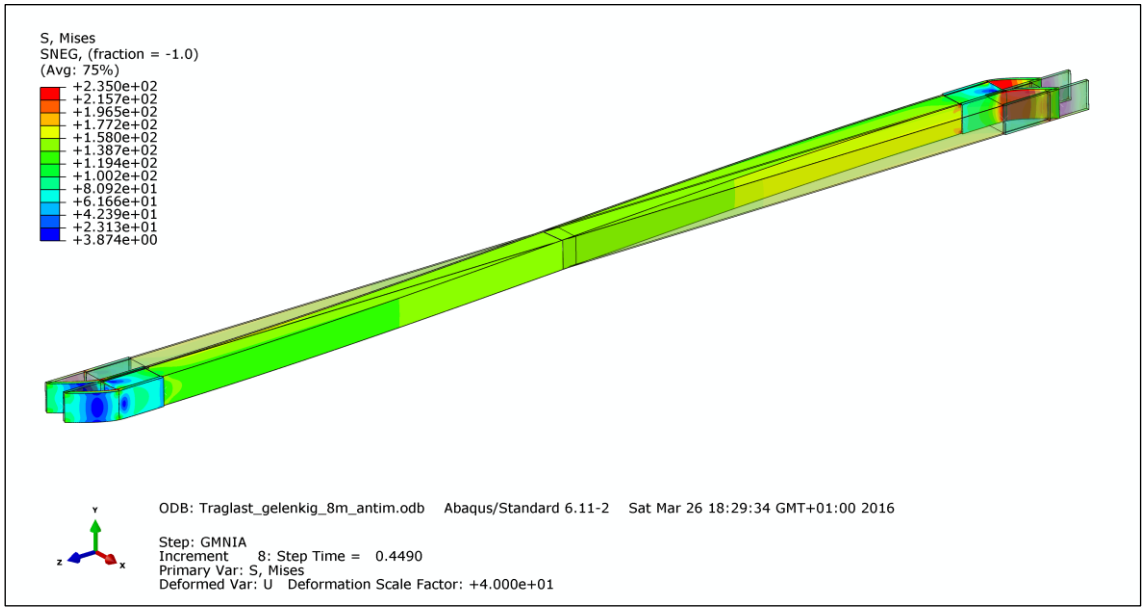
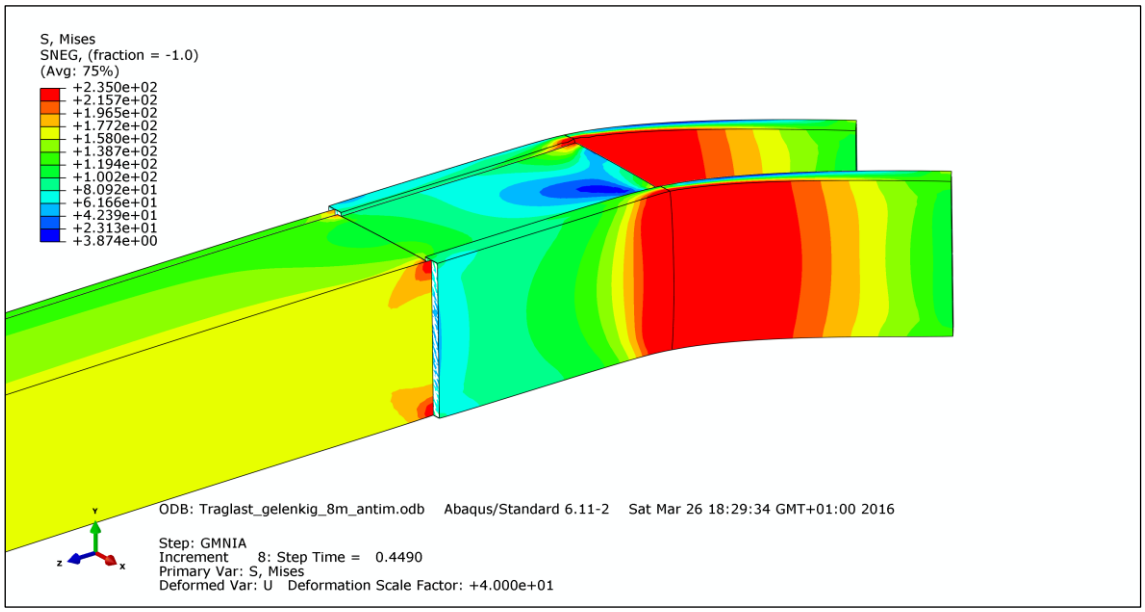


Abbildung 9-287: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





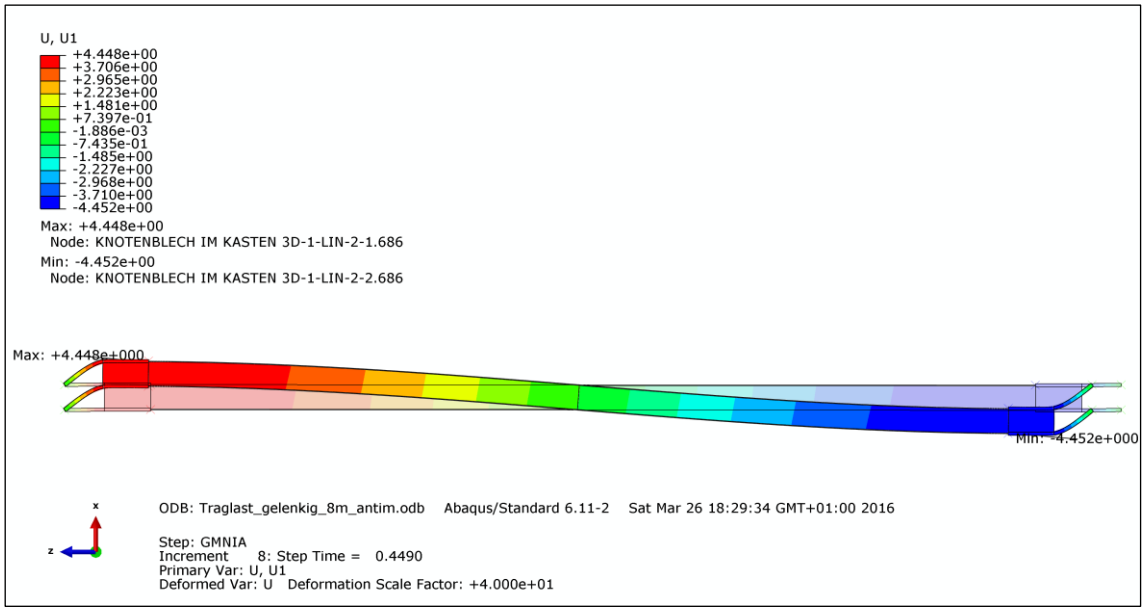
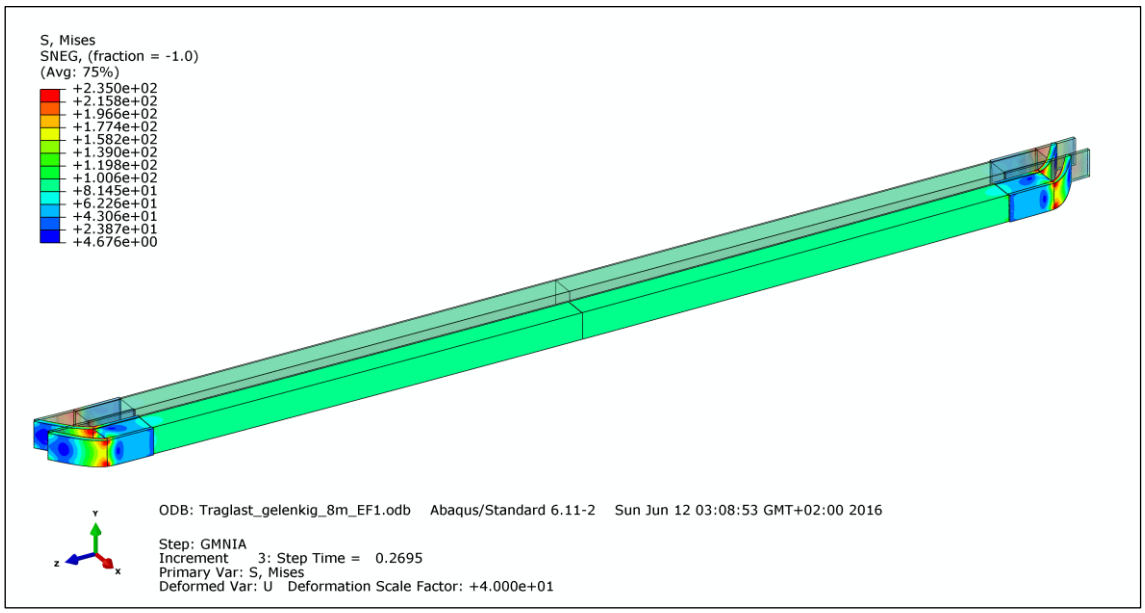
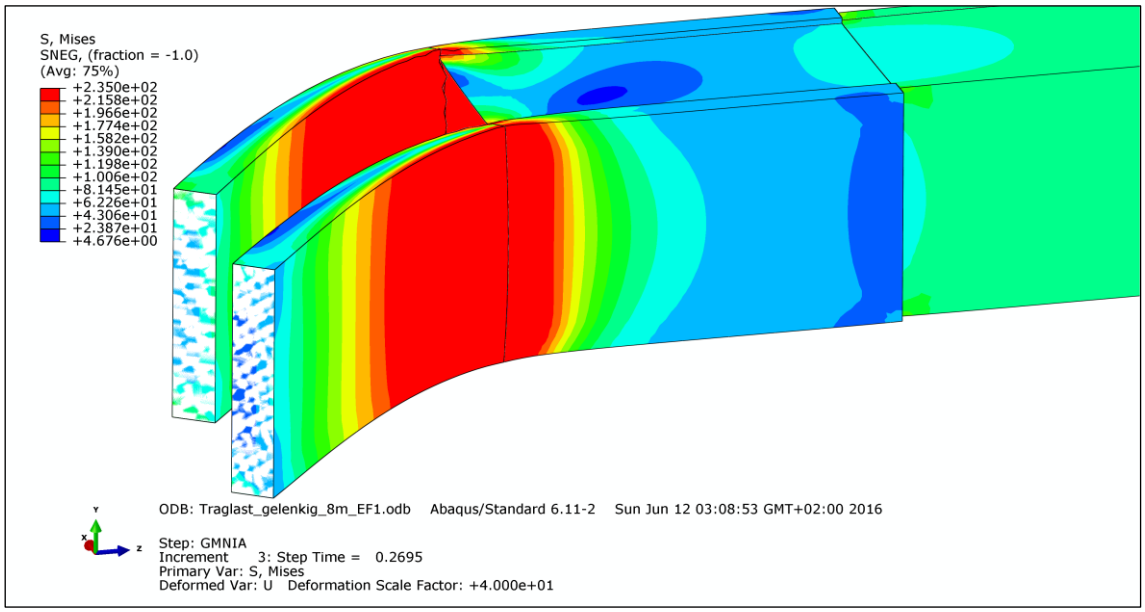


Abbildung 9-288: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





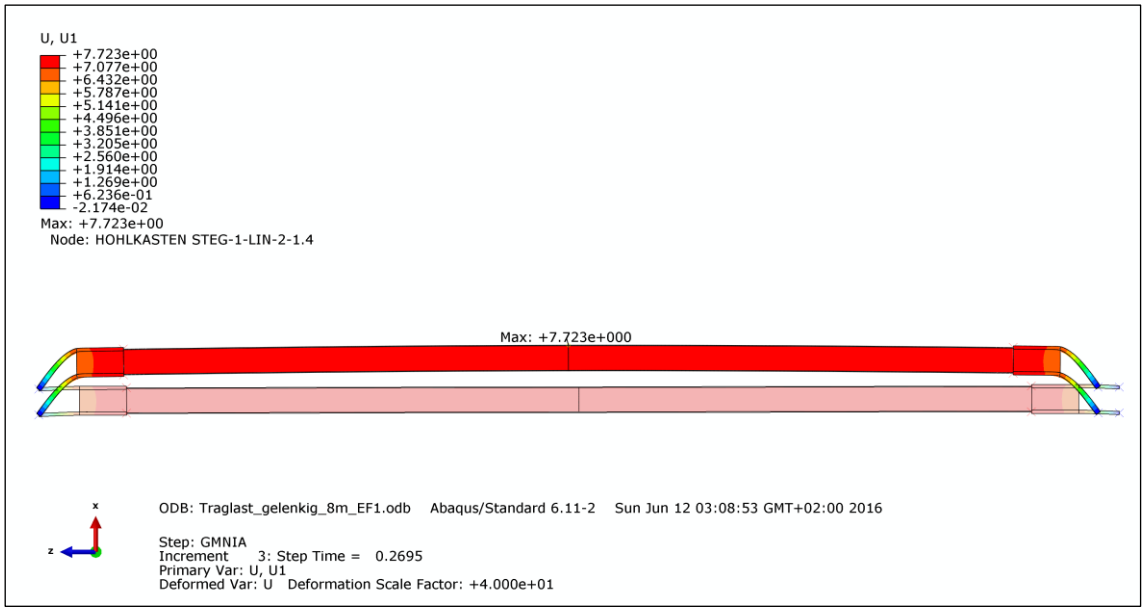
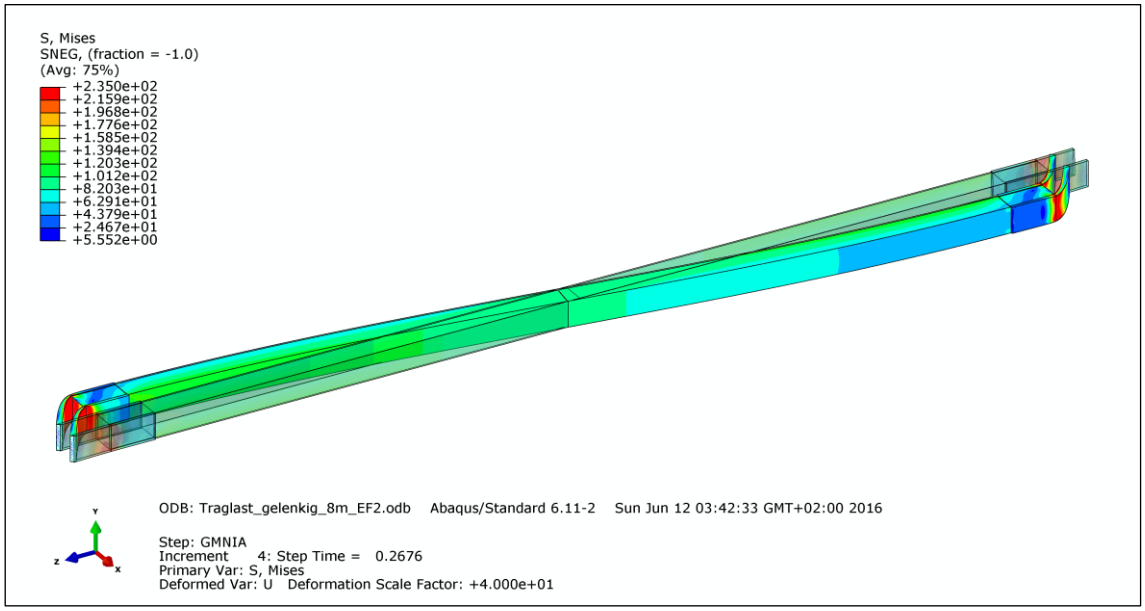
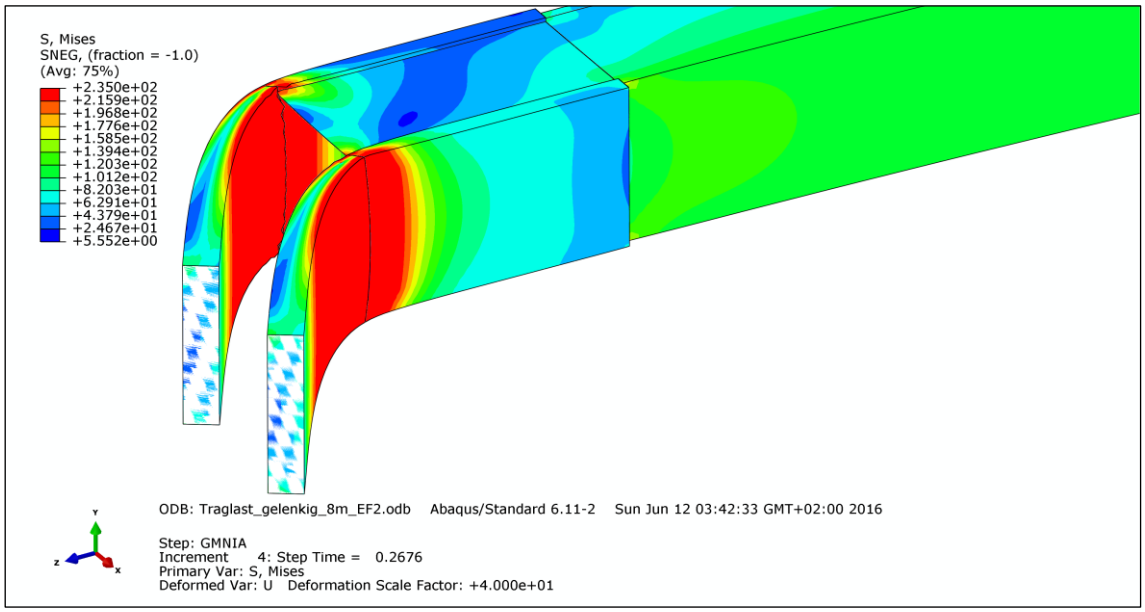


Abbildung 9-289: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





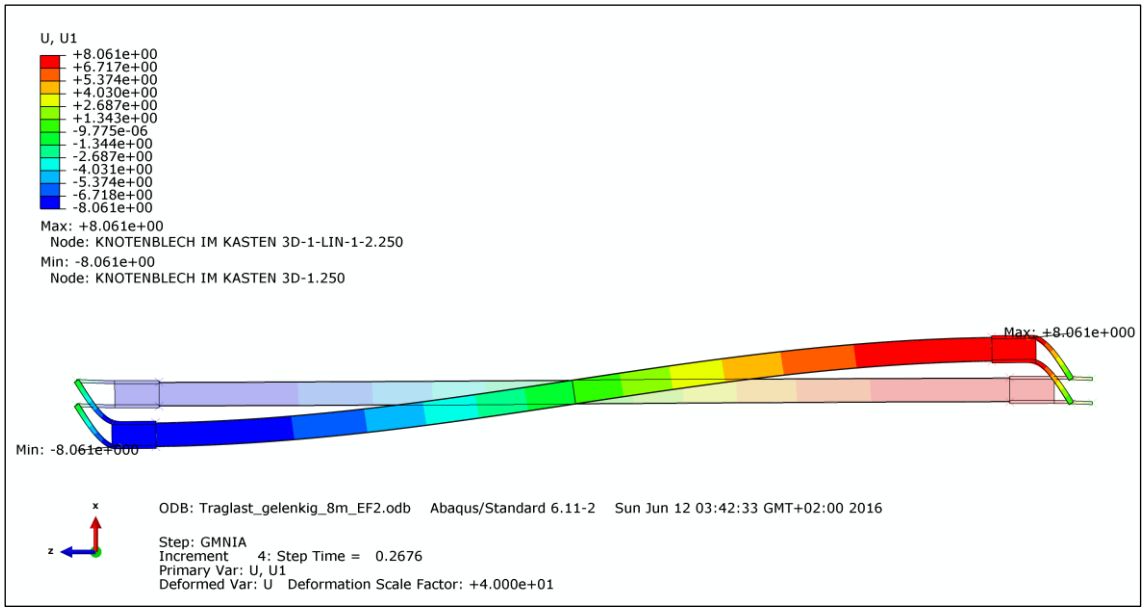
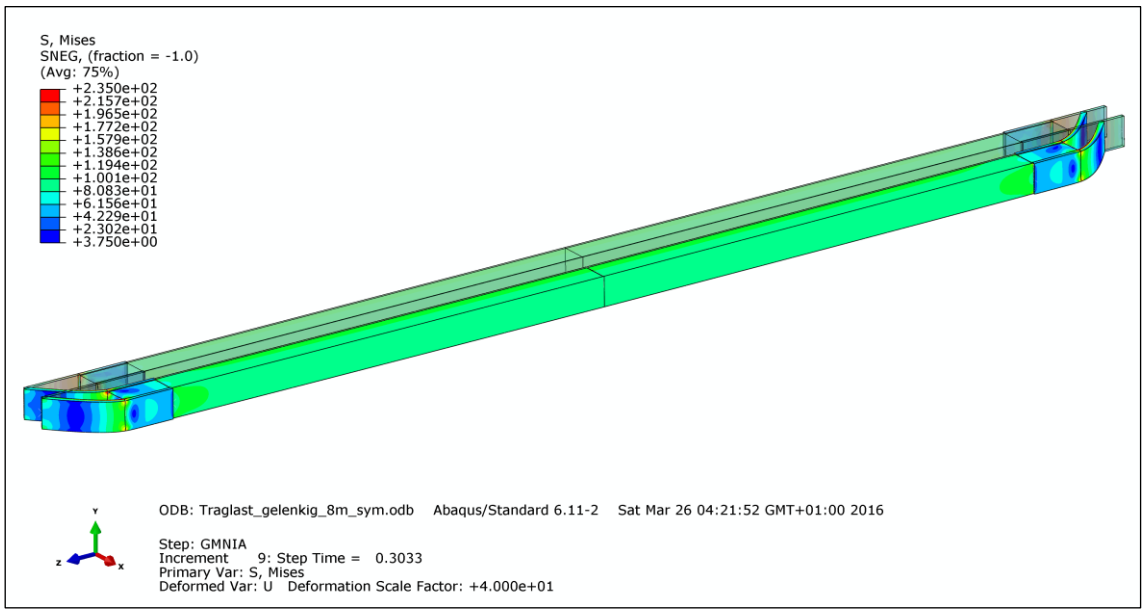
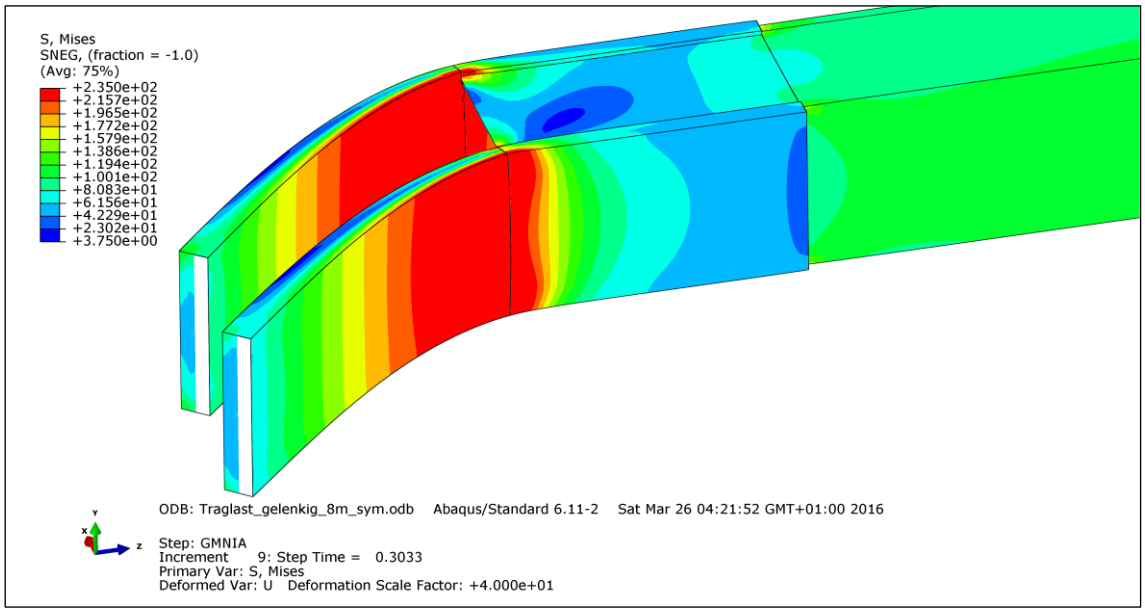


Abbildung 9-290: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





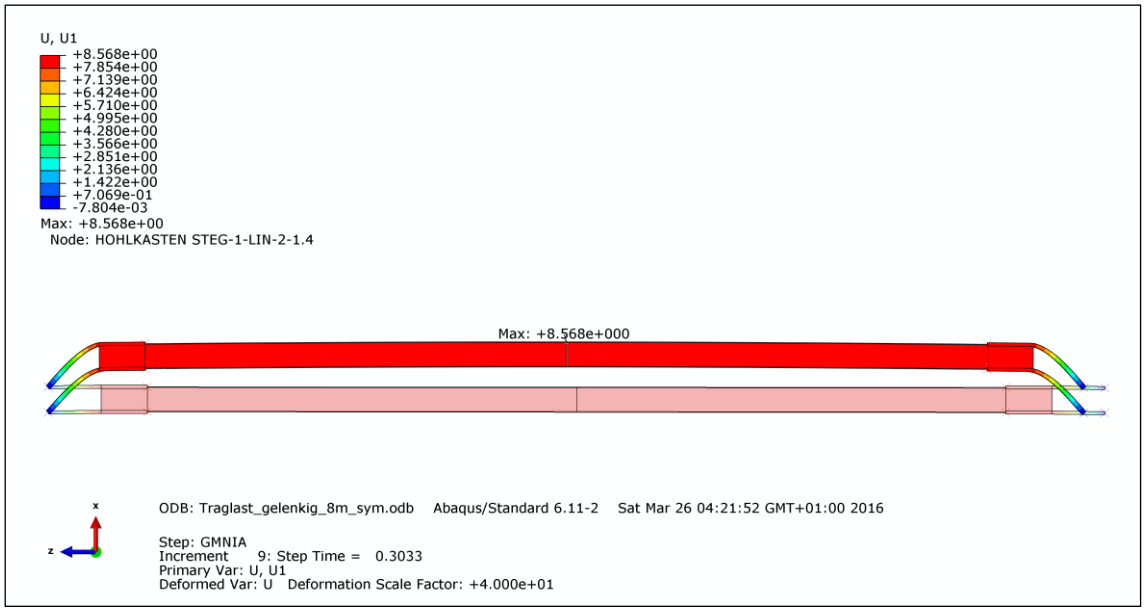
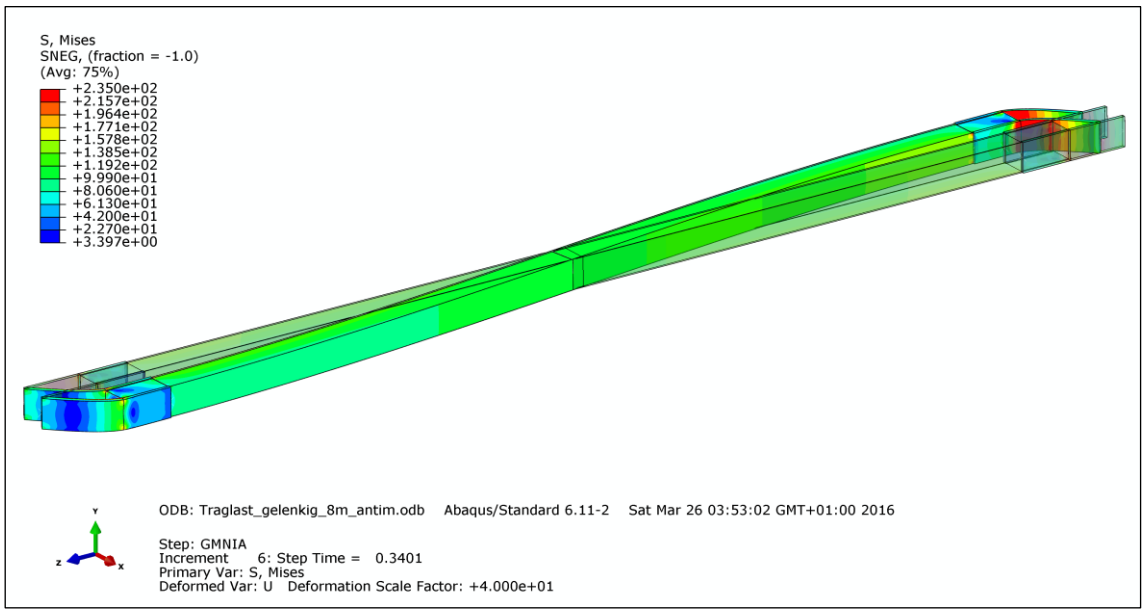
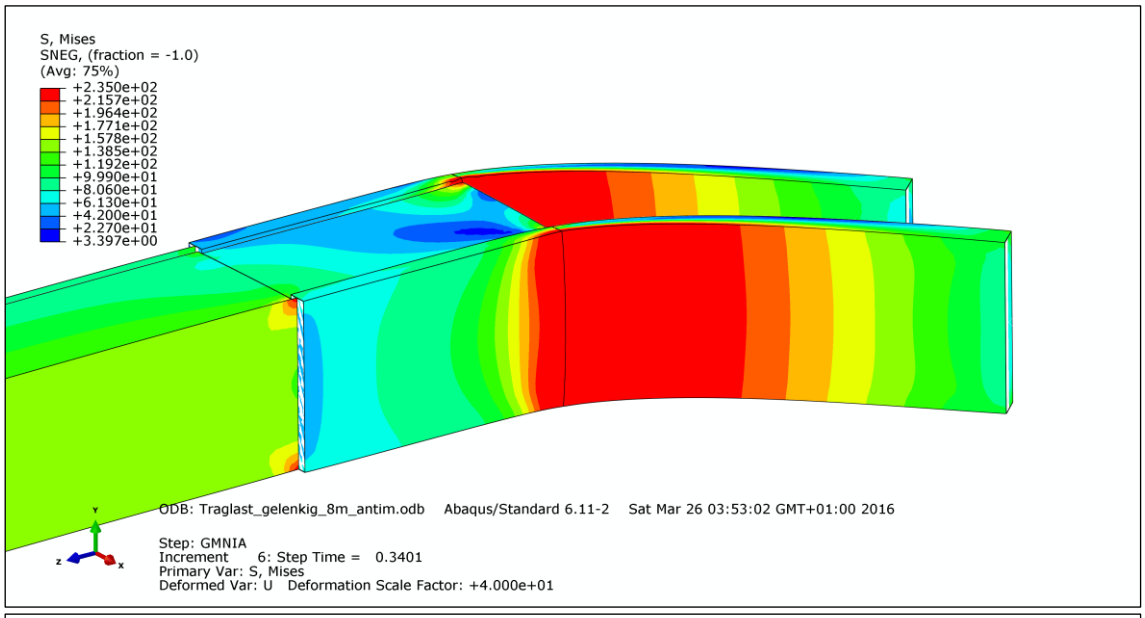


Abbildung 9-291: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





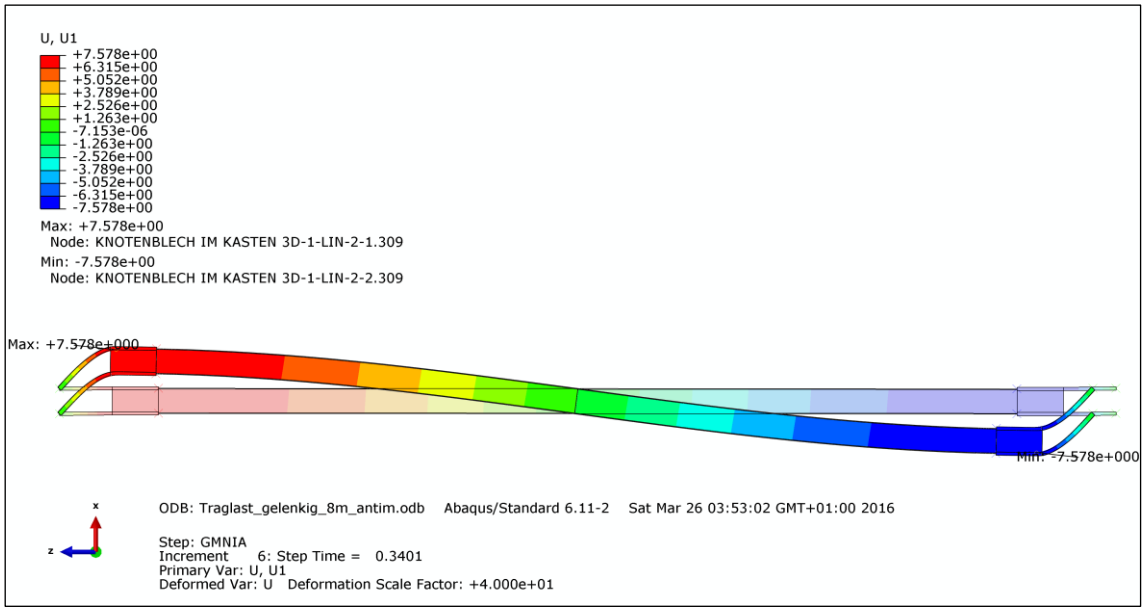
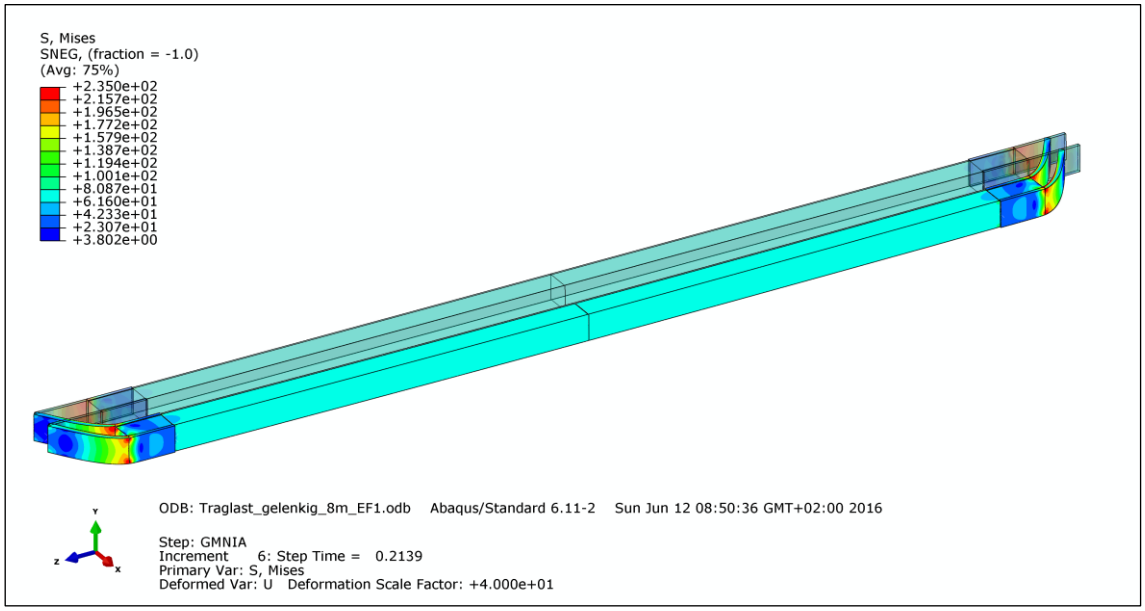
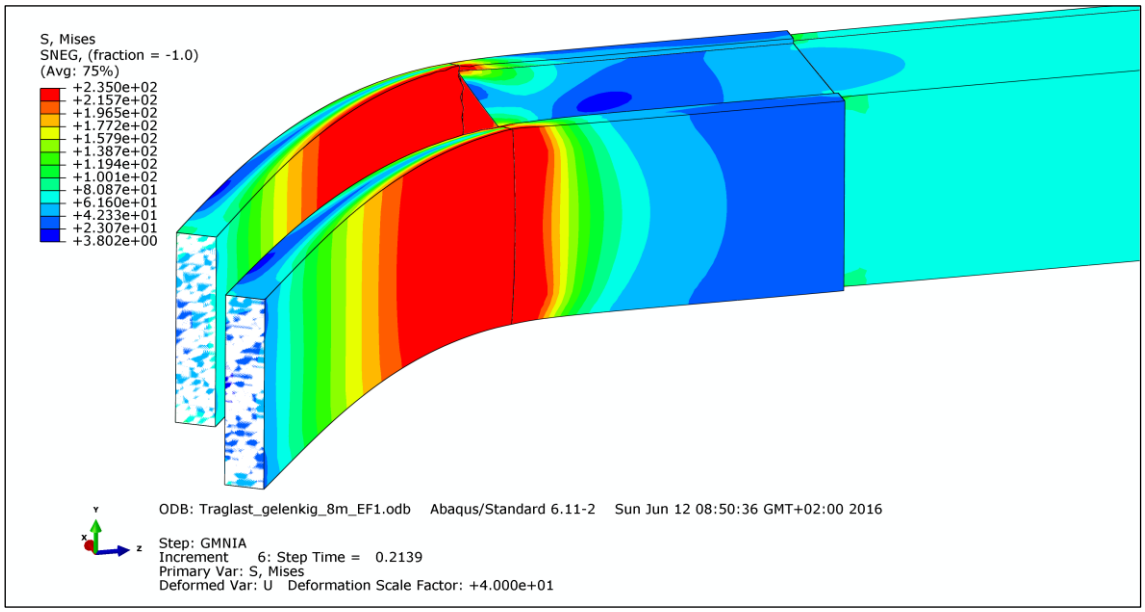


Abbildung 9-292: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





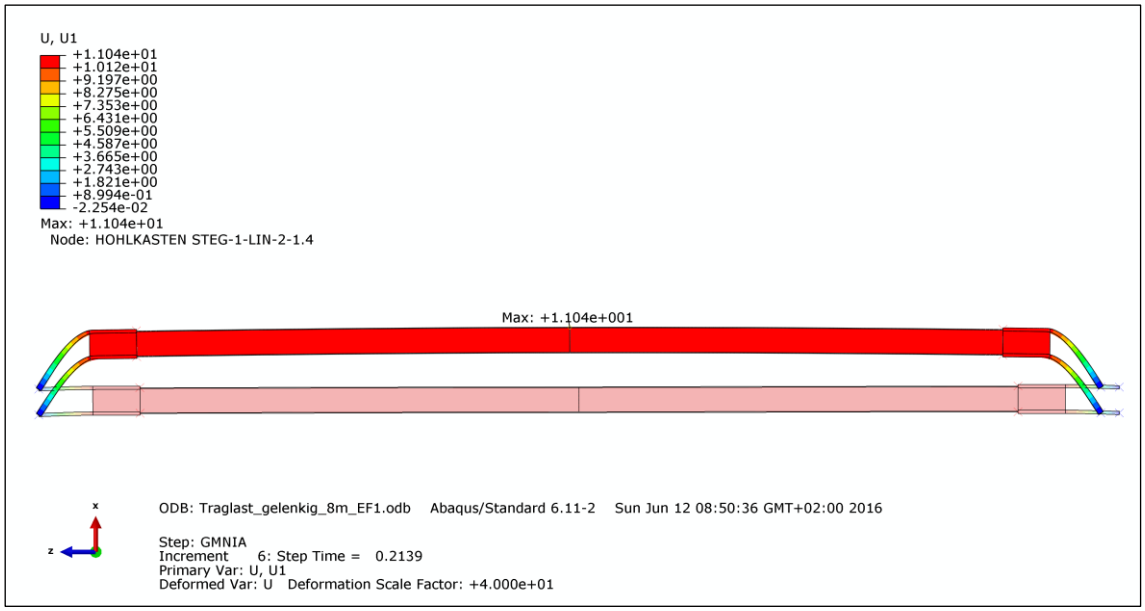
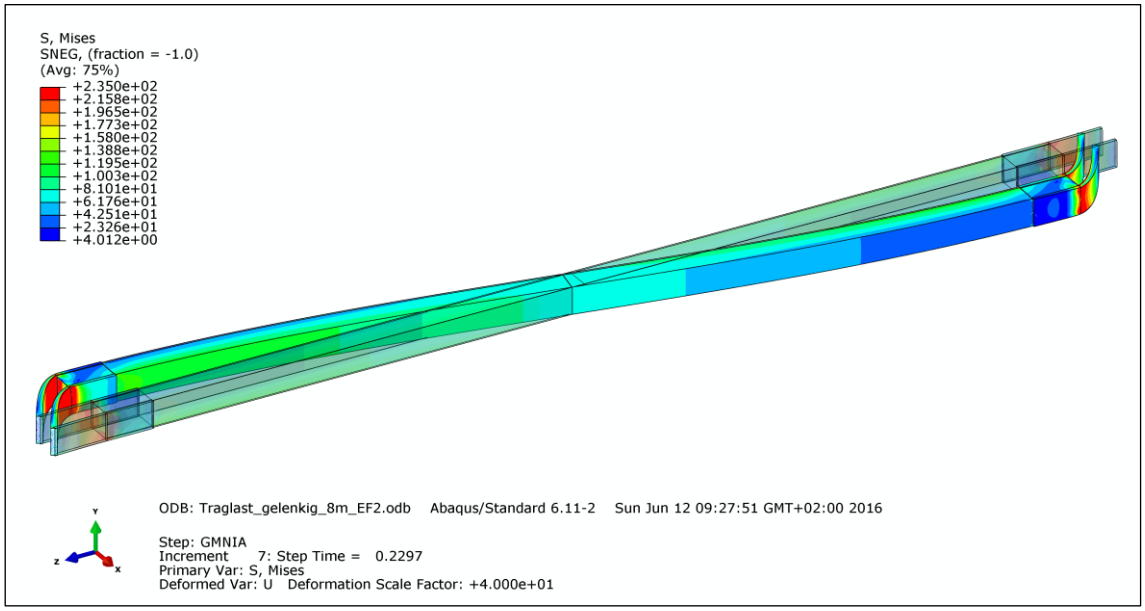
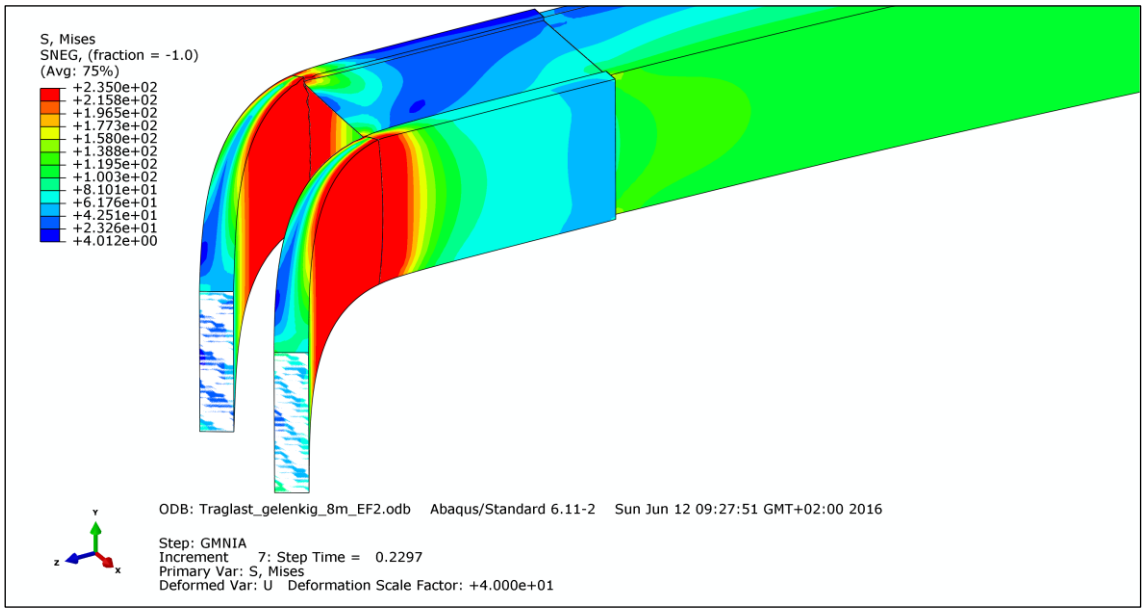


Abbildung 9-293: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





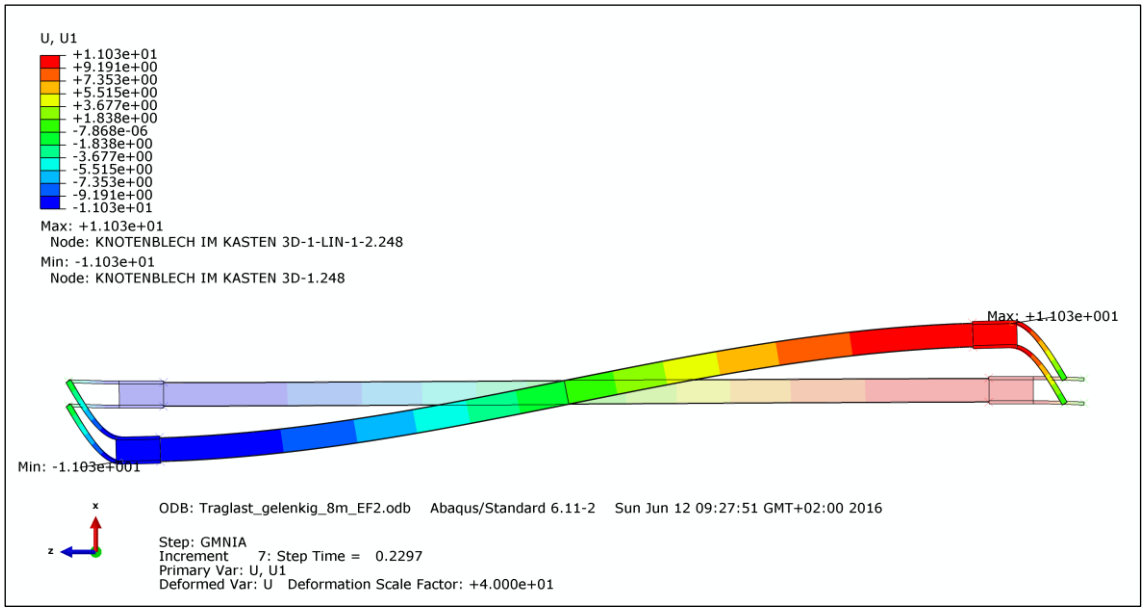
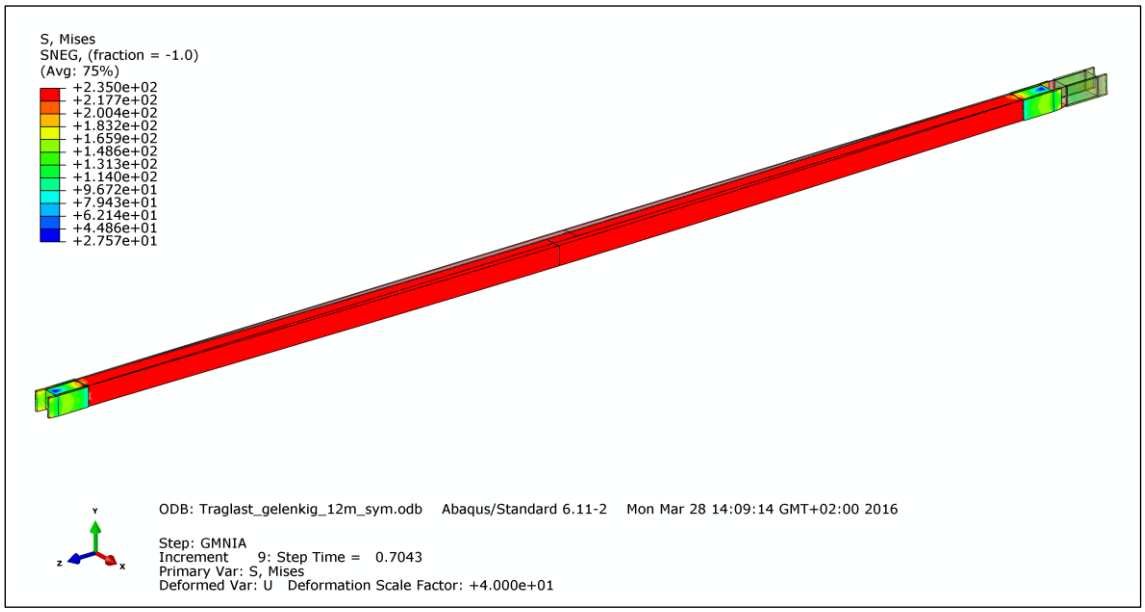
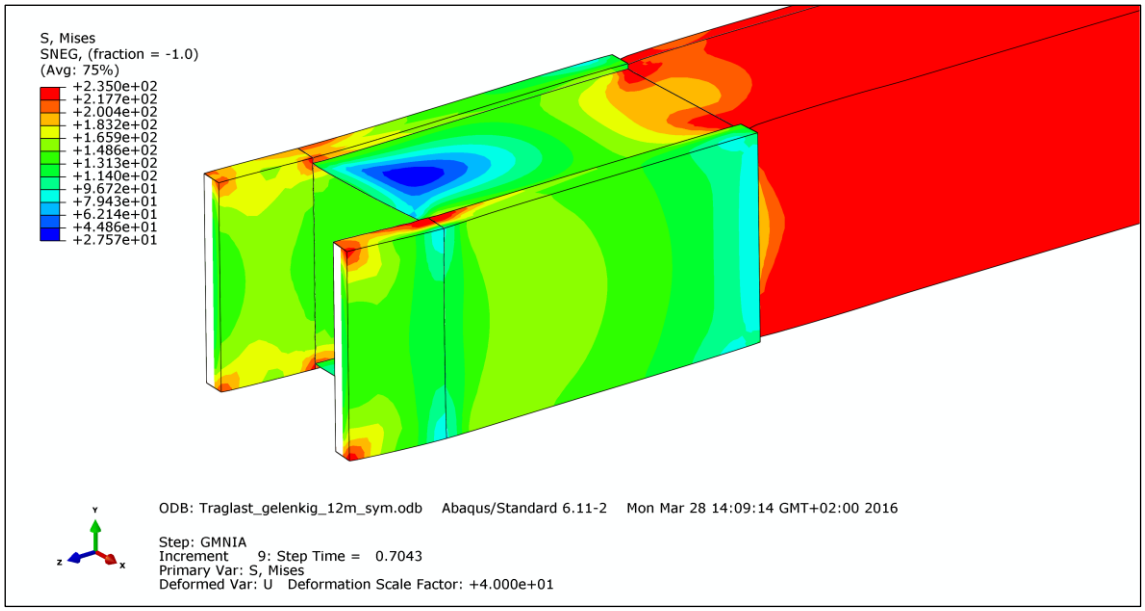


Abbildung 9-294: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm**





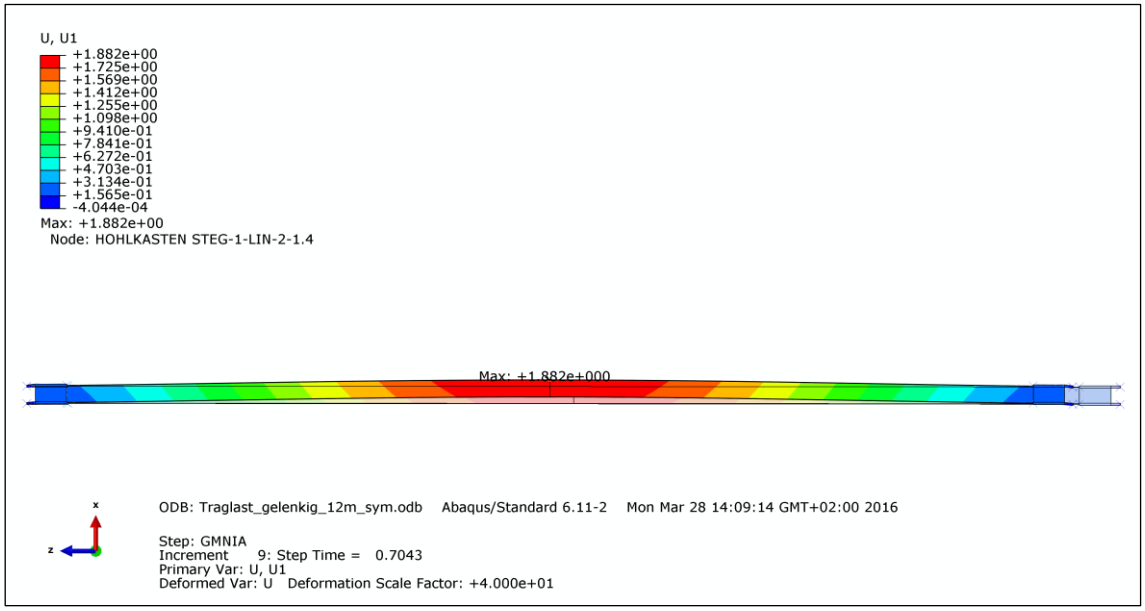
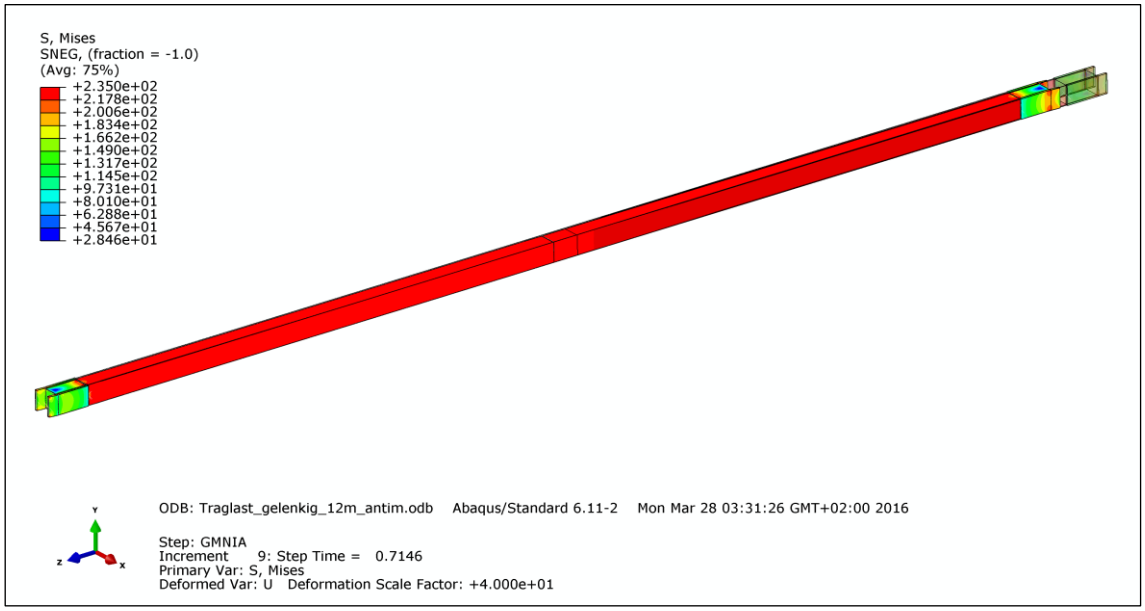
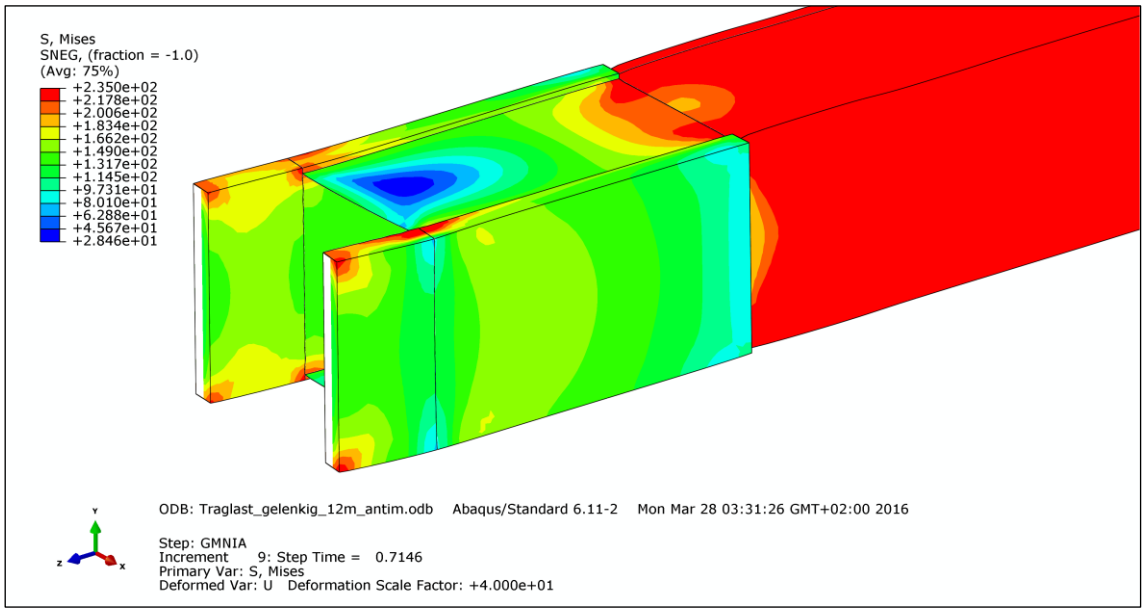


Abbildung 9-295: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





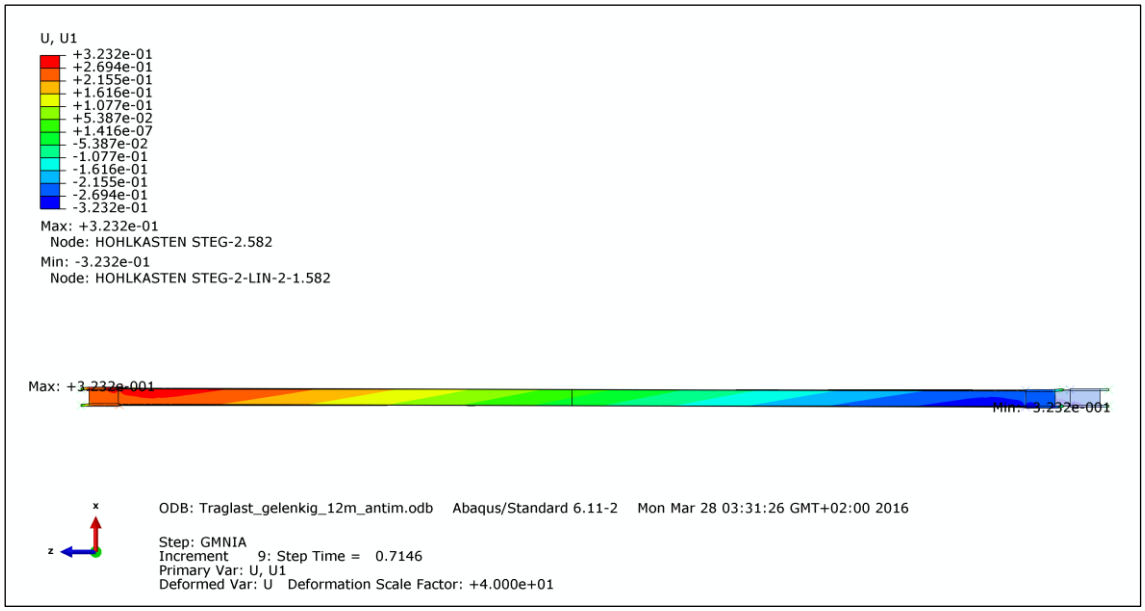


Abbildung 9-296: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)

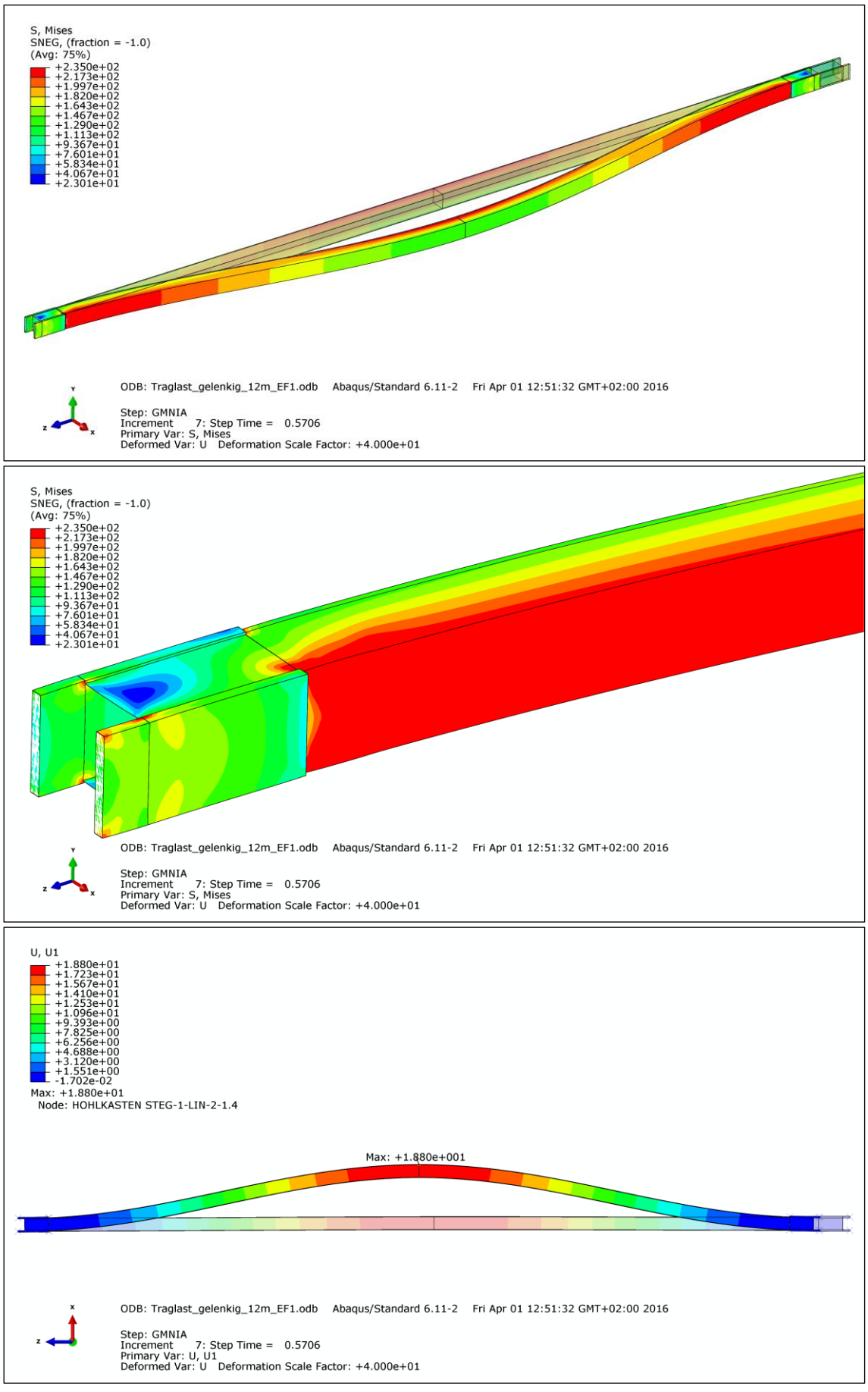
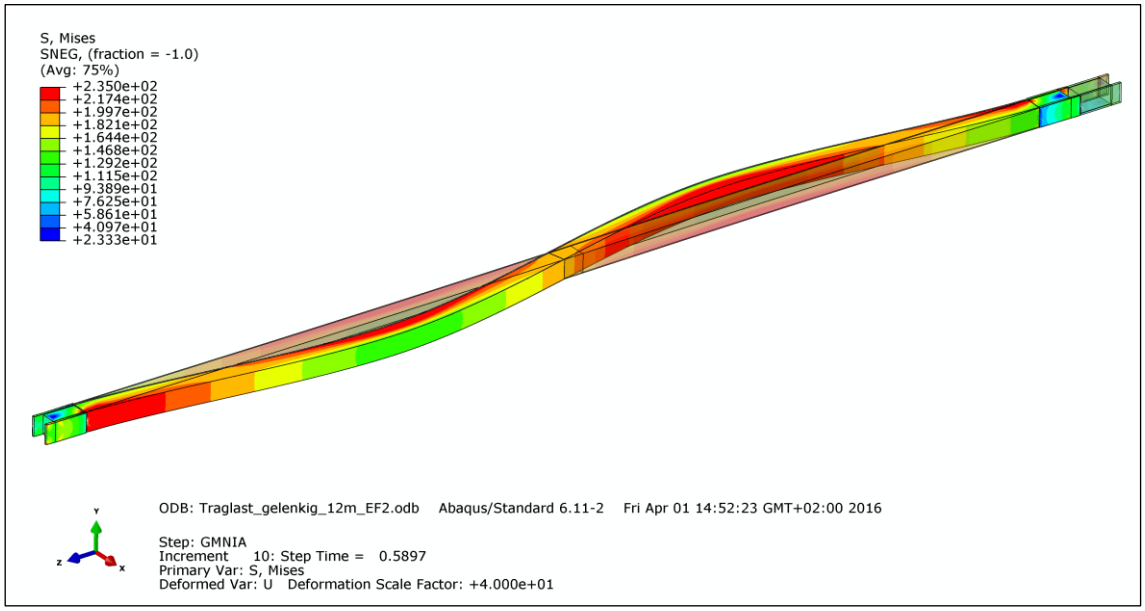
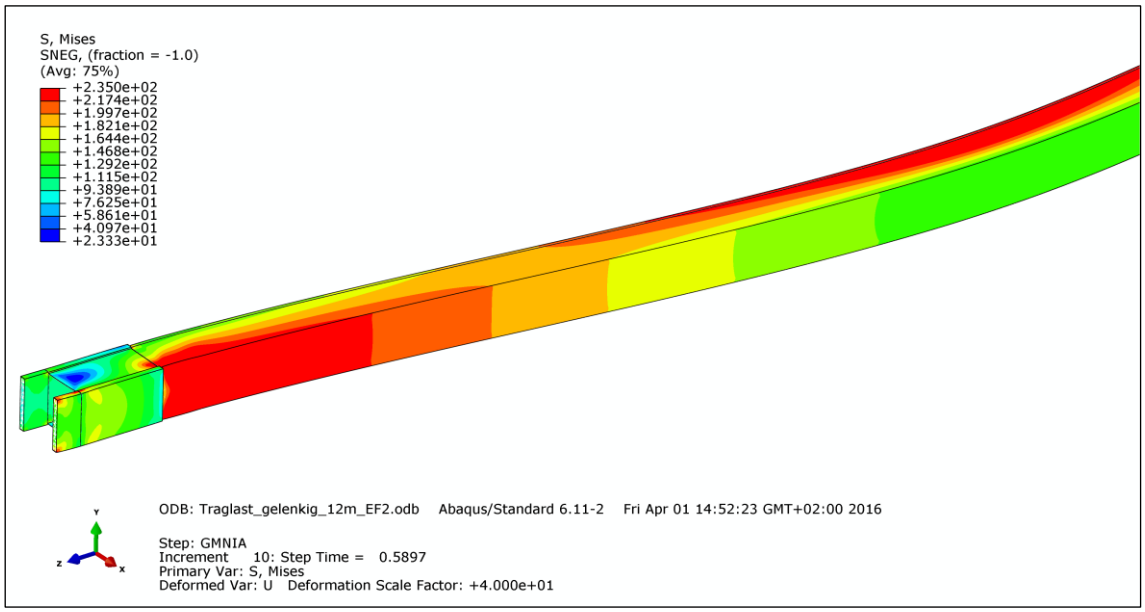


Abbildung 9-297: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





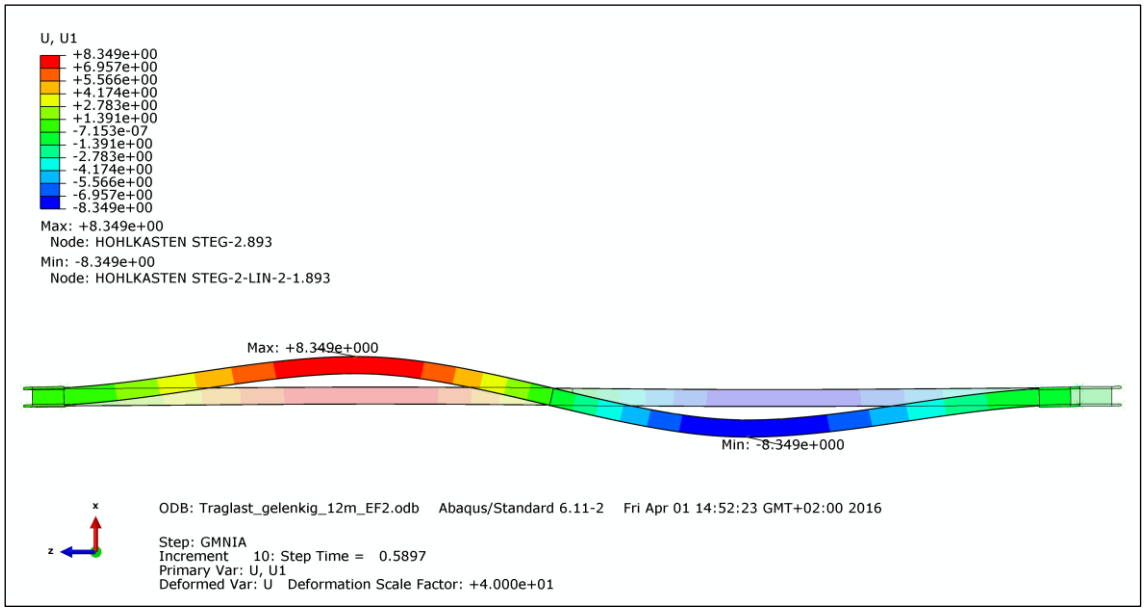


Abbildung 9-298: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

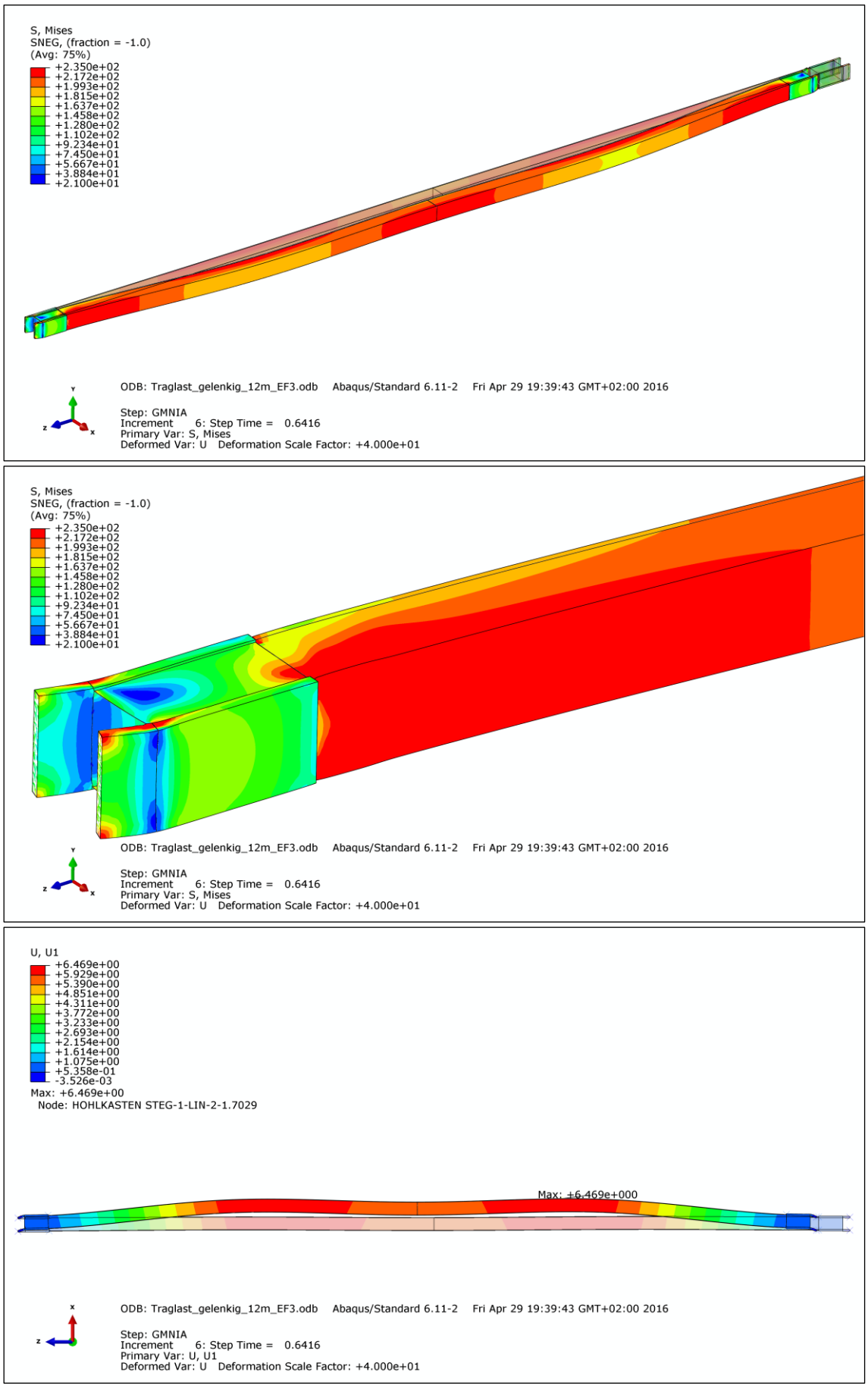
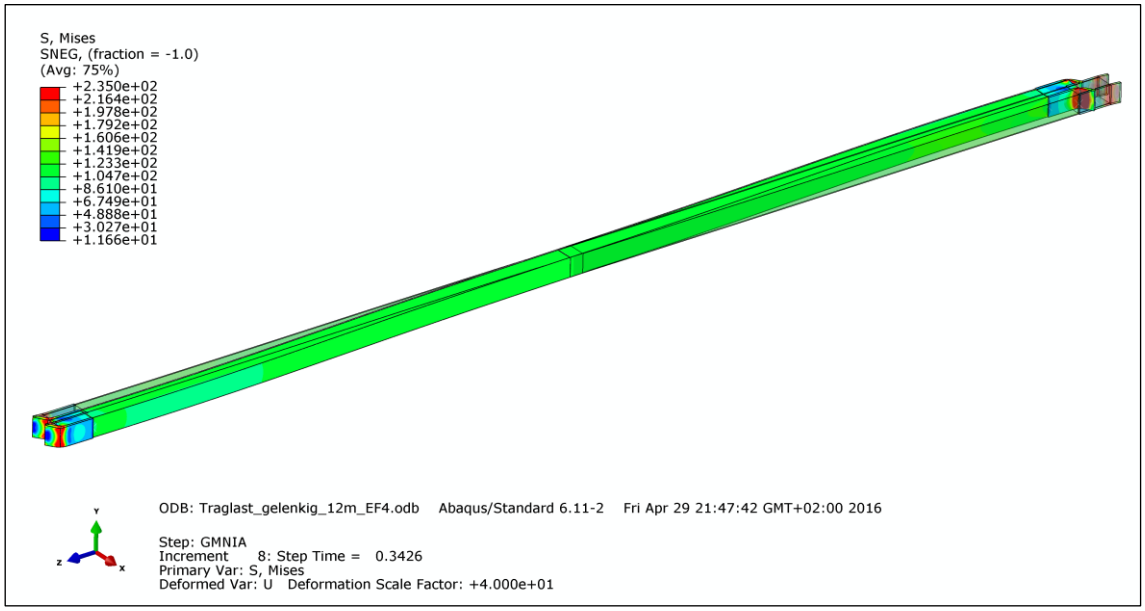
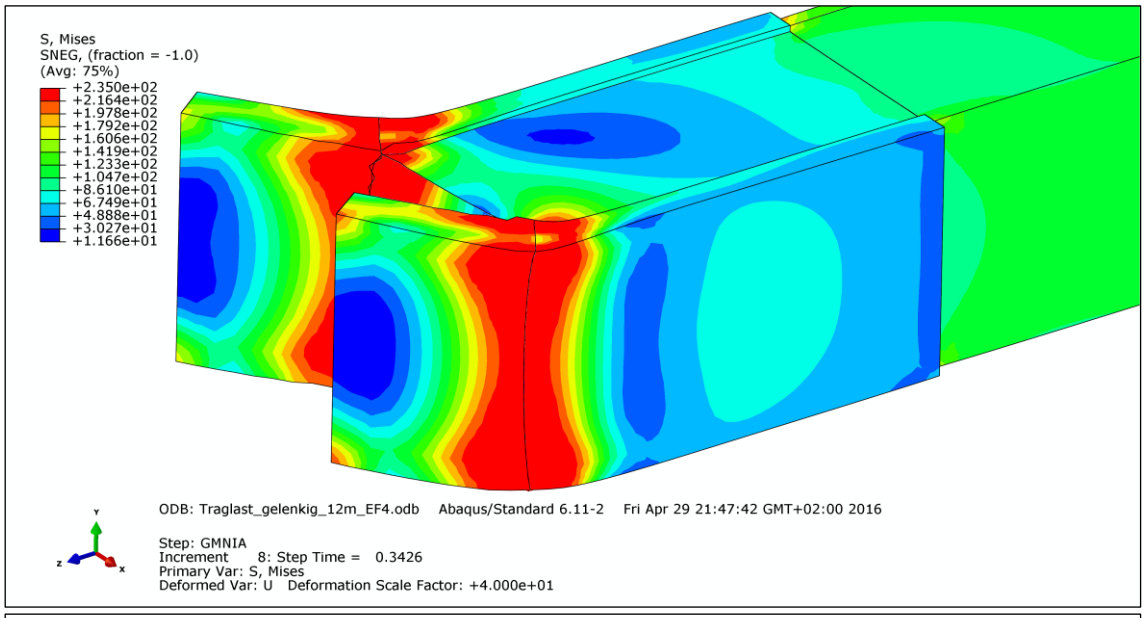


Abbildung 9-299: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





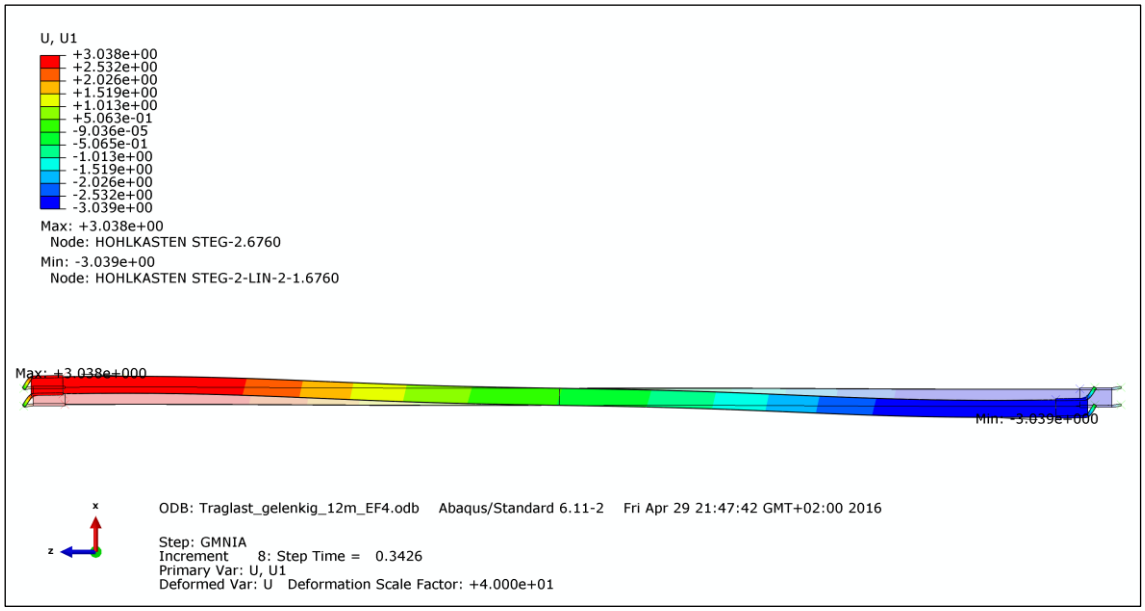
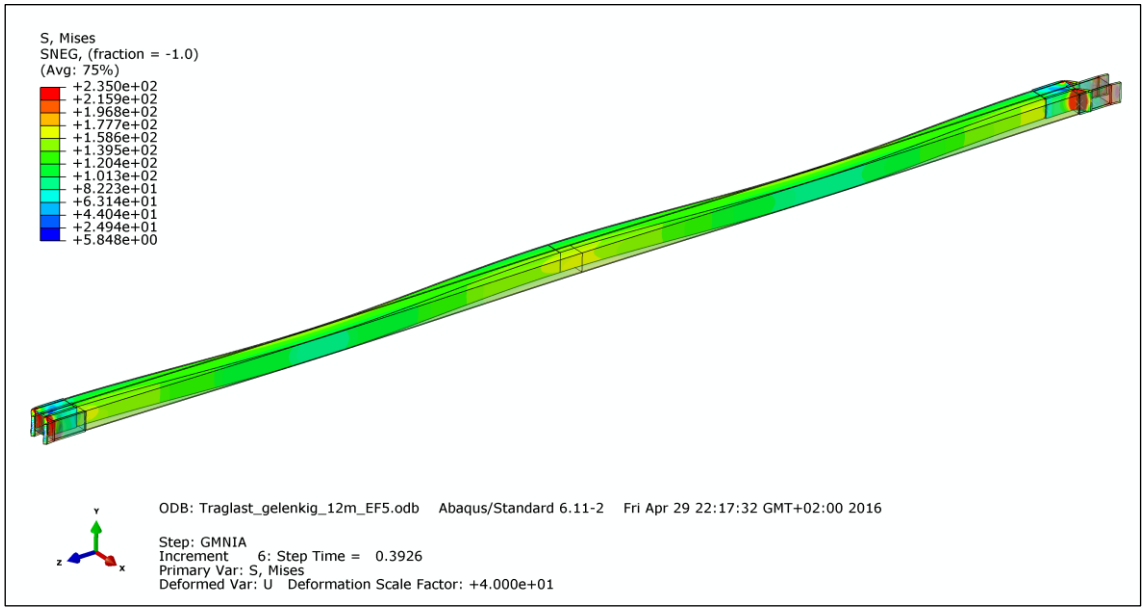
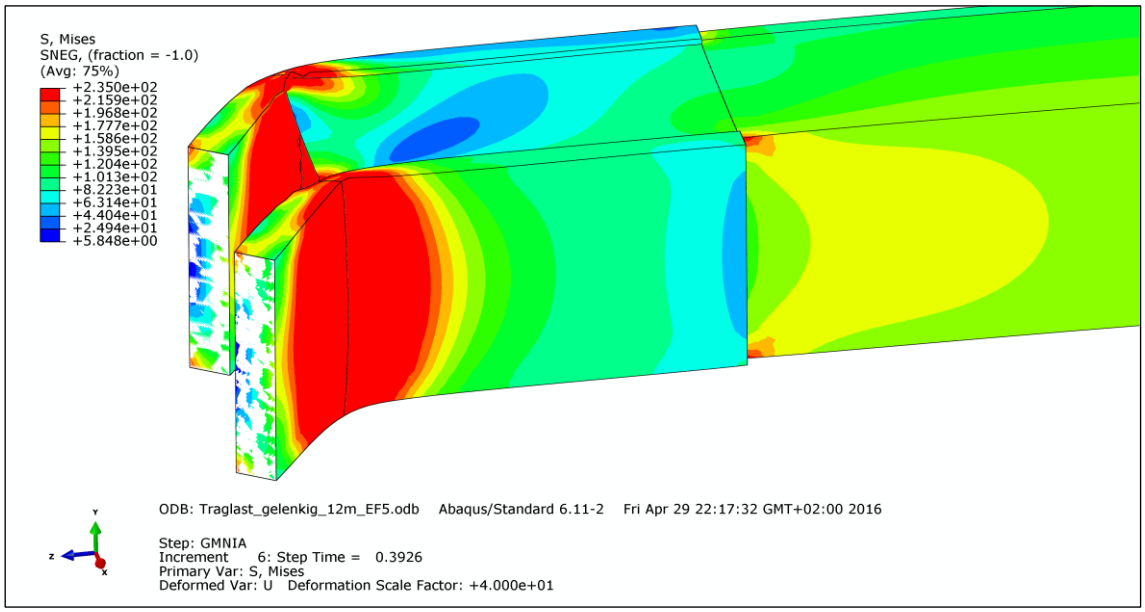


Abbildung 9-300: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4





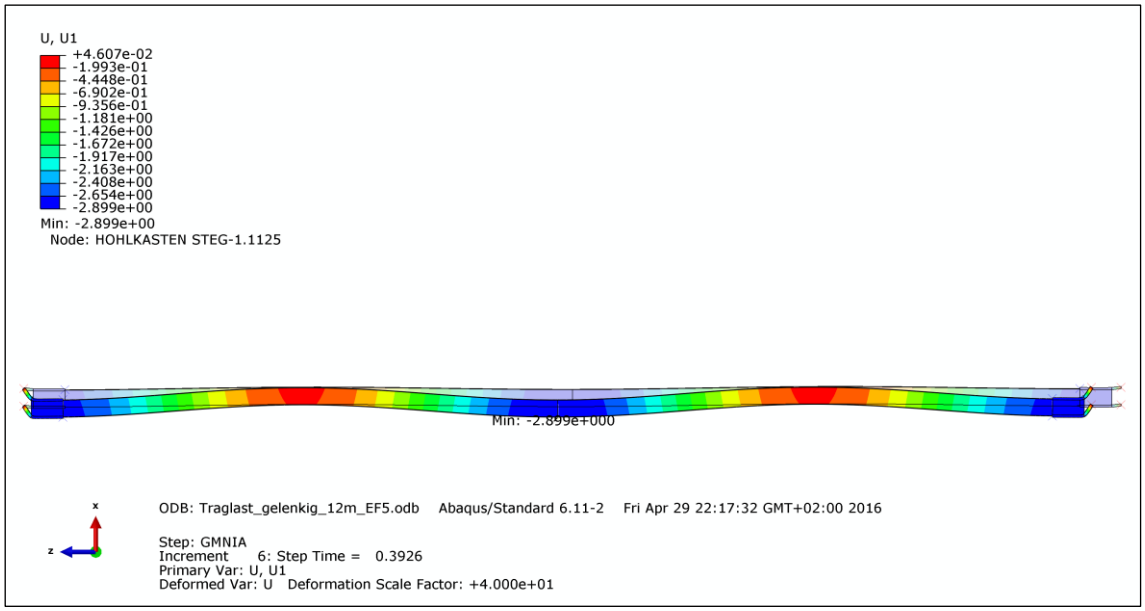
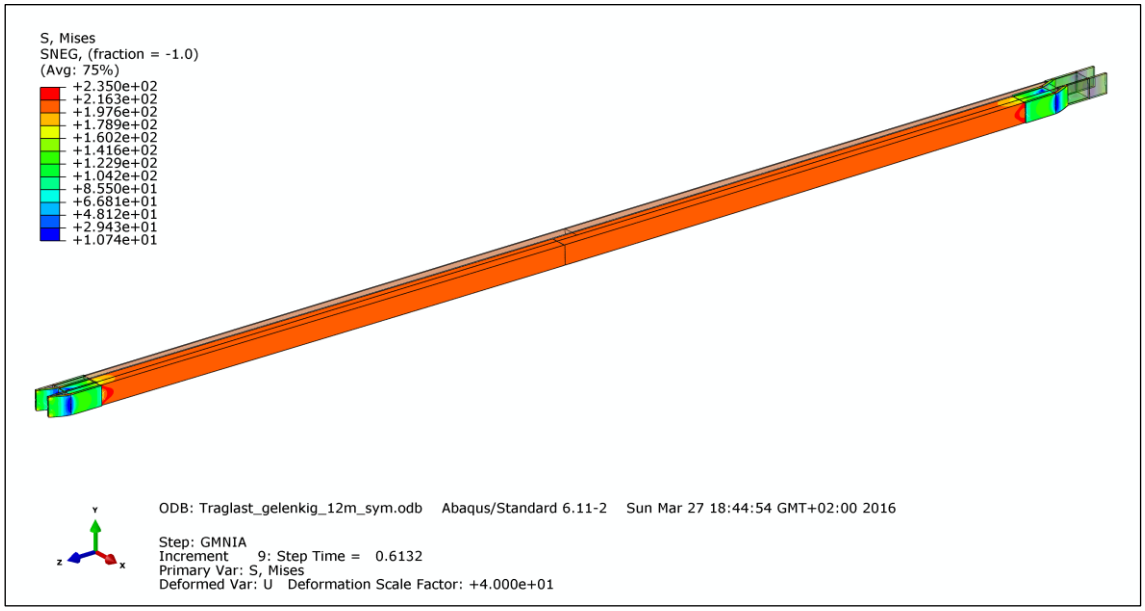
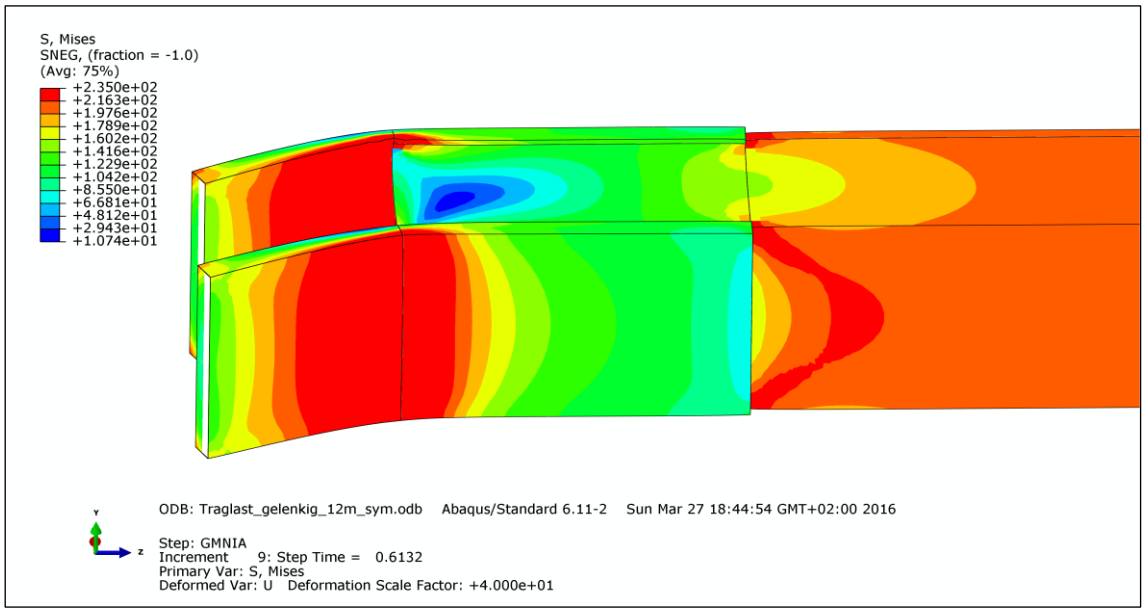


Abbildung 9-301: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5





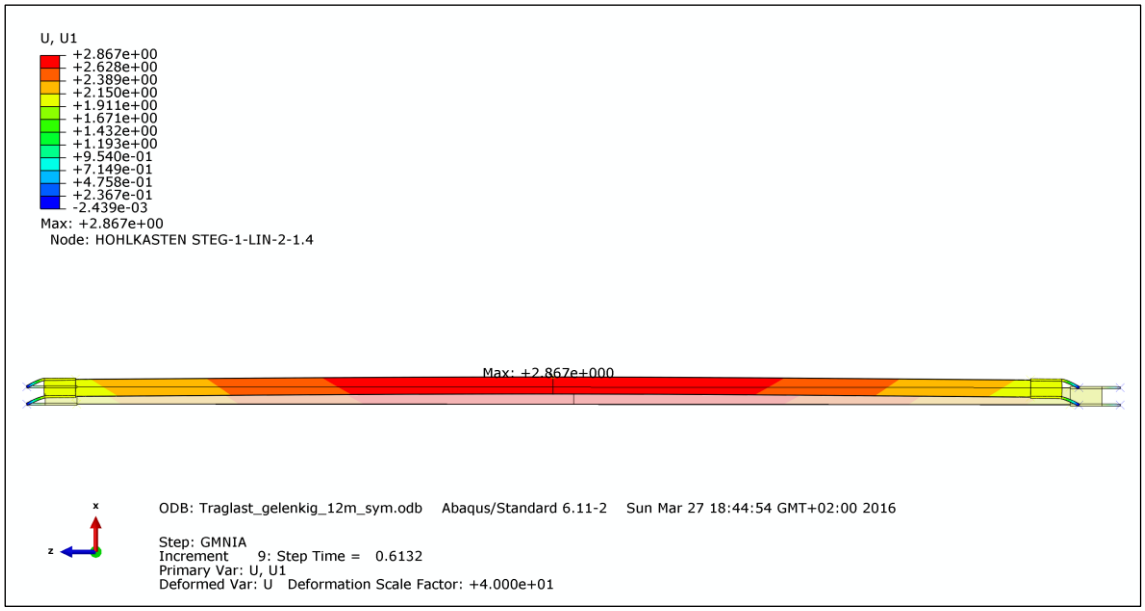
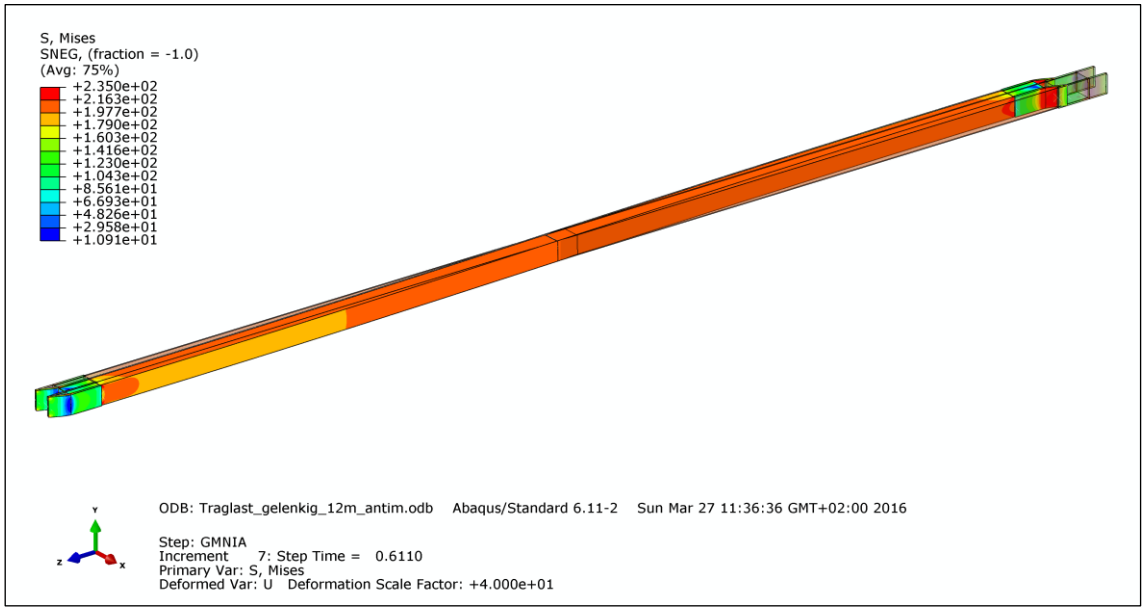
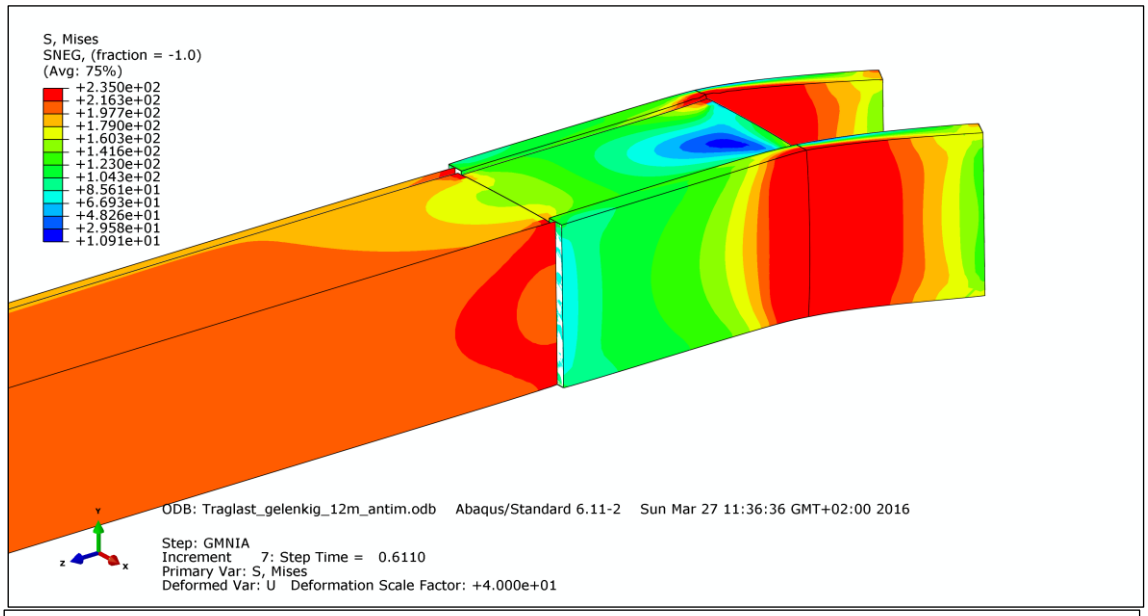


Abbildung 9-302: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





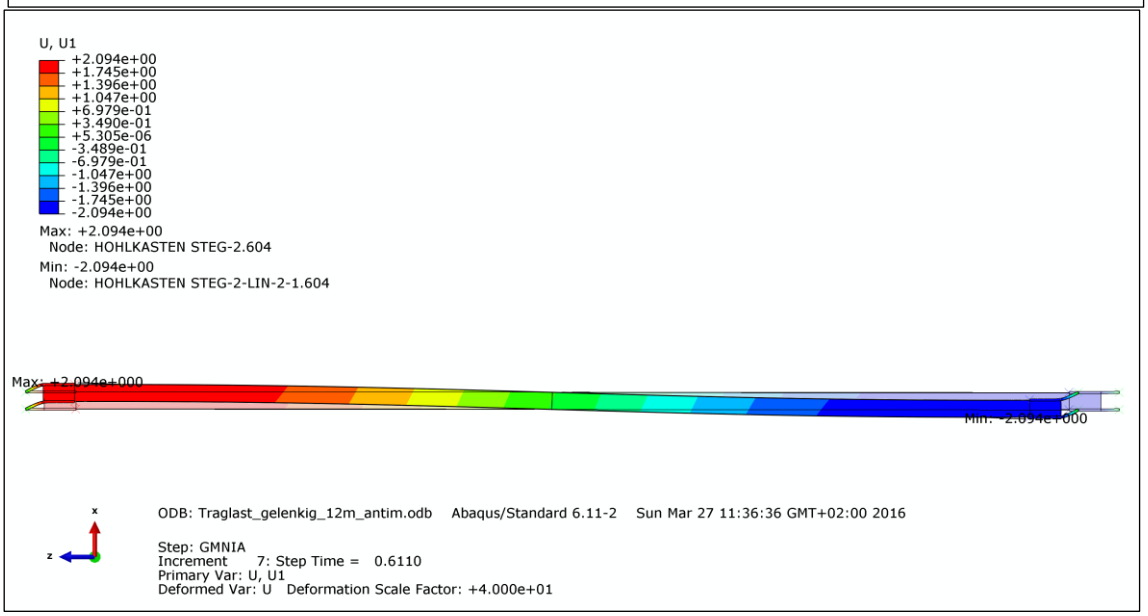
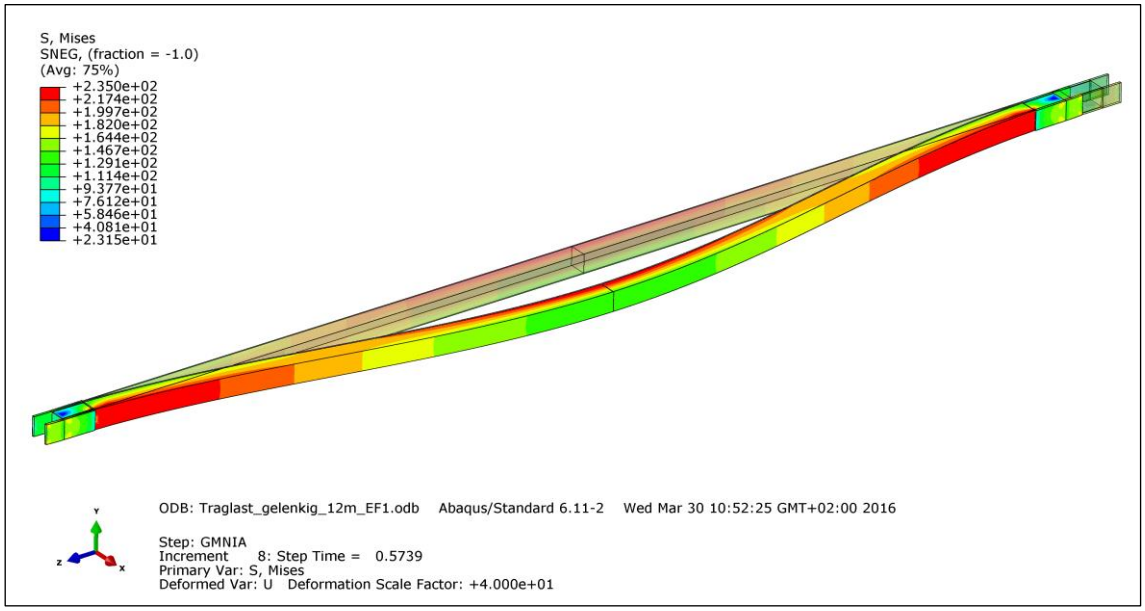
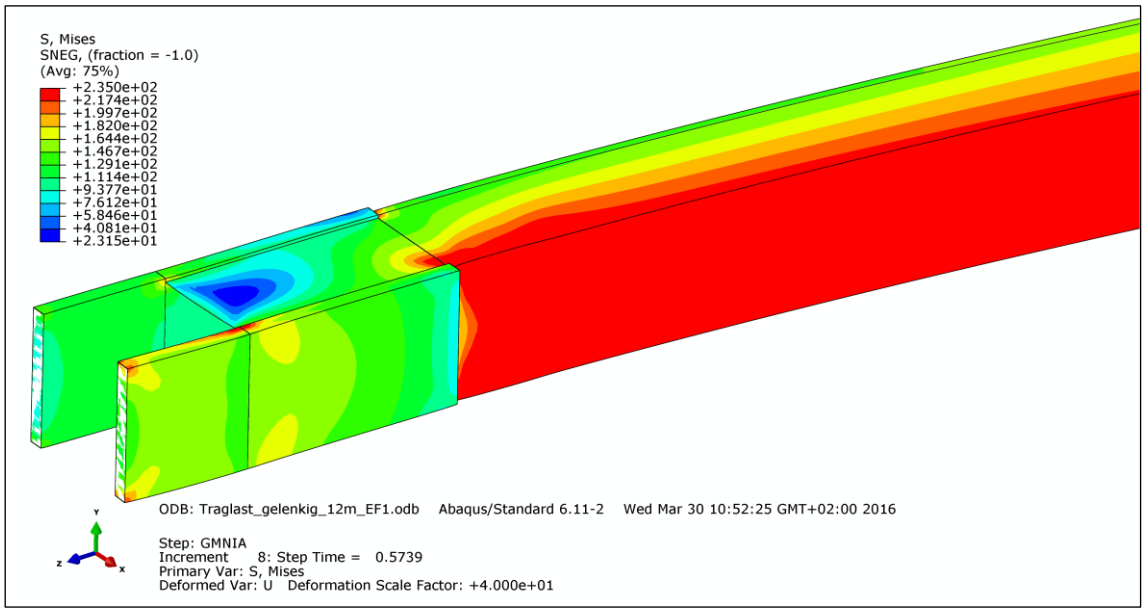


Abbildung 9-303: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





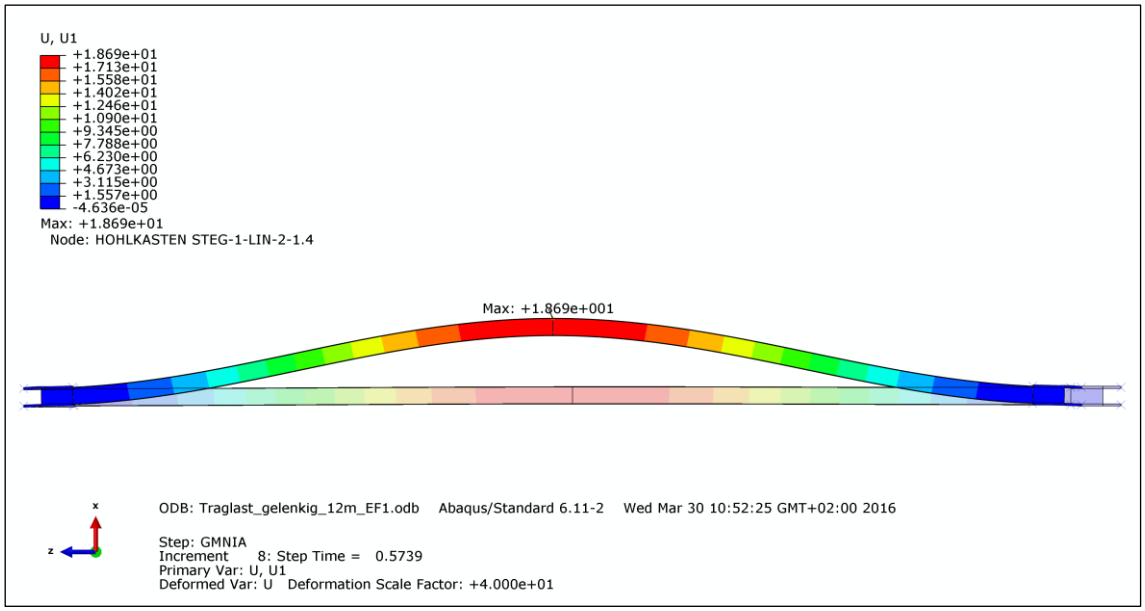


Abbildung 9-304: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1

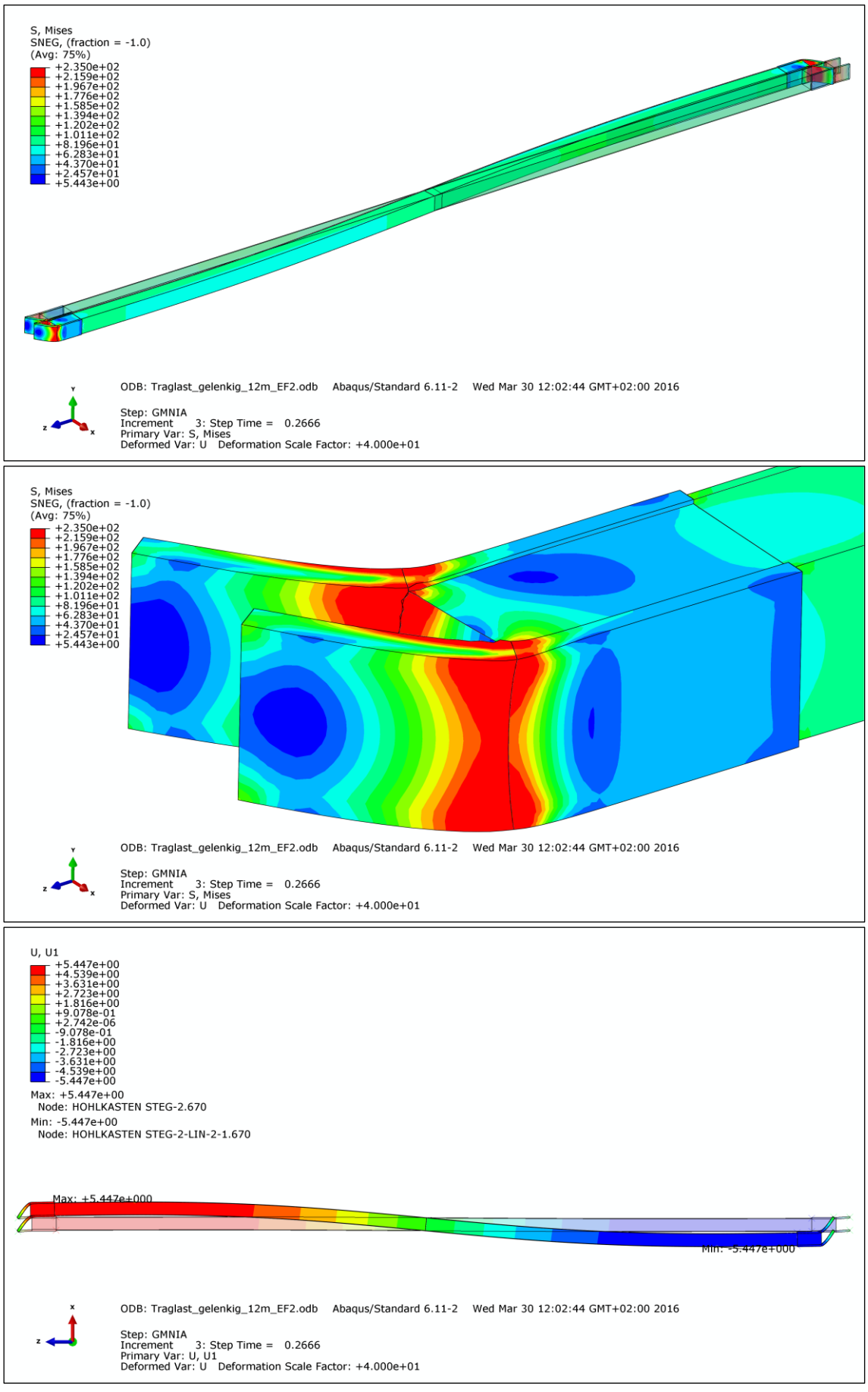
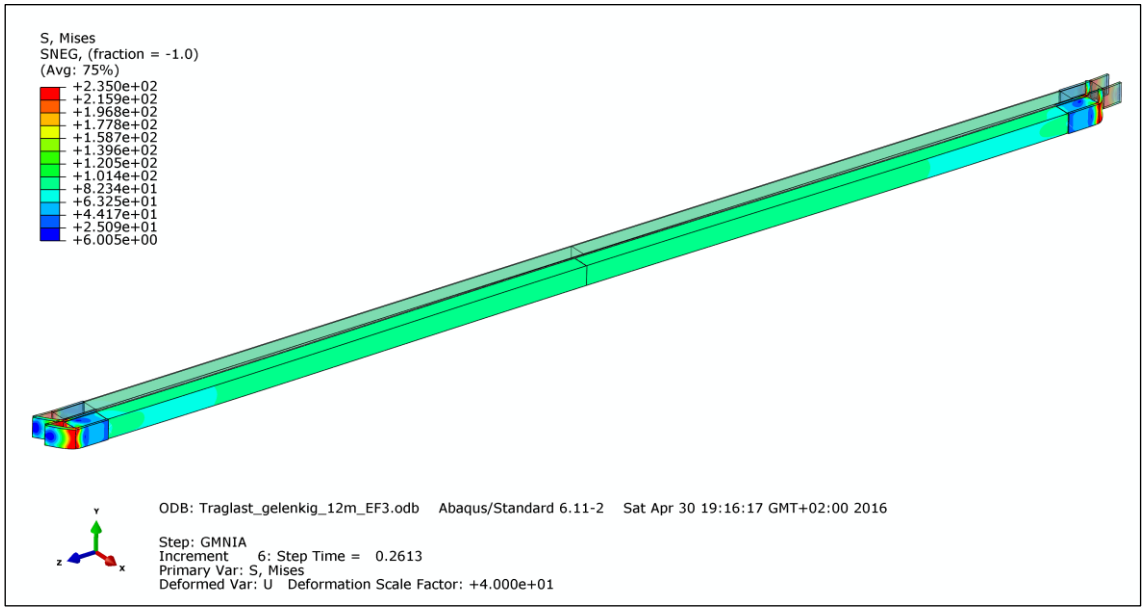
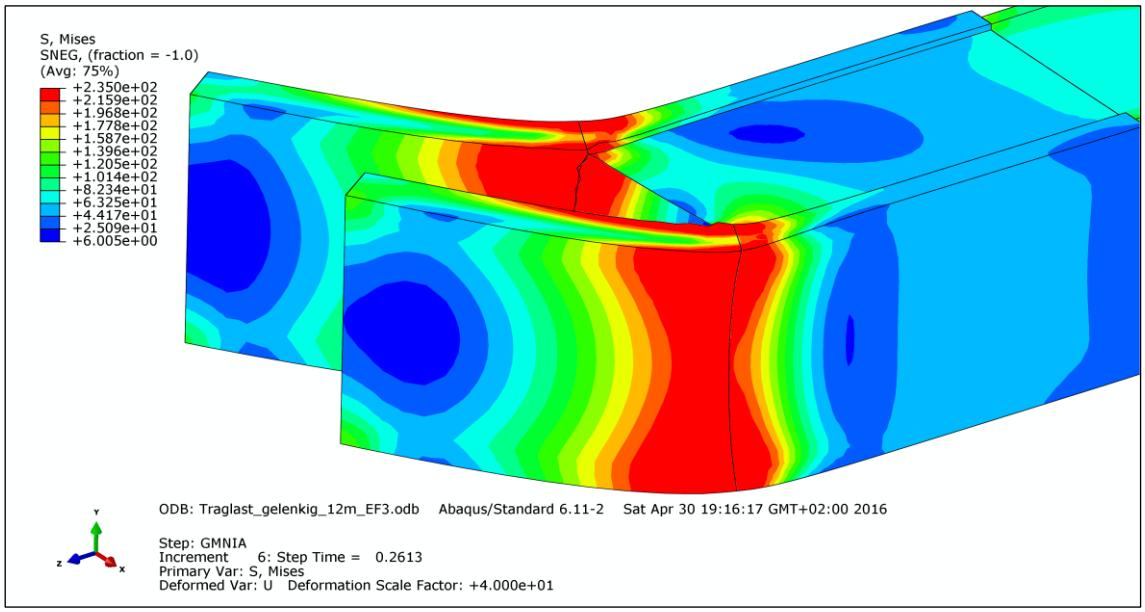


Abbildung 9-305: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





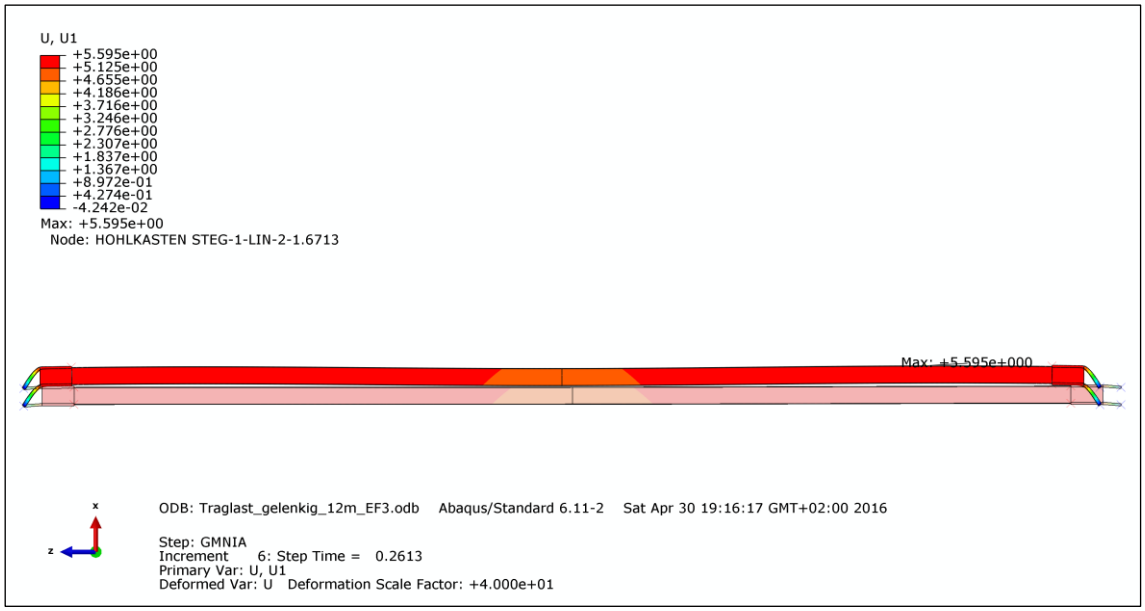


Abbildung 9-306: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3

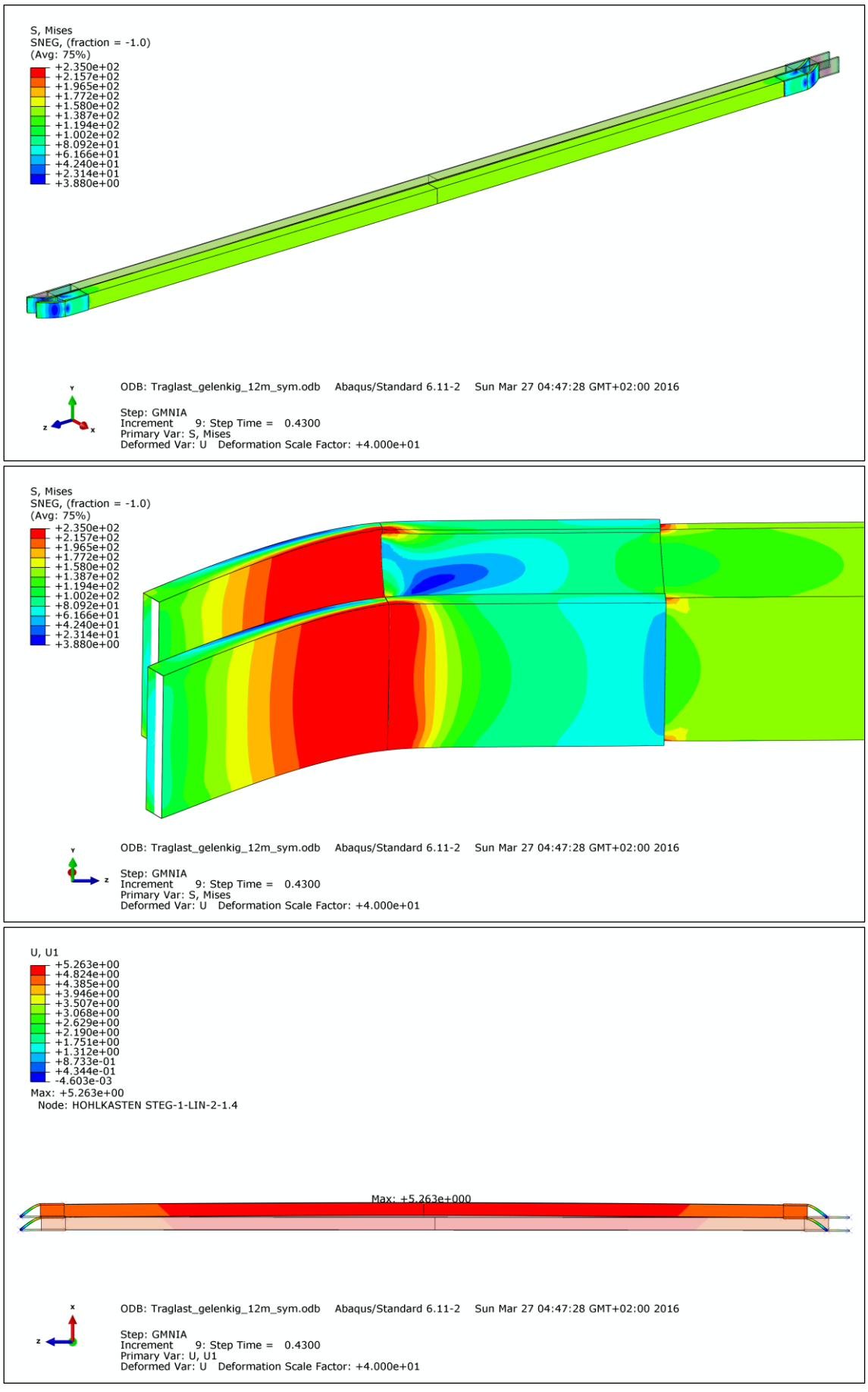
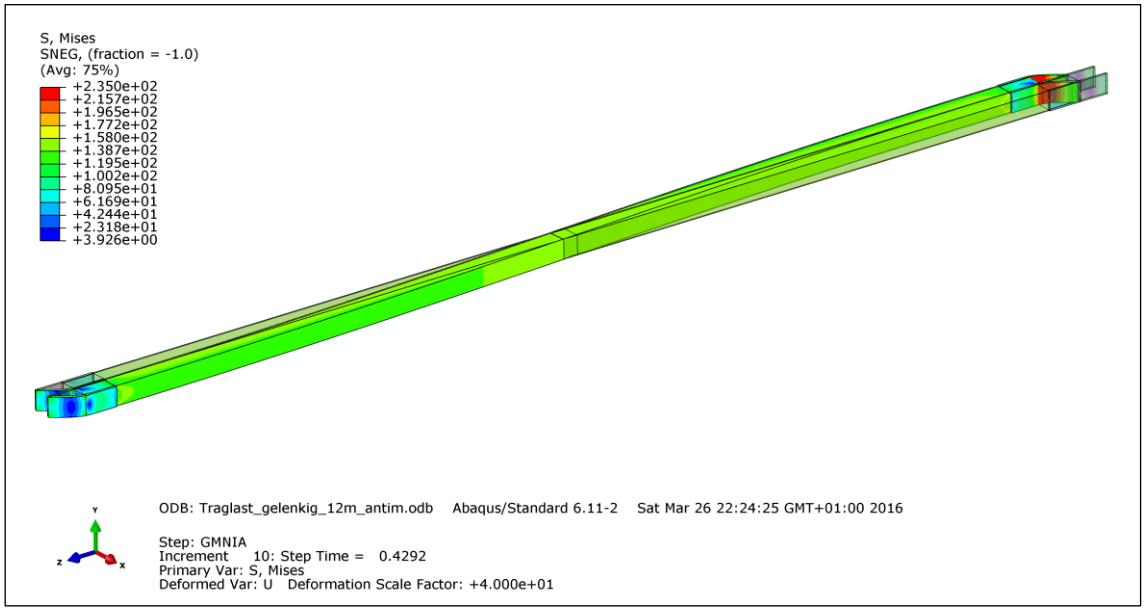
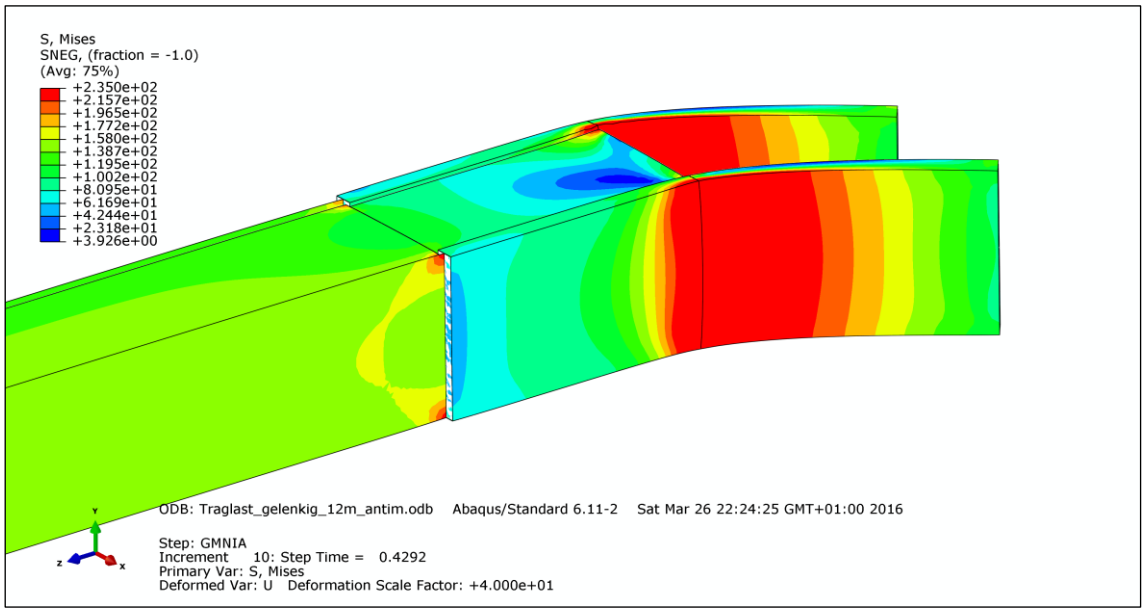


Abbildung 9-307: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





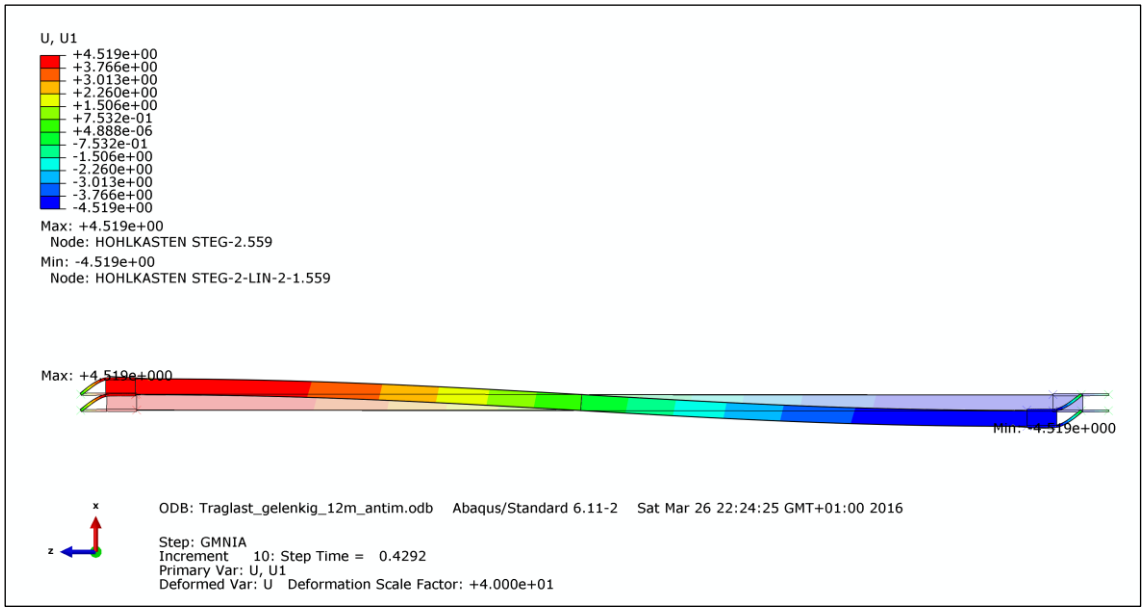
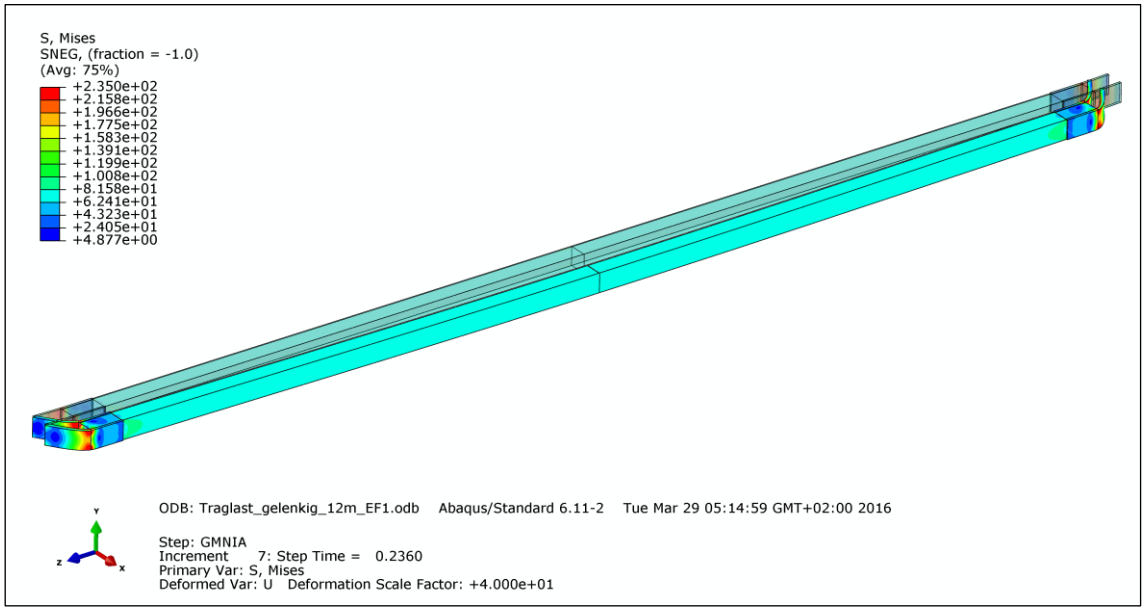
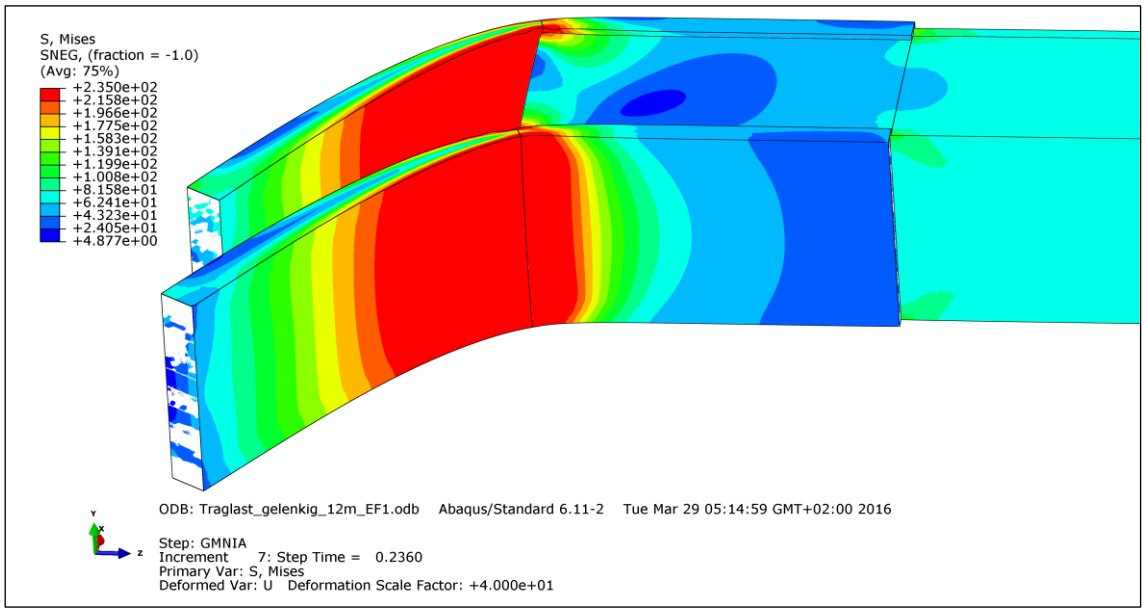


Abbildung 9-308: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





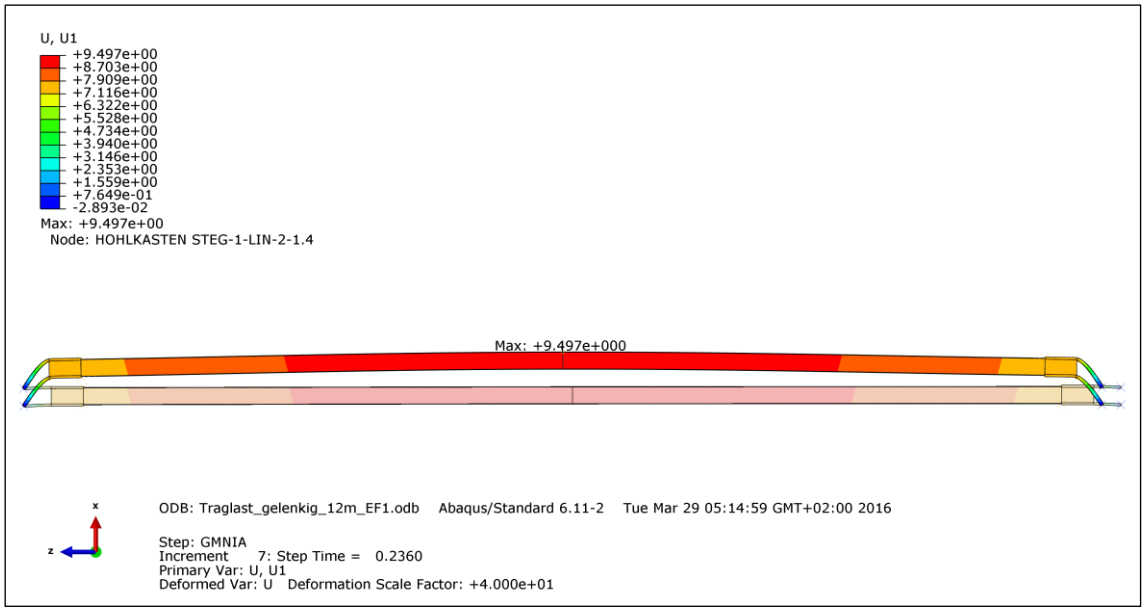
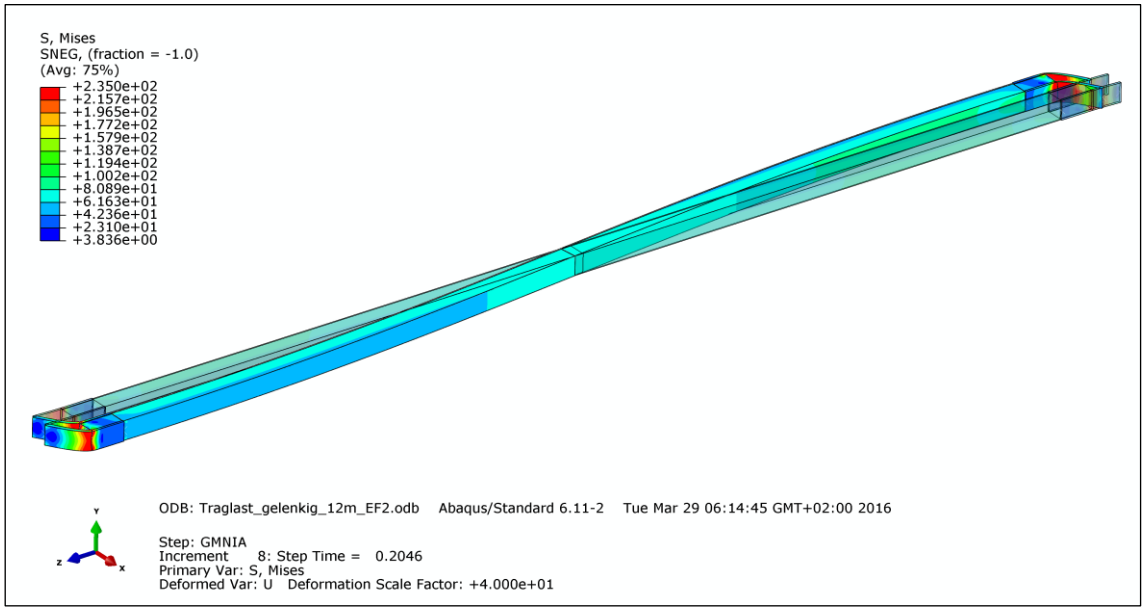
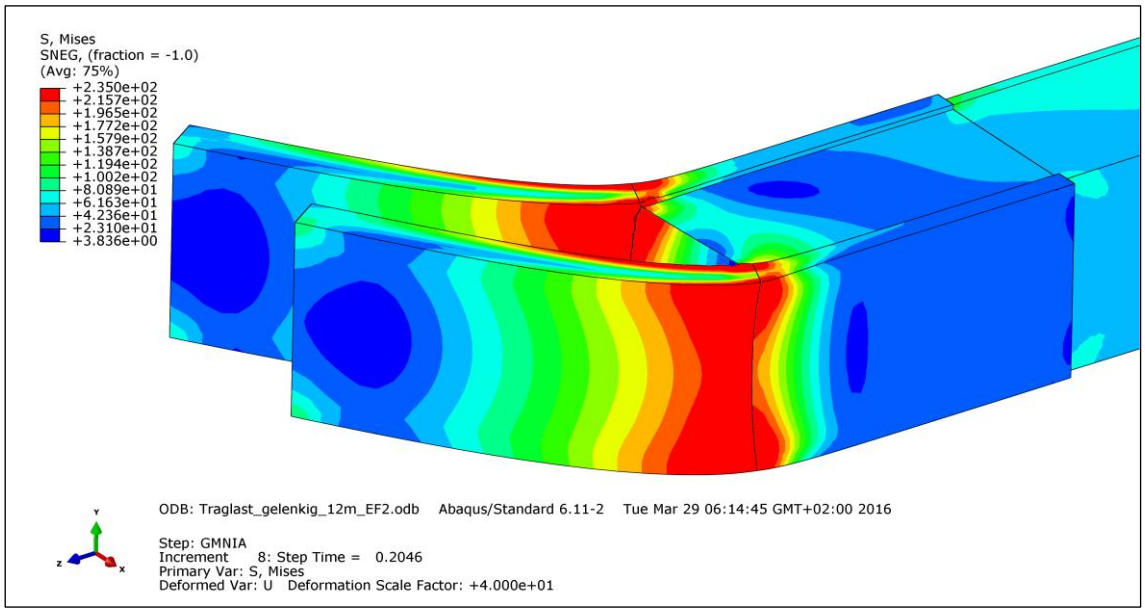


Abbildung 9-309: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





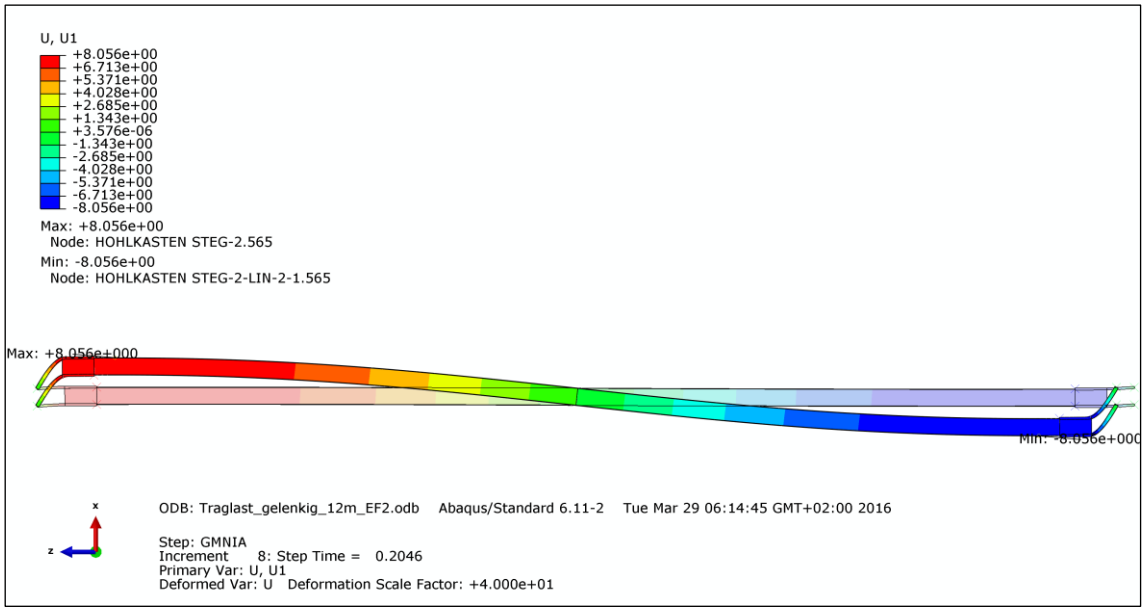
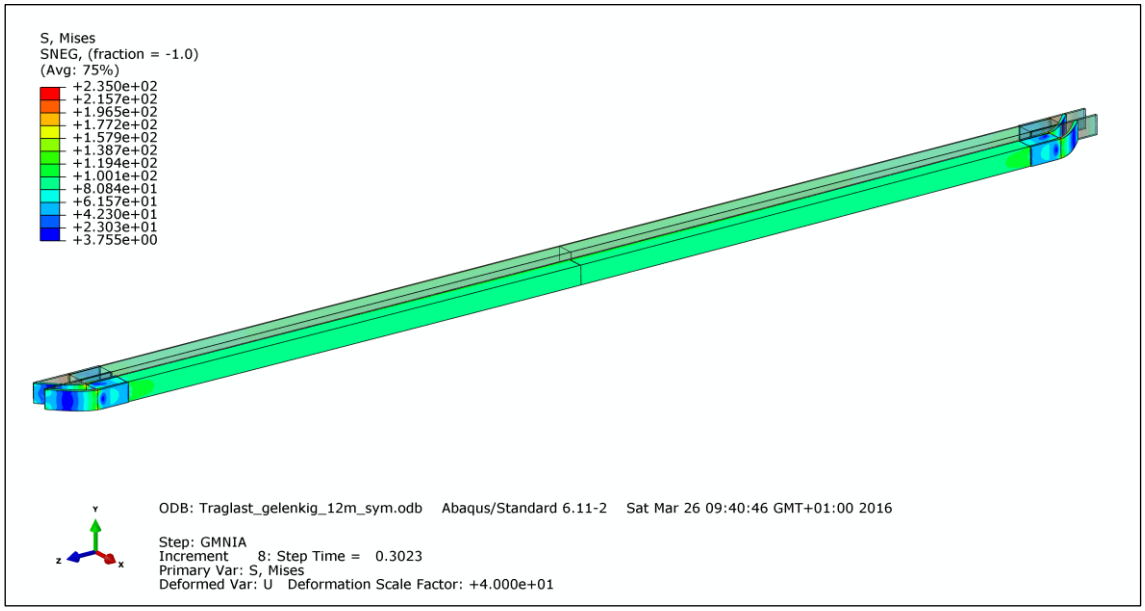
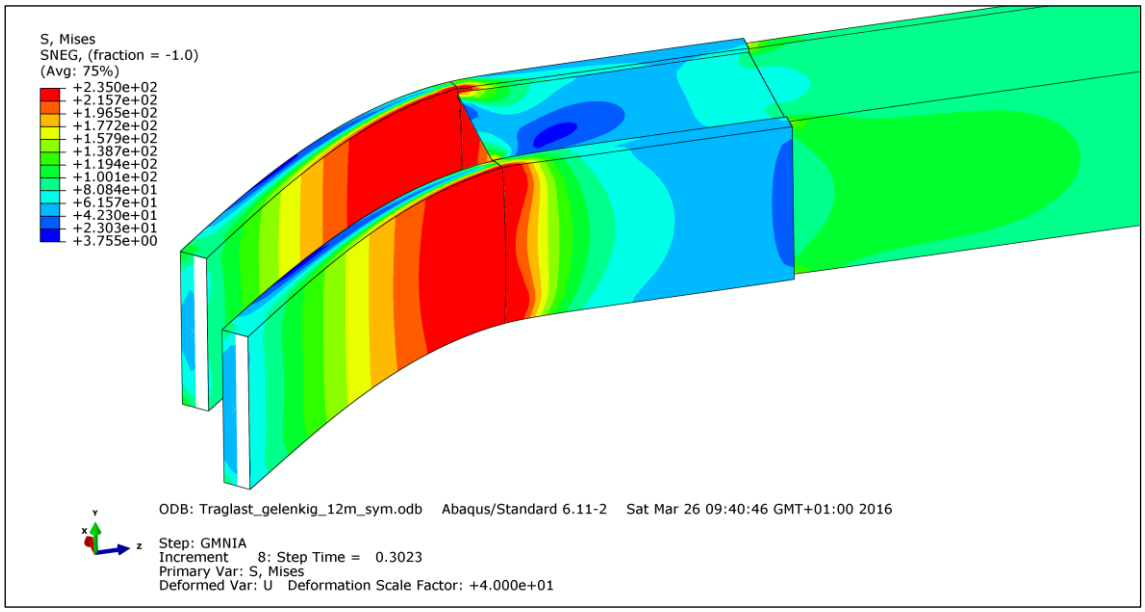


Abbildung 9-310: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





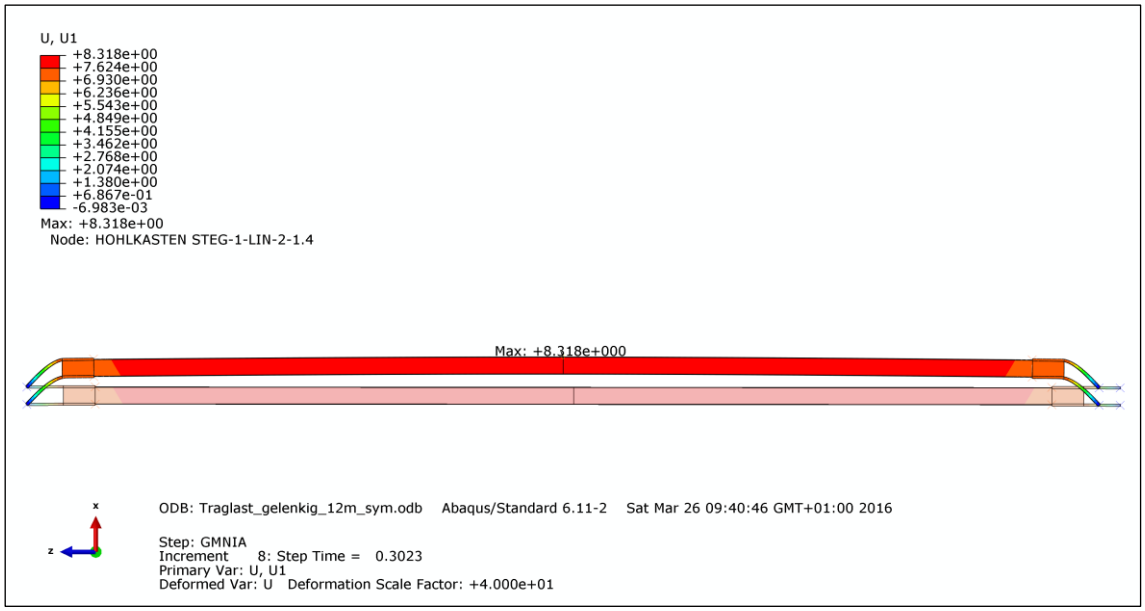
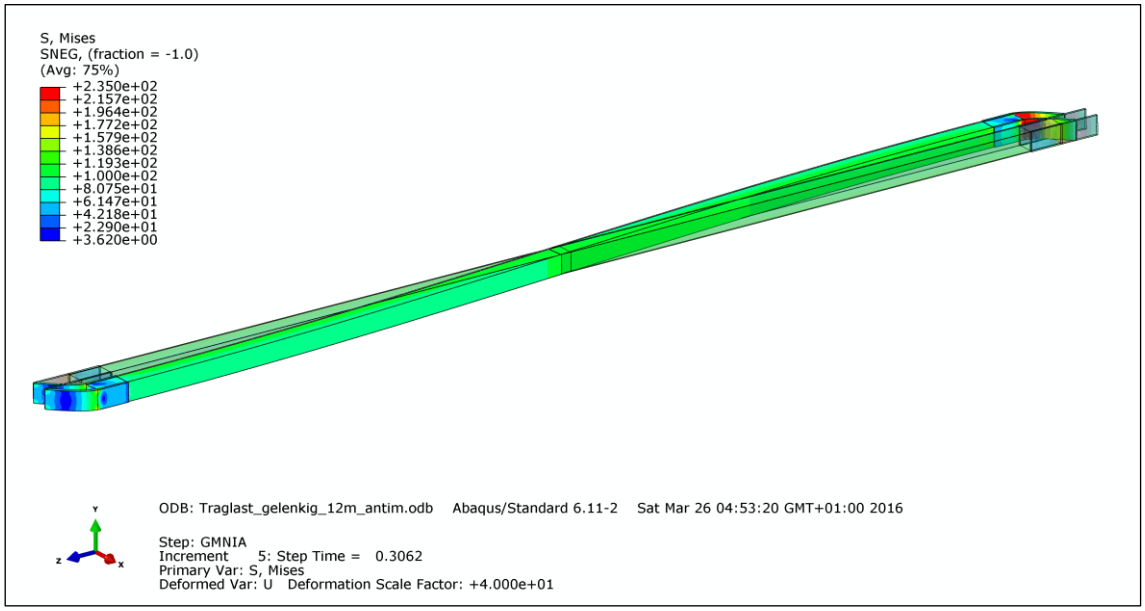
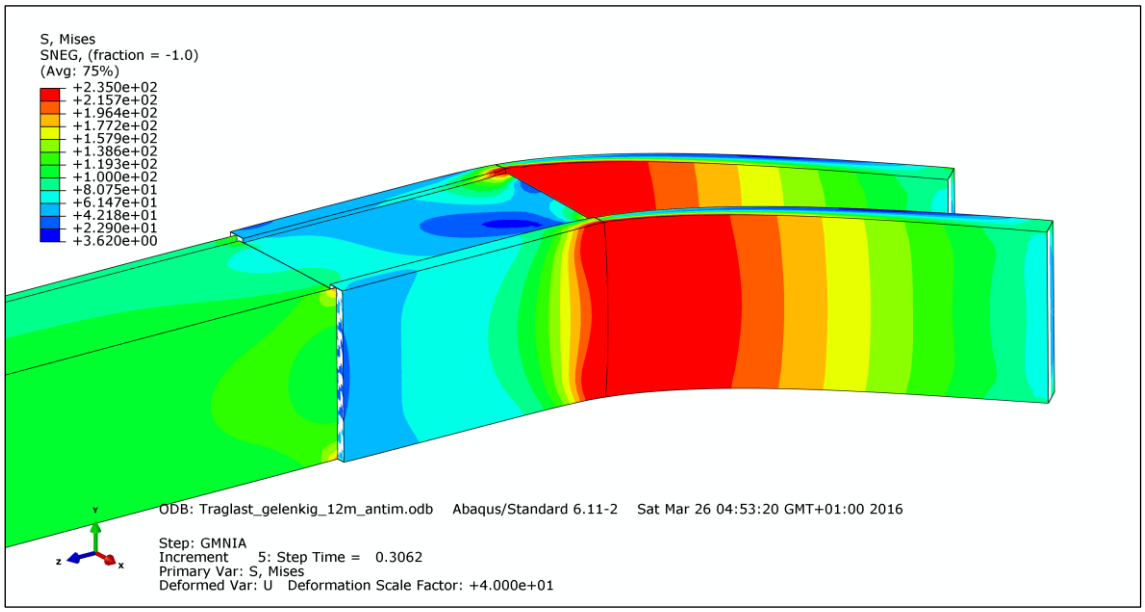


Abbildung 9-311: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





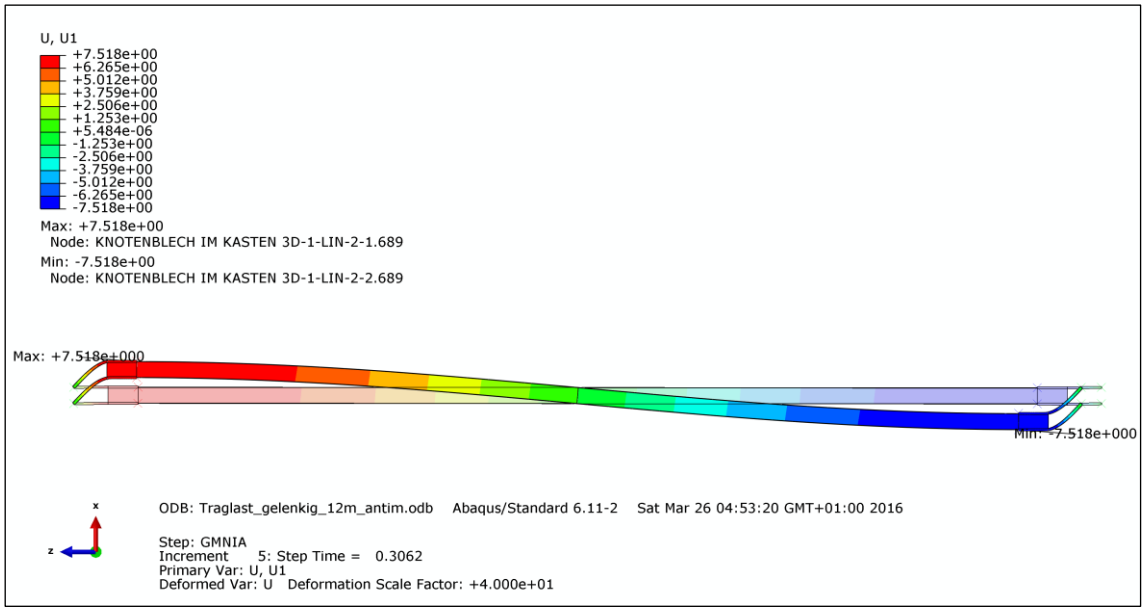
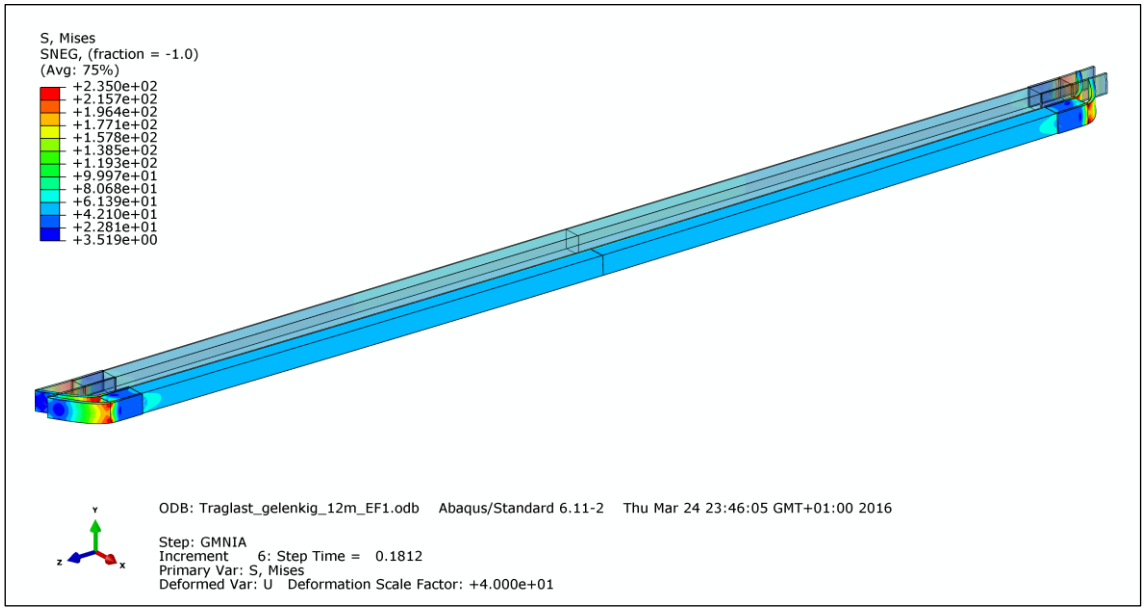
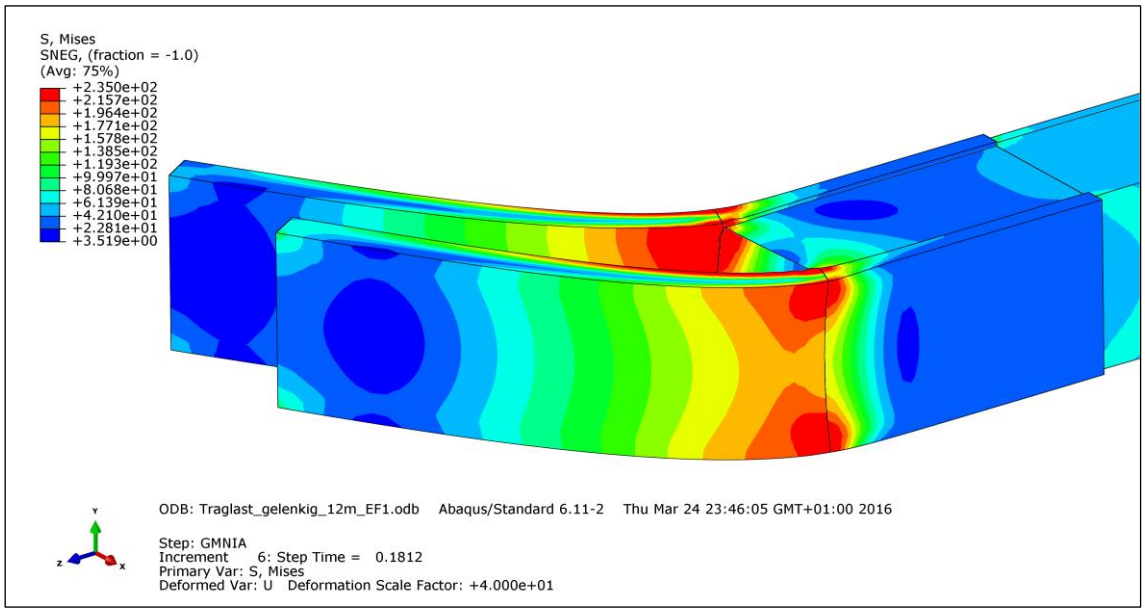


Abbildung 9-312: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





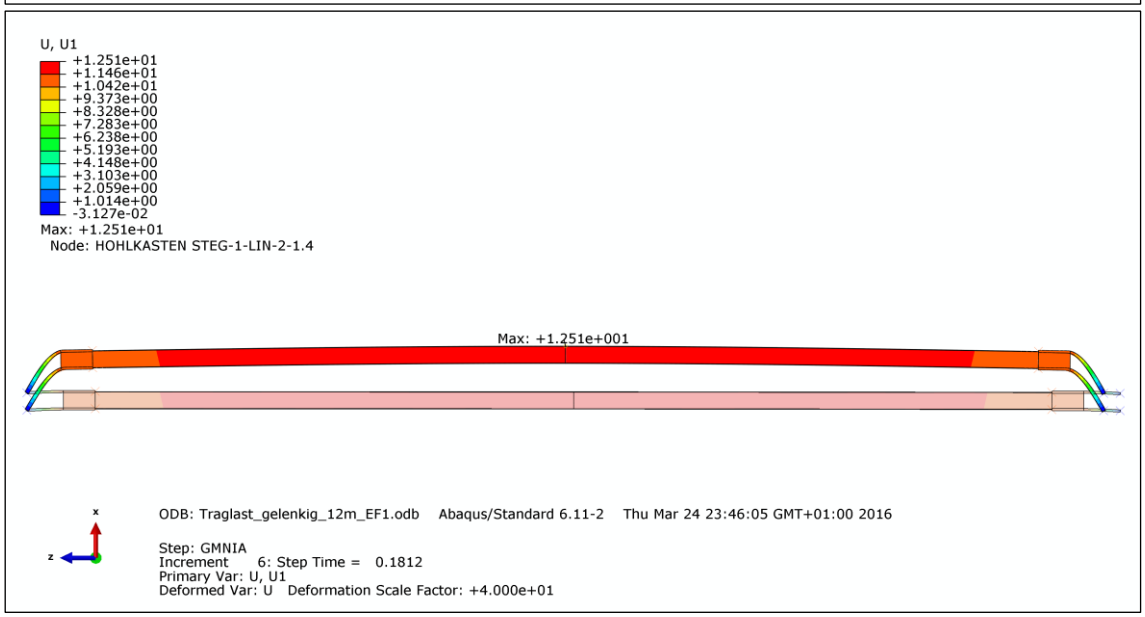
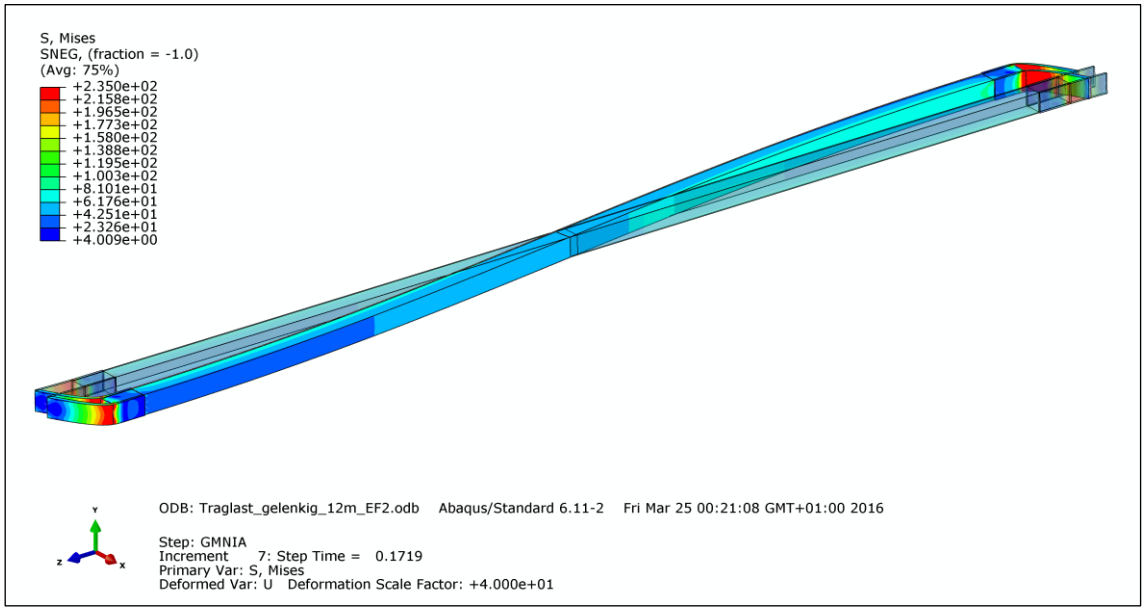
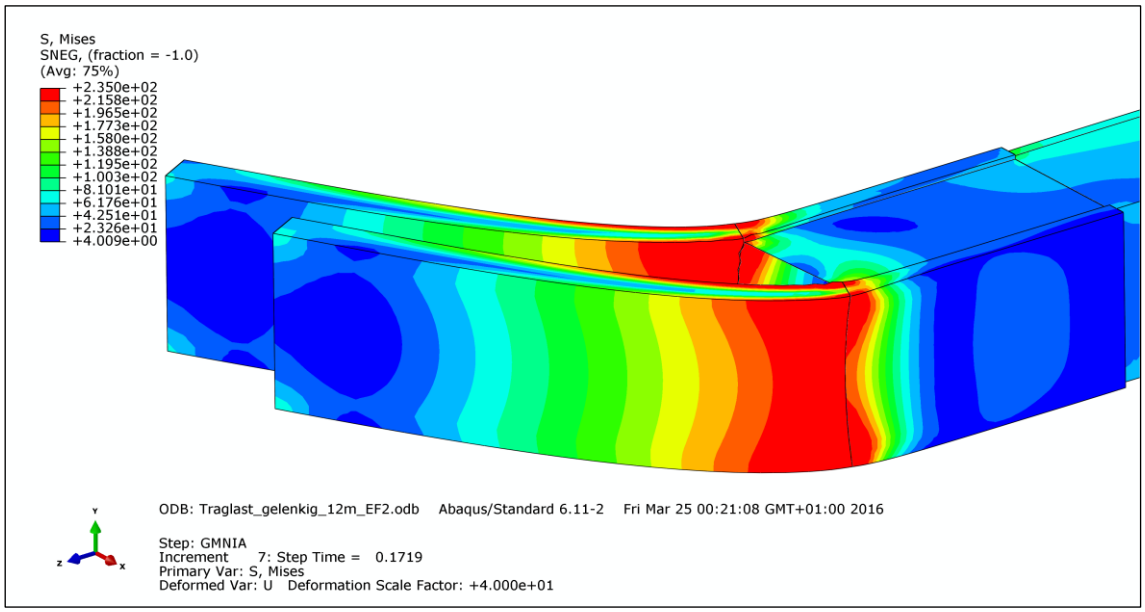


Abbildung 9-313: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





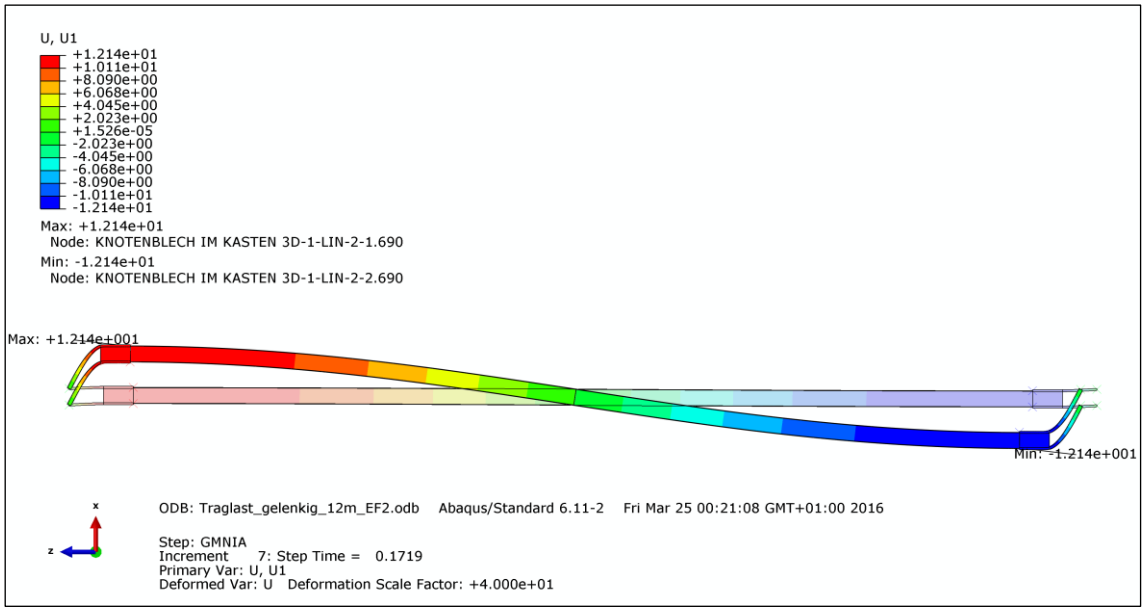
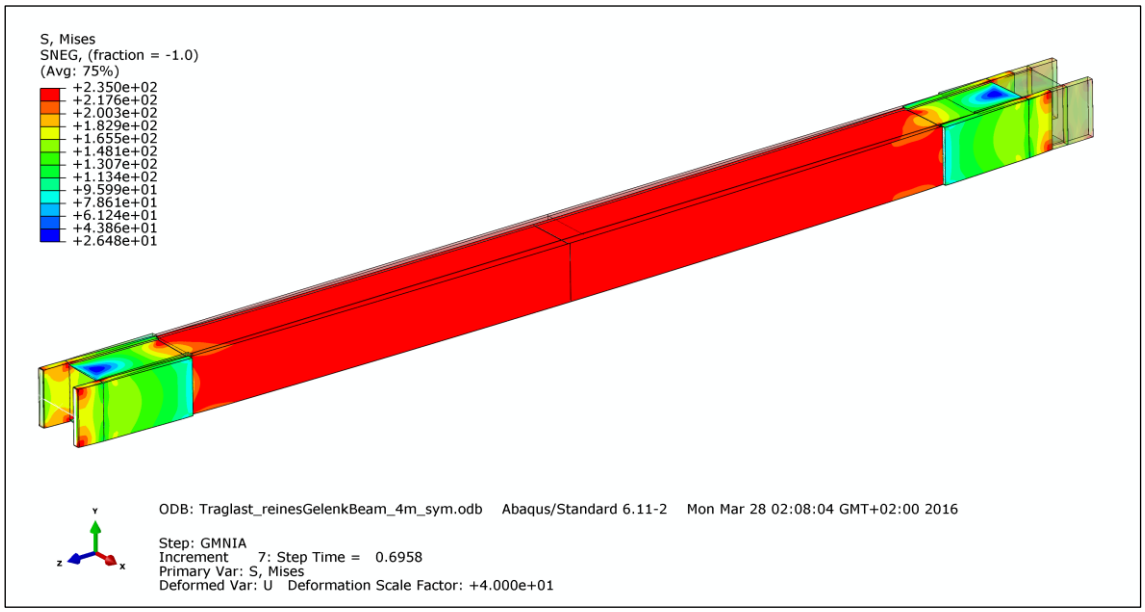
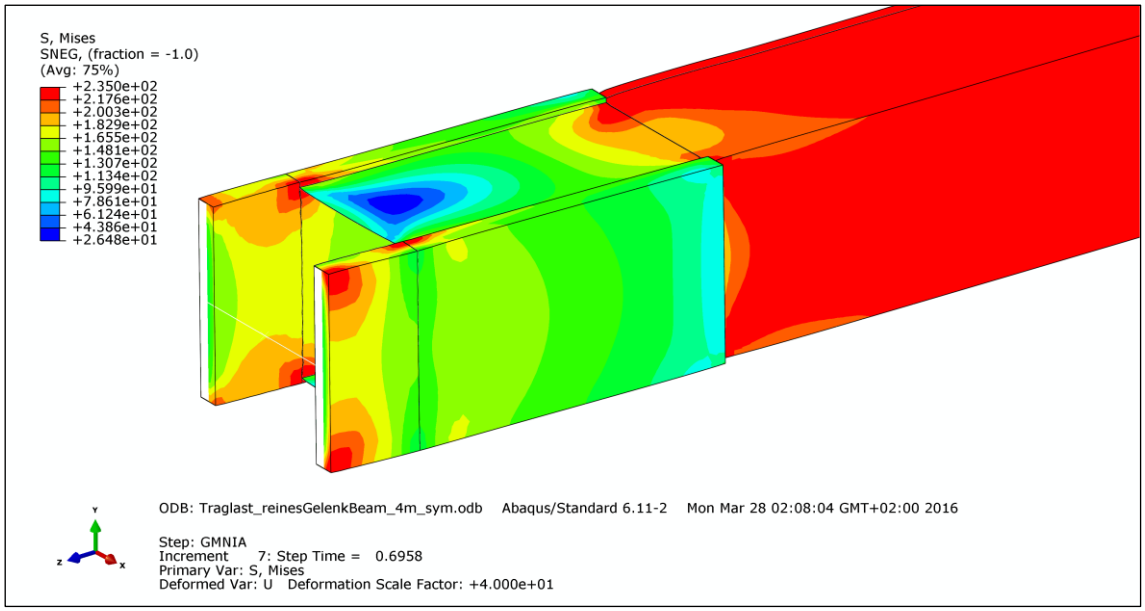


Abbildung 9-314: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm**





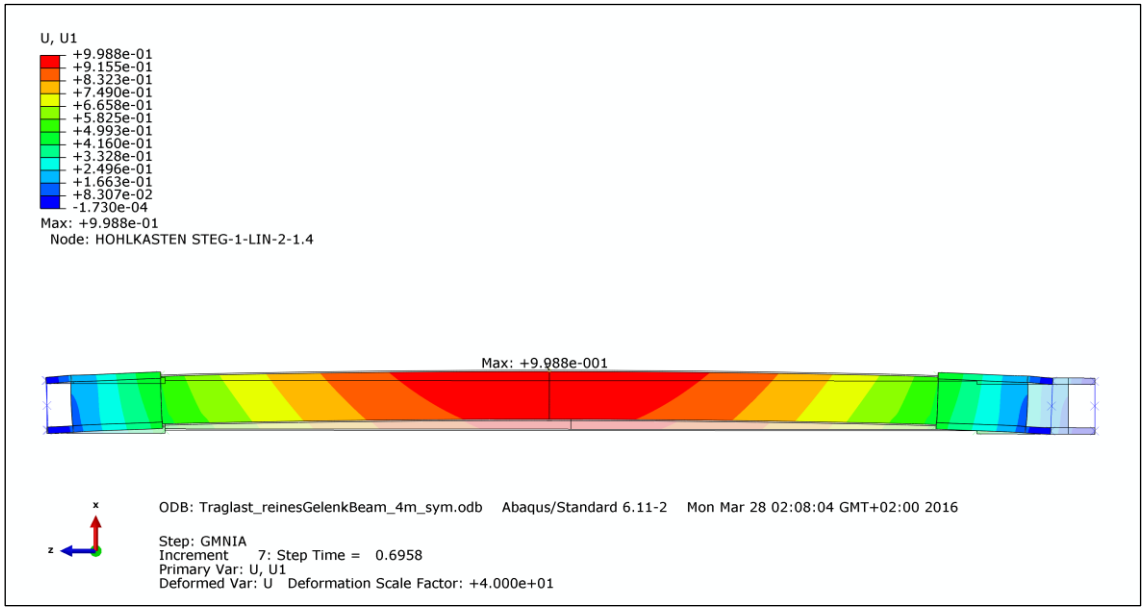
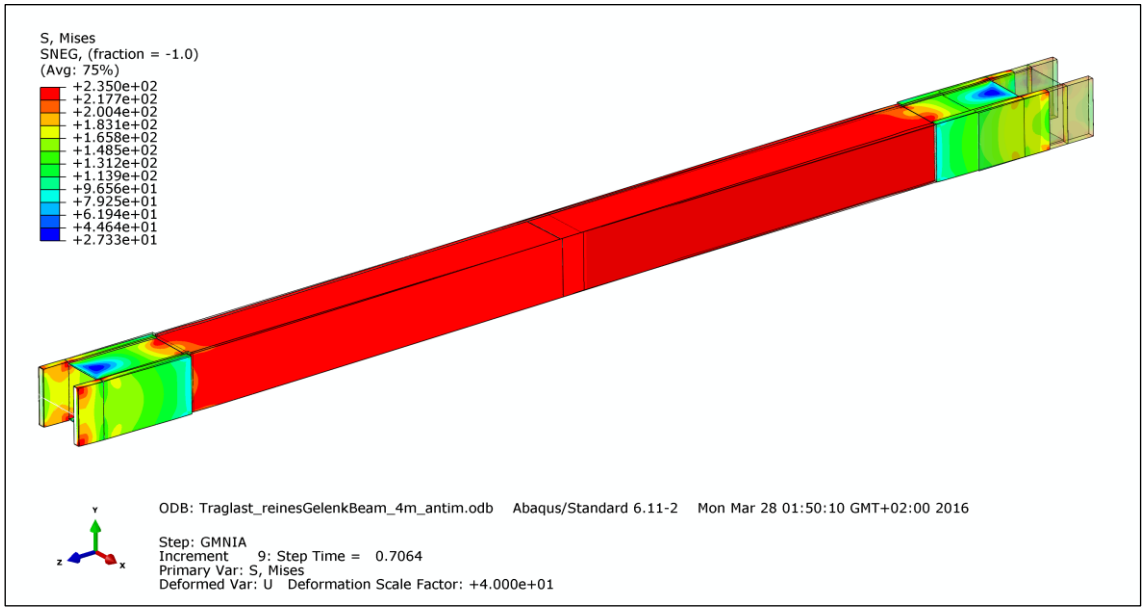
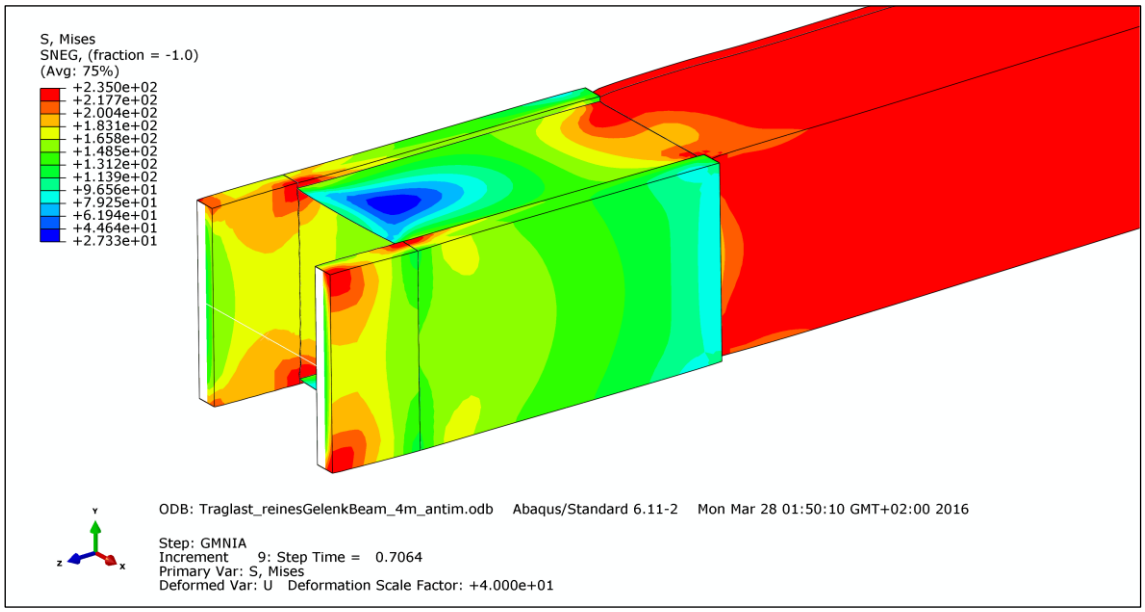


Abbildung 9-315: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





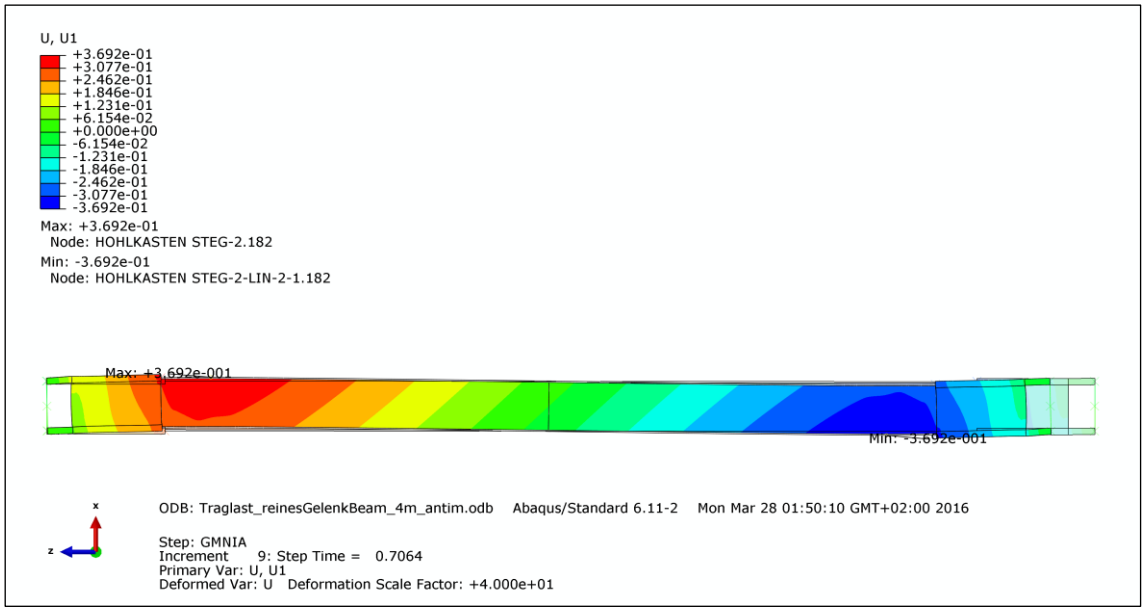
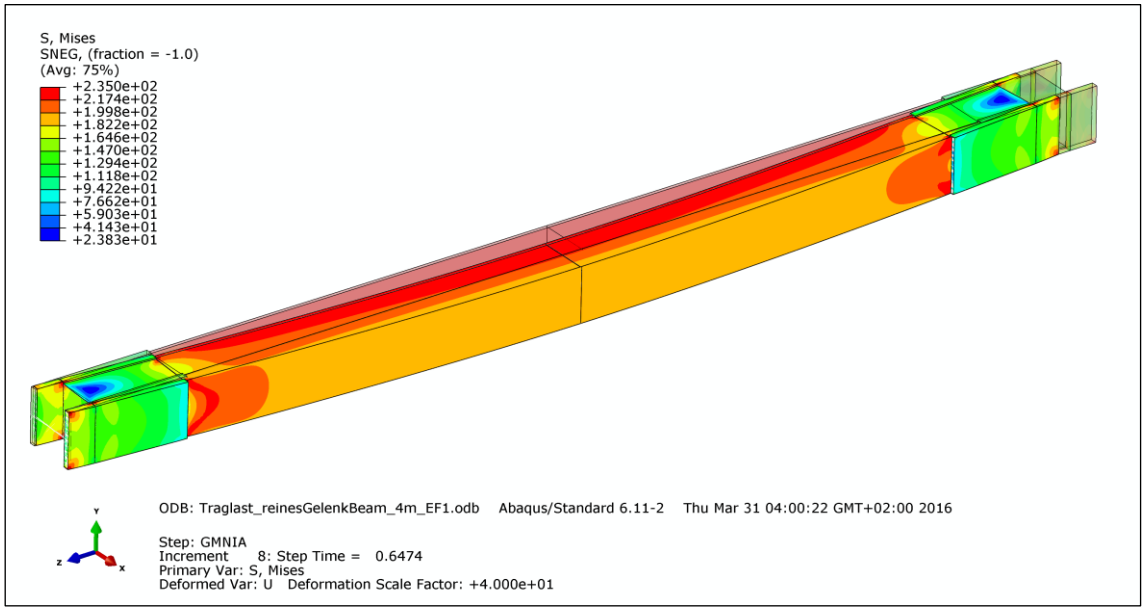
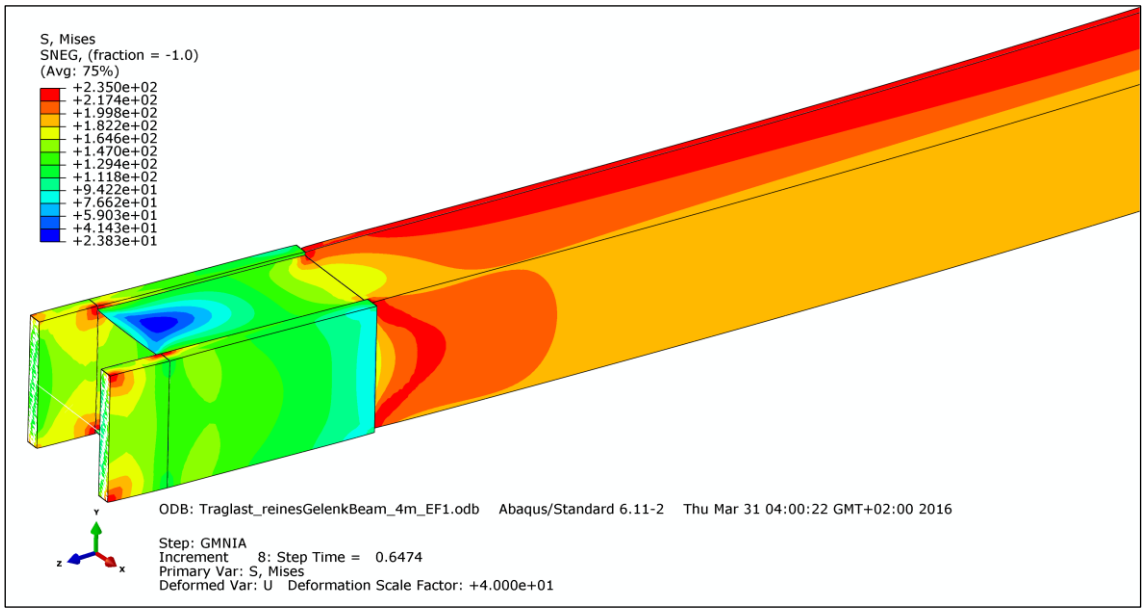


Abbildung 9-316: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





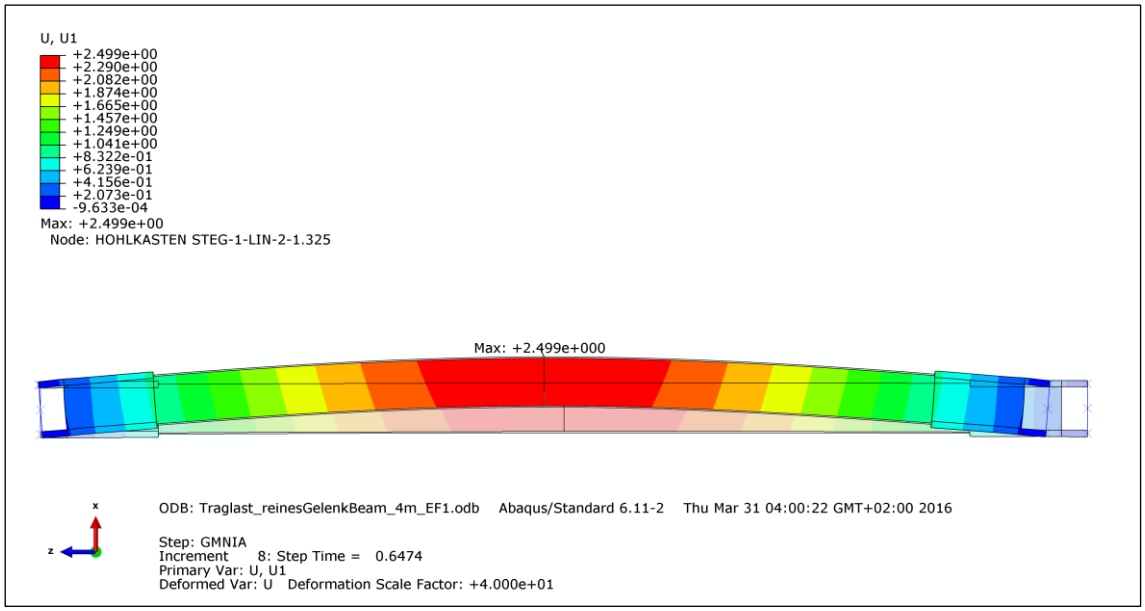
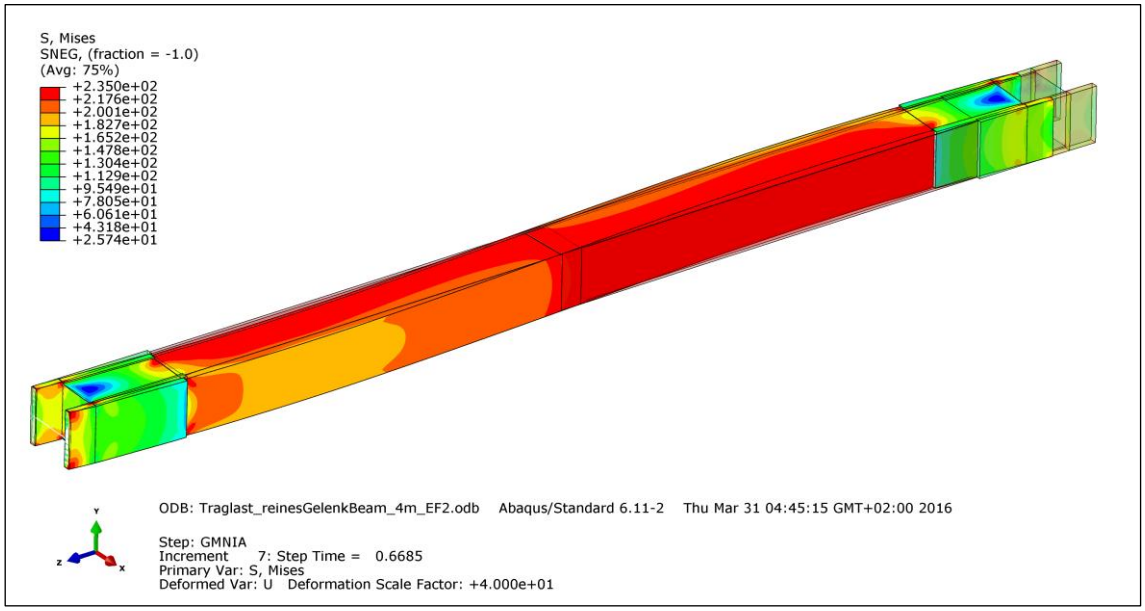
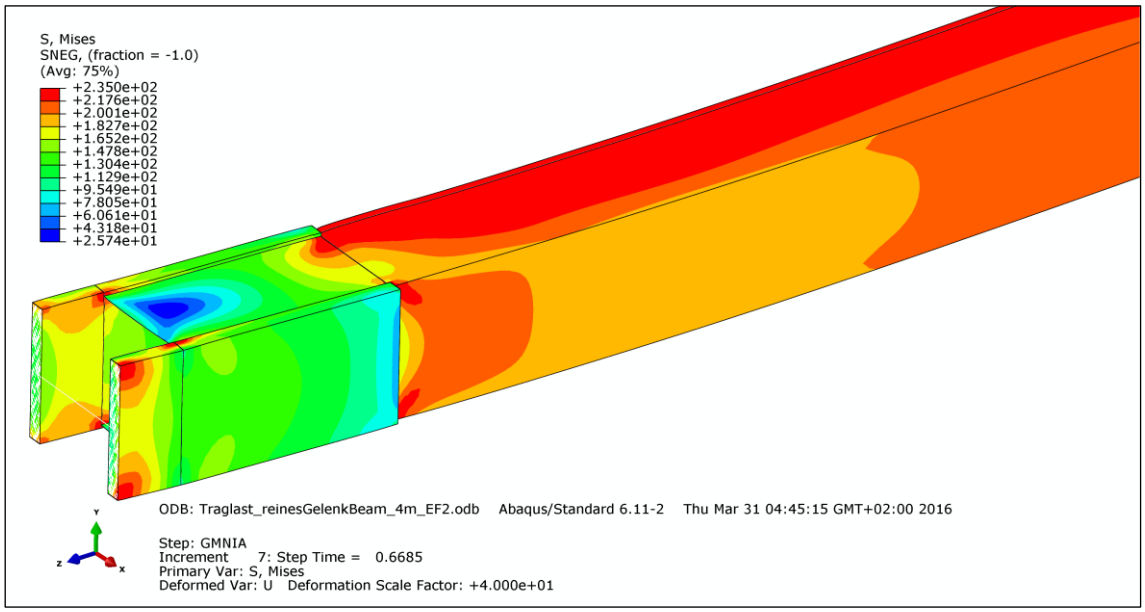


Abbildung 9-317: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





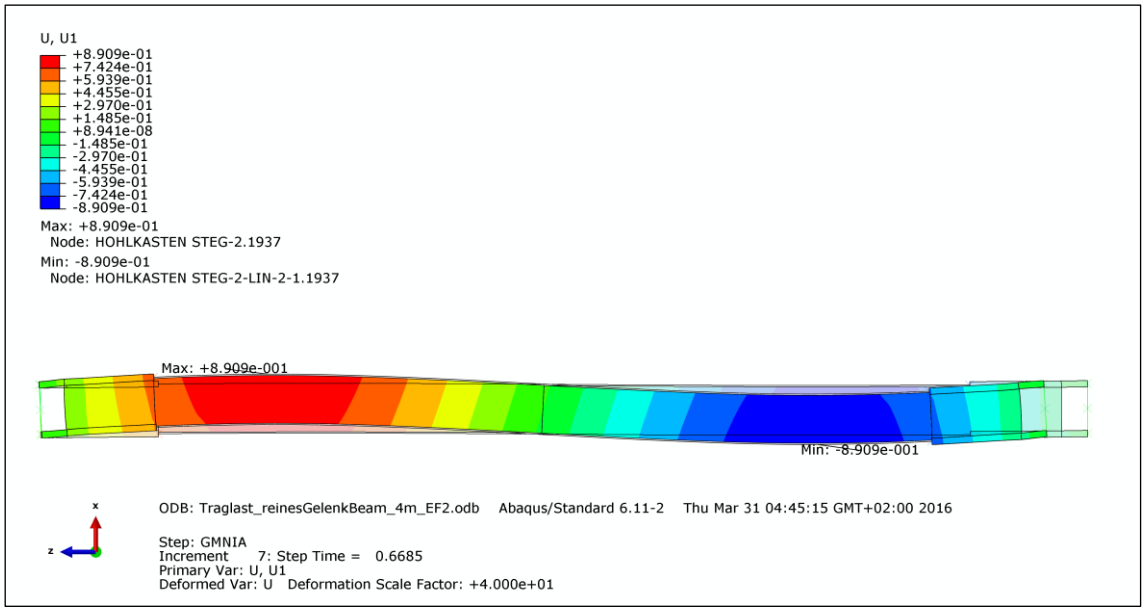


Abbildung 9-318: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

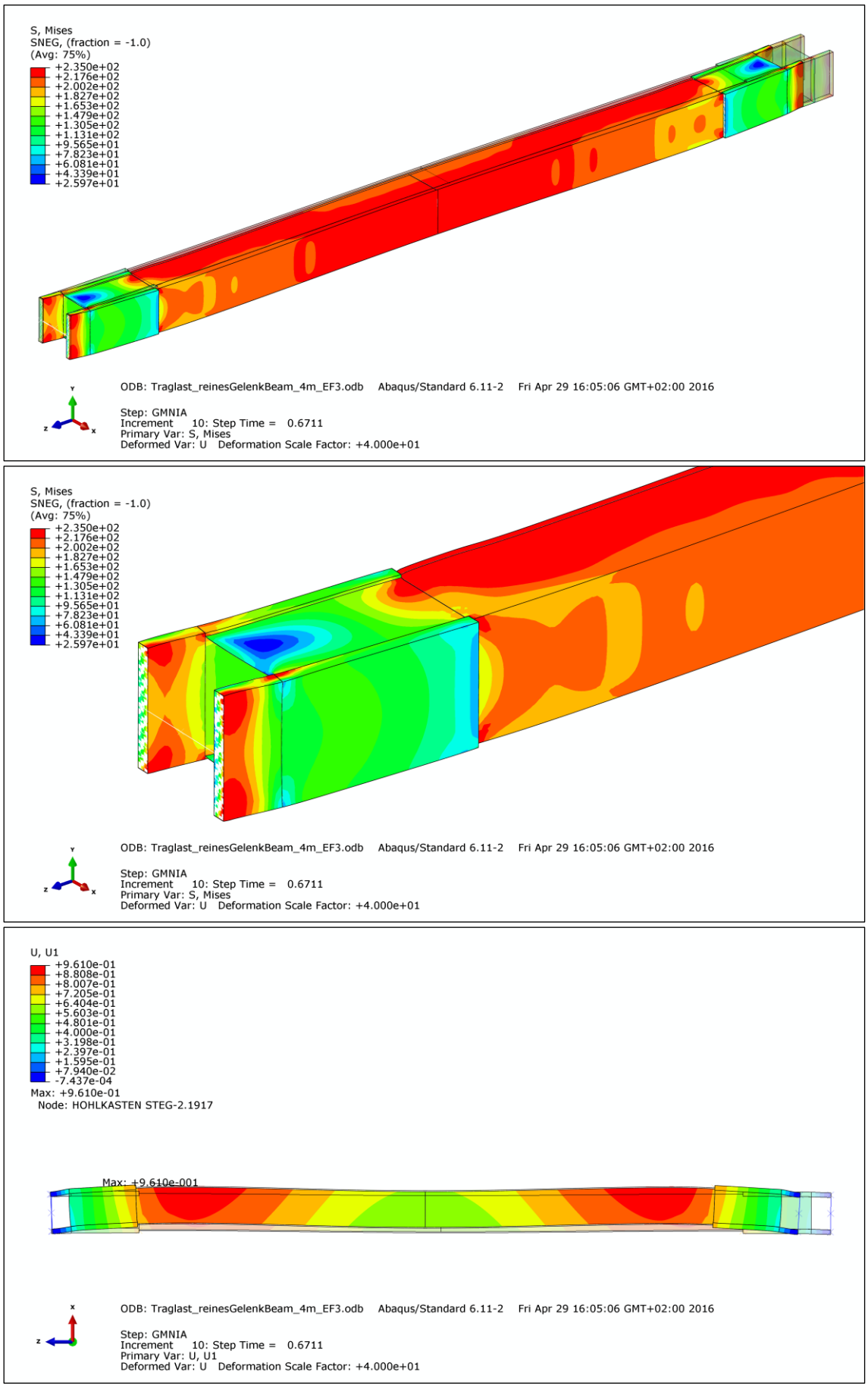
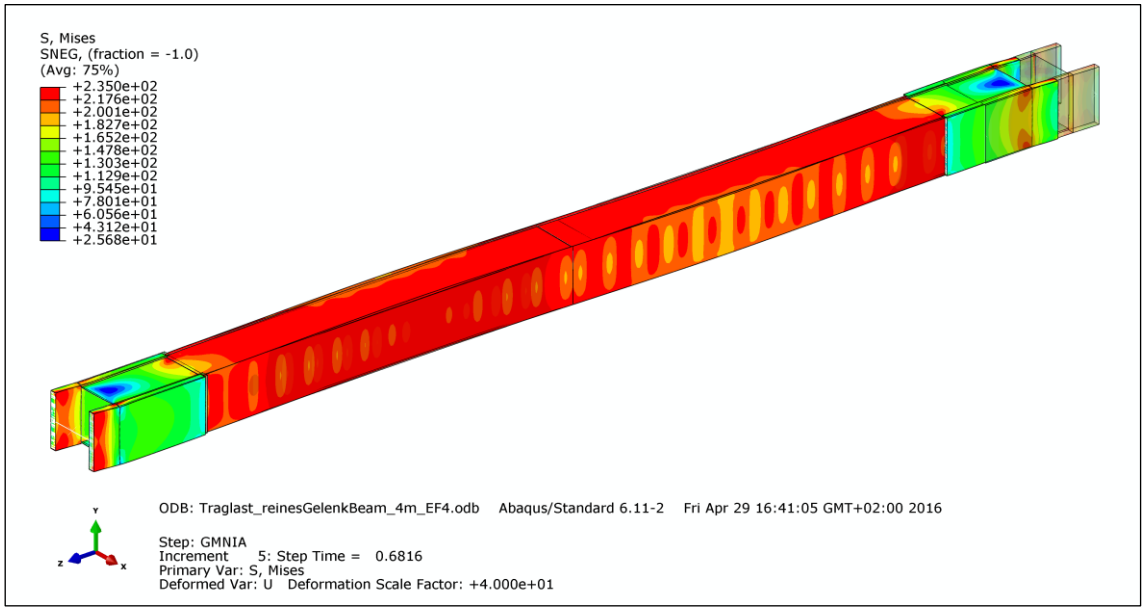
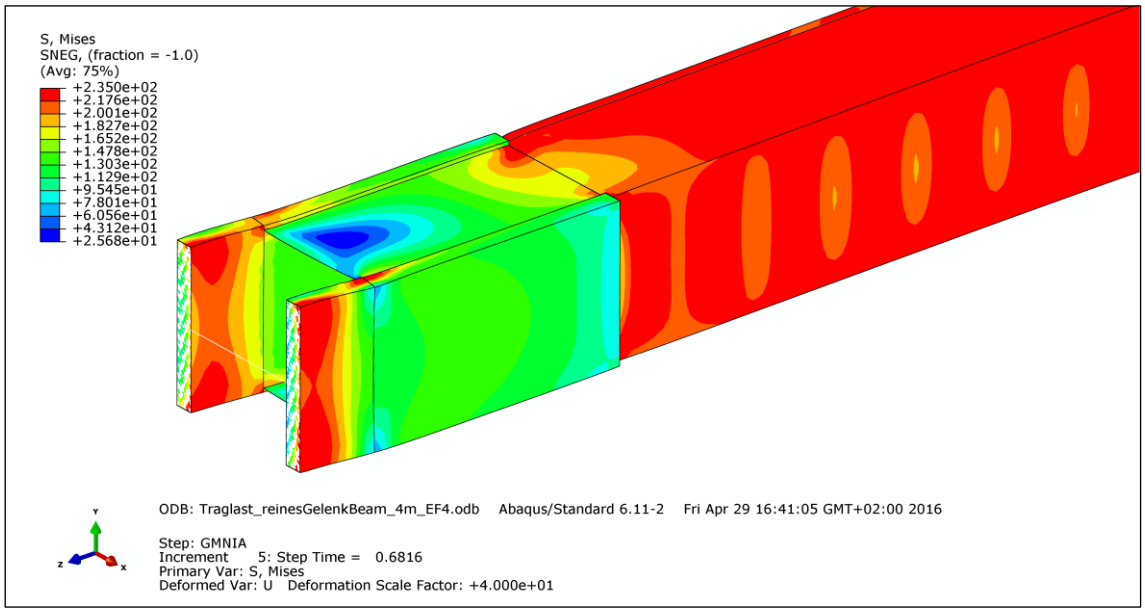


Abbildung 9-319: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





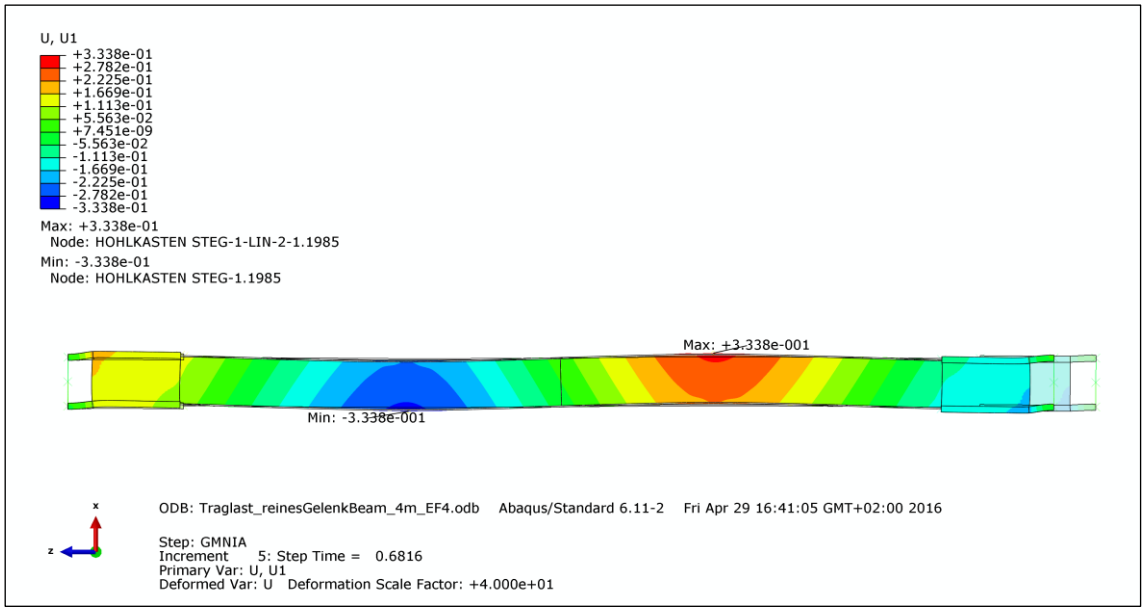
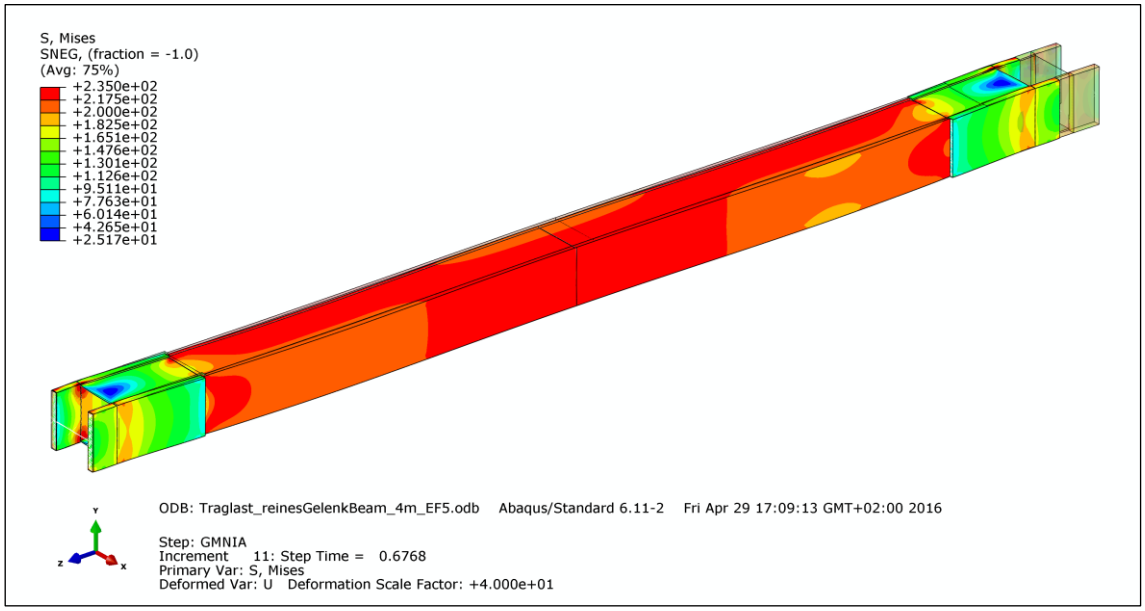
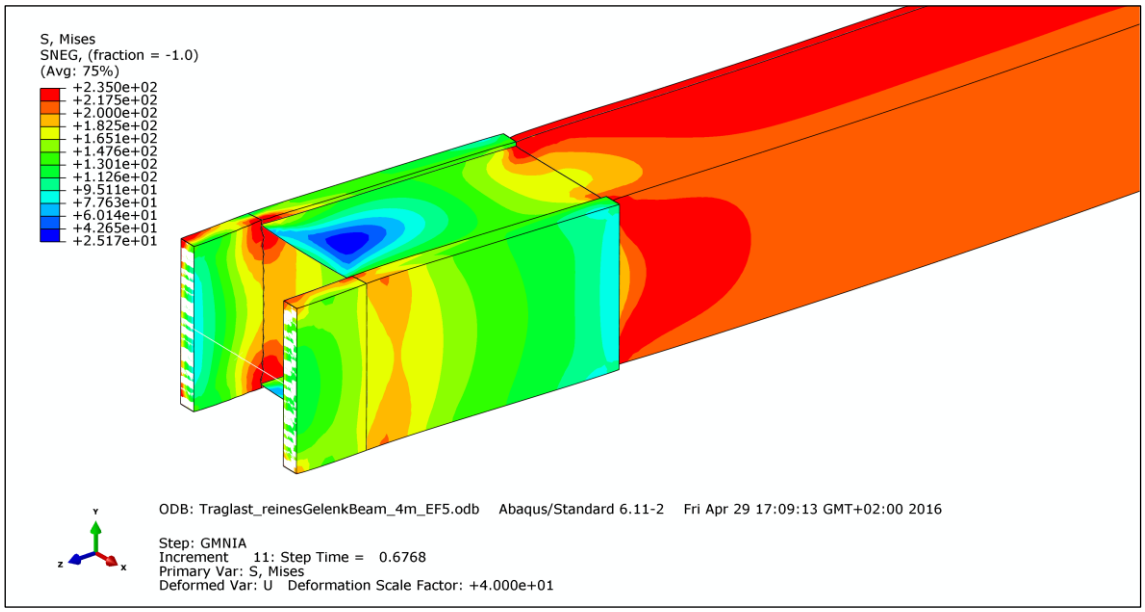


Abbildung 9-320: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4





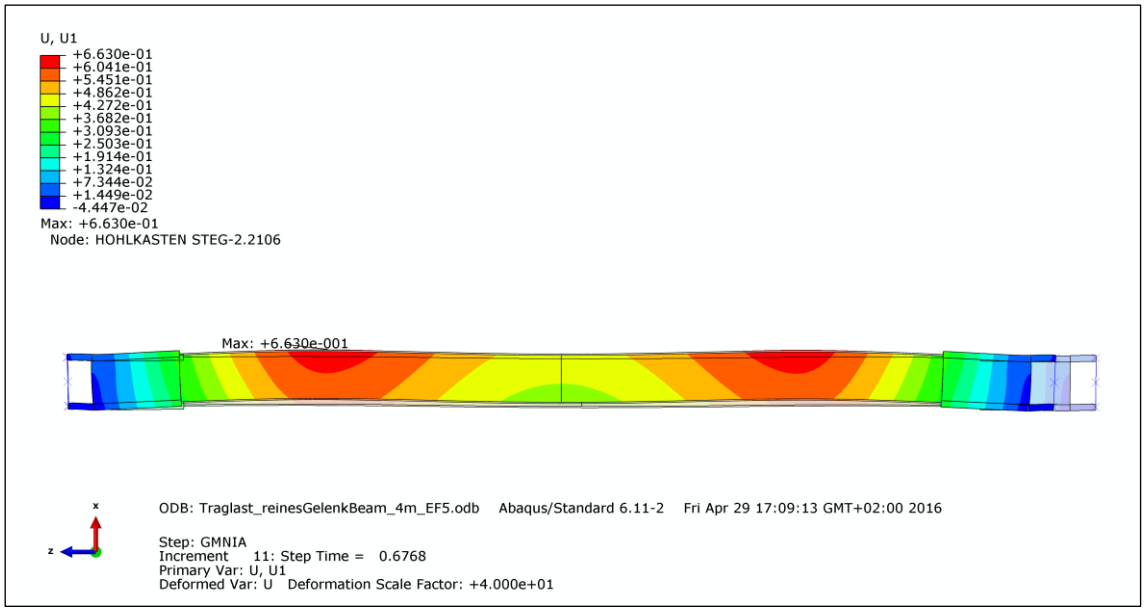
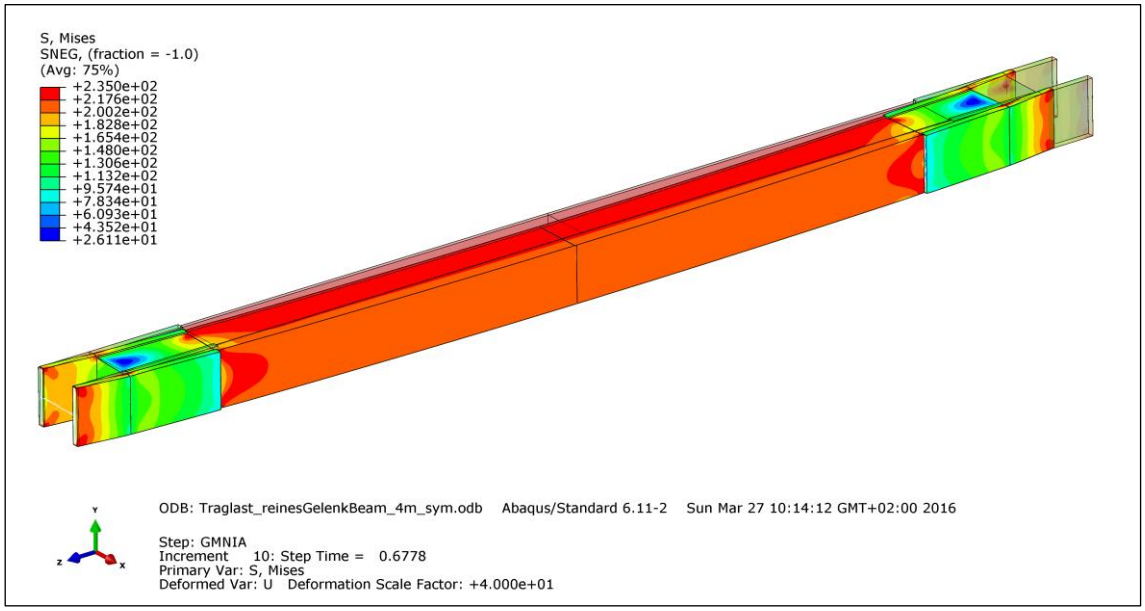
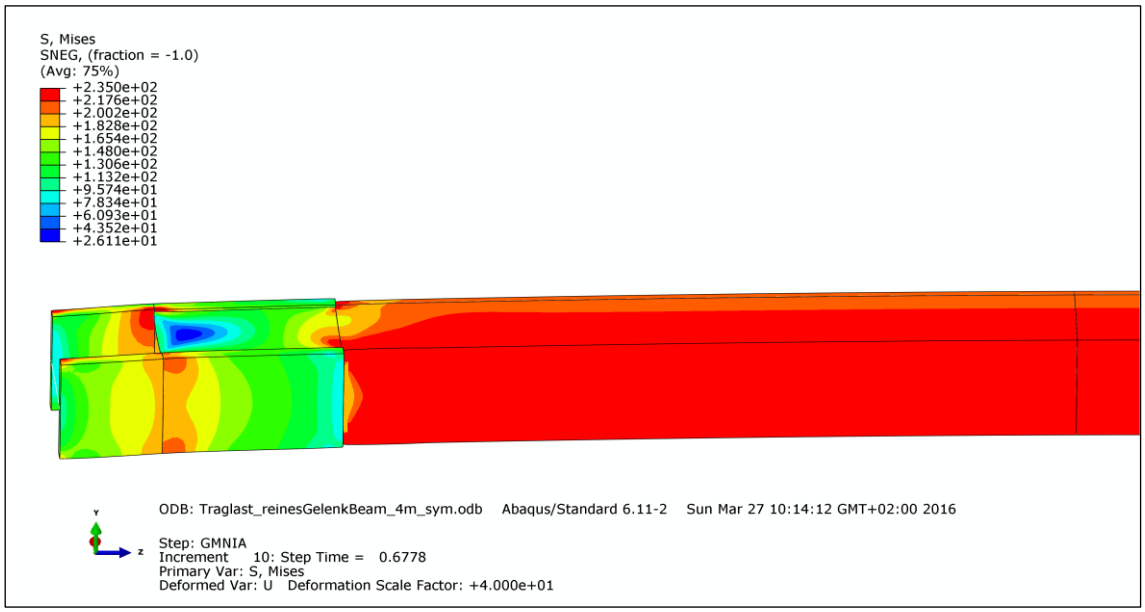


Abbildung 9-321: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5





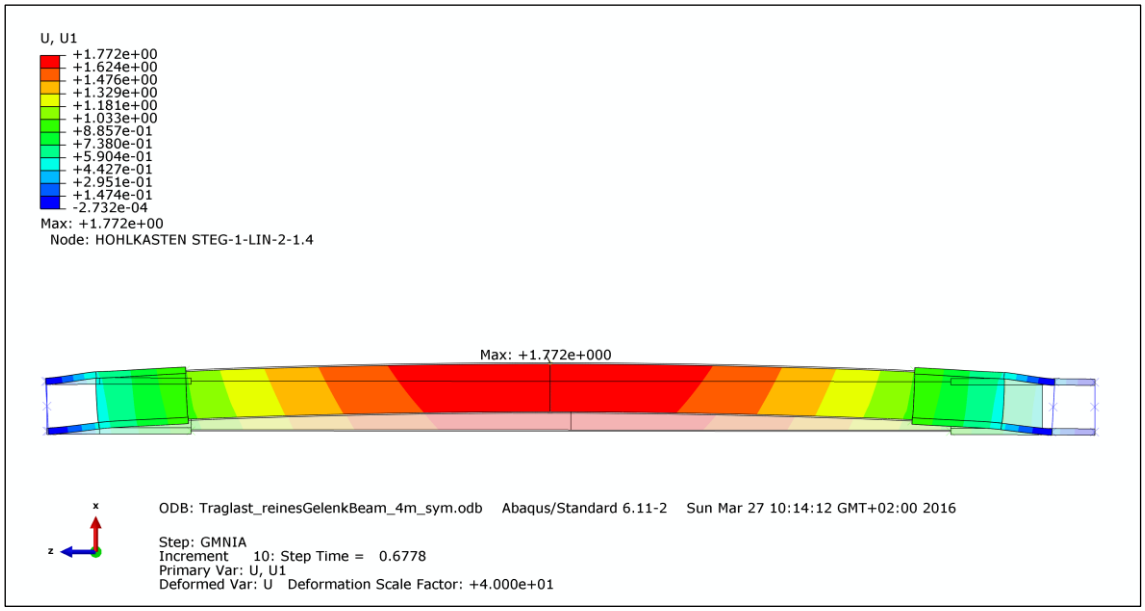


Abbildung 9-322: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)

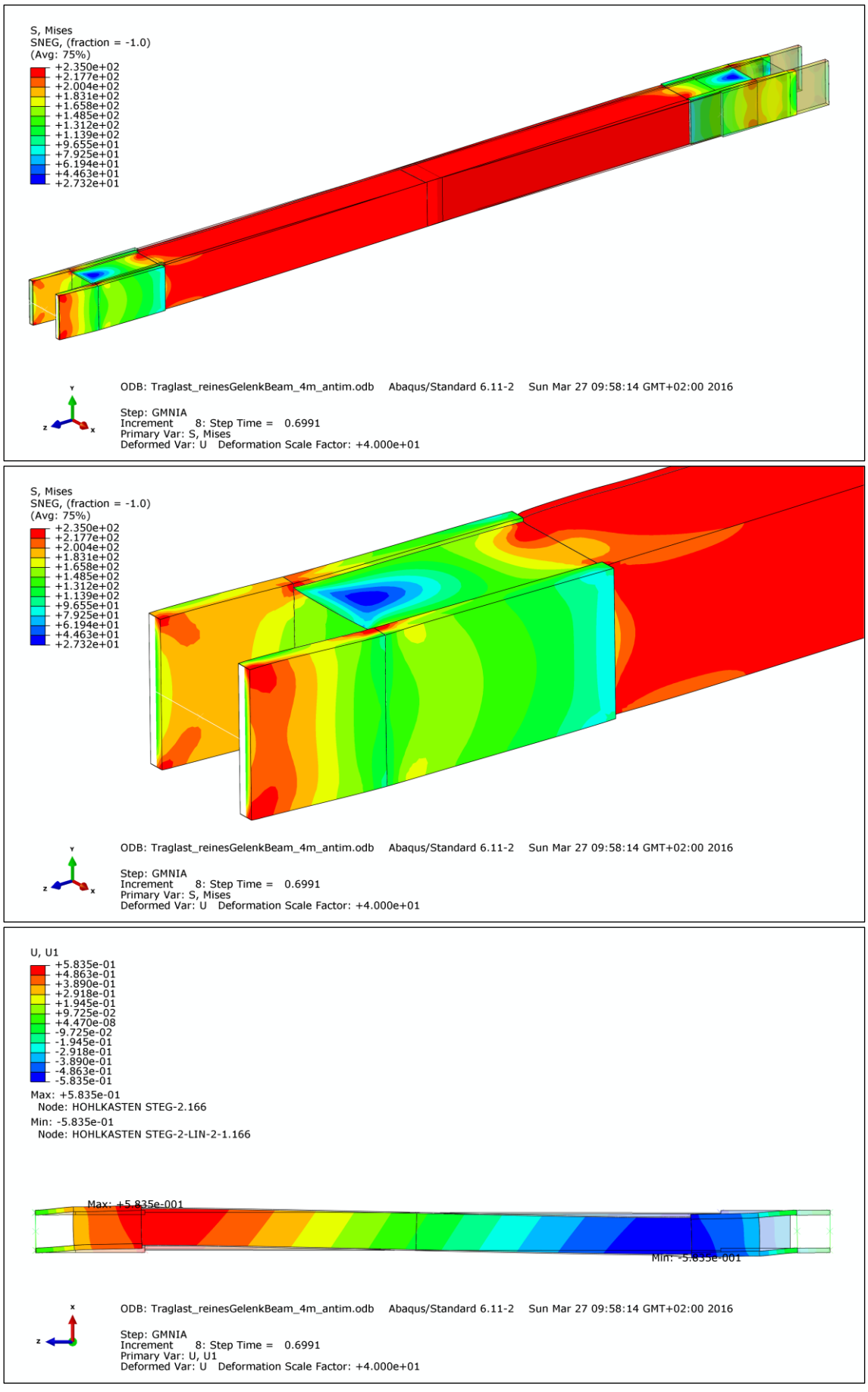
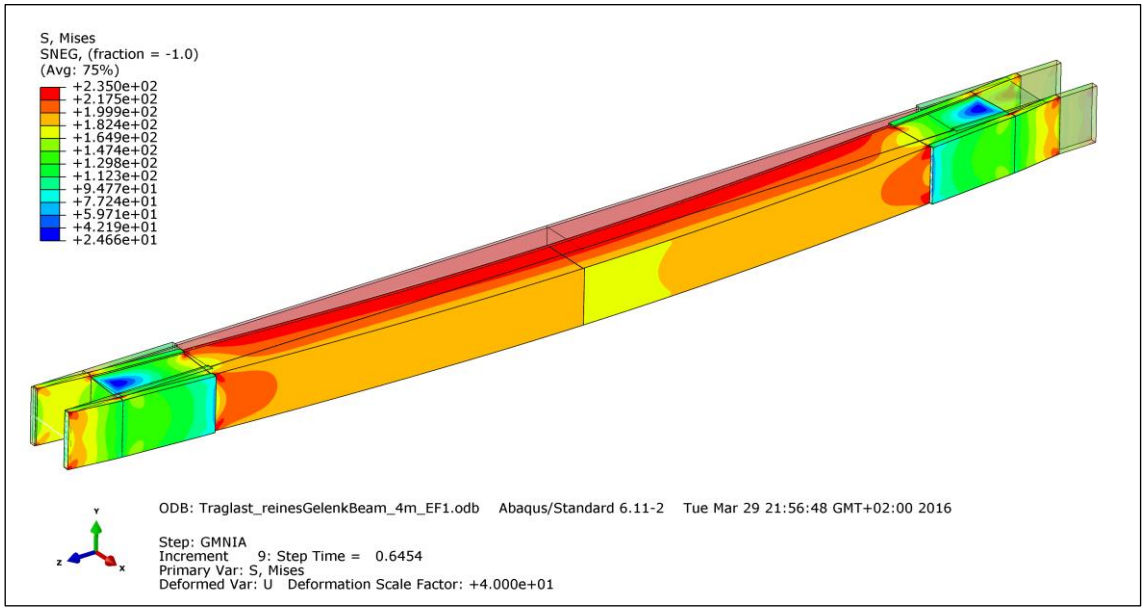
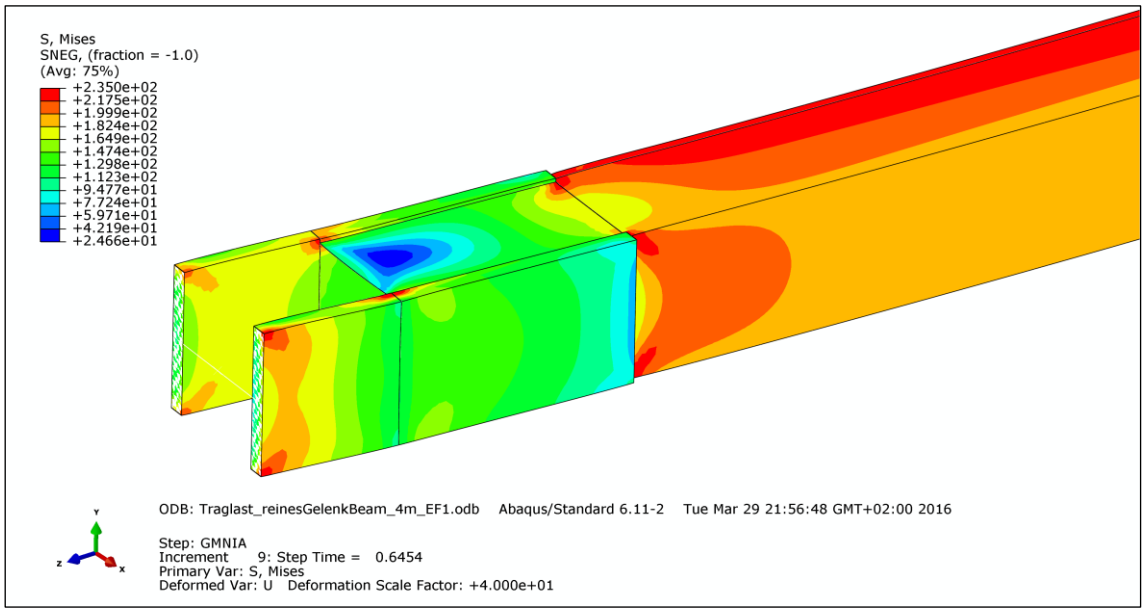


Abbildung 9-323: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





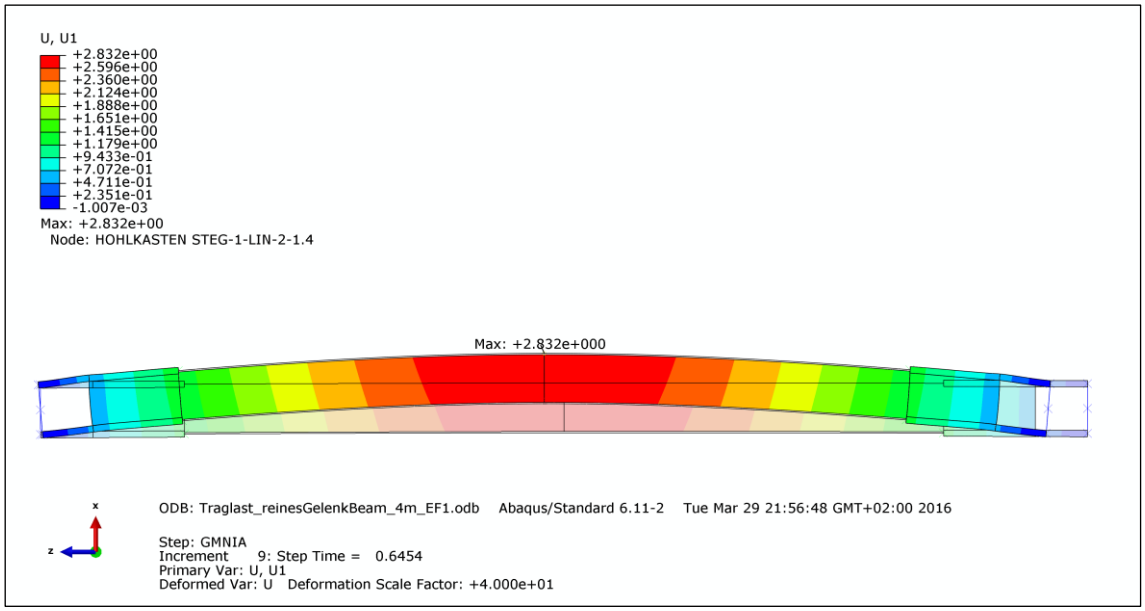
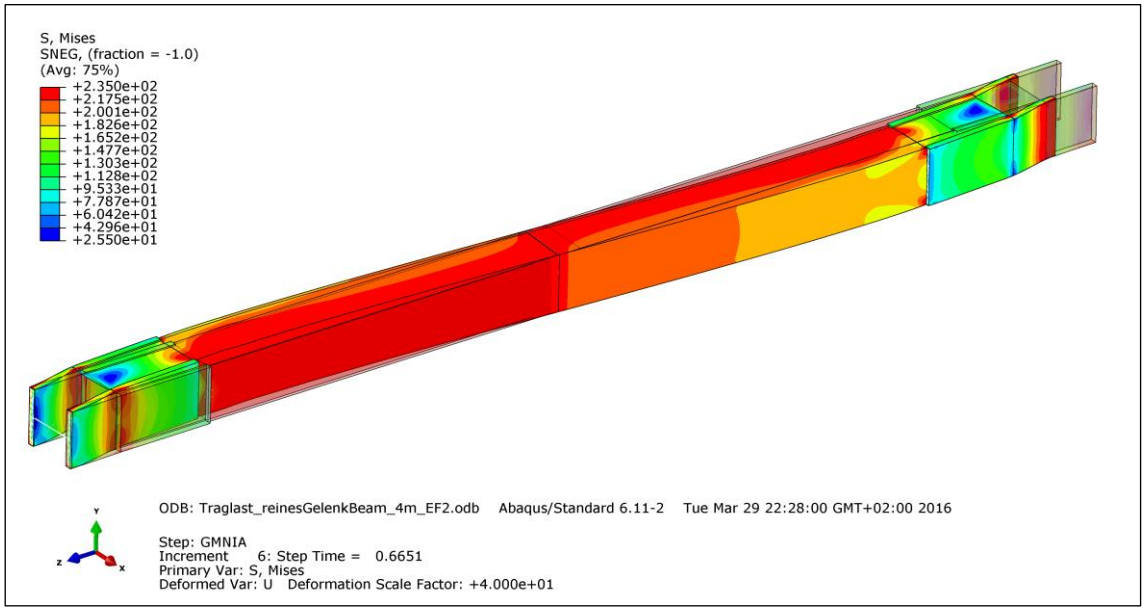
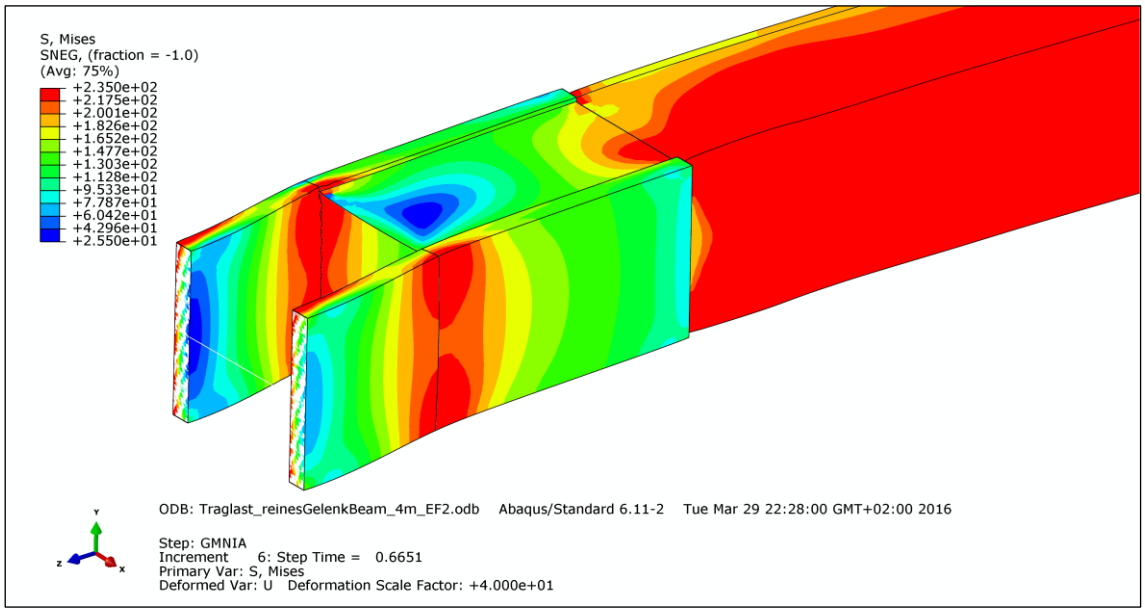


Abbildung 9-324: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





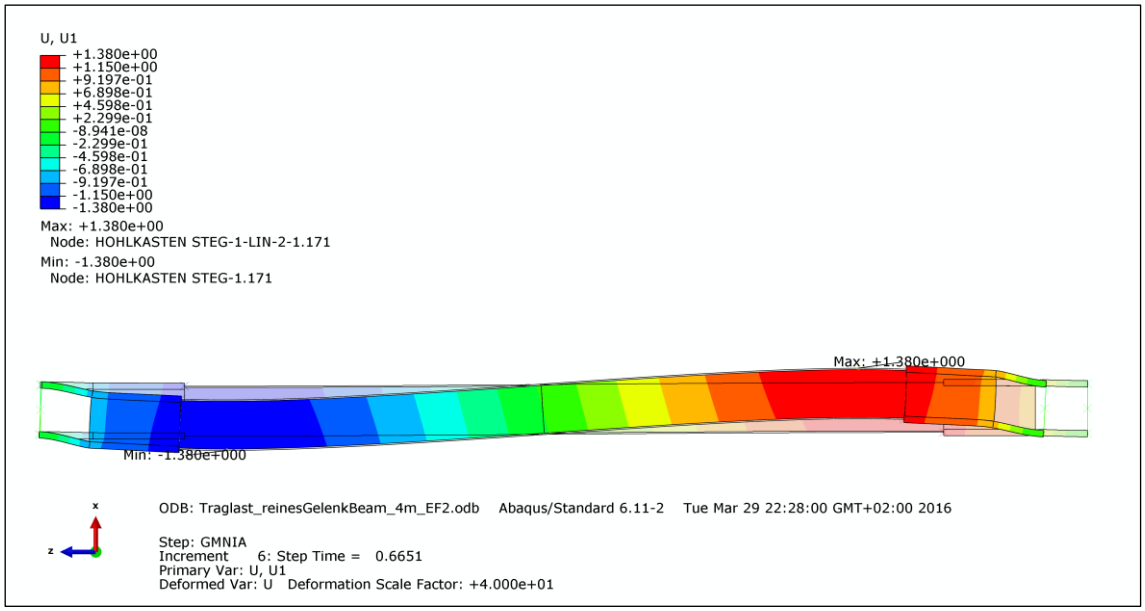
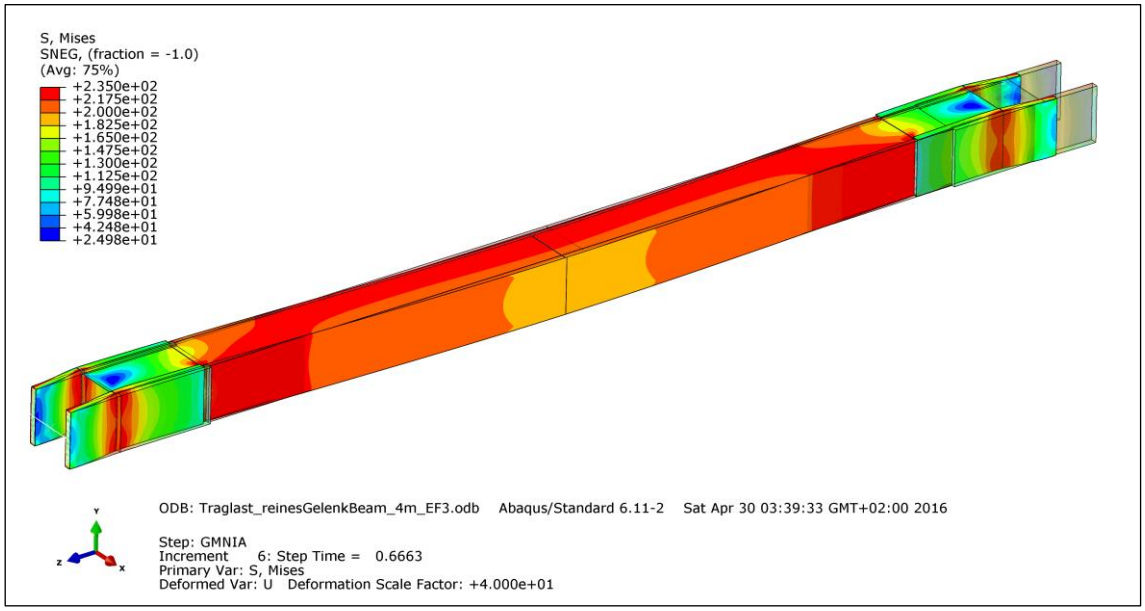
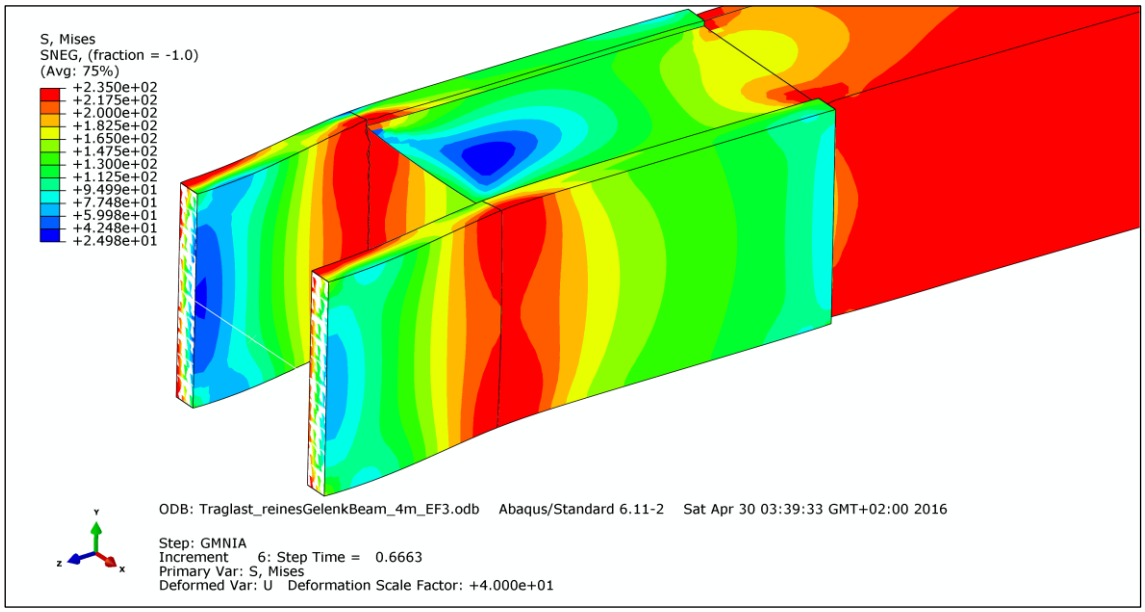


Abbildung 9-325: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





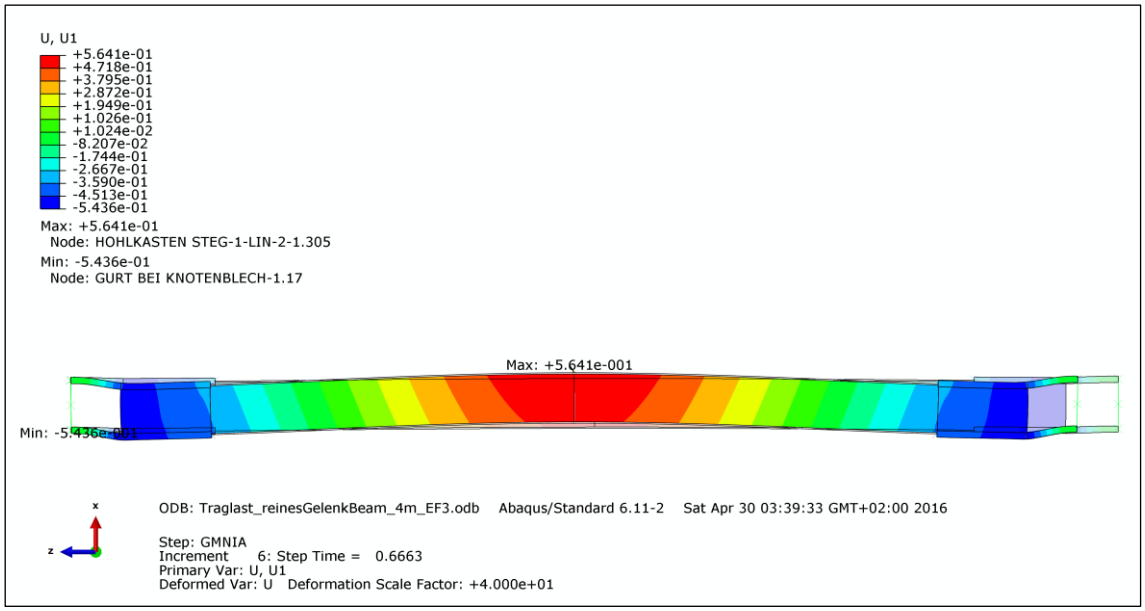
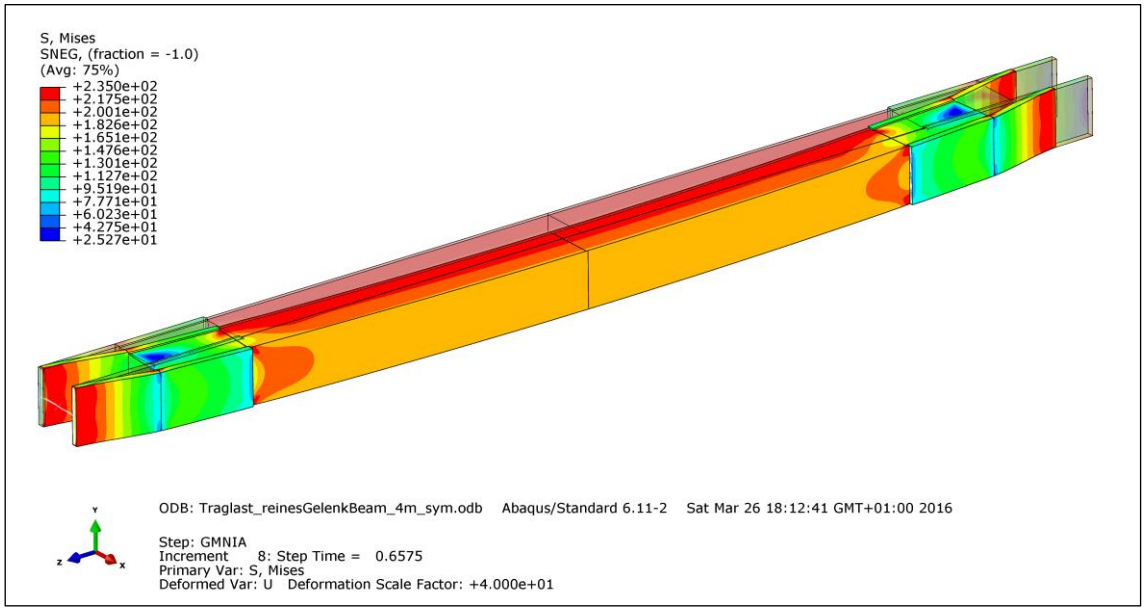
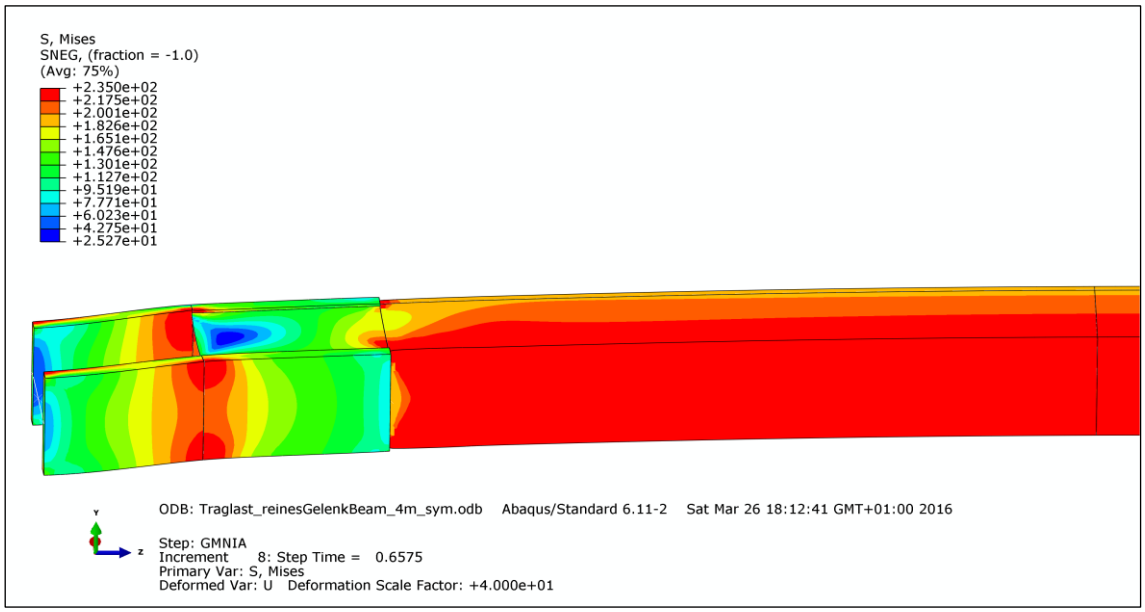


Abbildung 9-326: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3





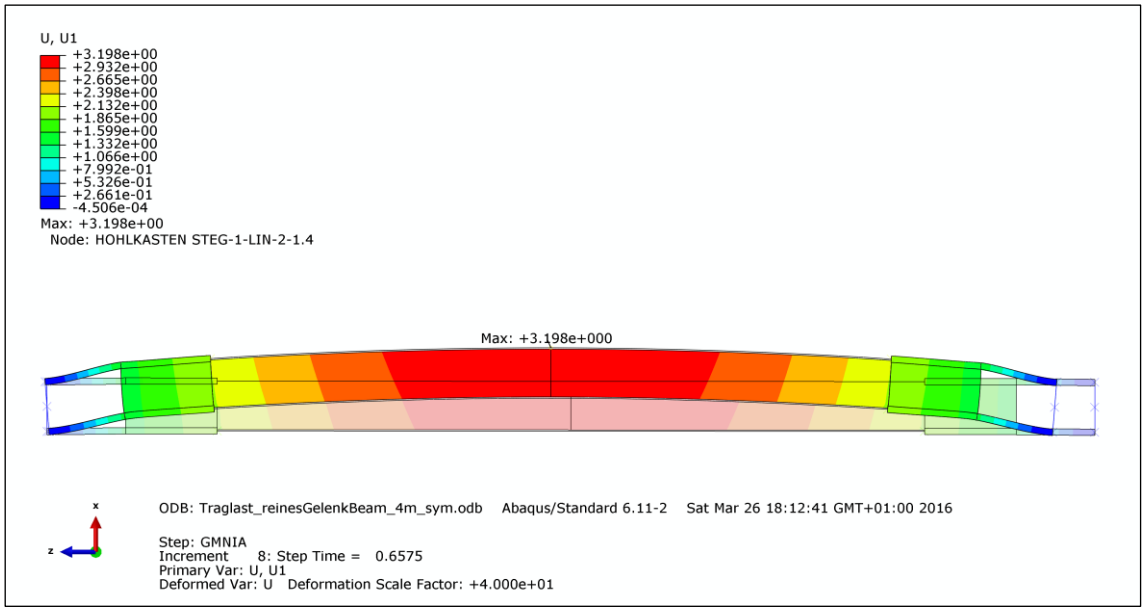
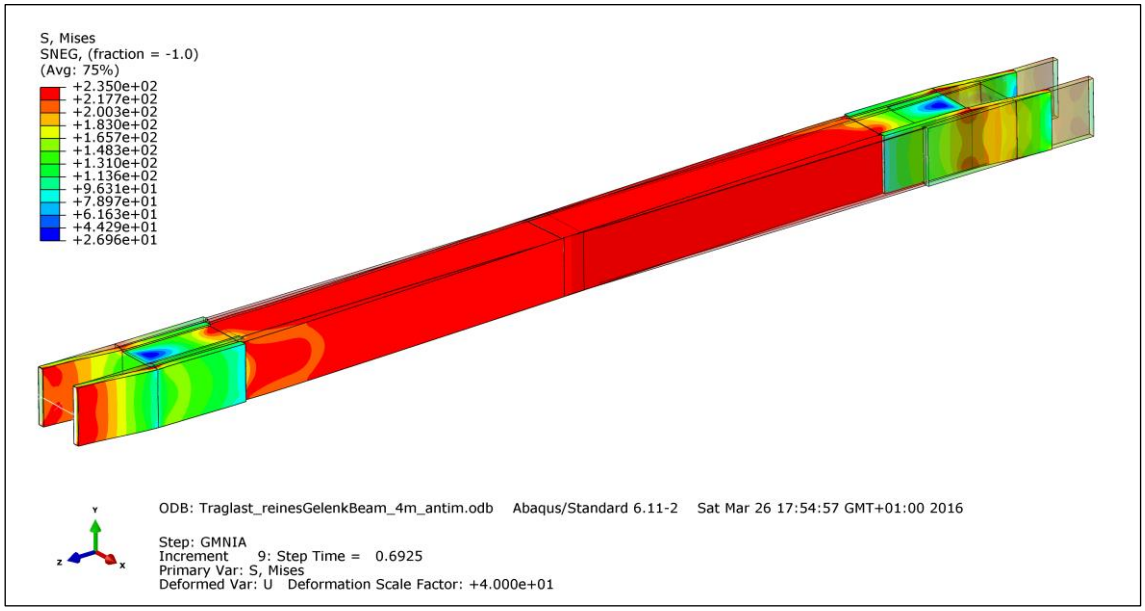
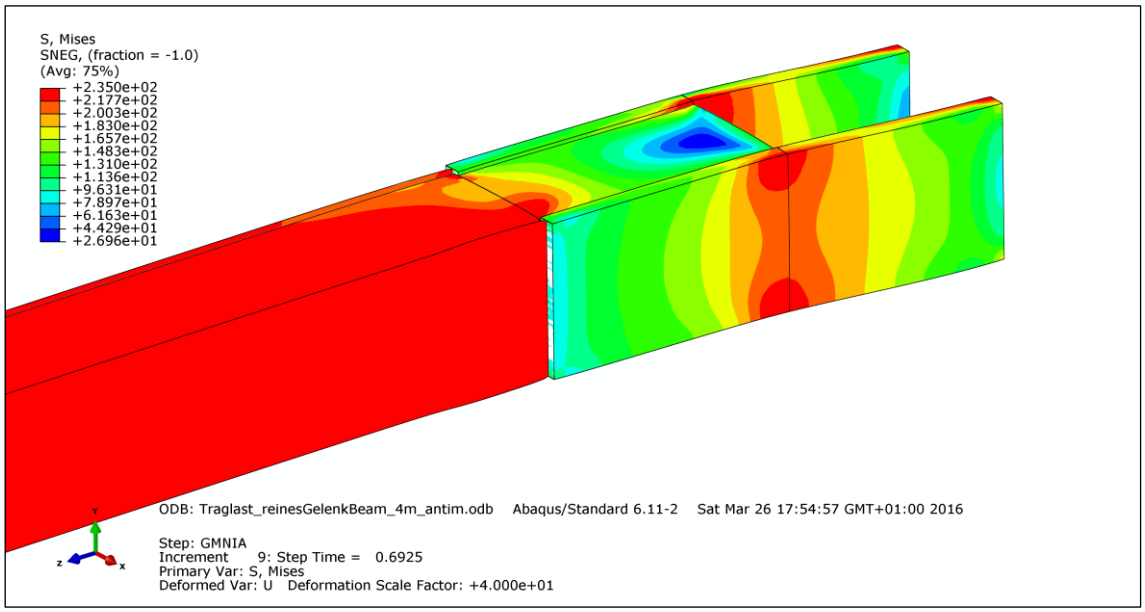


Abbildung 9-327: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





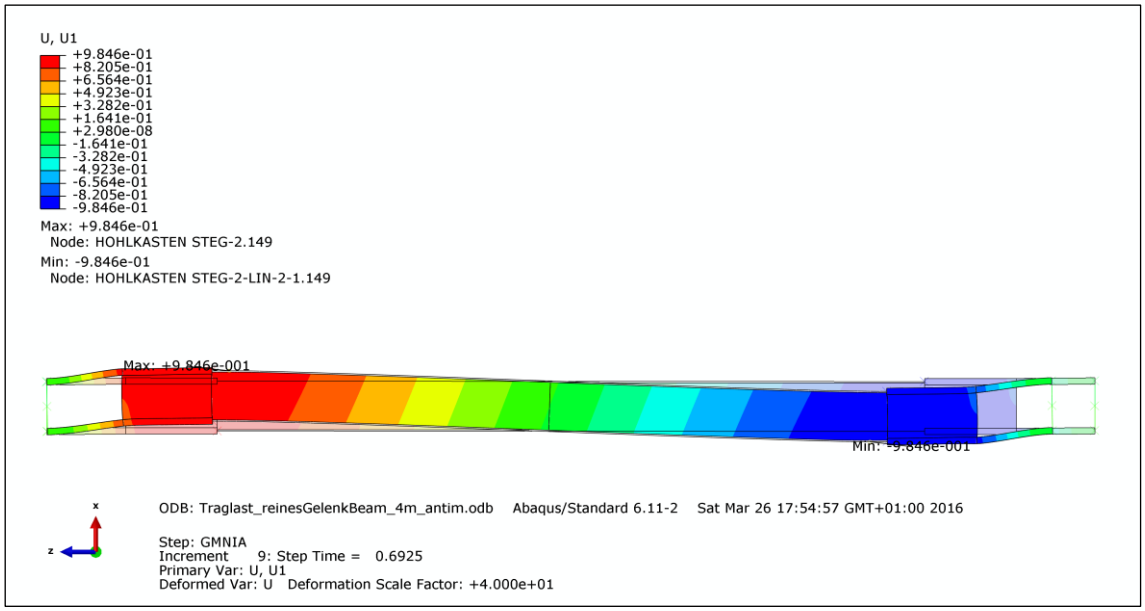
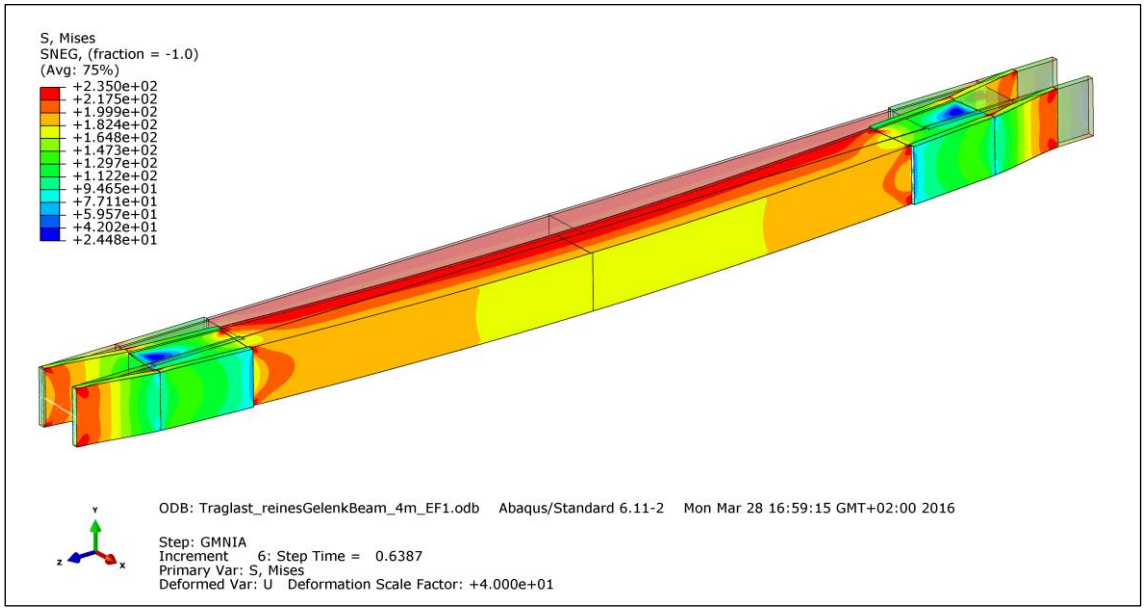
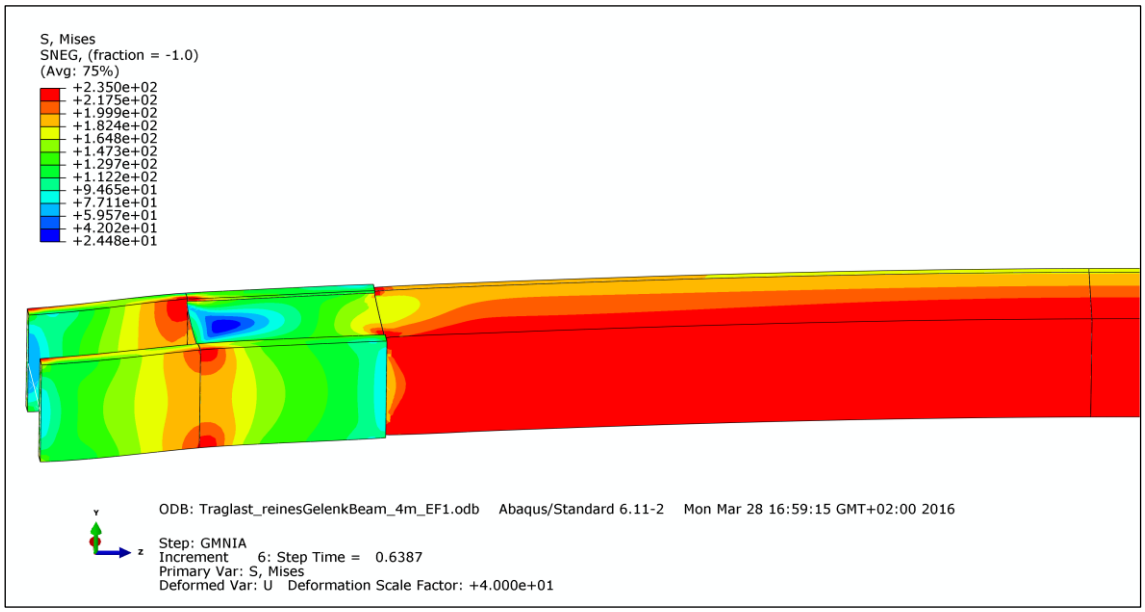


Abbildung 9-328: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





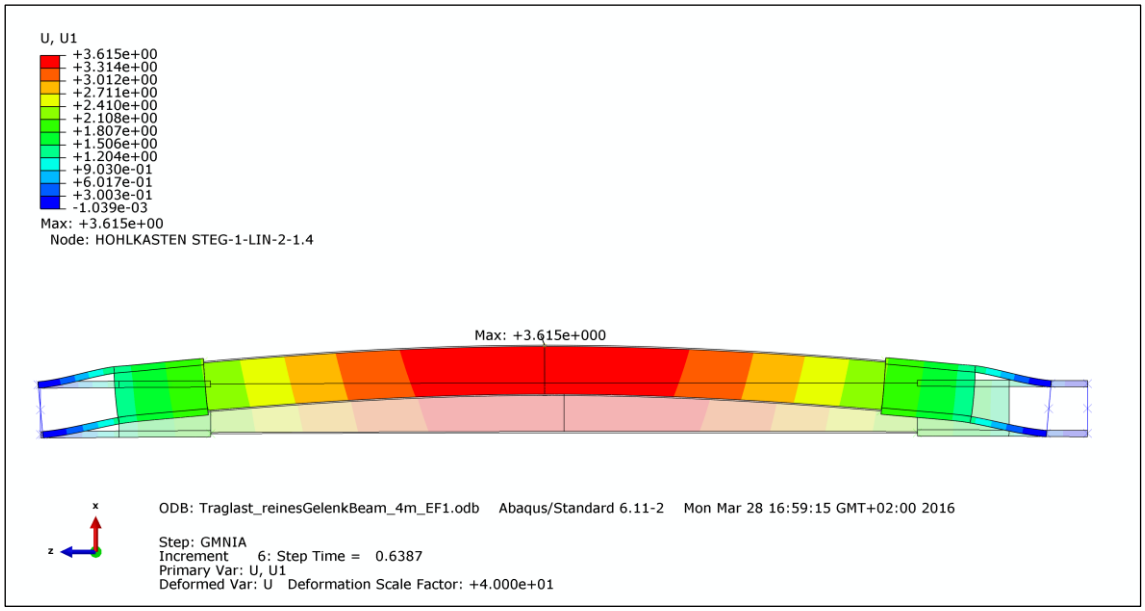
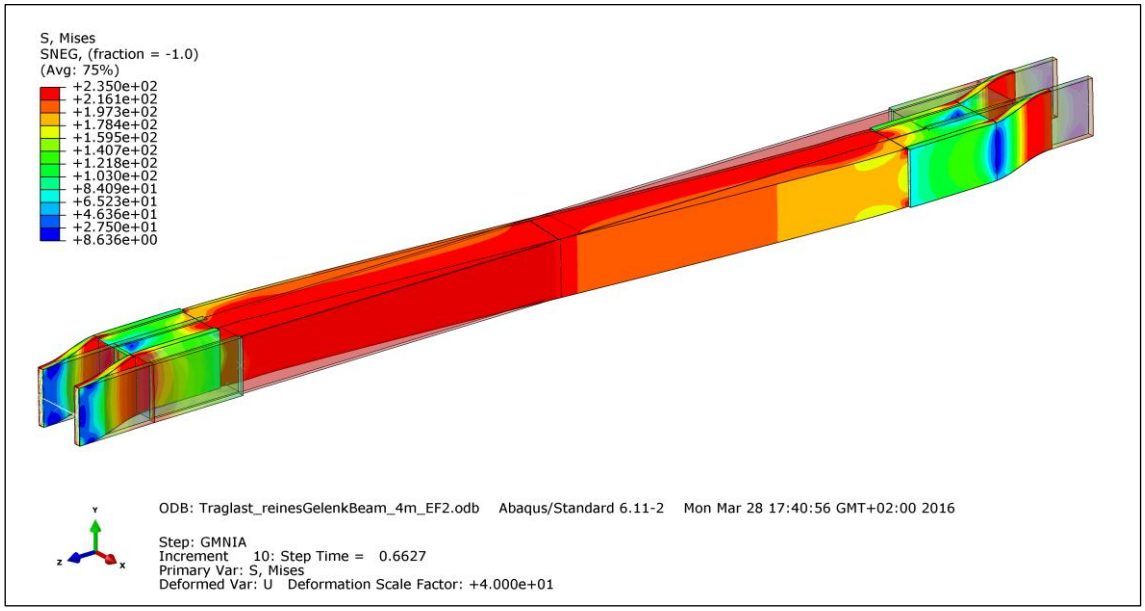
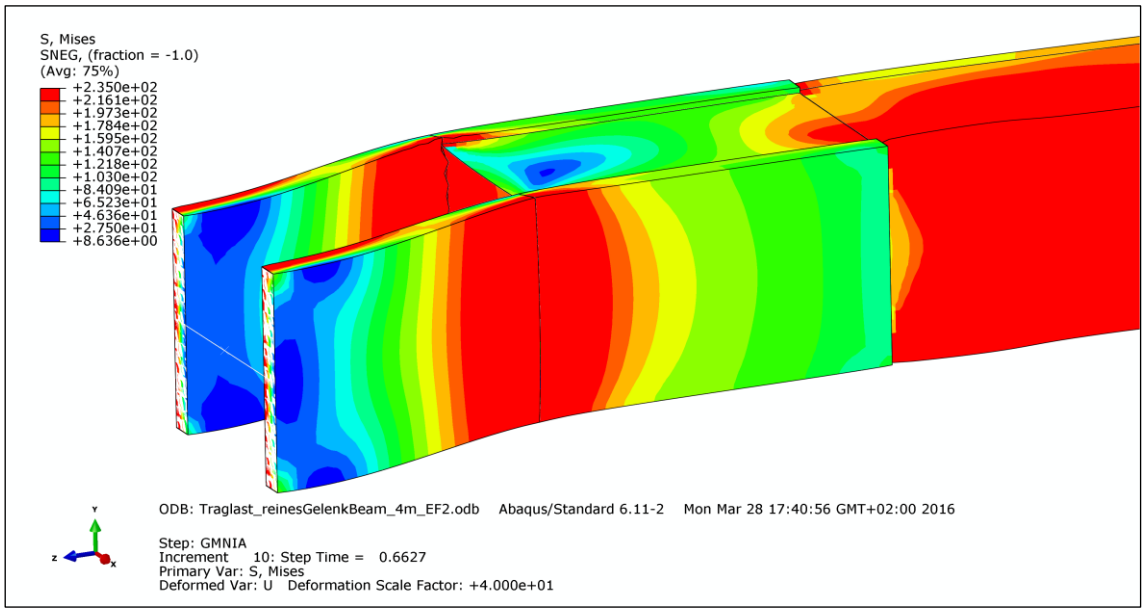


Abbildung 9-329: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





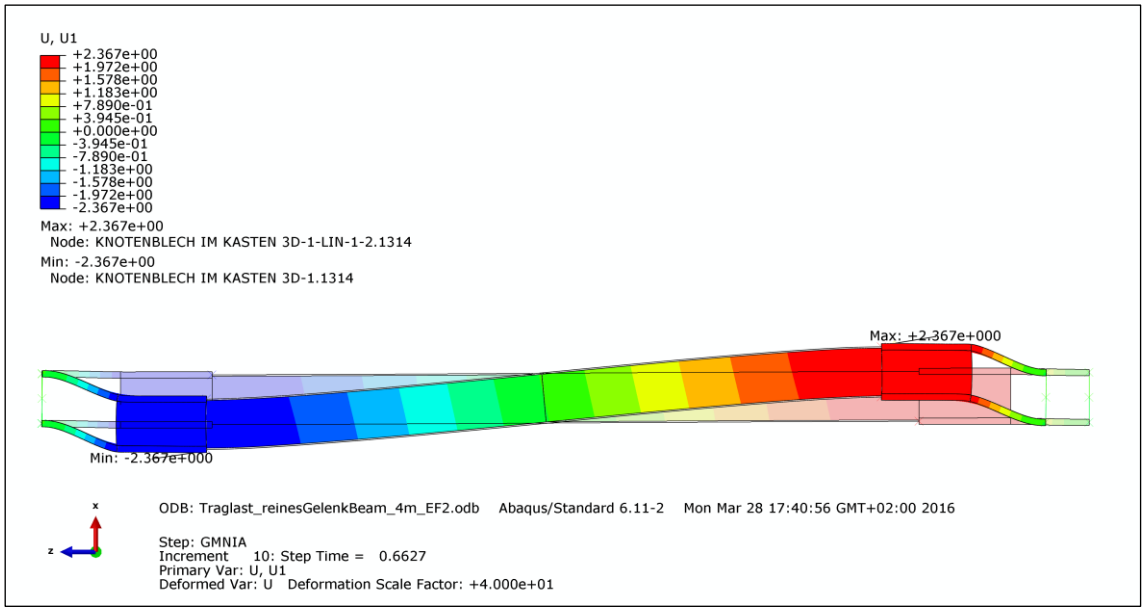


Abbildung 9-330: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2

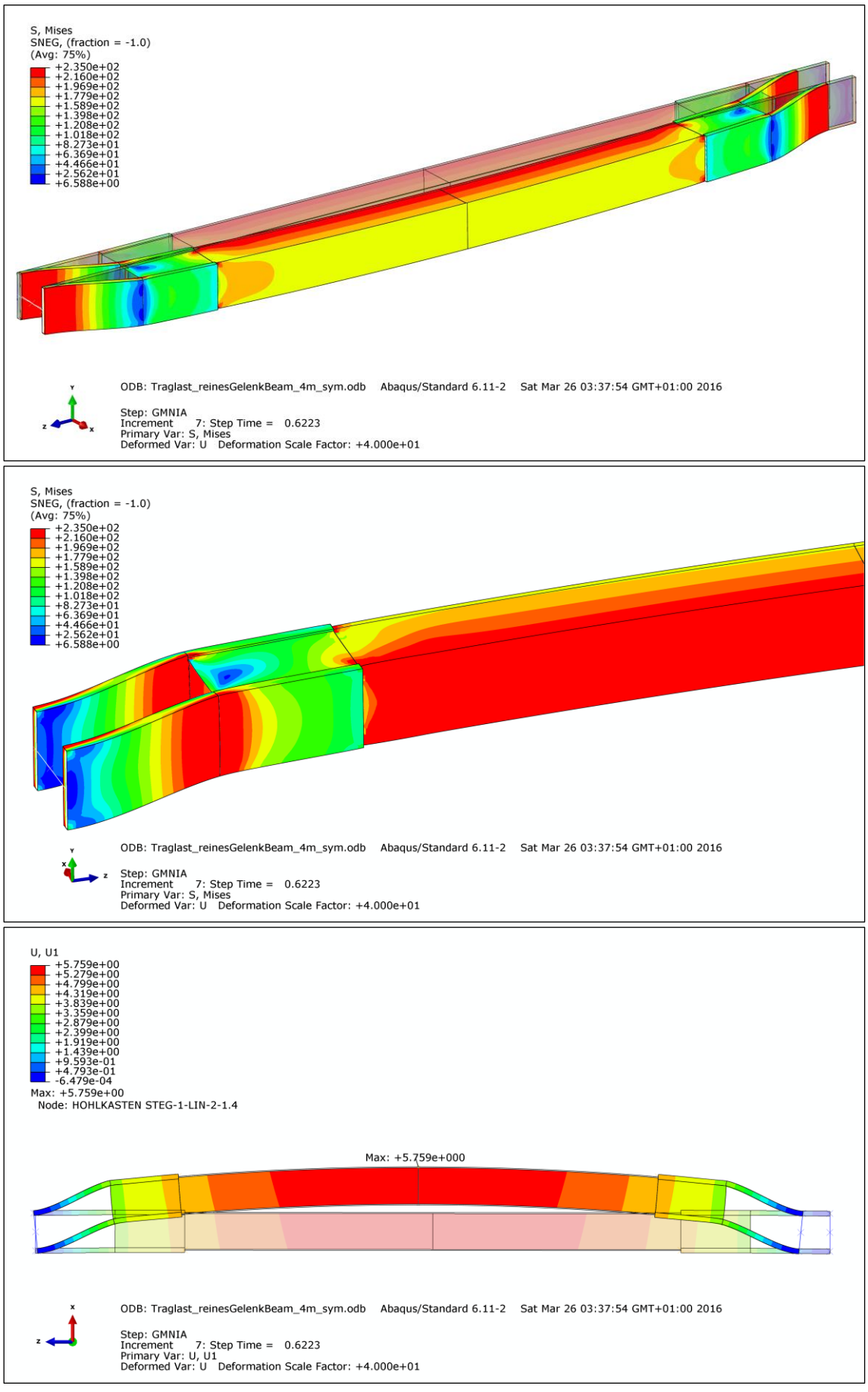
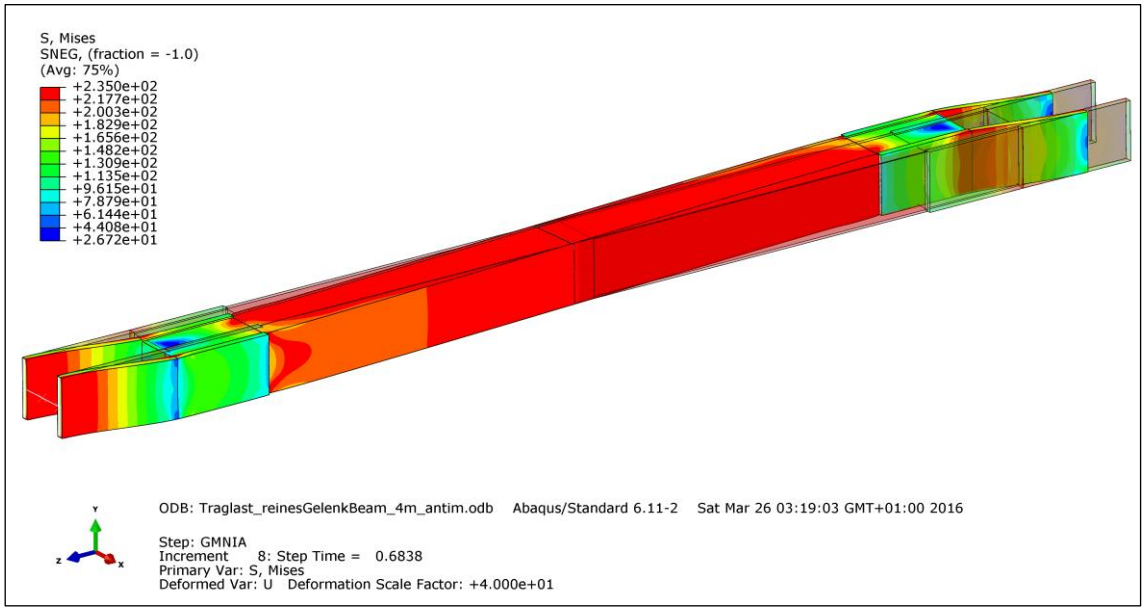
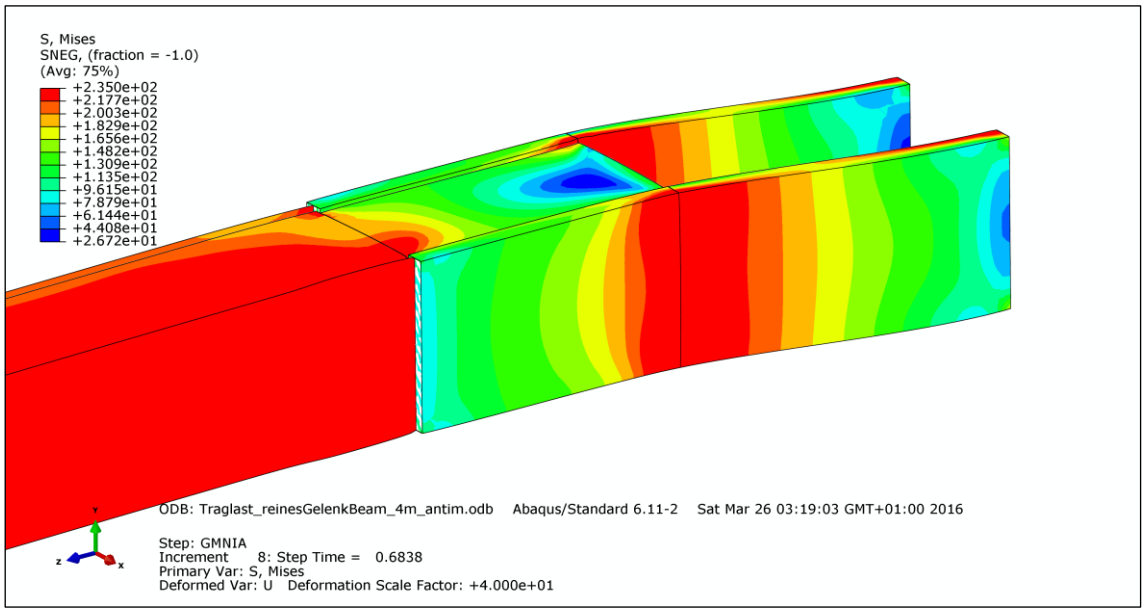


Abbildung 9-331: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





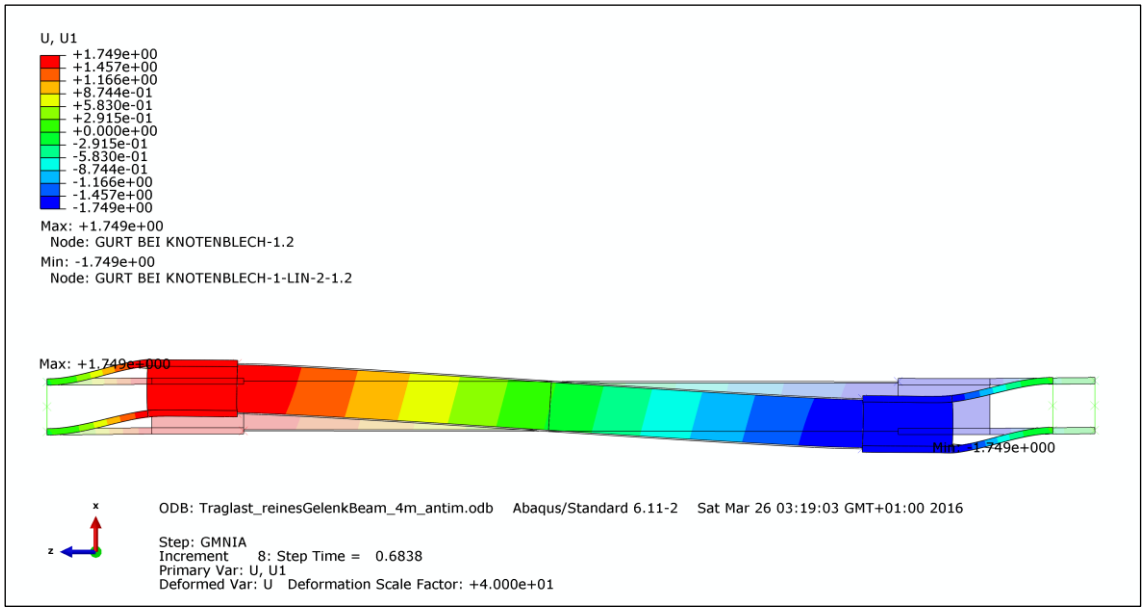
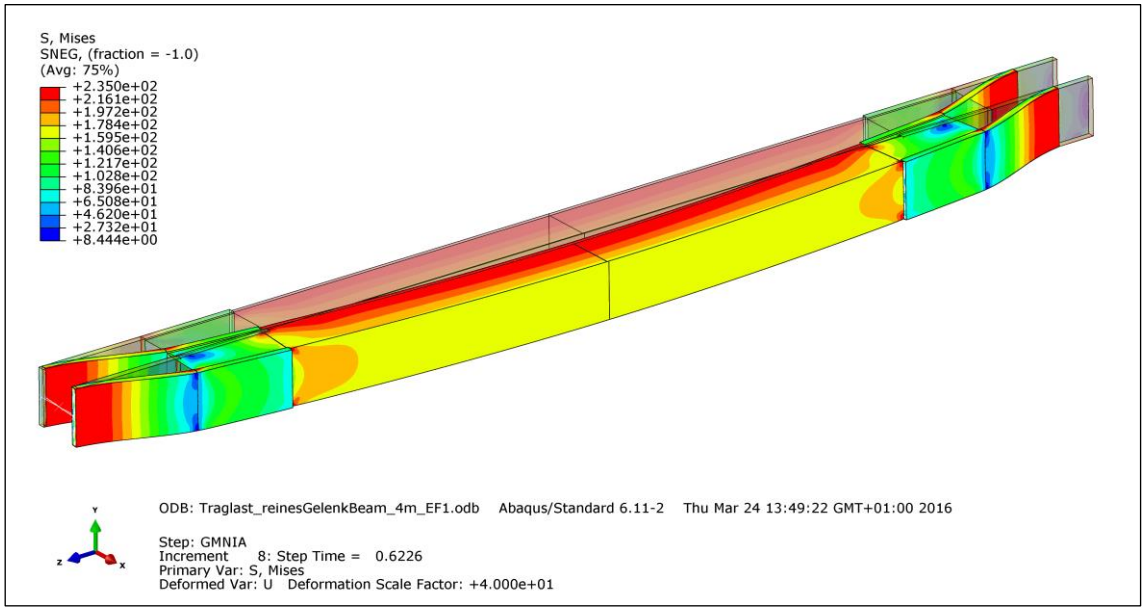
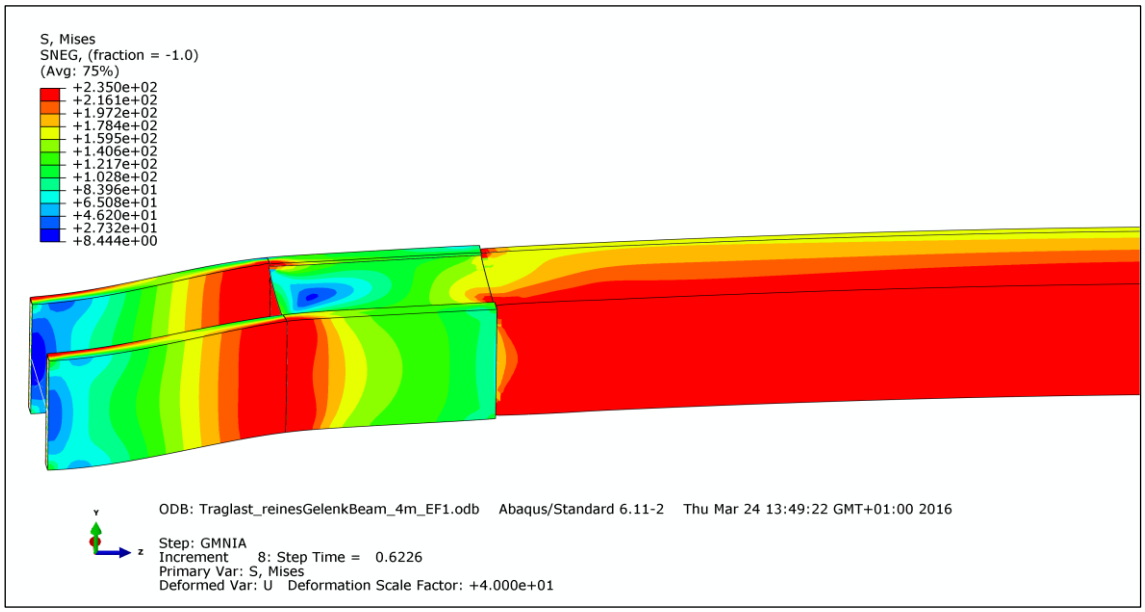


Abbildung 9-332: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





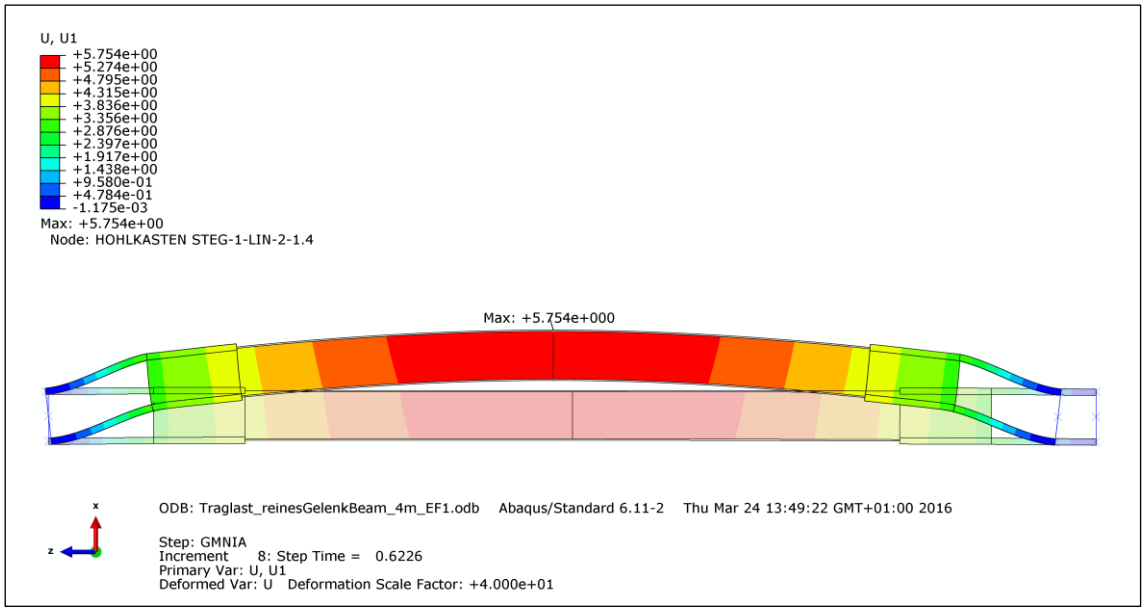
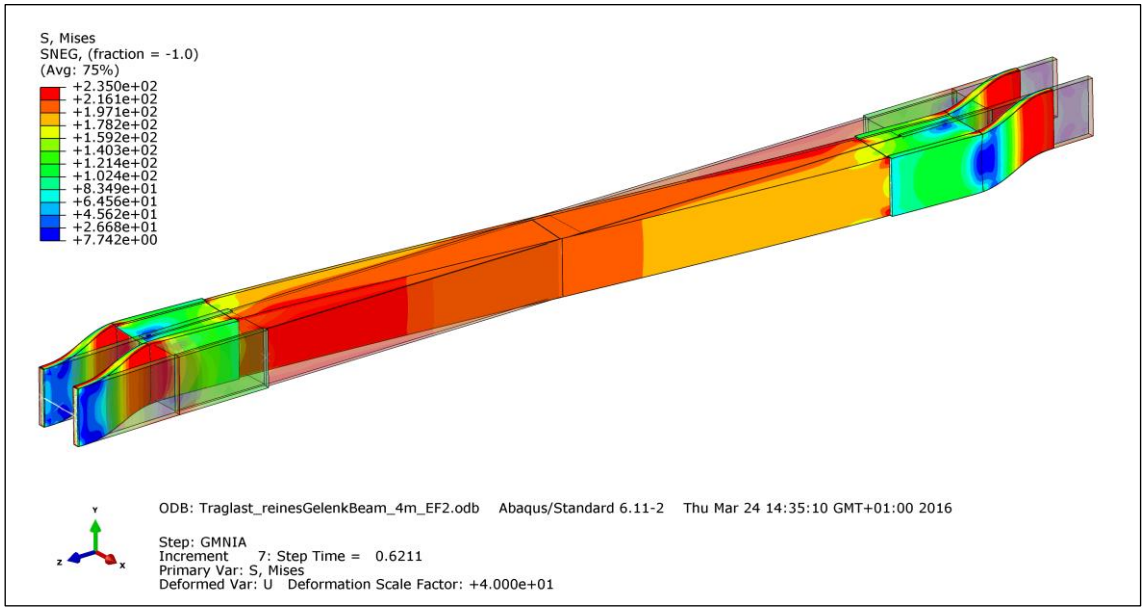
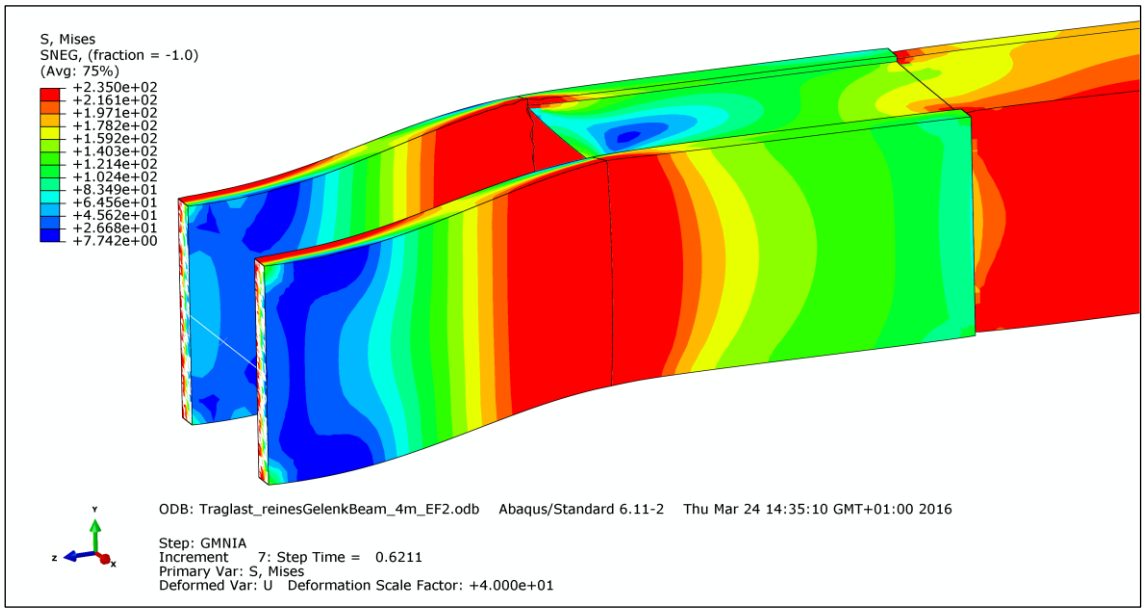


Abbildung 9-333: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





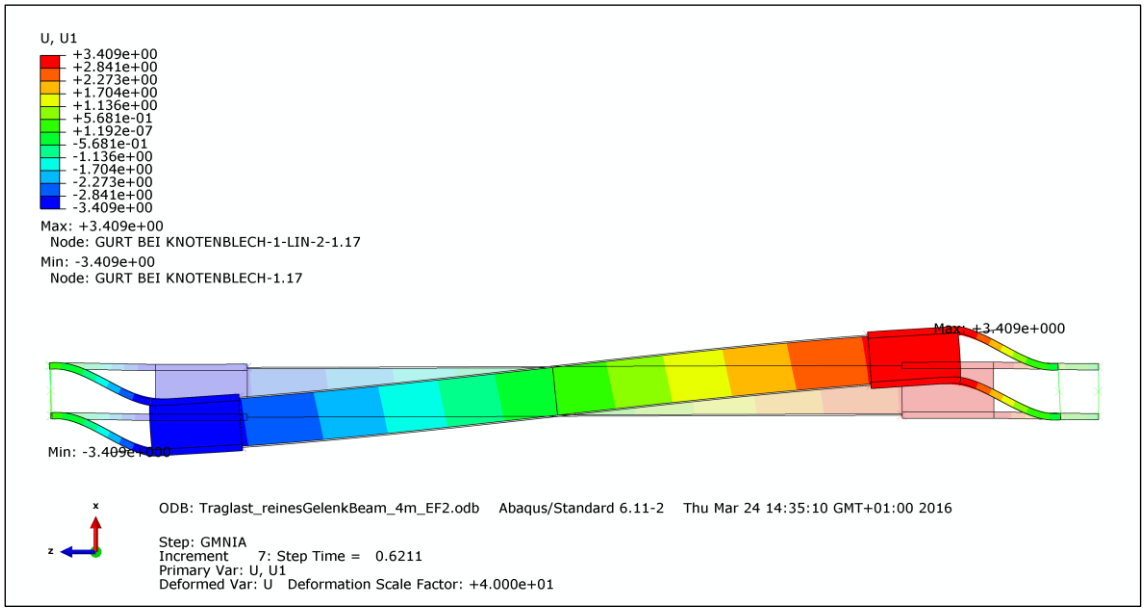
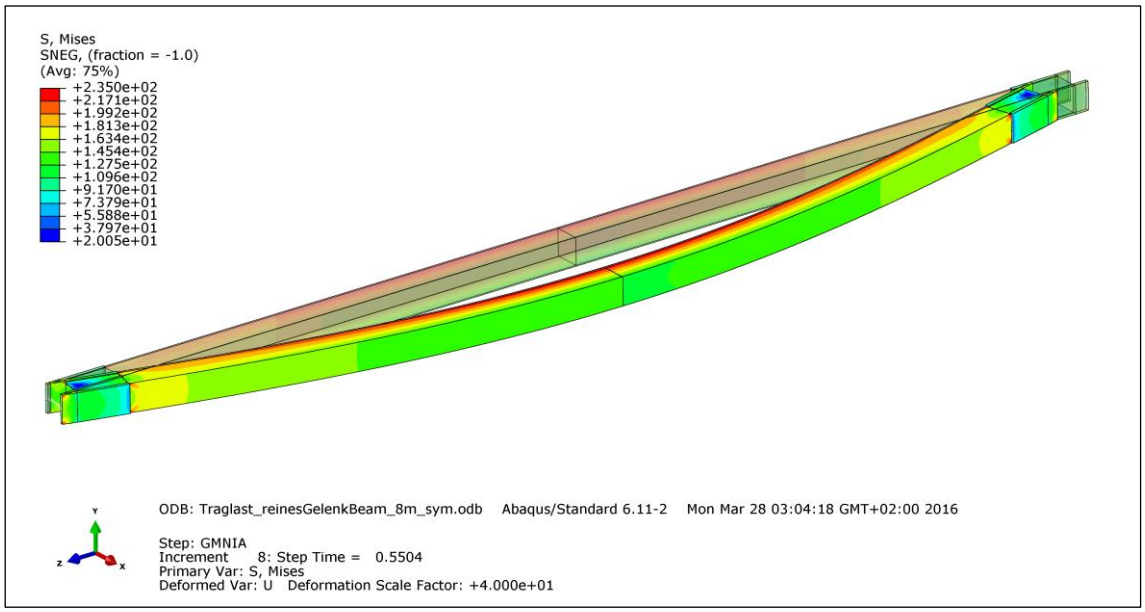
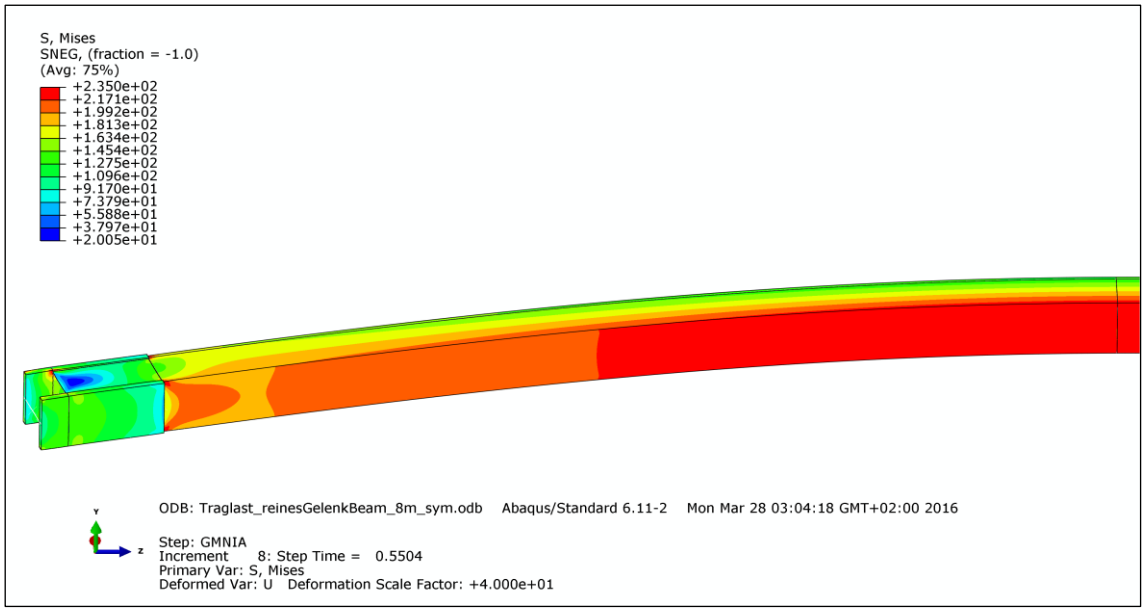


Abbildung 9-334: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm**





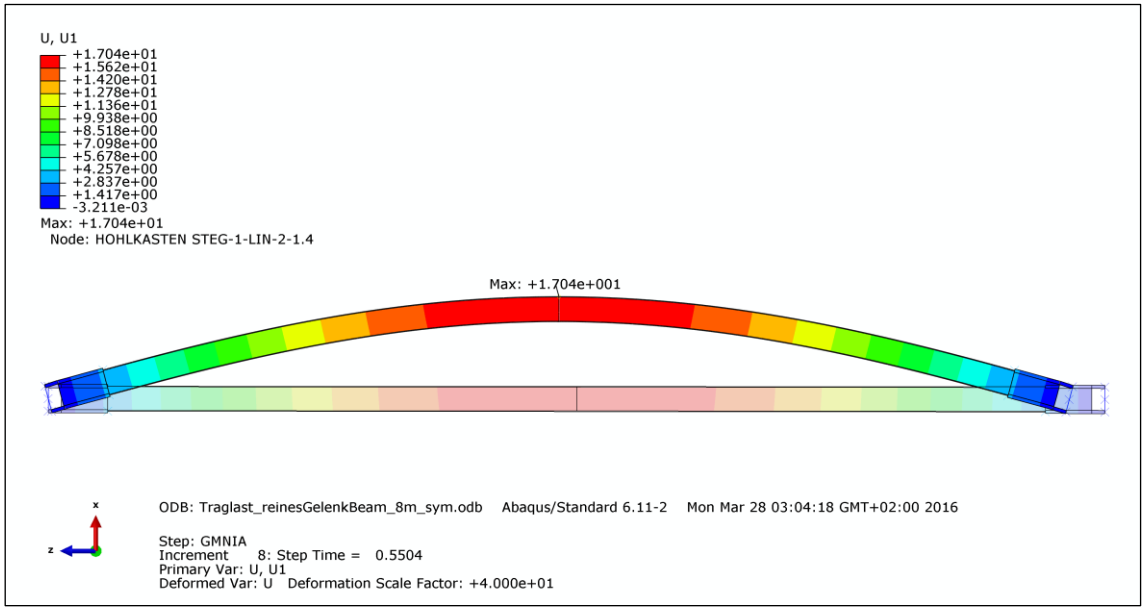
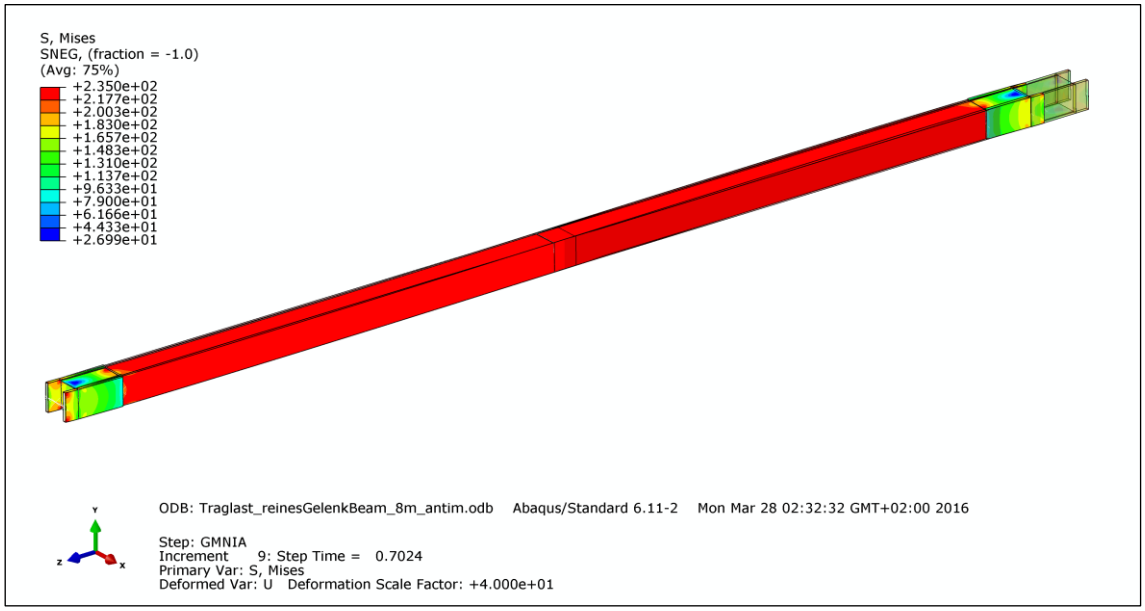
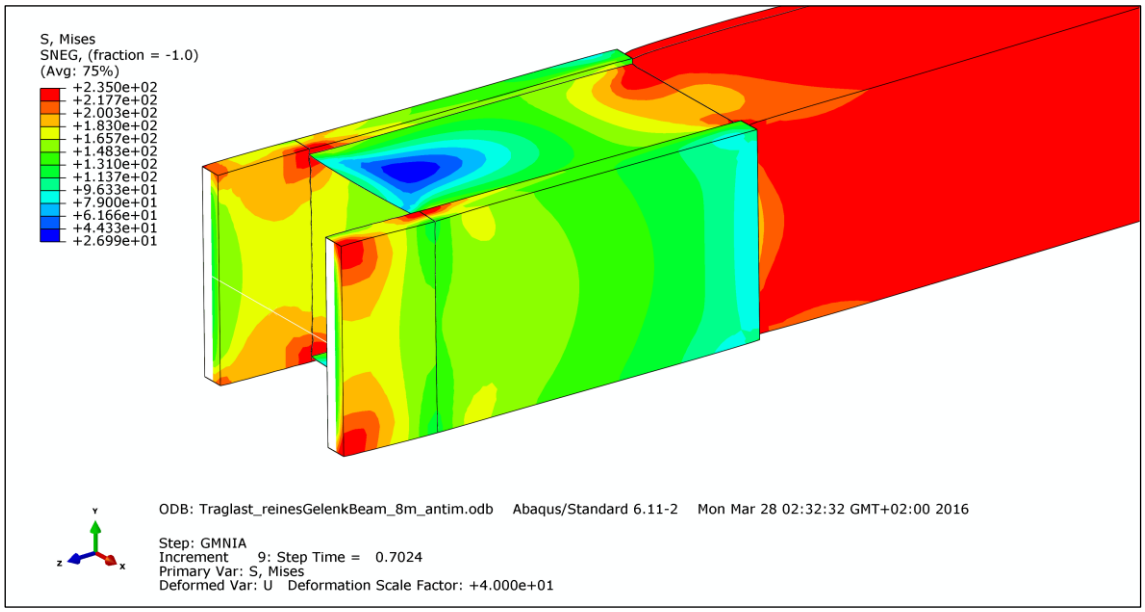


Abbildung 9-335: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





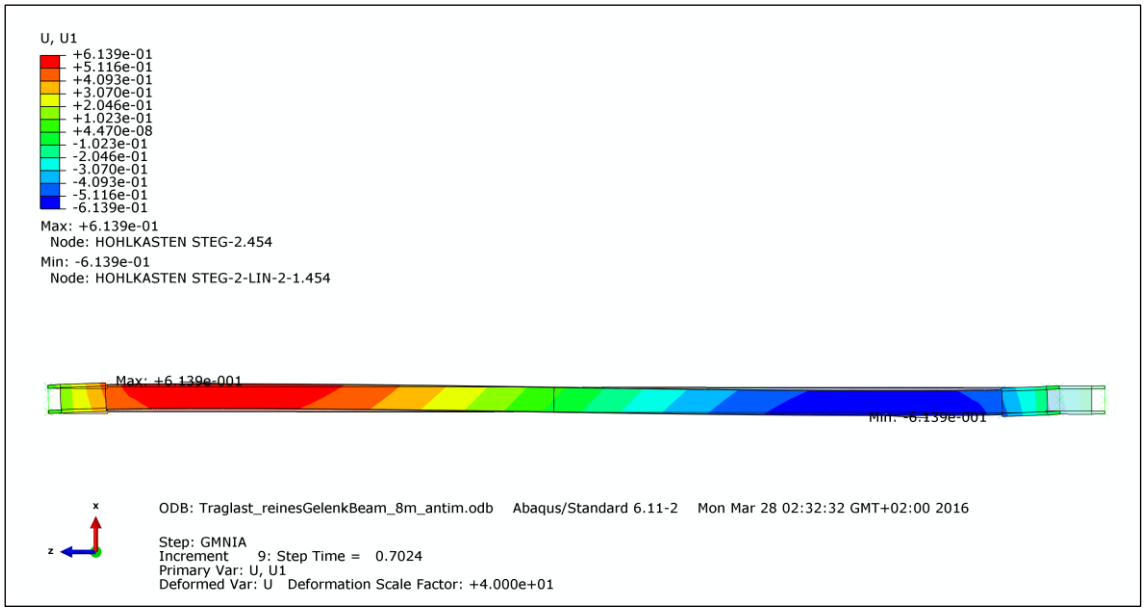
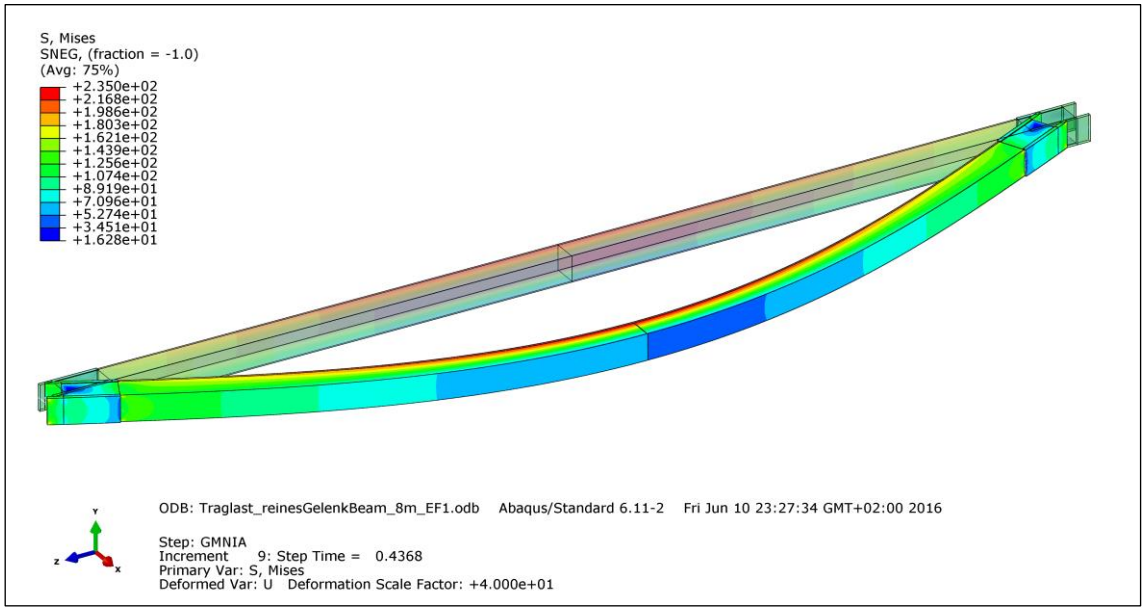
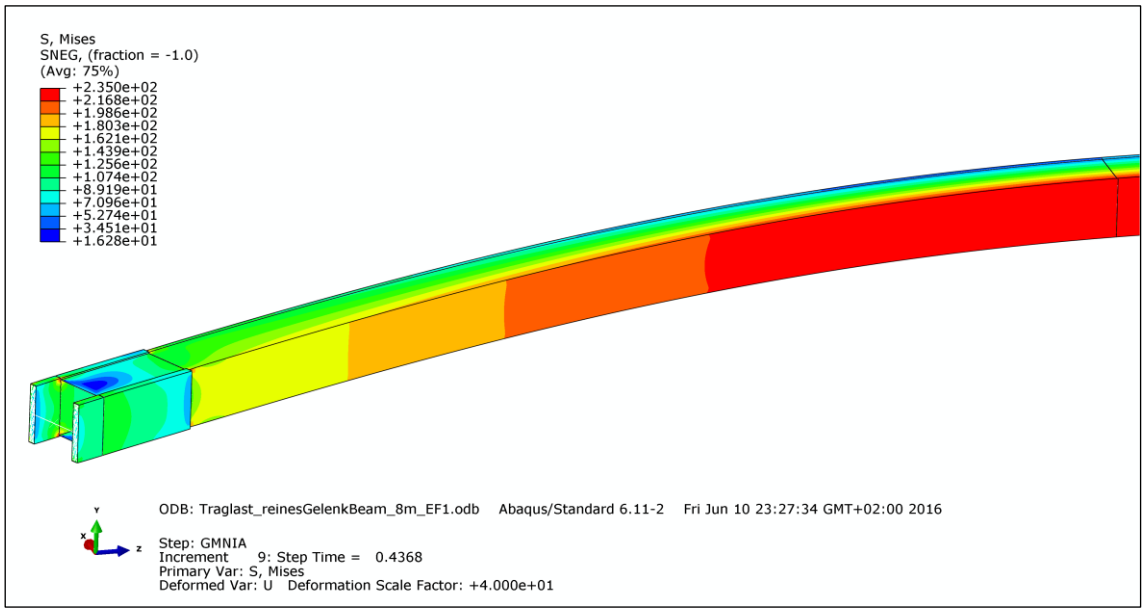


Abbildung 9-336: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





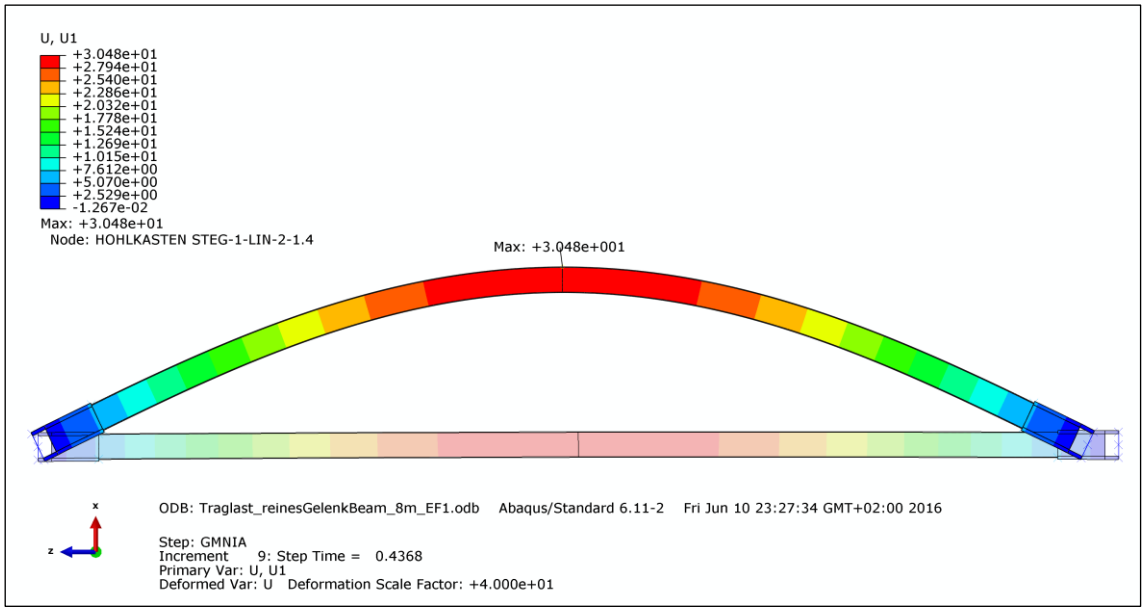
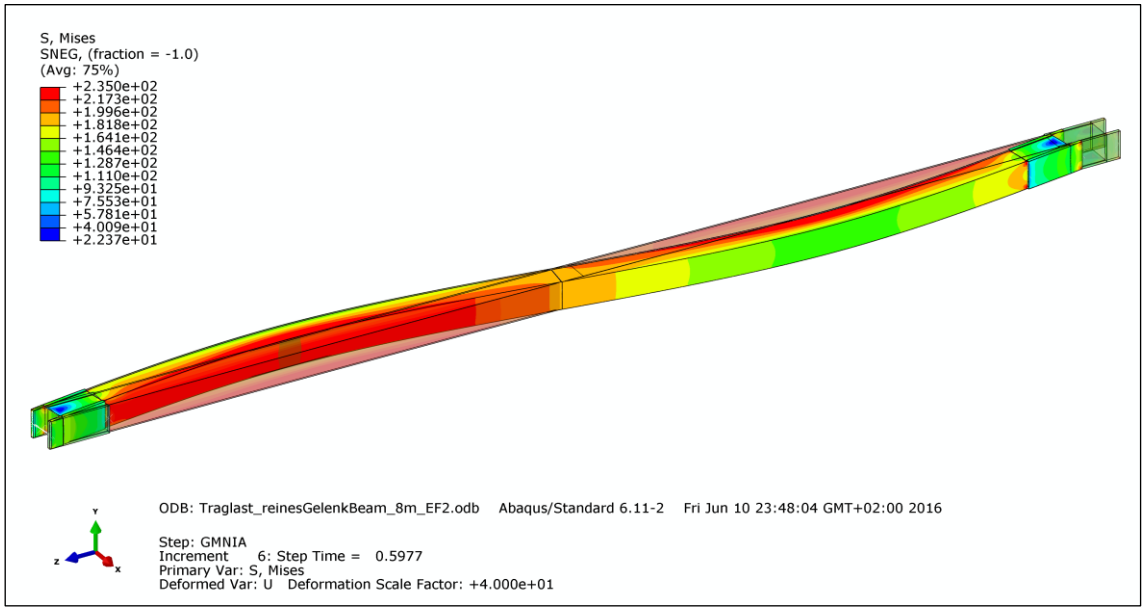
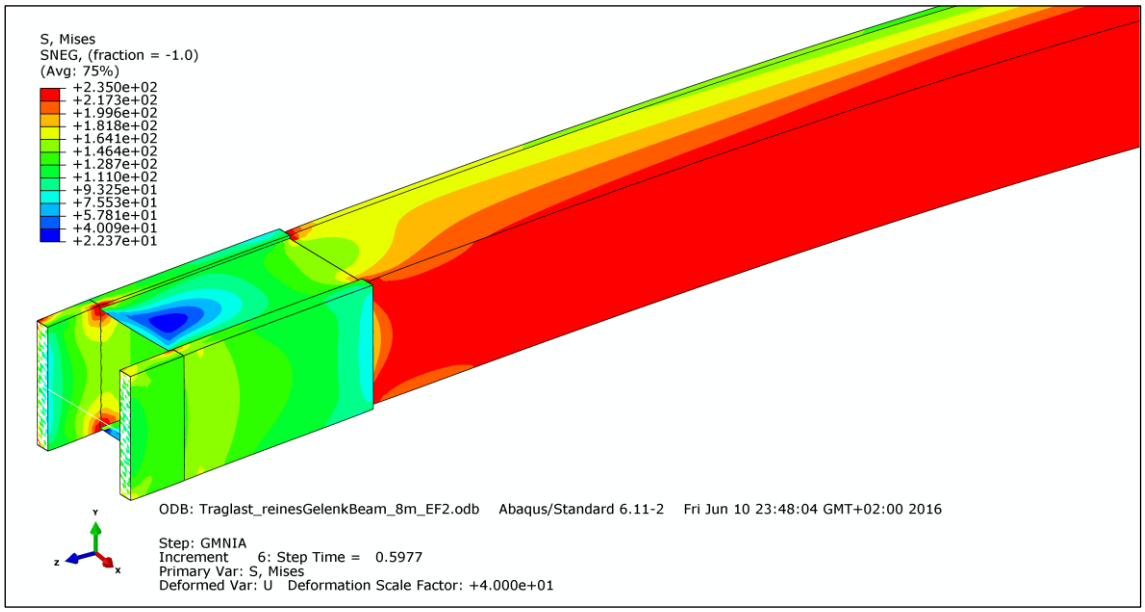


Abbildung 9-337: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





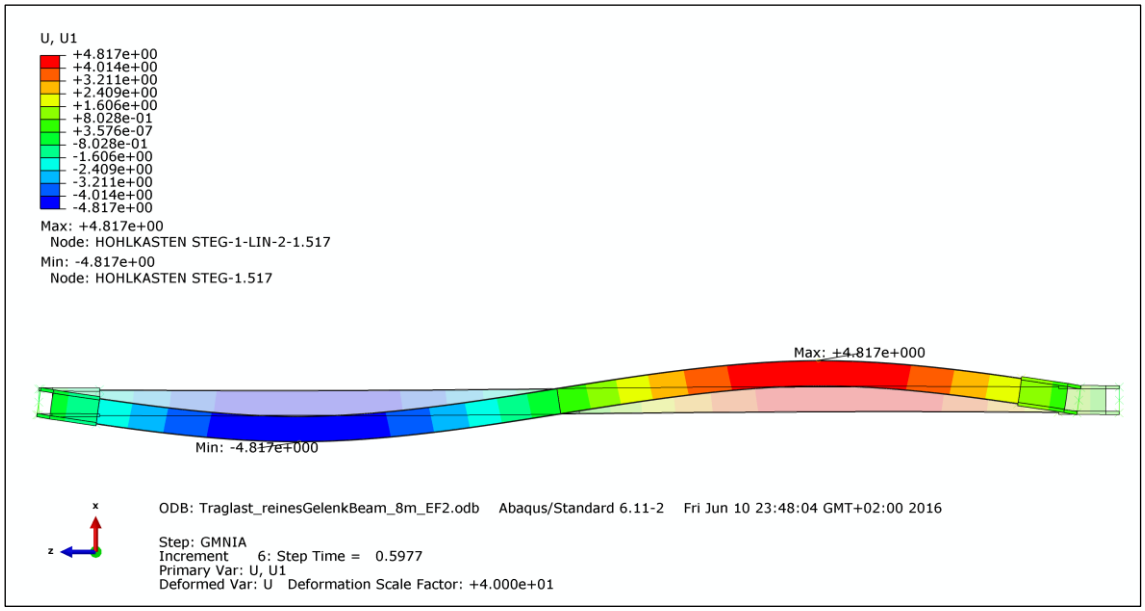
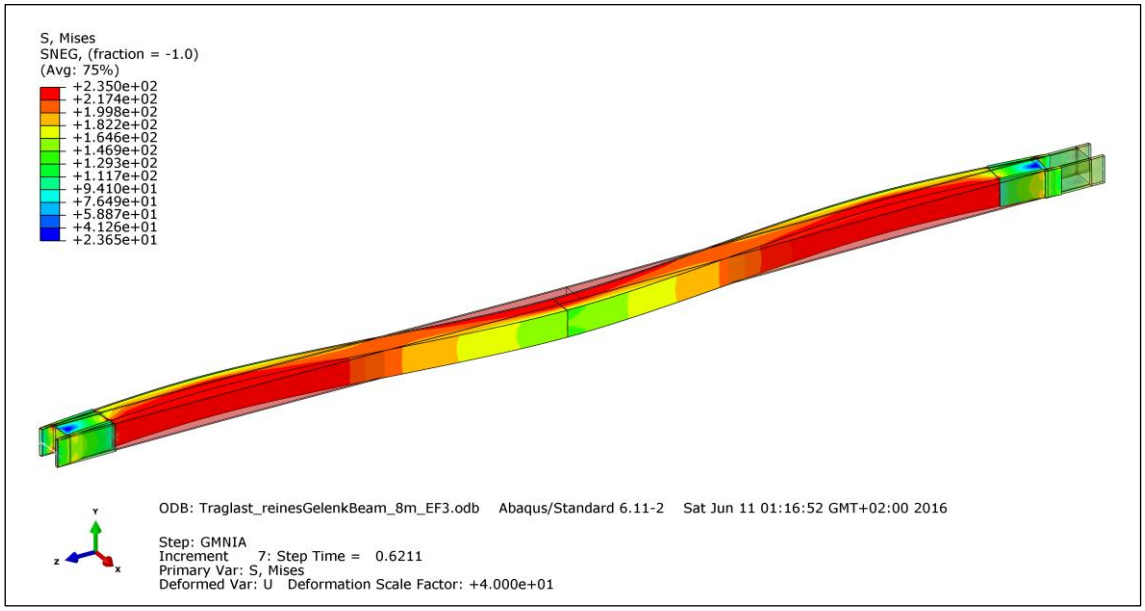
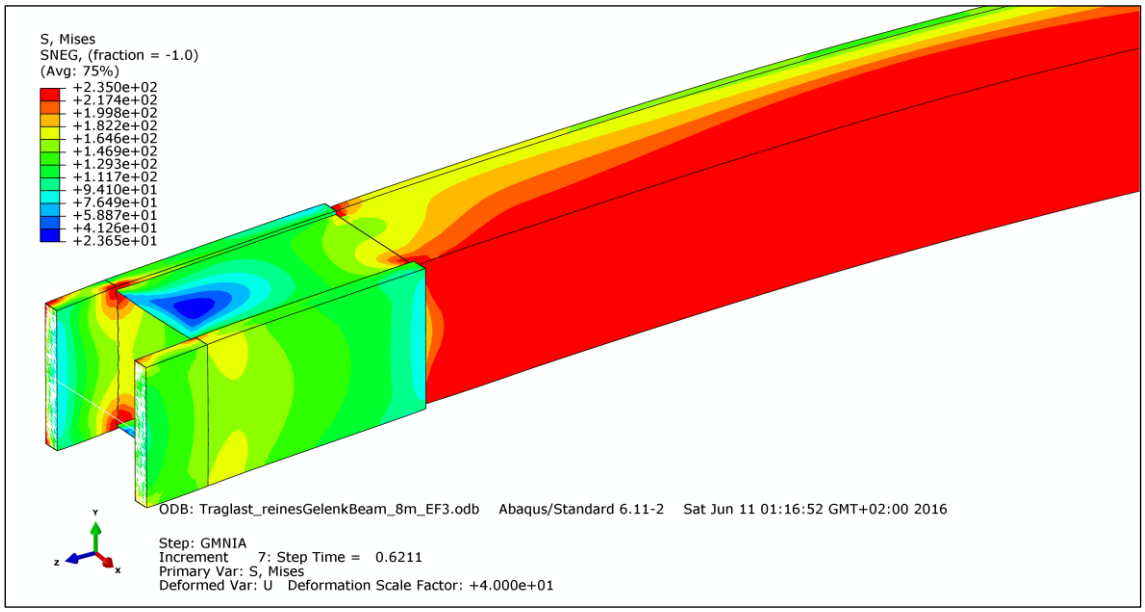


Abbildung 9-338: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





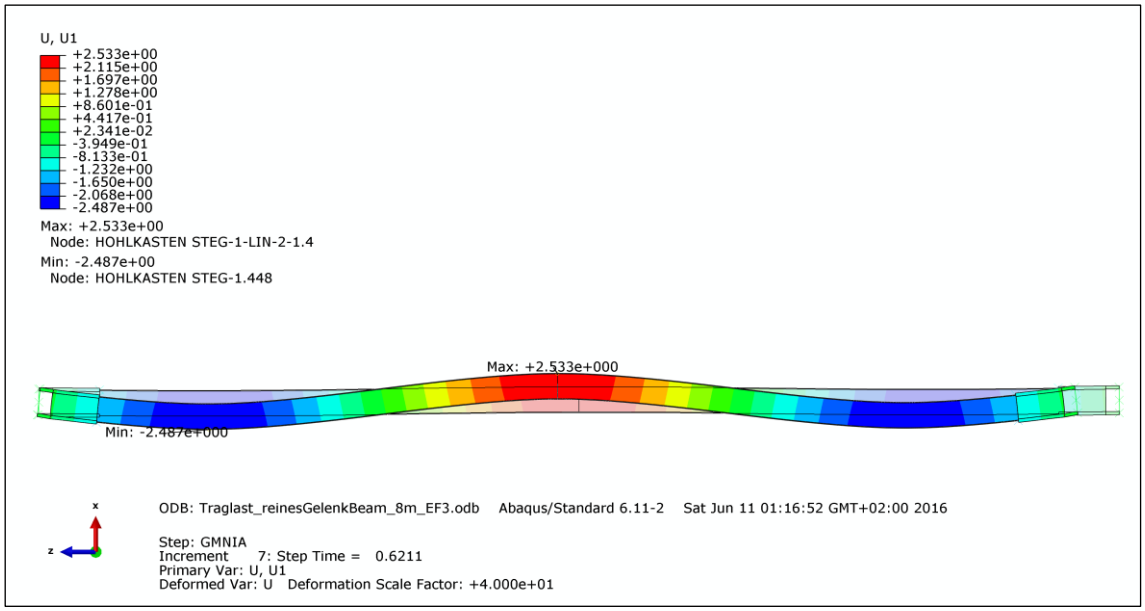


Abbildung 9-339: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

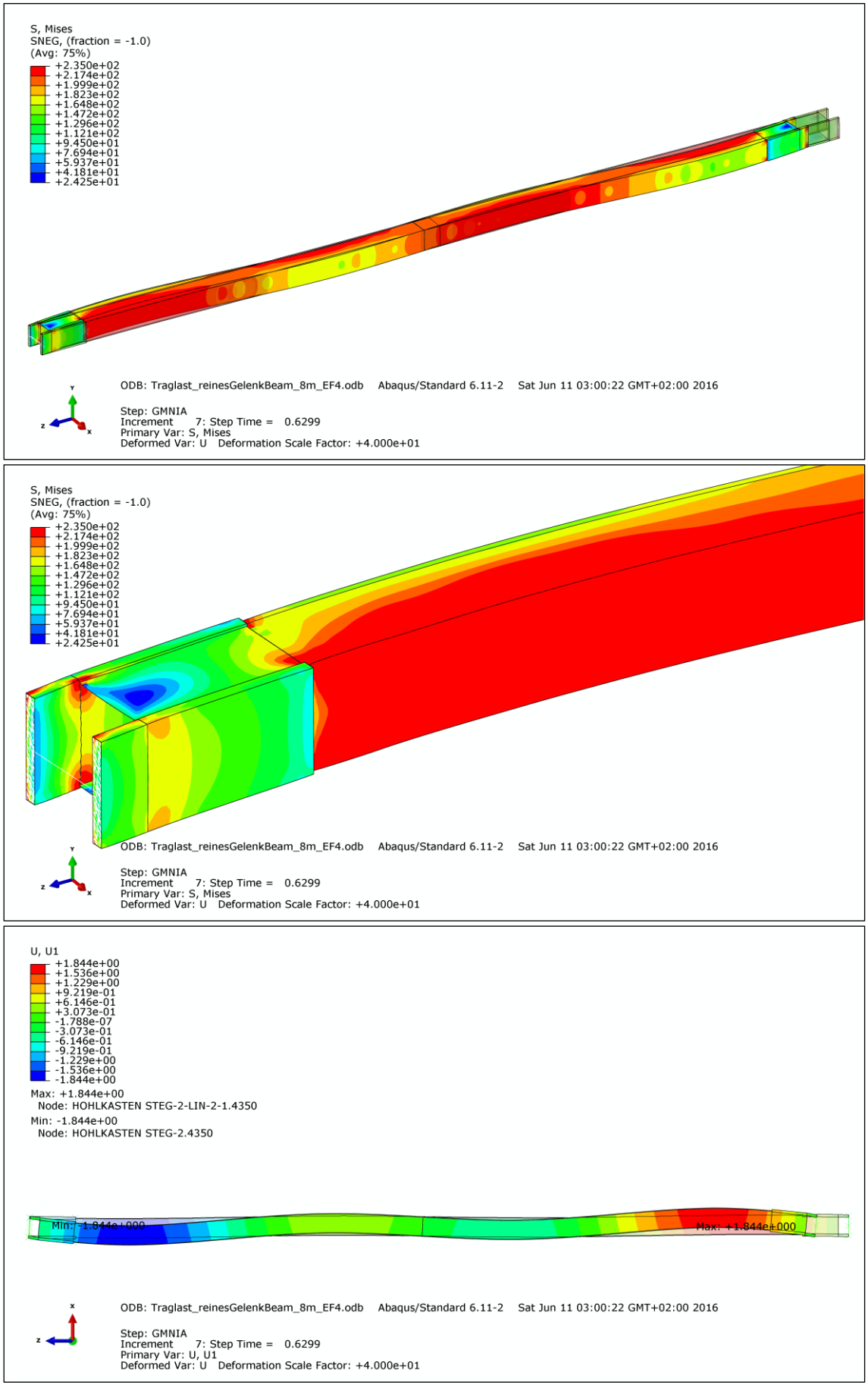


Abbildung 9-340: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

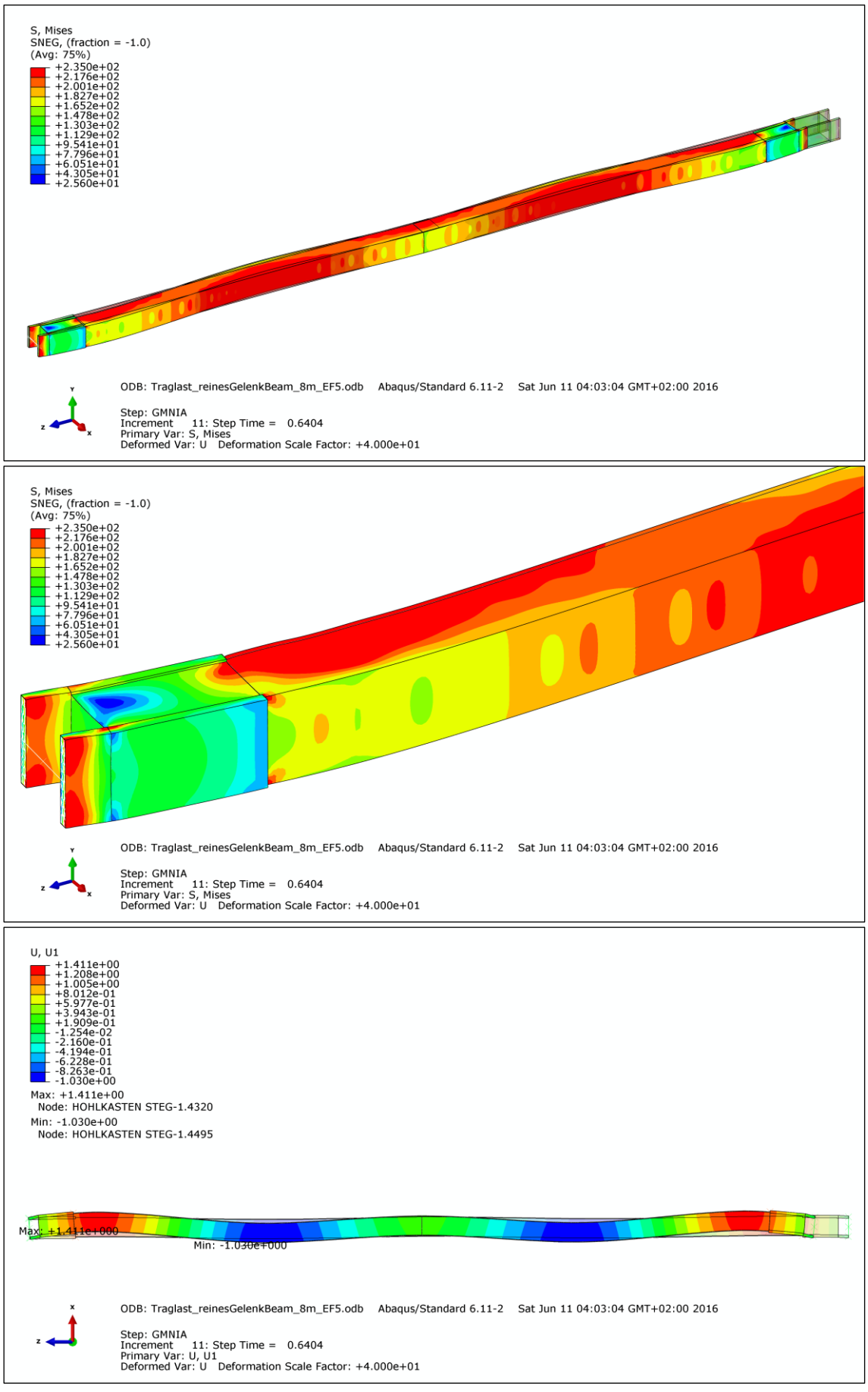
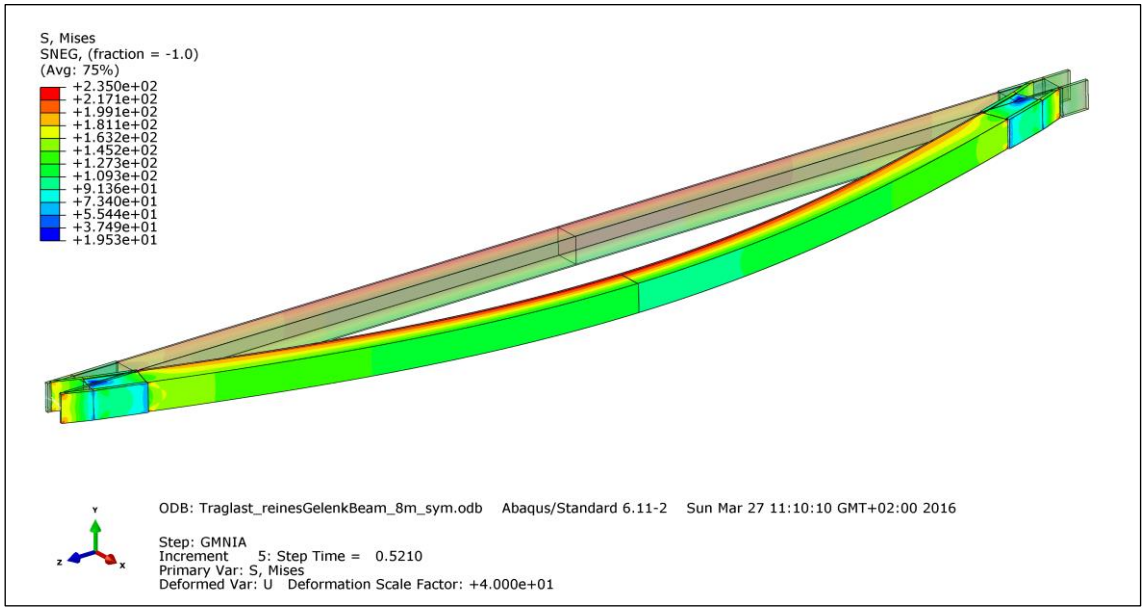
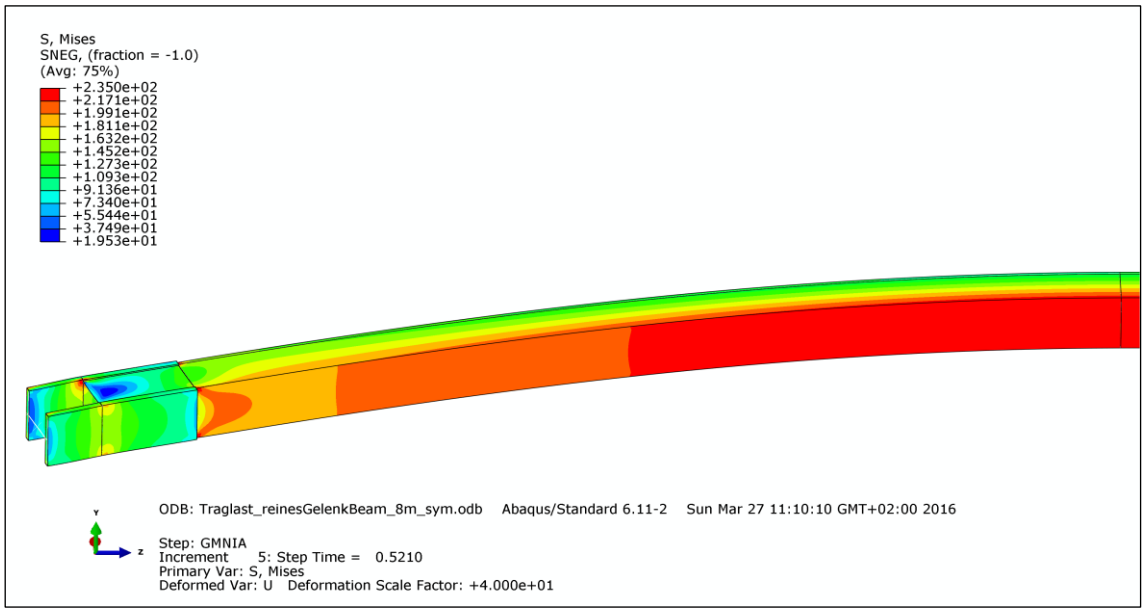


Abbildung 9-341: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5





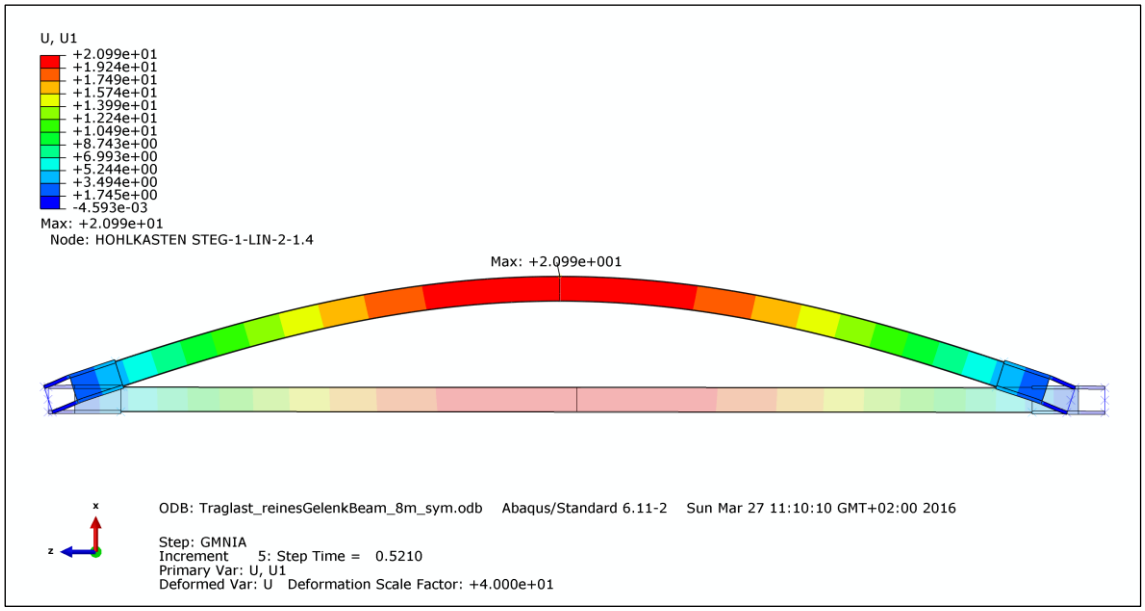
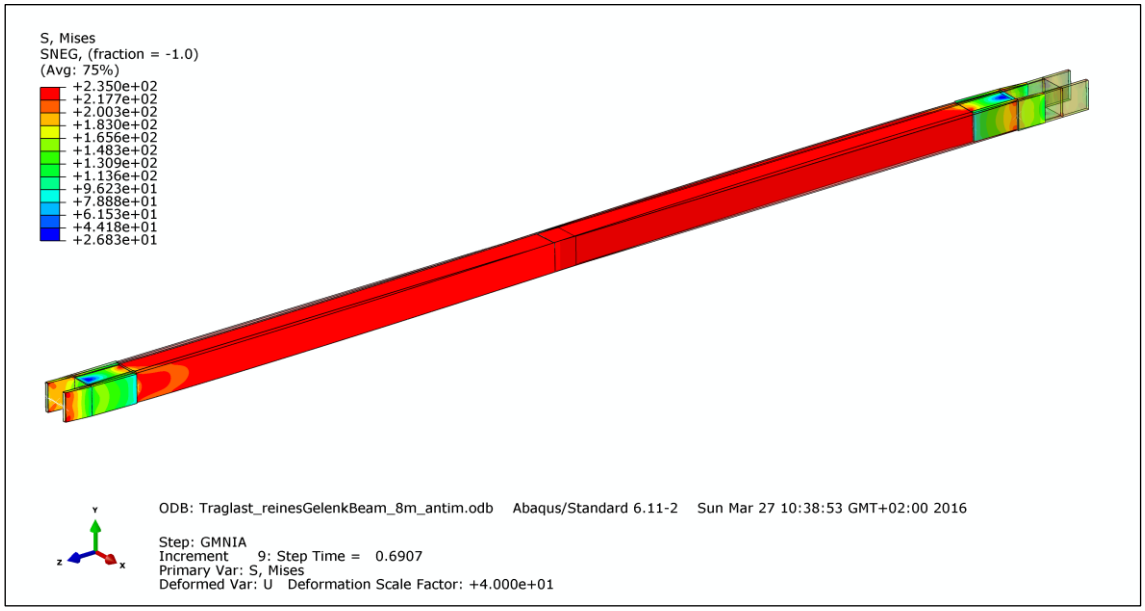
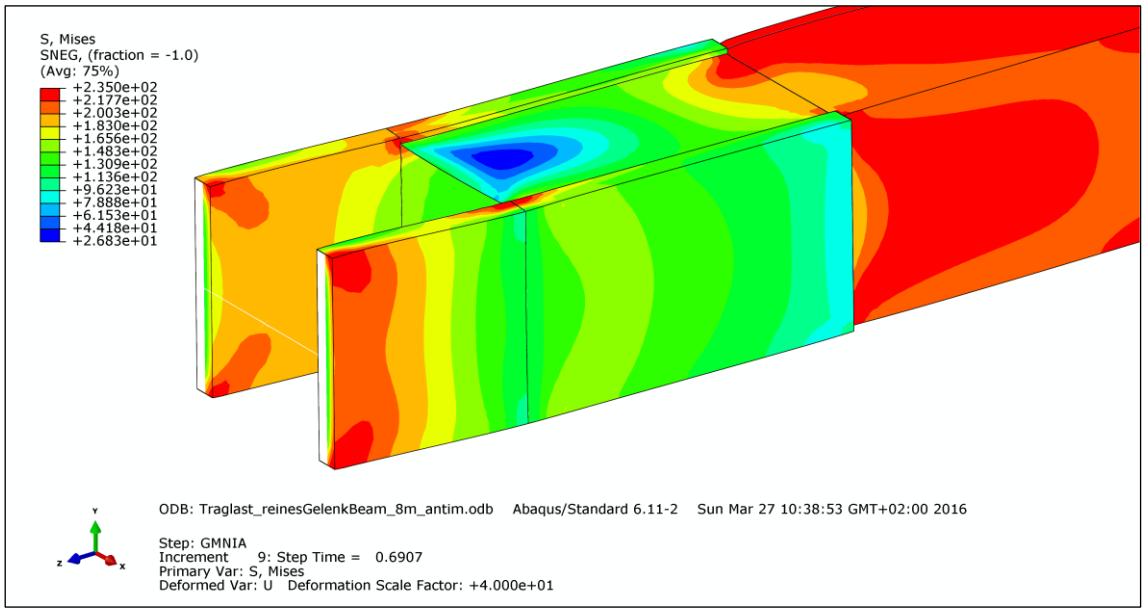


Abbildung 9-342: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





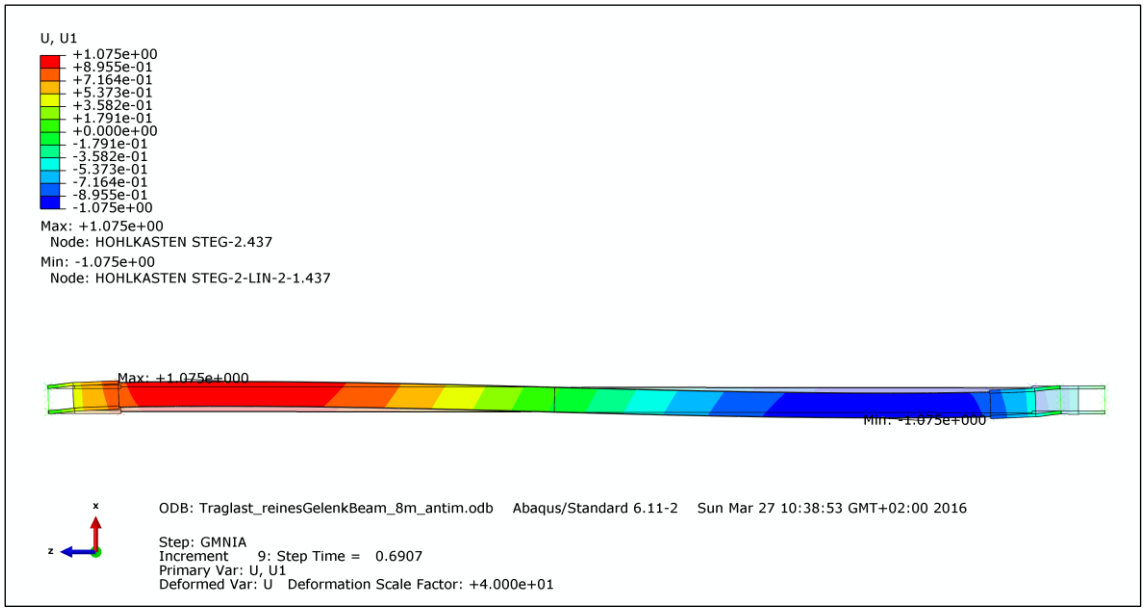
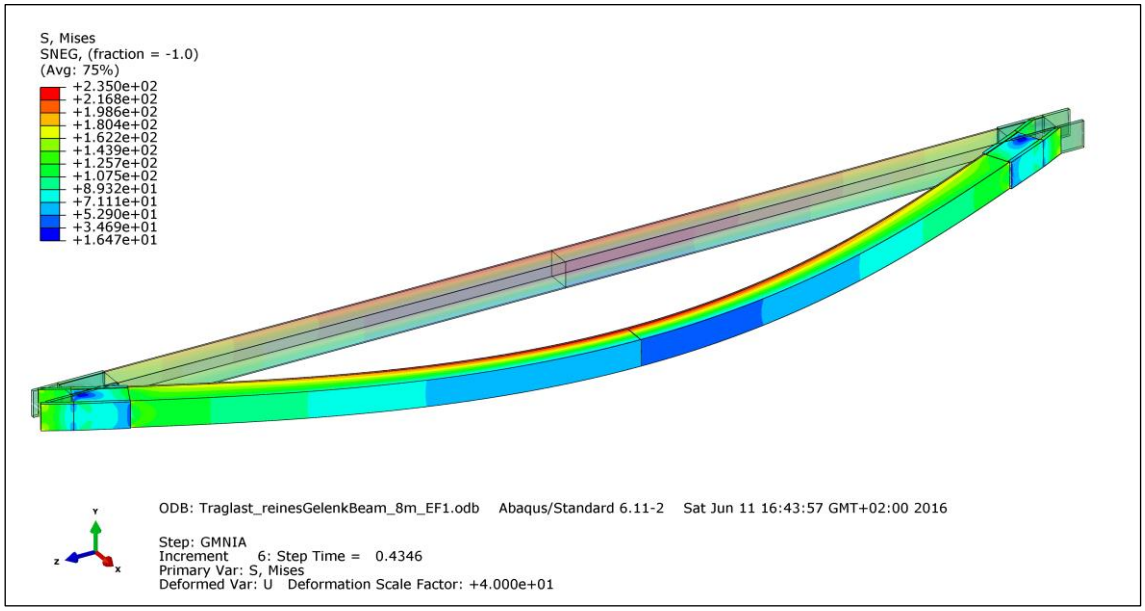
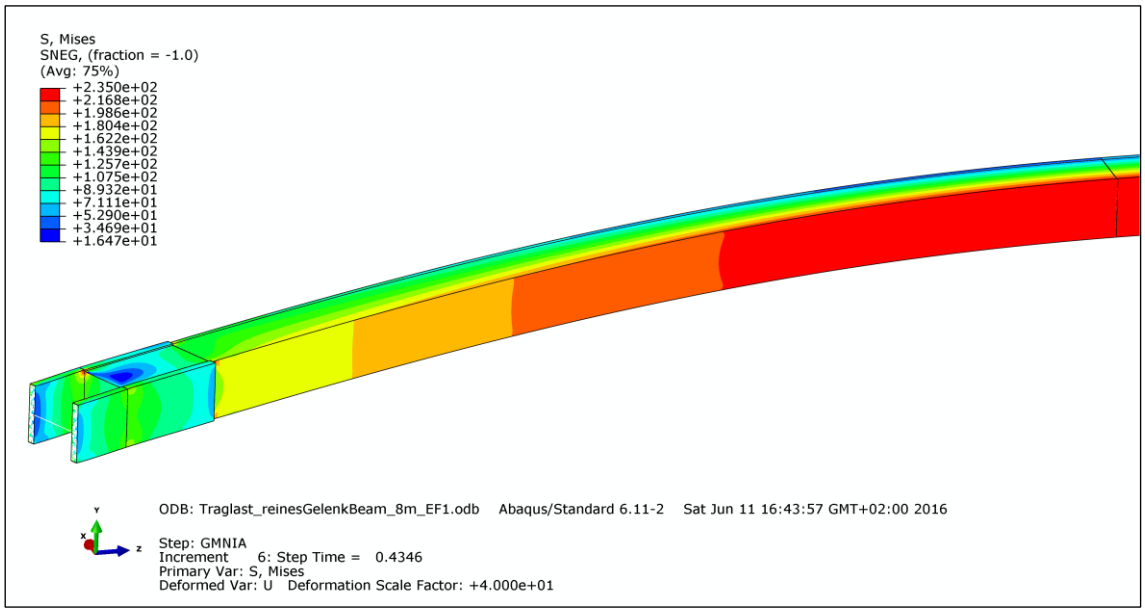


Abbildung 9-343: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





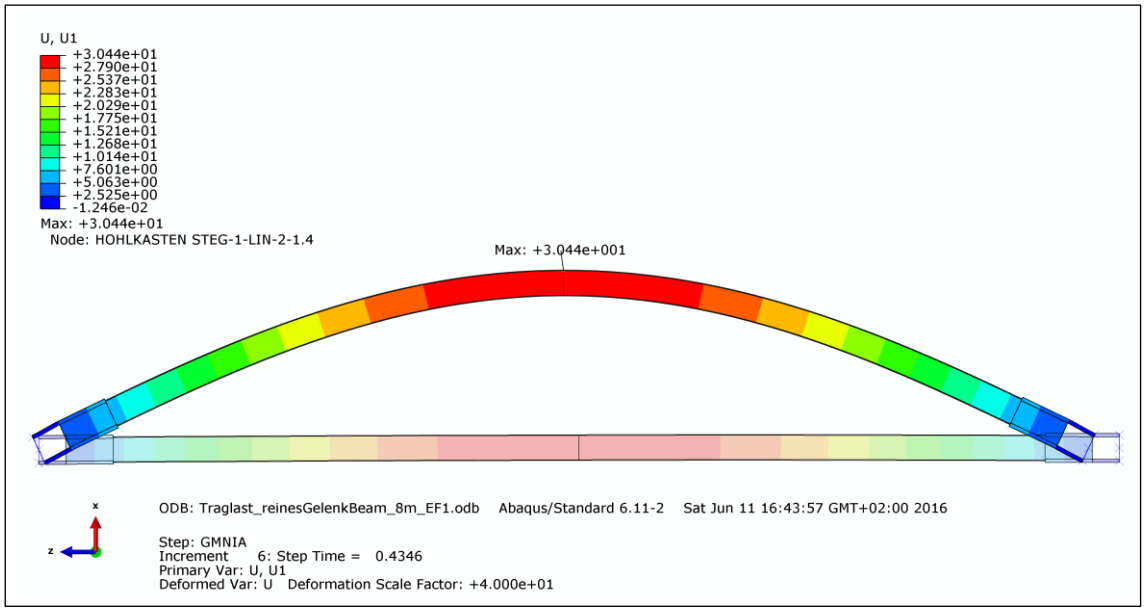
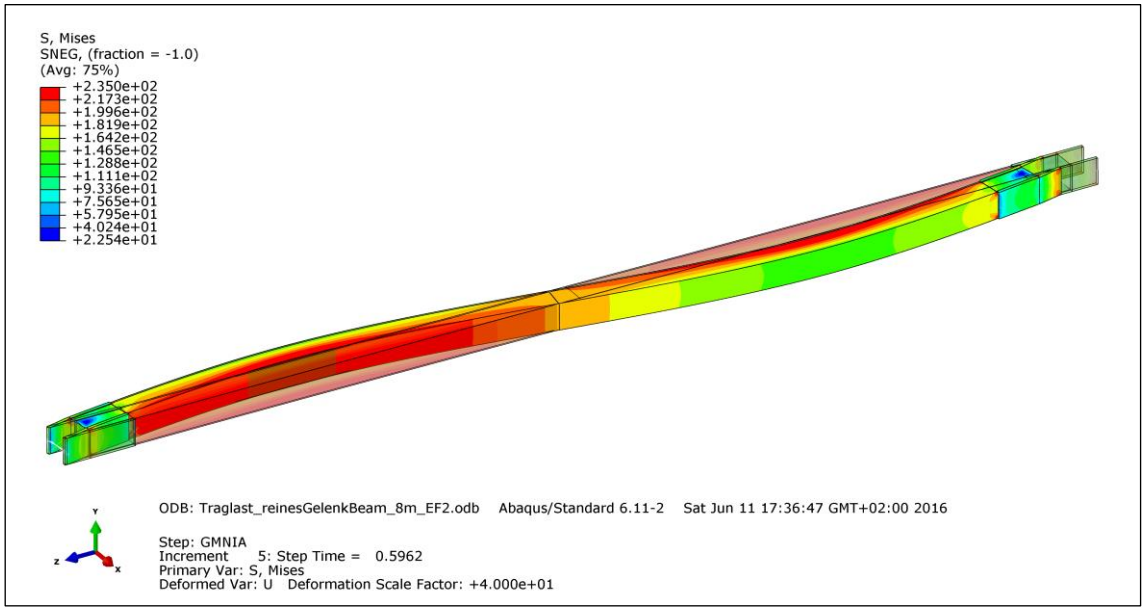
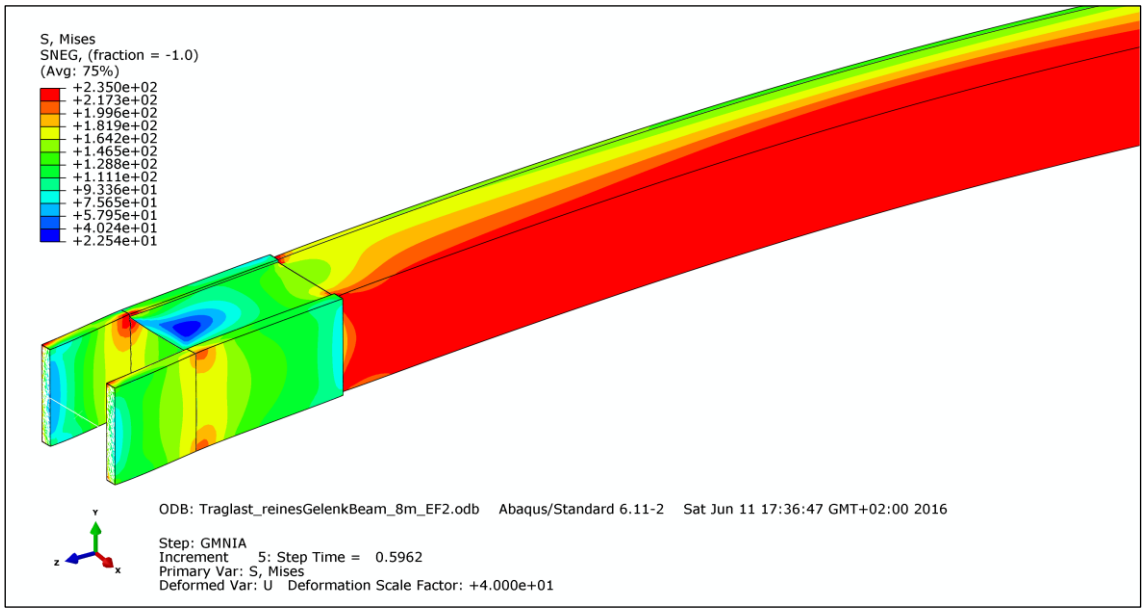


Abbildung 9-344: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





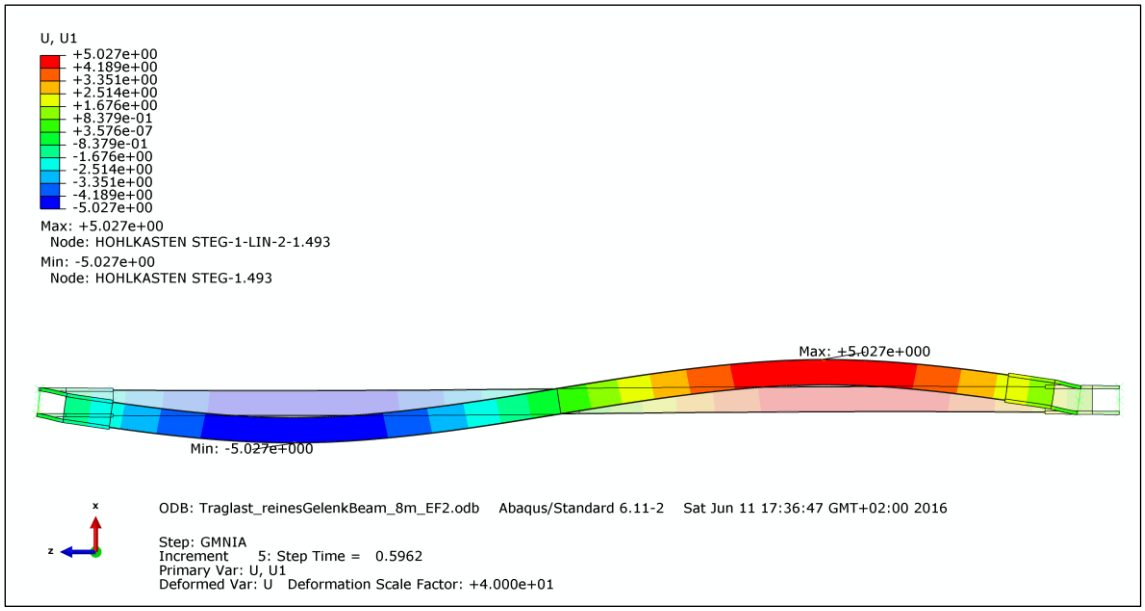
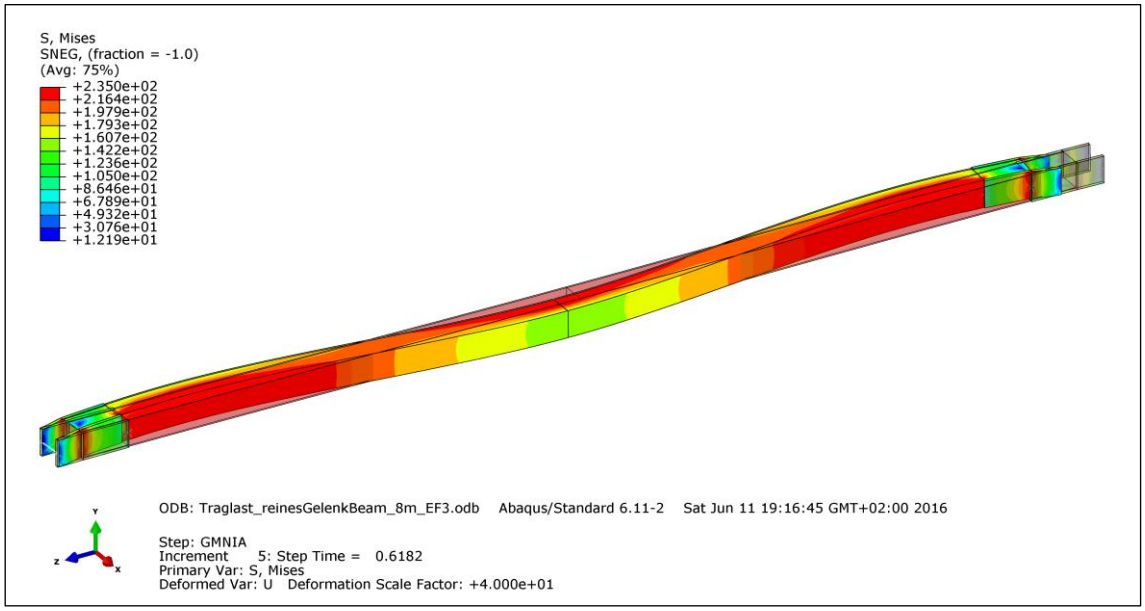
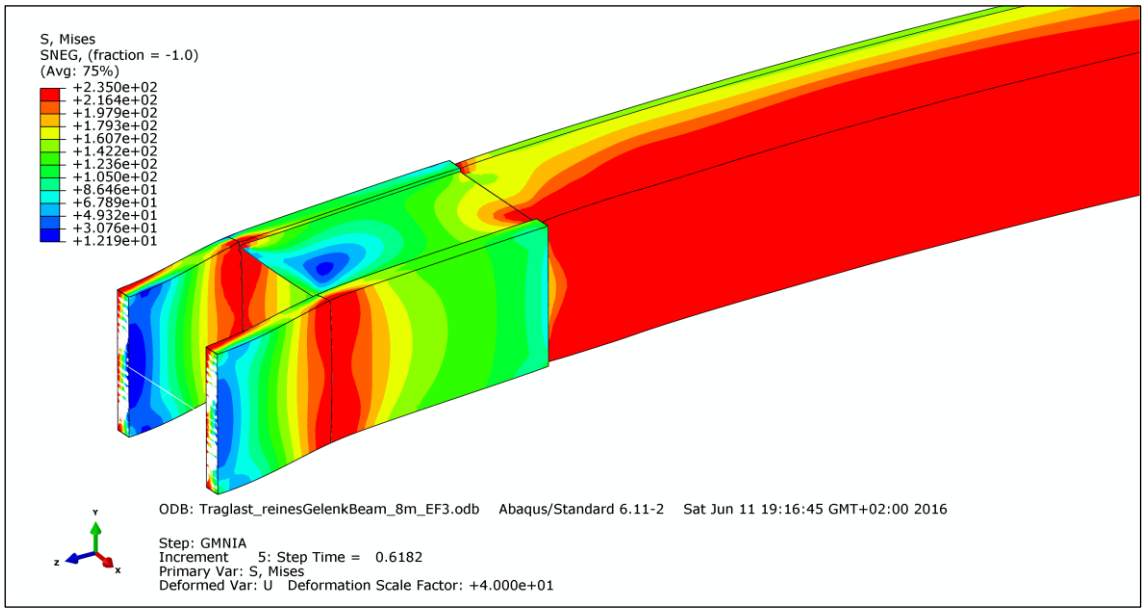


Abbildung 9-345: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





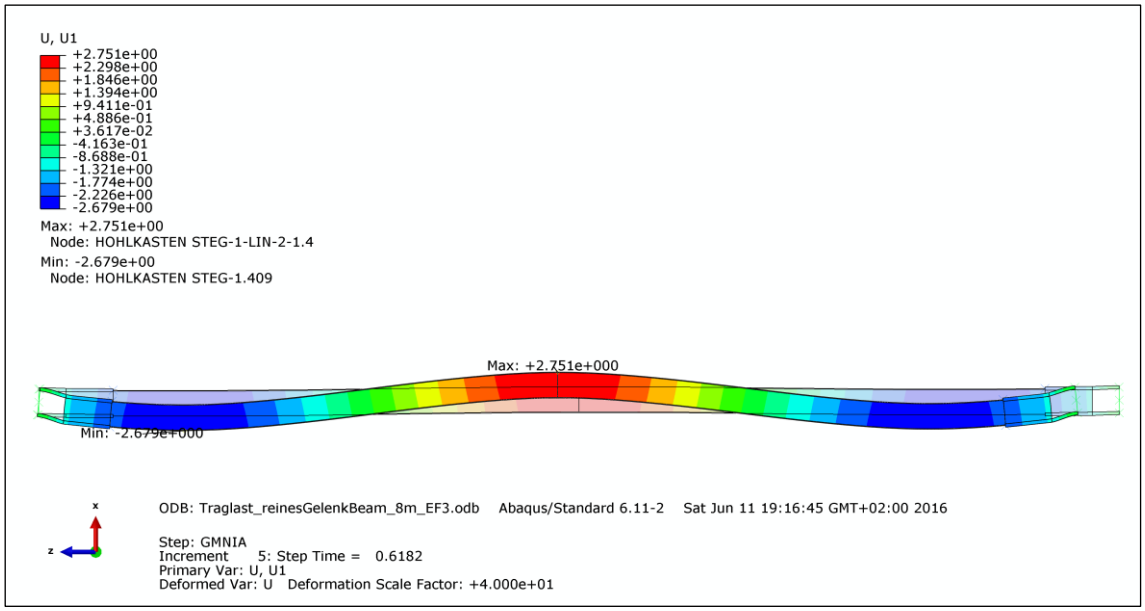
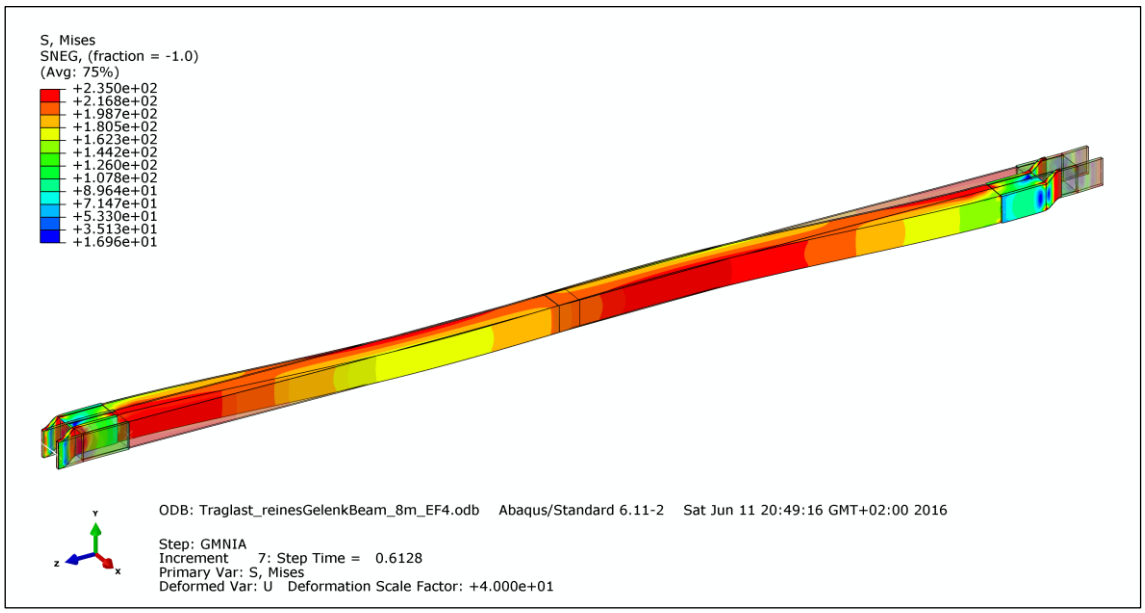
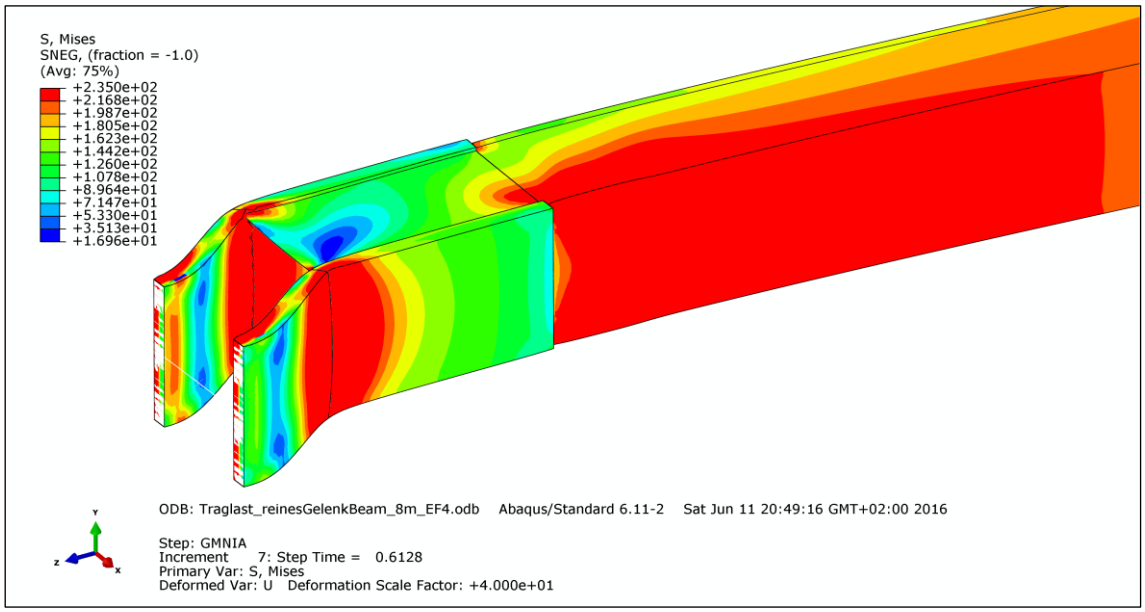


Abbildung 9-346: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3





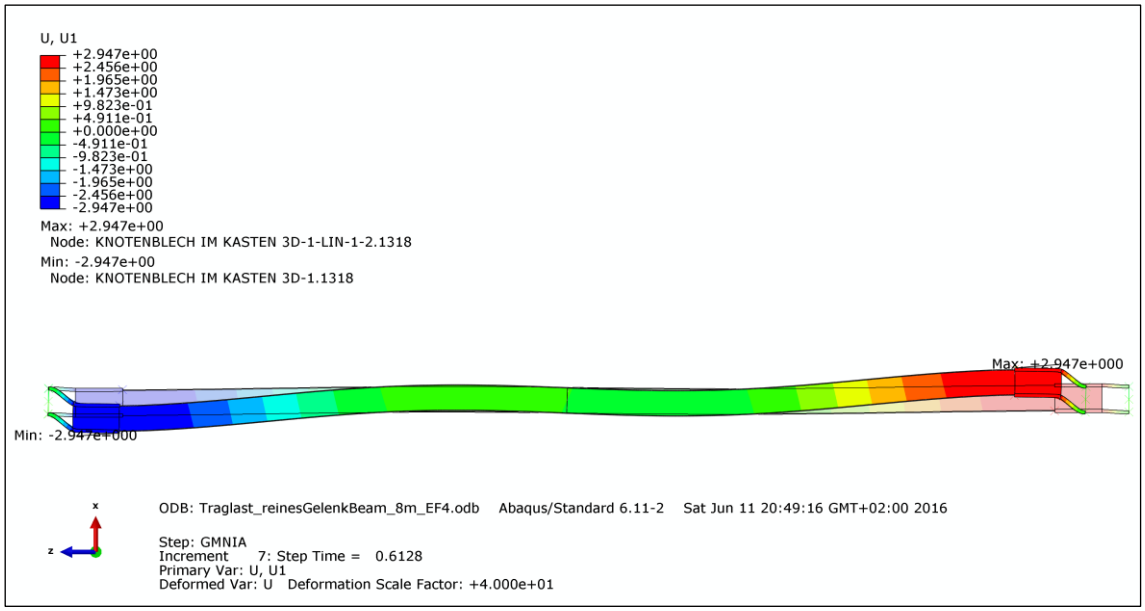
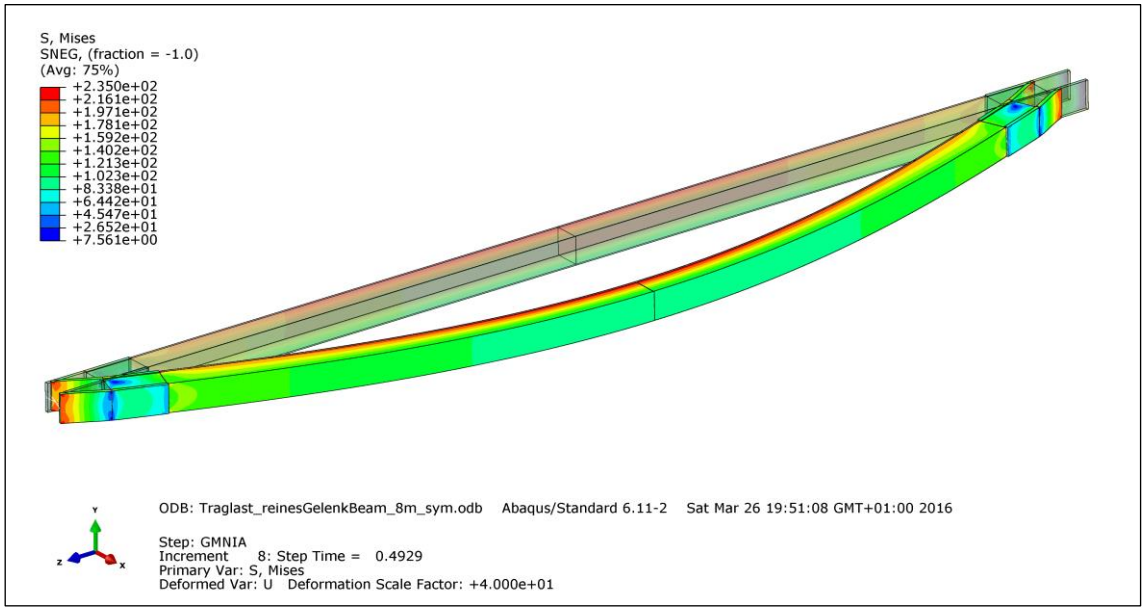
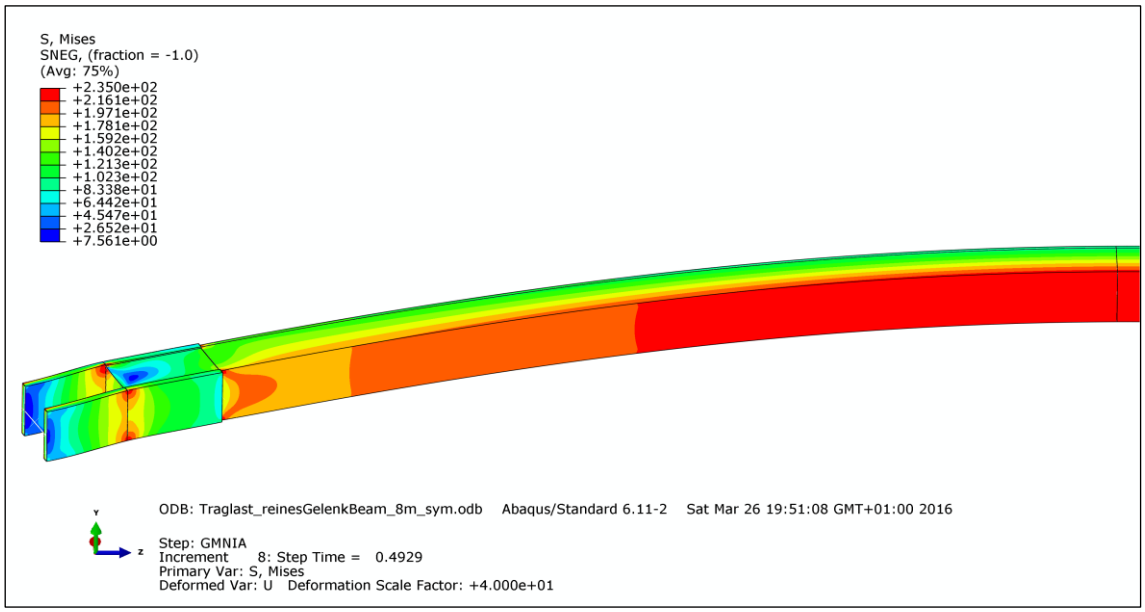


Abbildung 9-347: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4





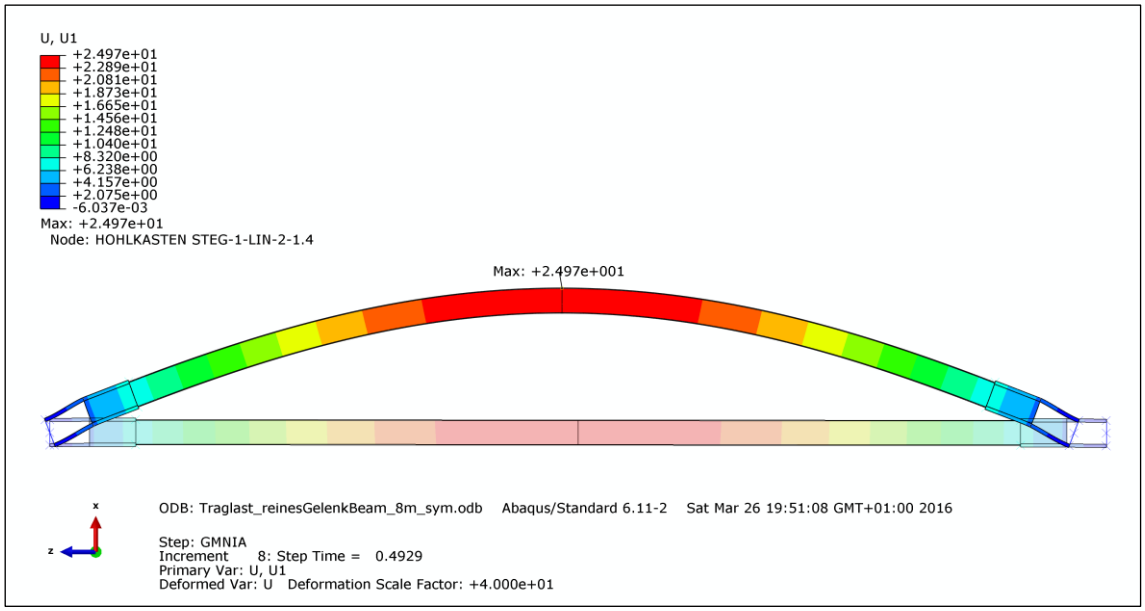
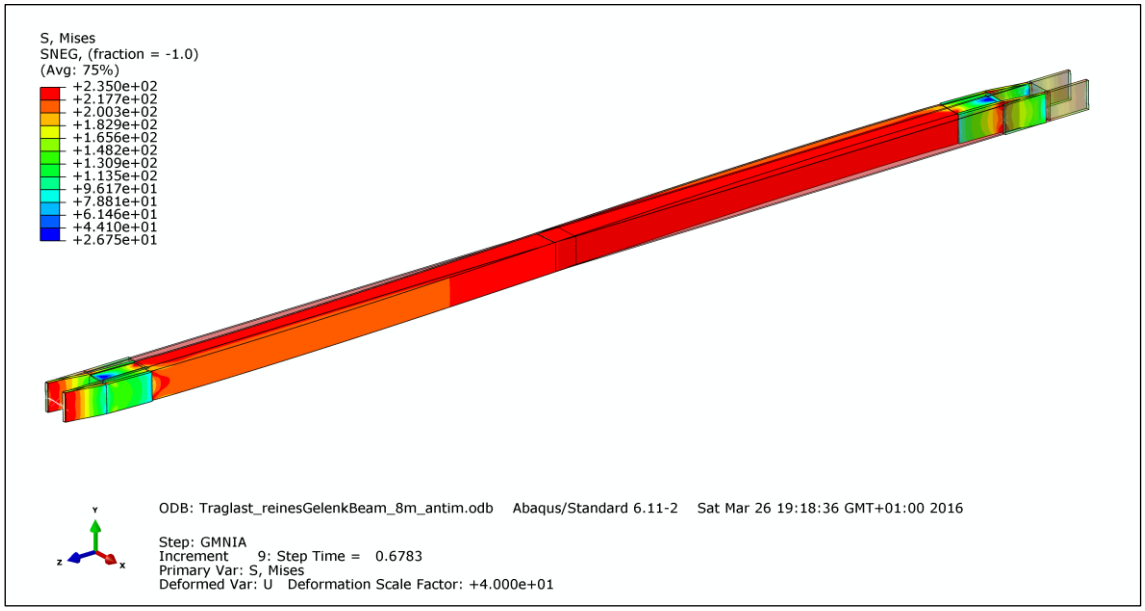
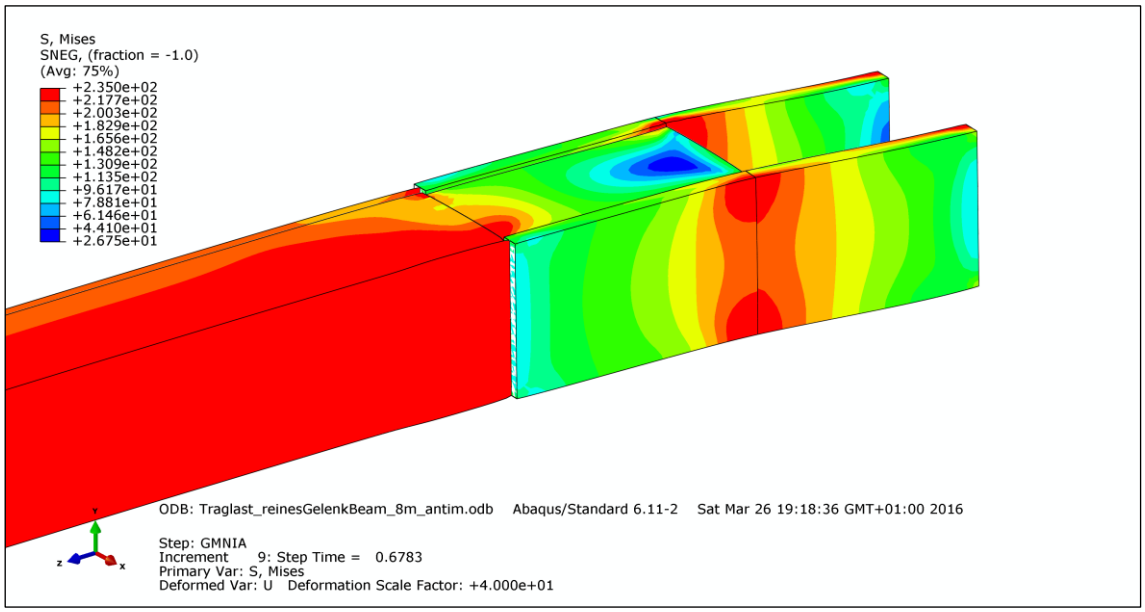


Abbildung 9-348: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





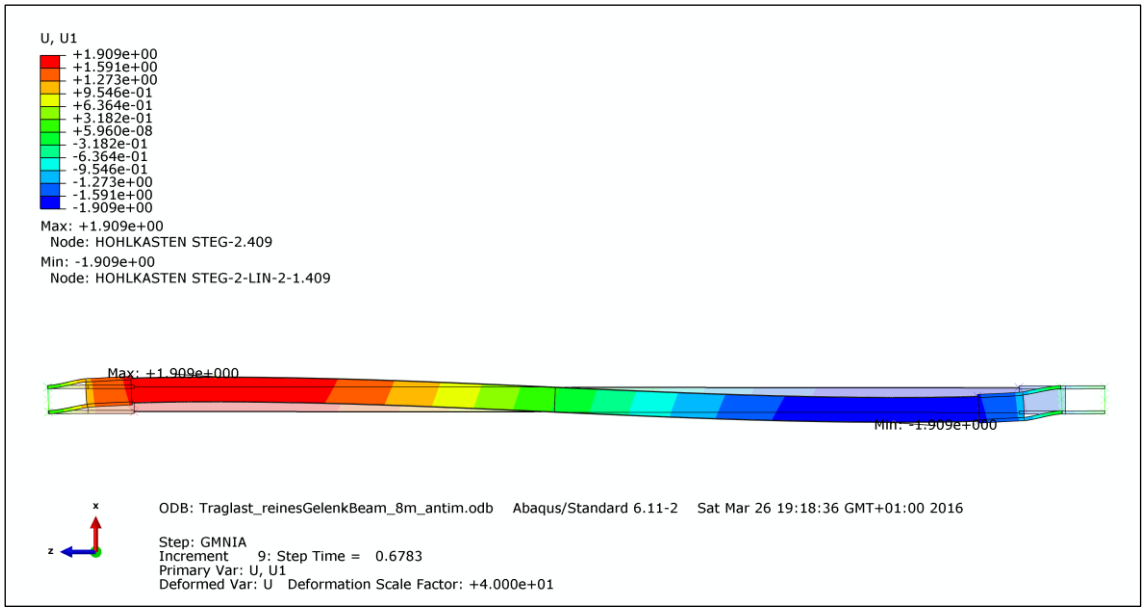


Abbildung 9-349: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)

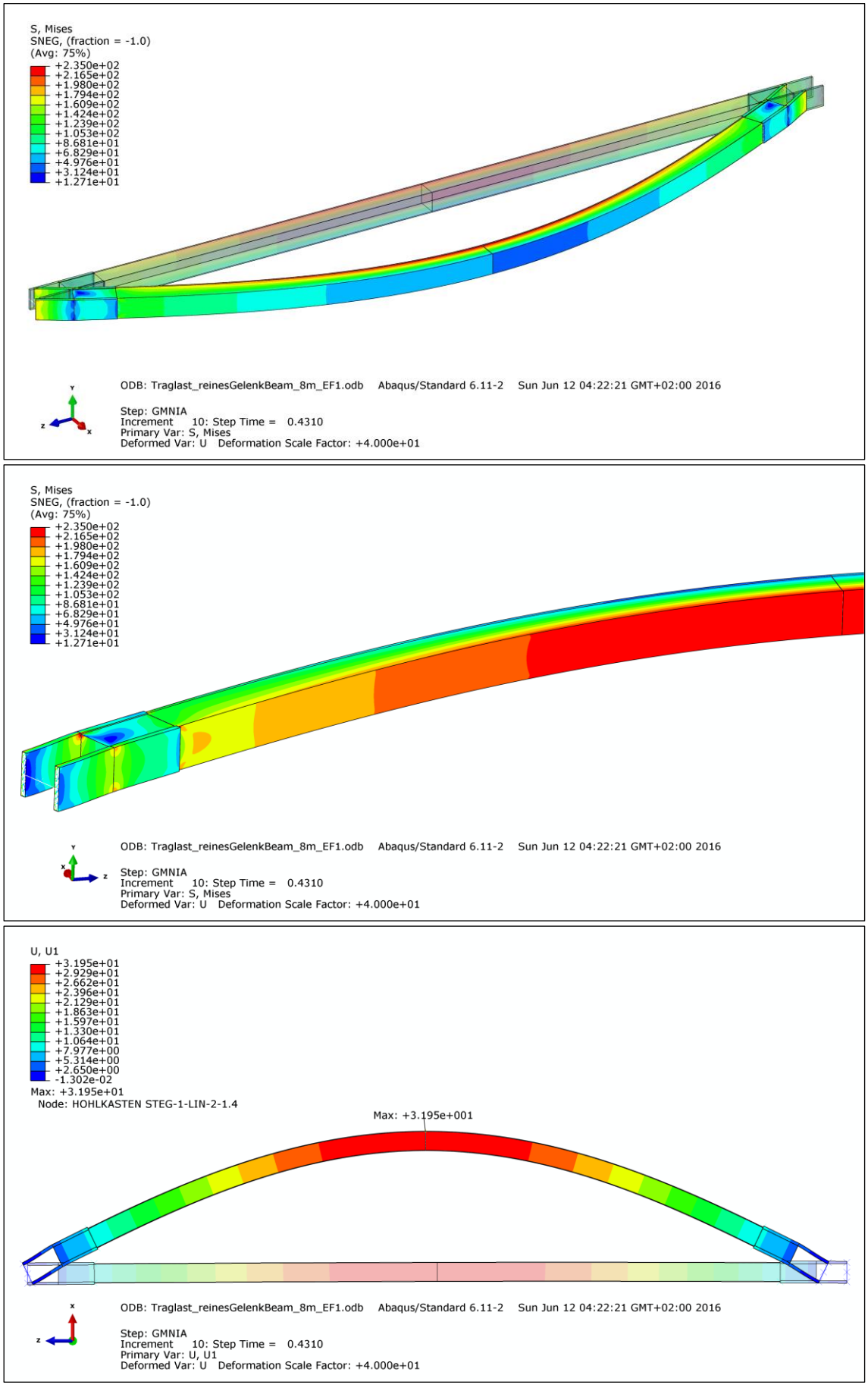
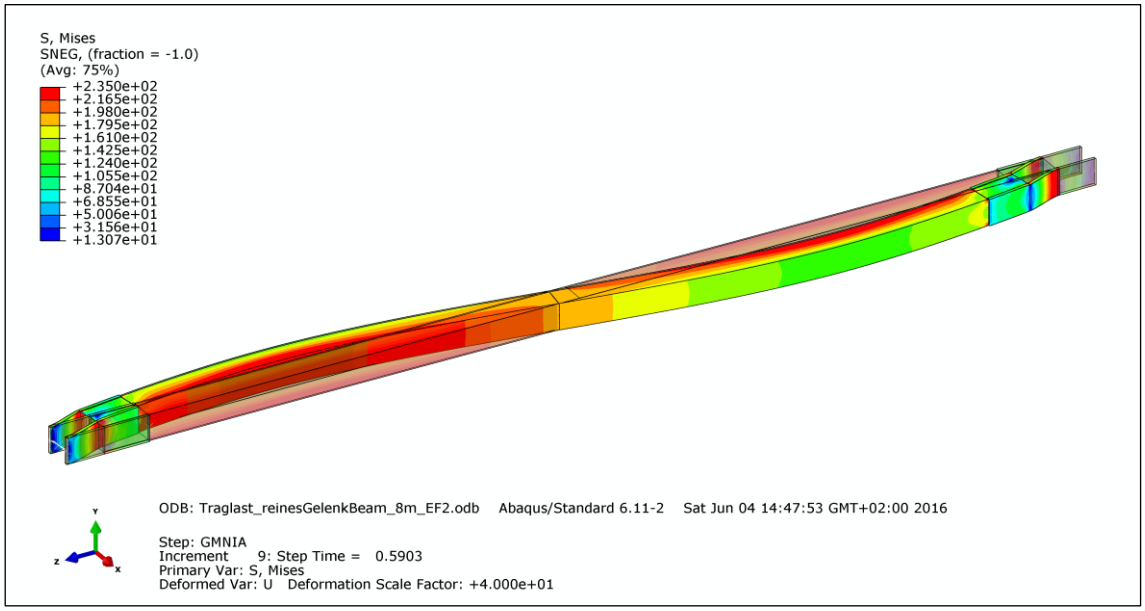
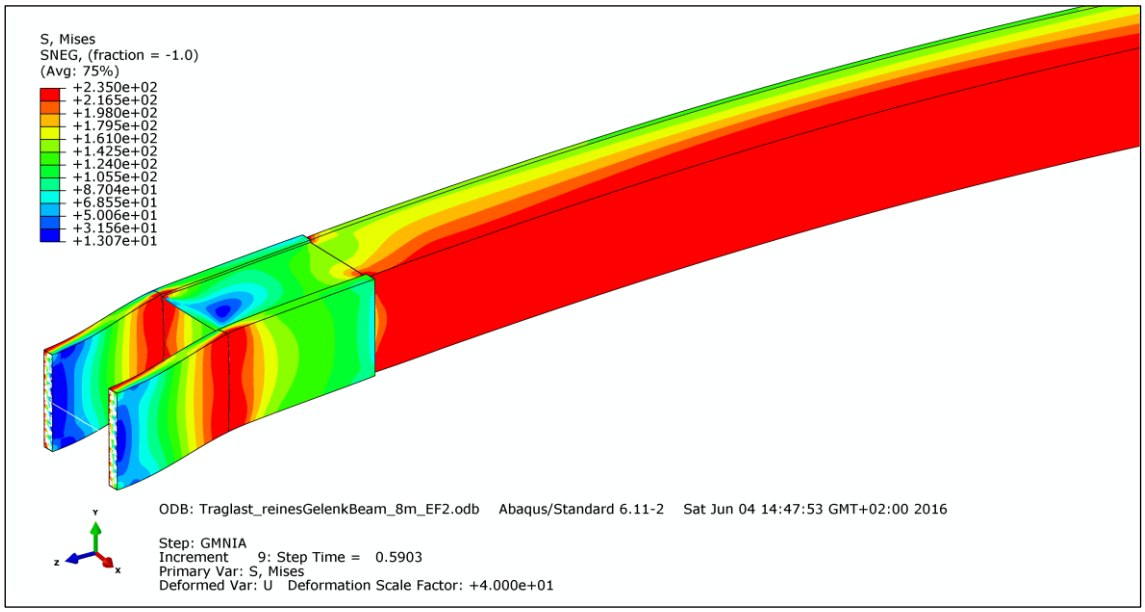


Abbildung 9-350: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





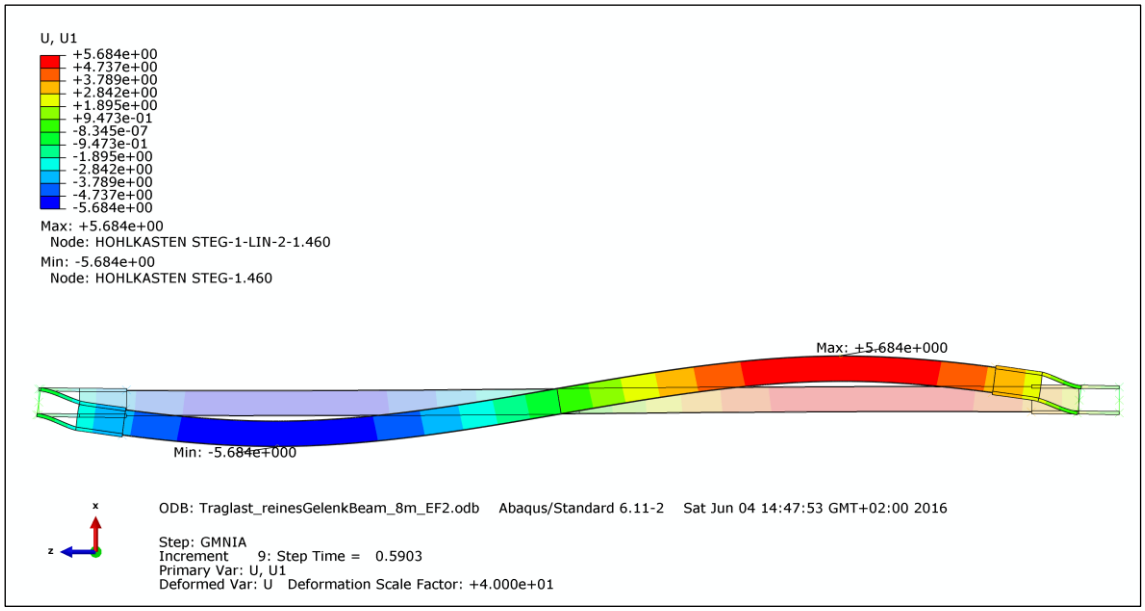
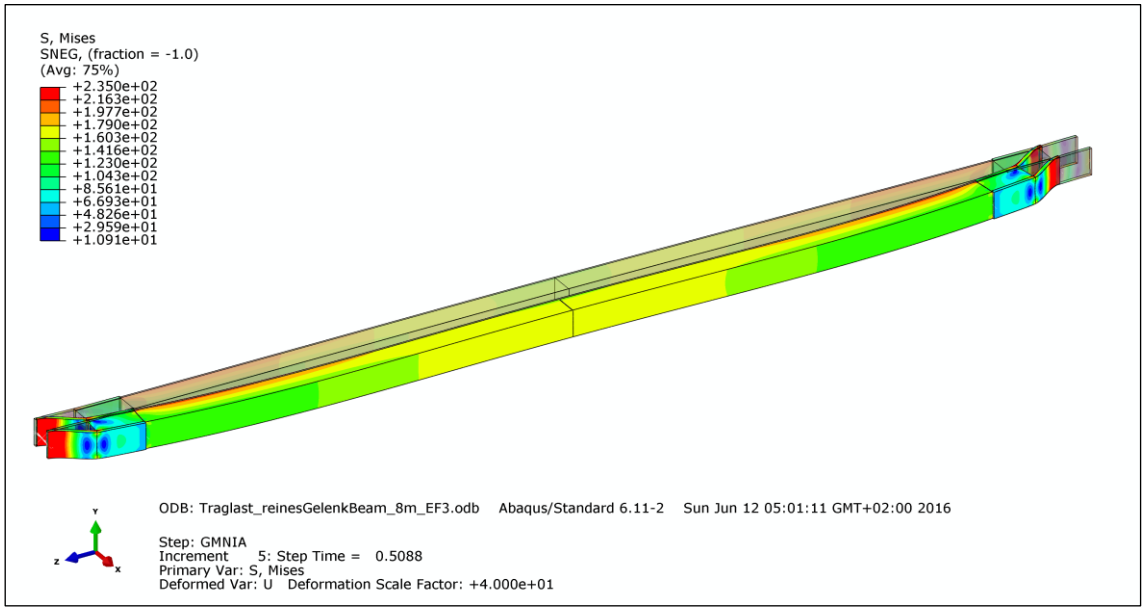
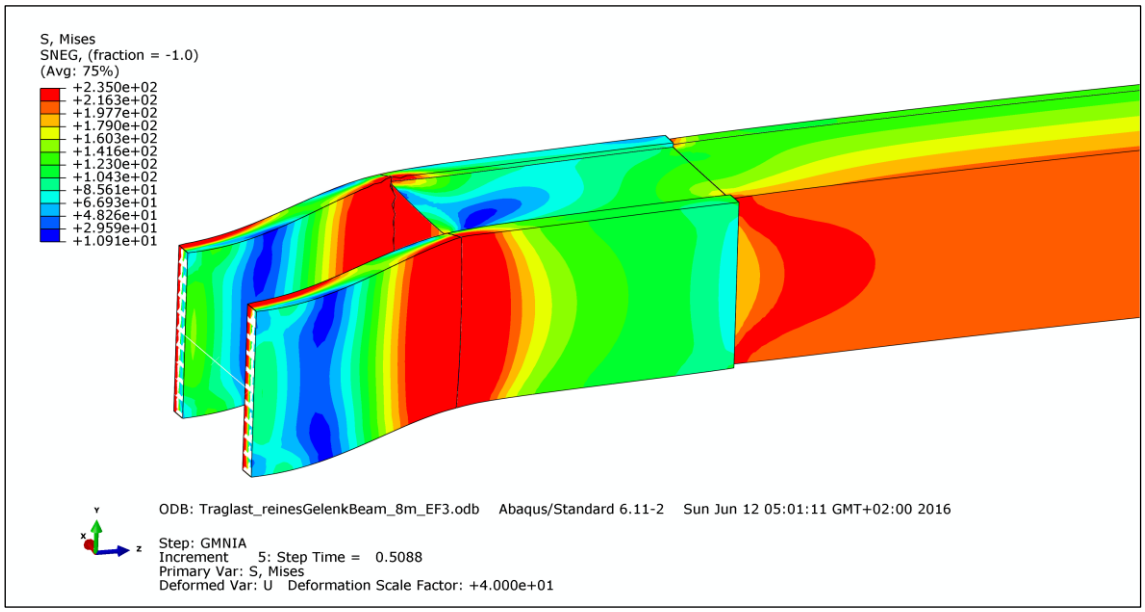


Abbildung 9-351: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





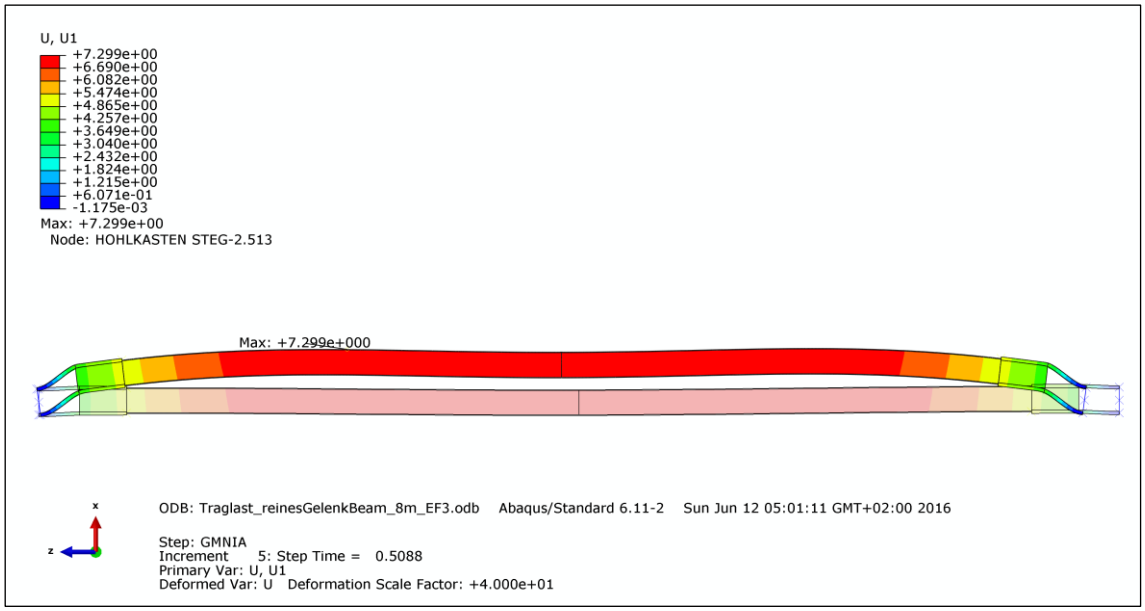
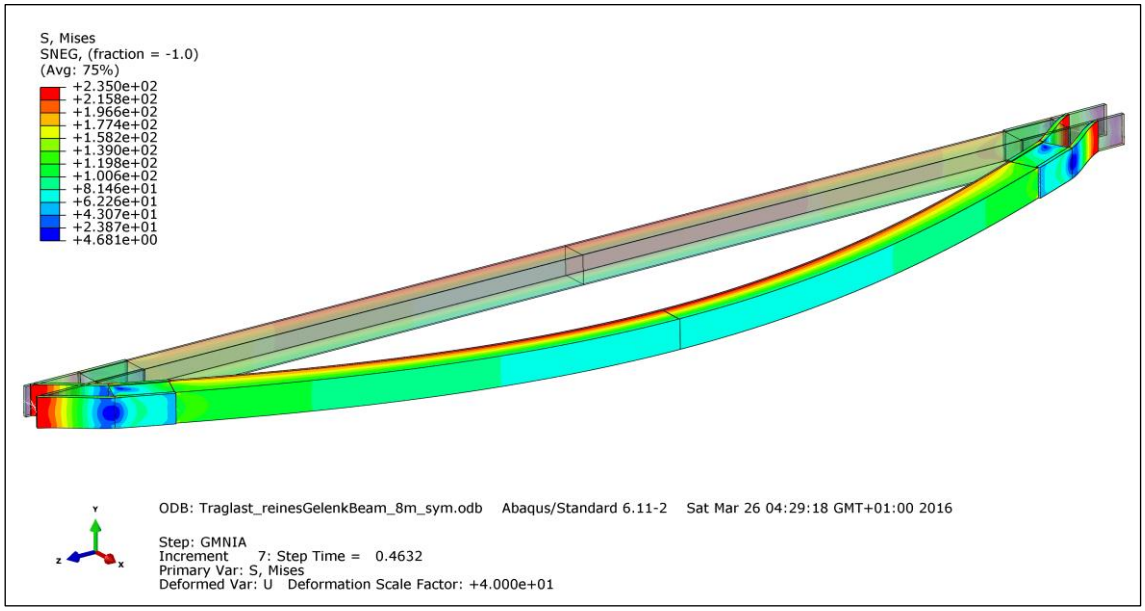
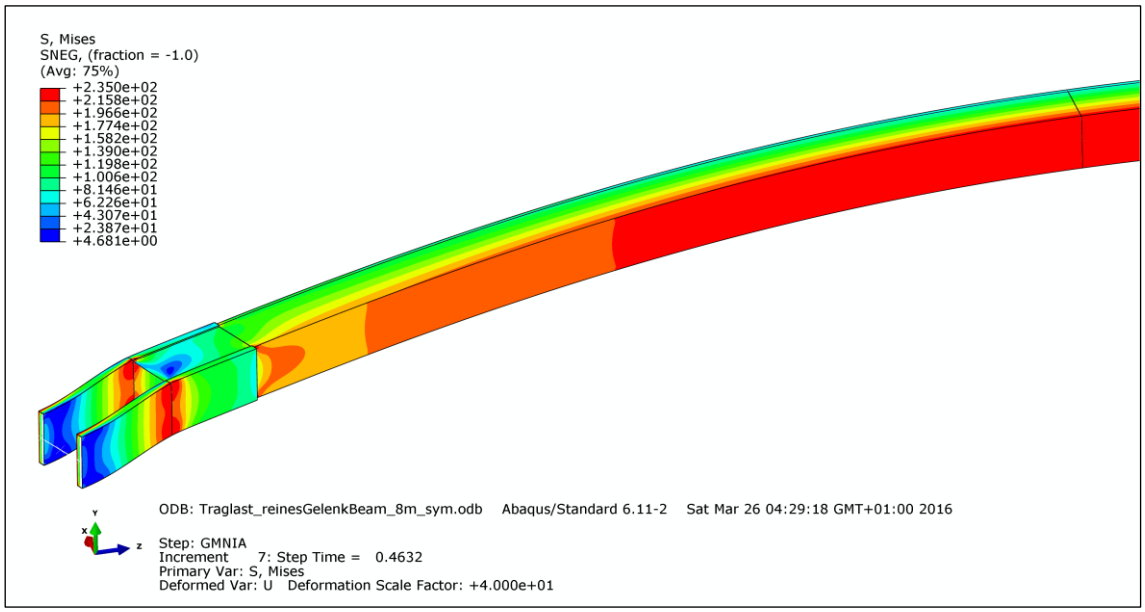


Abbildung 9-352: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3





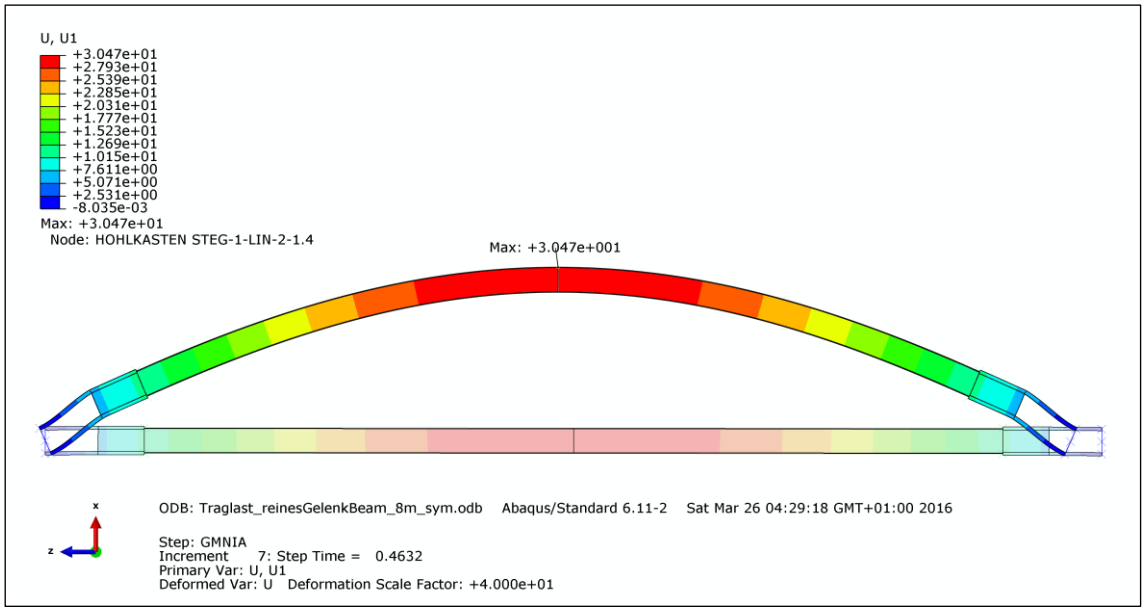
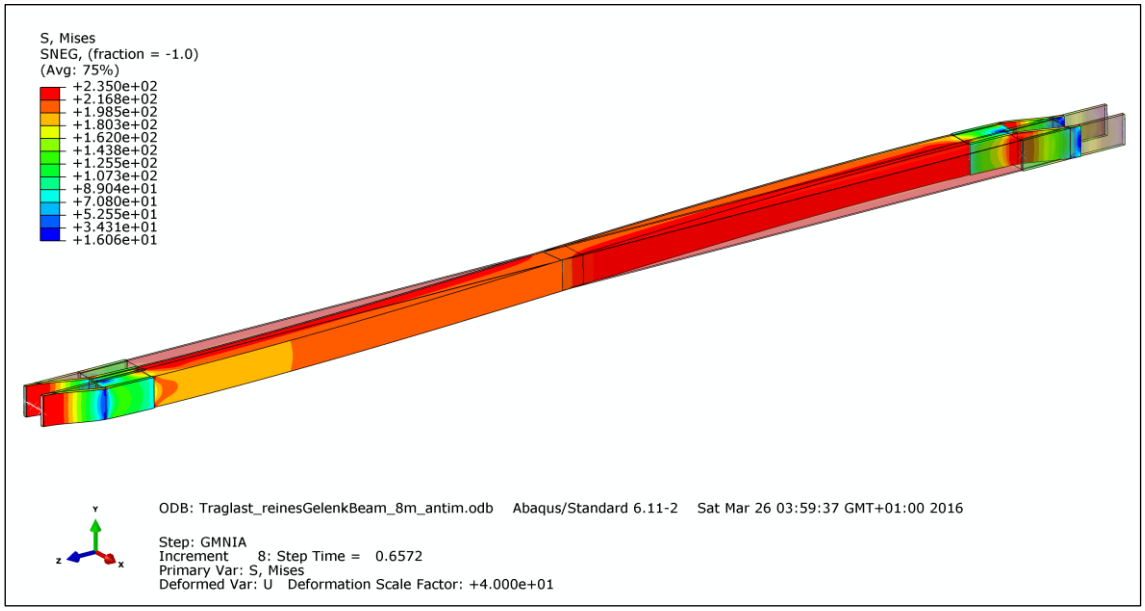
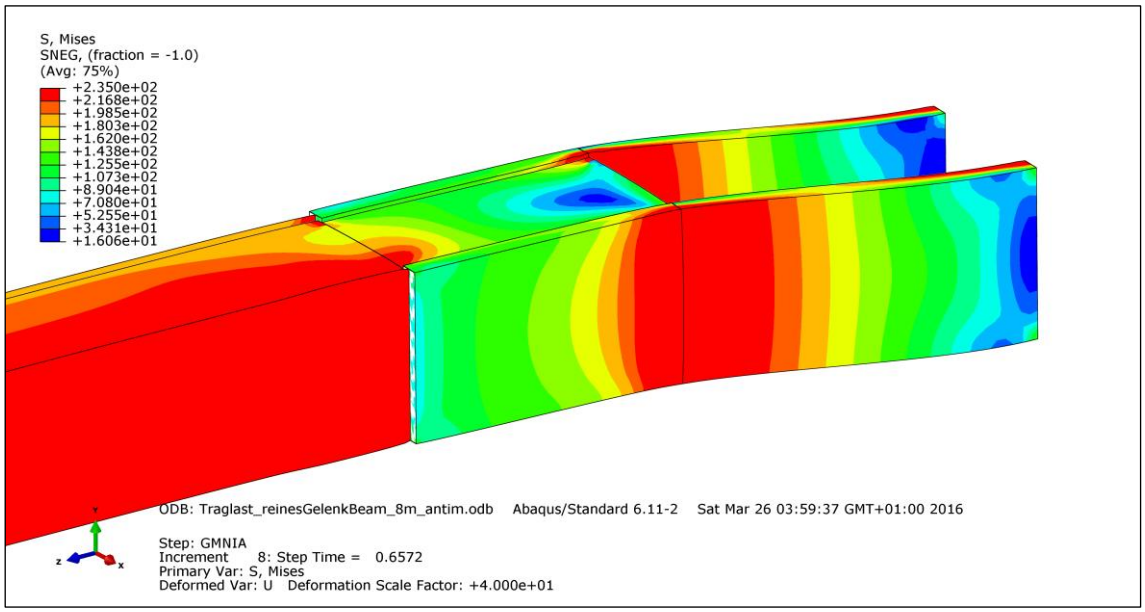


Abbildung 9-353: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





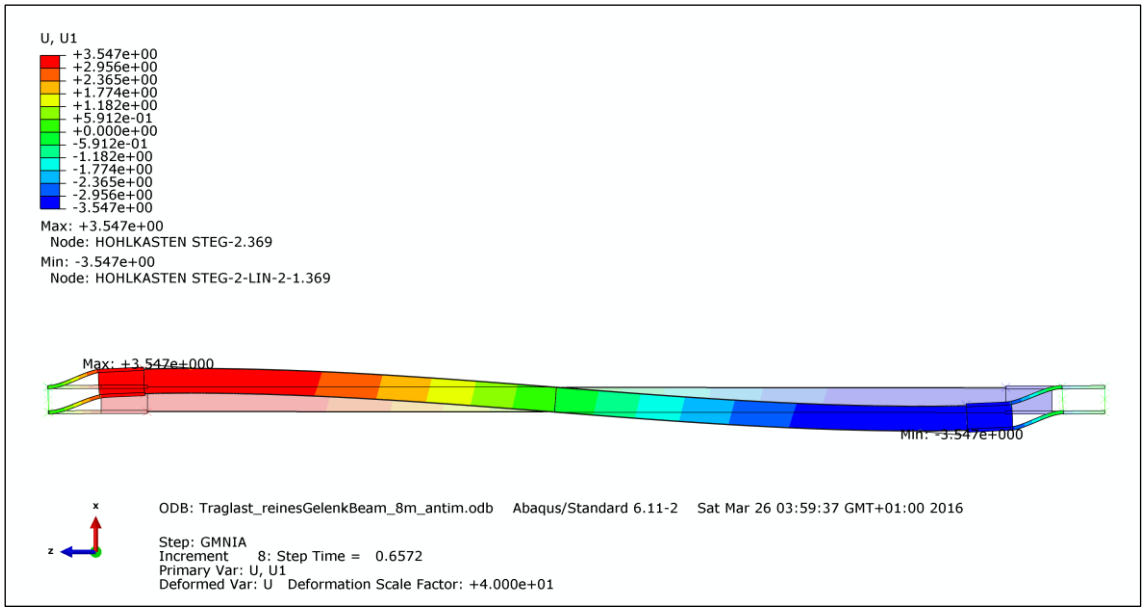
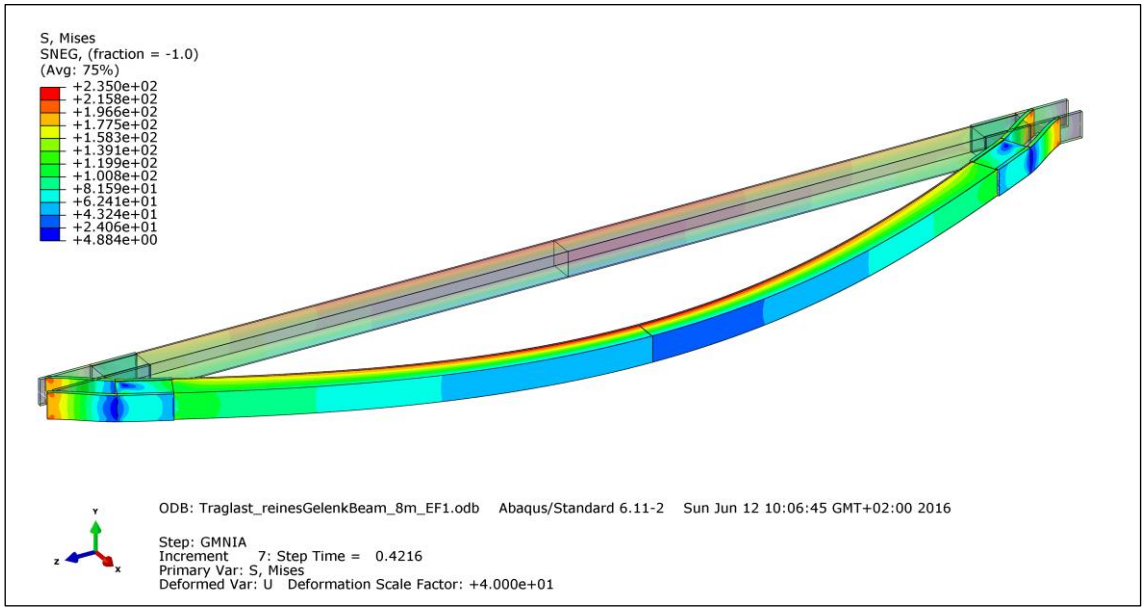
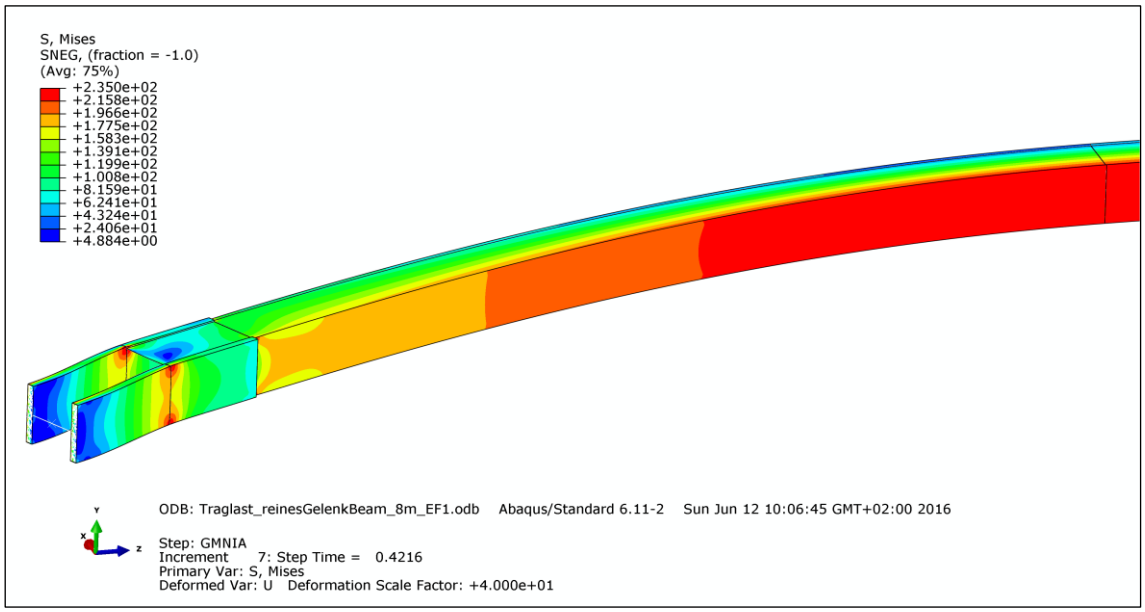


Abbildung 9-354: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





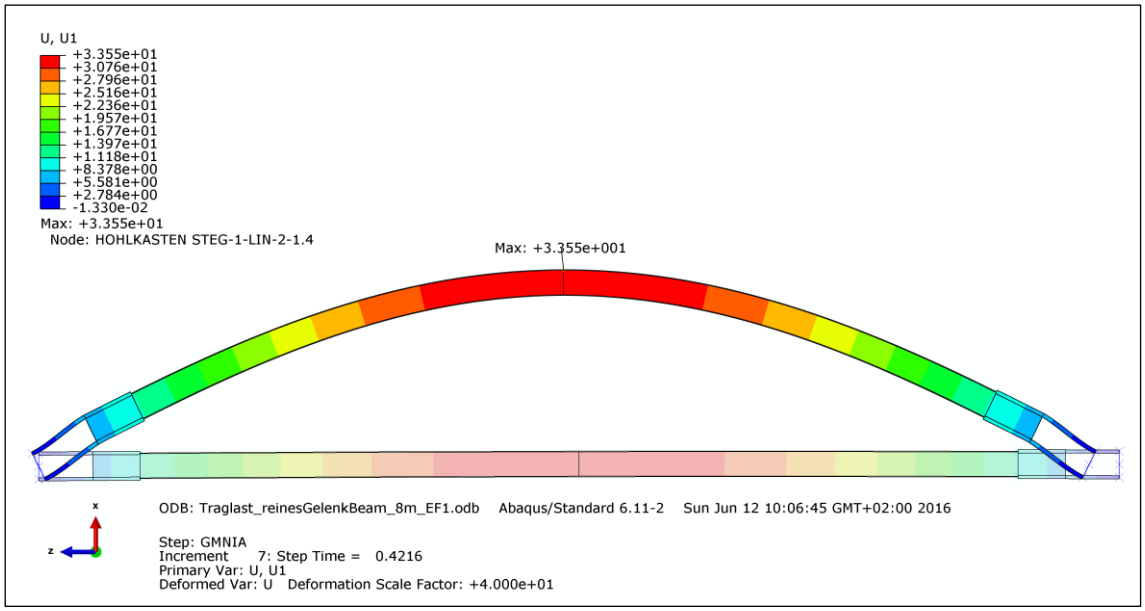
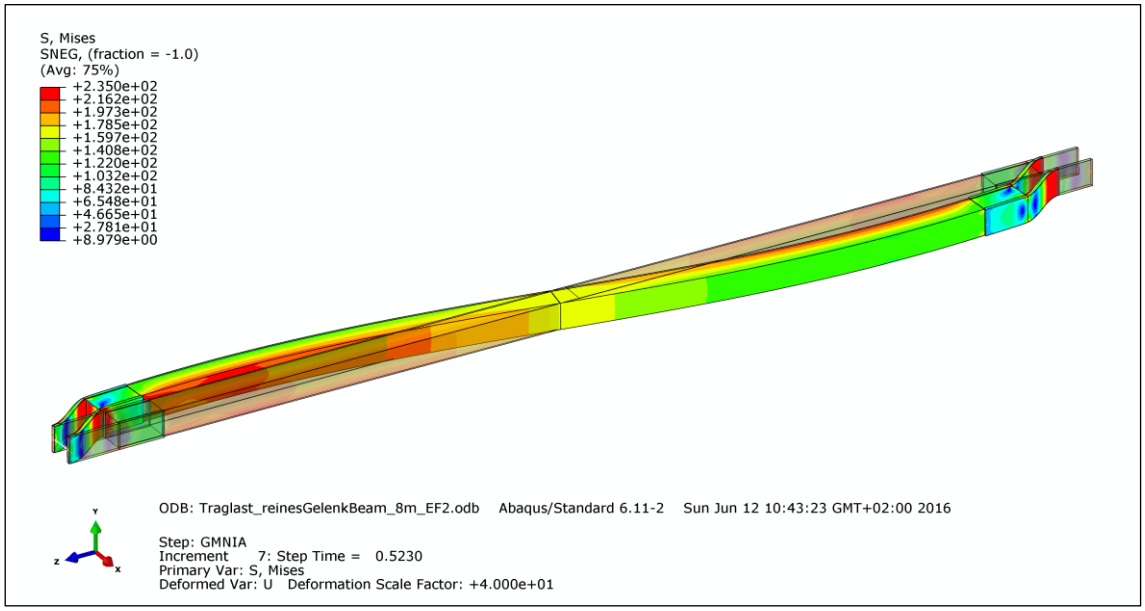
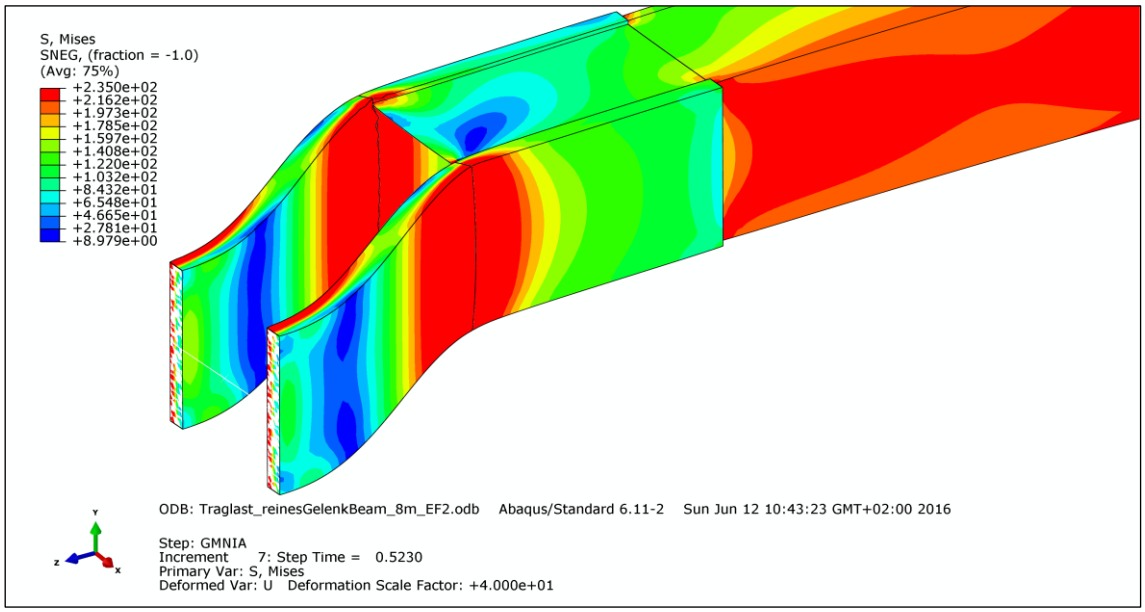


Abbildung 9-355: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





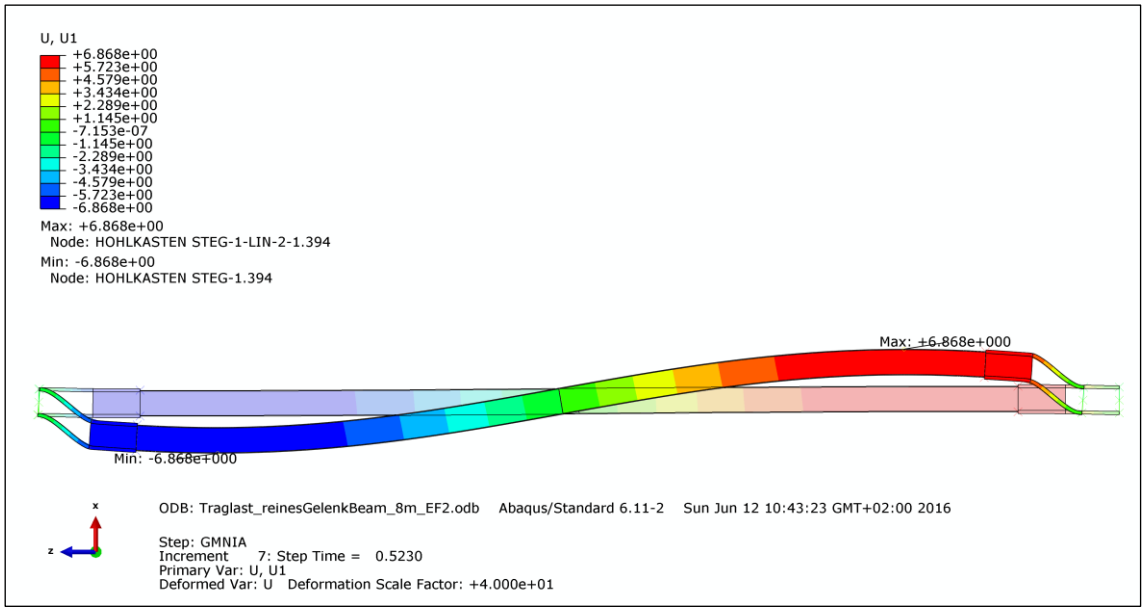
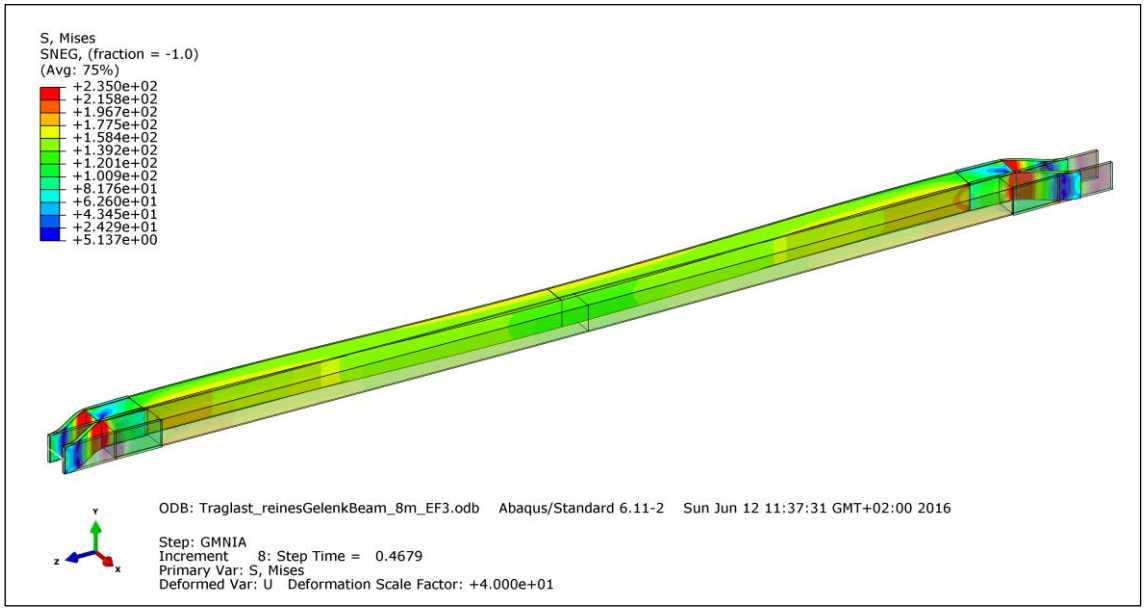
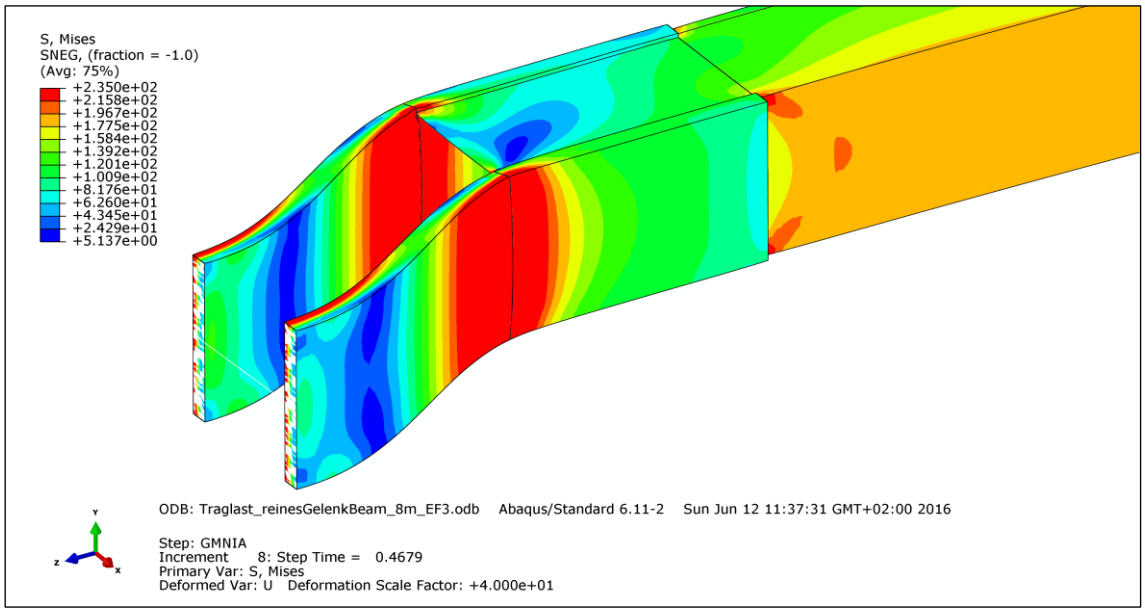


Abbildung 9-356: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2





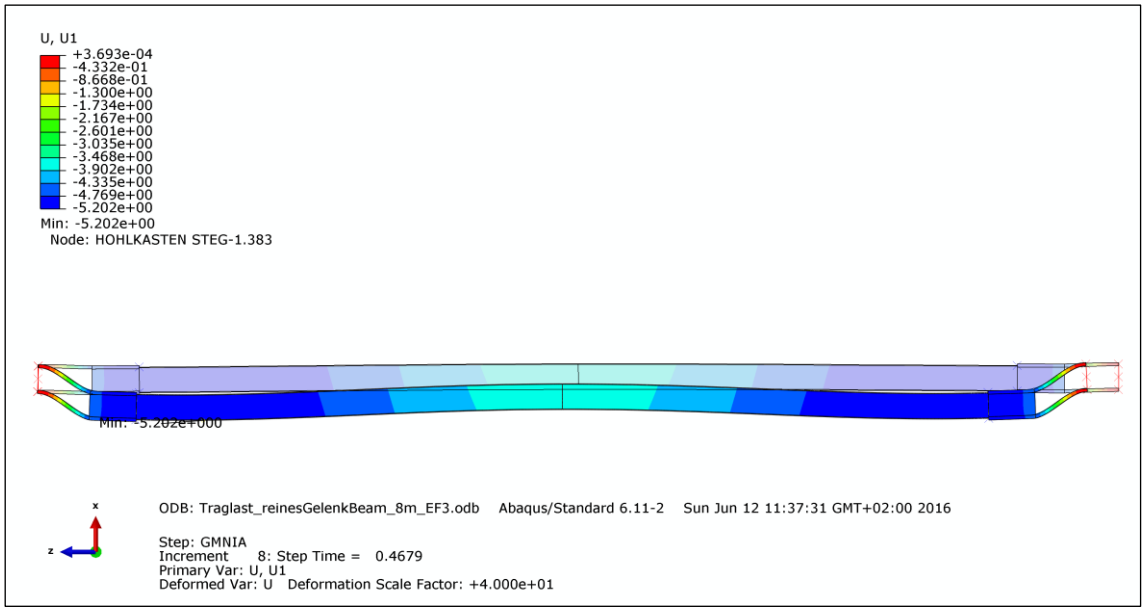


Abbildung 9-357: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm**

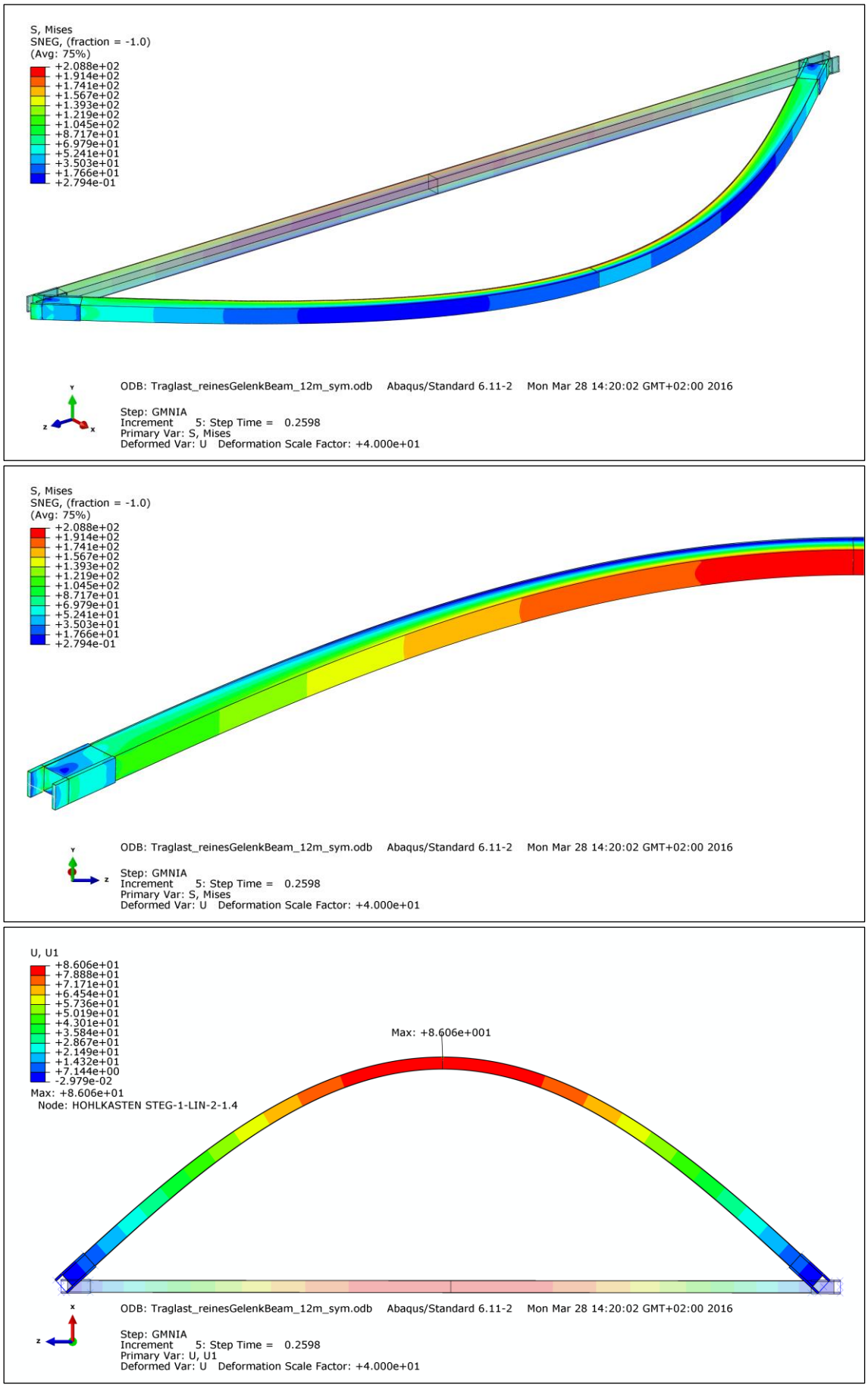
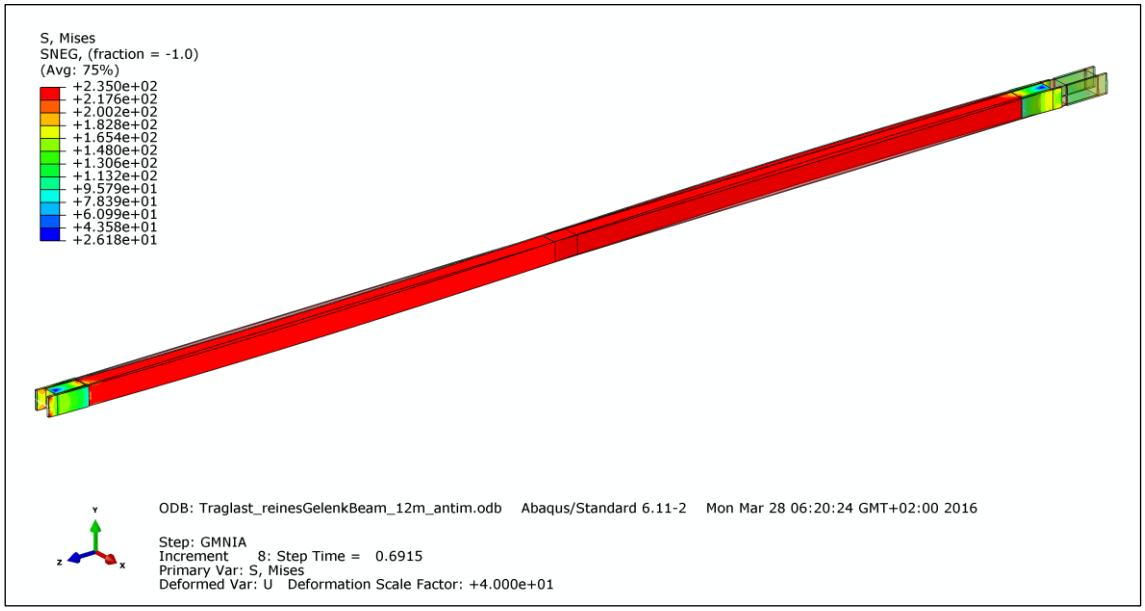
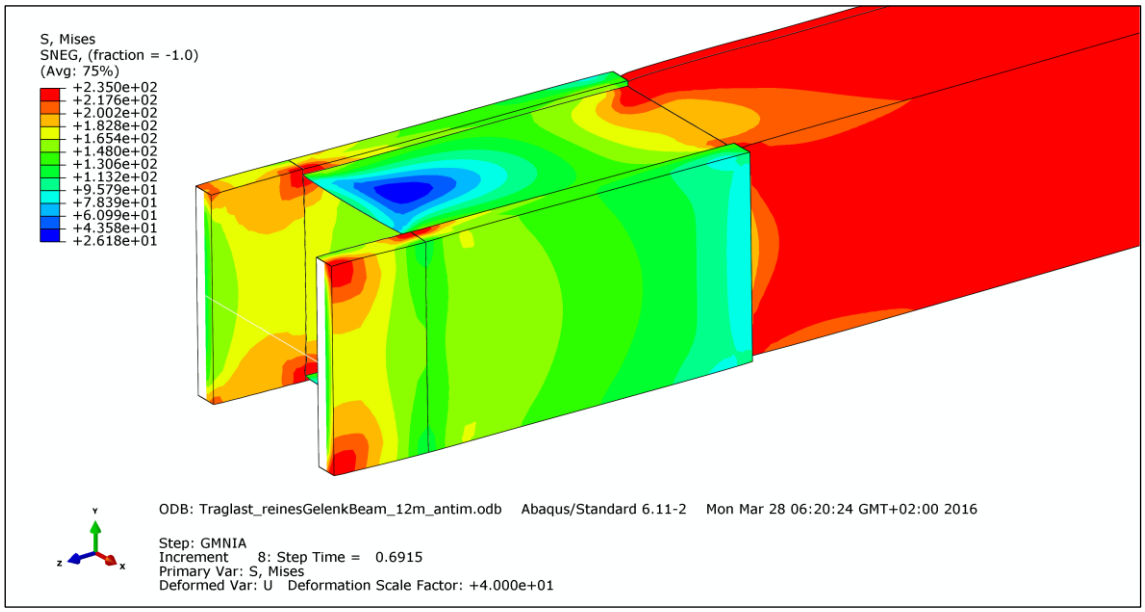


Abbildung 9-358: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





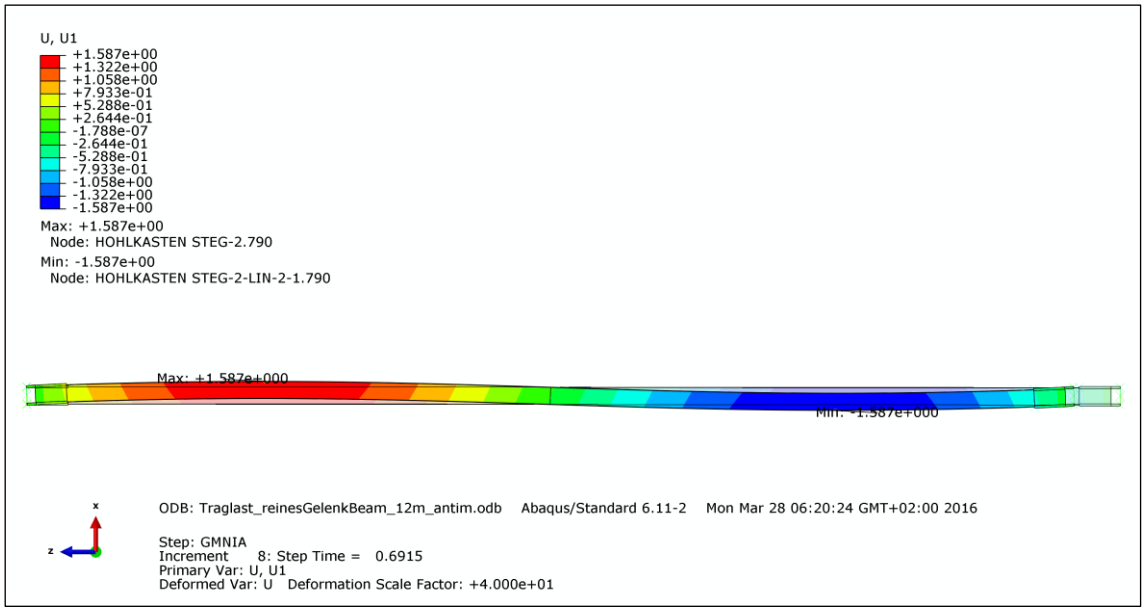
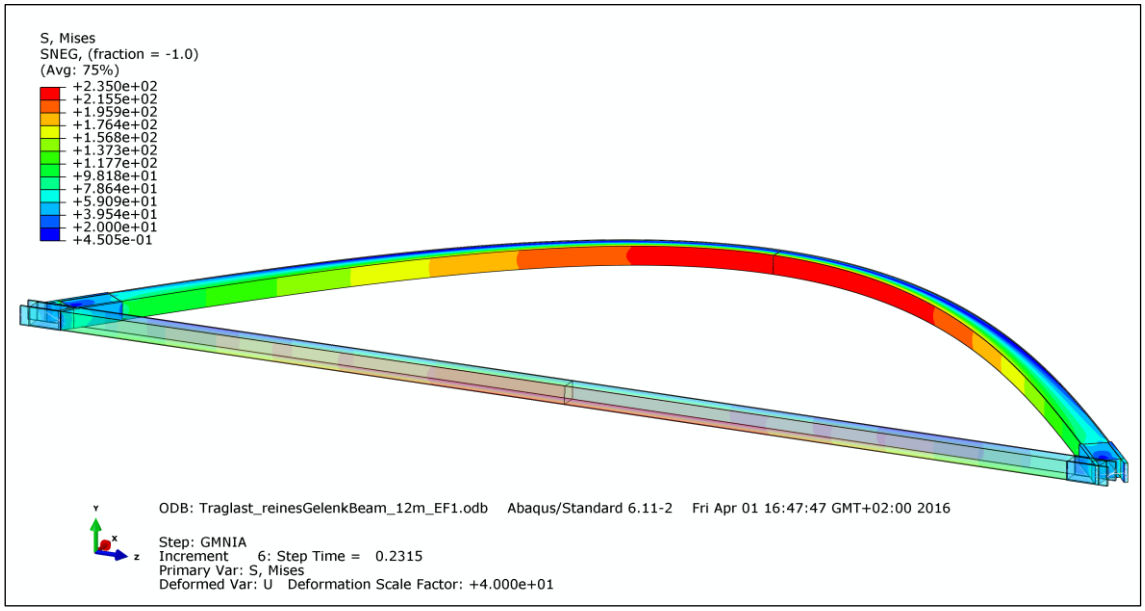
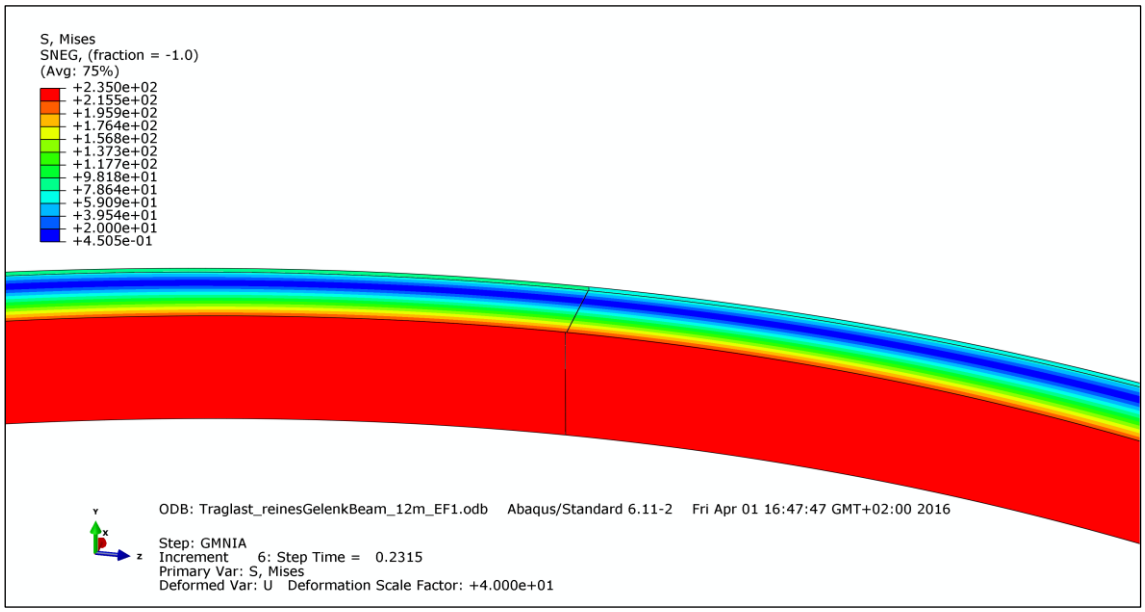


Abbildung 9-359: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





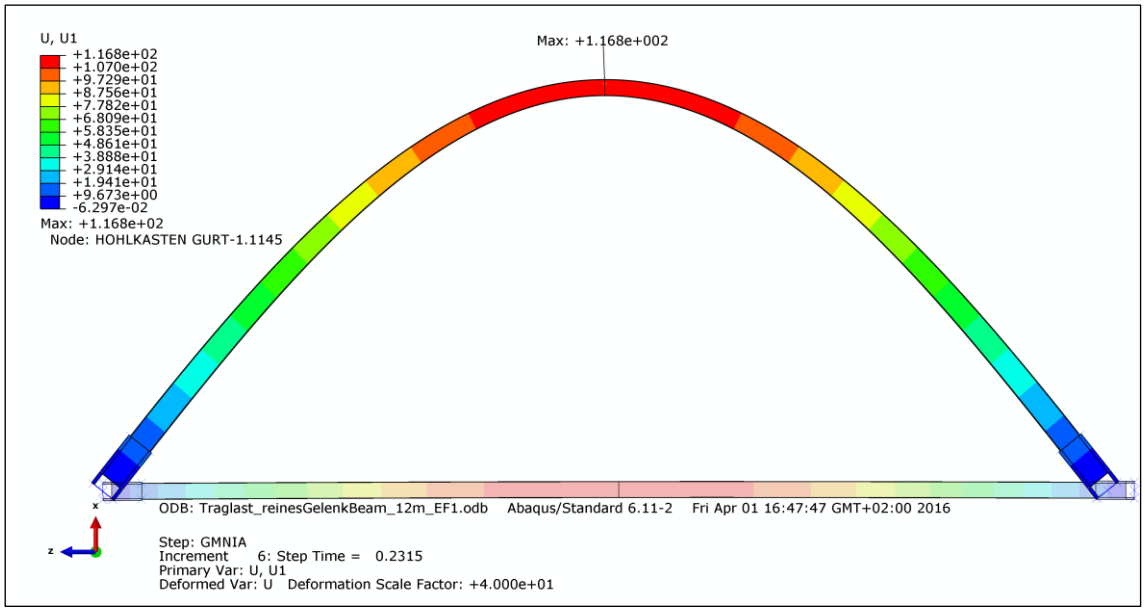
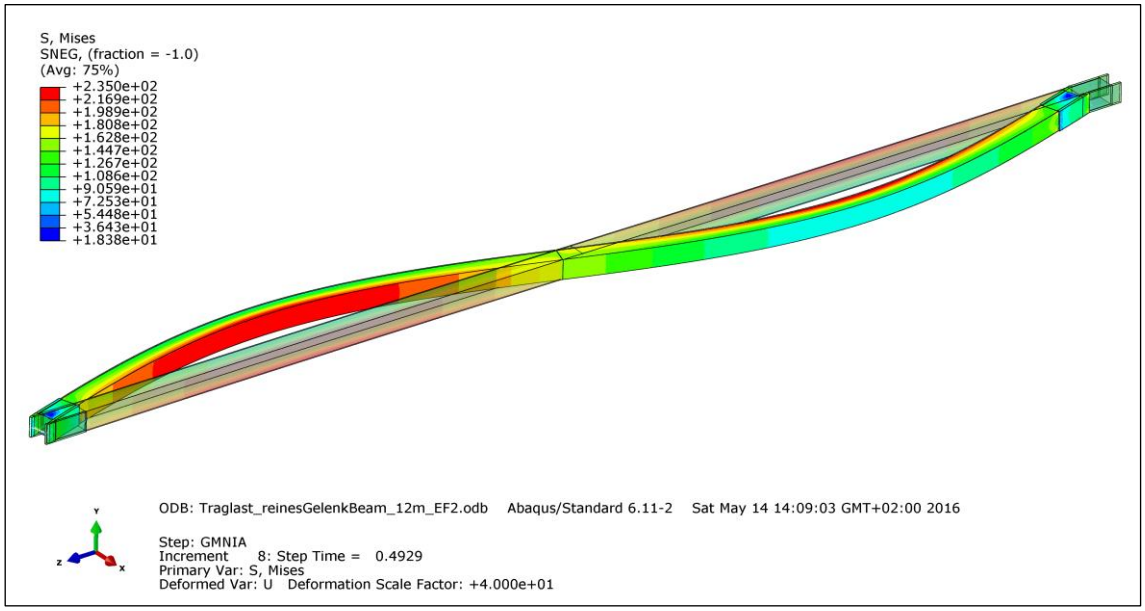
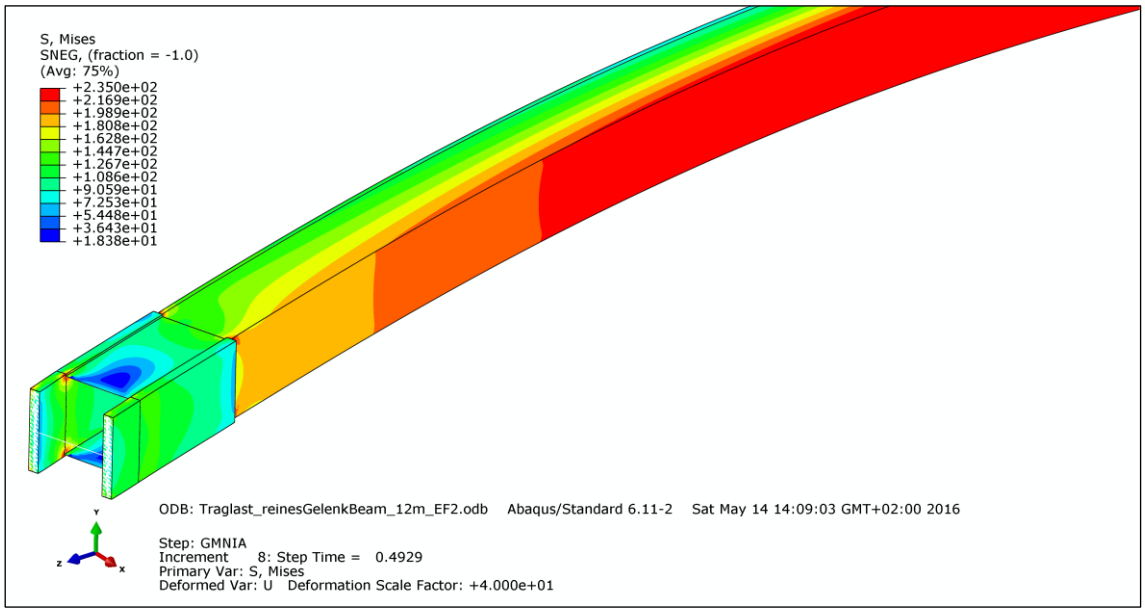


Abbildung 9-360: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





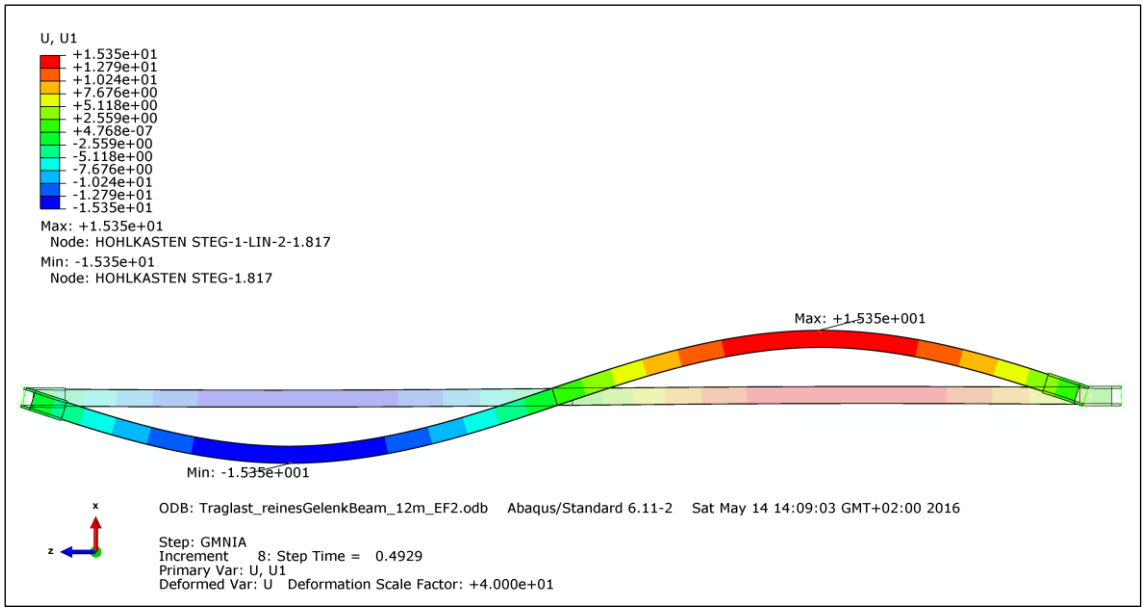
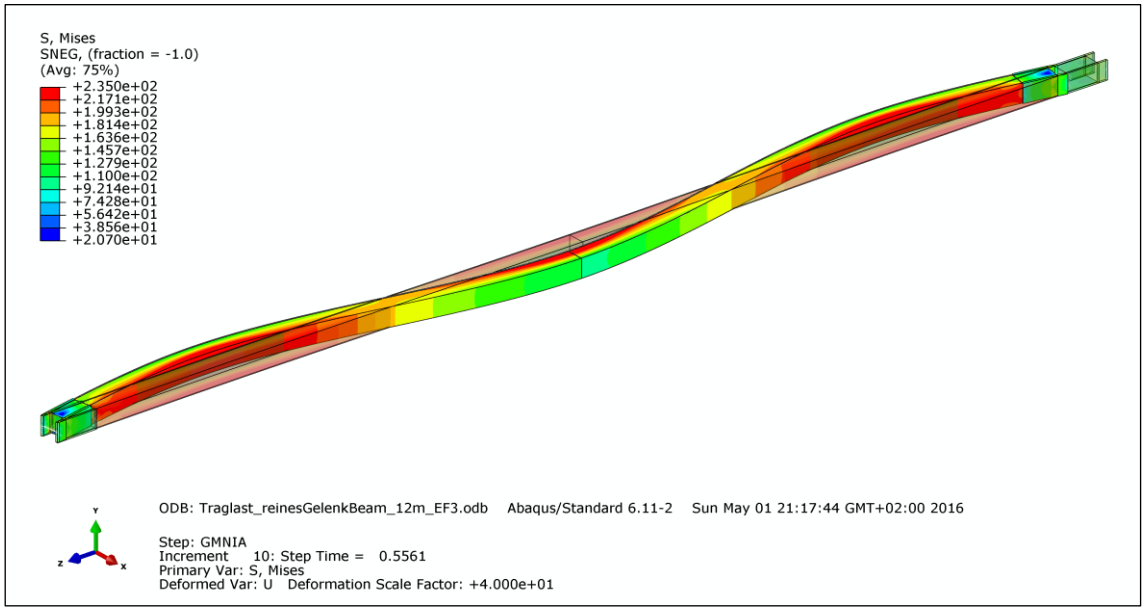
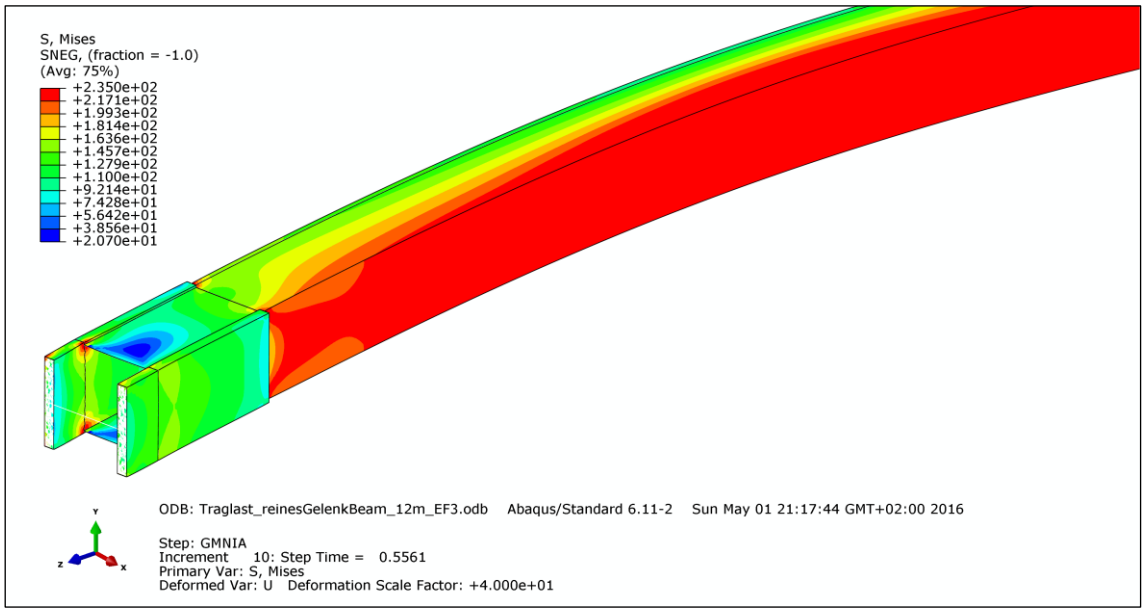


Abbildung 9-361: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





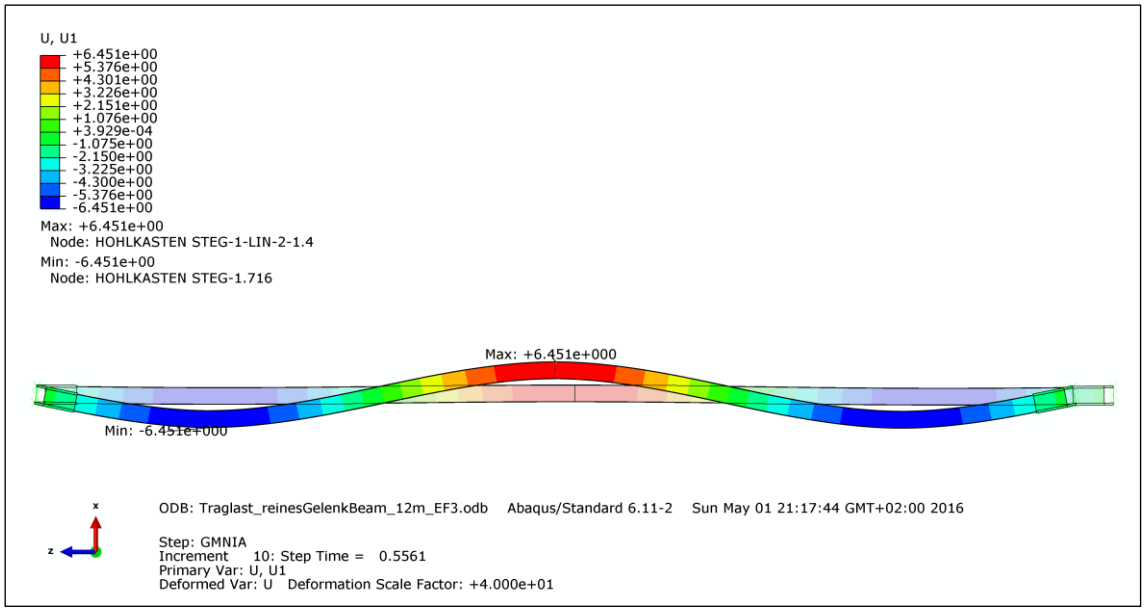
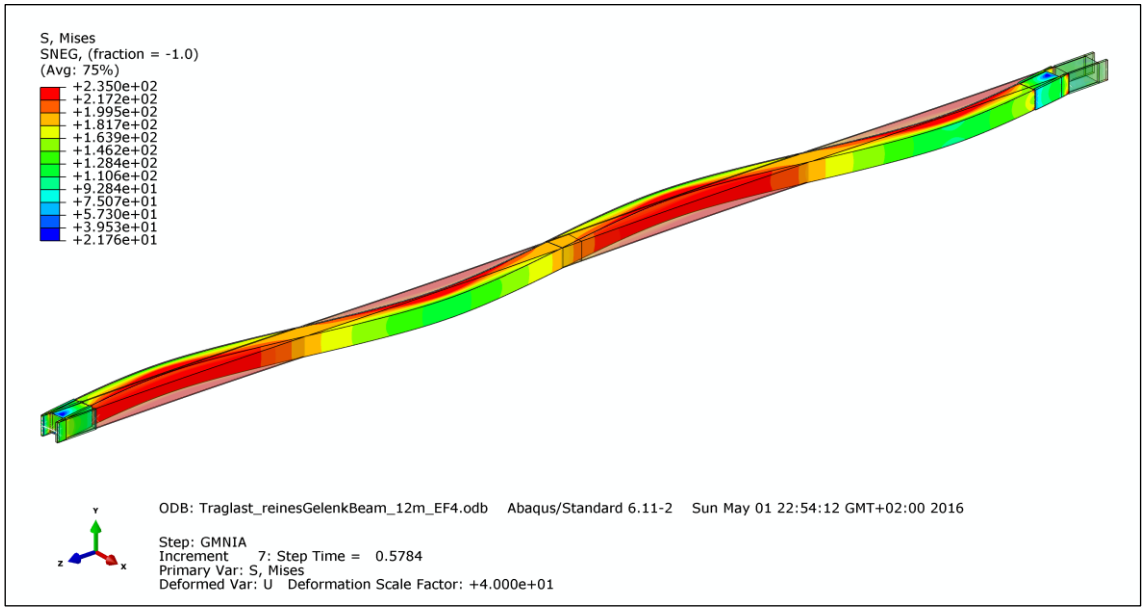
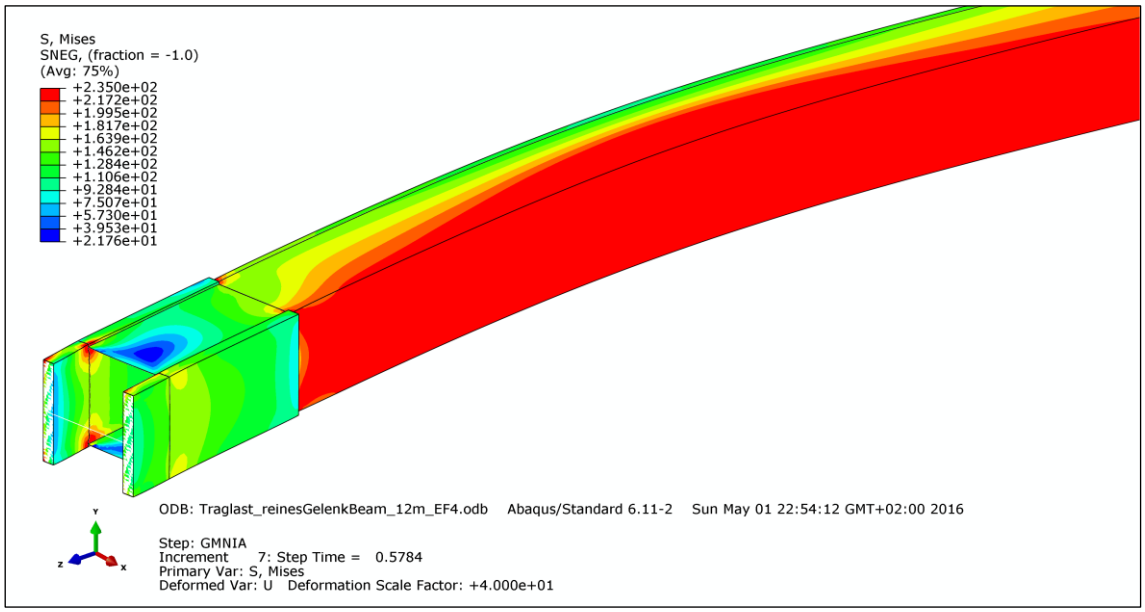


Abbildung 9-362: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





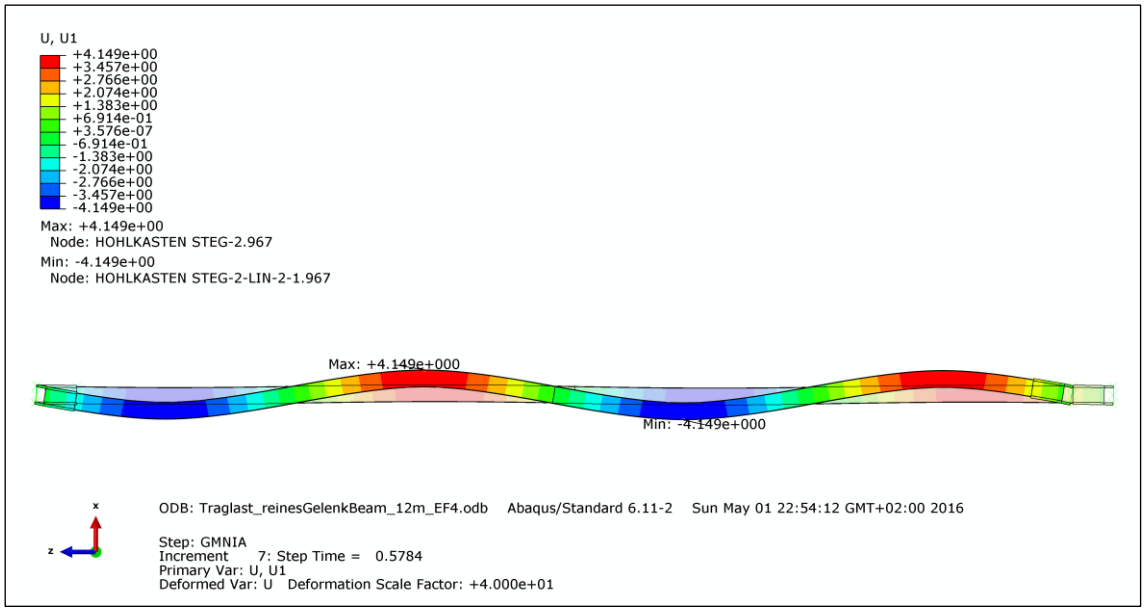
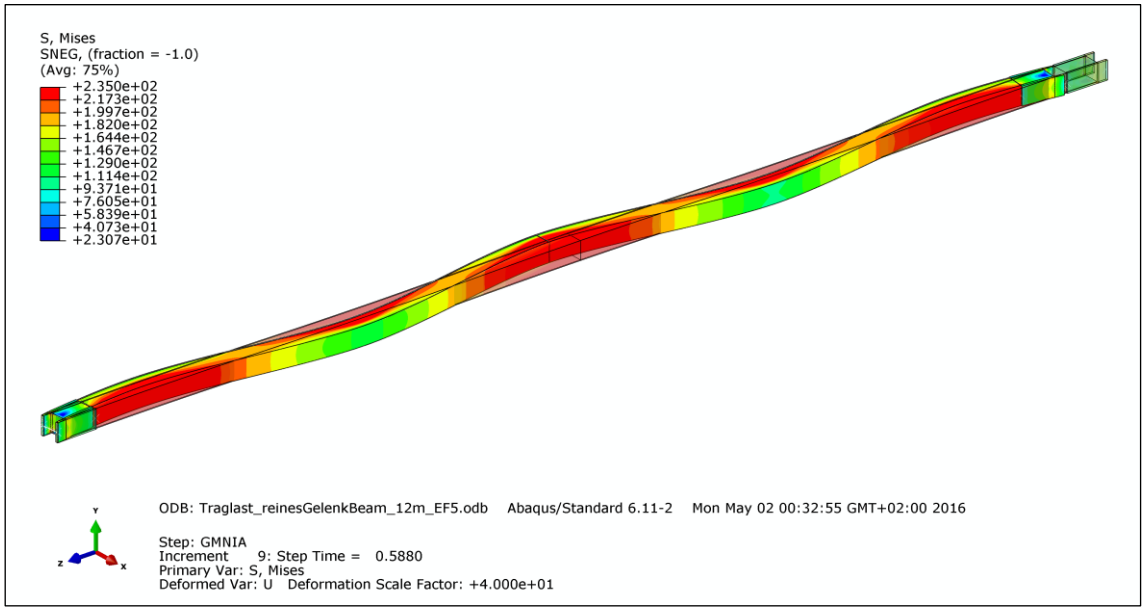
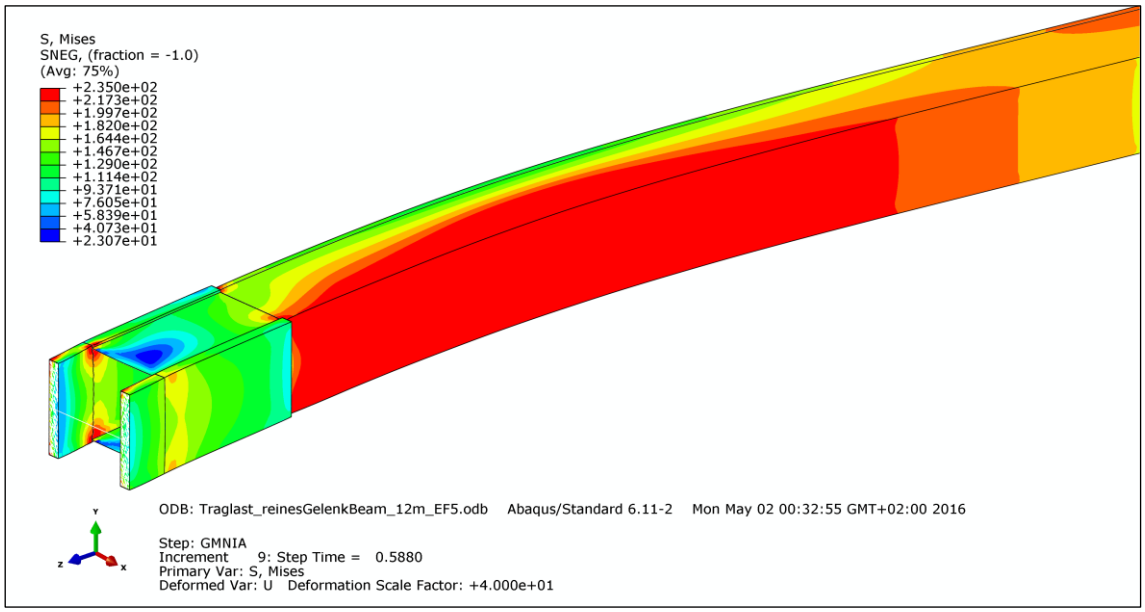


Abbildung 9-363: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4





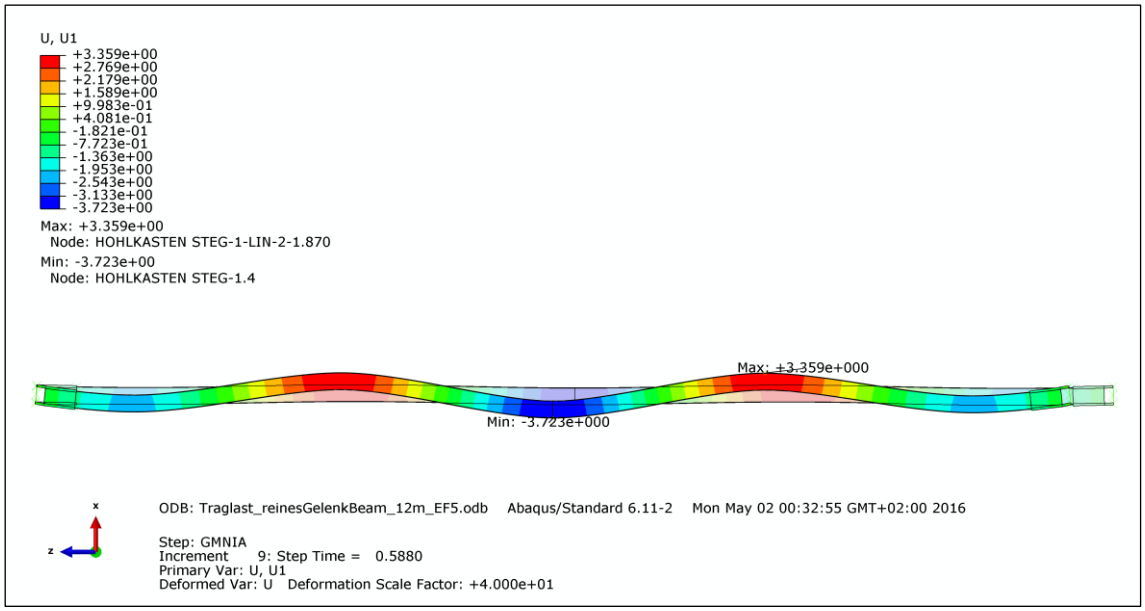
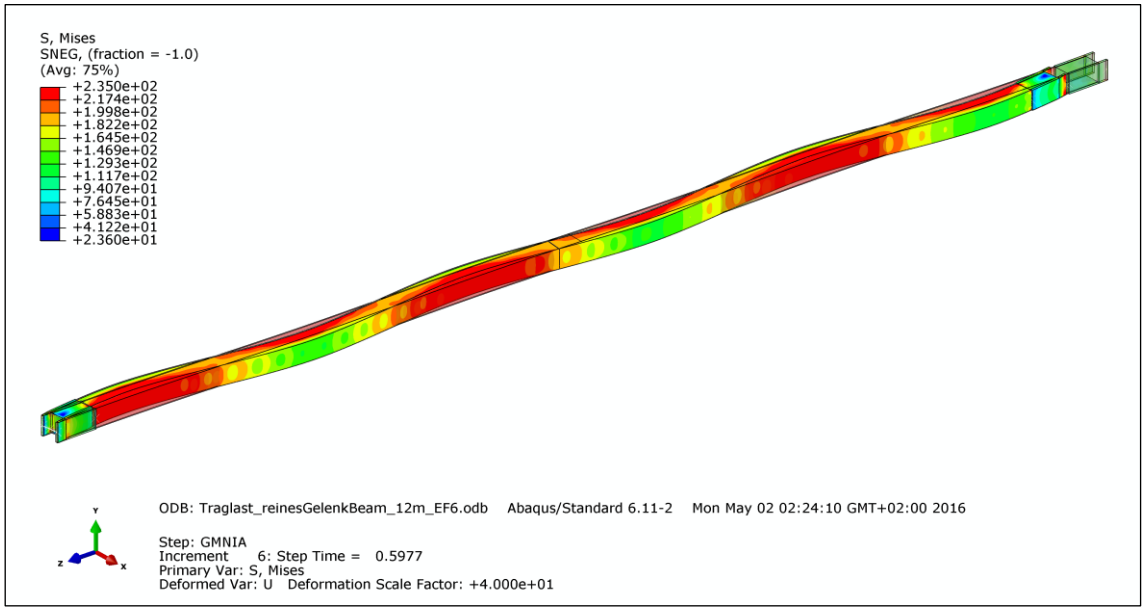
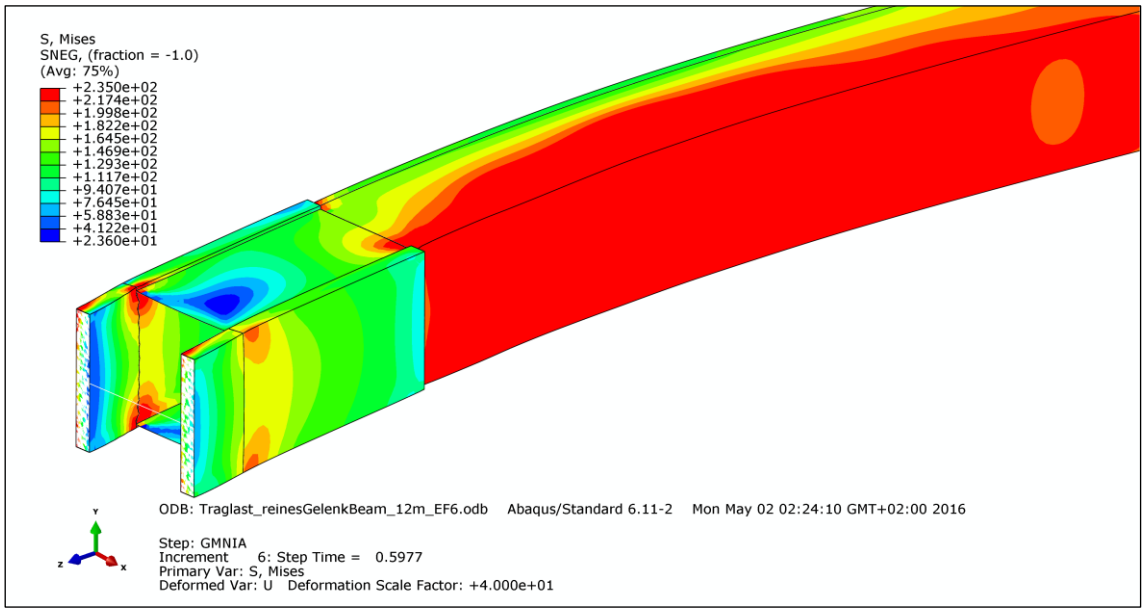


Abbildung 9-364: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5





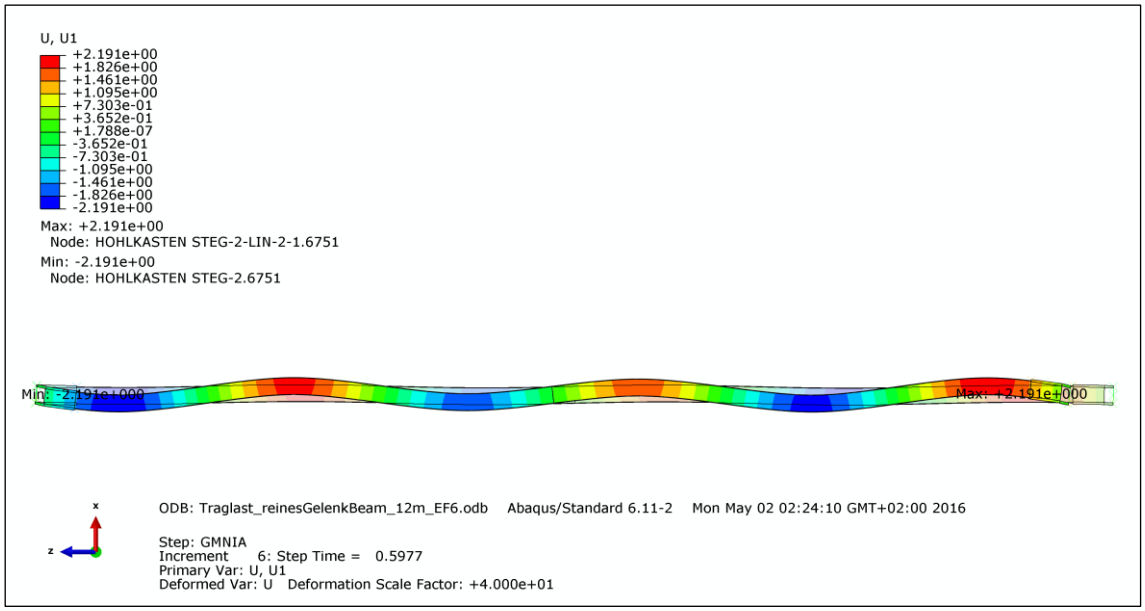
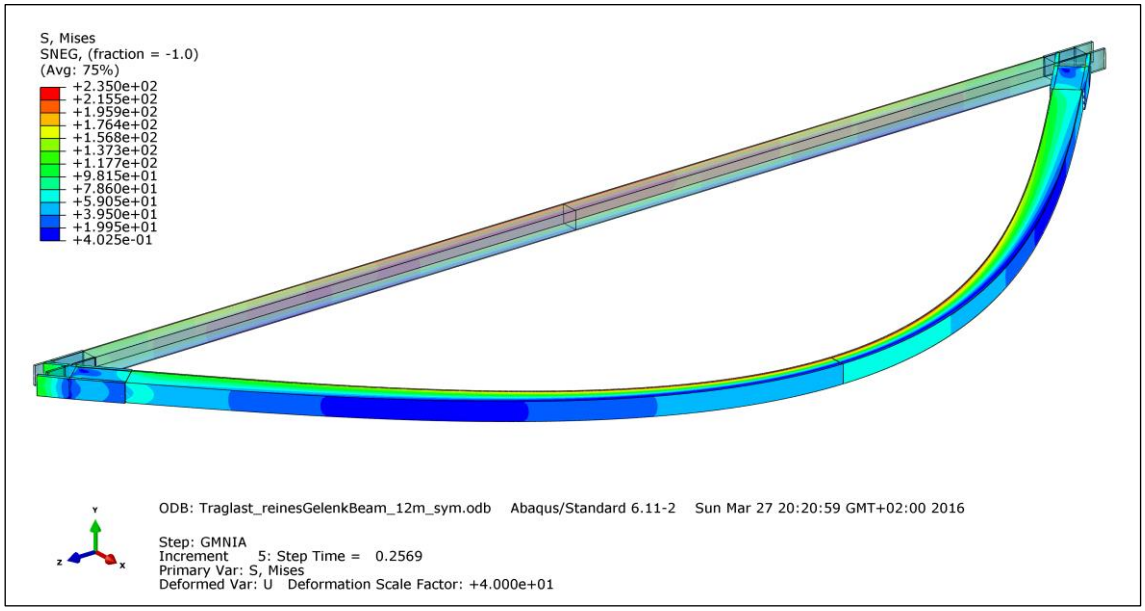
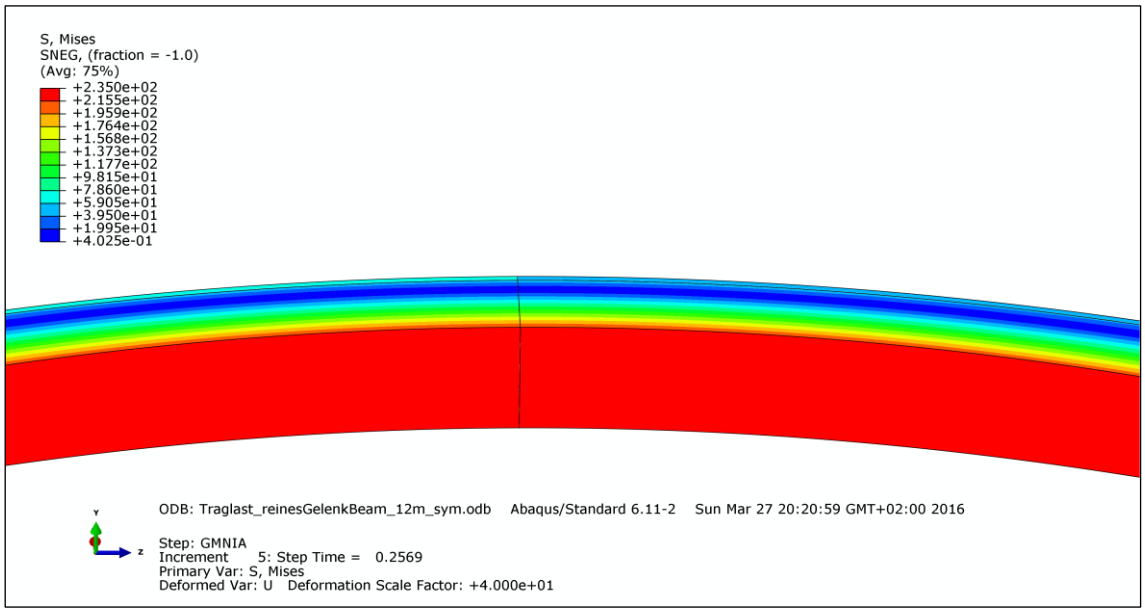


Abbildung 9-365: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6





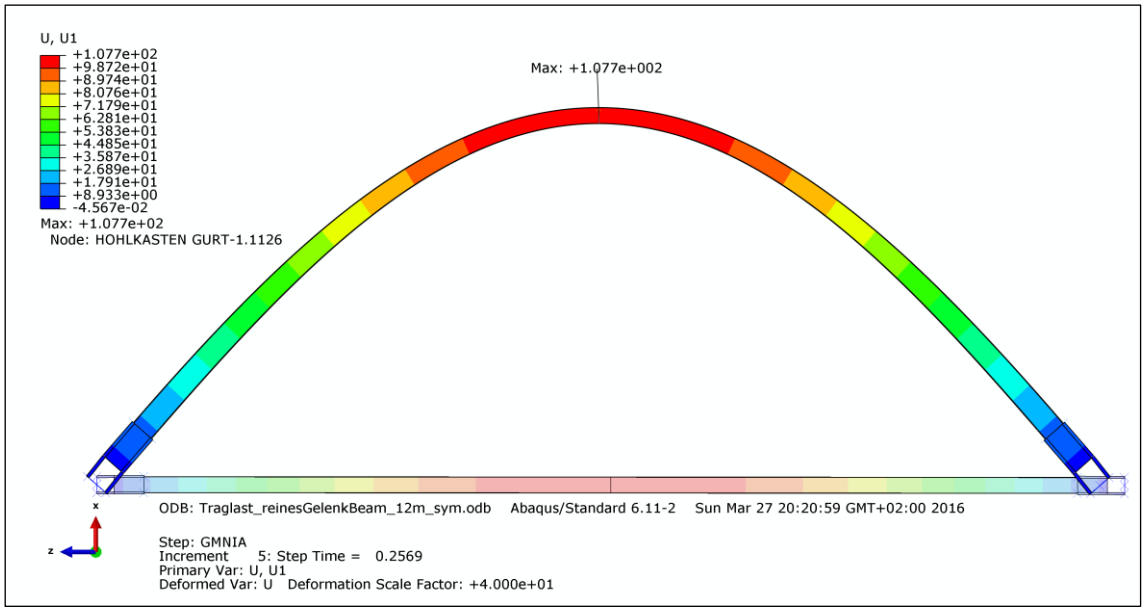
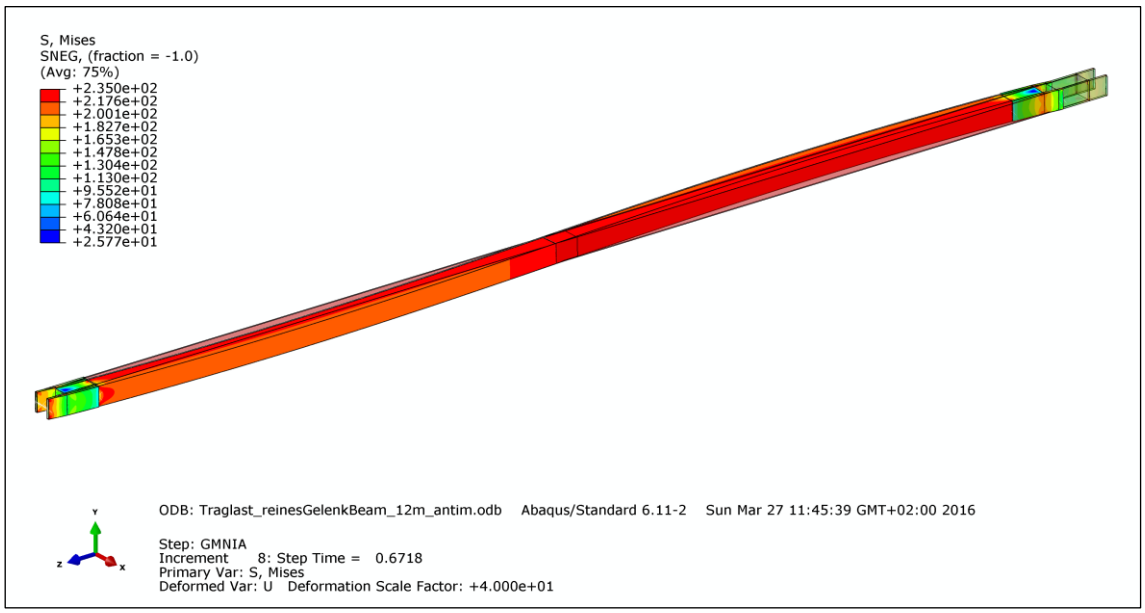
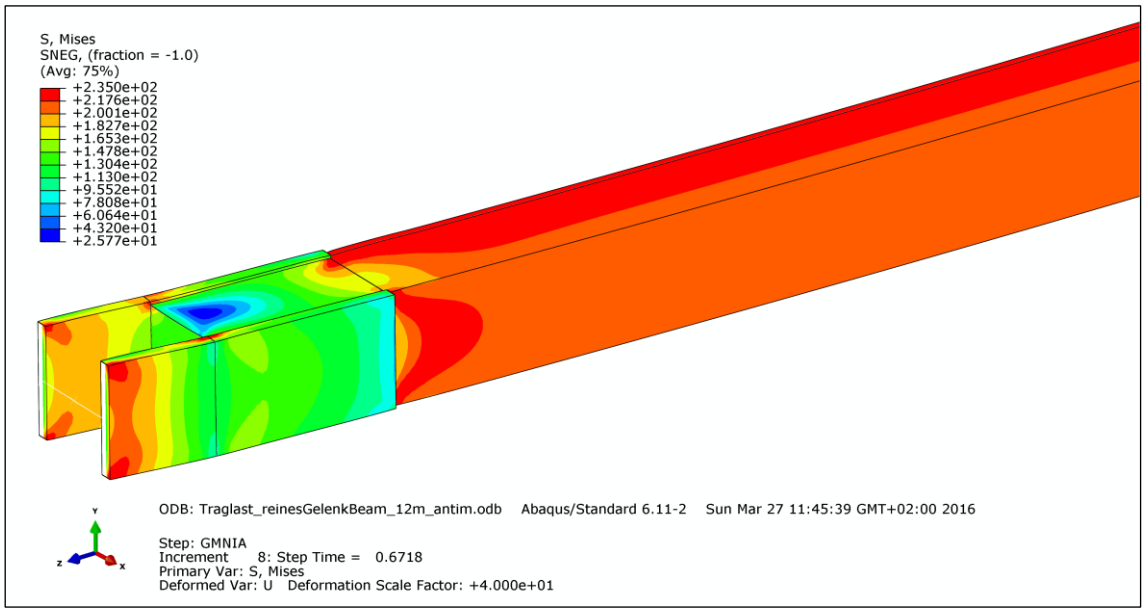


Abbildung 9-366: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





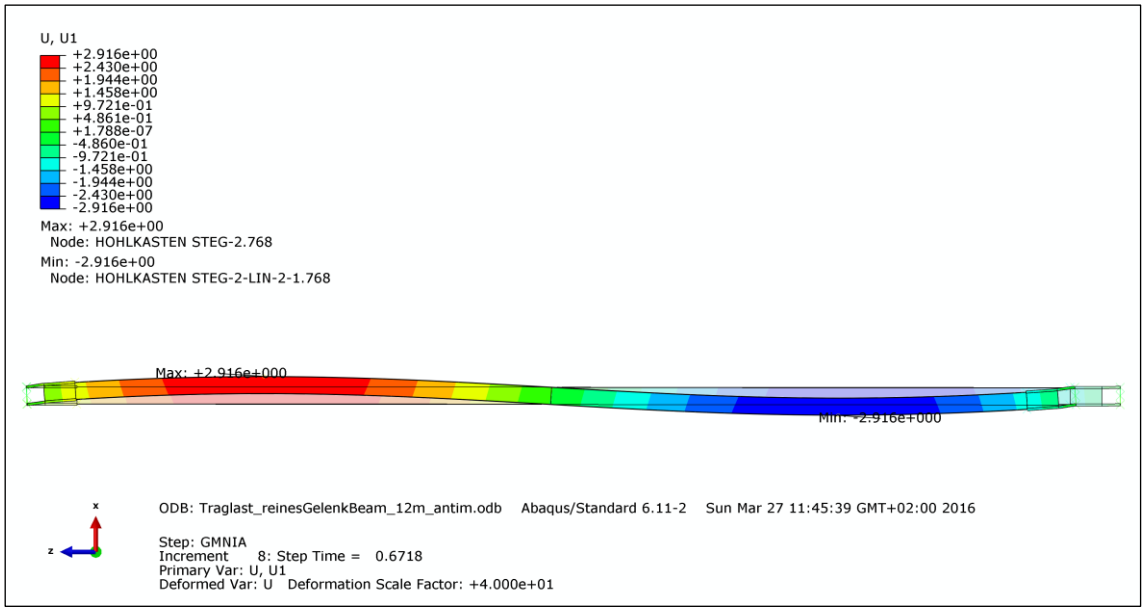
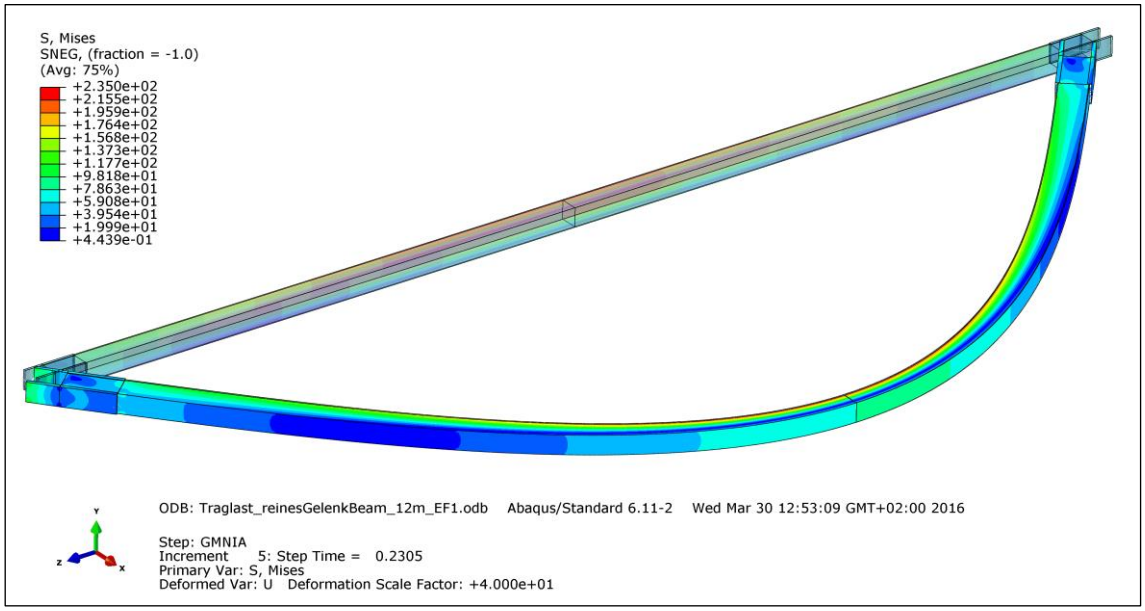
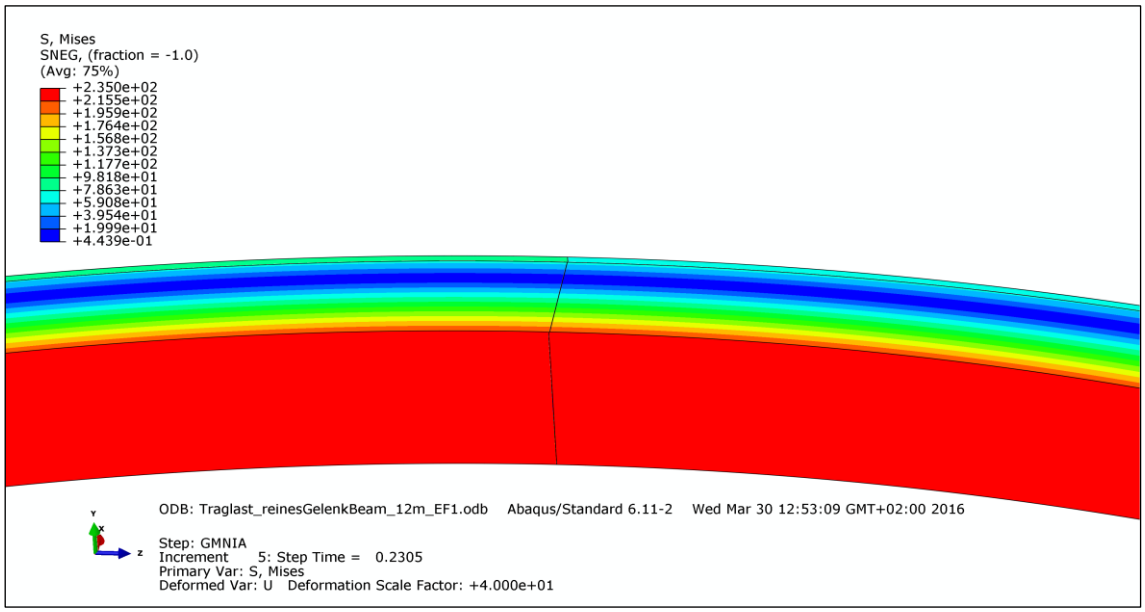


Abbildung 9-367: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





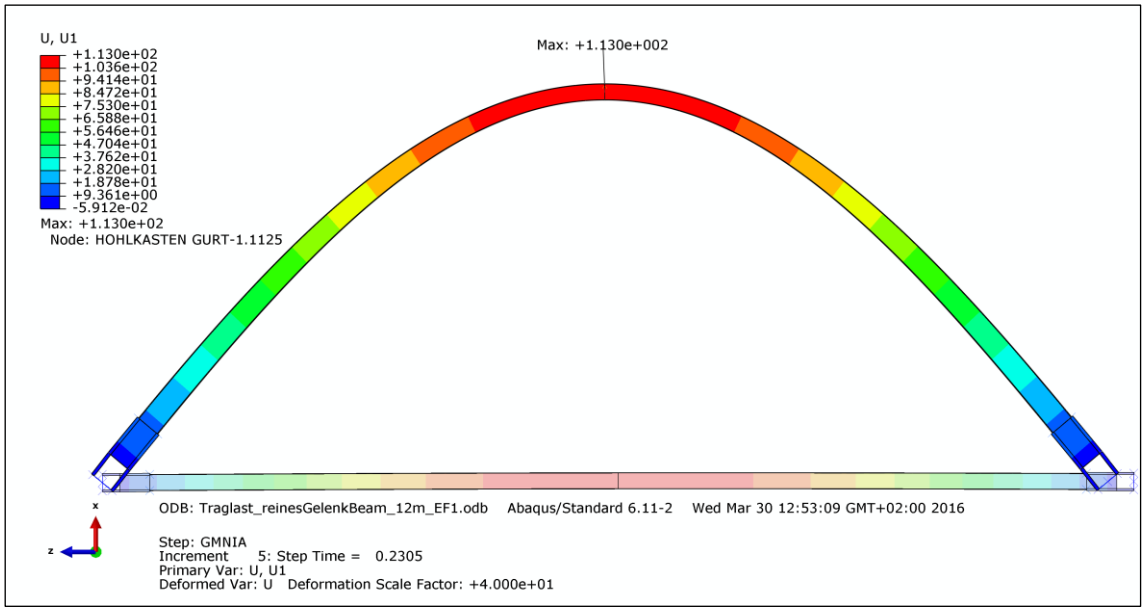
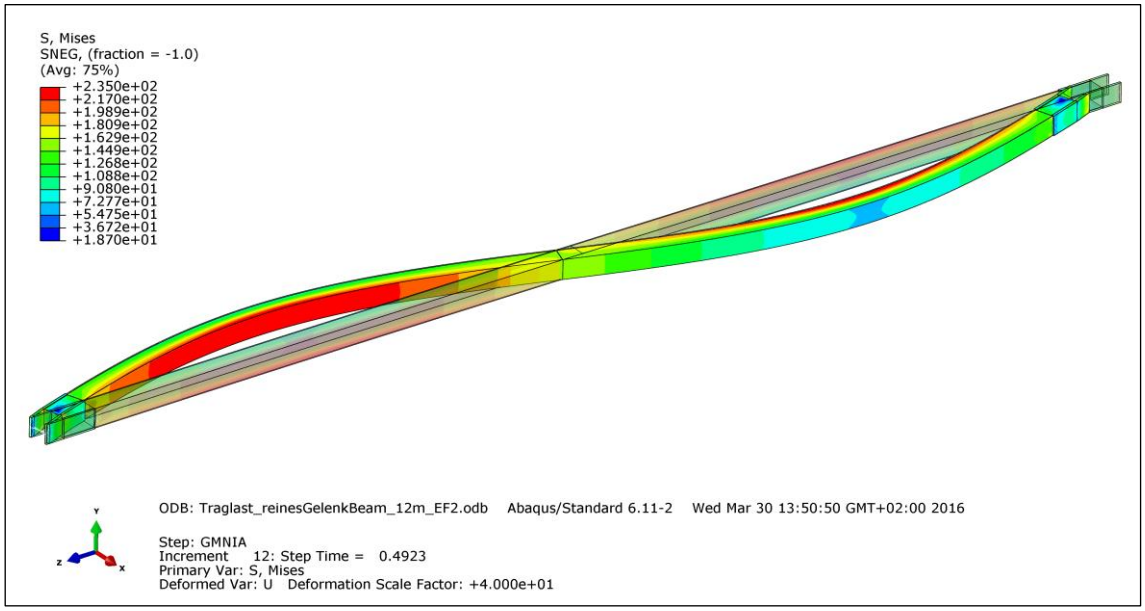
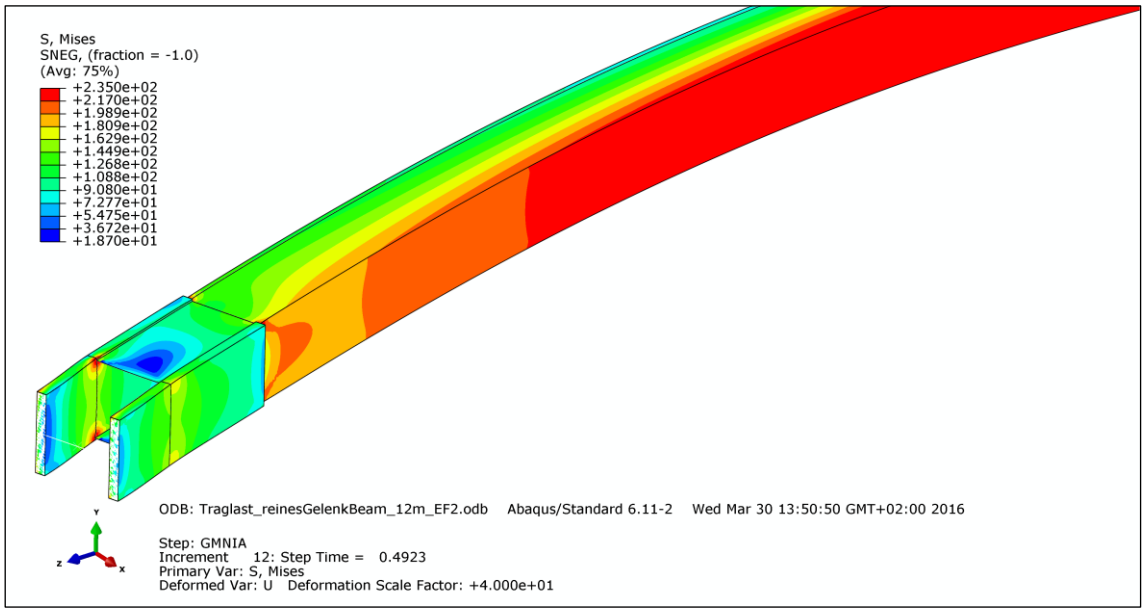


Abbildung 9-368: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





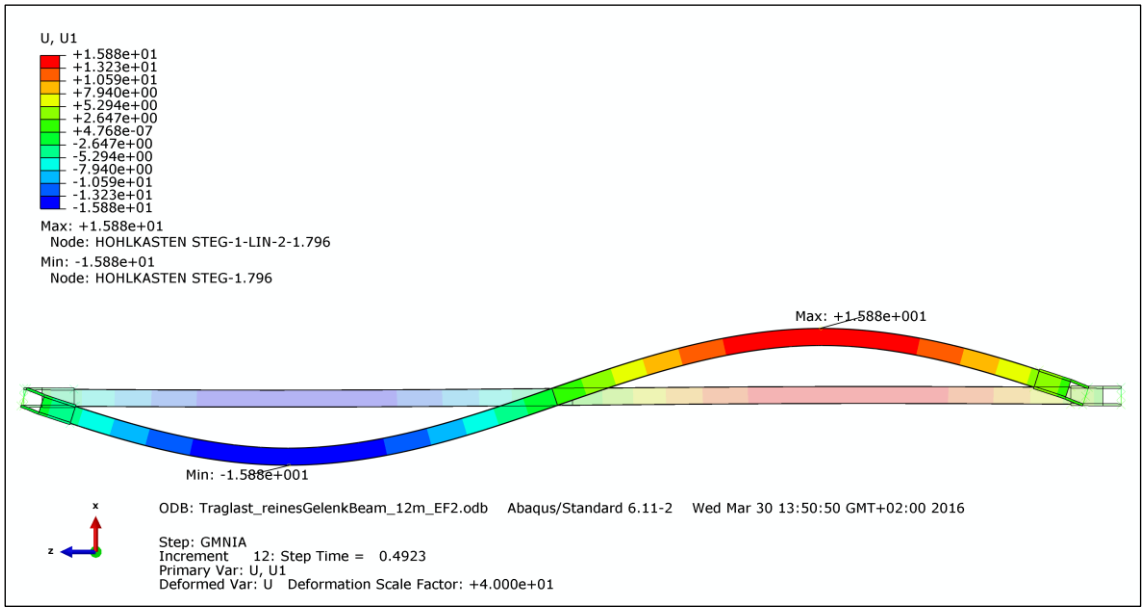
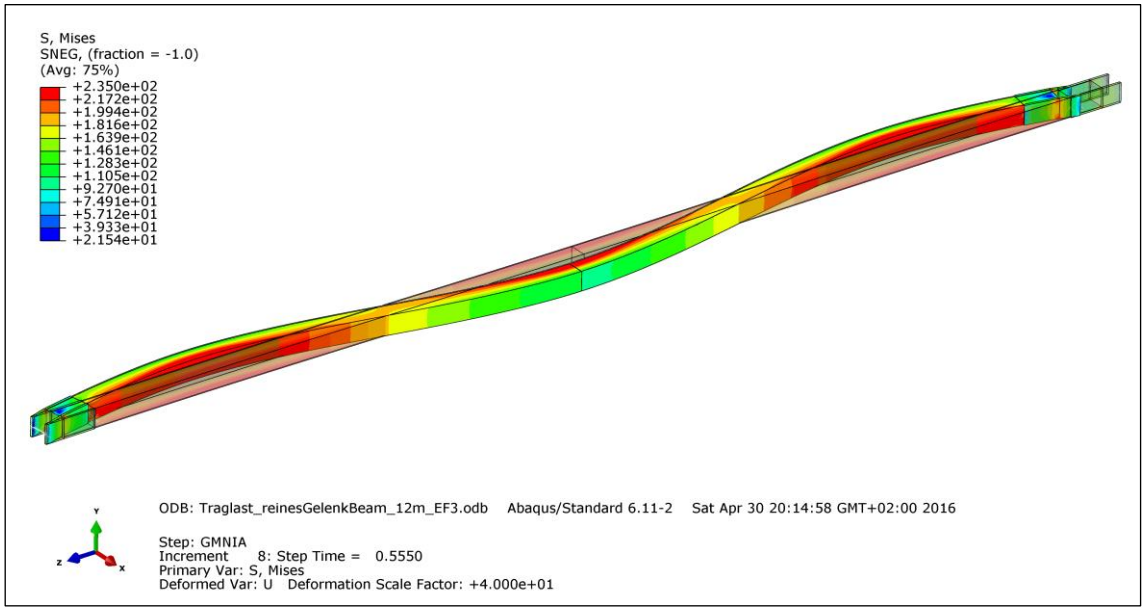
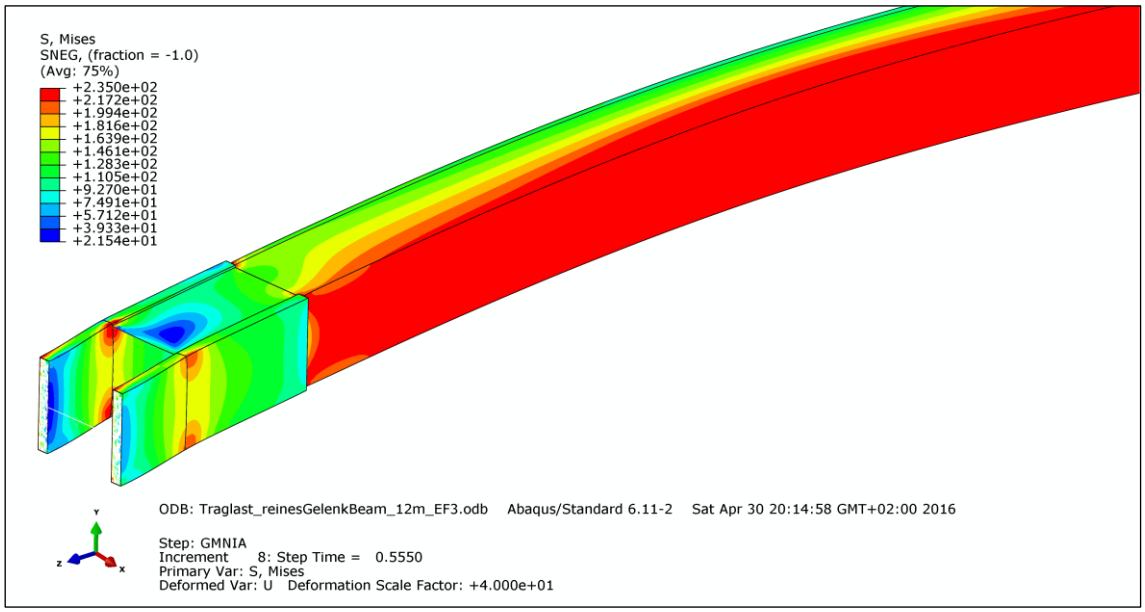


Abbildung 9-369: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





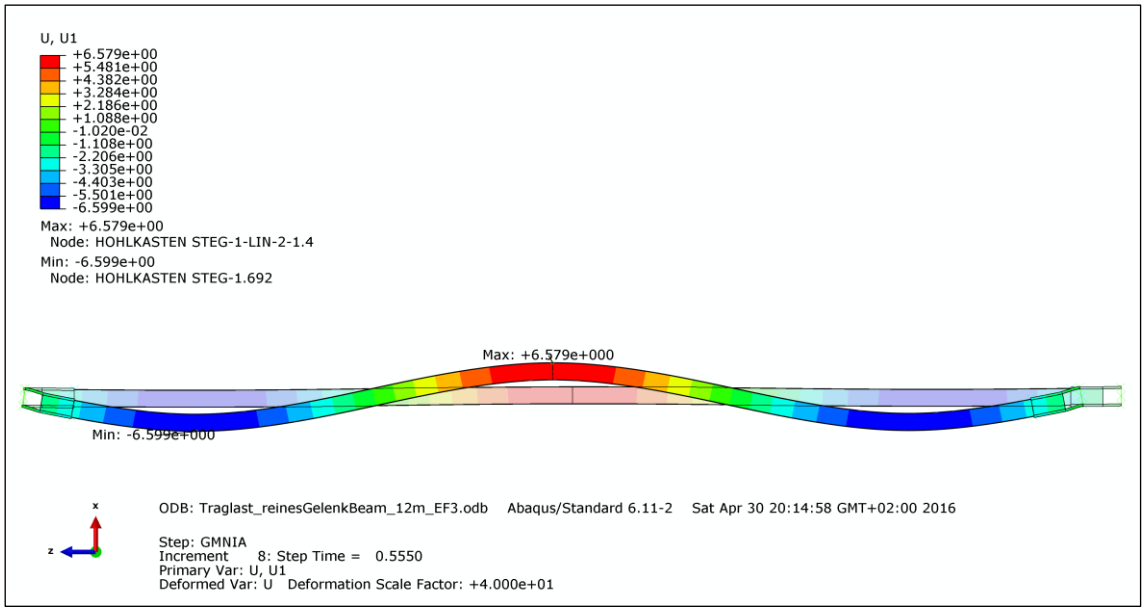
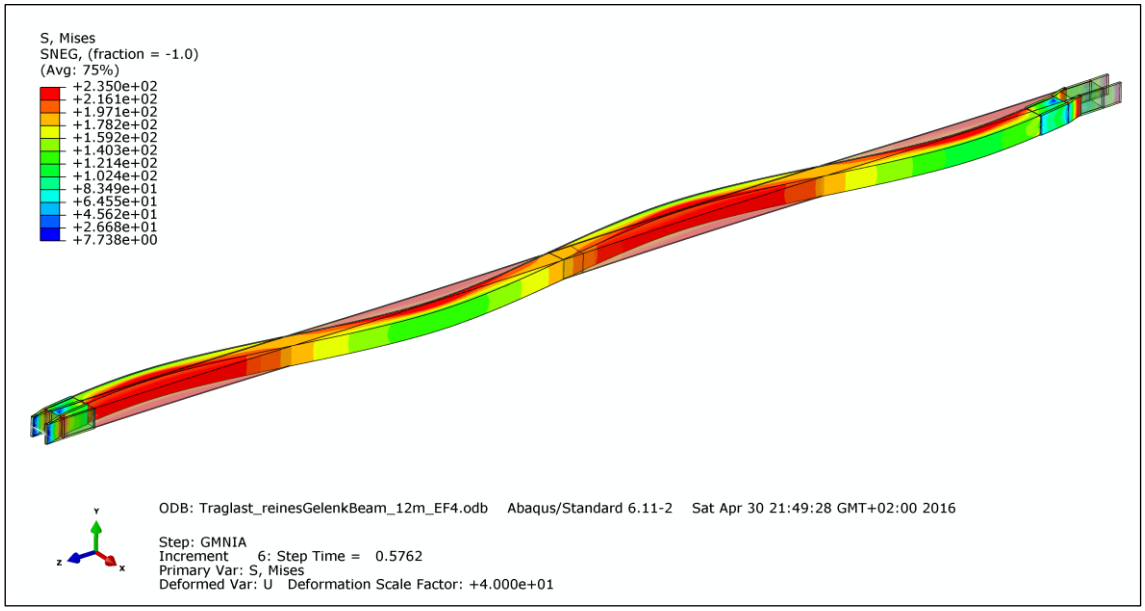
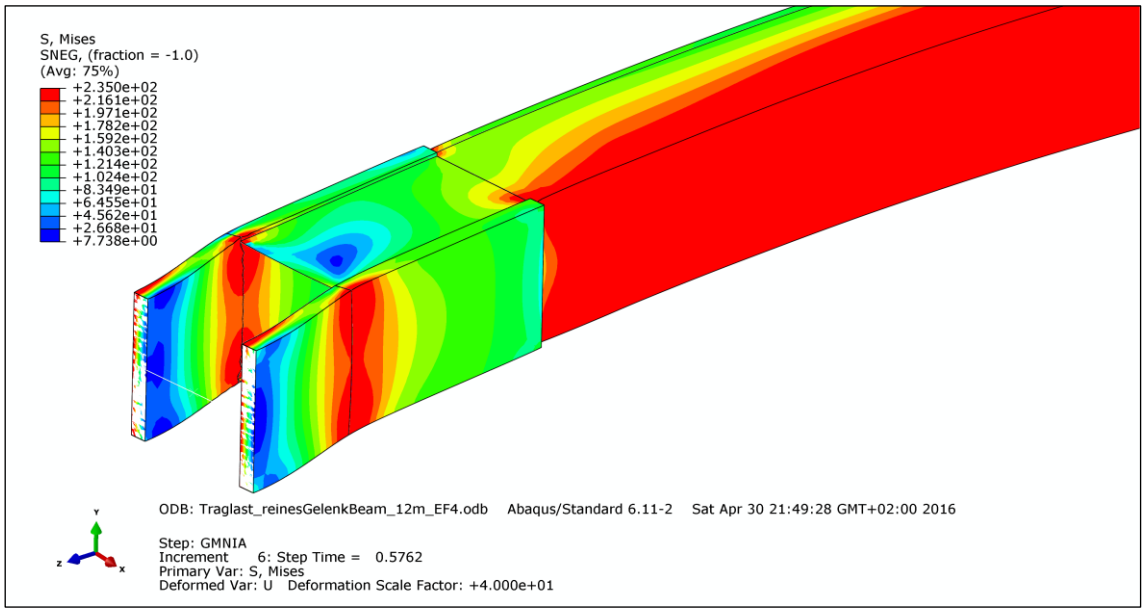


Abbildung 9-370: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3





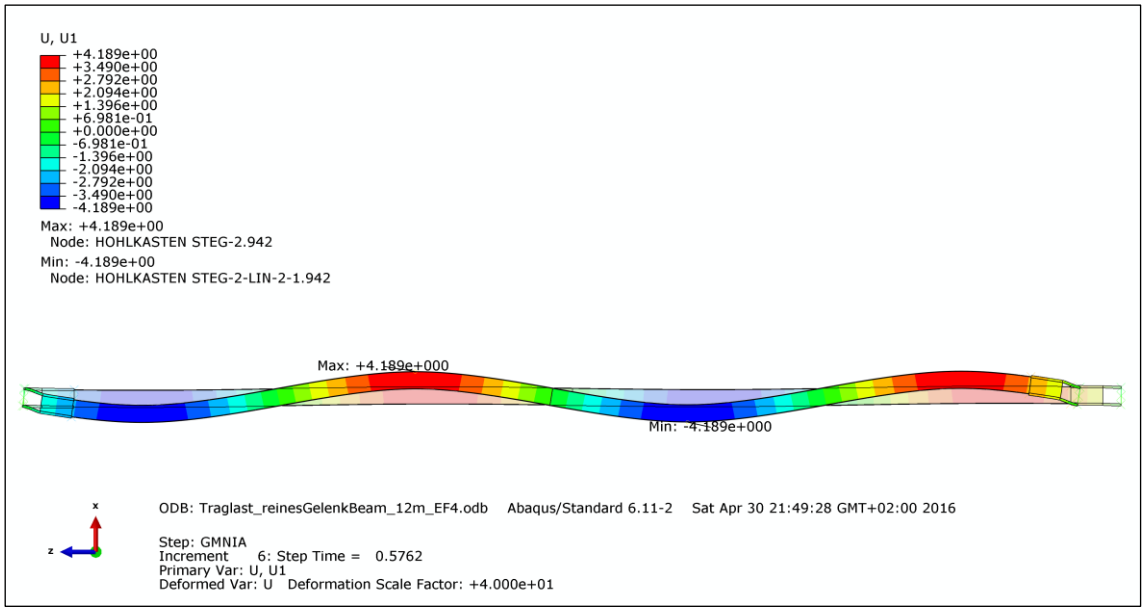
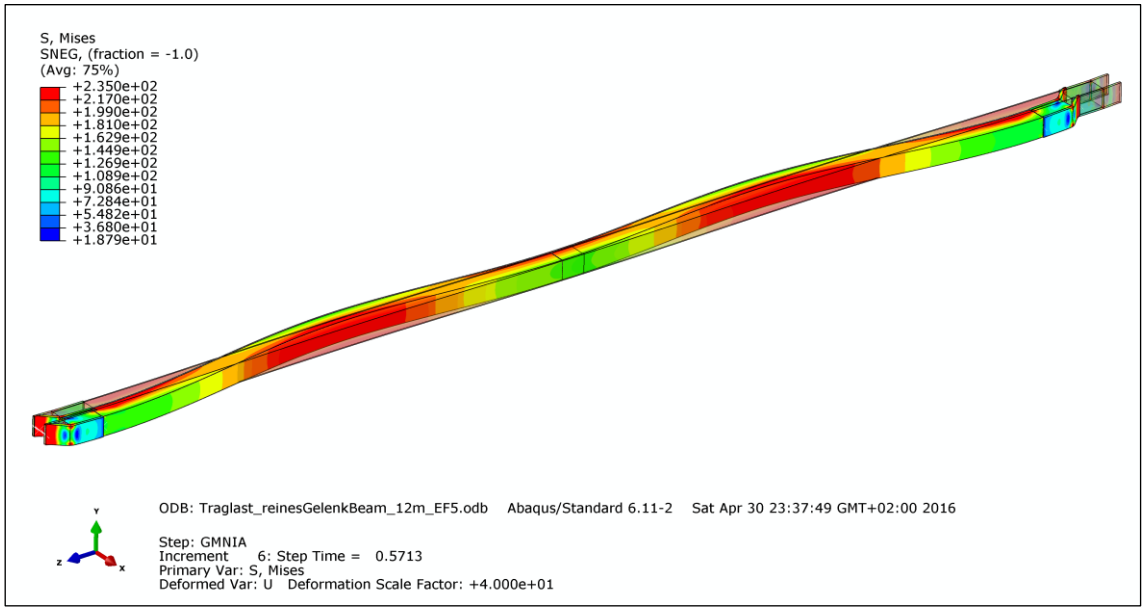
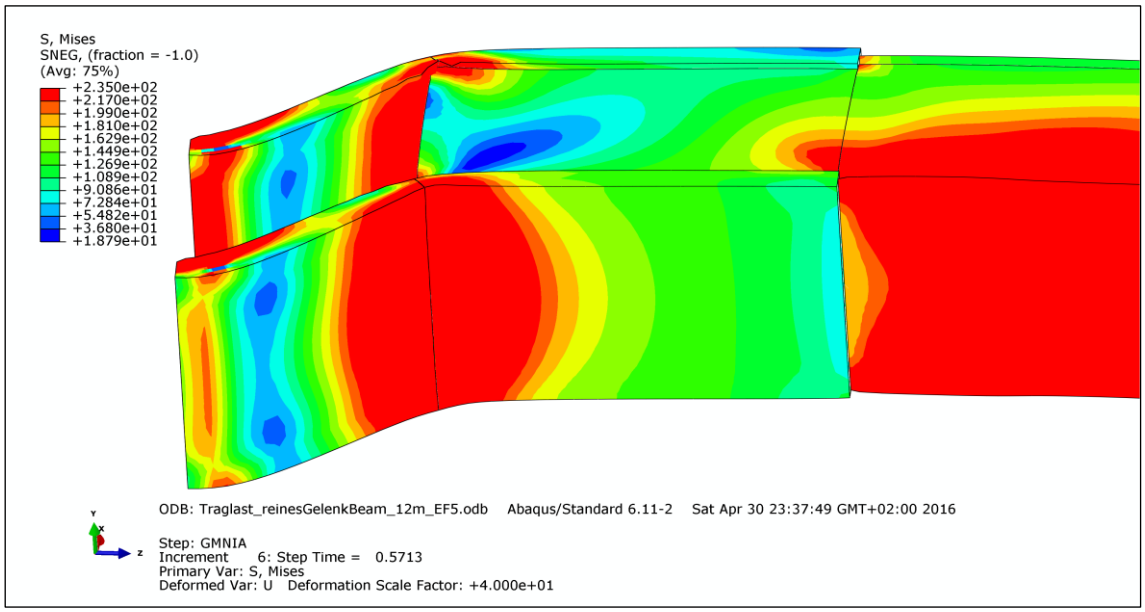


Abbildung 9-371: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4





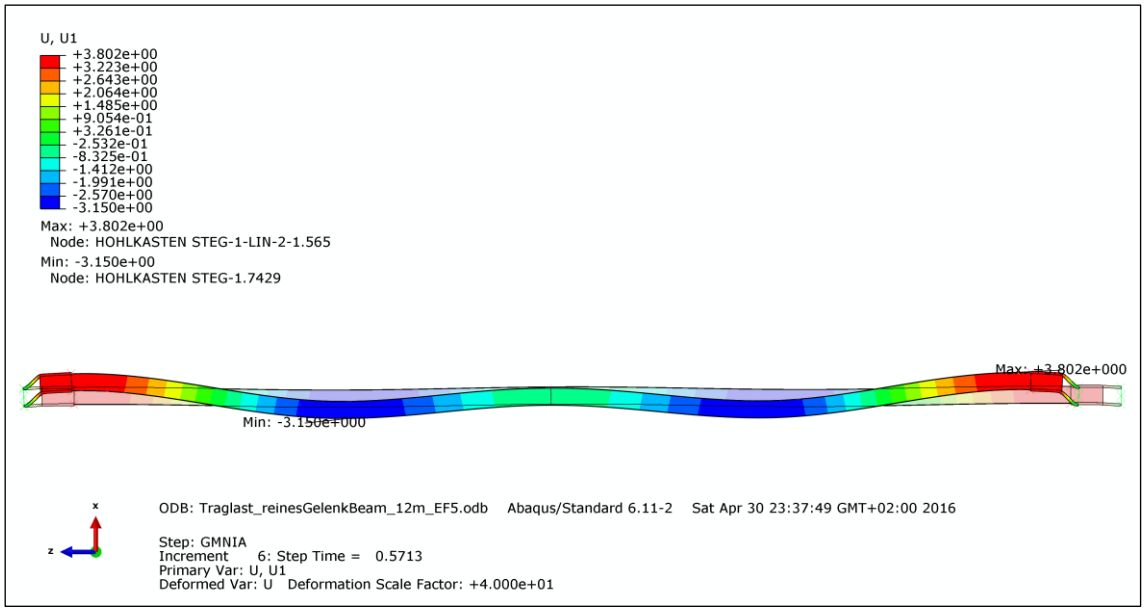
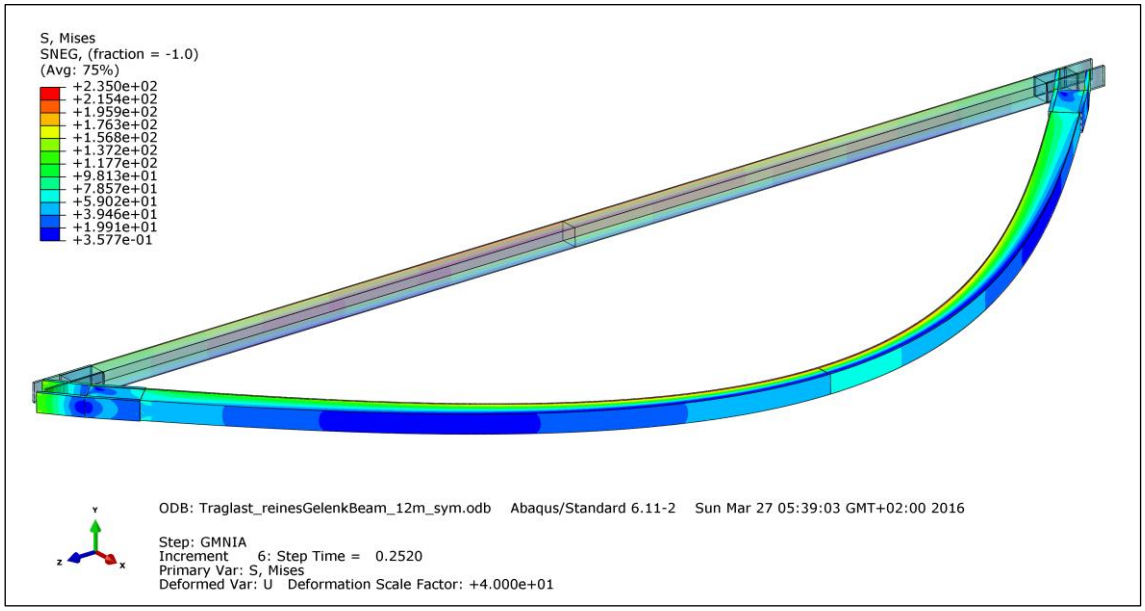
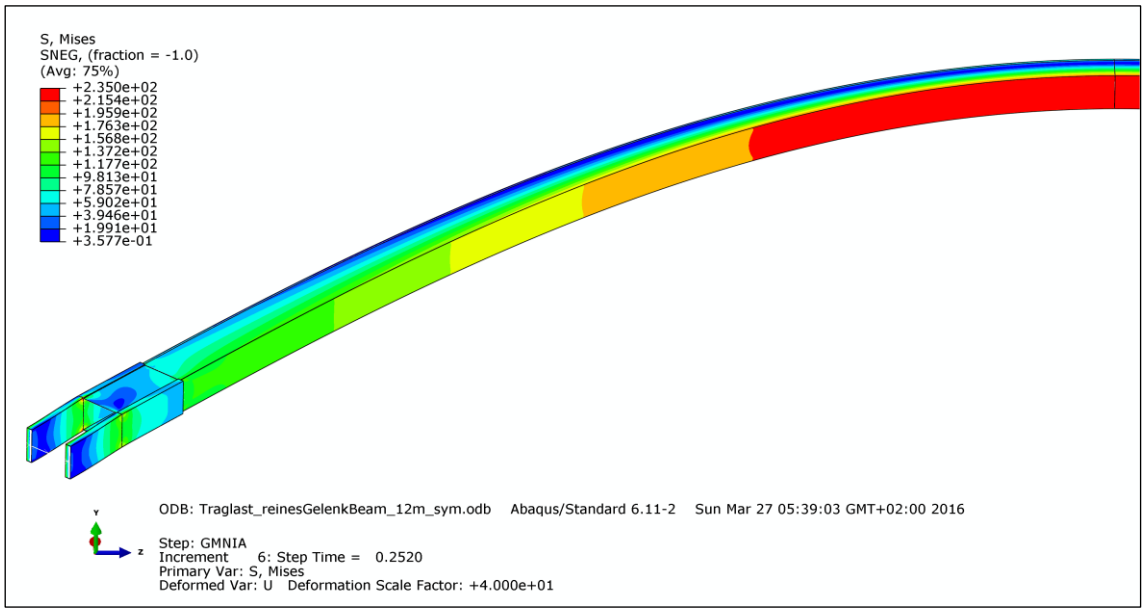


Abbildung 9-372: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5





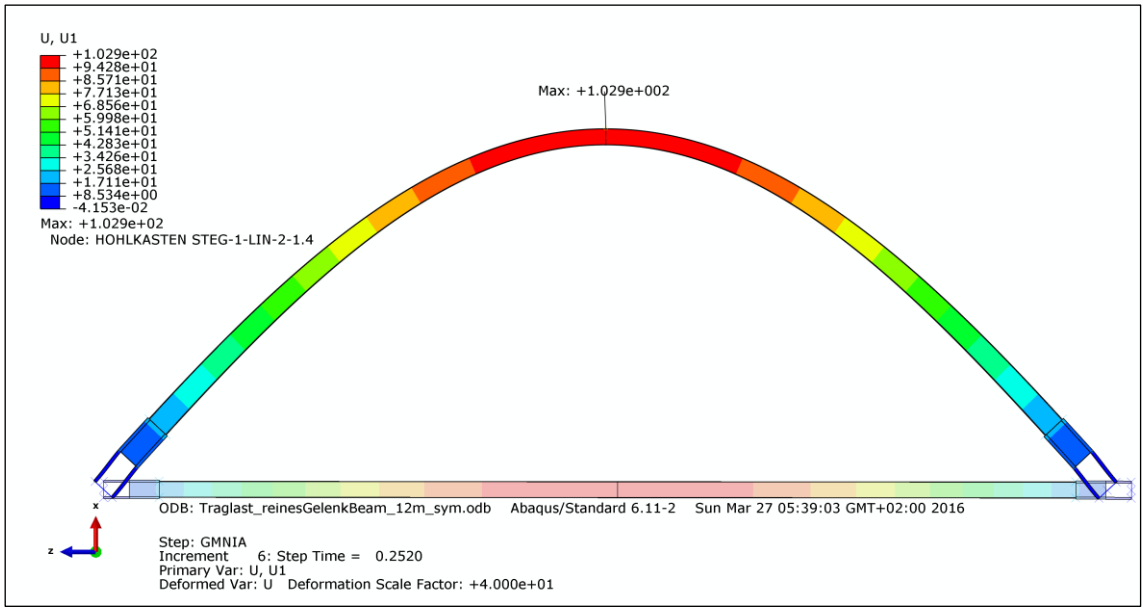
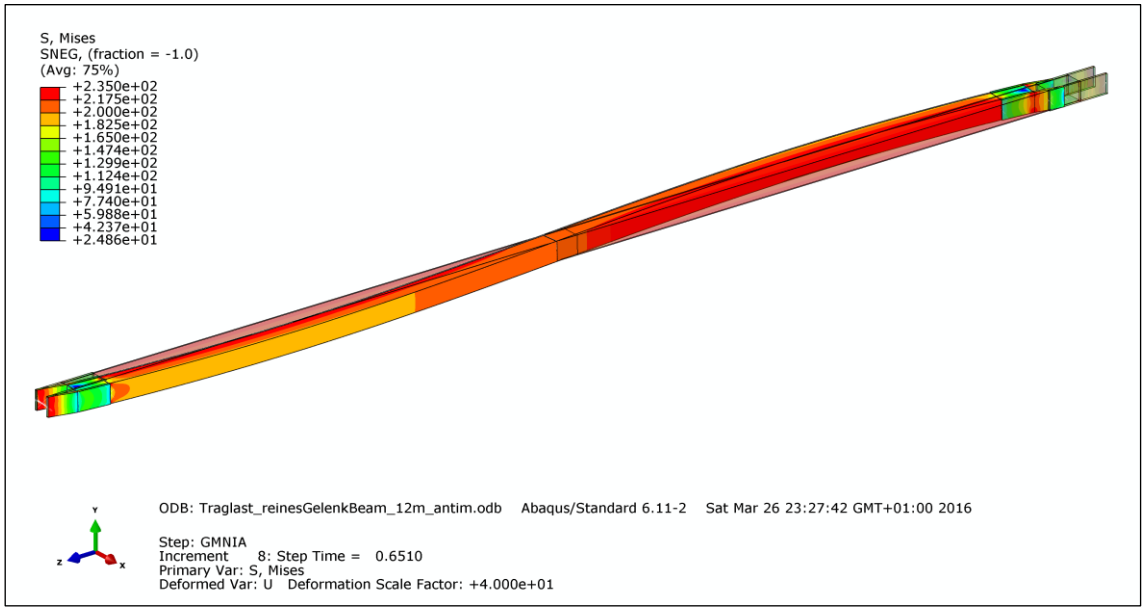
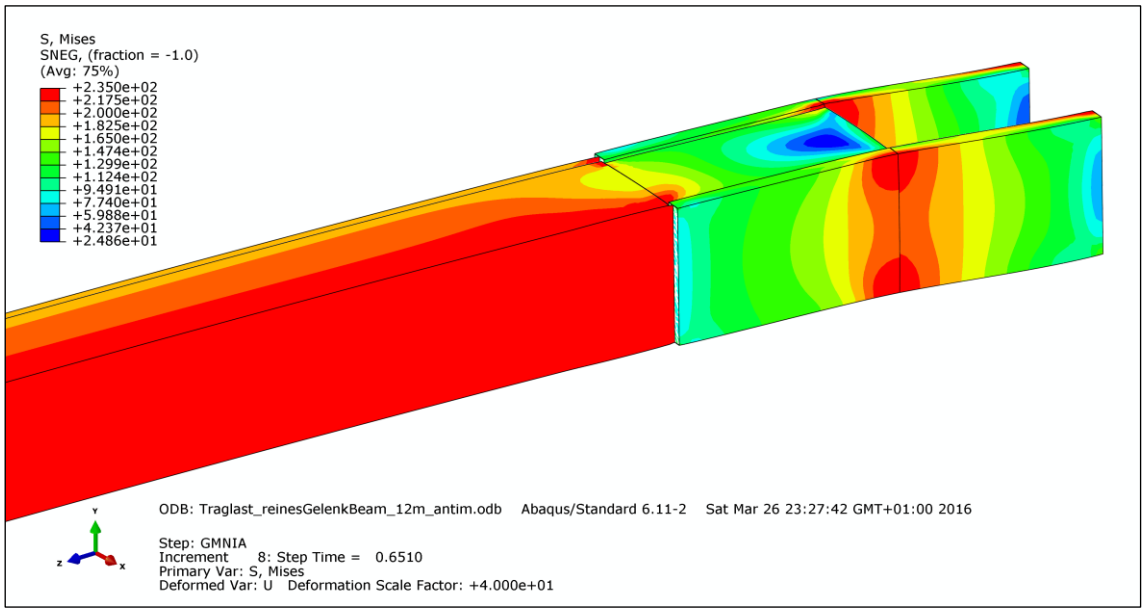


Abbildung 9-373: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





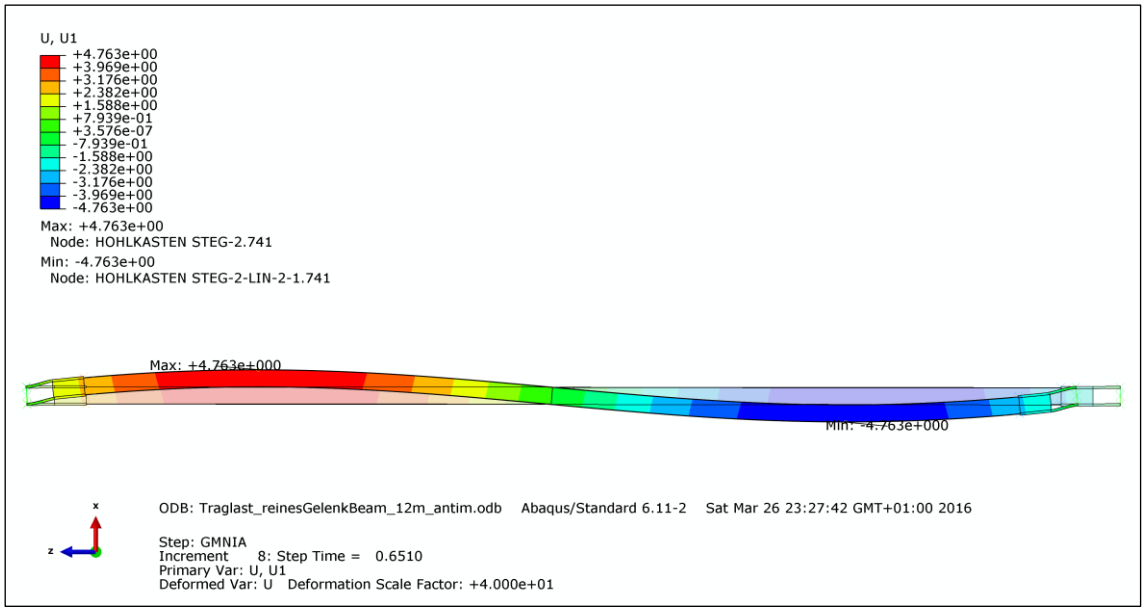
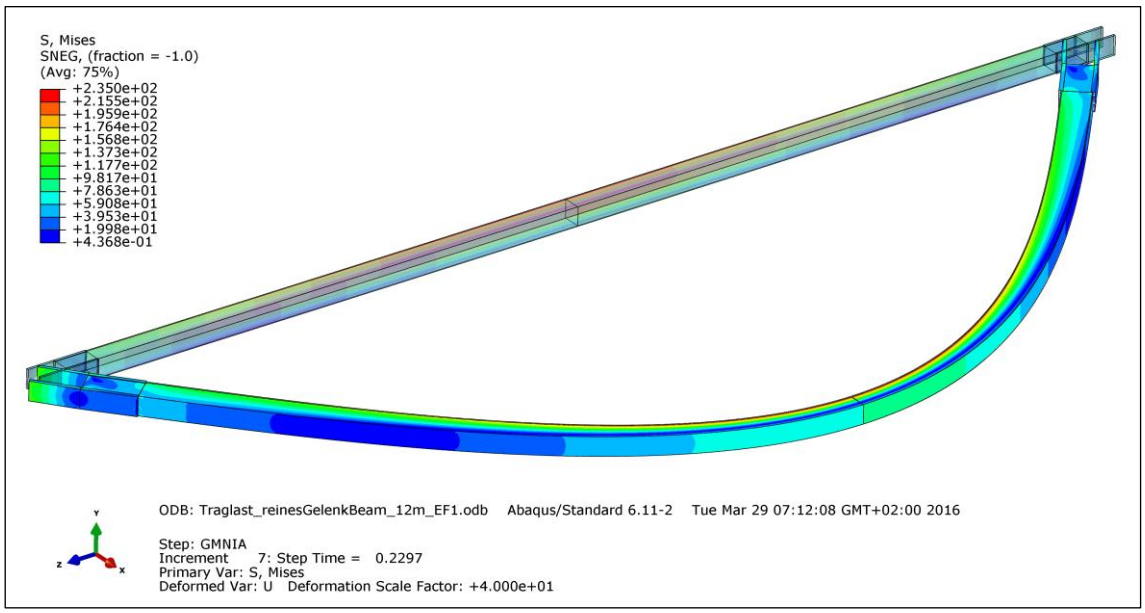
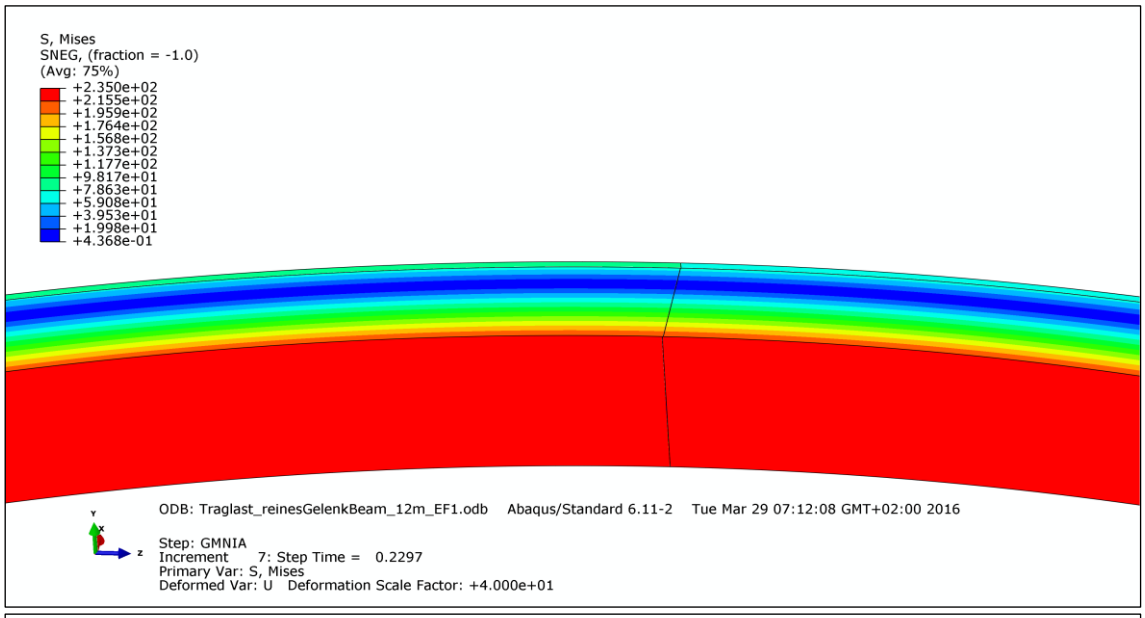


Abbildung 9-374: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





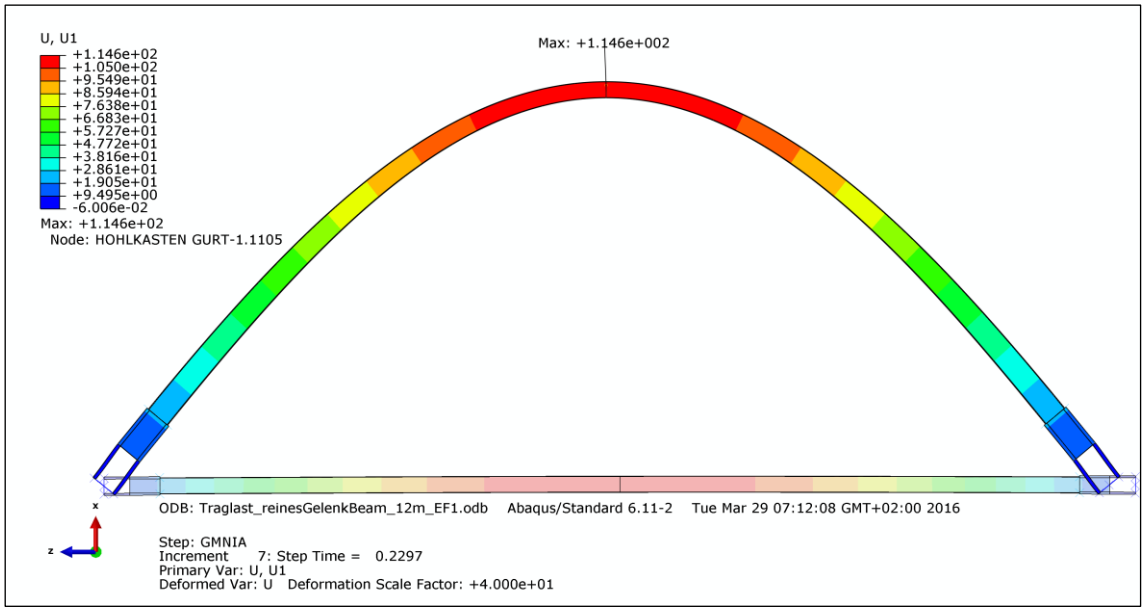
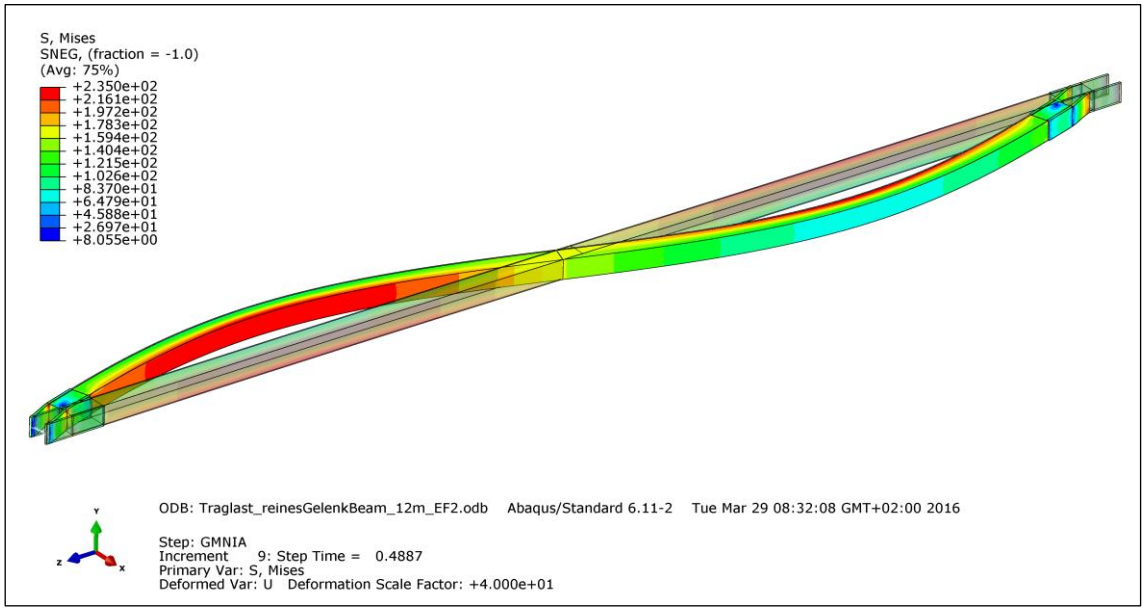
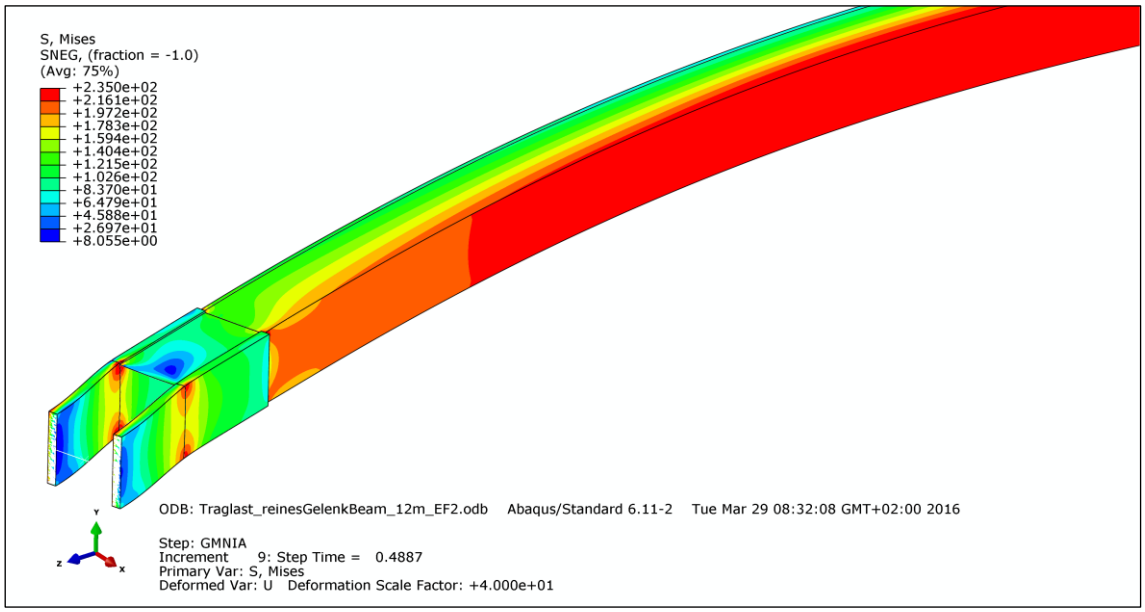


Abbildung 9-375: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





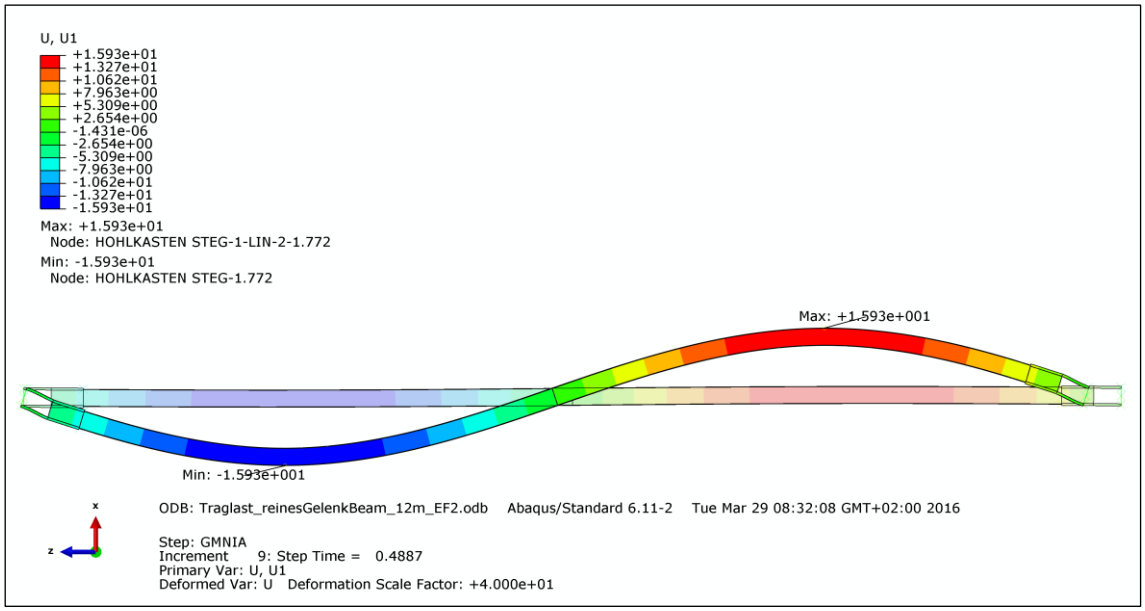
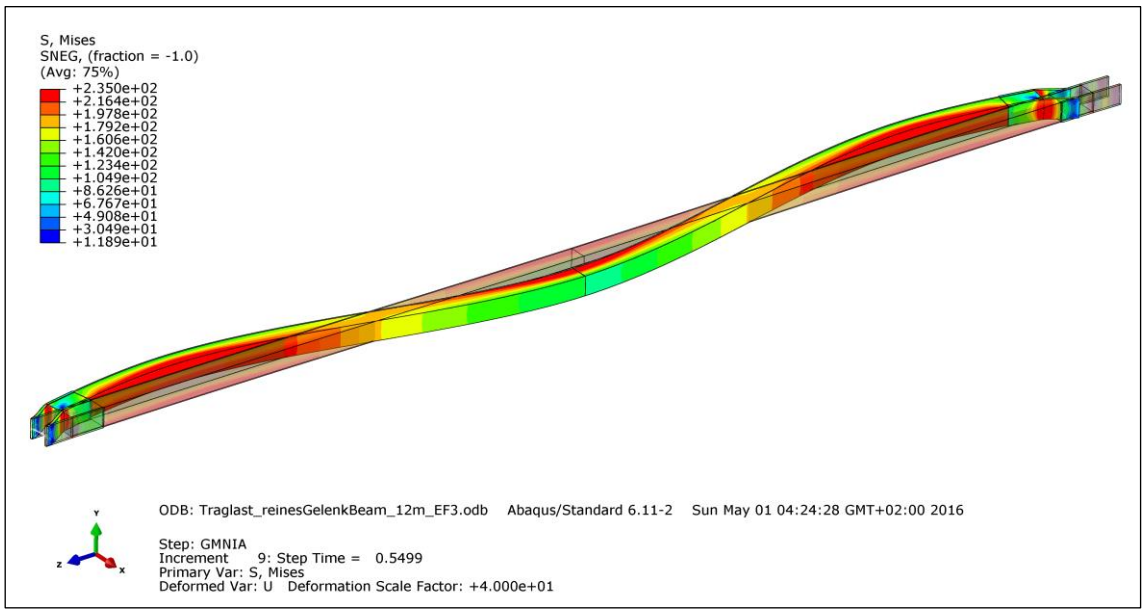
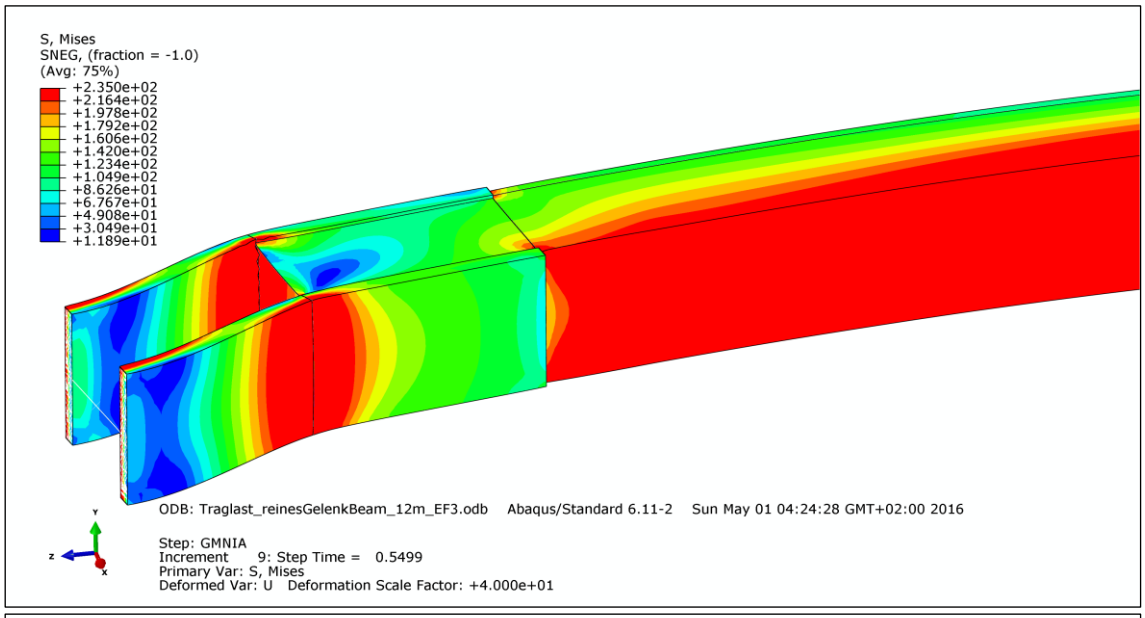


Abbildung 9-376: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





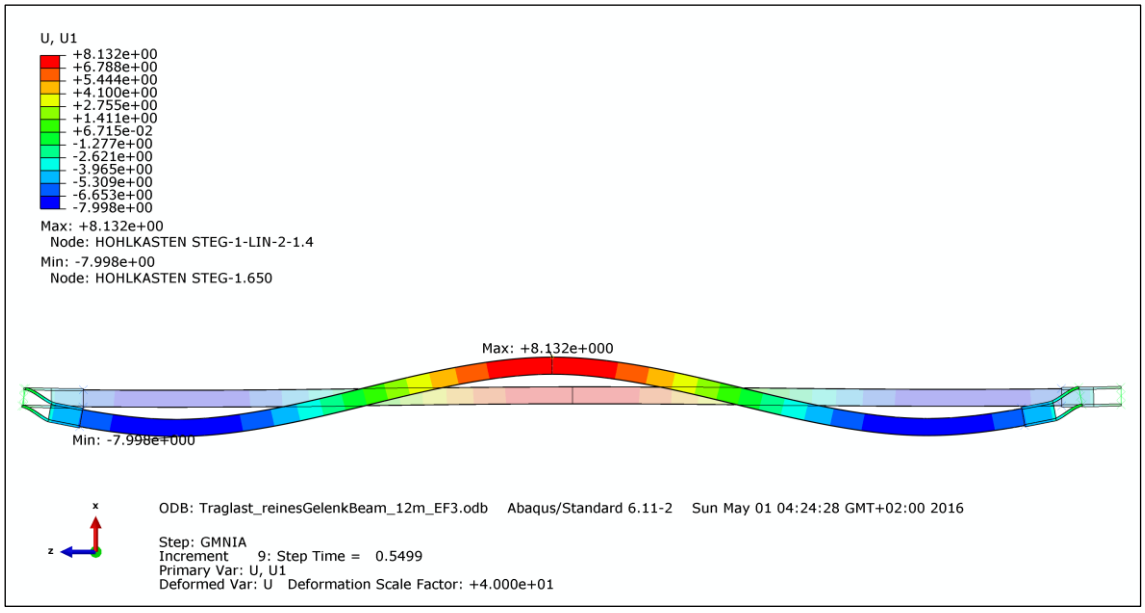
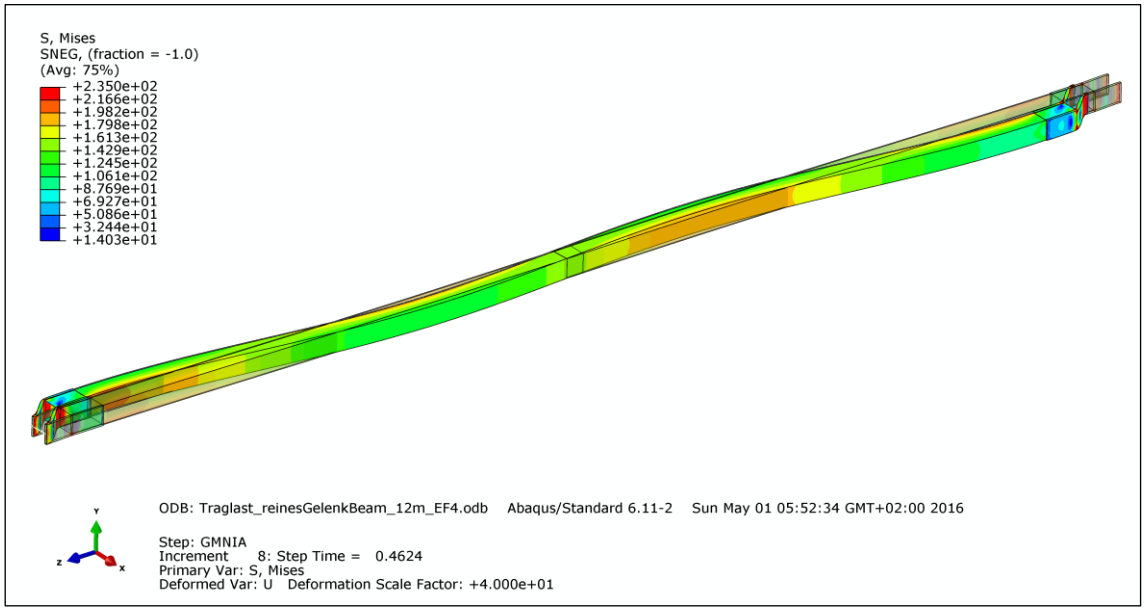
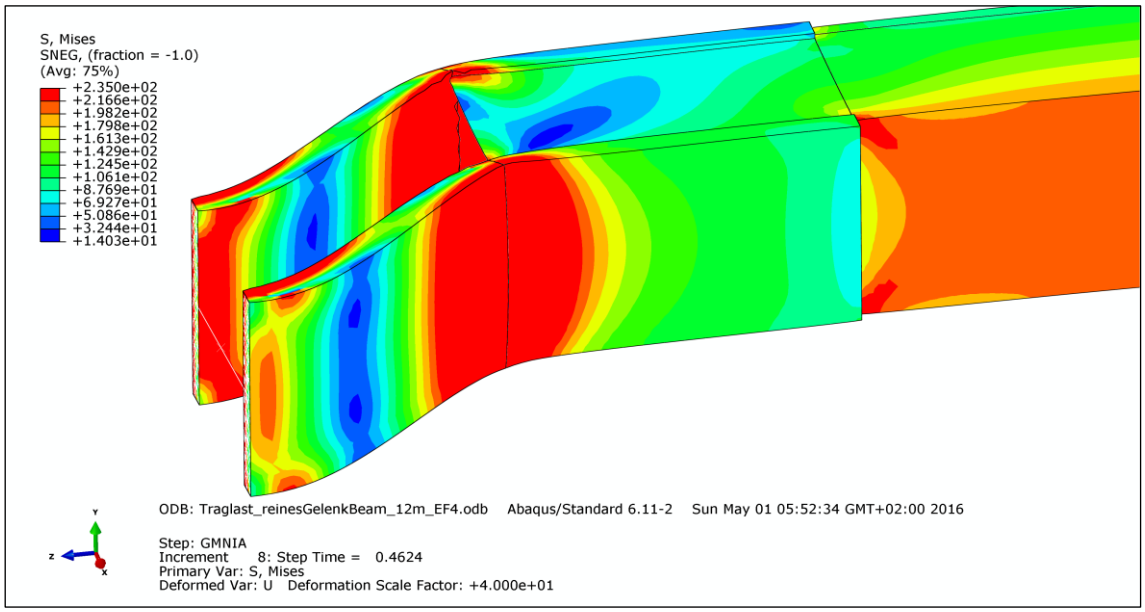


Abbildung 9-377: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3





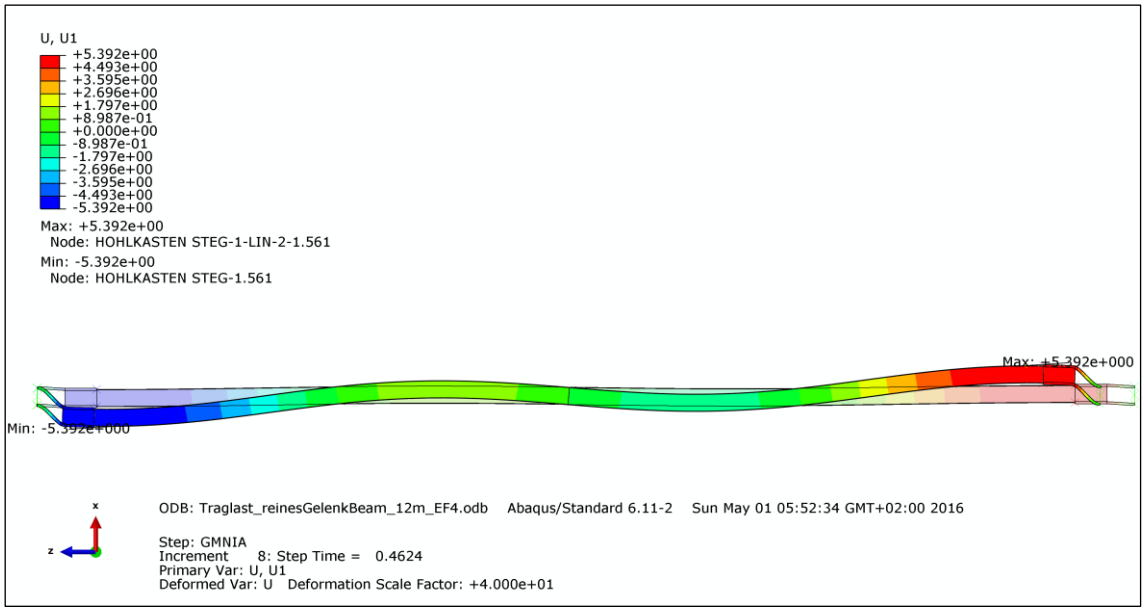
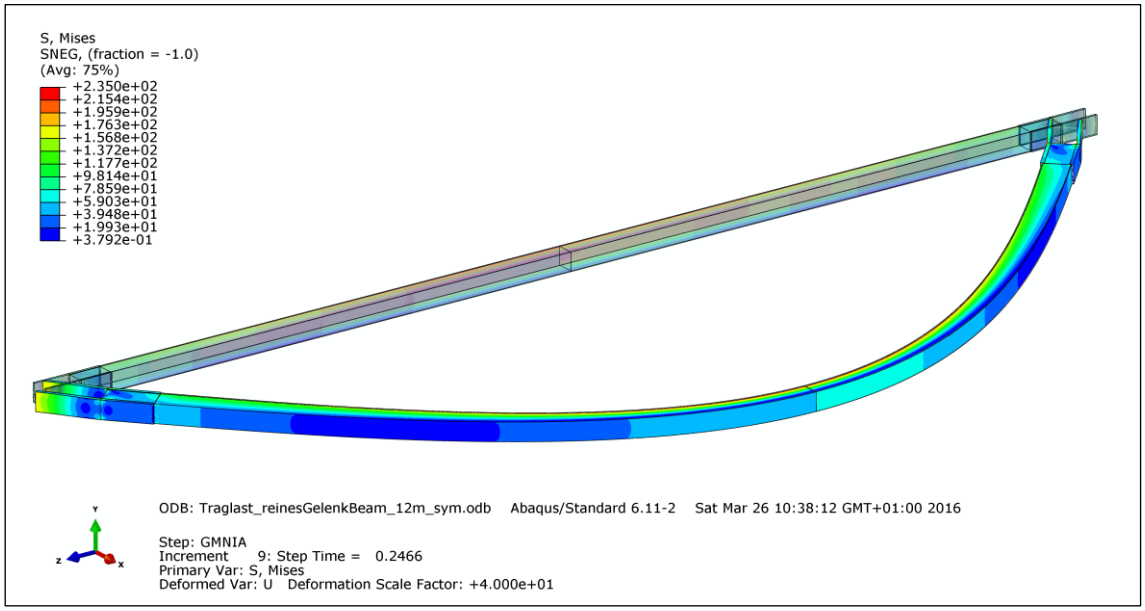
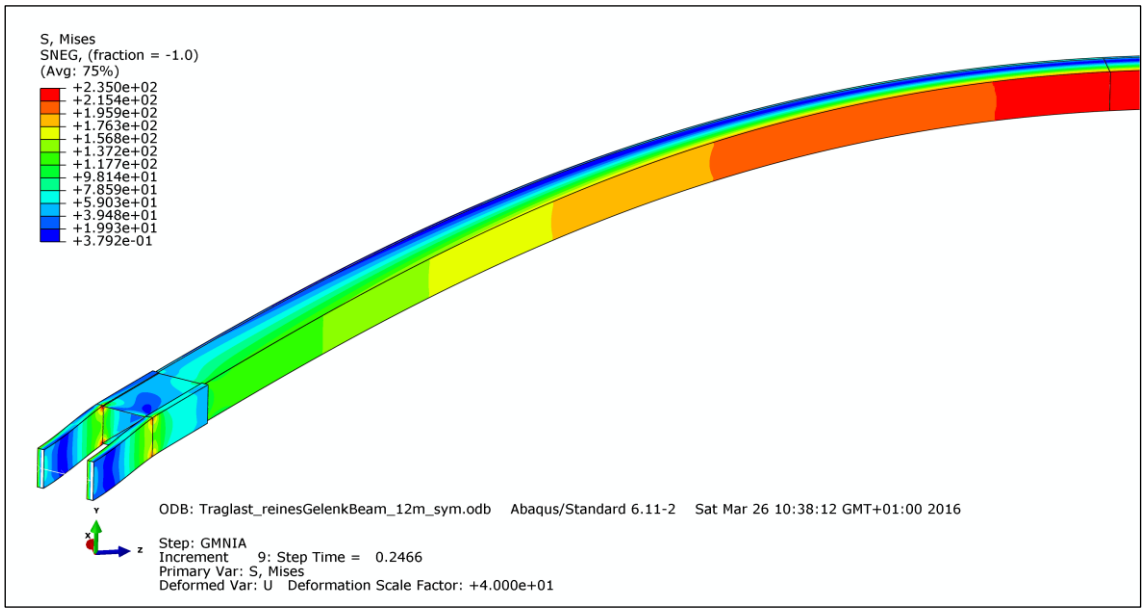


Abbildung 9-378: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4





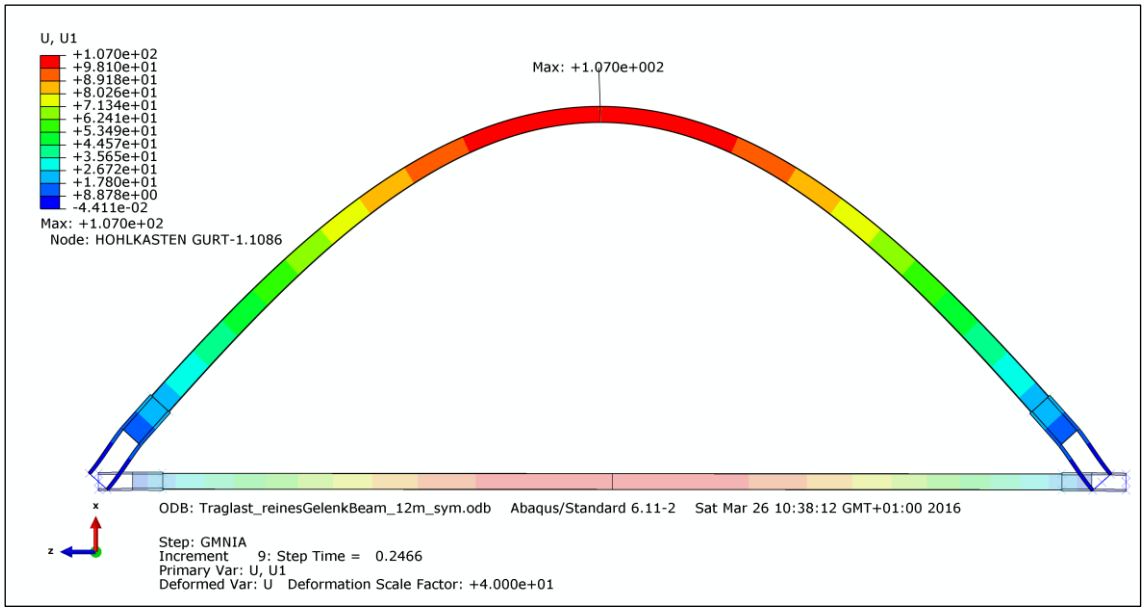
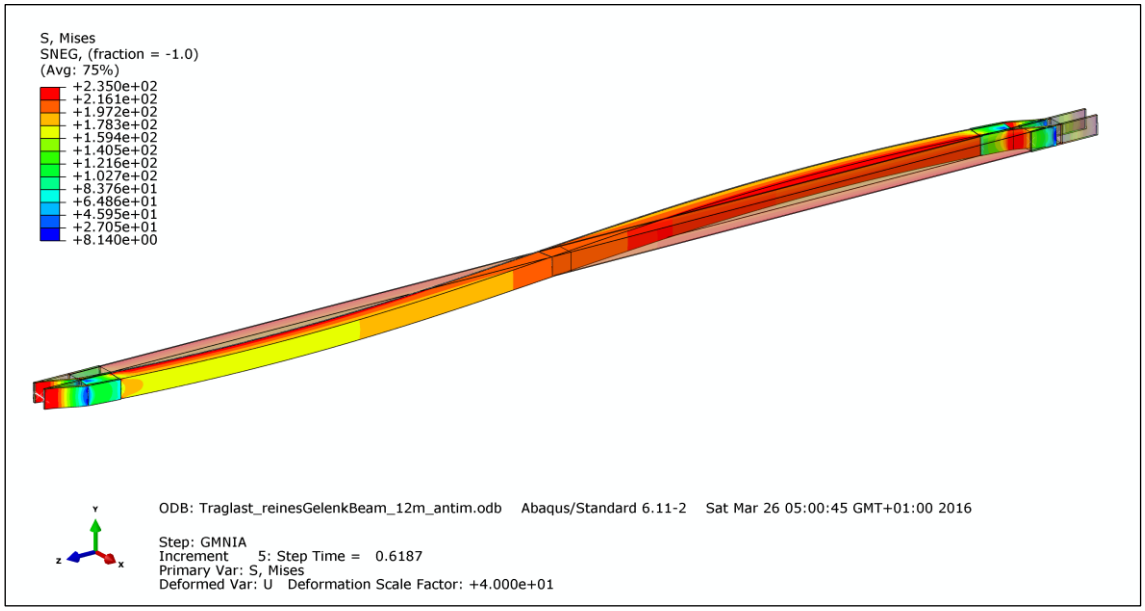
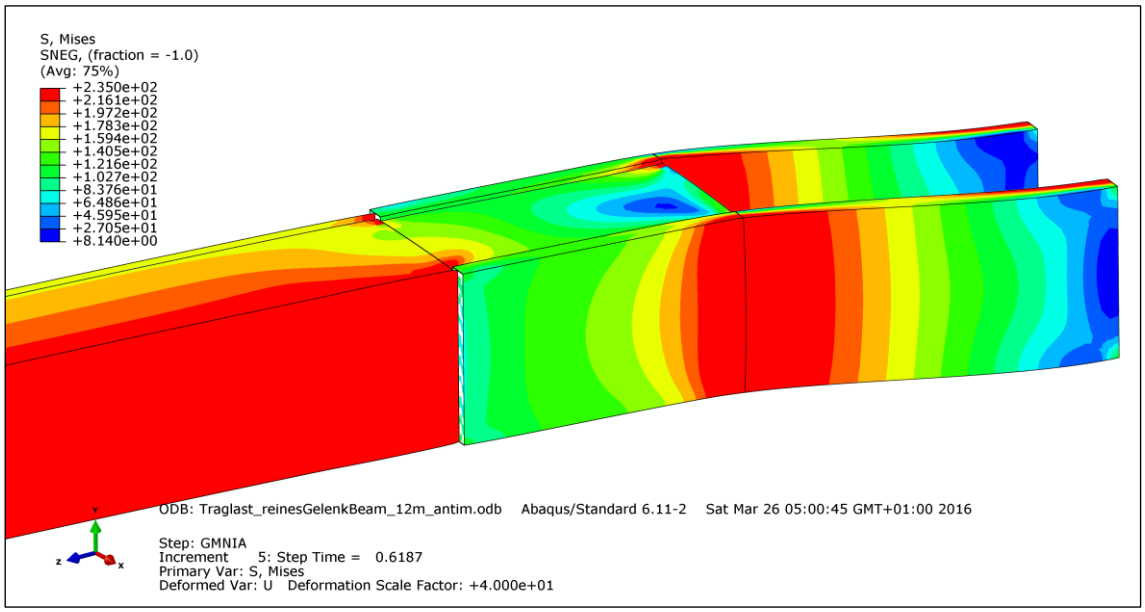


Abbildung 9-379: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





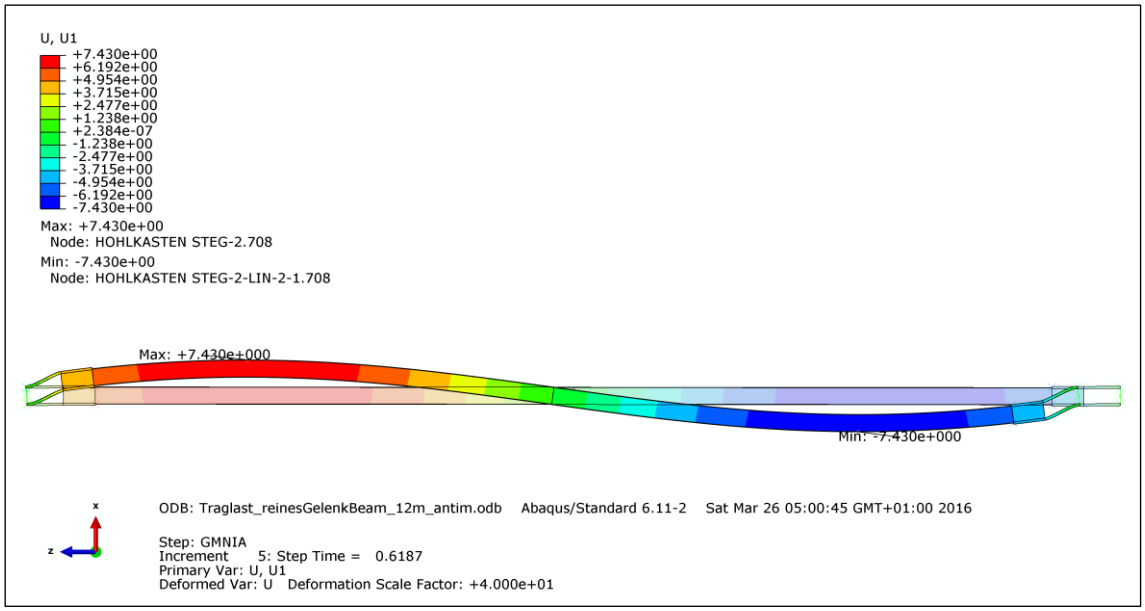
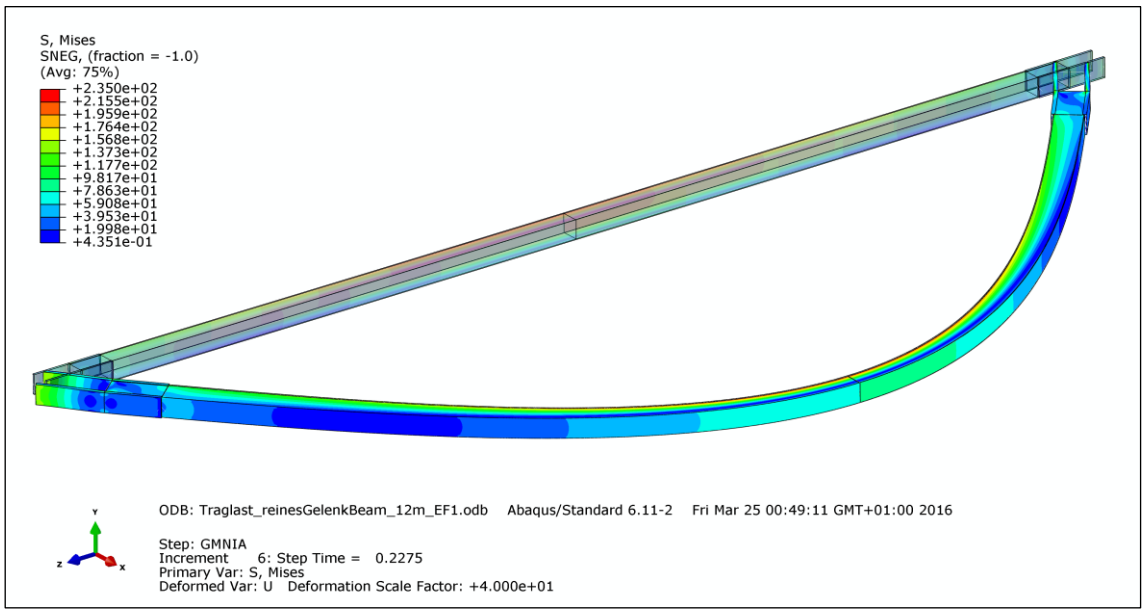
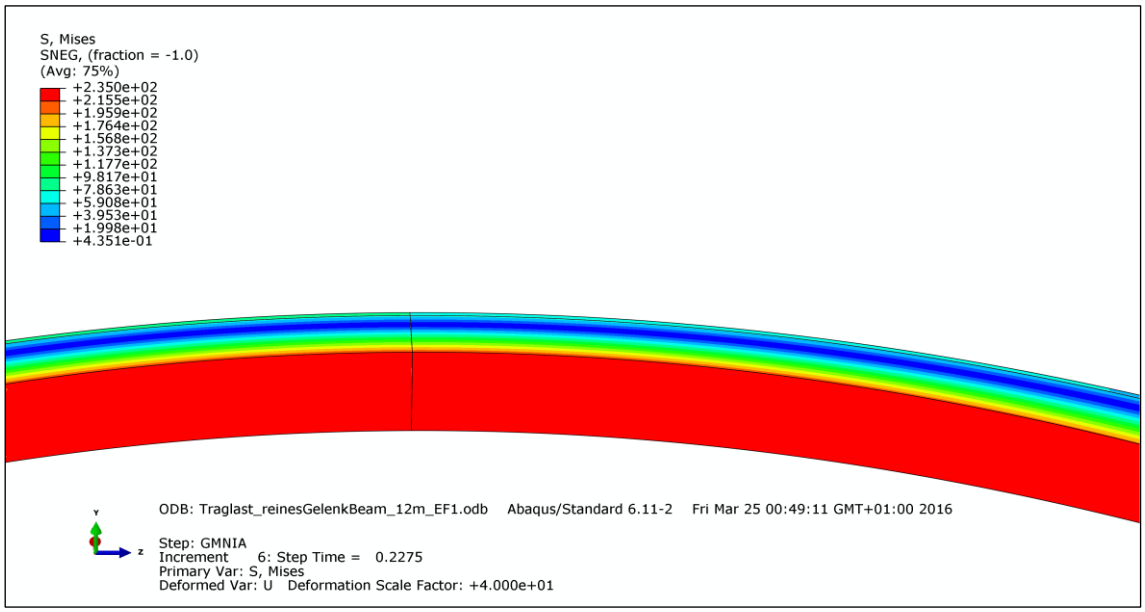


Abbildung 9-380: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





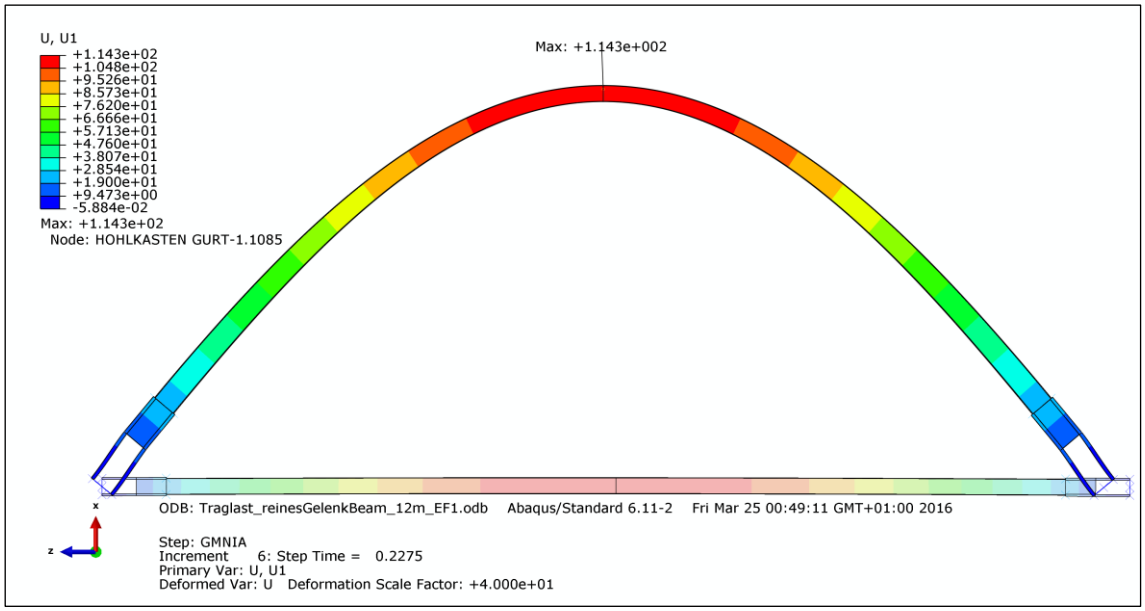
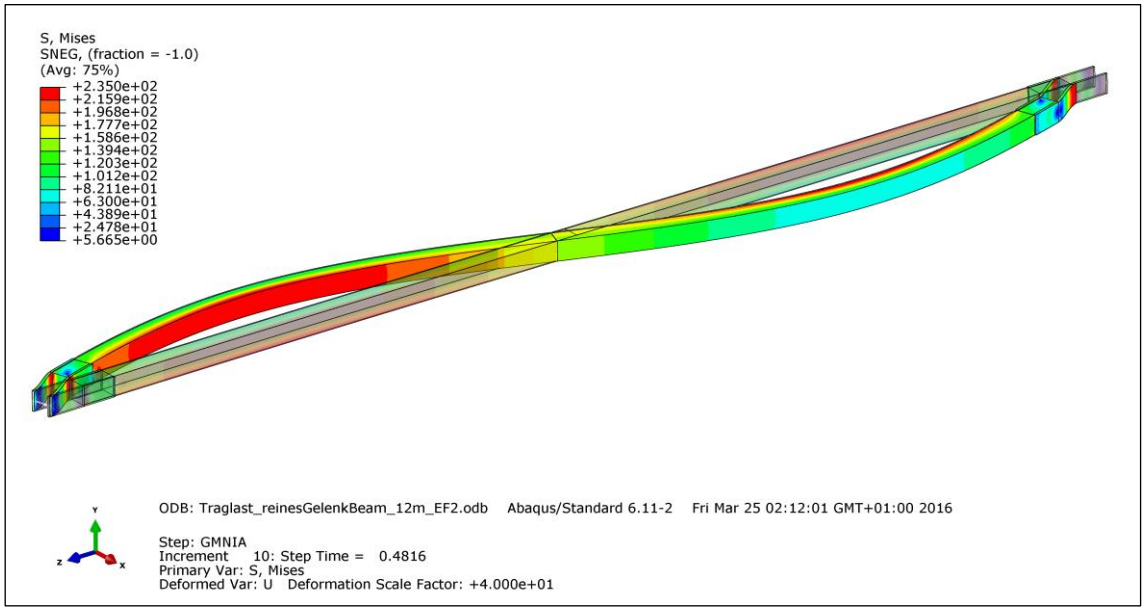
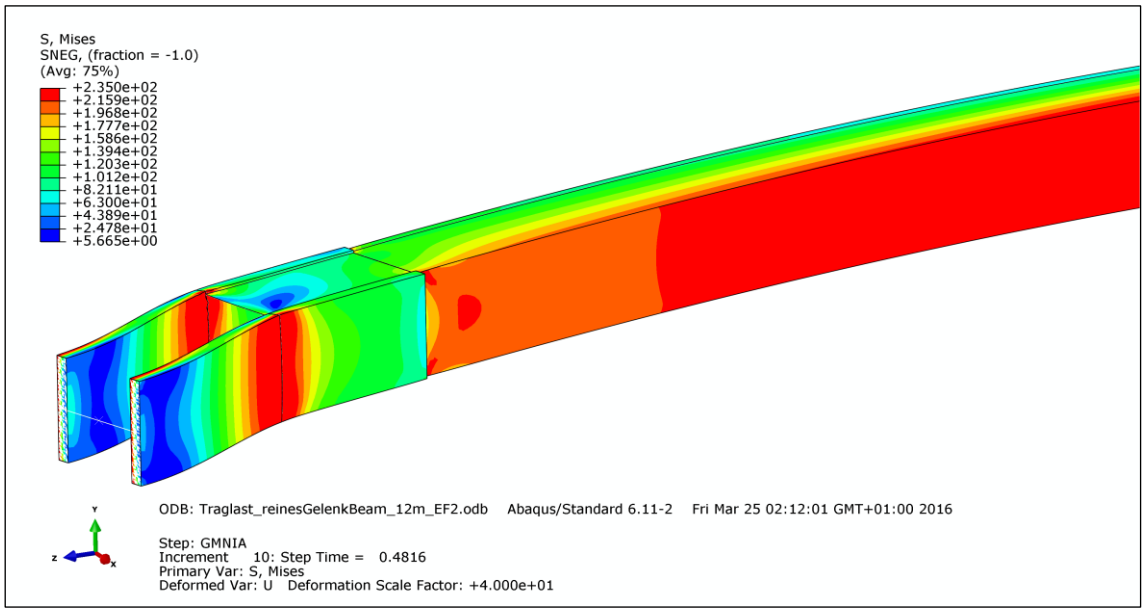


Abbildung 9-381: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





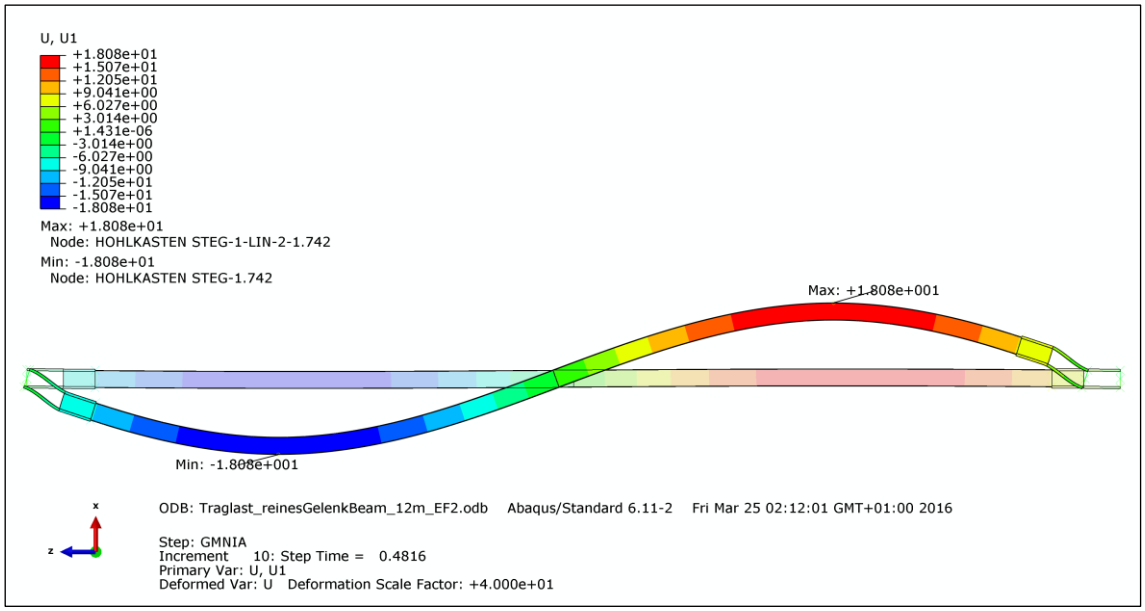
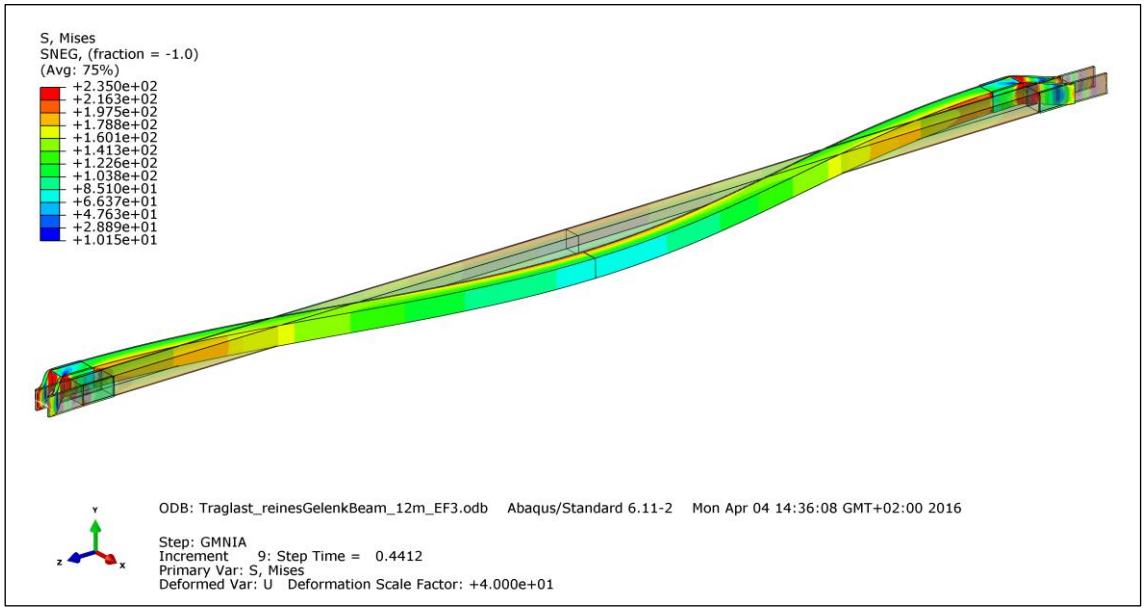
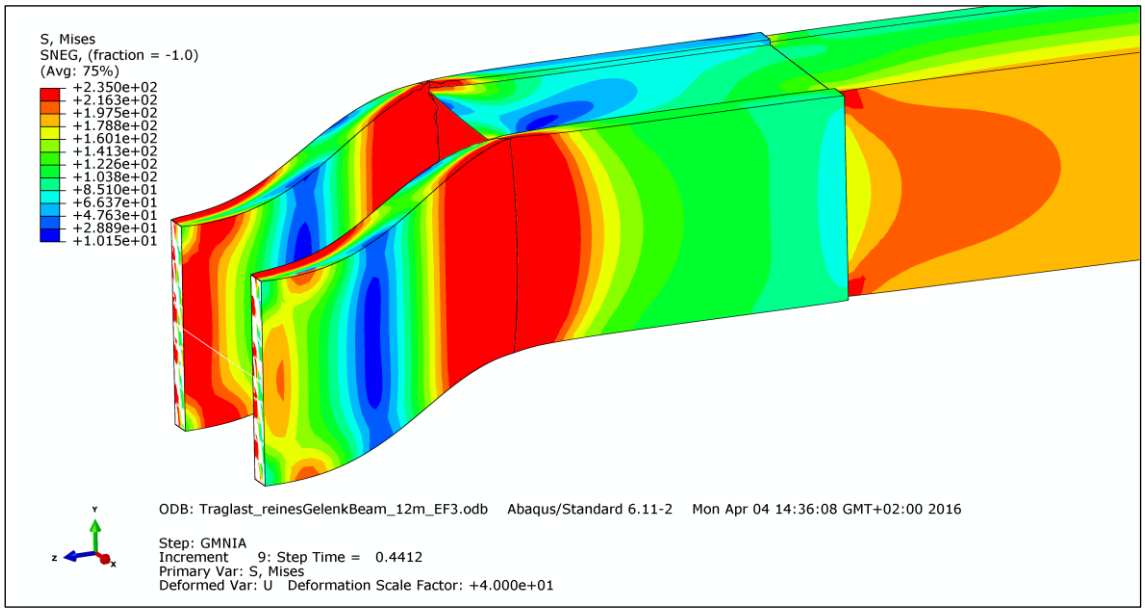


Abbildung 9-382: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2





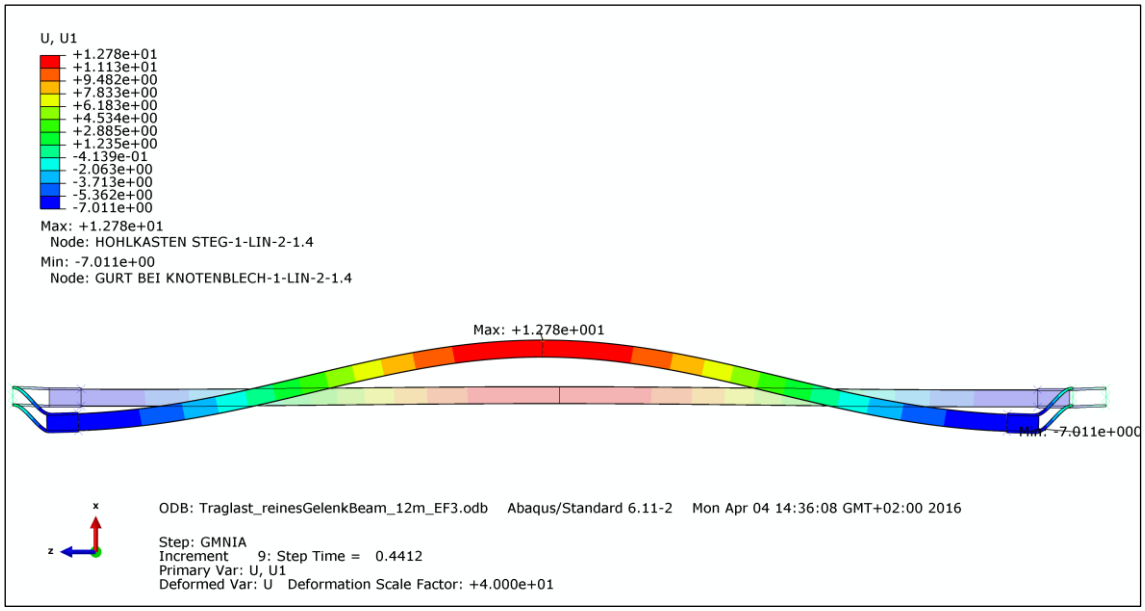
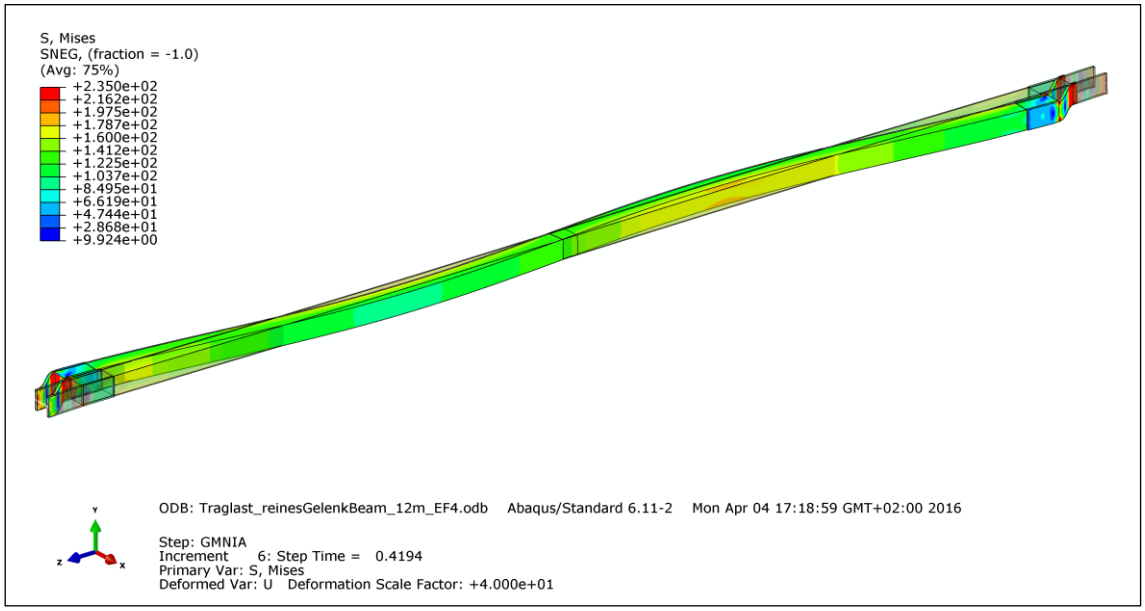
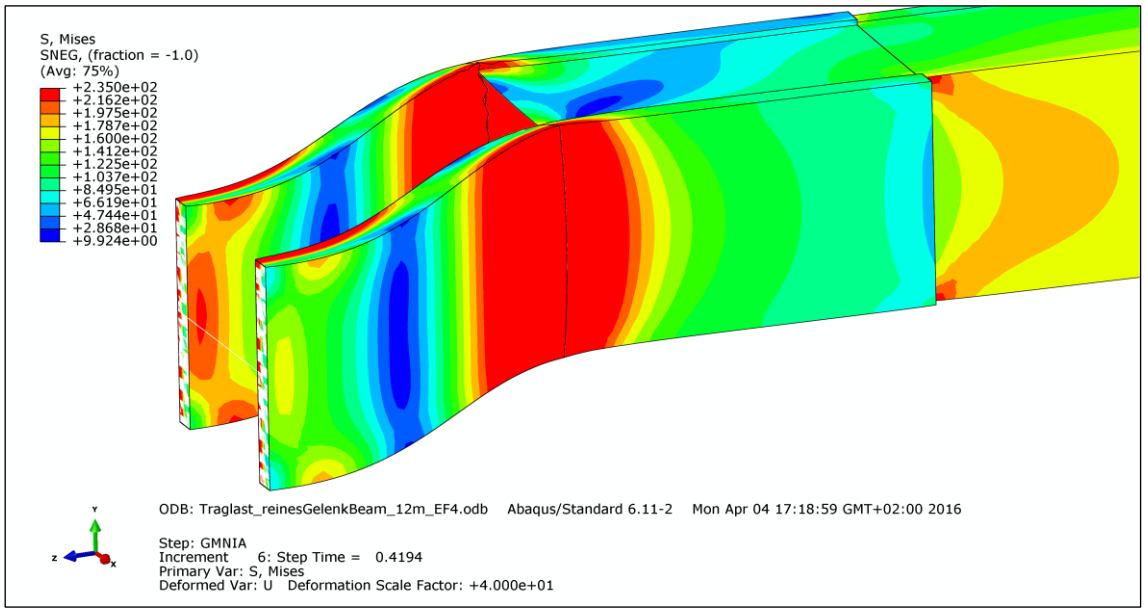


Abbildung 9-383: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3





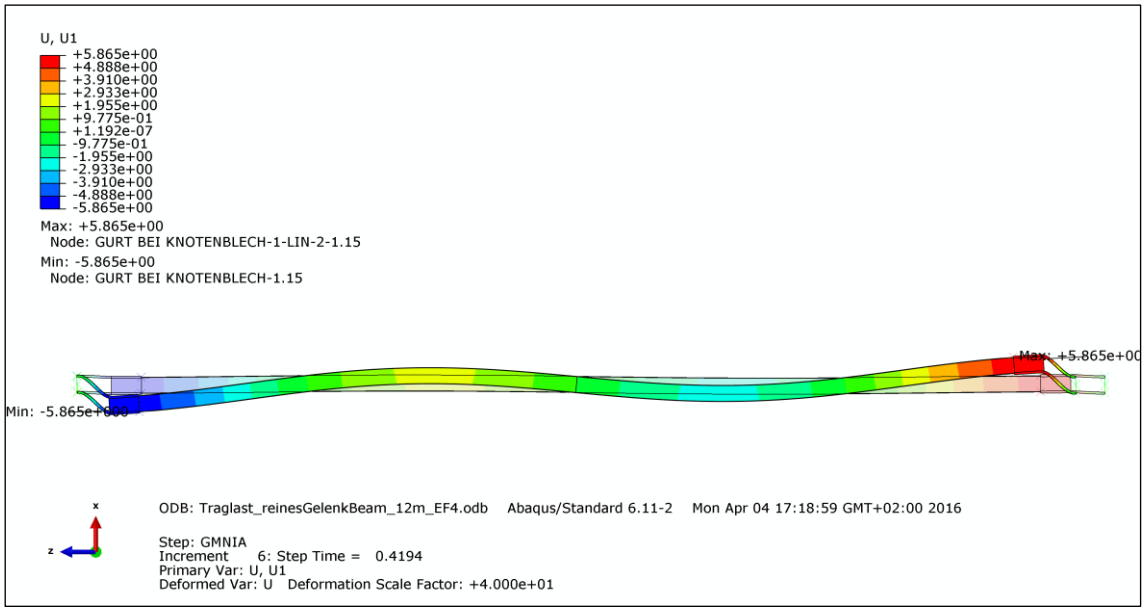


Abbildung 9-384: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF4

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm**

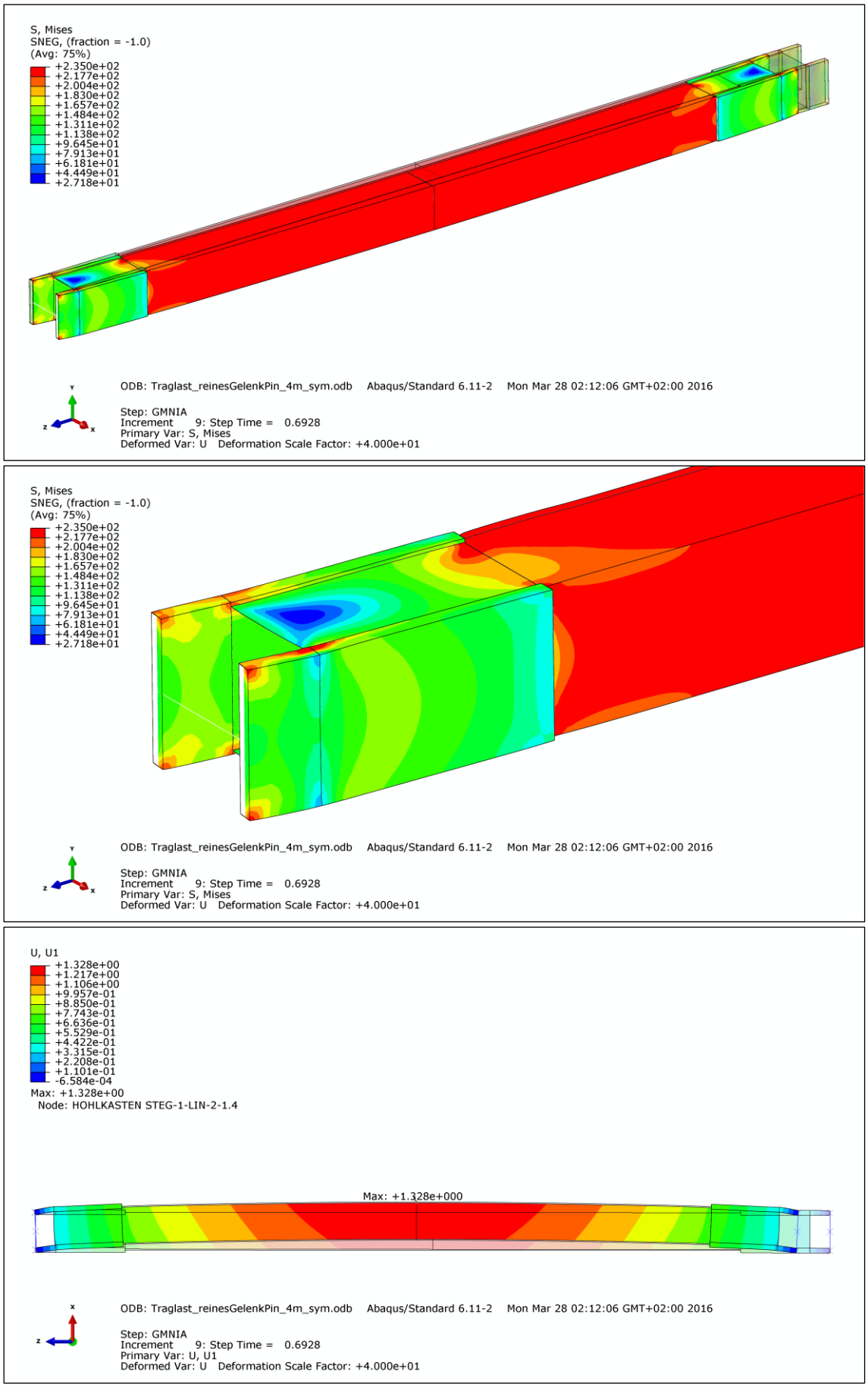
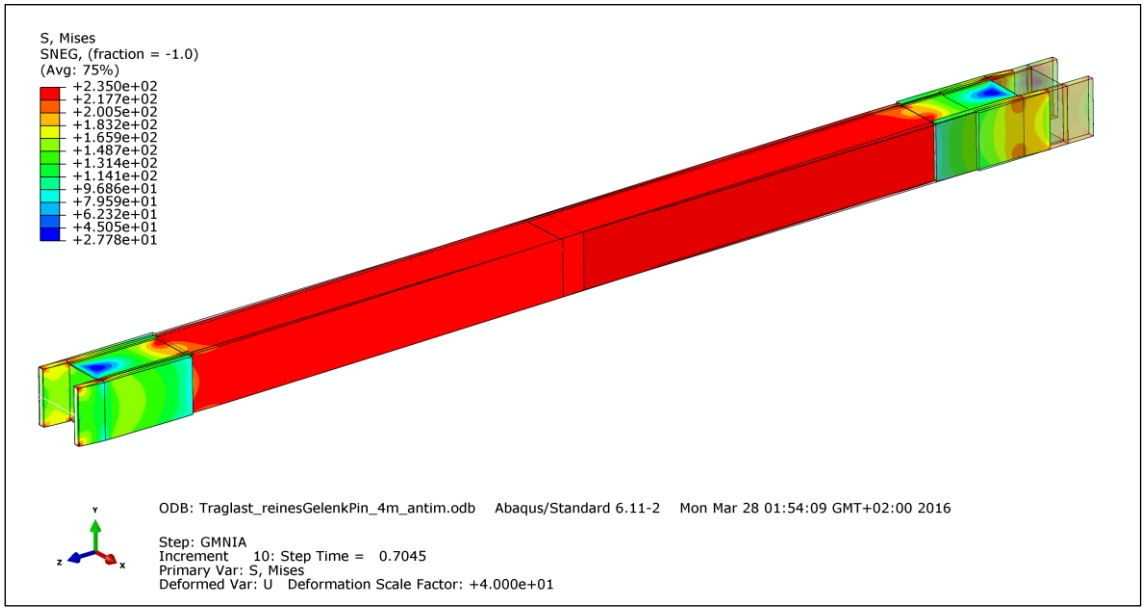
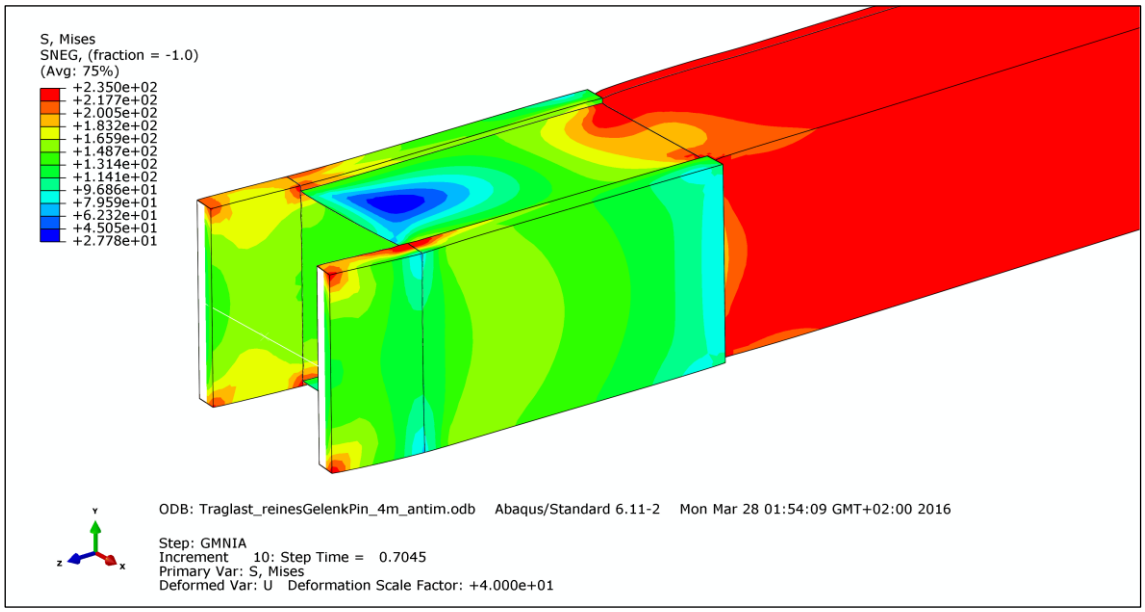


Abbildung 9-385: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





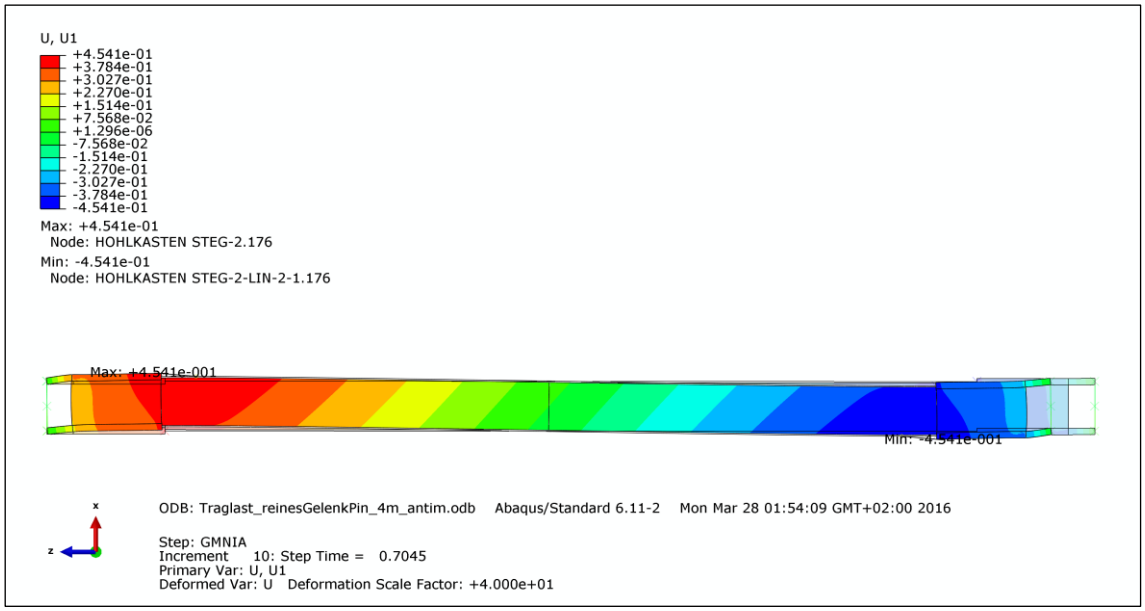


Abbildung 9-386: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)

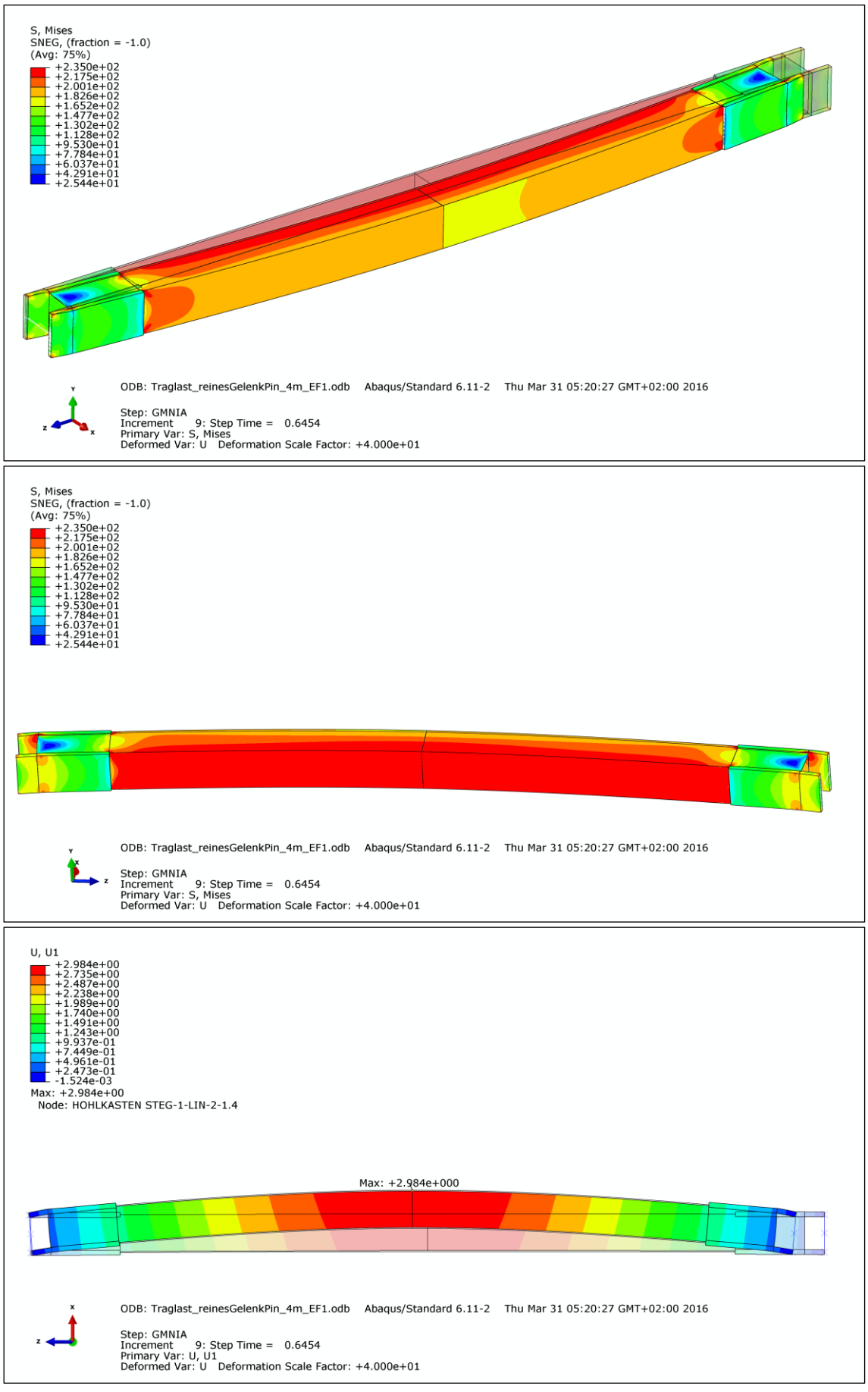
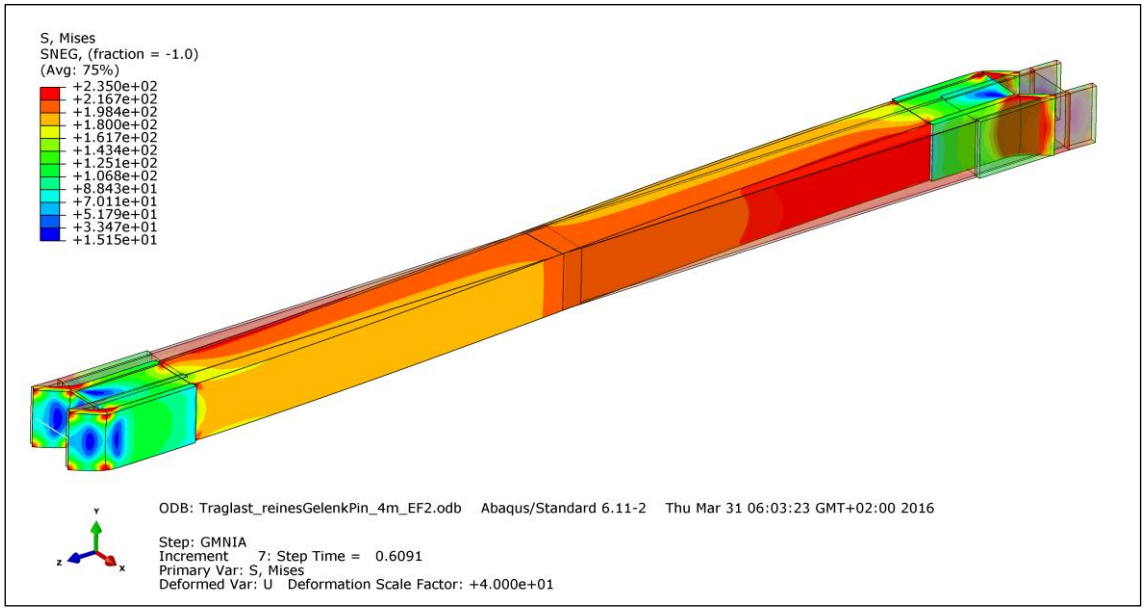
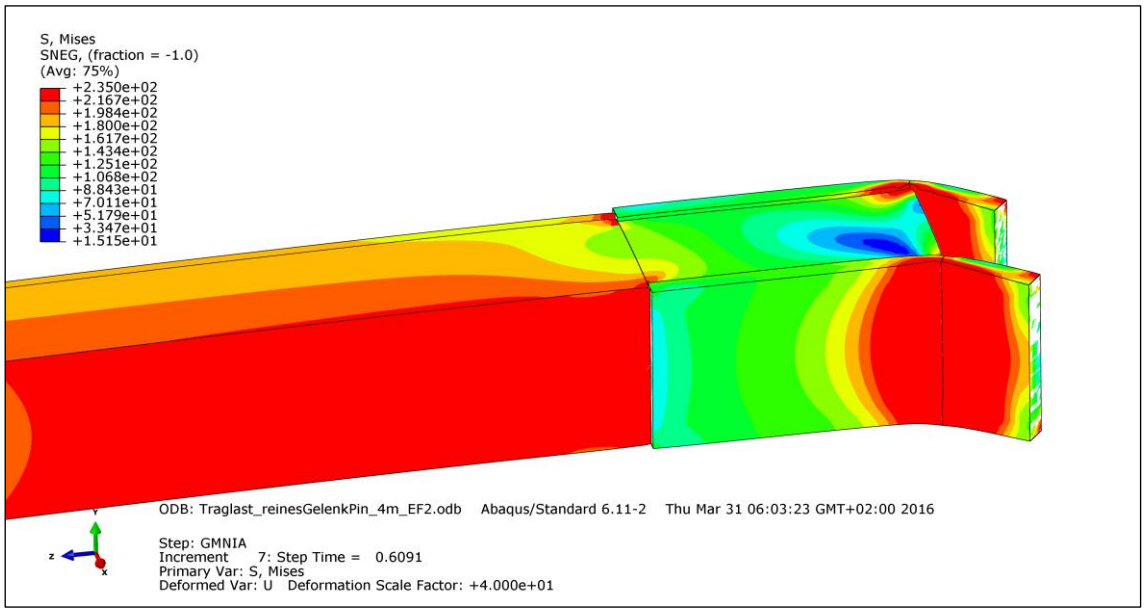


Abbildung 9-387: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





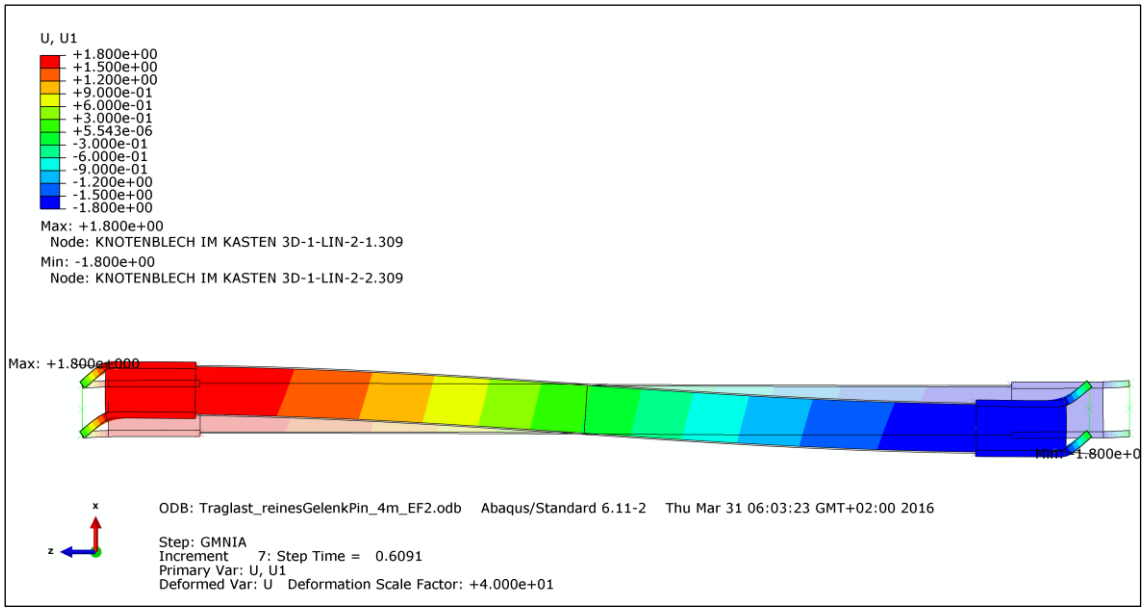
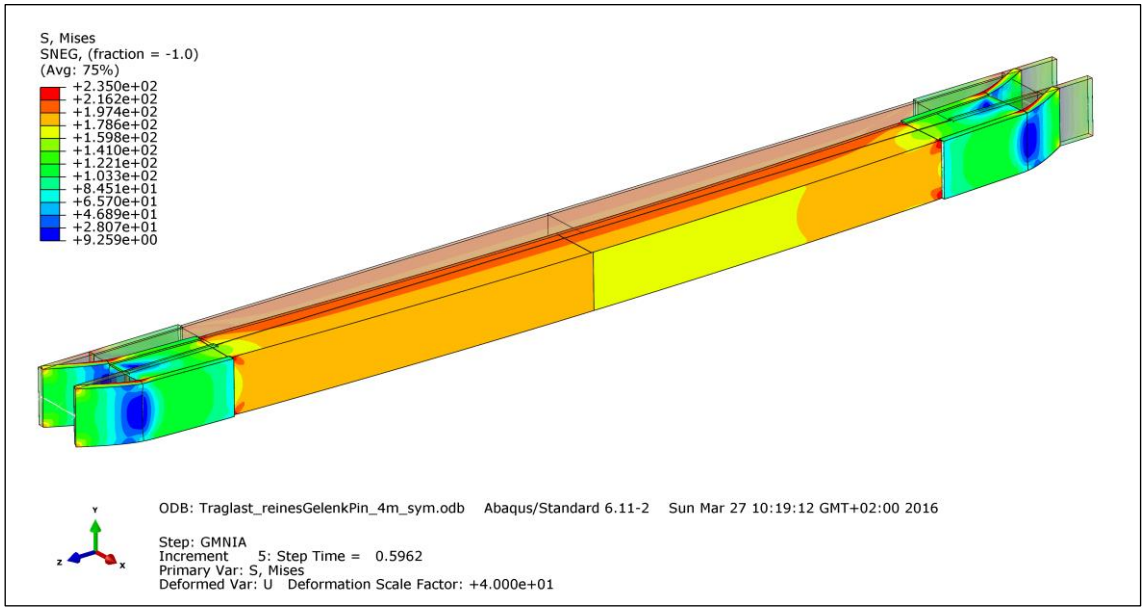
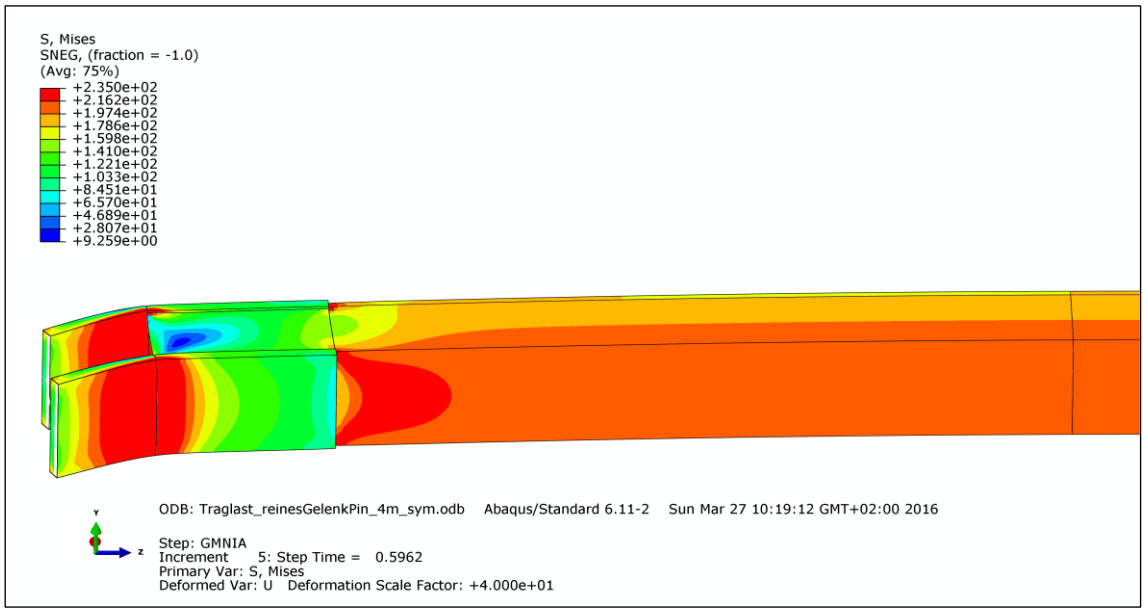


Abbildung 9-388: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





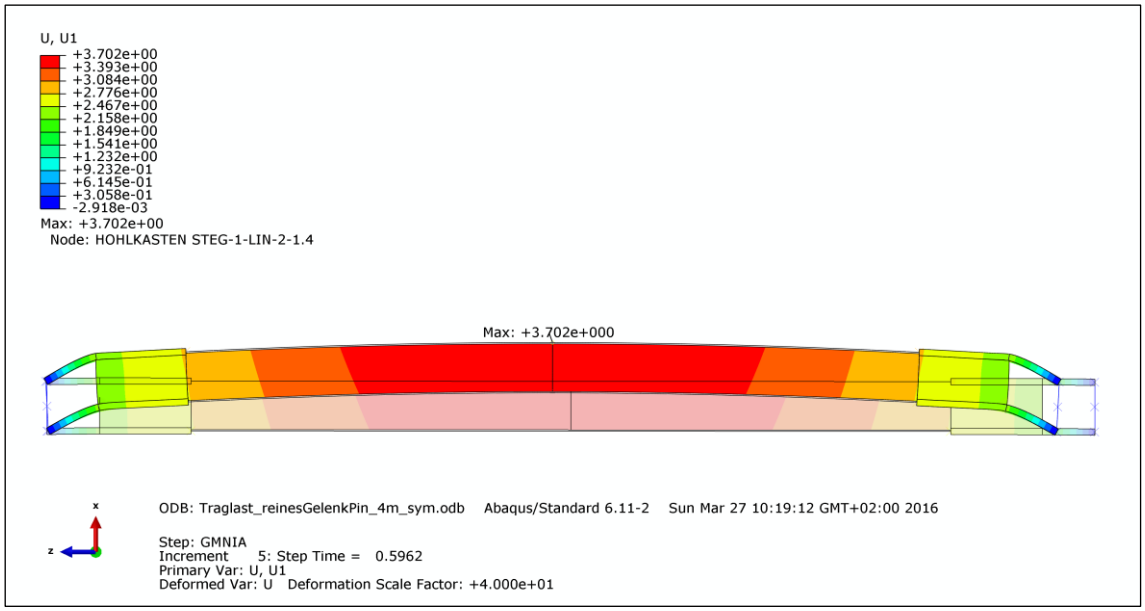
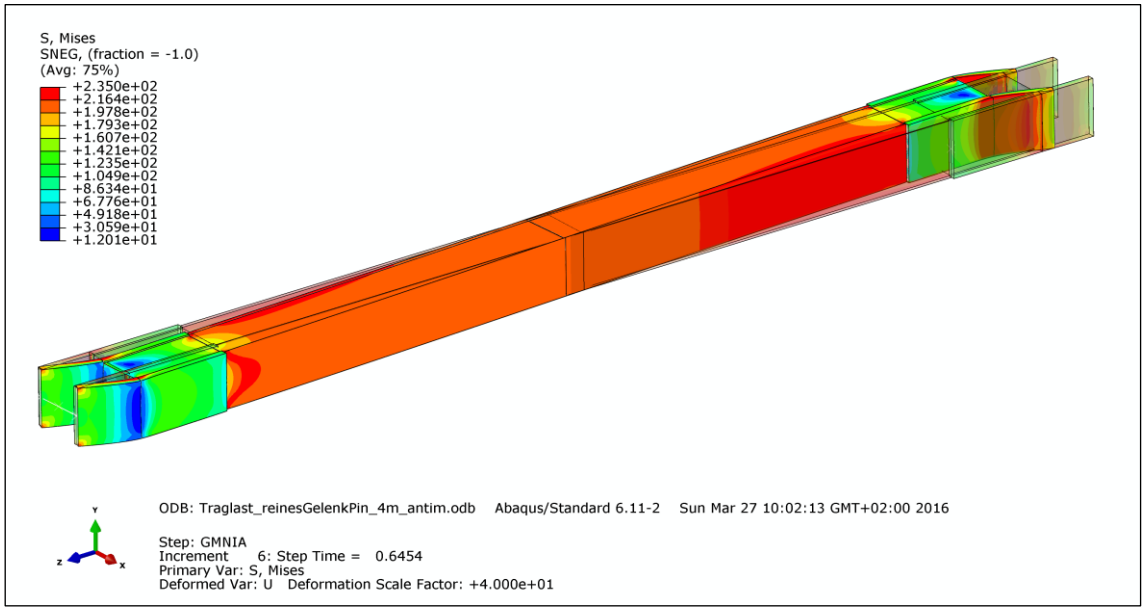
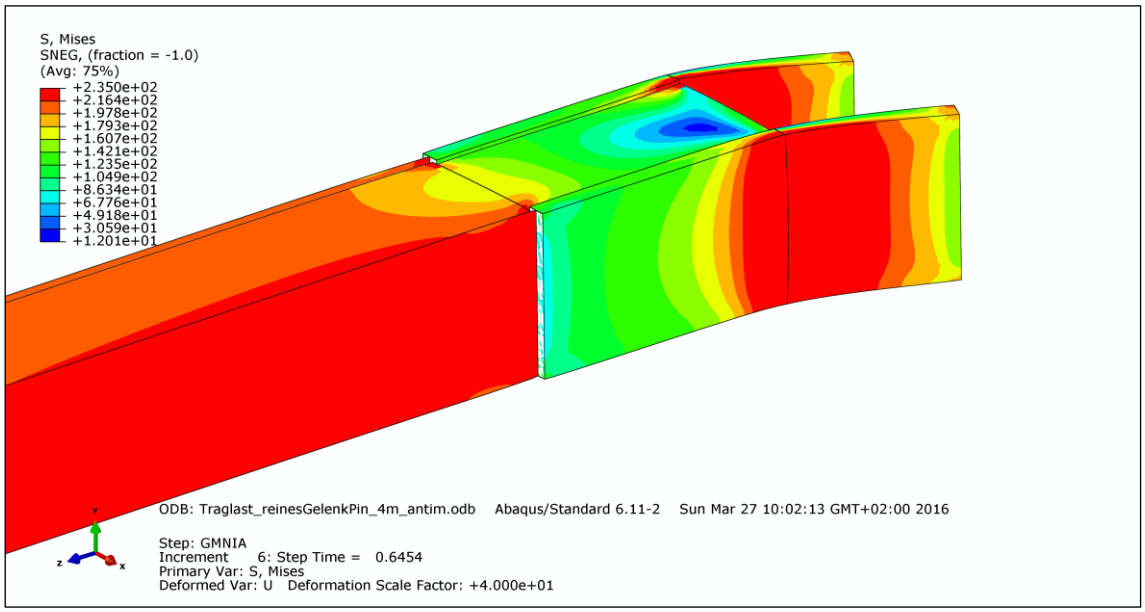


Abbildung 9-389: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





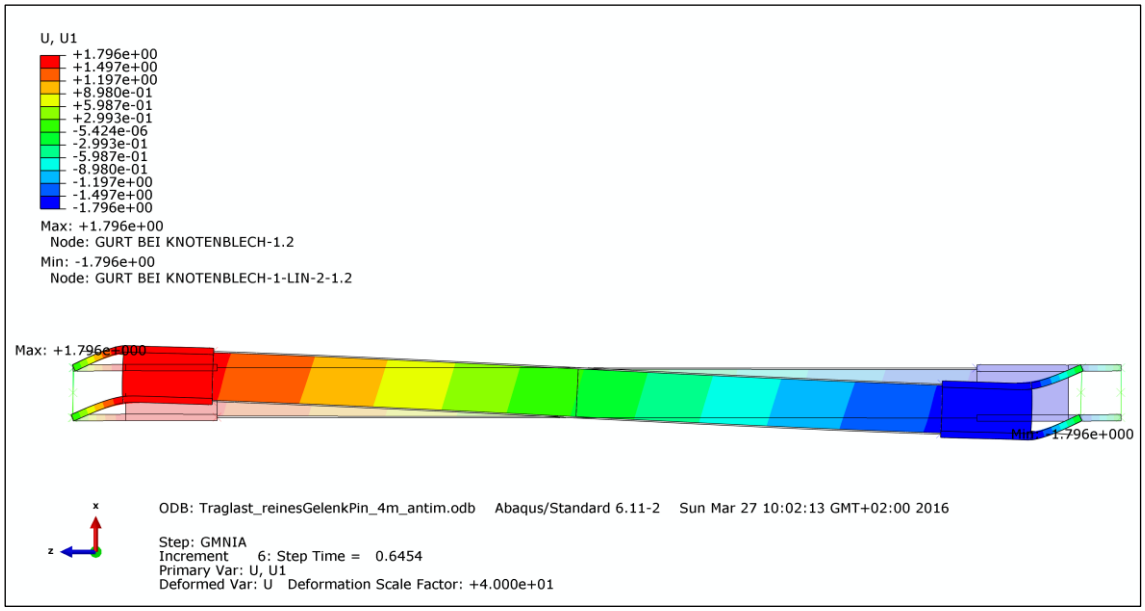
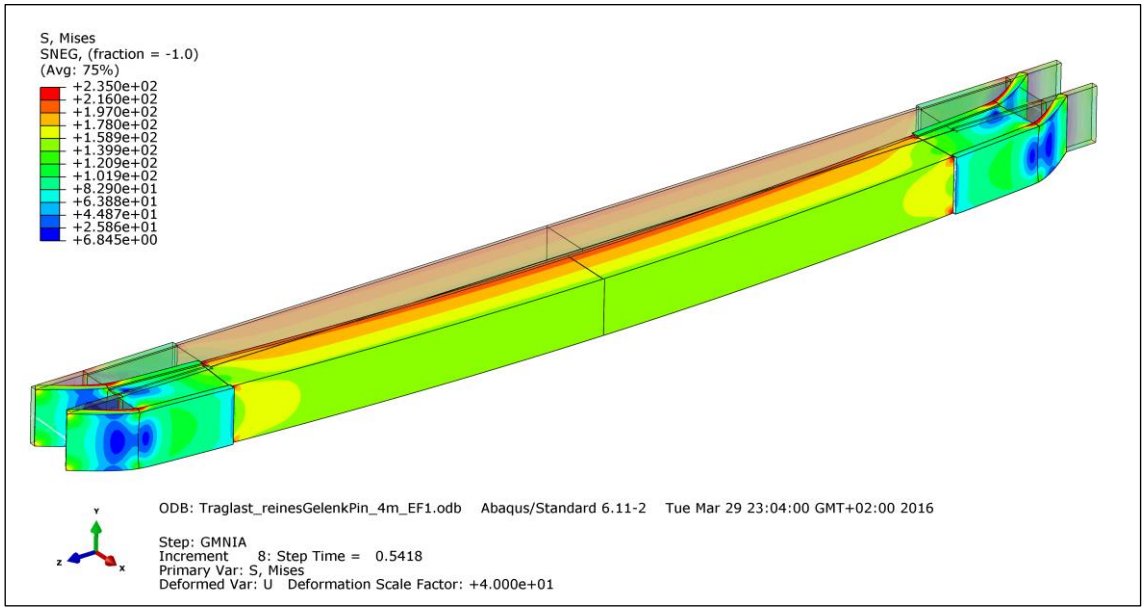
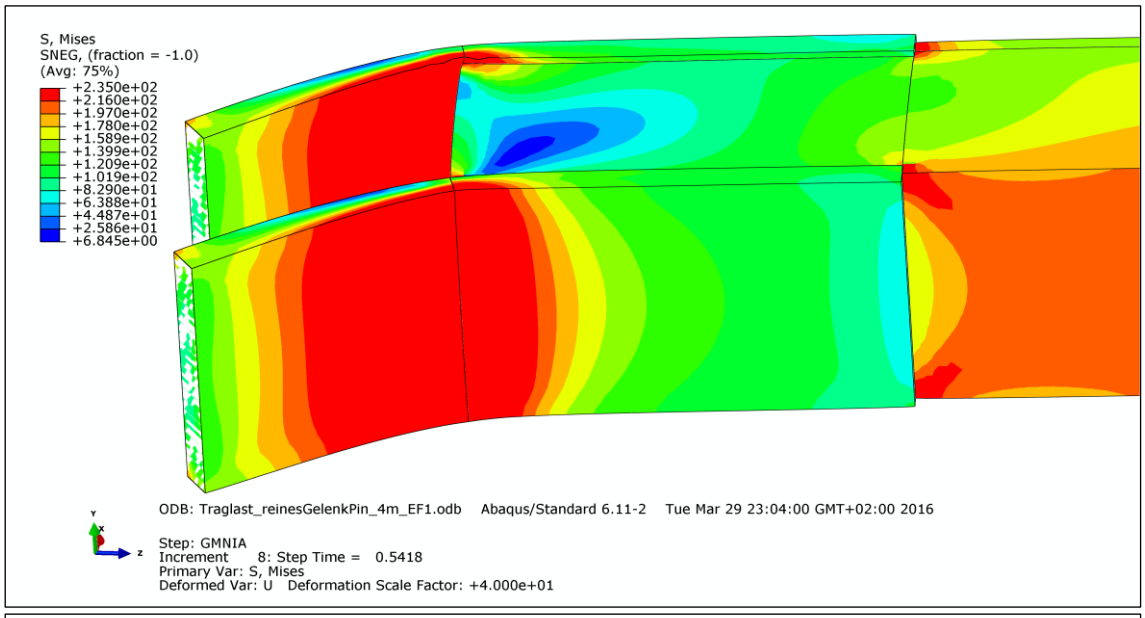


Abbildung 9-390: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





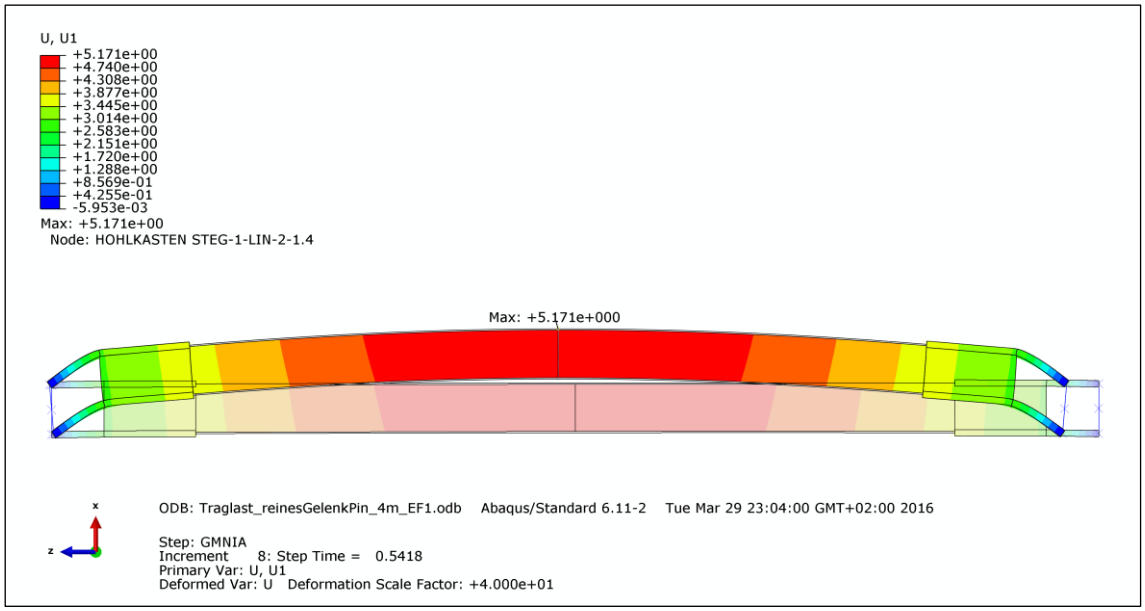
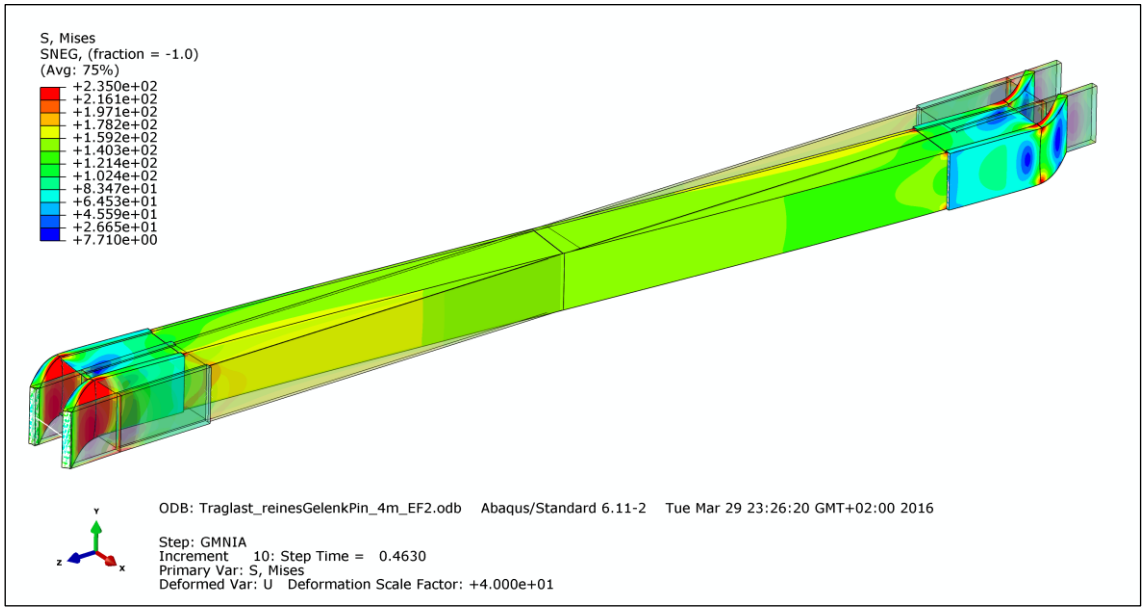
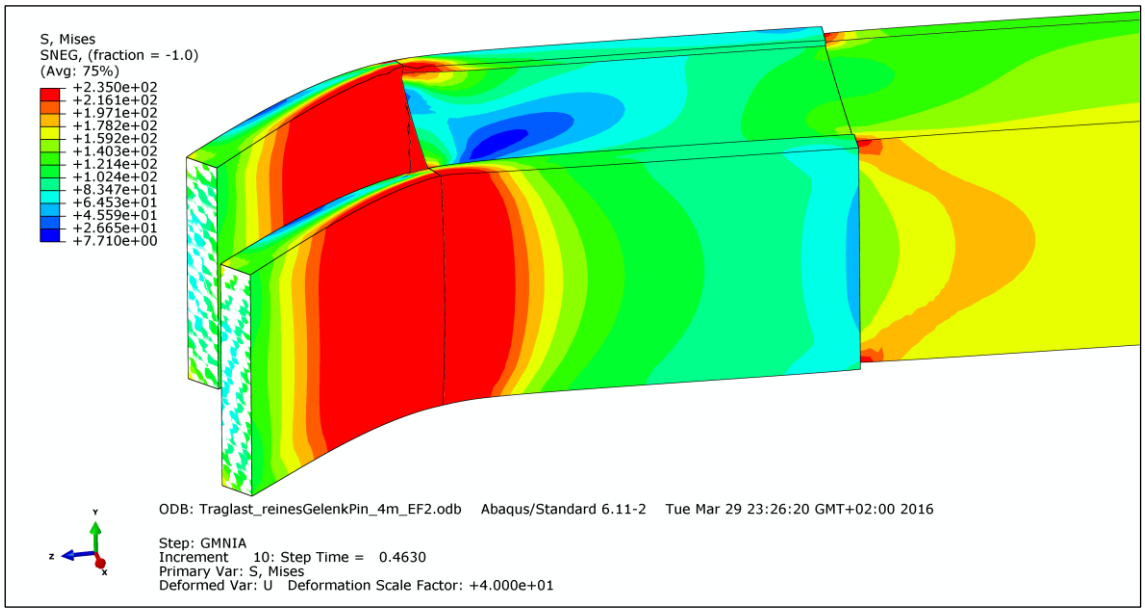


Abbildung 9-391: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





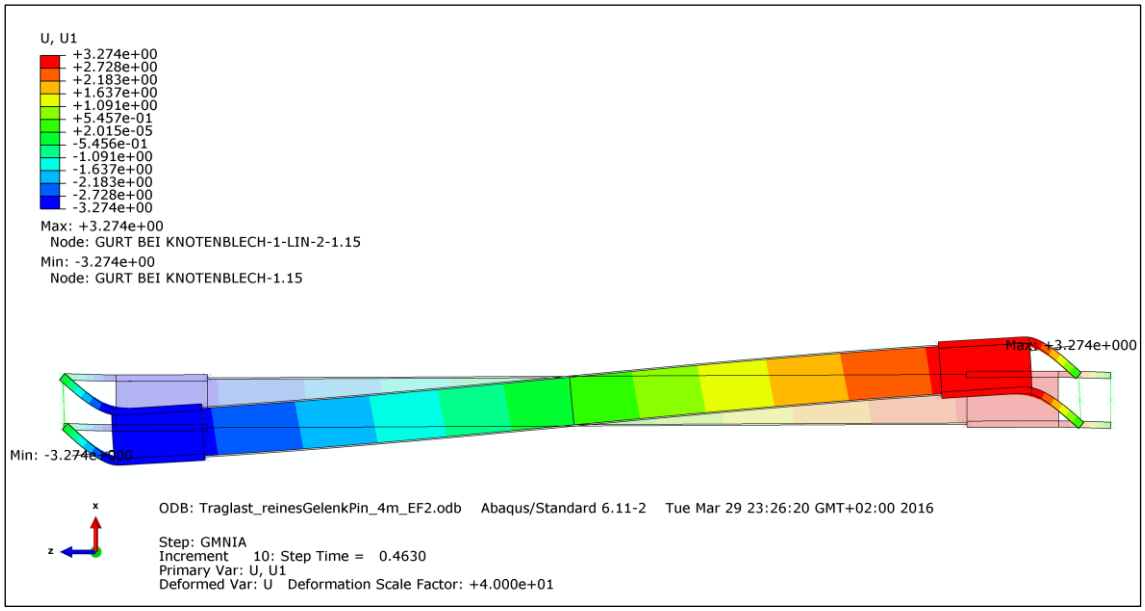
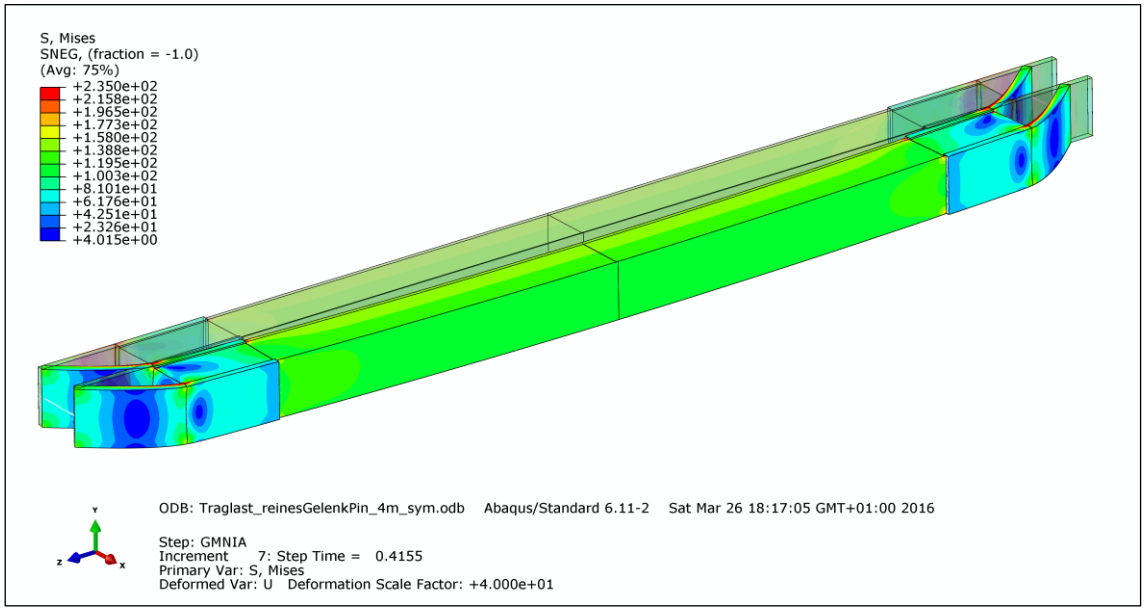
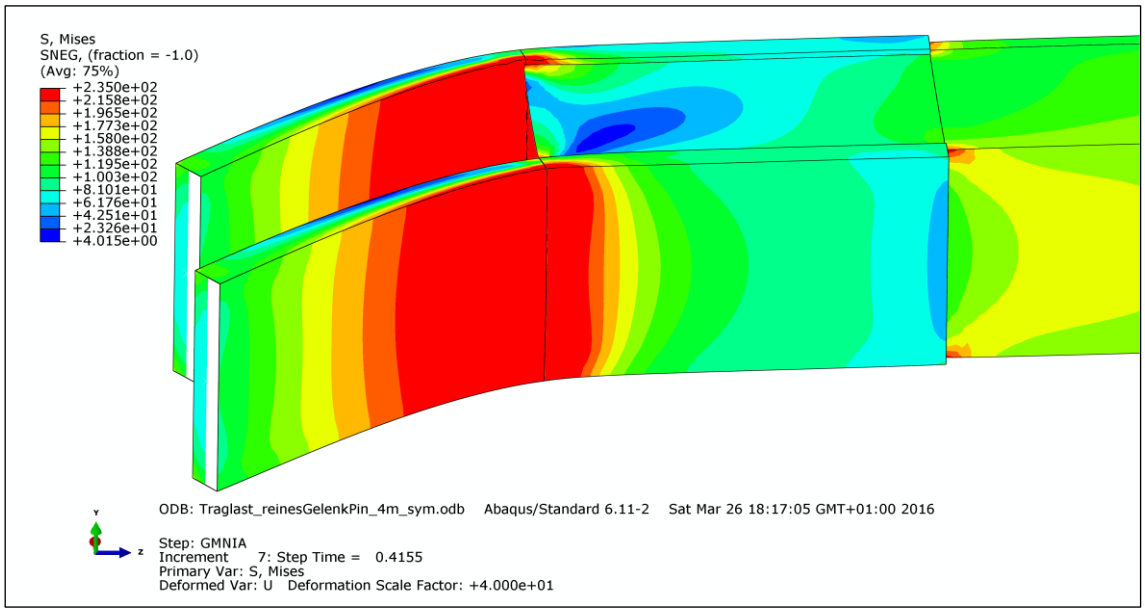


Abbildung 9-392: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





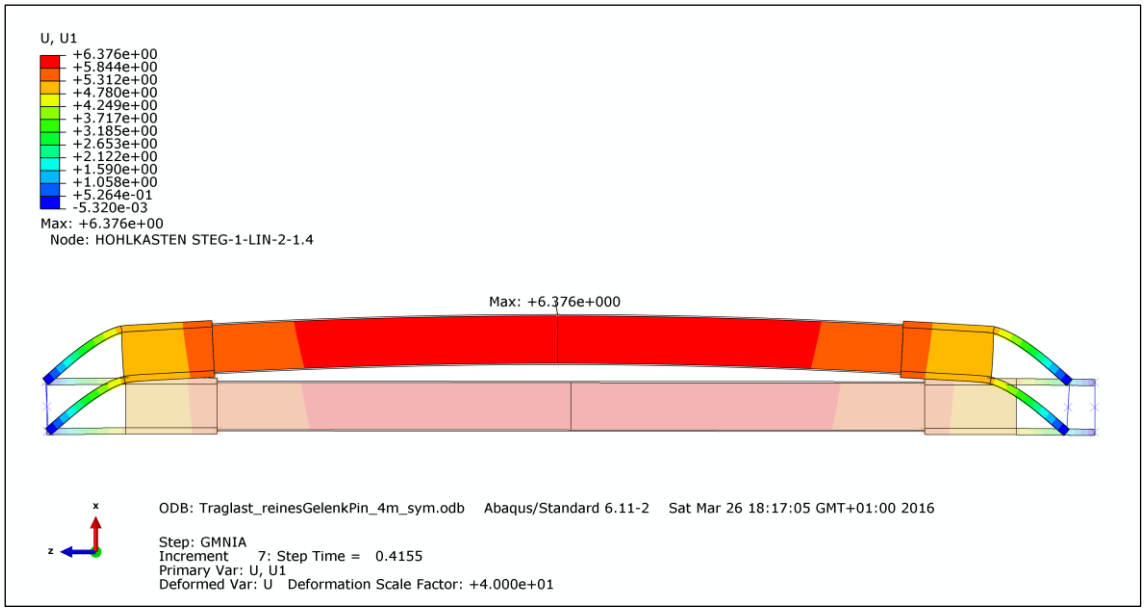
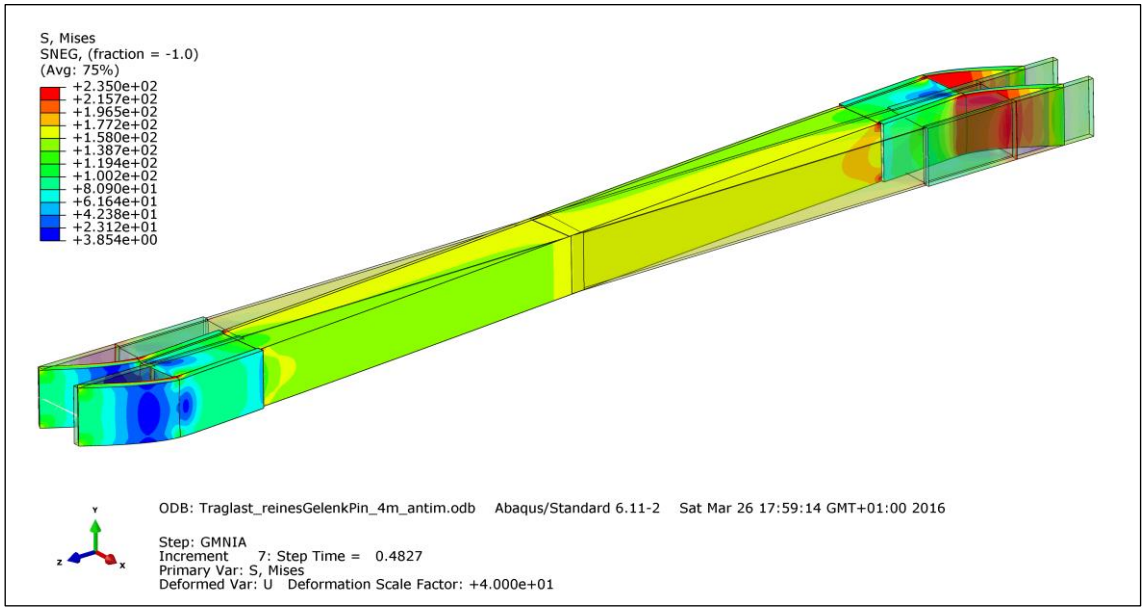
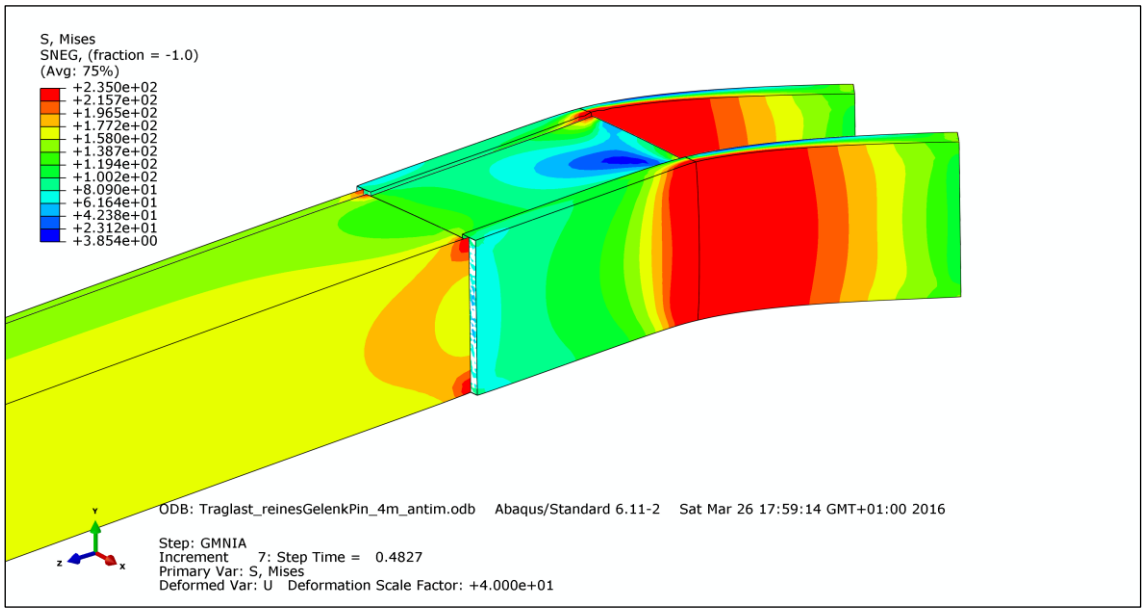


Abbildung 9-393: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





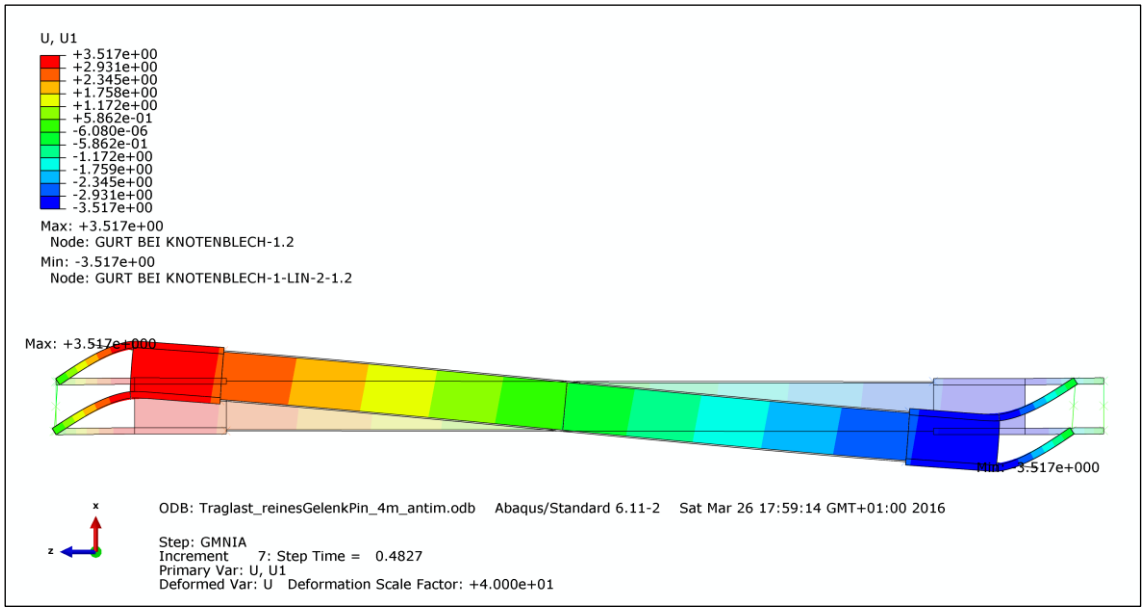
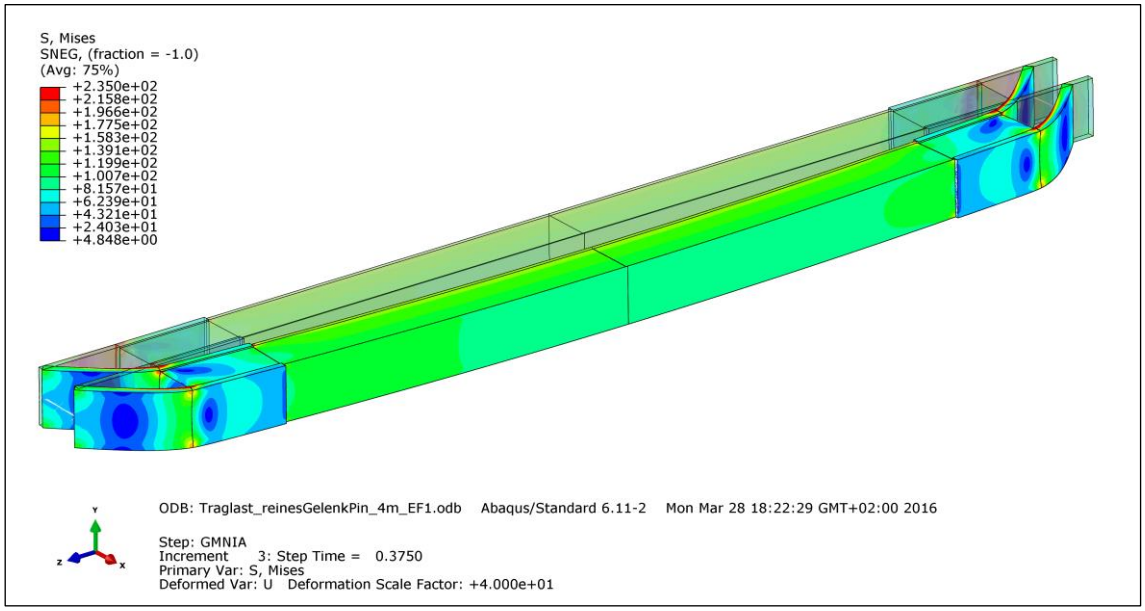
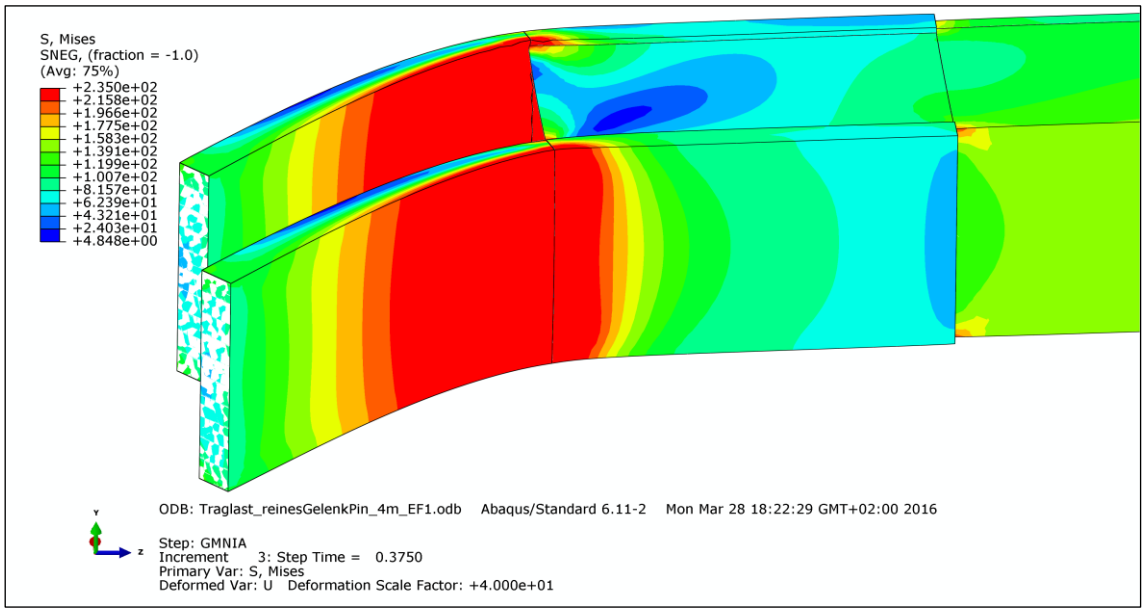


Abbildung 9-394: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





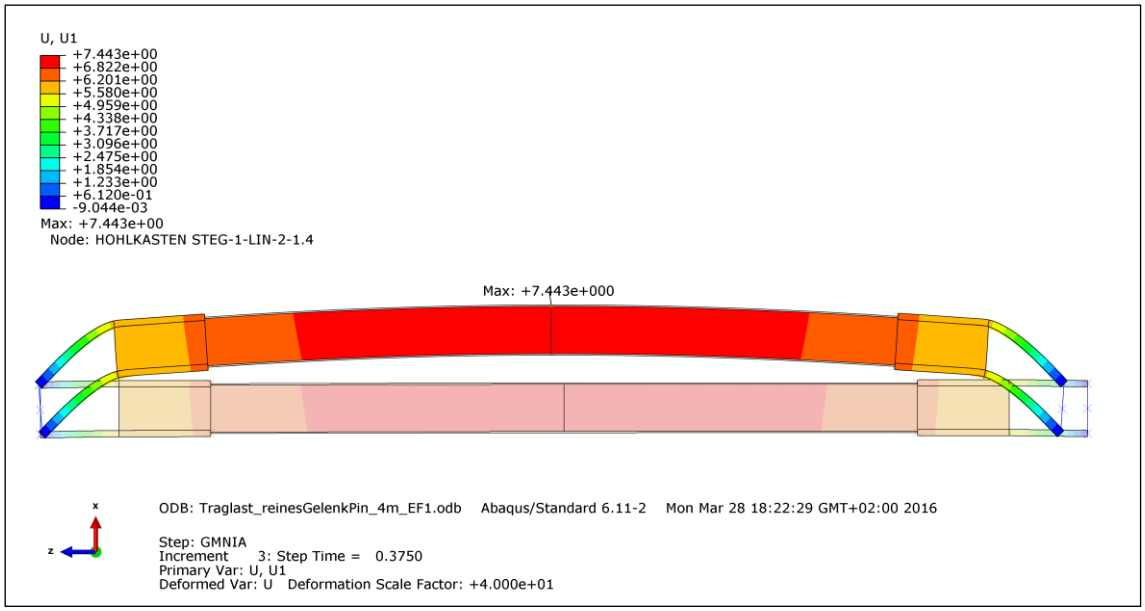


Abbildung 9-395: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1

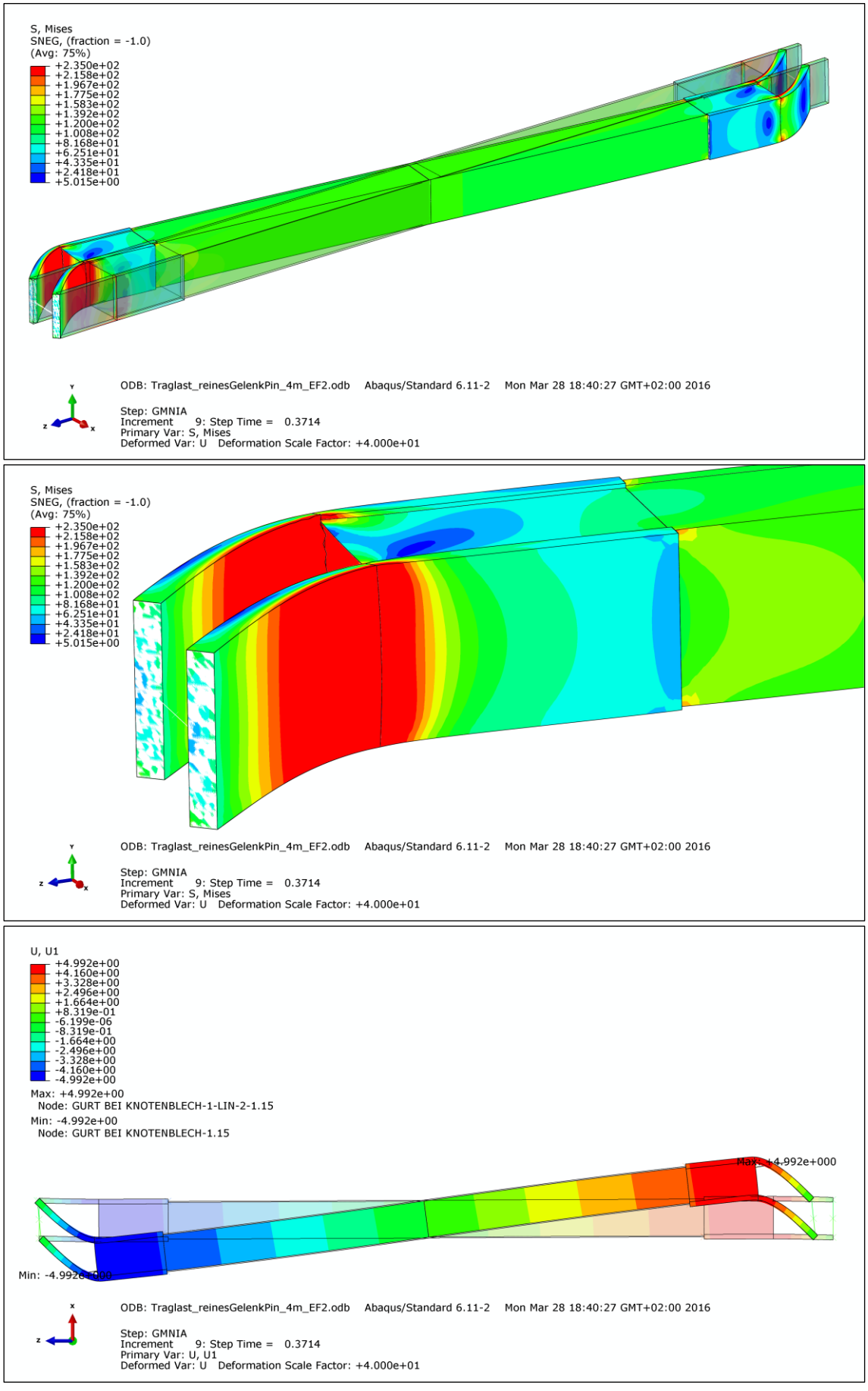
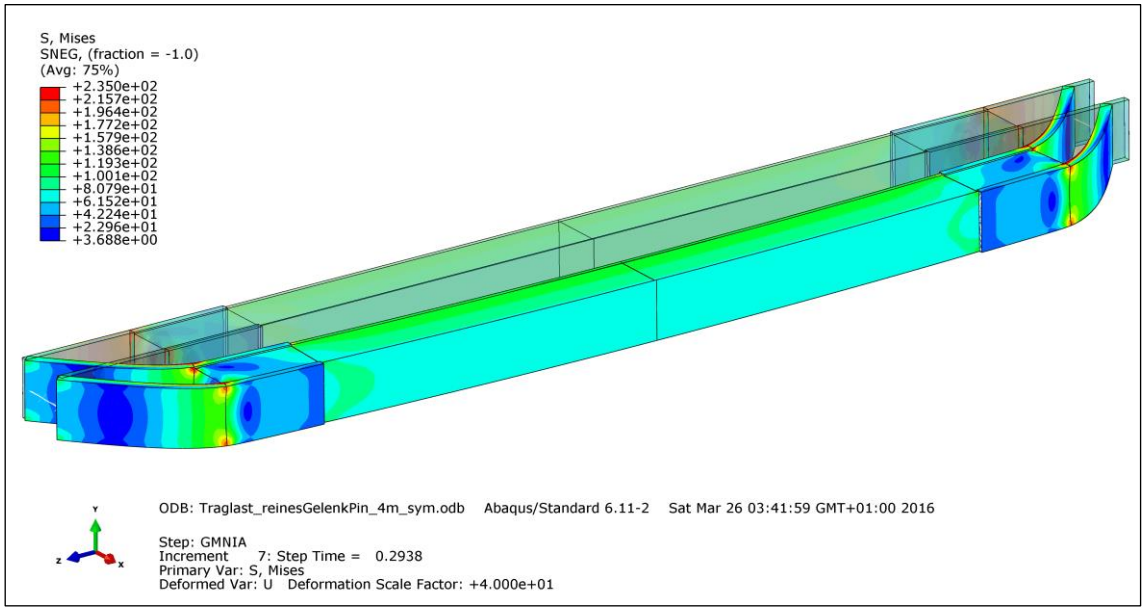
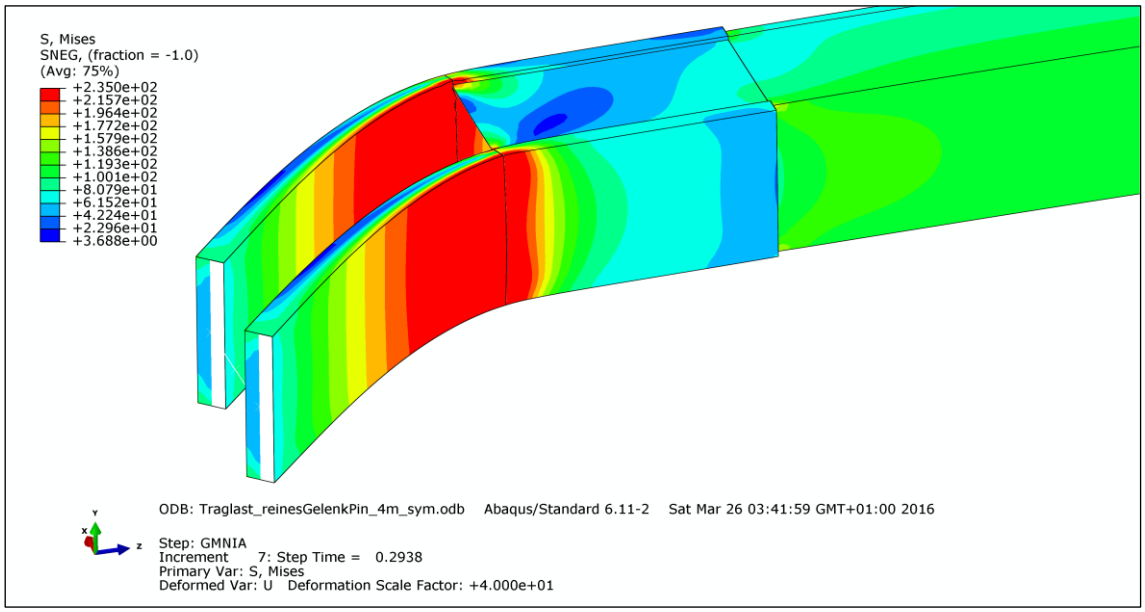


Abbildung 9-396: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





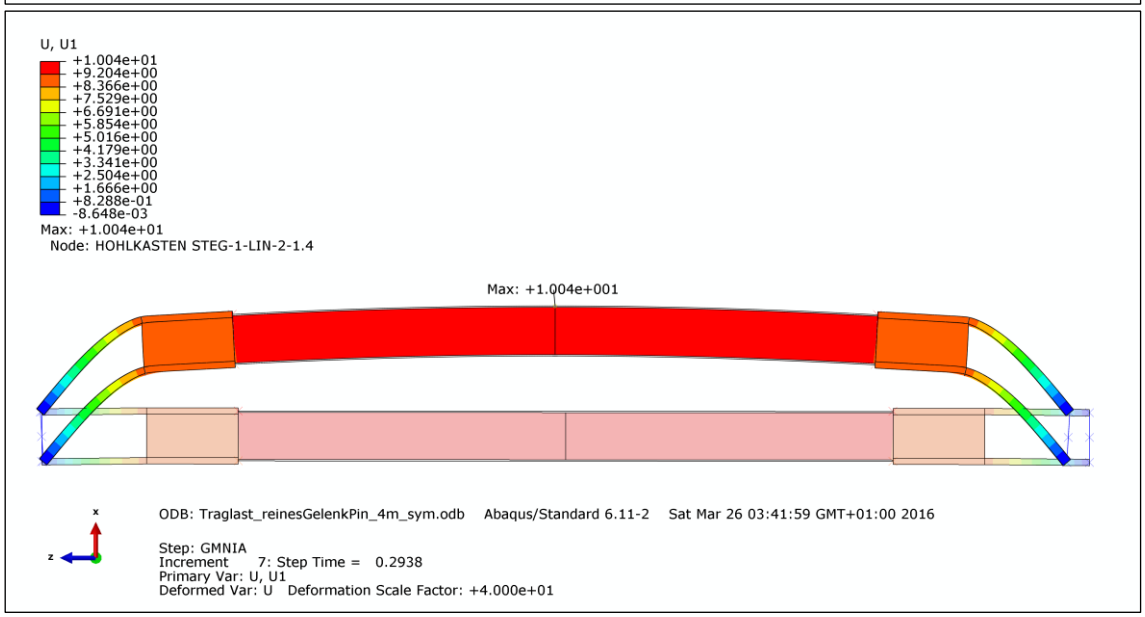
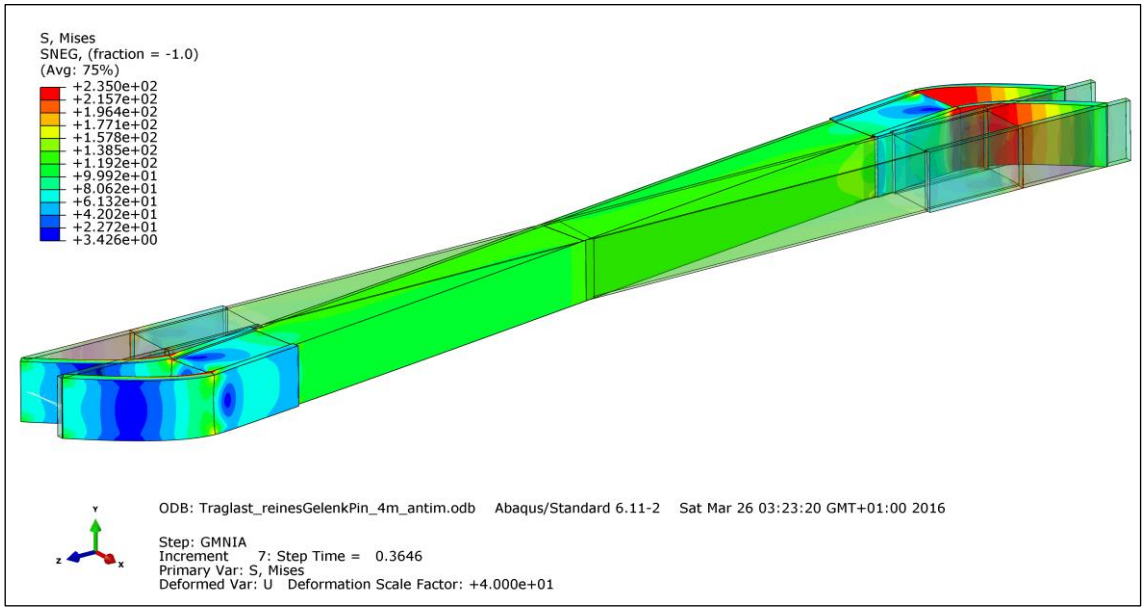
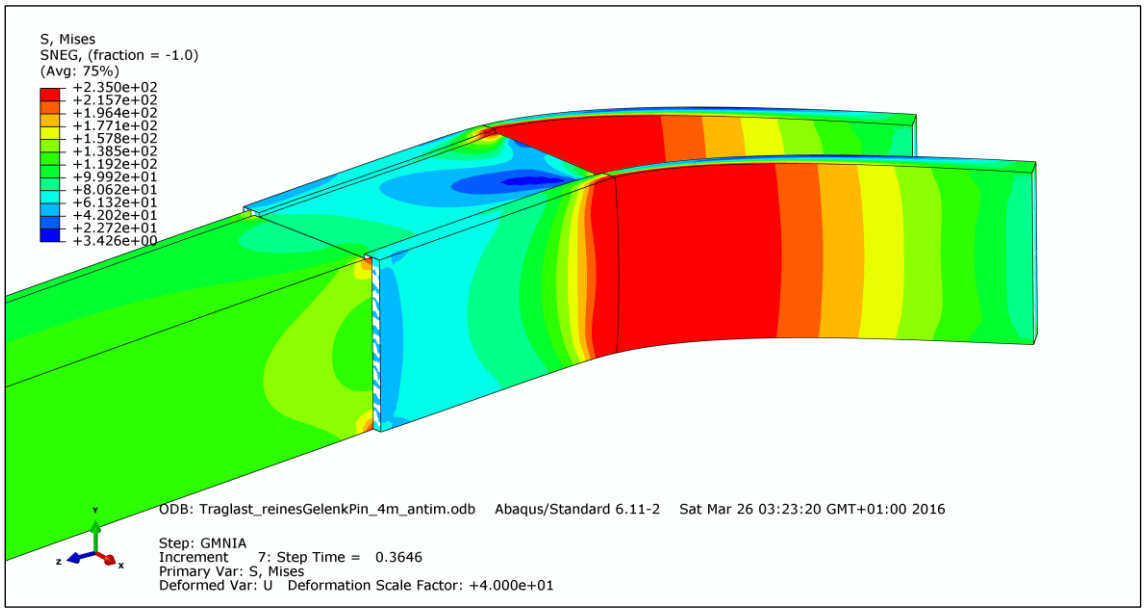


Abbildung 9-397: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





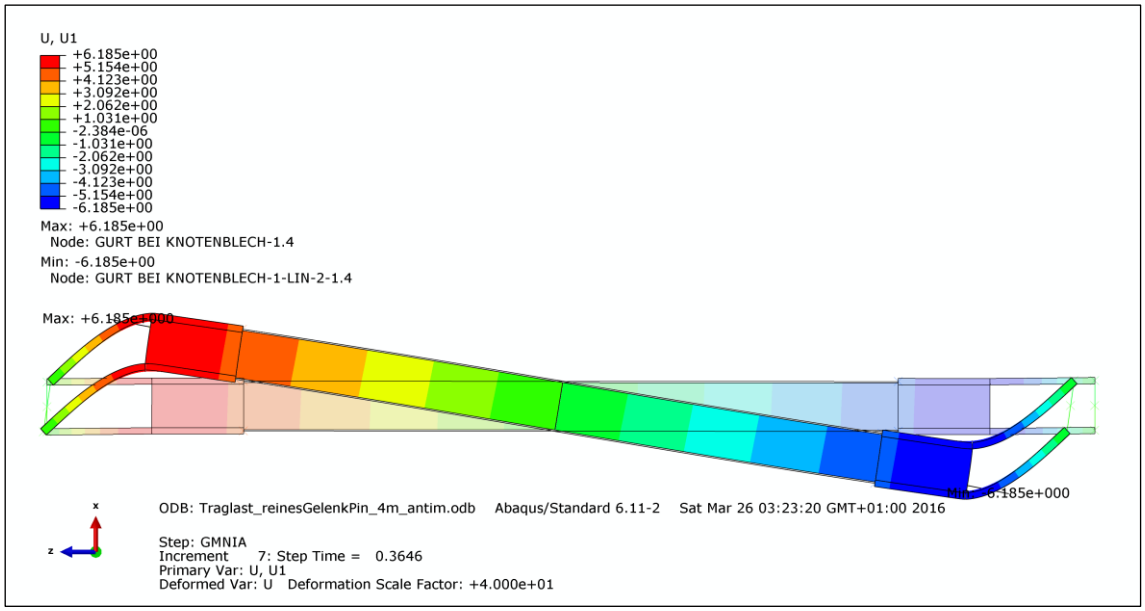
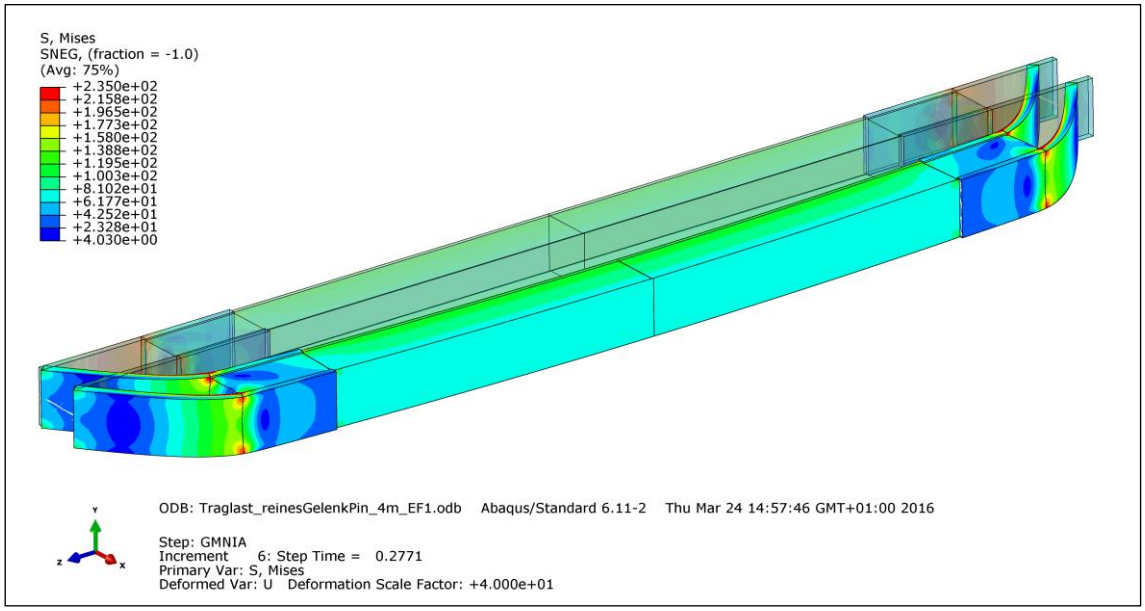
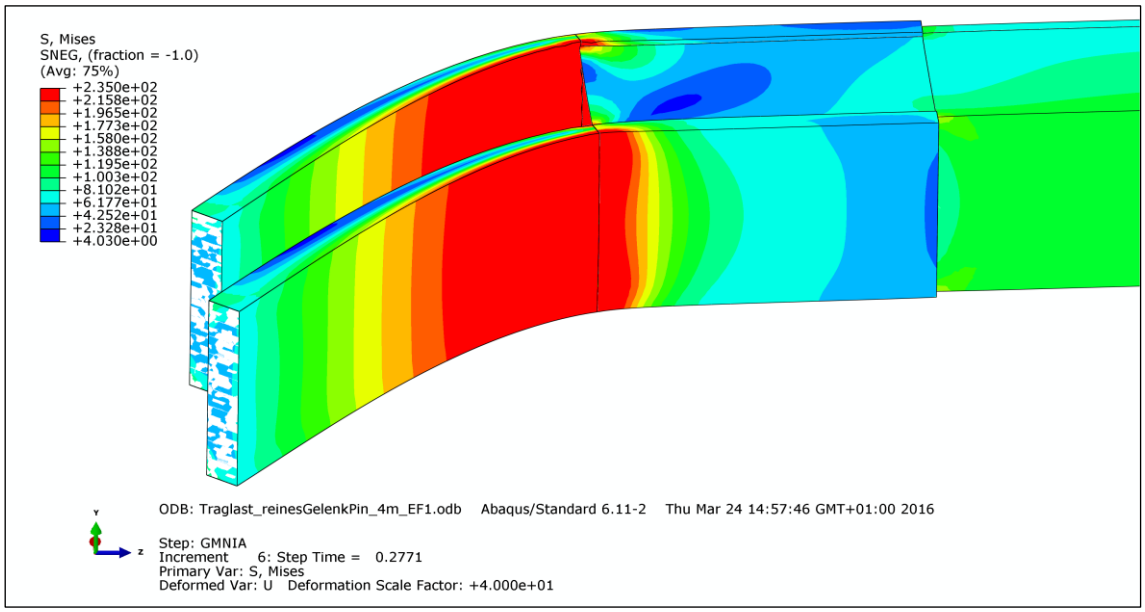


Abbildung 9-398: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





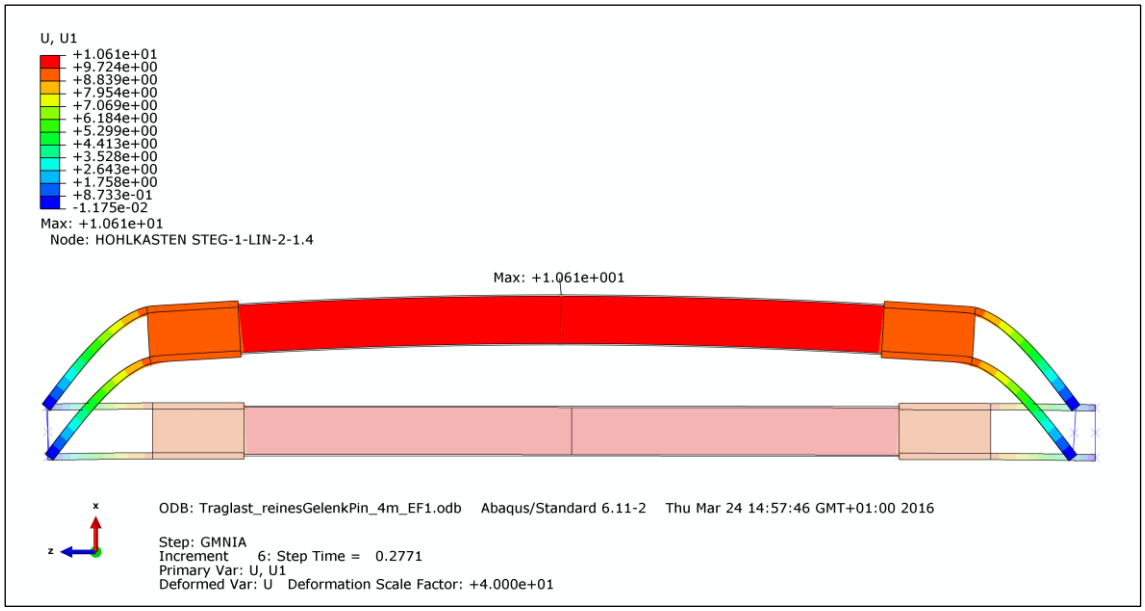


Abbildung 9-399: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1

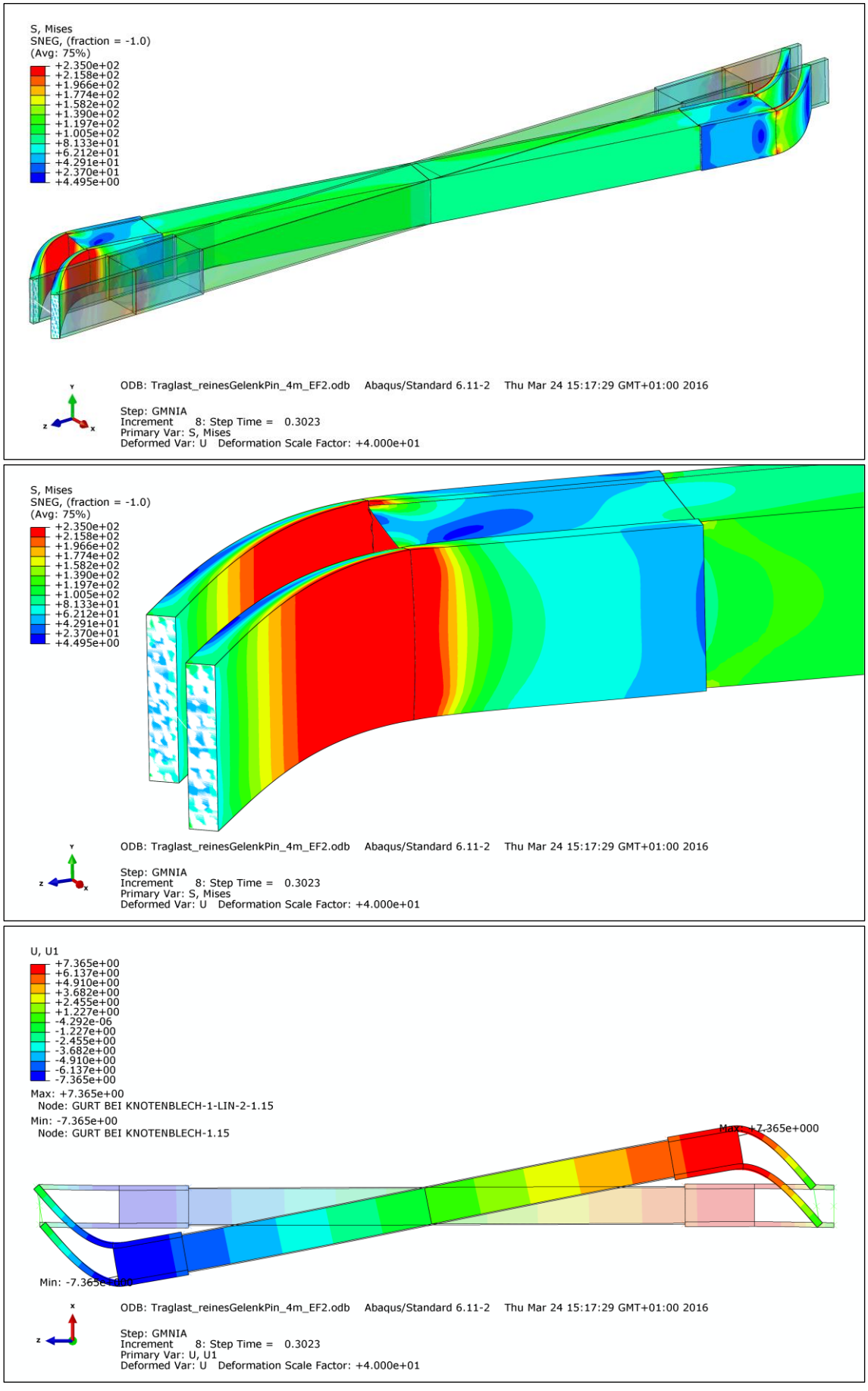


Abbildung 9-400: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm**

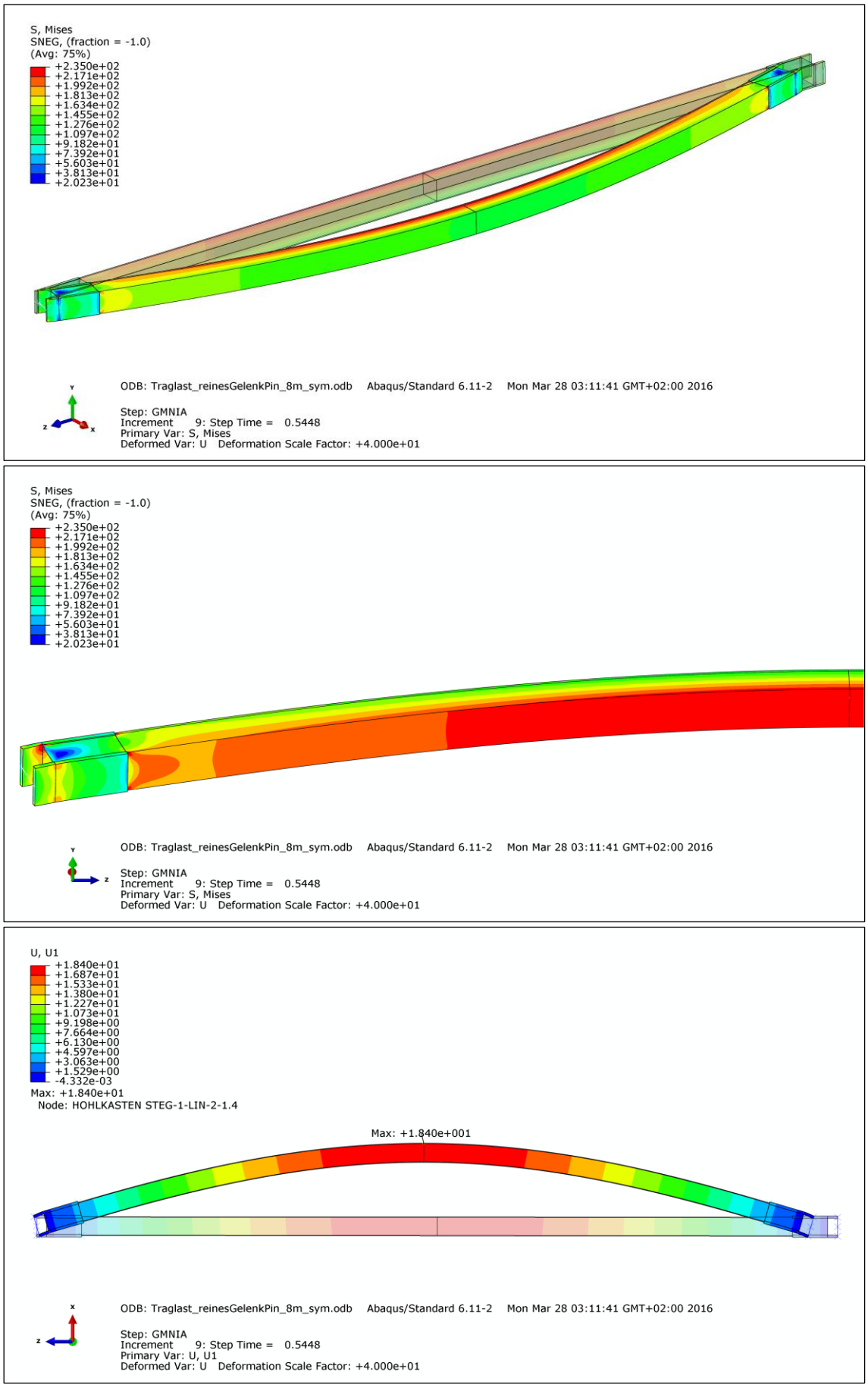
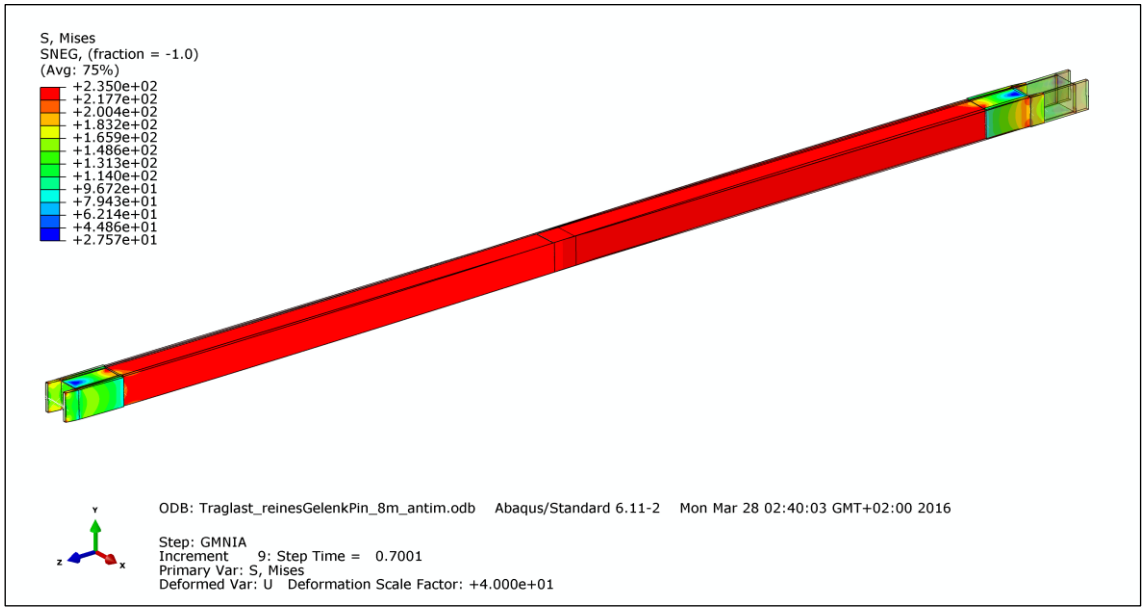
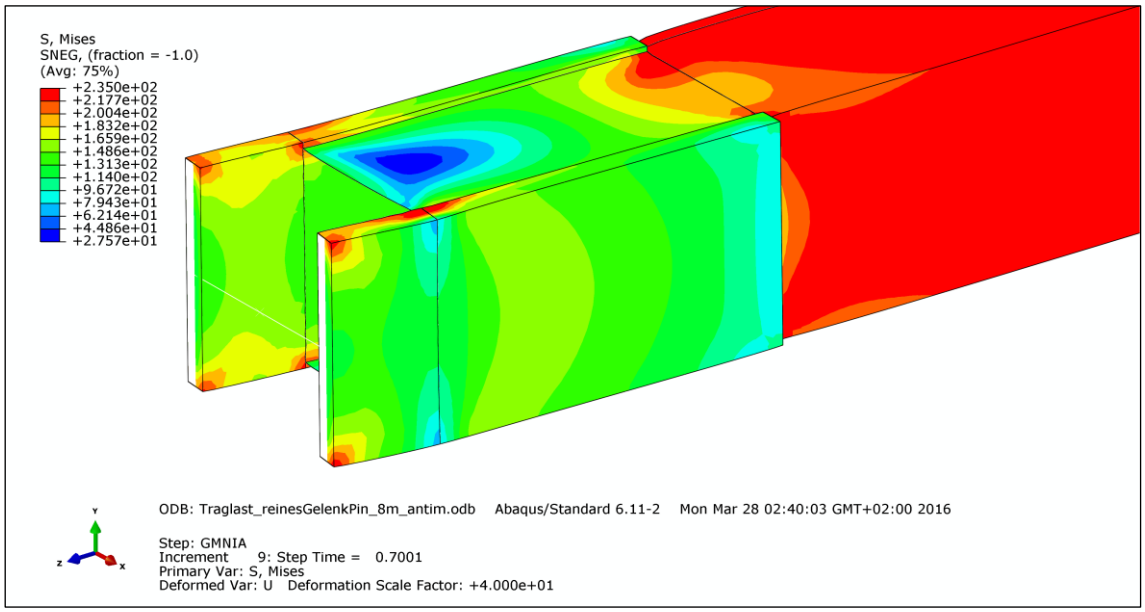


Abbildung 9-401: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





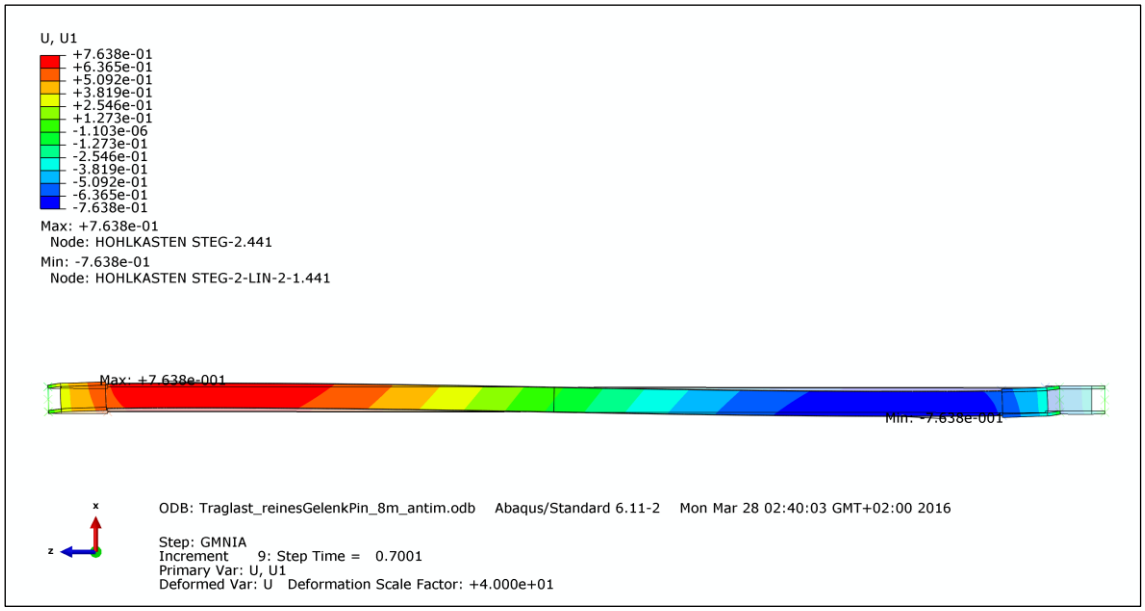
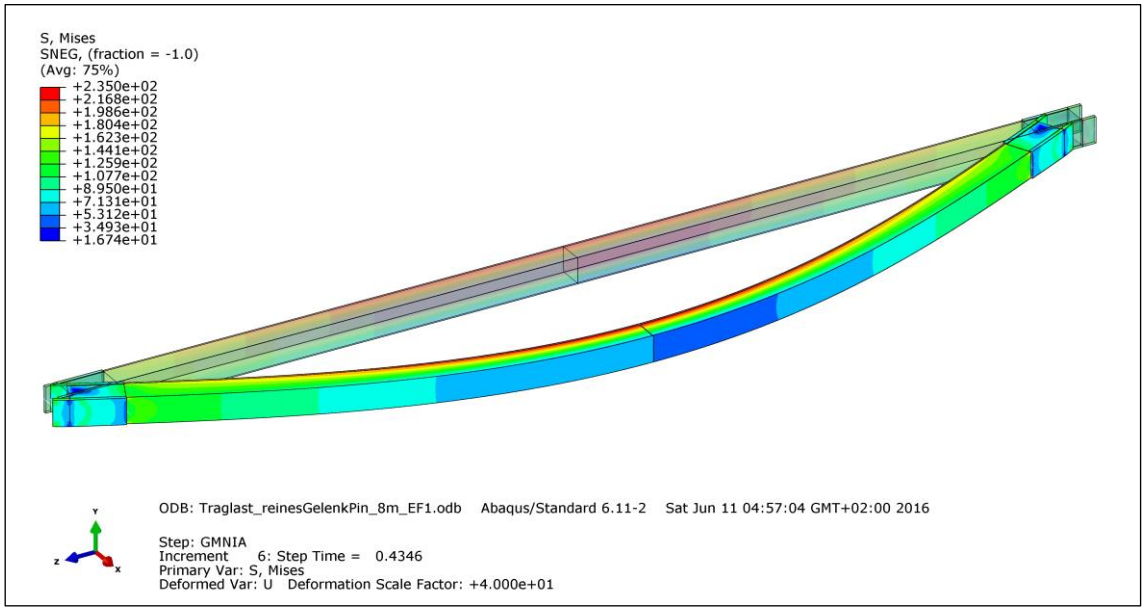
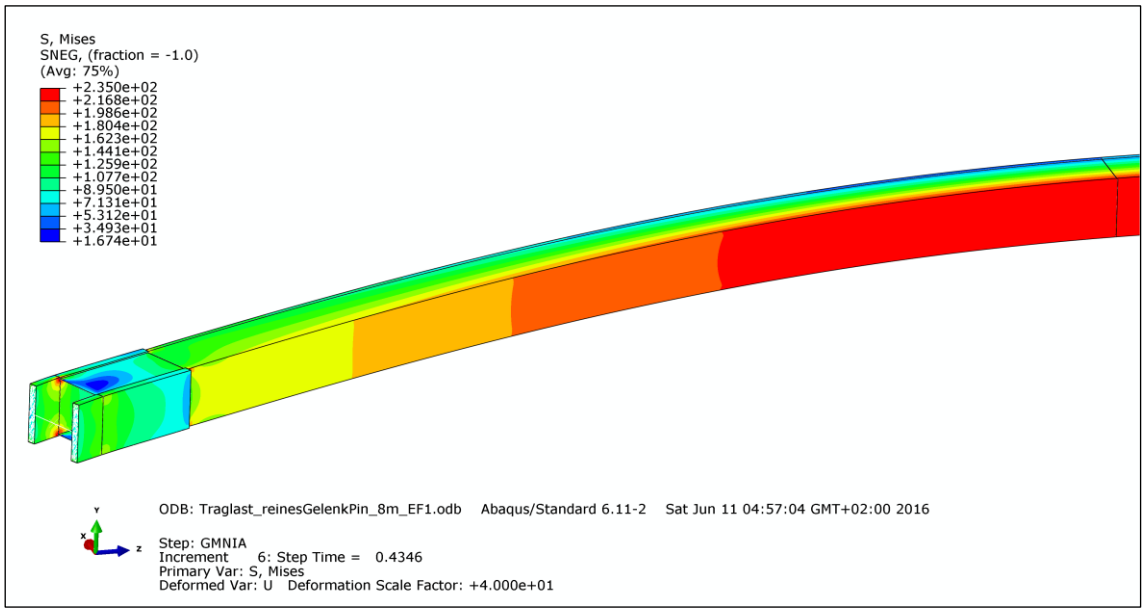


Abbildung 9-402: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





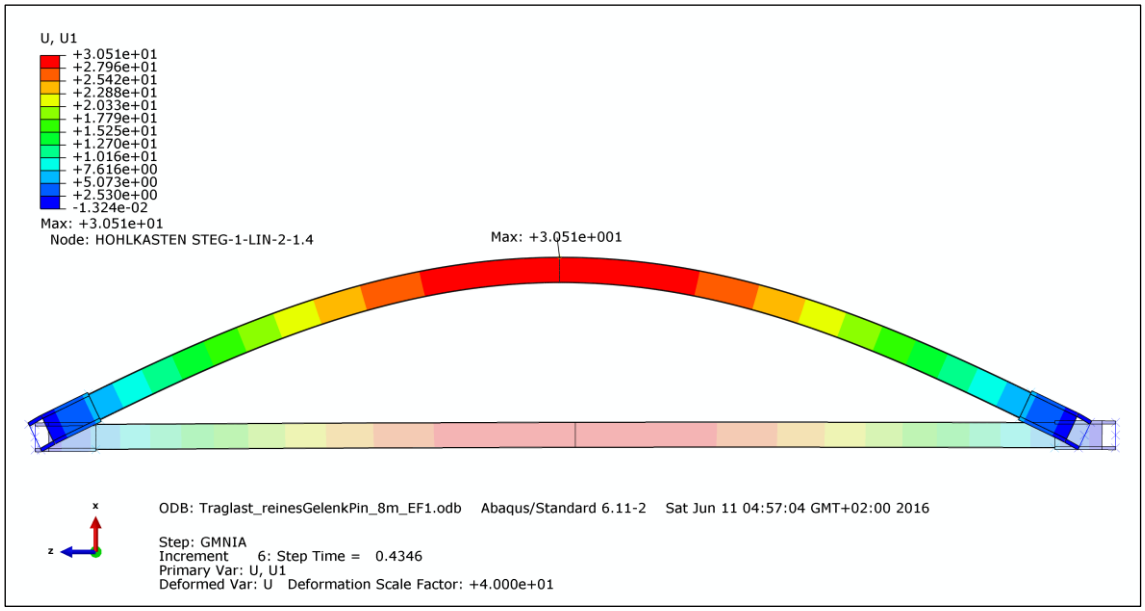
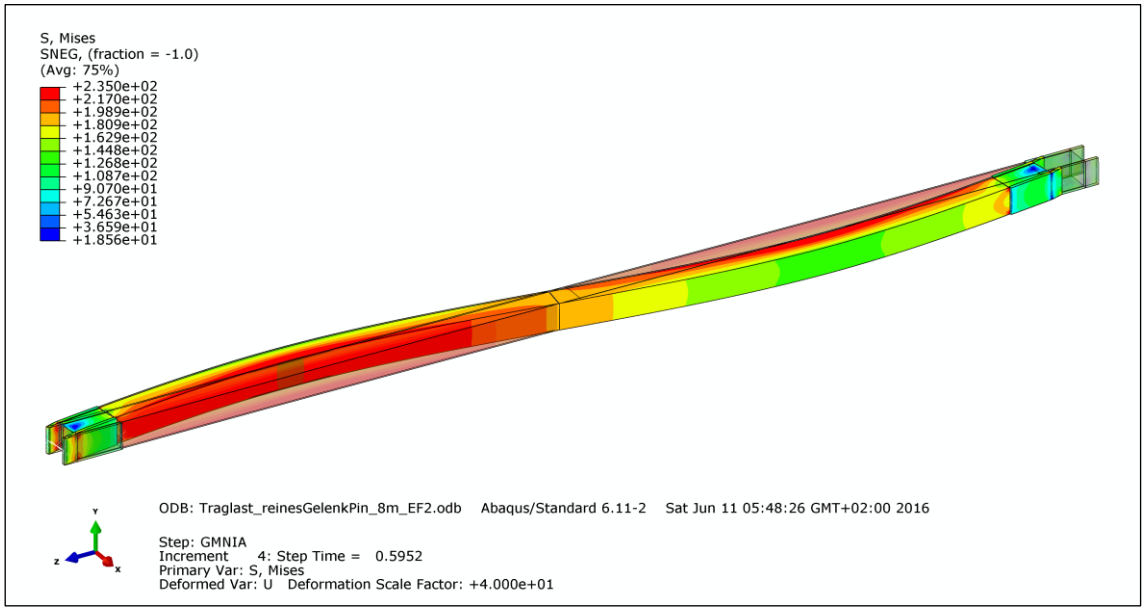
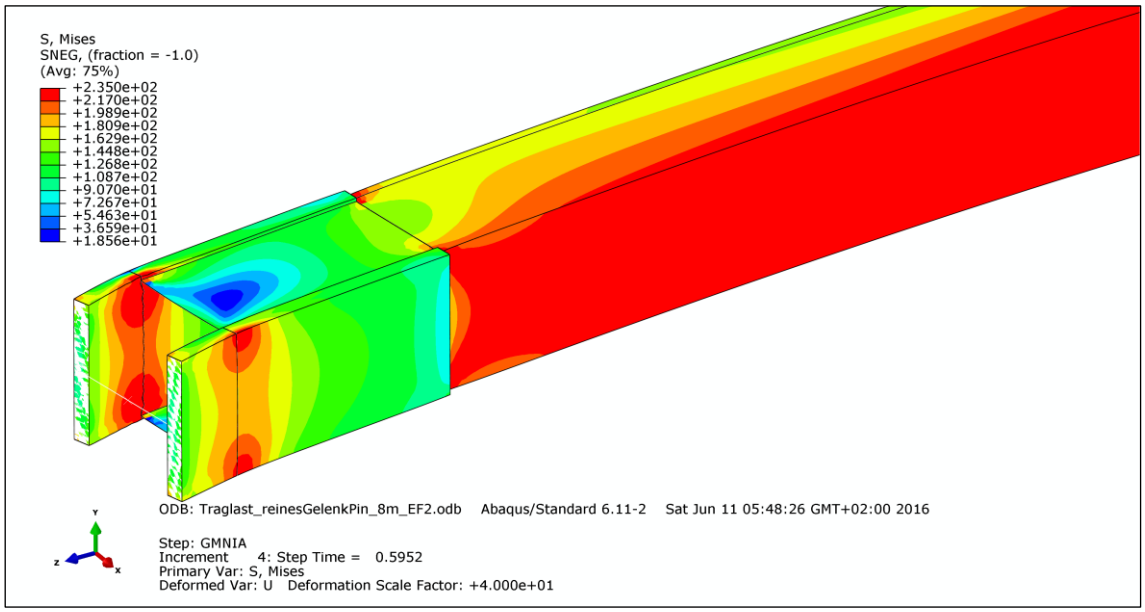


Abbildung 9-403: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





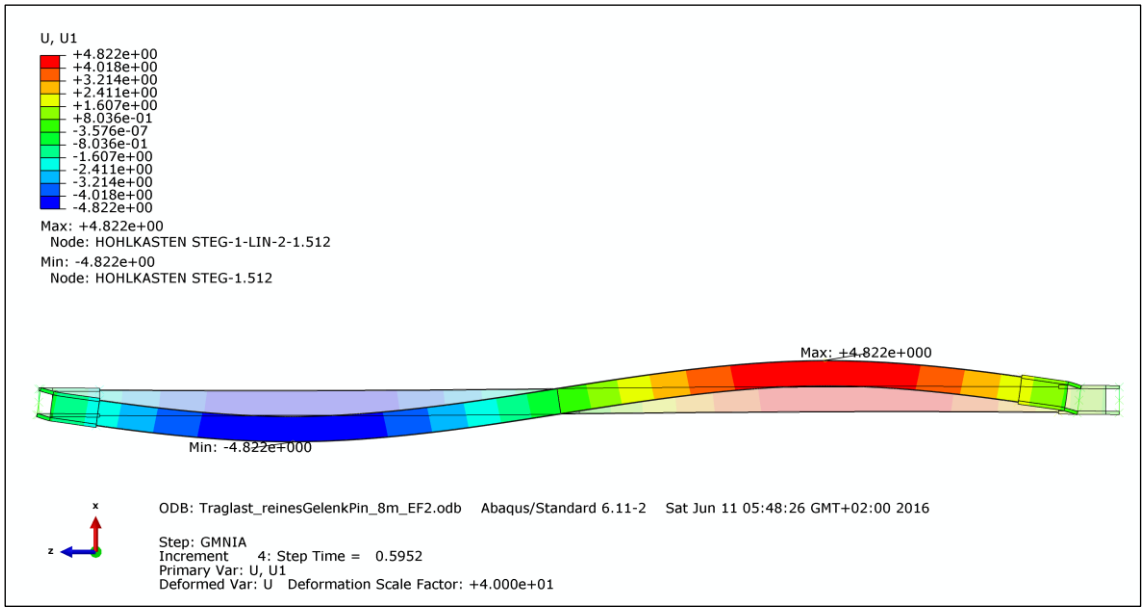
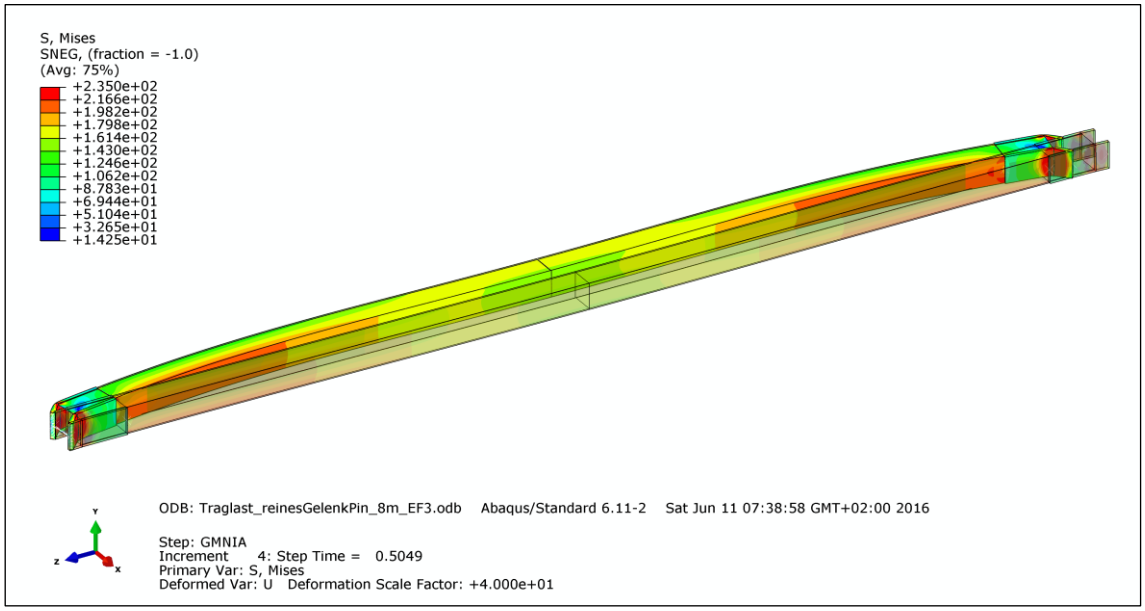
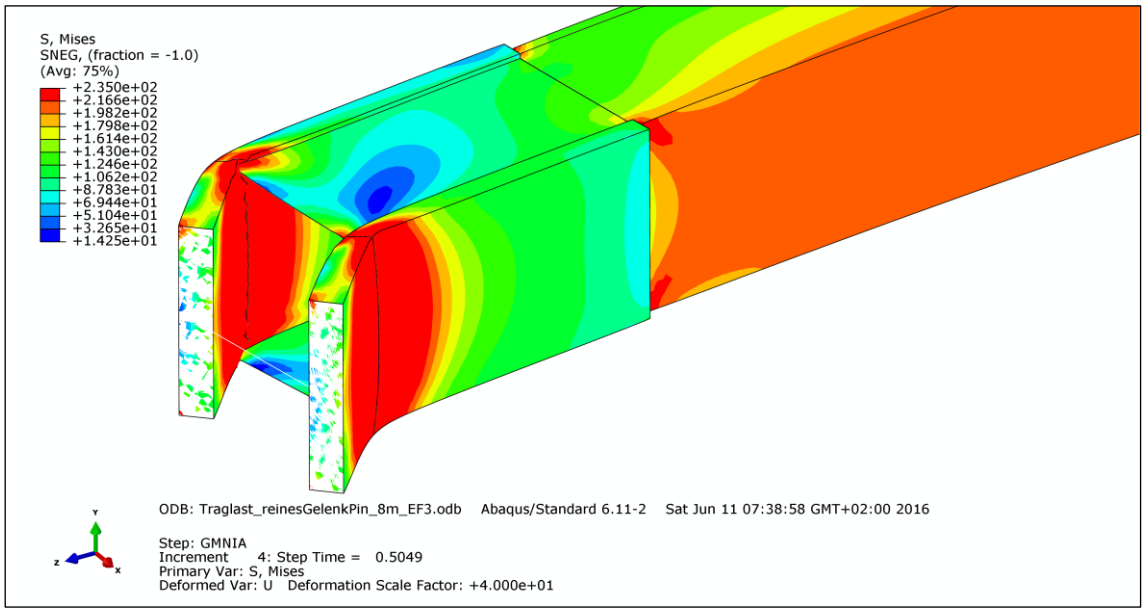


Abbildung 9-404: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





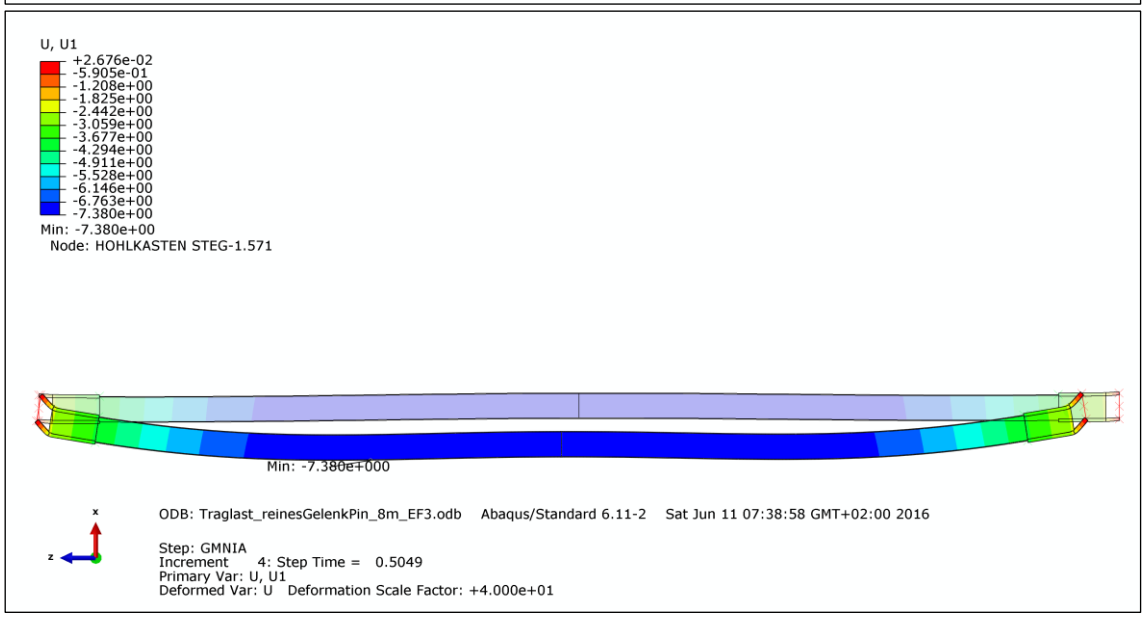
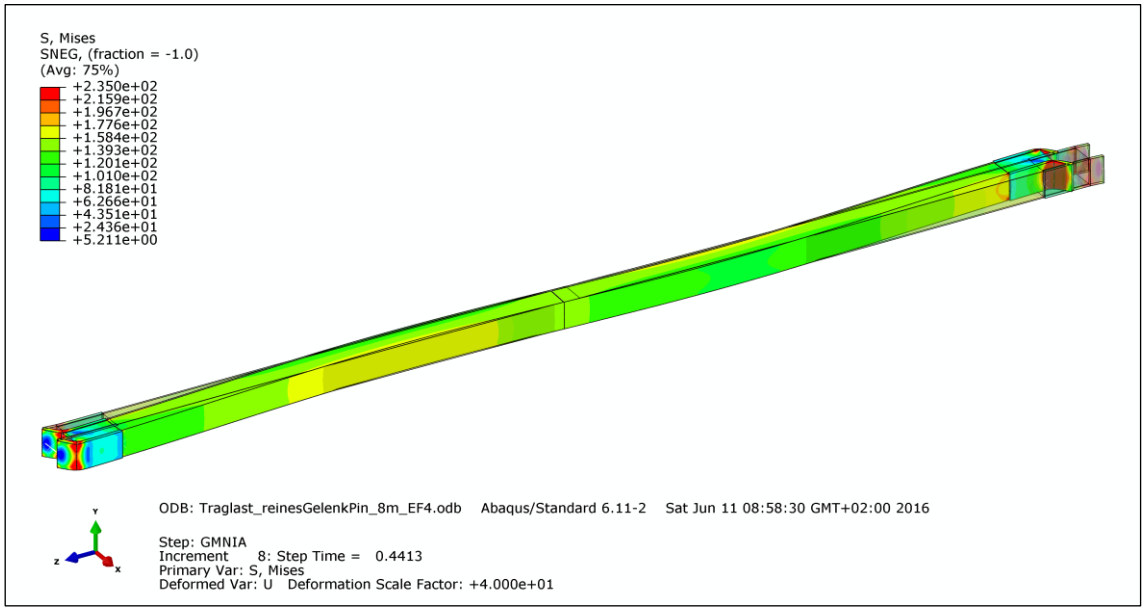
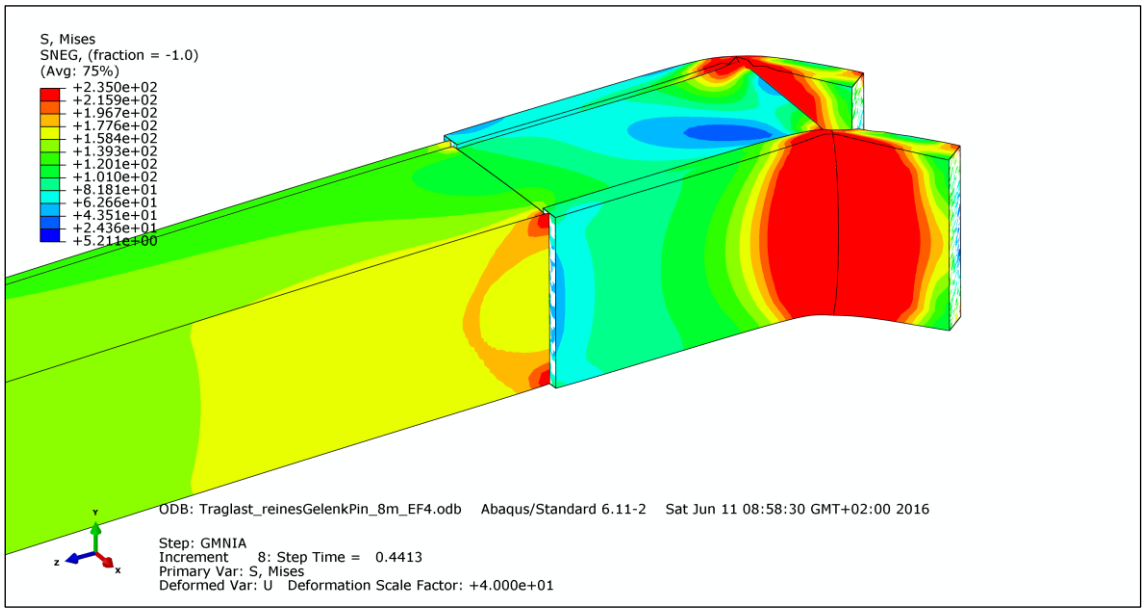


Abbildung 9-405: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





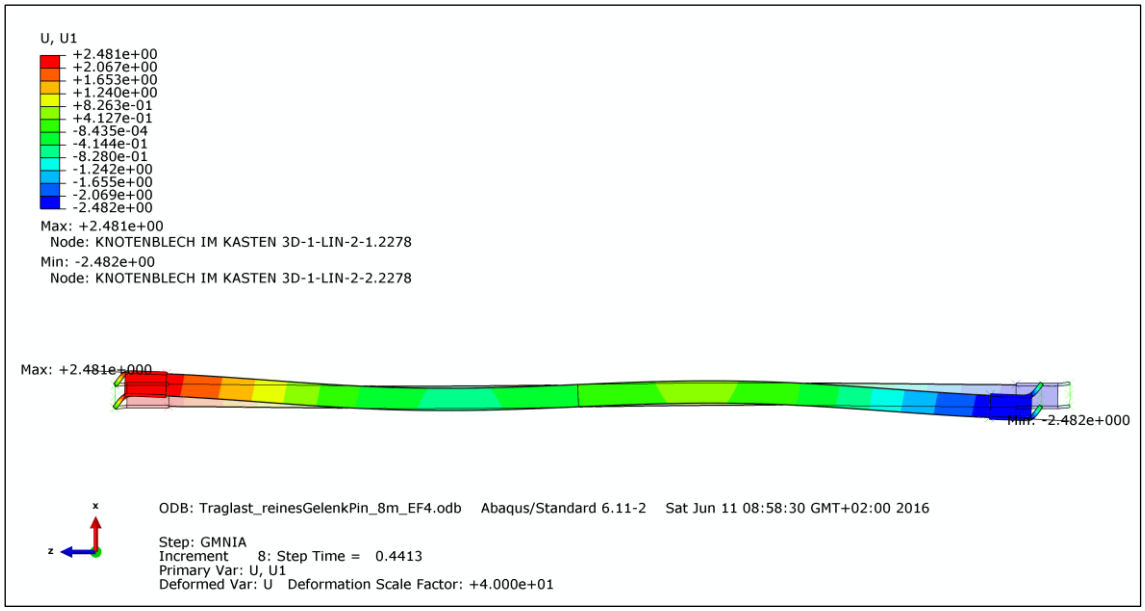
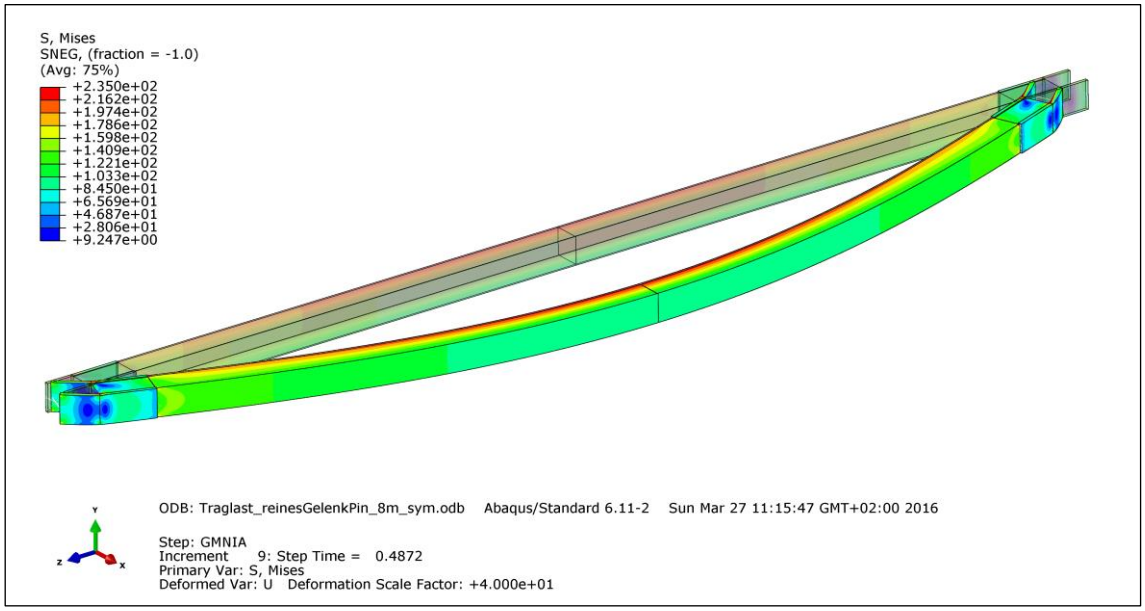
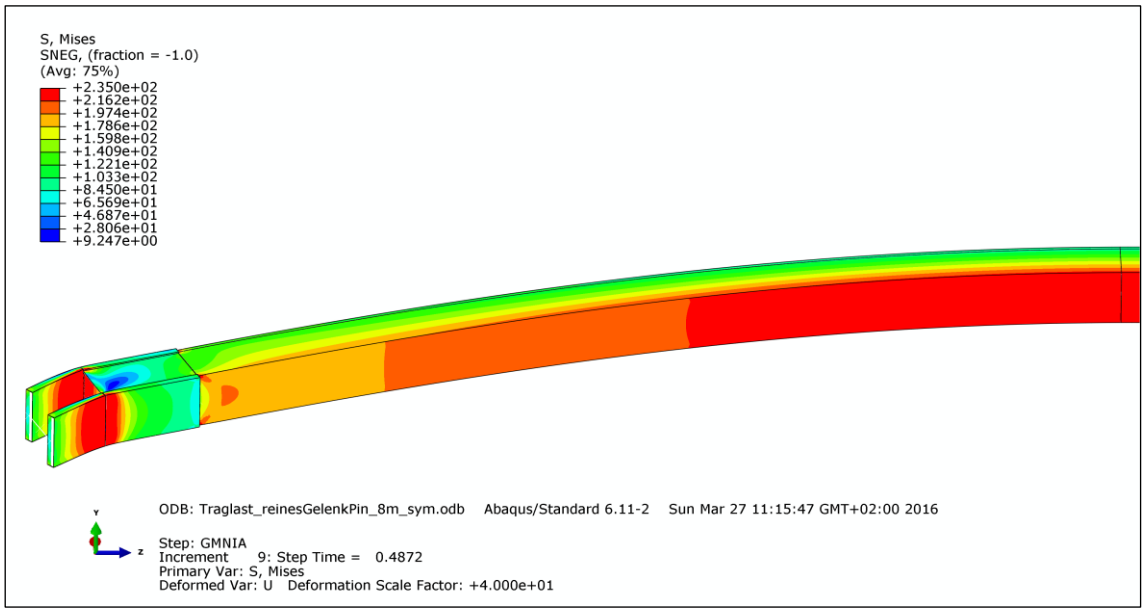


Abbildung 9-406: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4





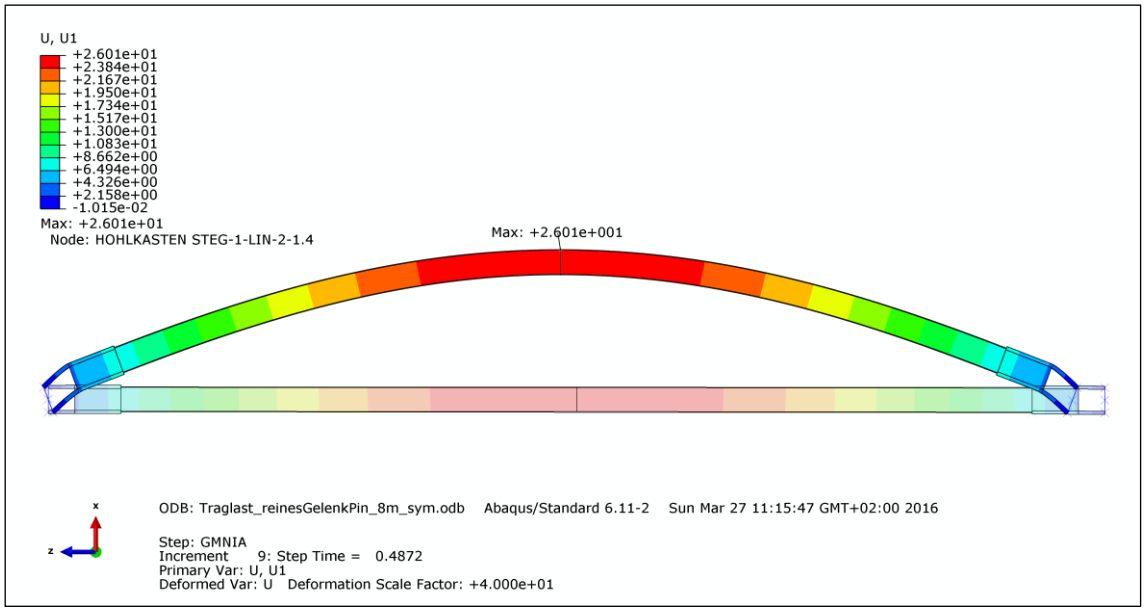
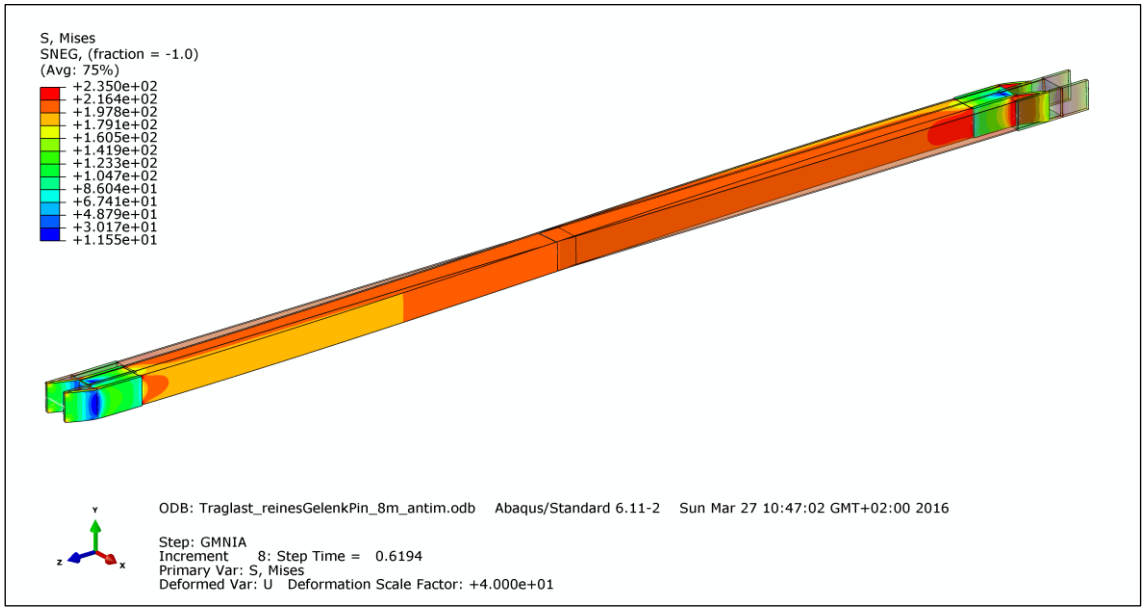
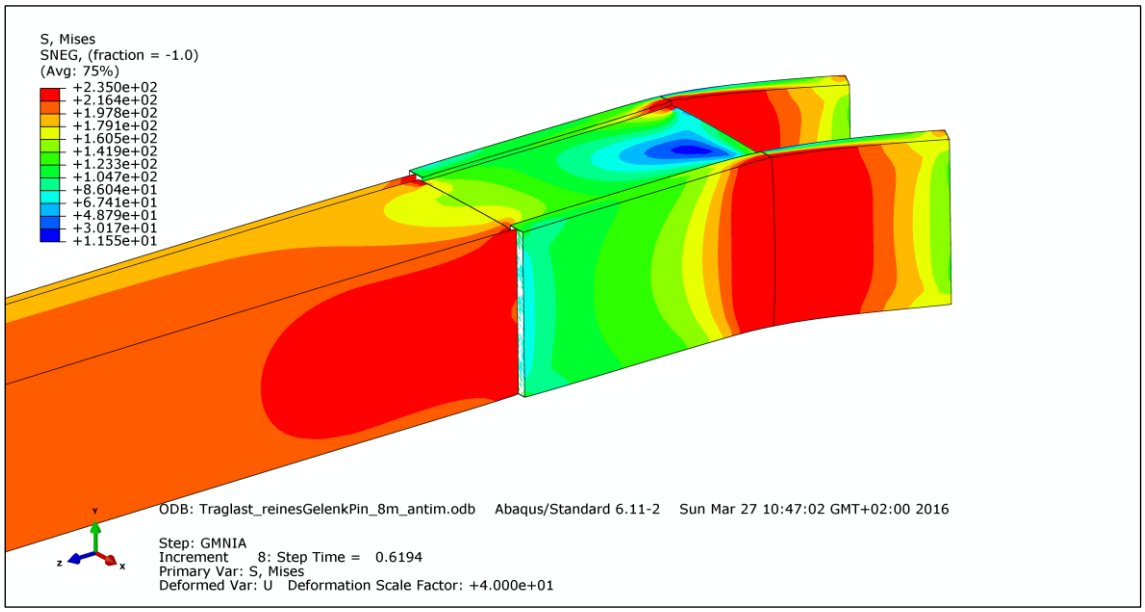


Abbildung 9-407: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





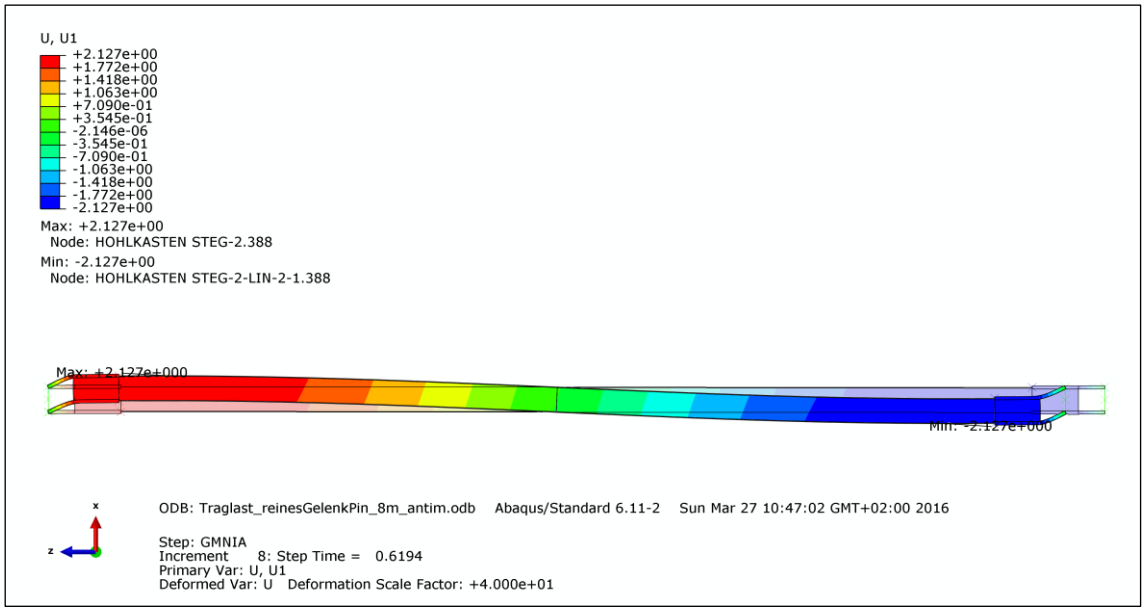
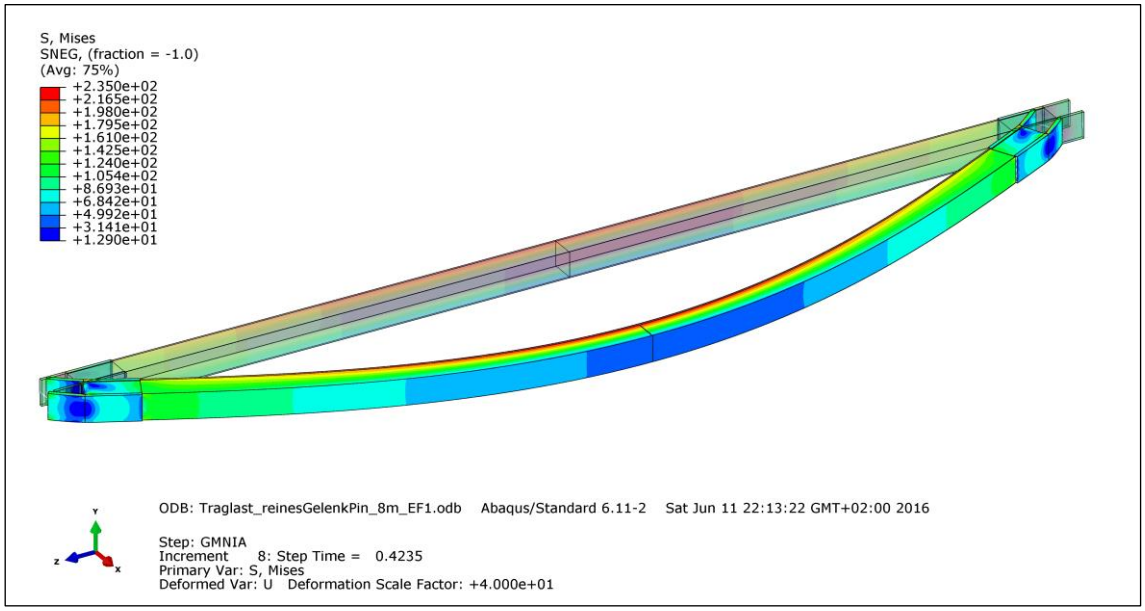
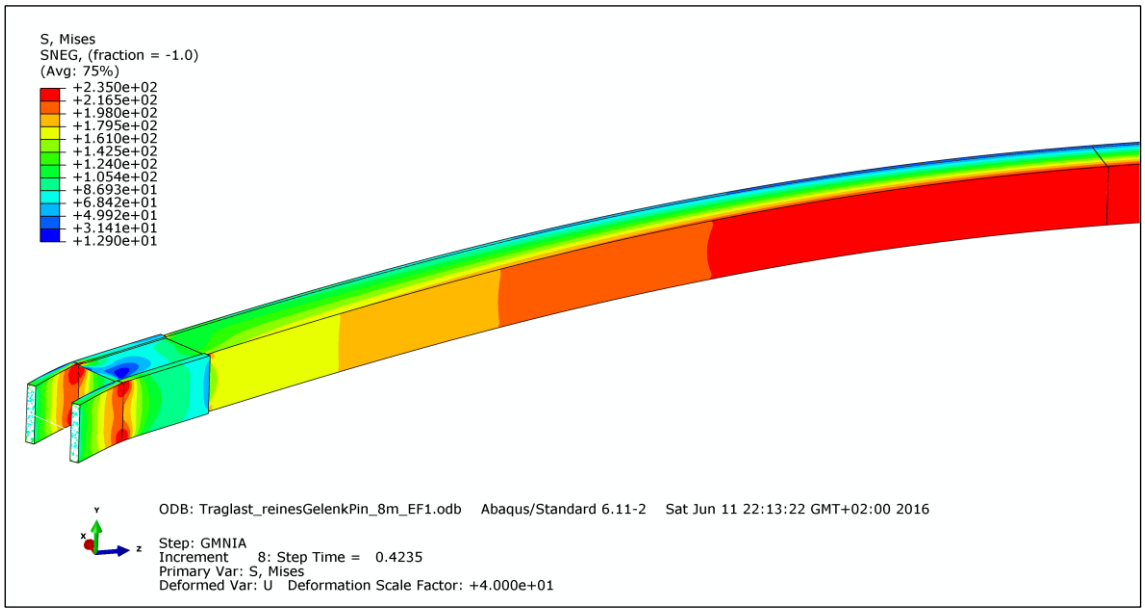


Abbildung 9-408: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





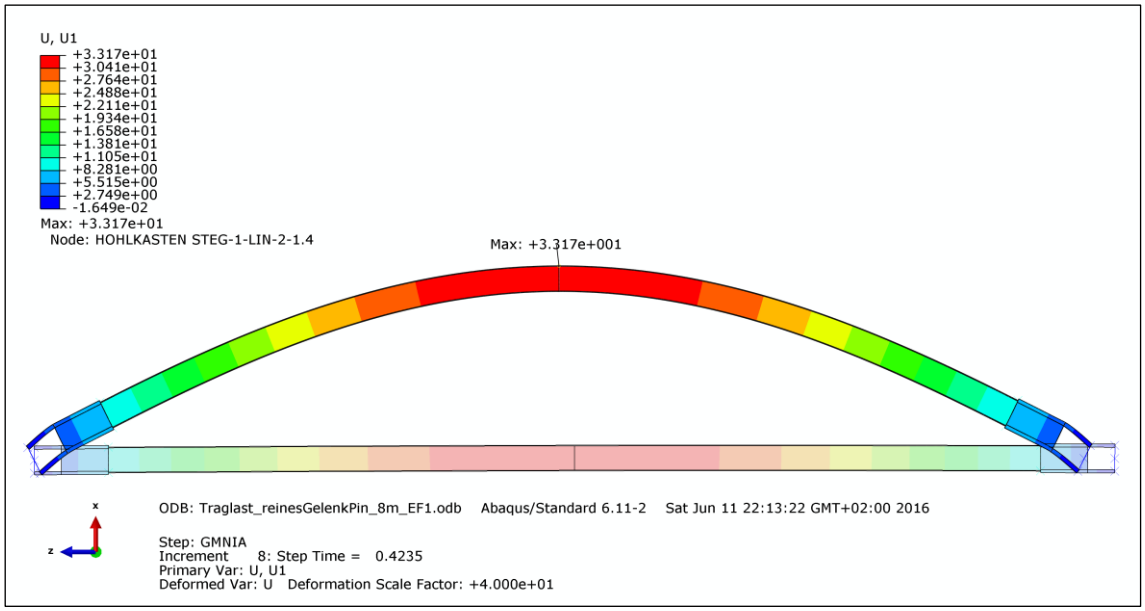
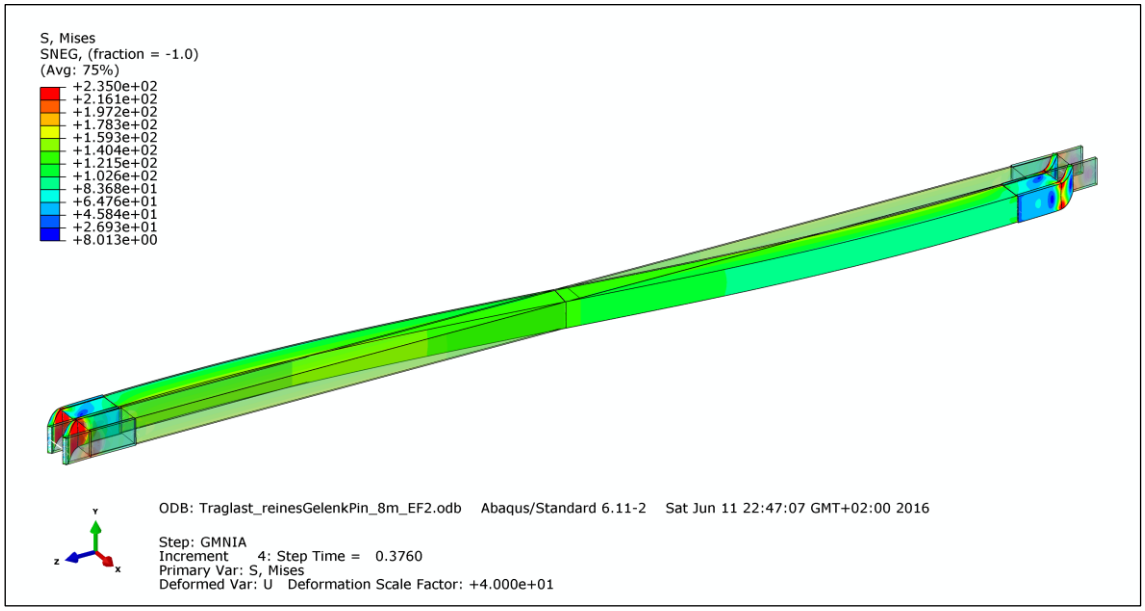
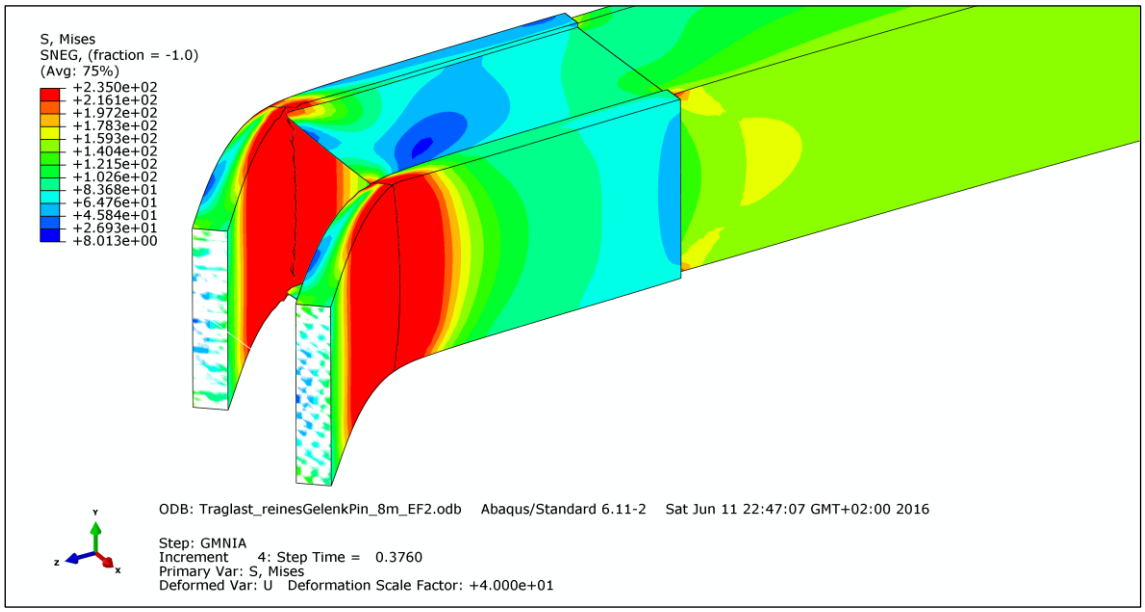


Abbildung 9-409: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





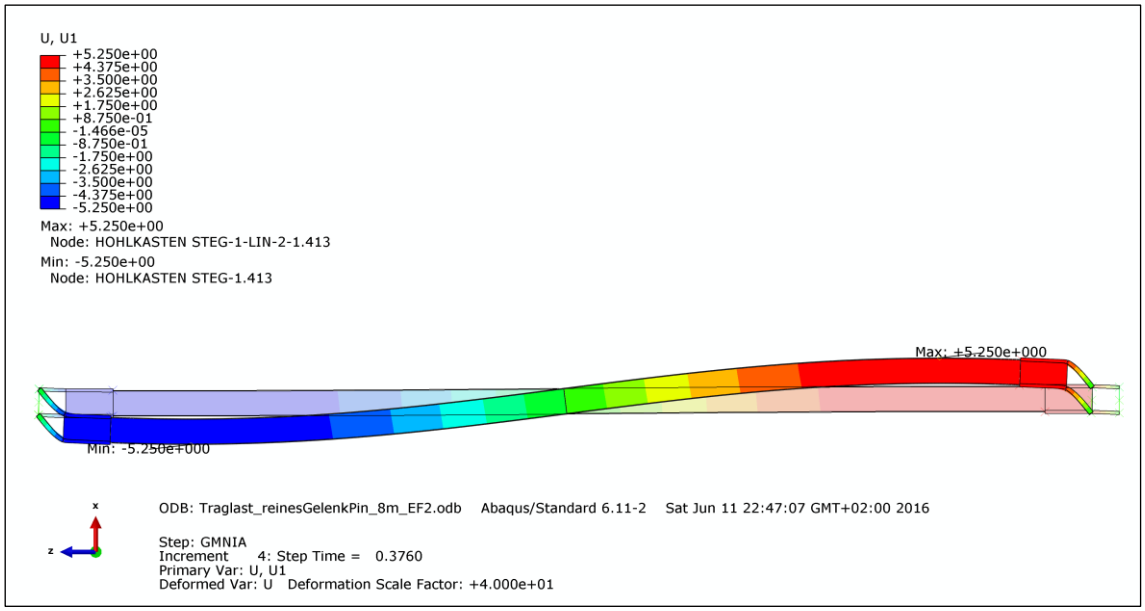
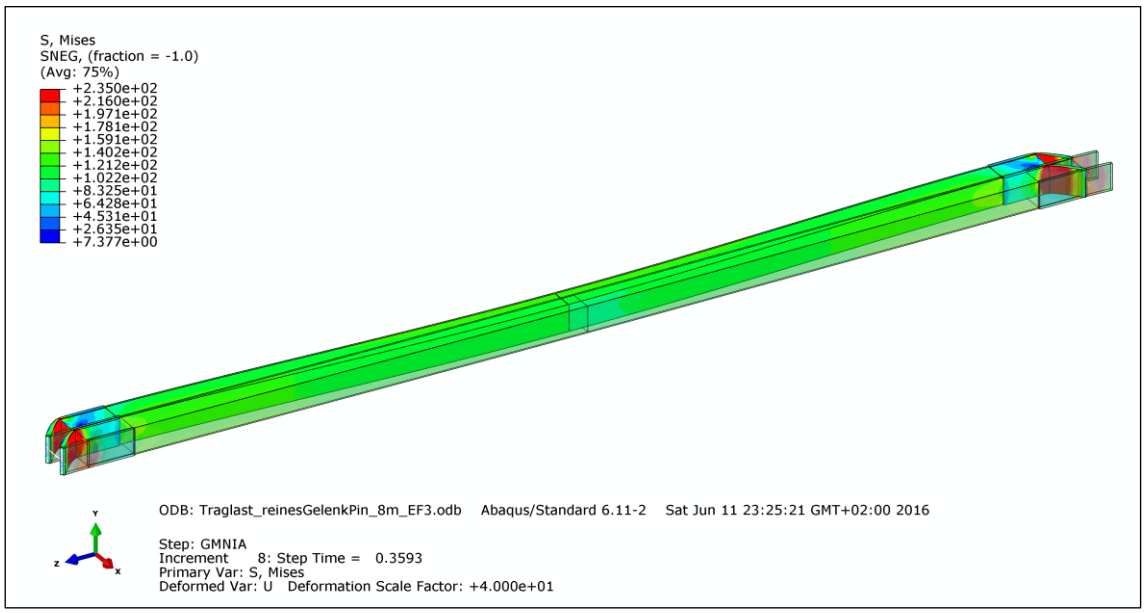
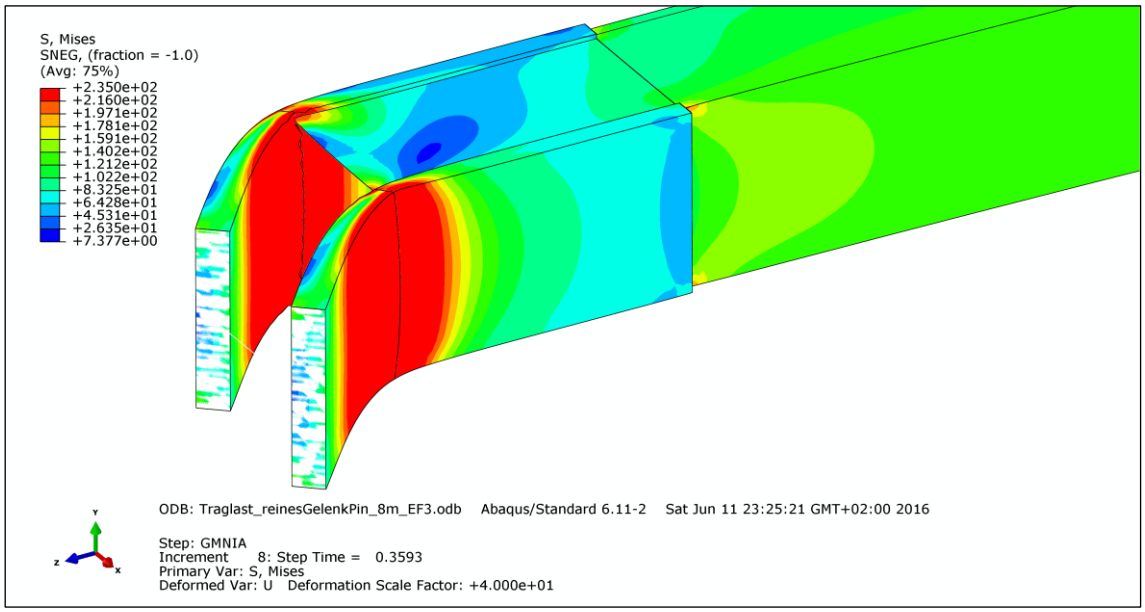


Abbildung 9-410: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





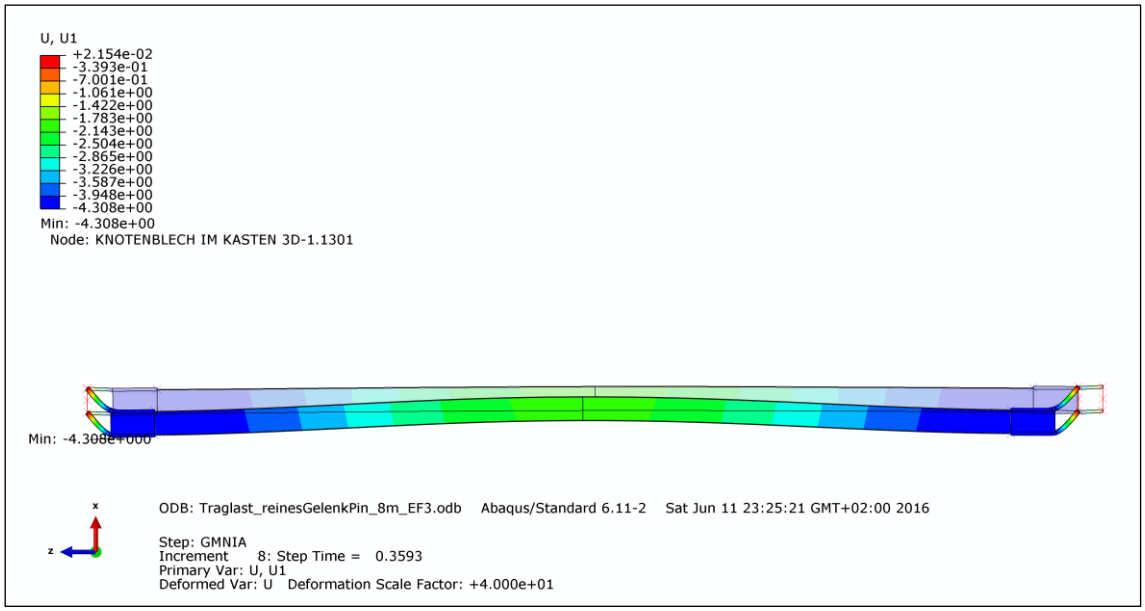
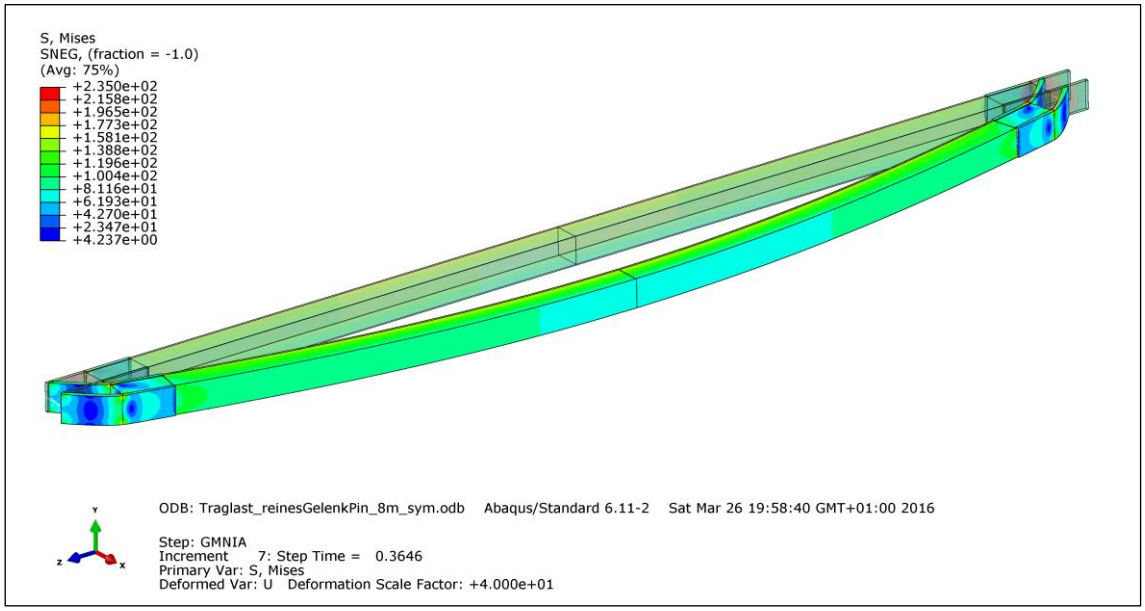
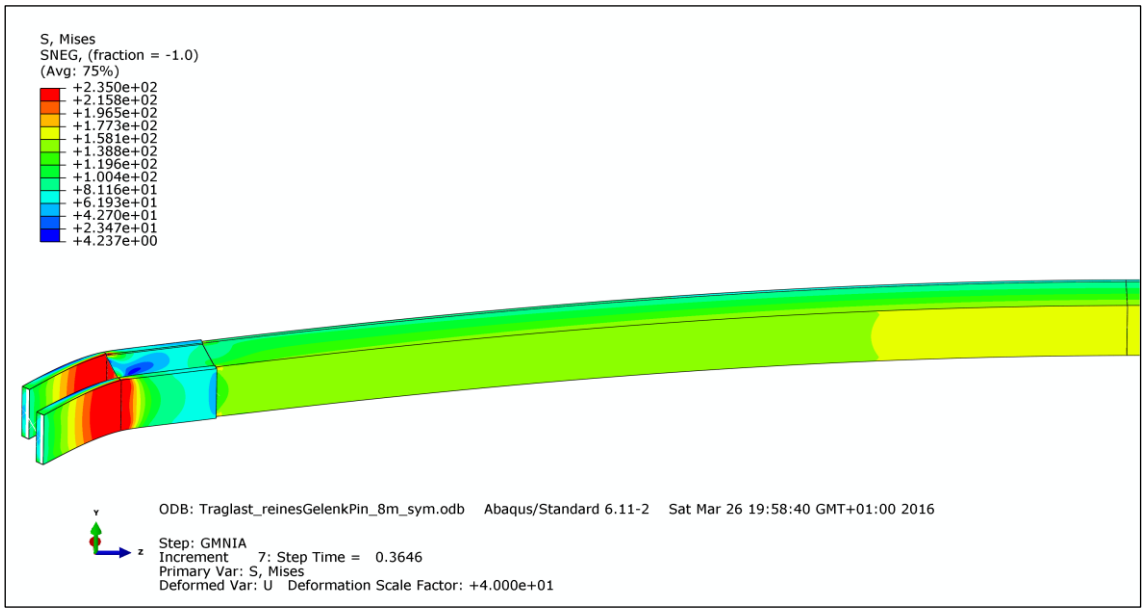


Abbildung 9-411: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3





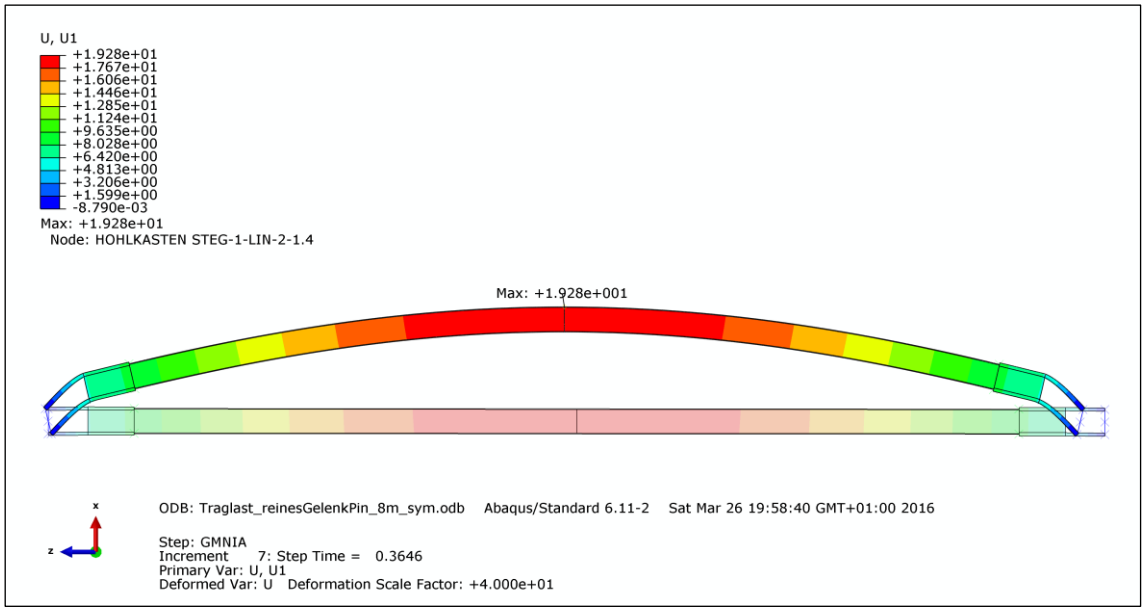
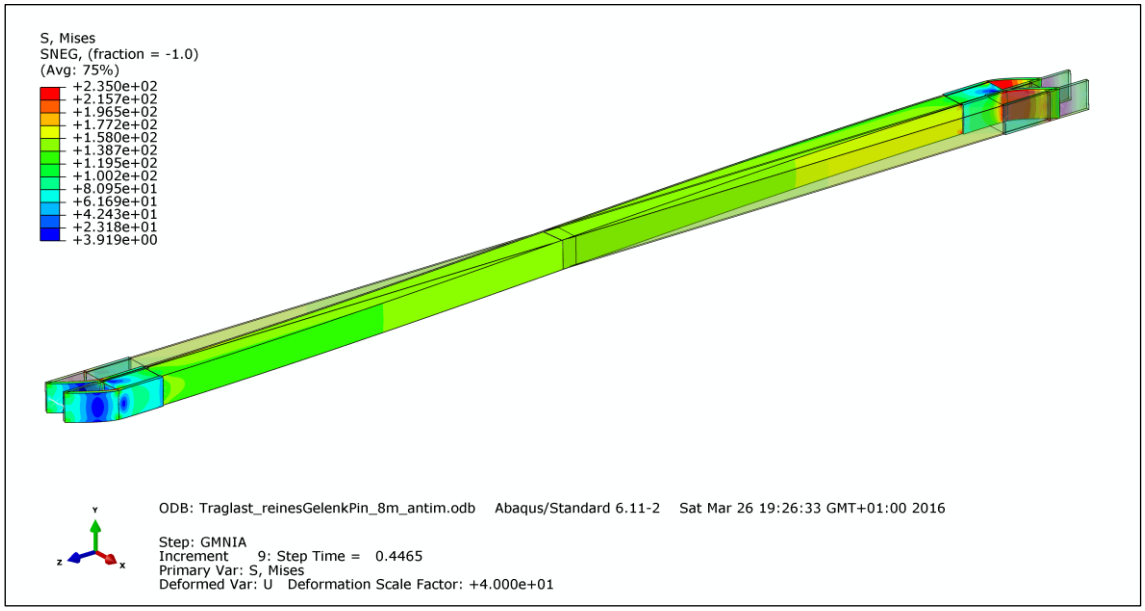
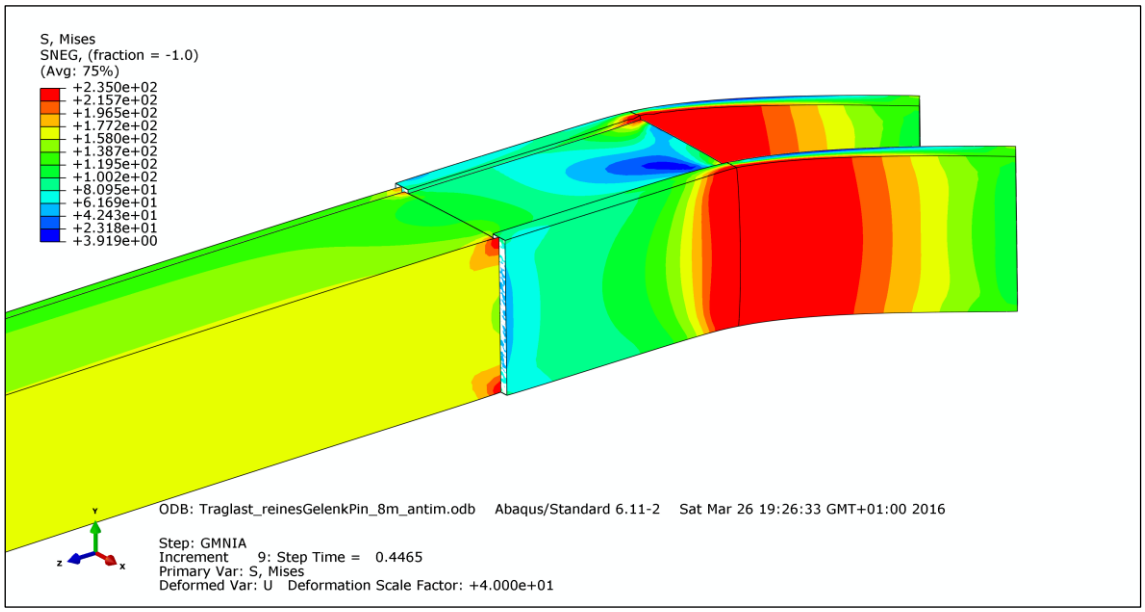


Abbildung 9-412: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





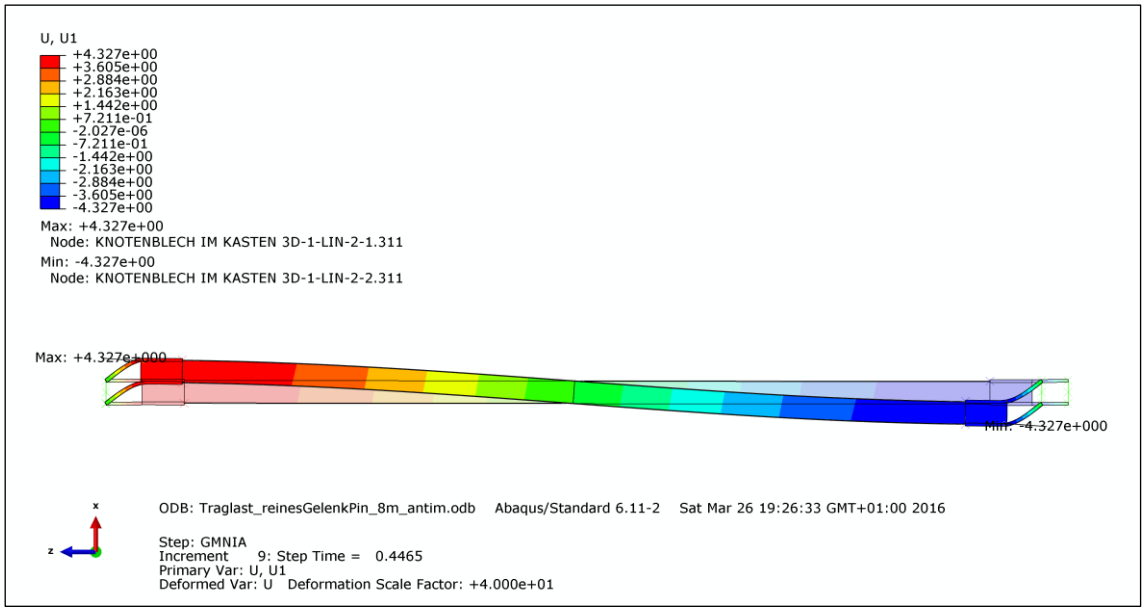
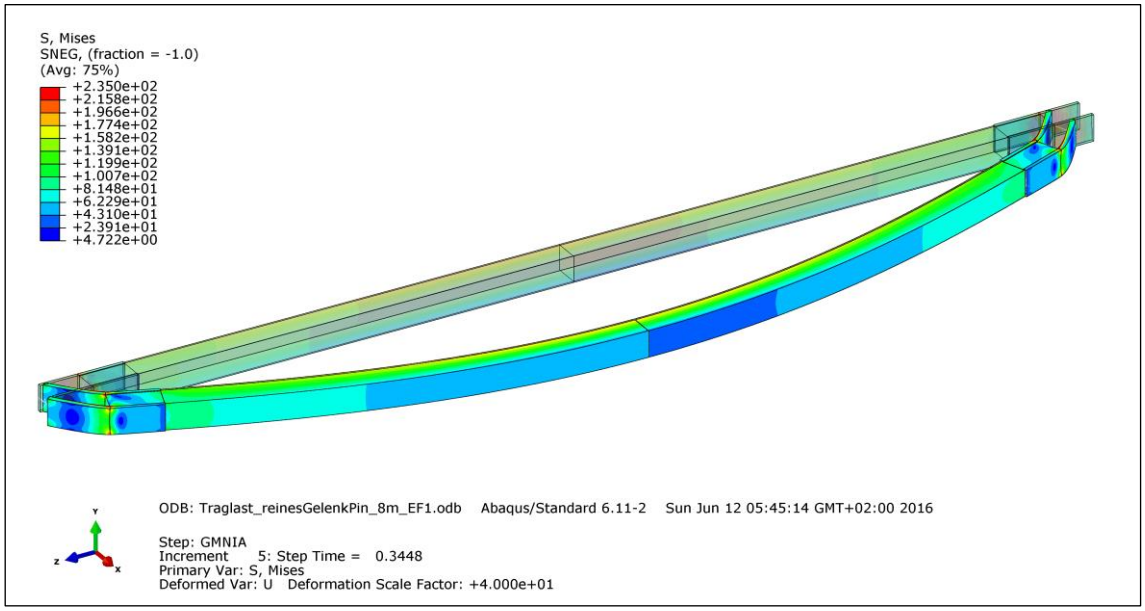
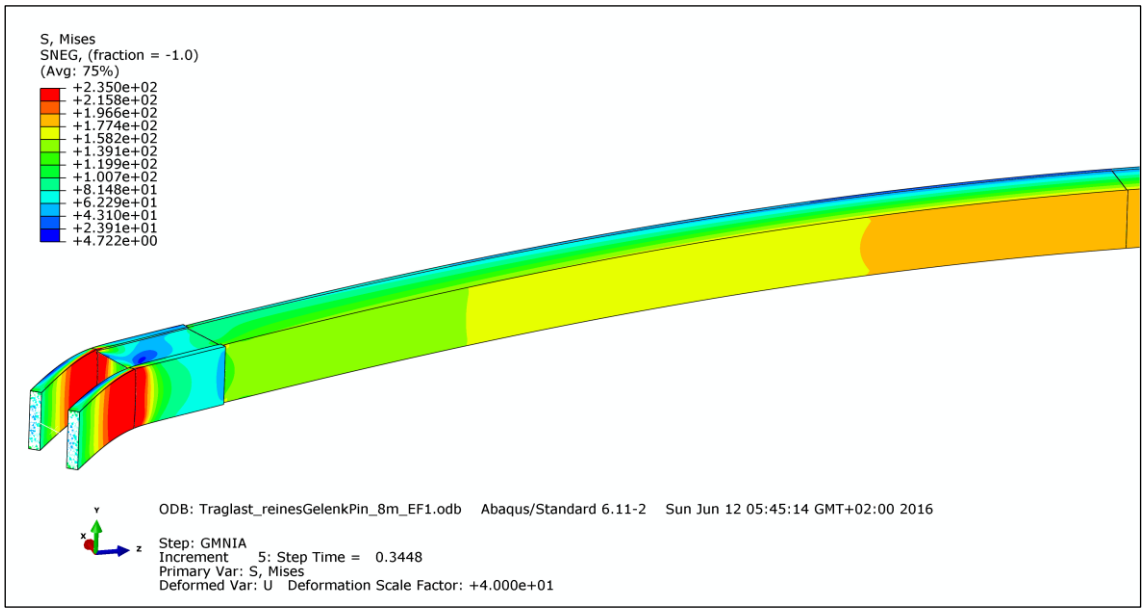


Abbildung 9-413: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





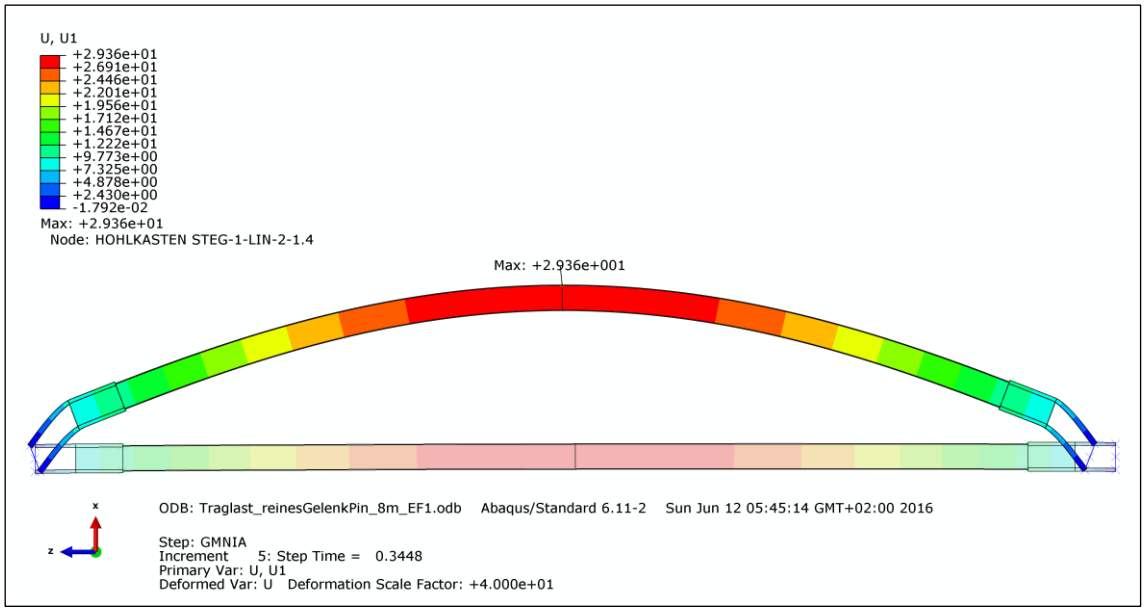
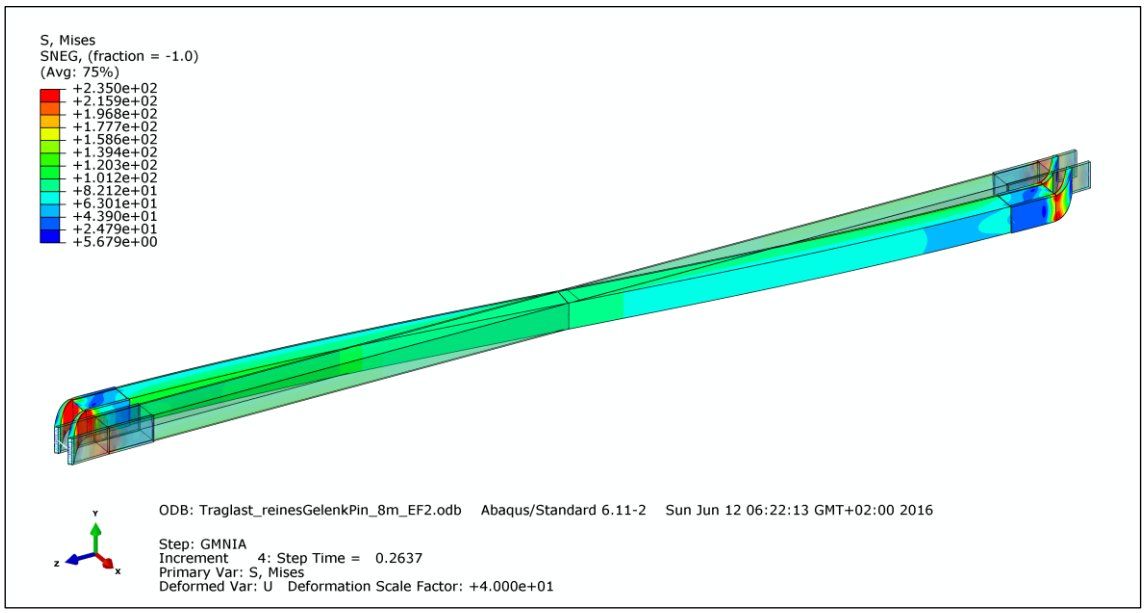
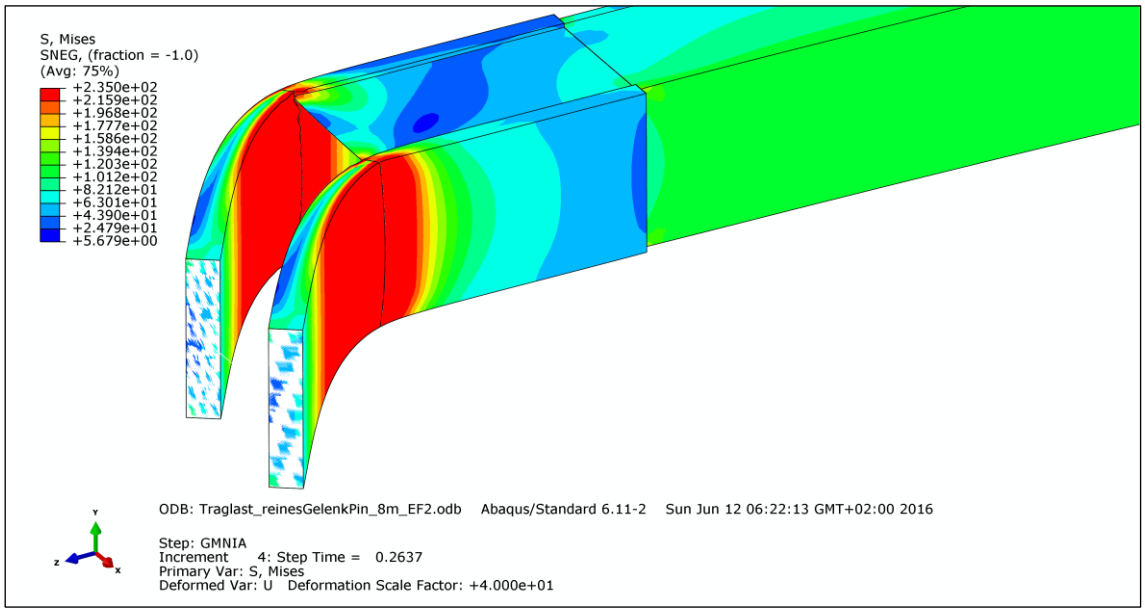


Abbildung 9-414: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





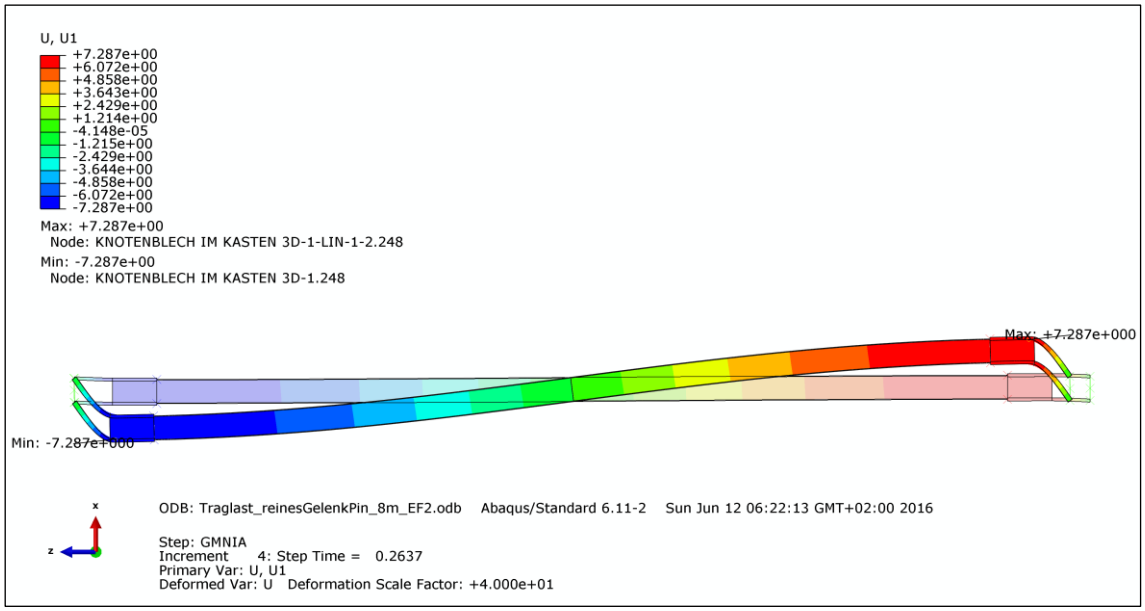
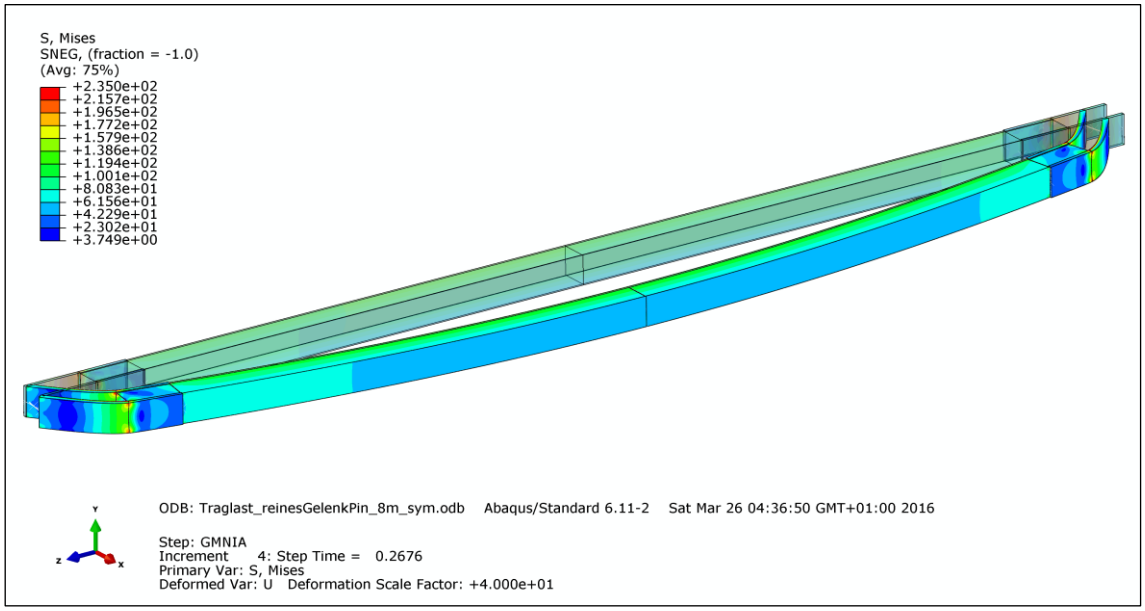
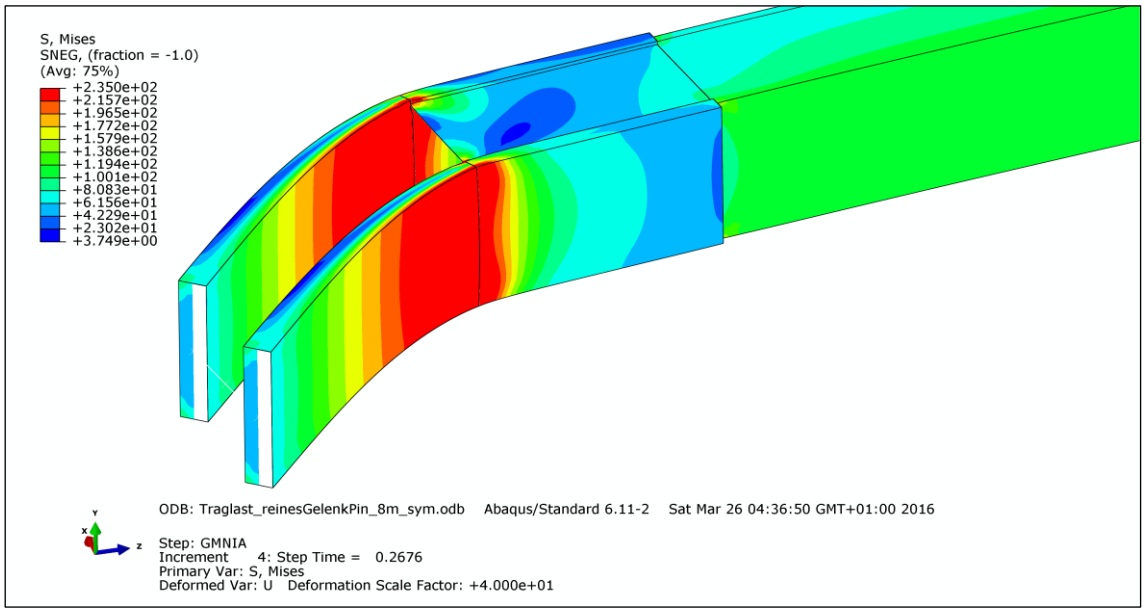


Abbildung 9-415: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





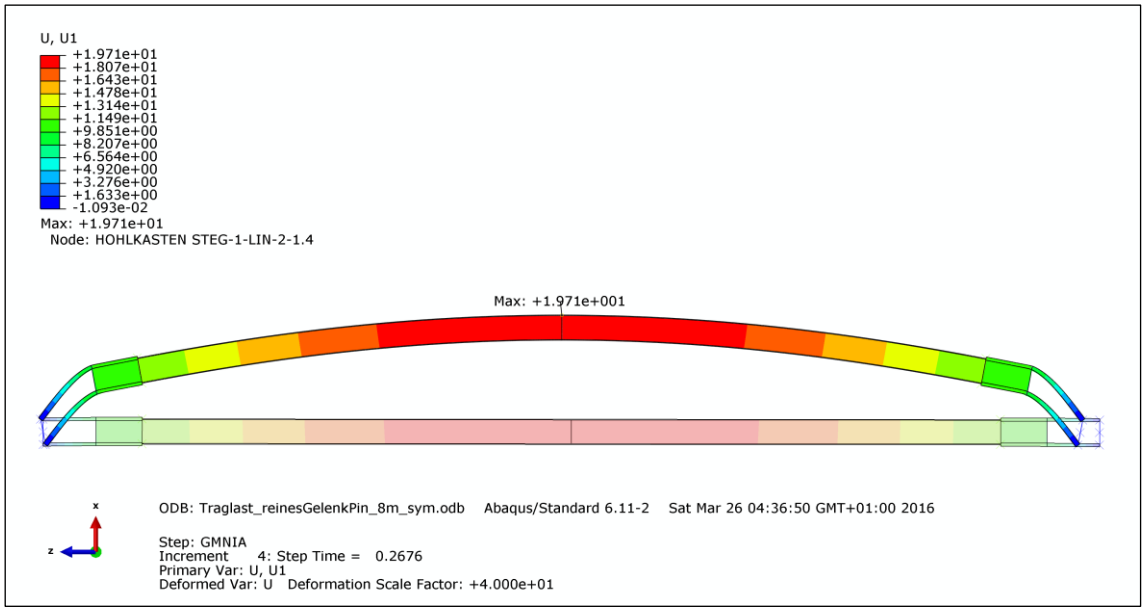
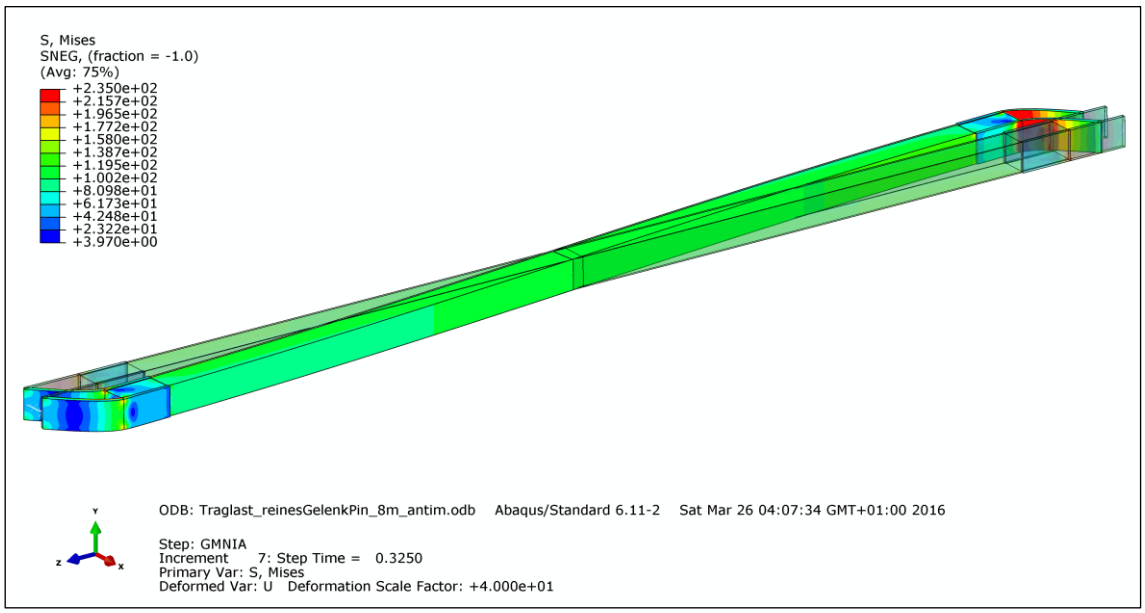
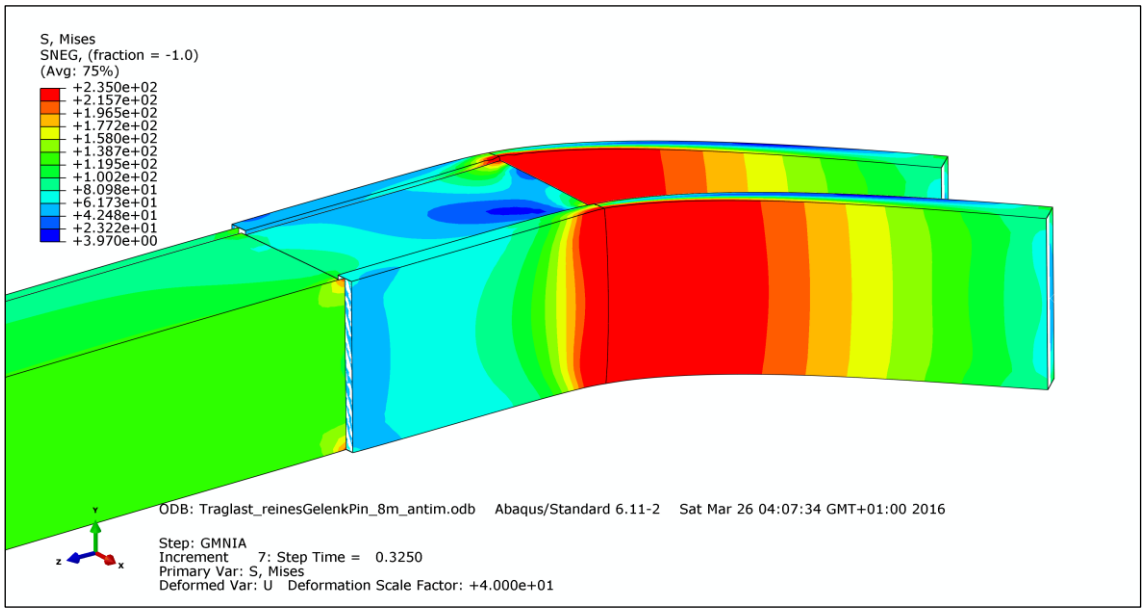


Abbildung 9-416: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





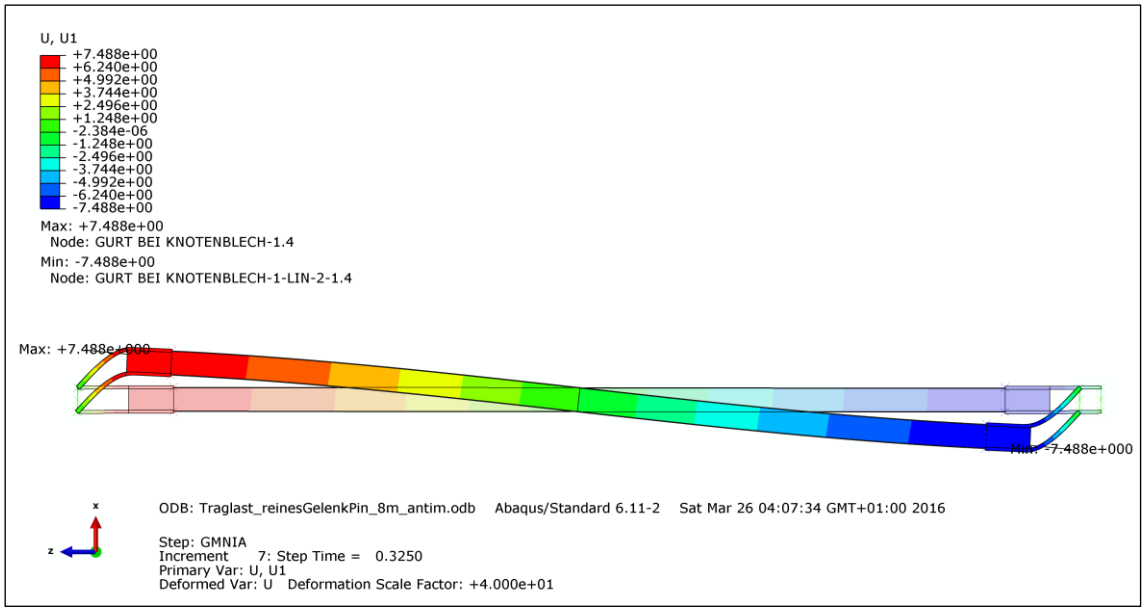
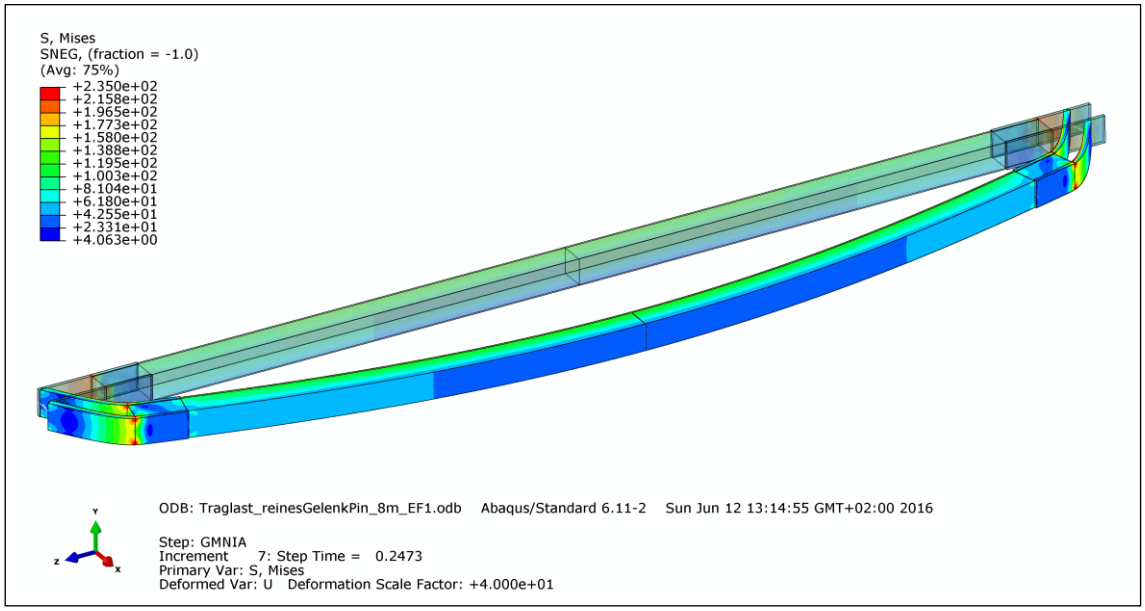
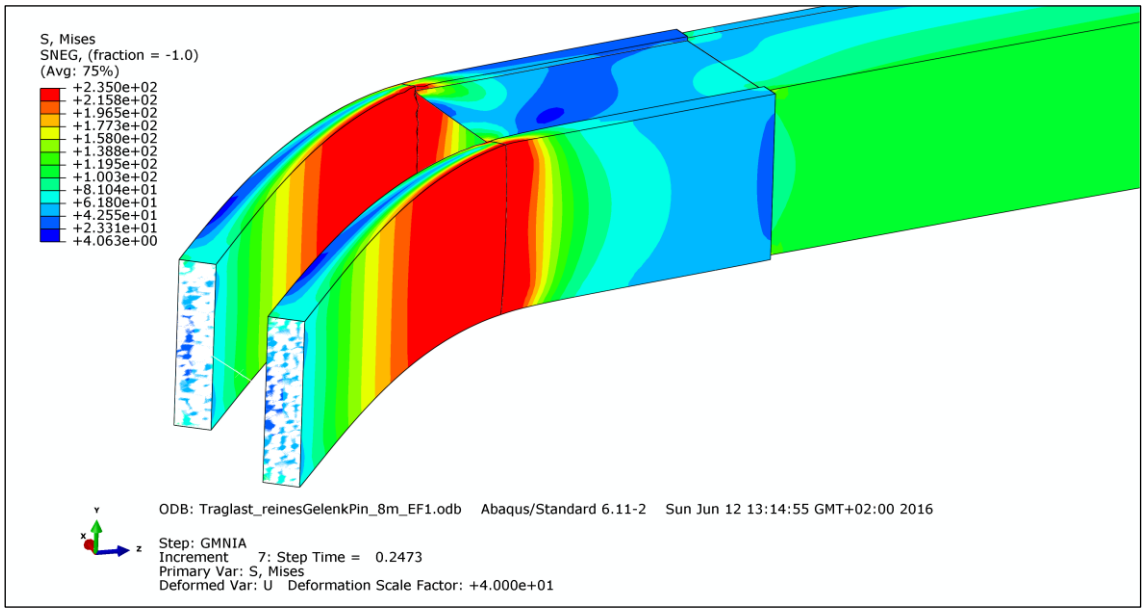


Abbildung 9-417: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





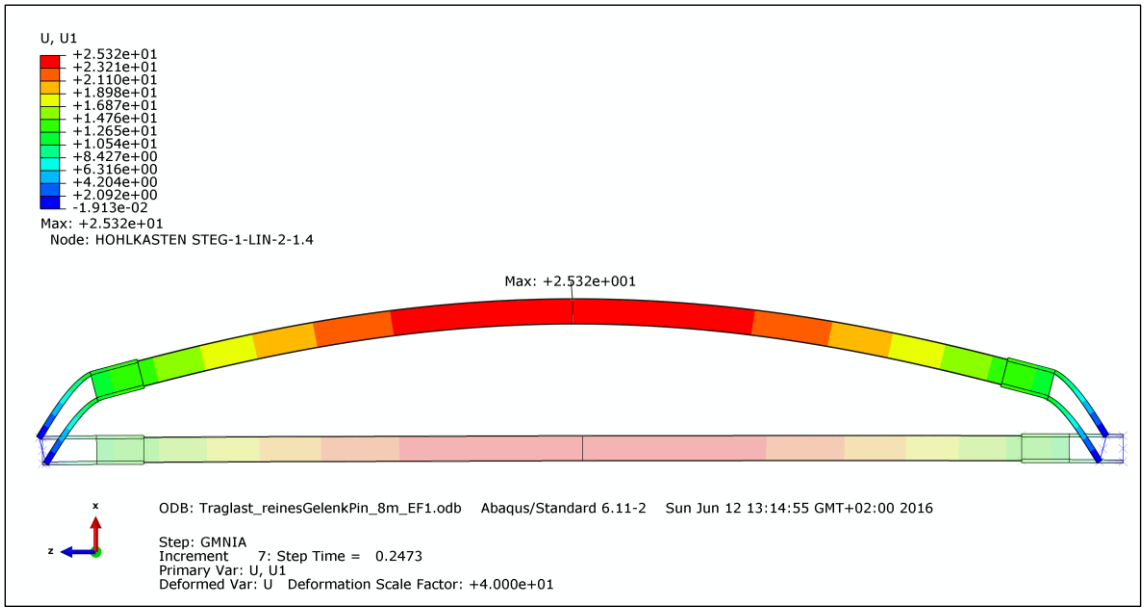
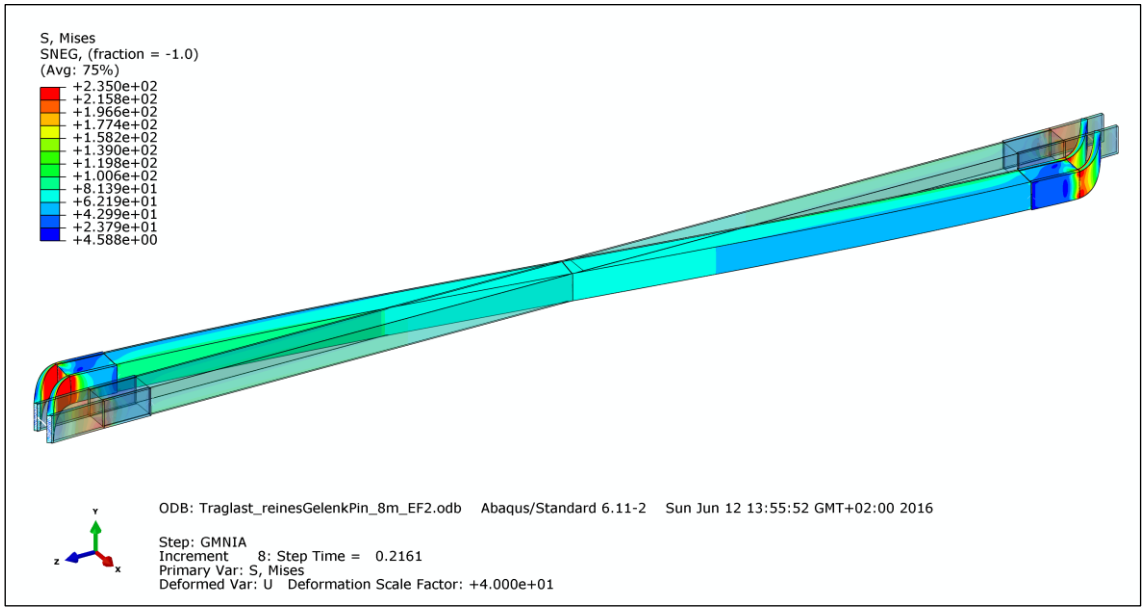
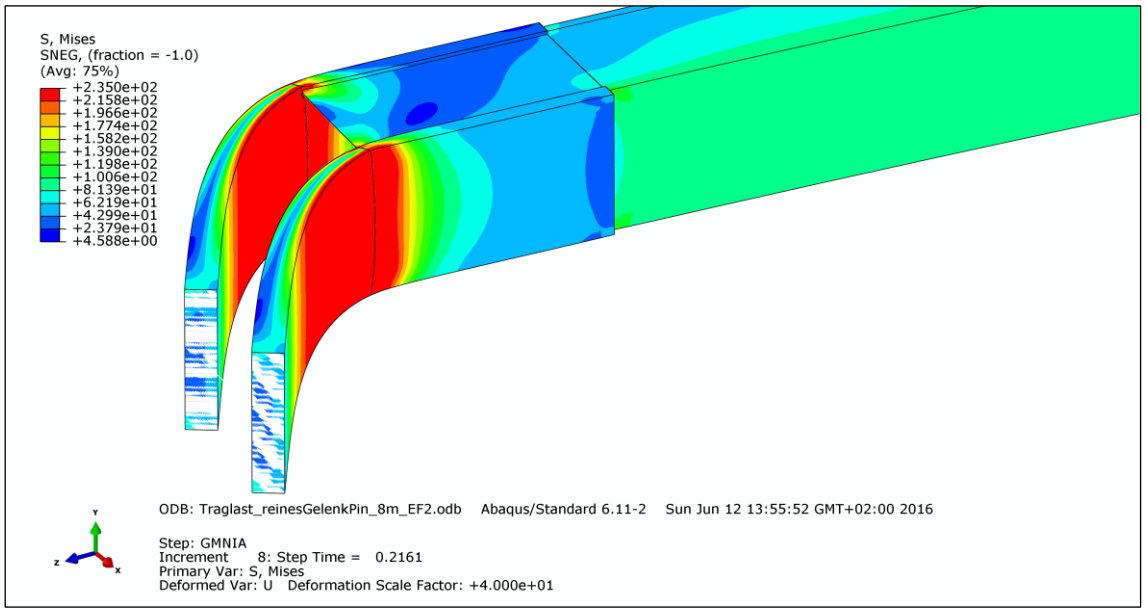


Abbildung 9-418: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





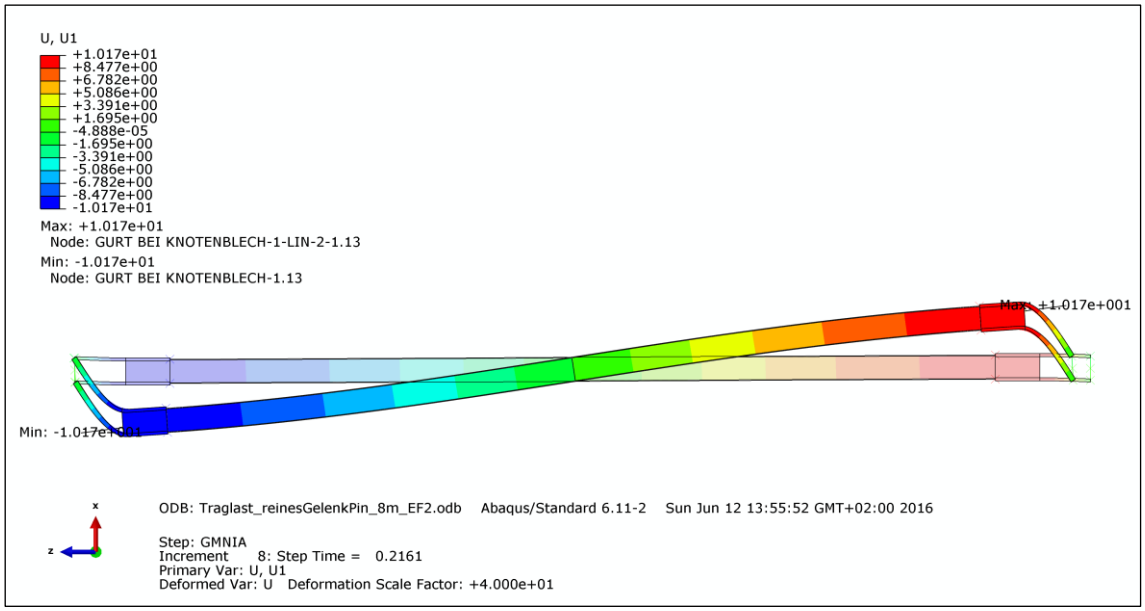


Abbildung 9-419: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm**

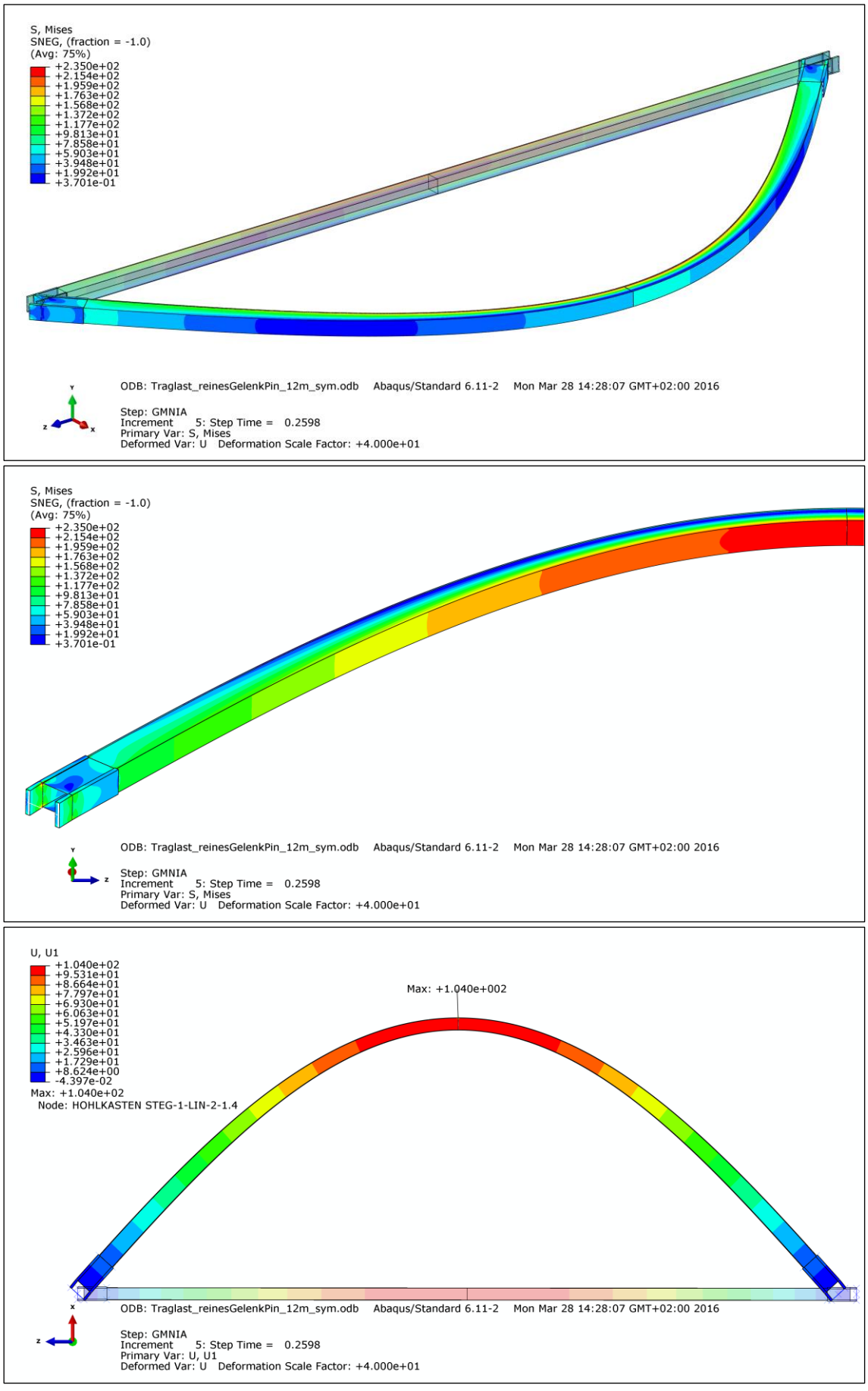
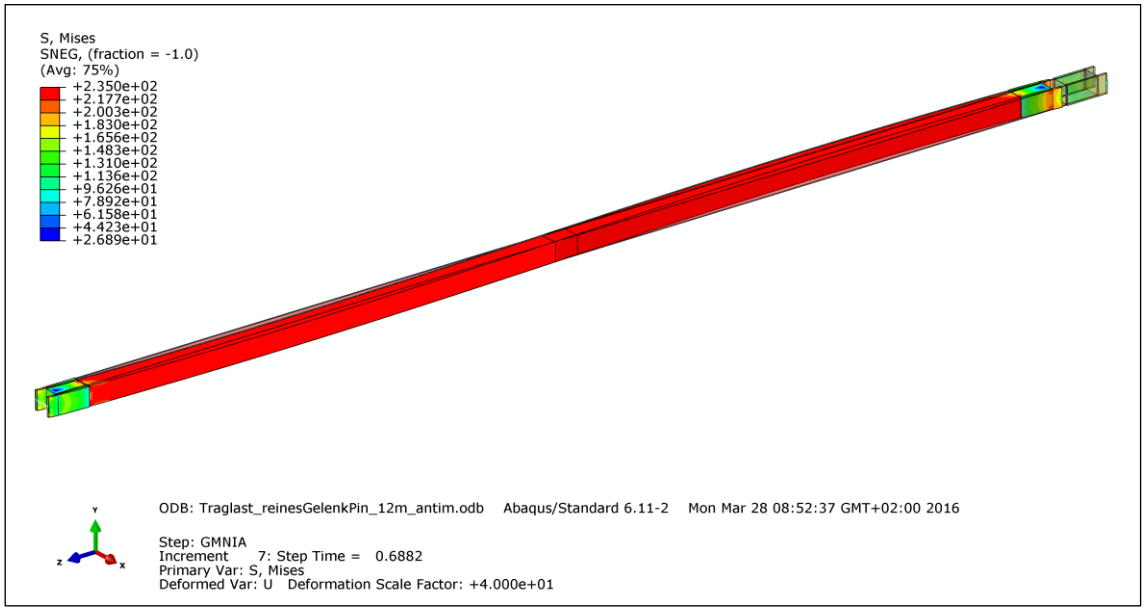
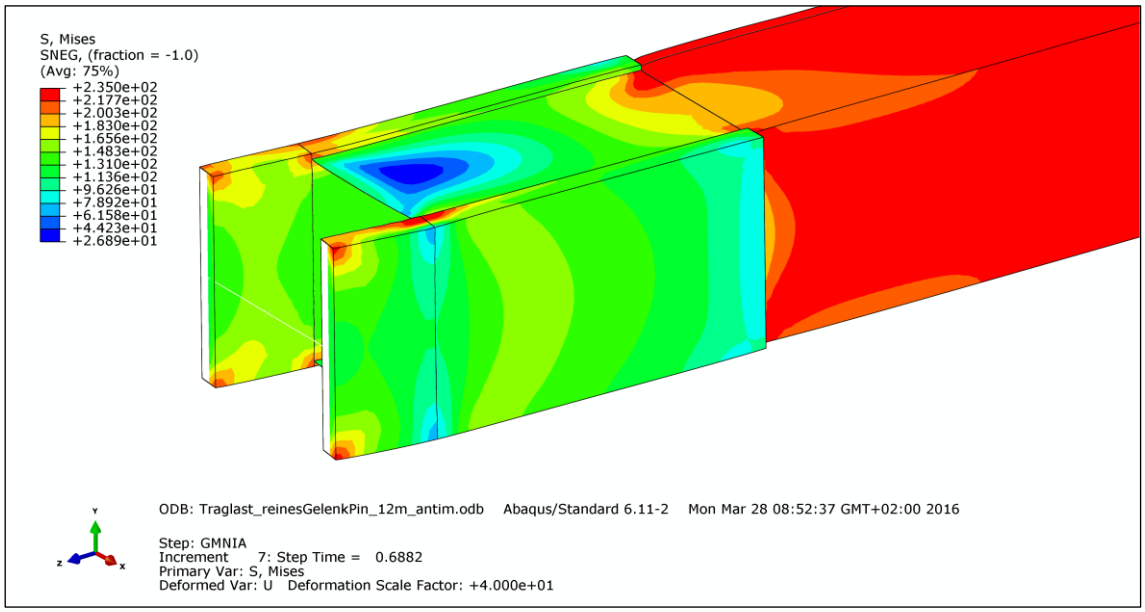


Abbildung 9-420: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym)





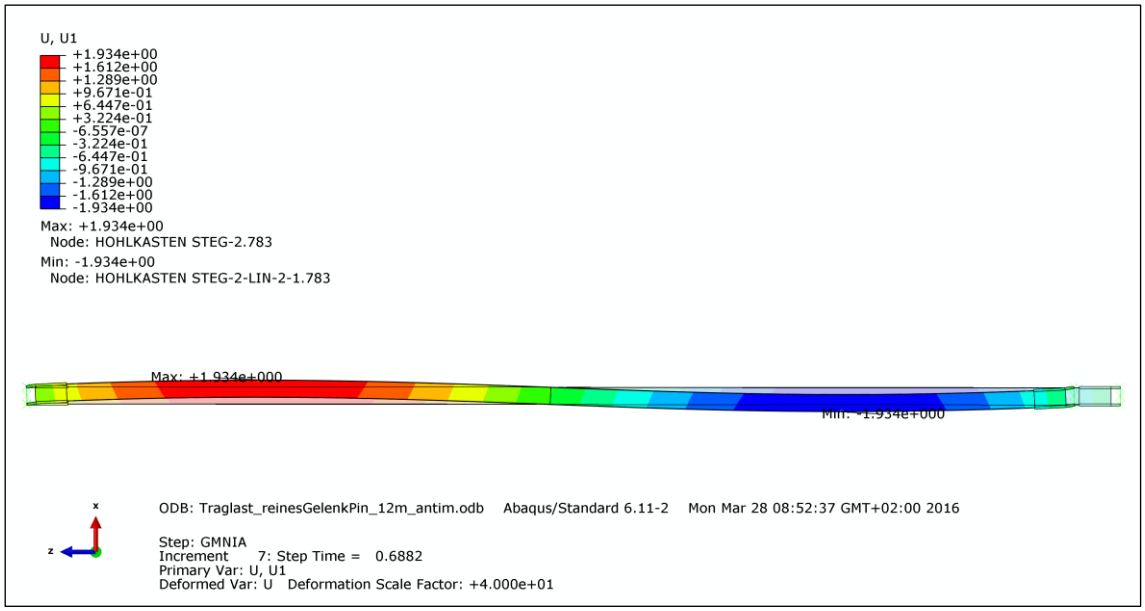
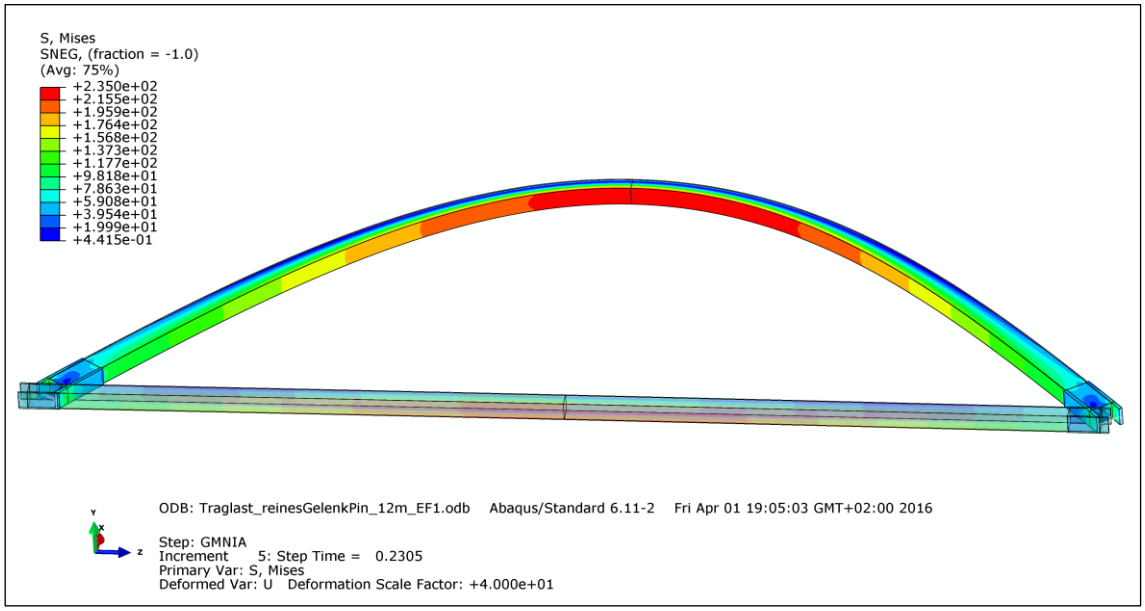
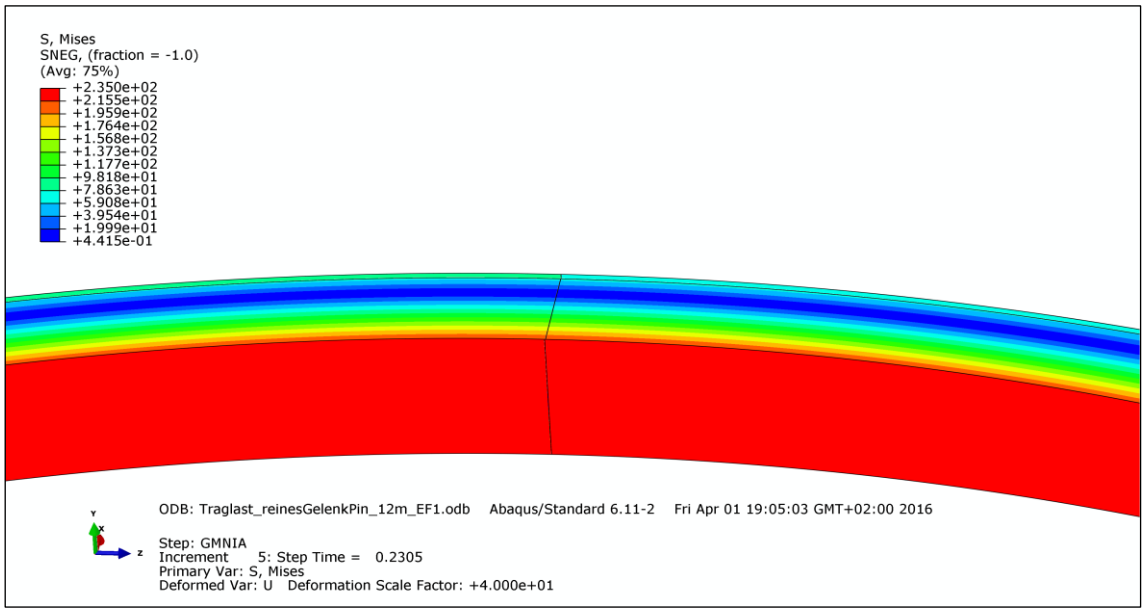


Abbildung 9-421: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim)





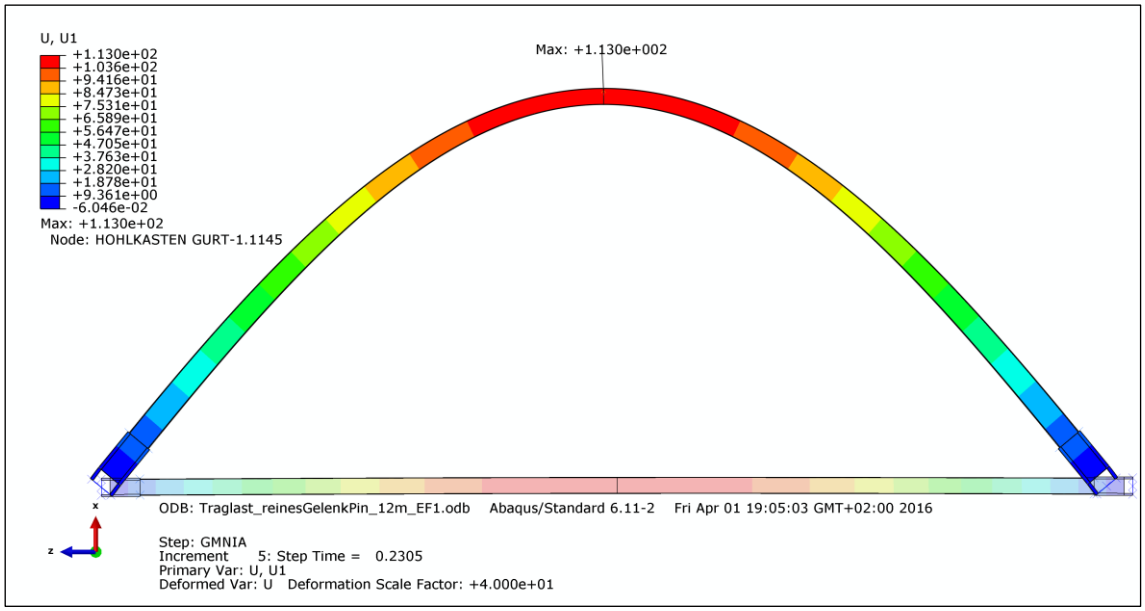
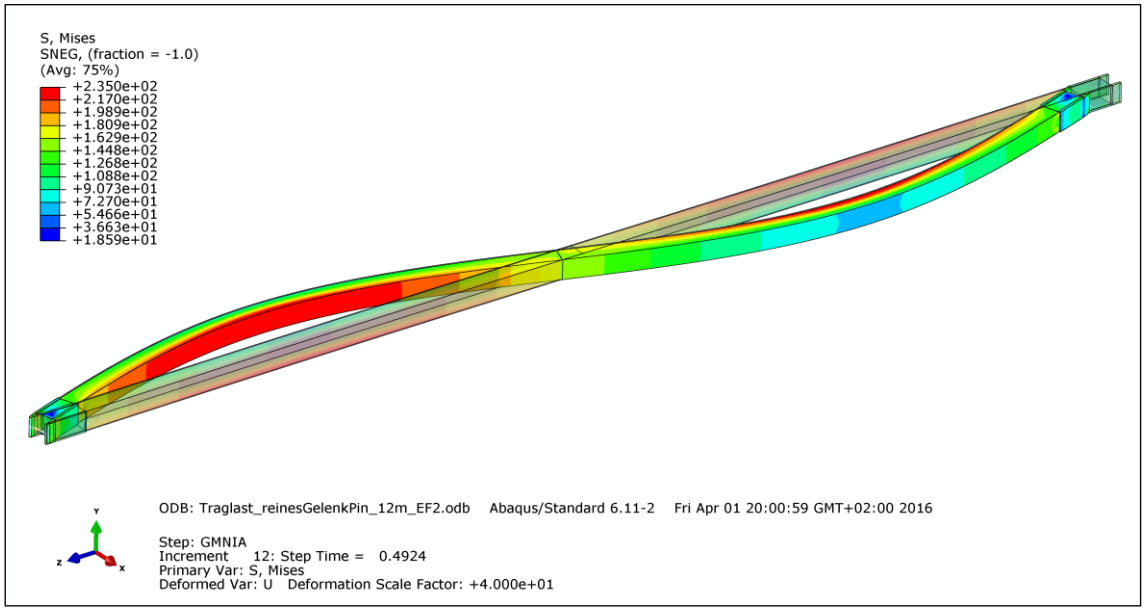
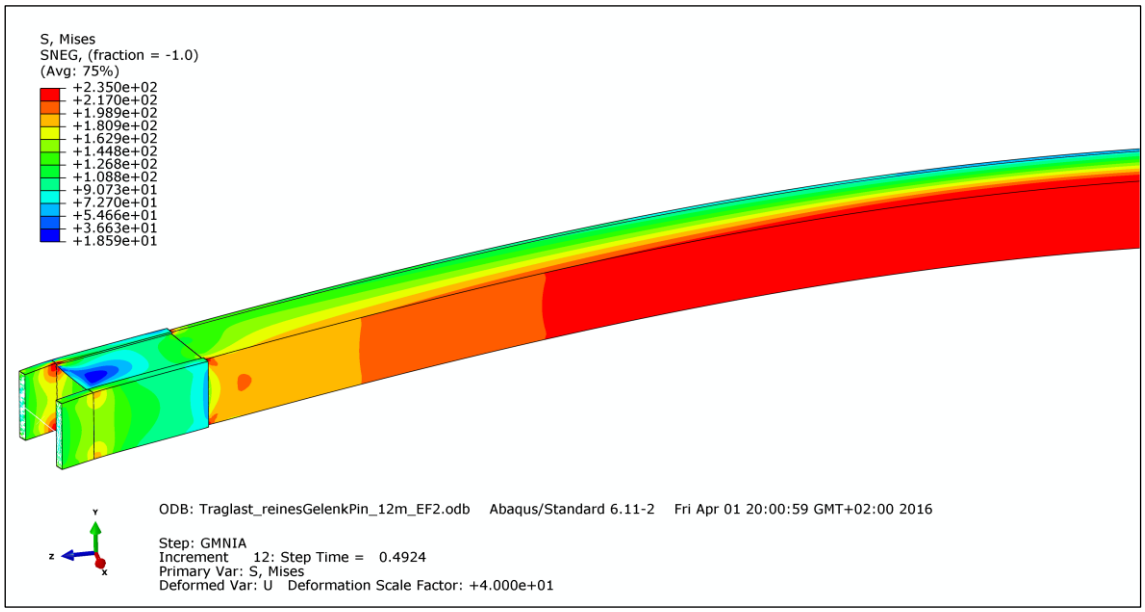


Abbildung 9-422: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





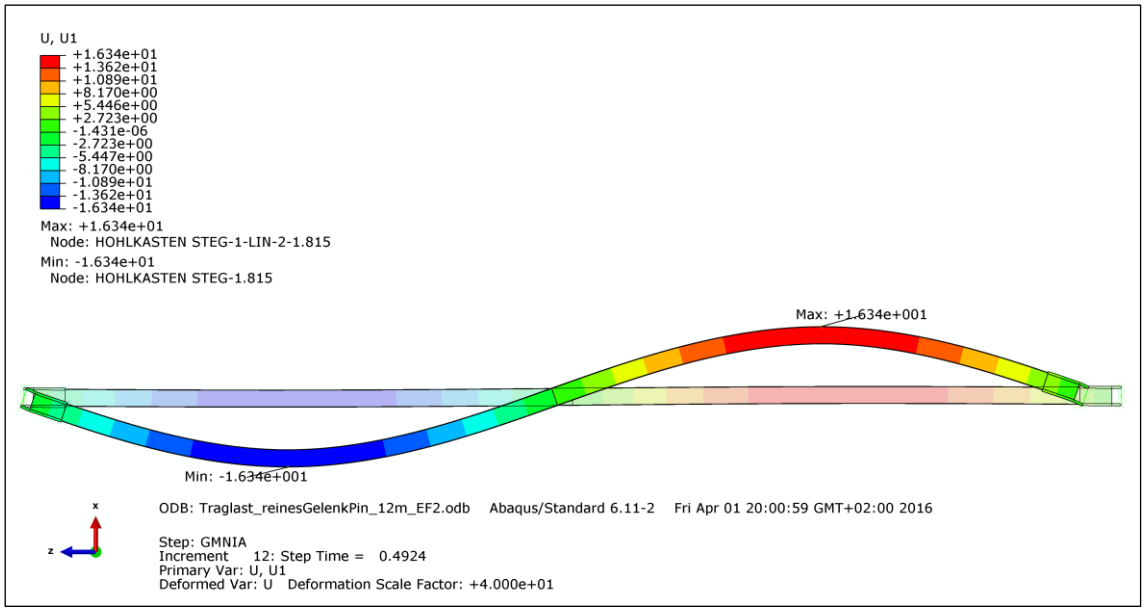
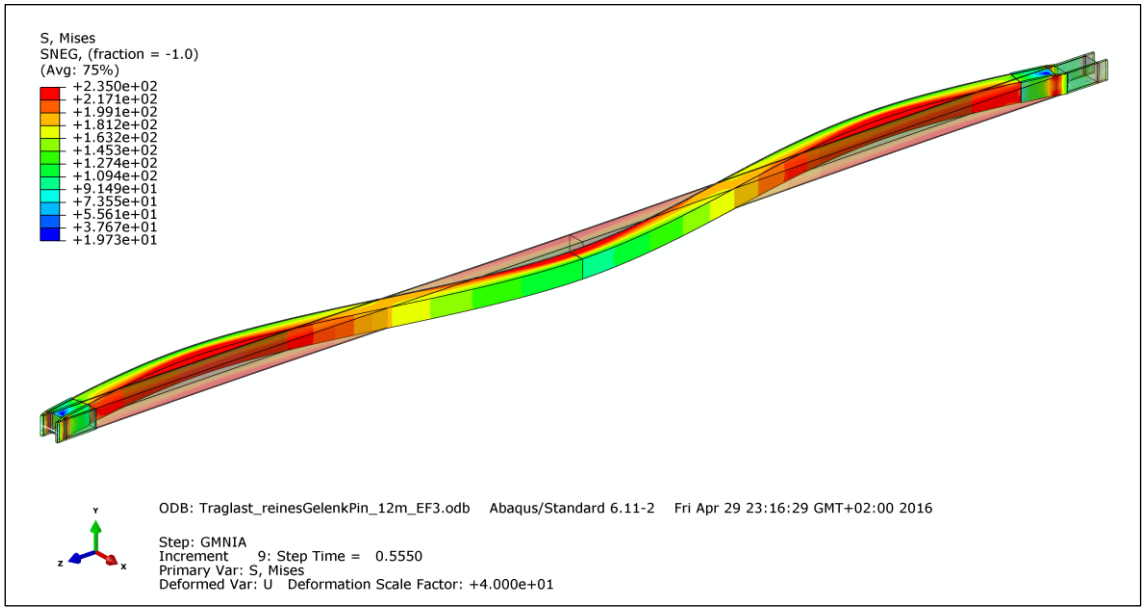
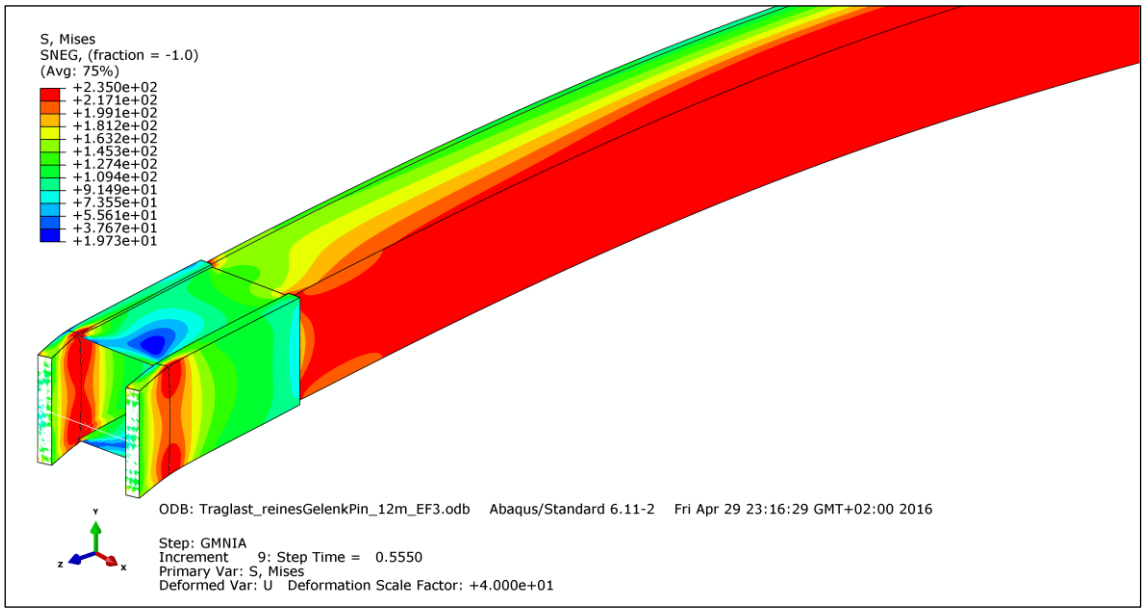


Abbildung 9-423: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





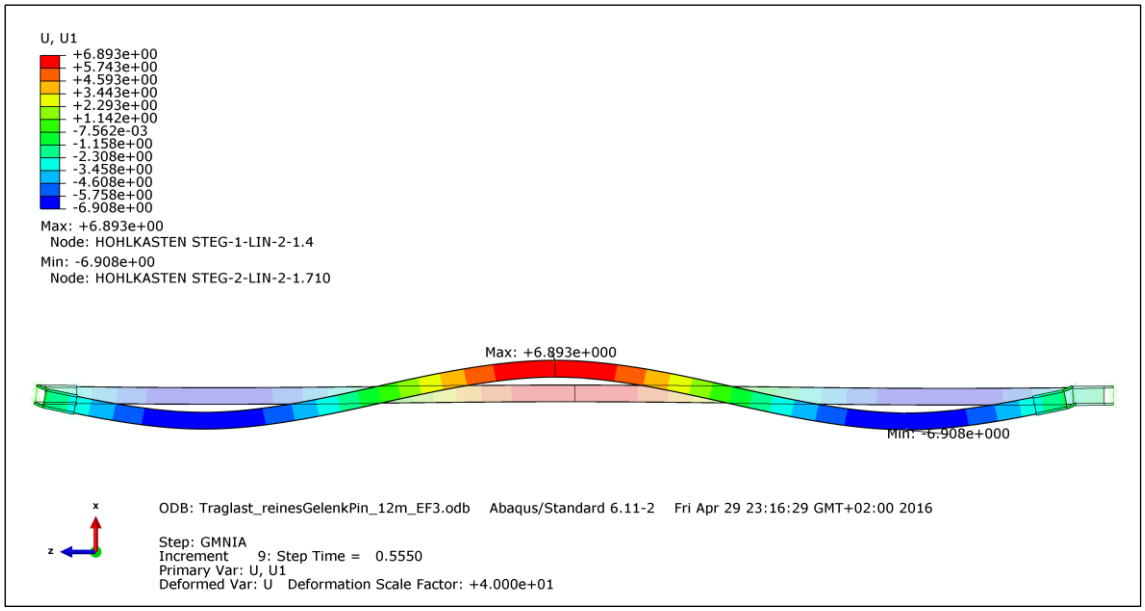
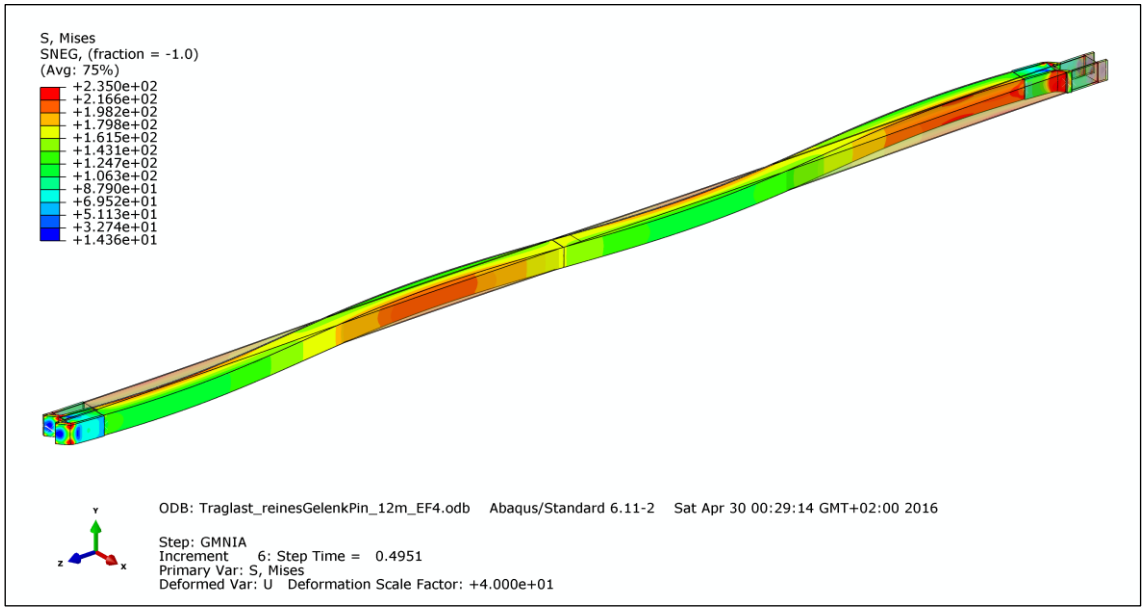
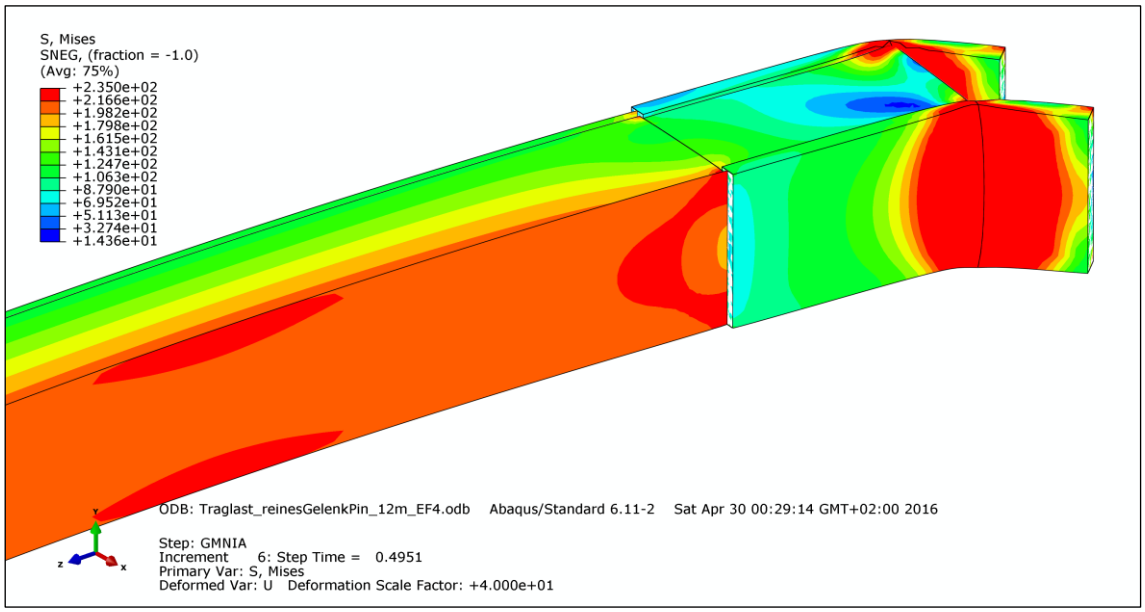


Abbildung 9-424: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





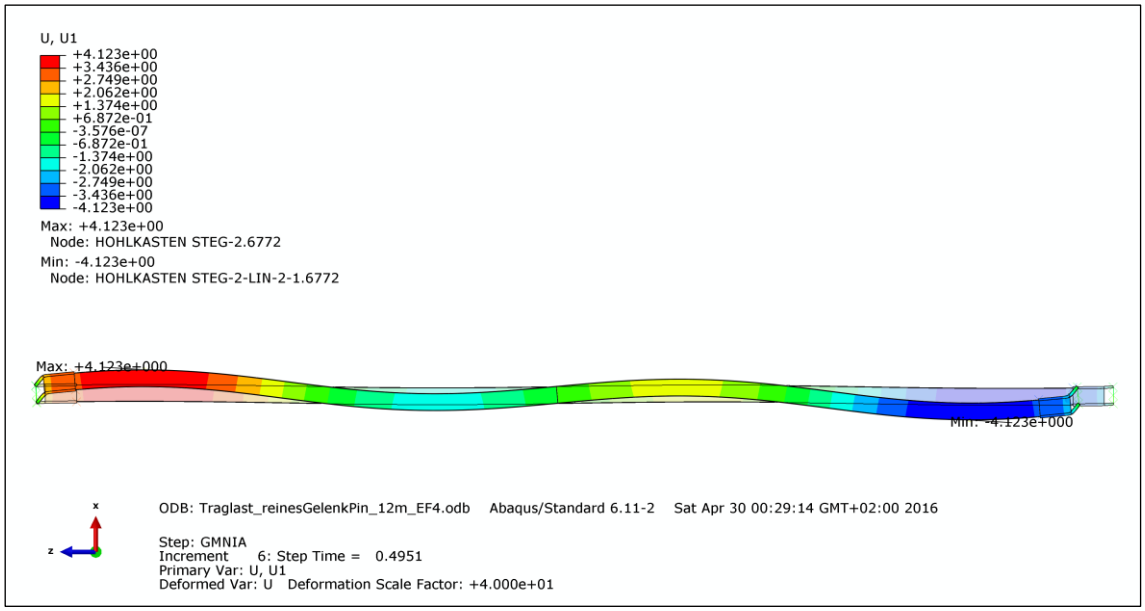
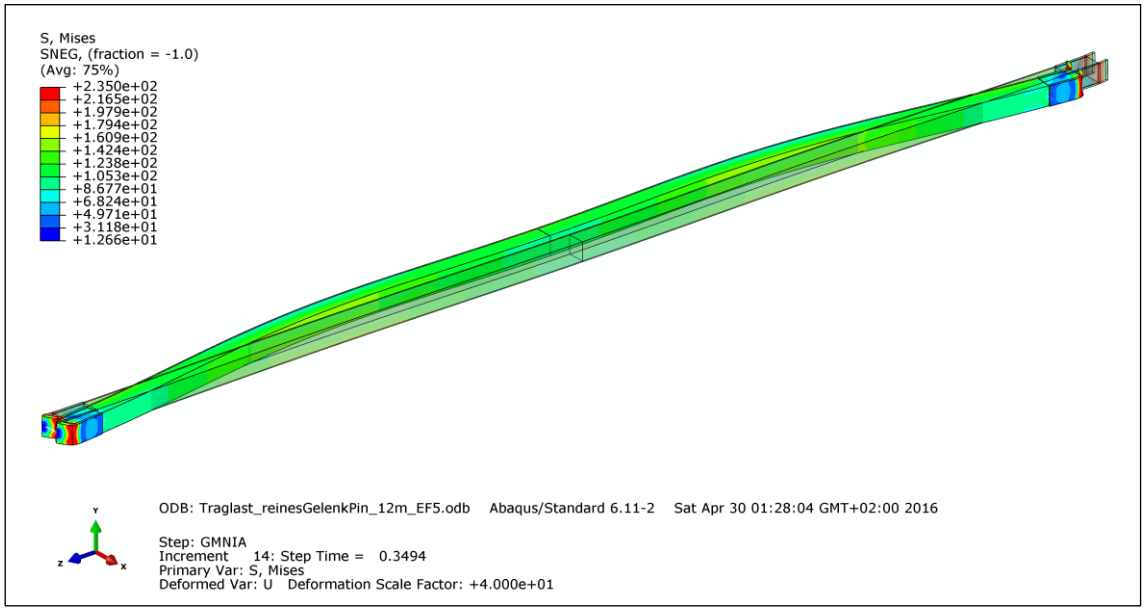
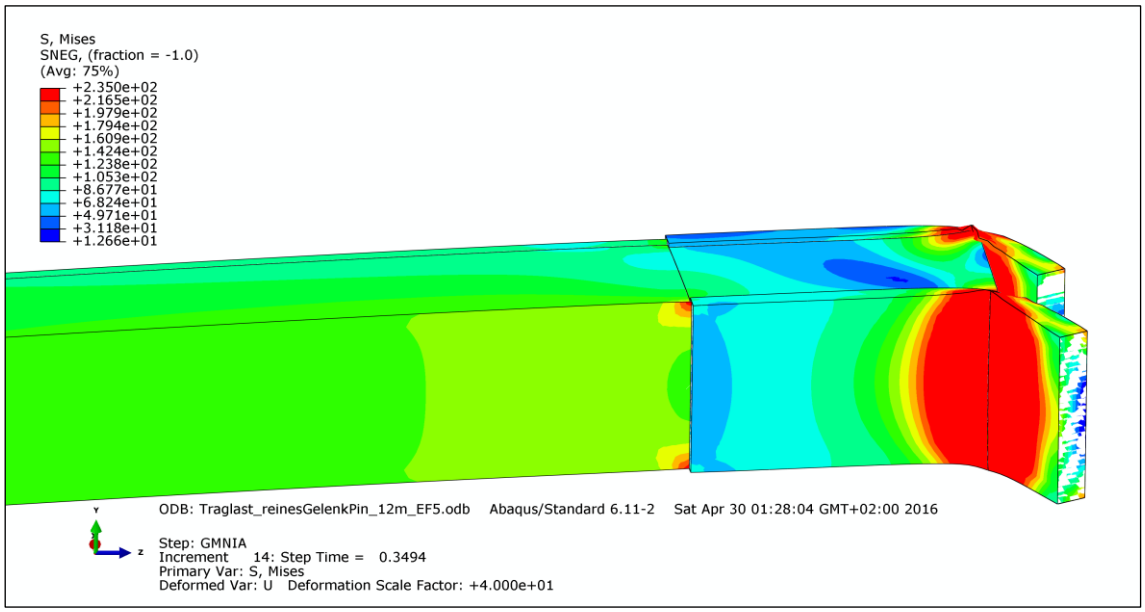


Abbildung 9-425: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4





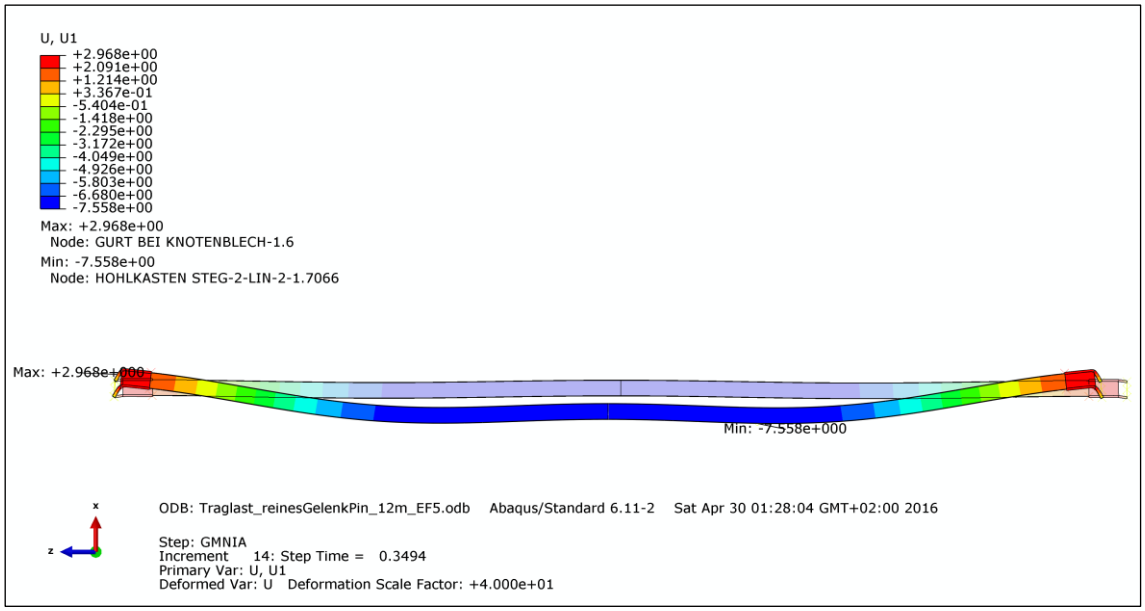
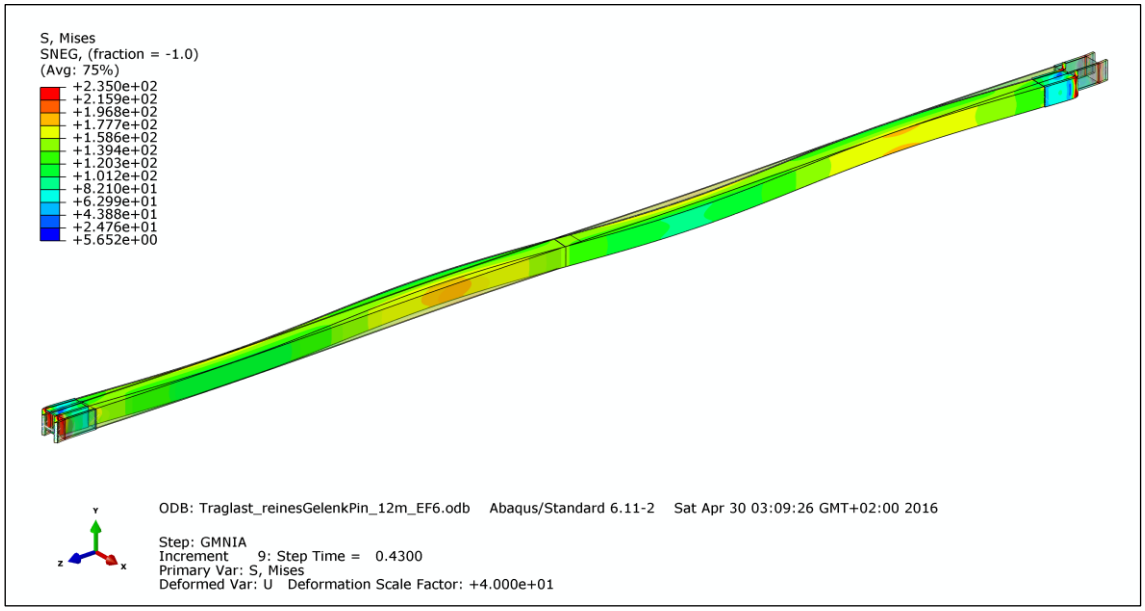
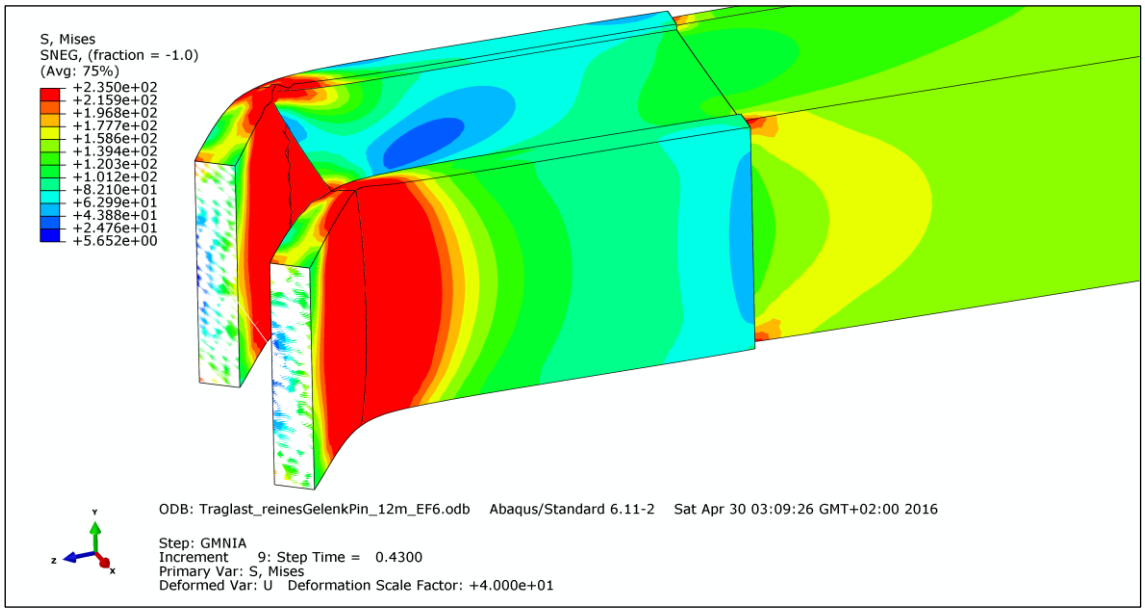


Abbildung 9-426: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5





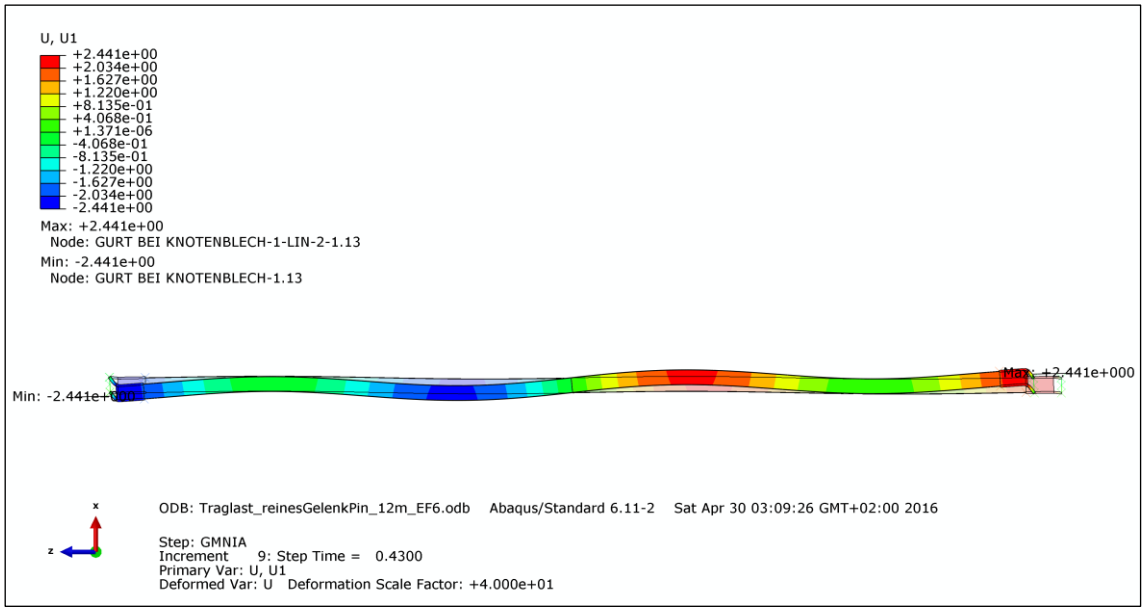
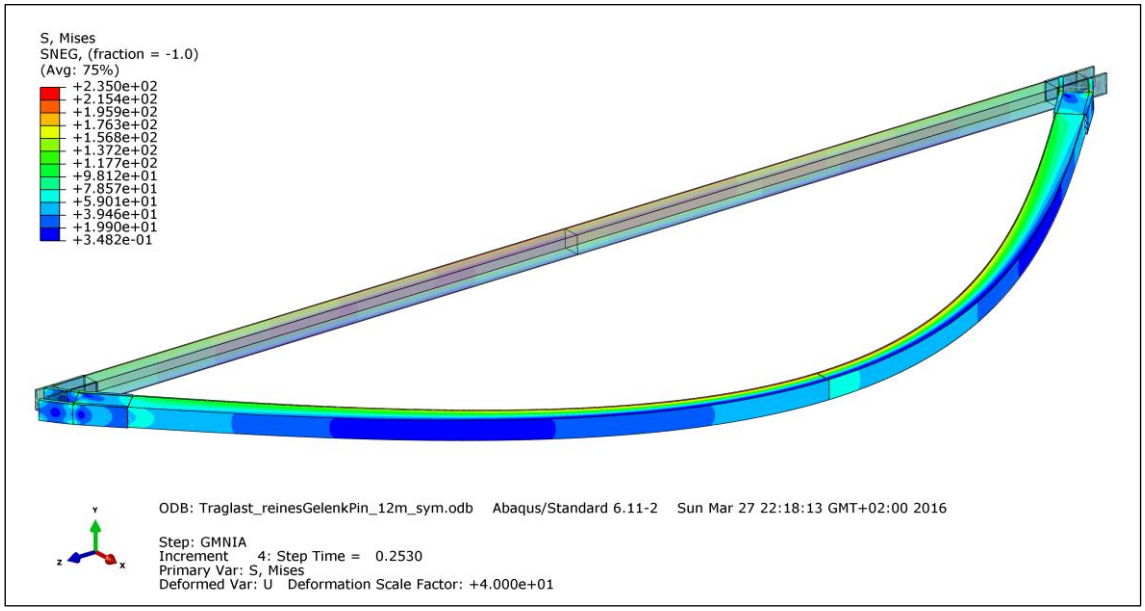
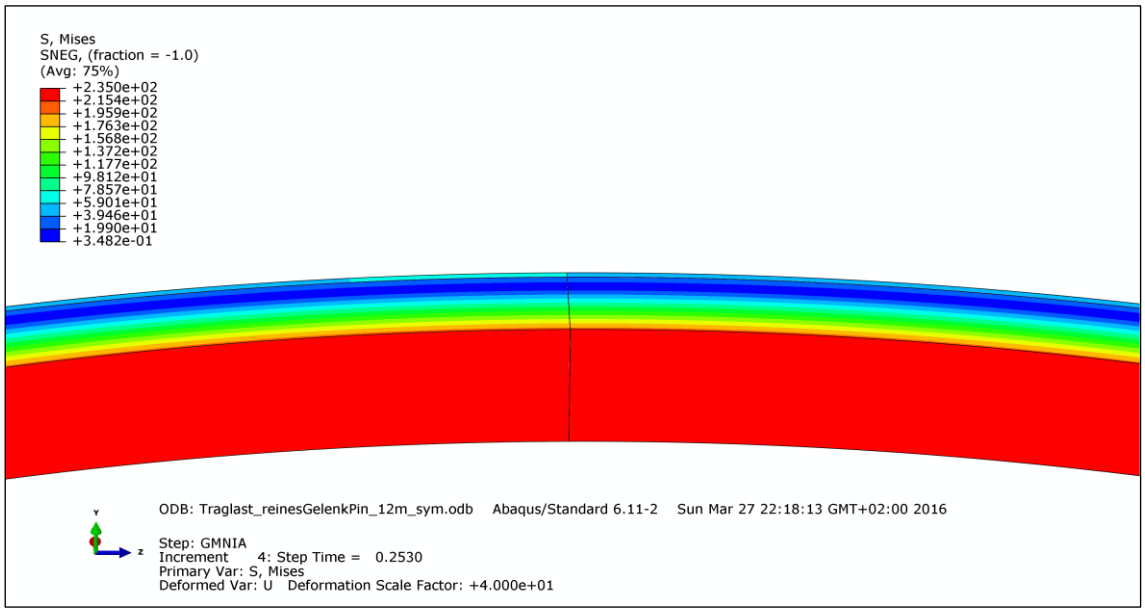


Abbildung 9-427: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6





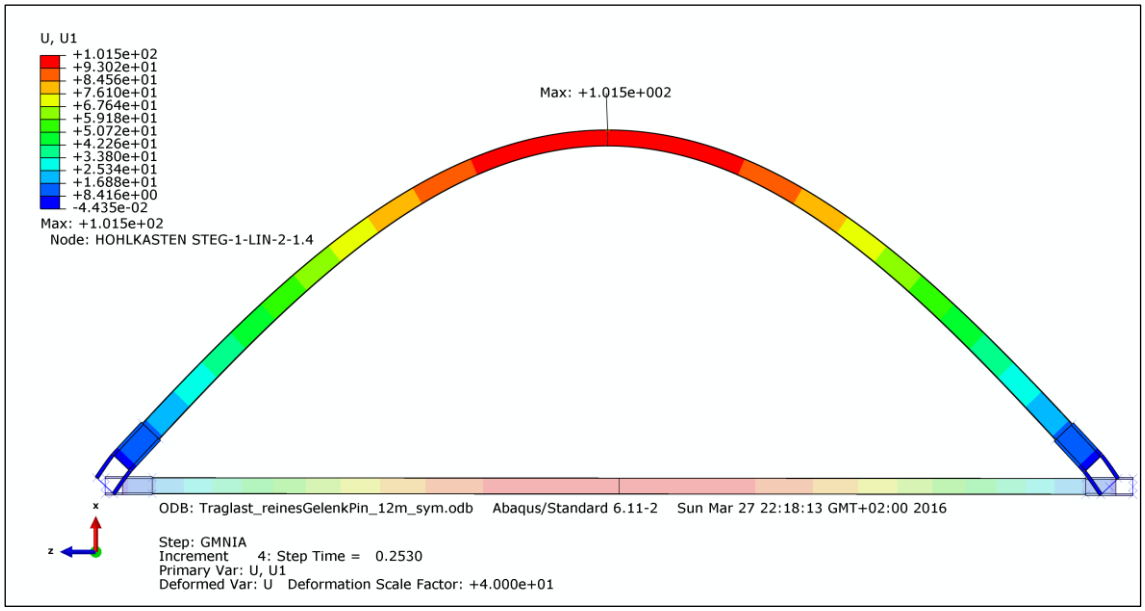
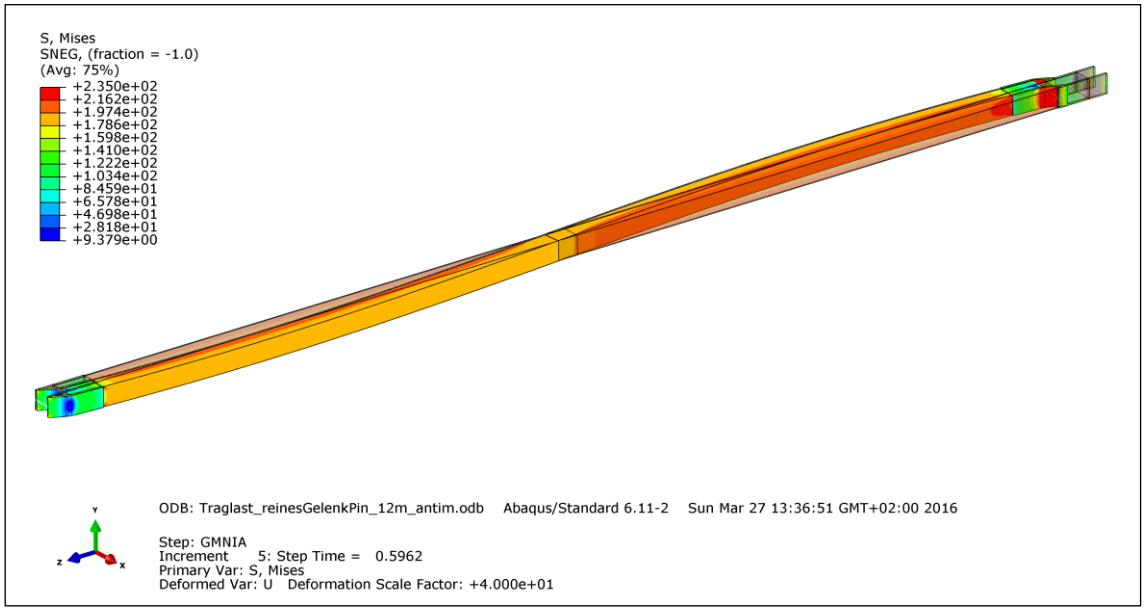
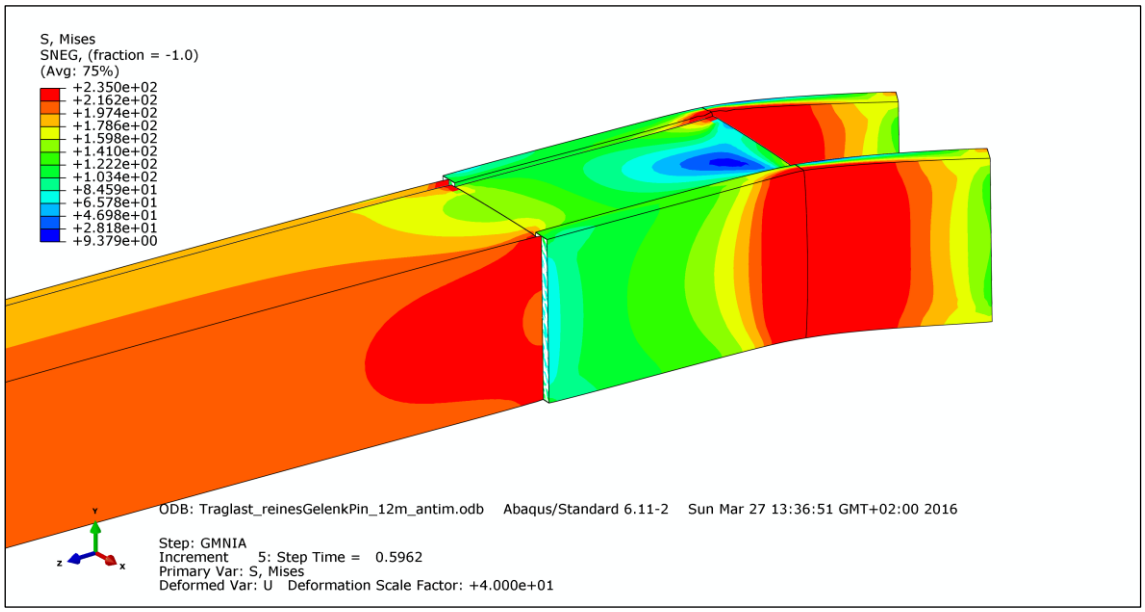


Abbildung 9-428: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym)





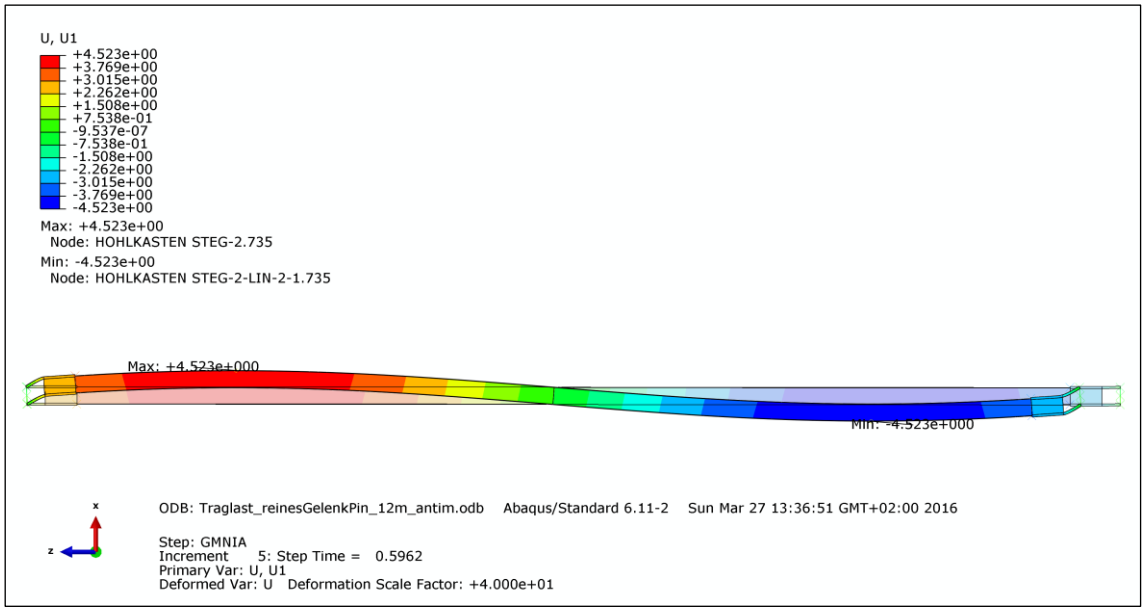
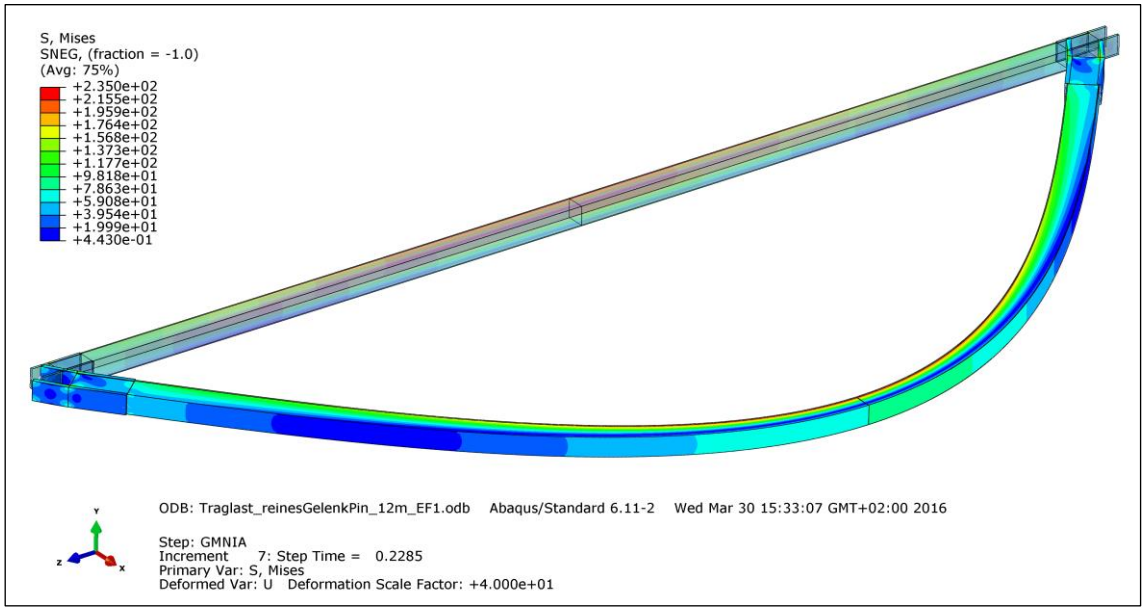
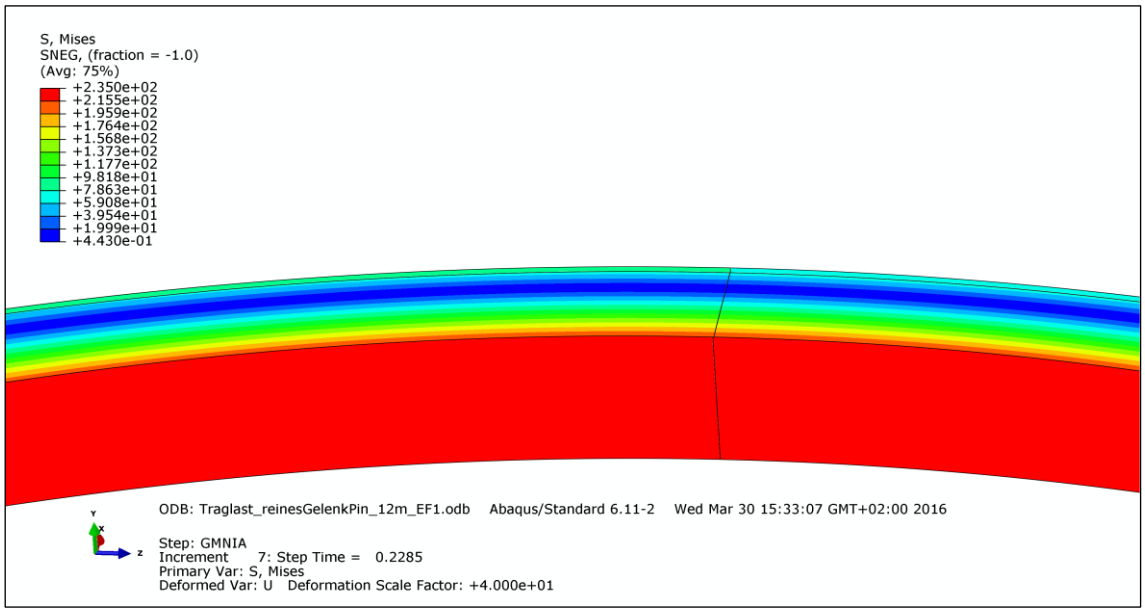


Abbildung 9-429: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim)





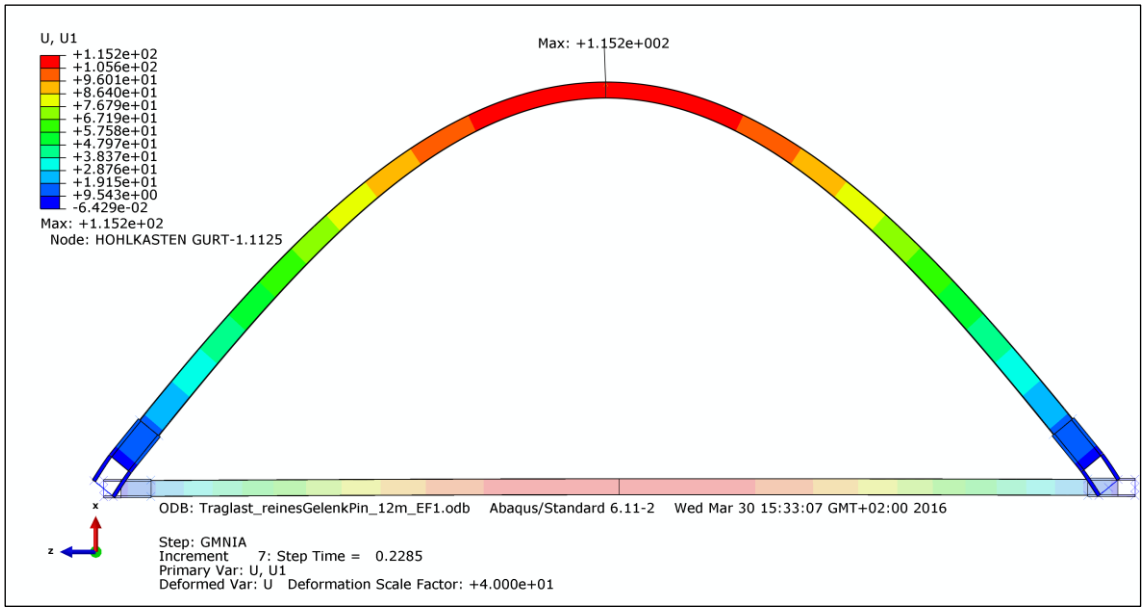
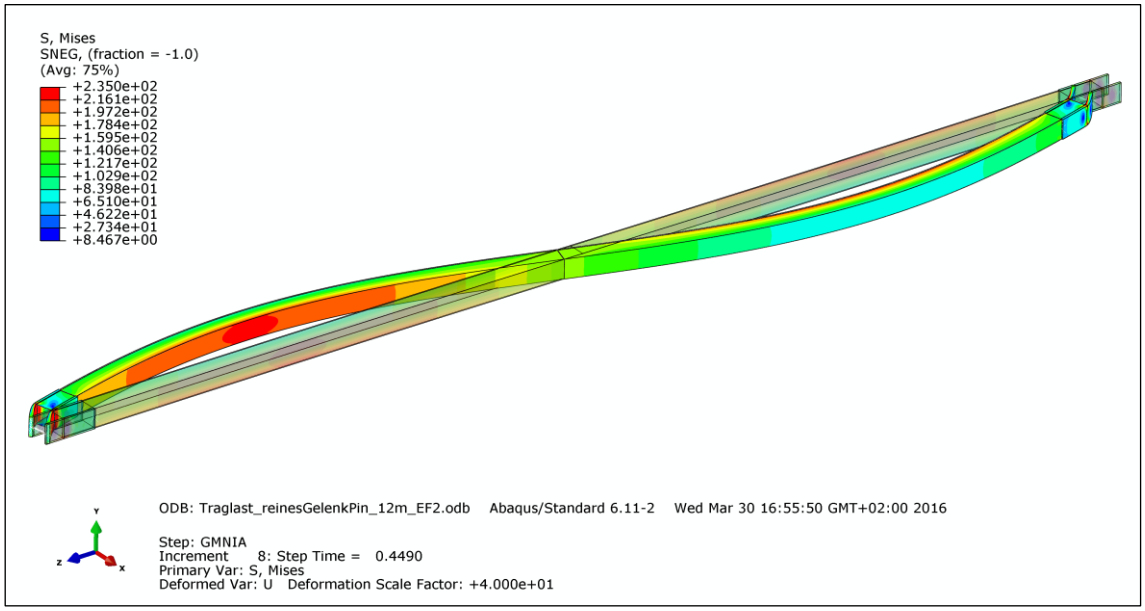
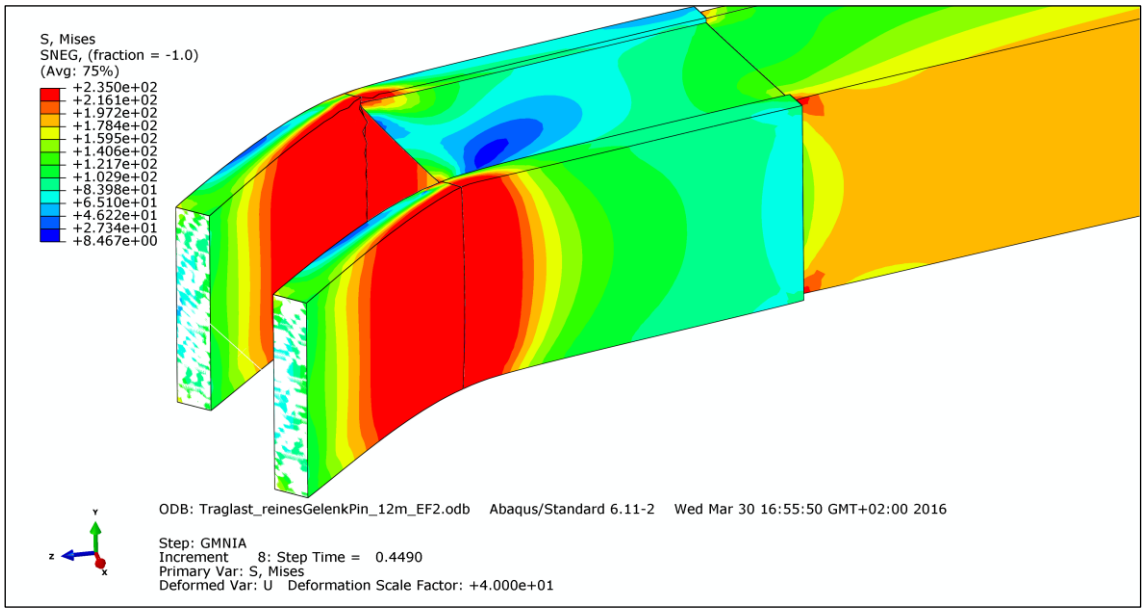


Abbildung 9-430: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1





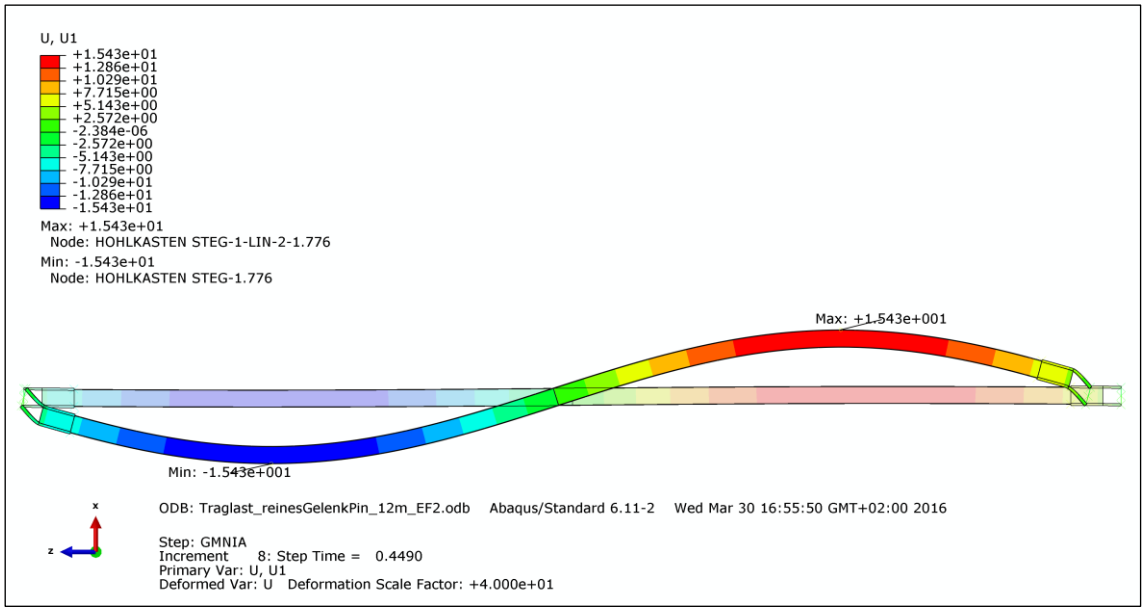
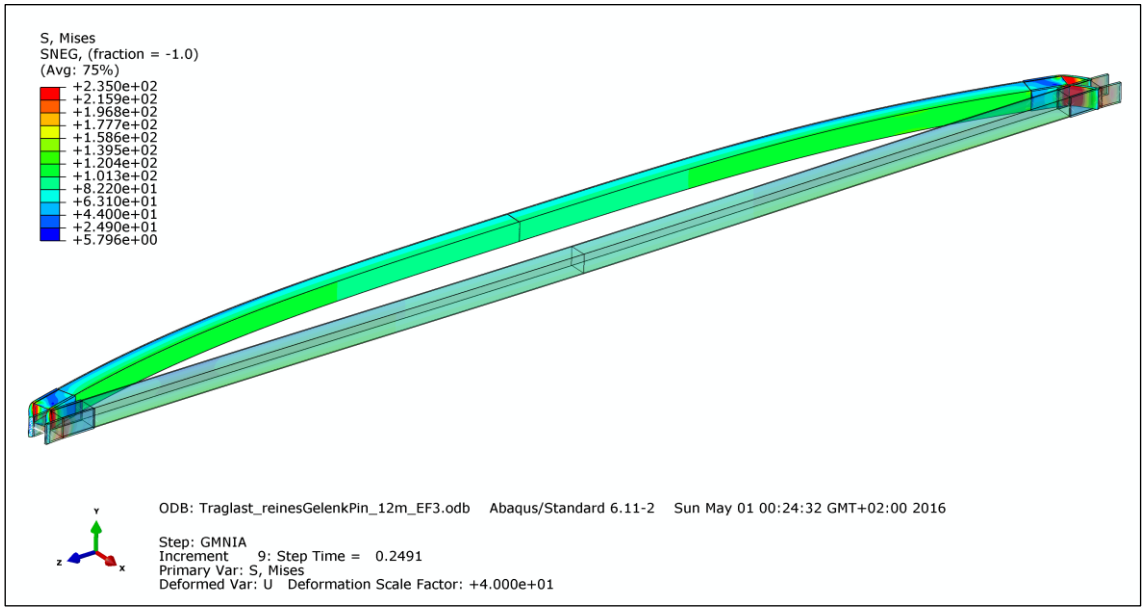
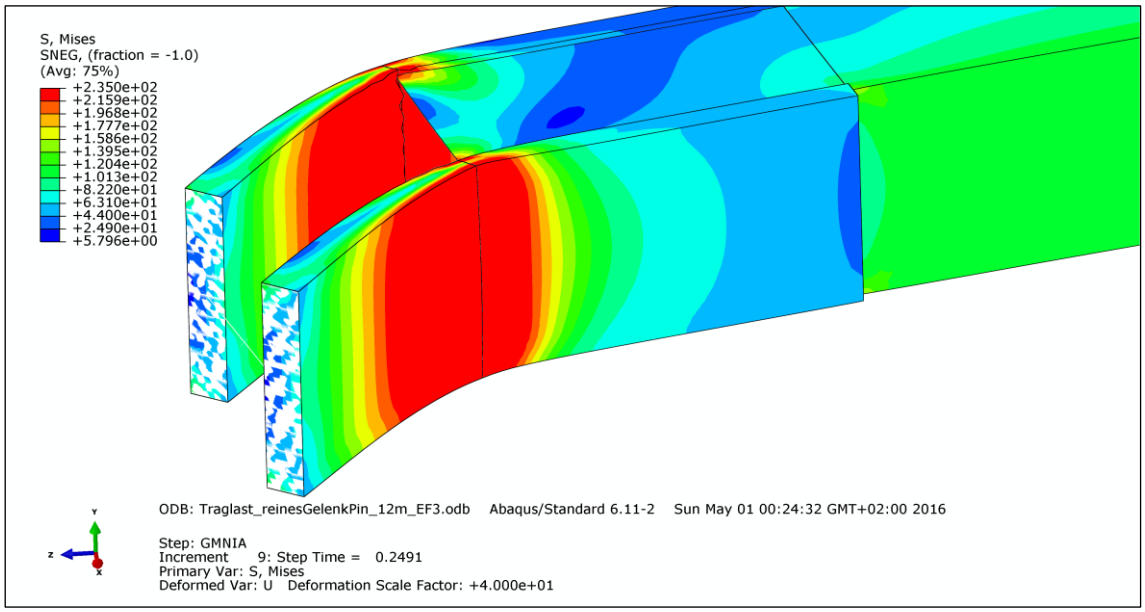


Abbildung 9-431: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2





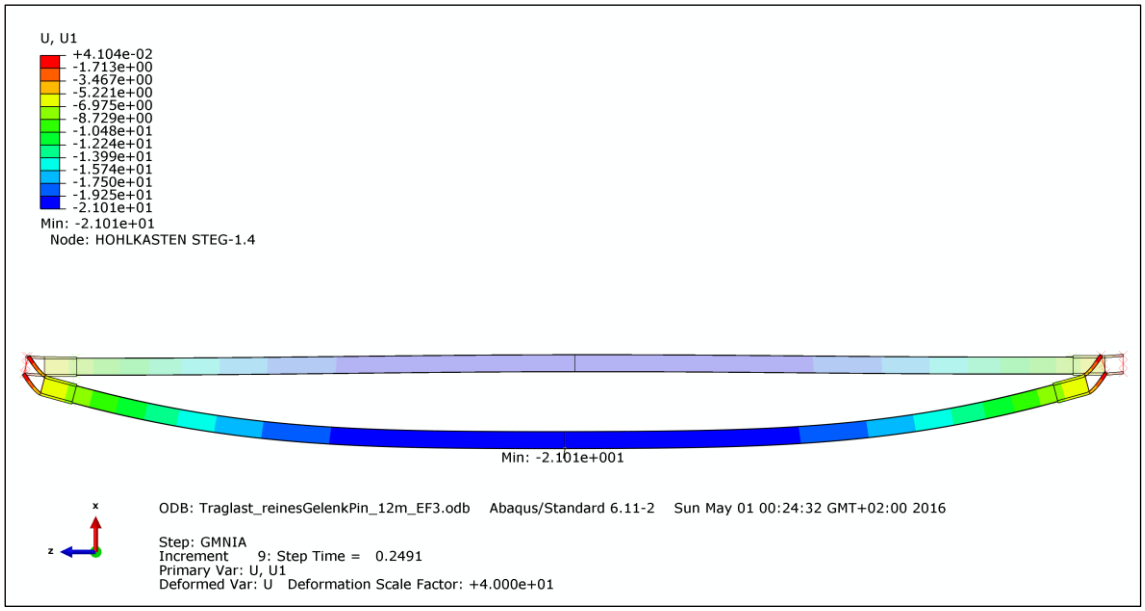
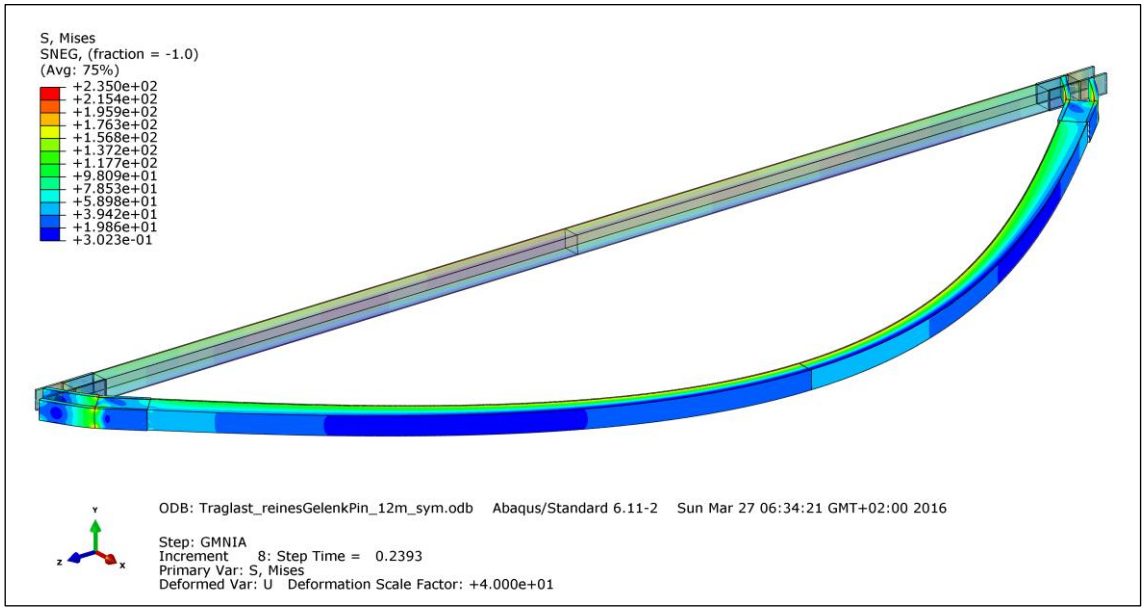
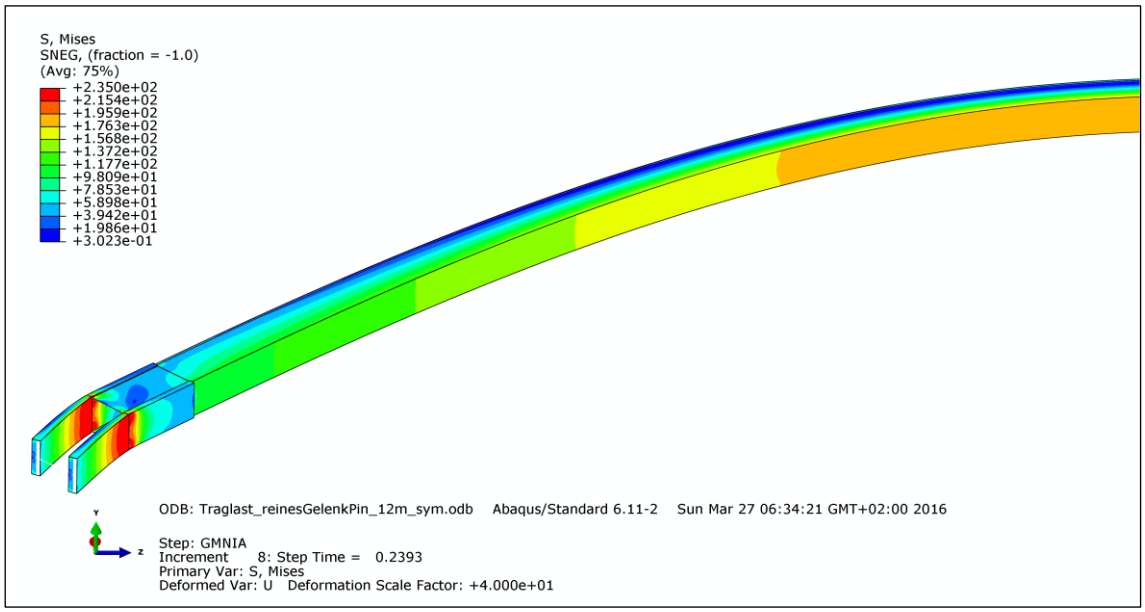


Abbildung 9-432: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3





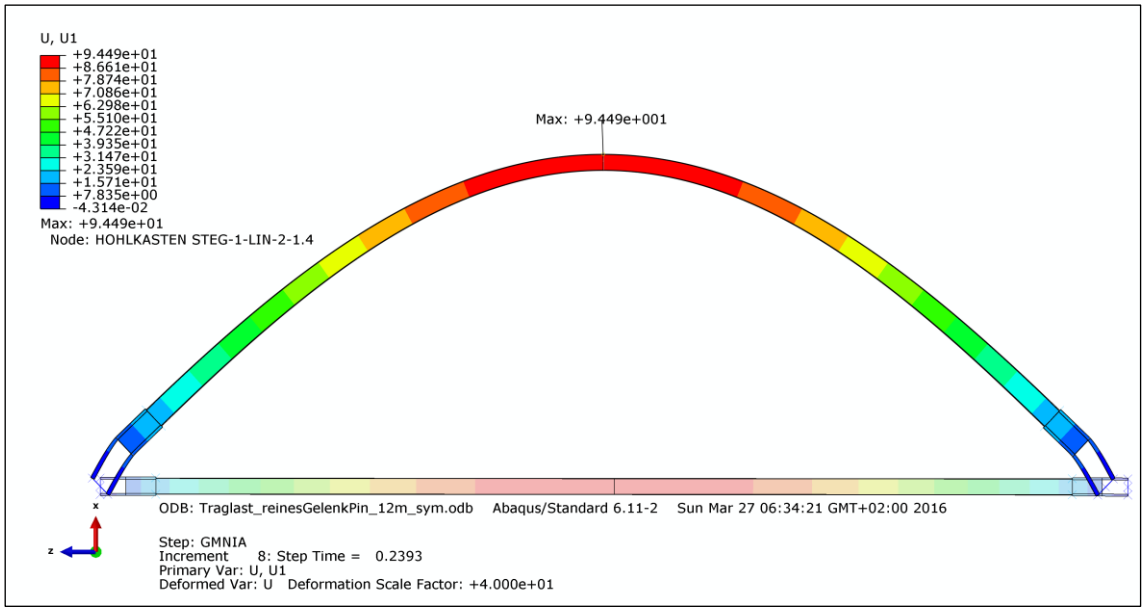
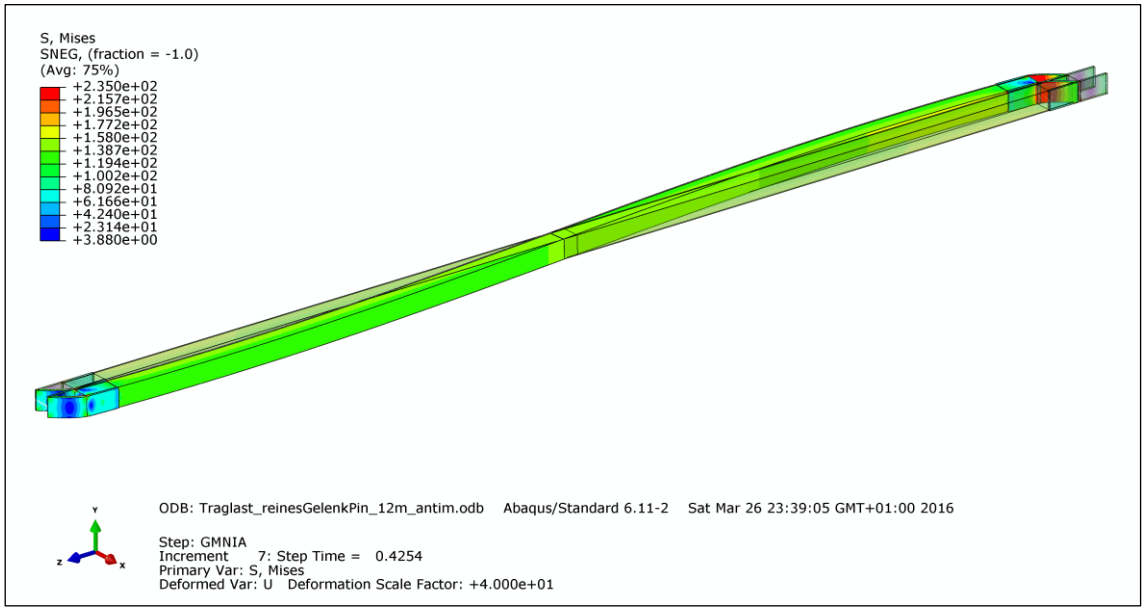
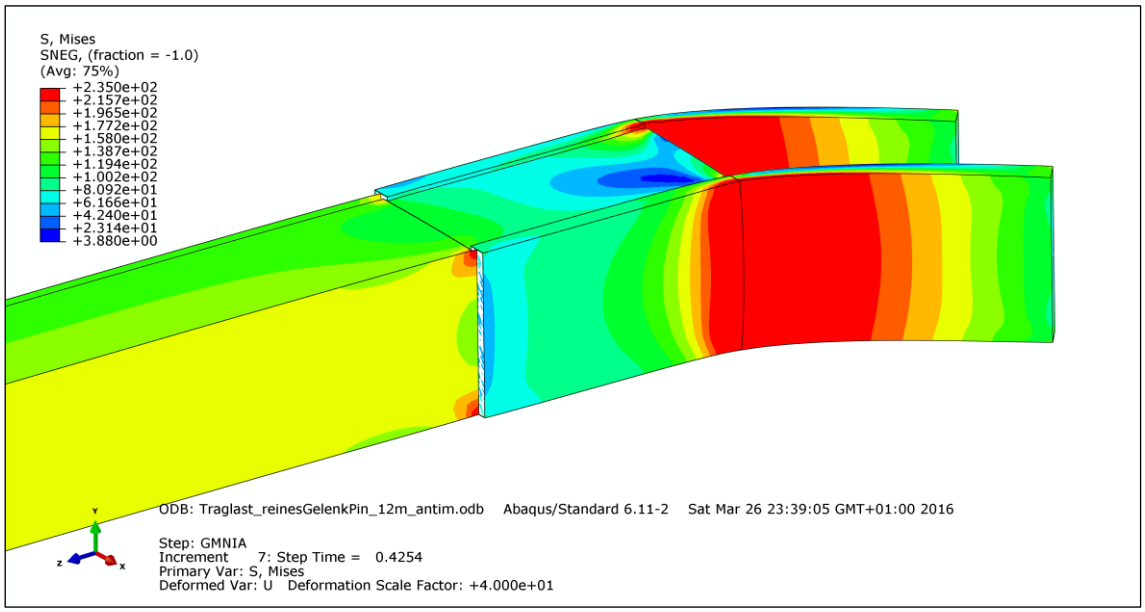


Abbildung 9-433: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym)





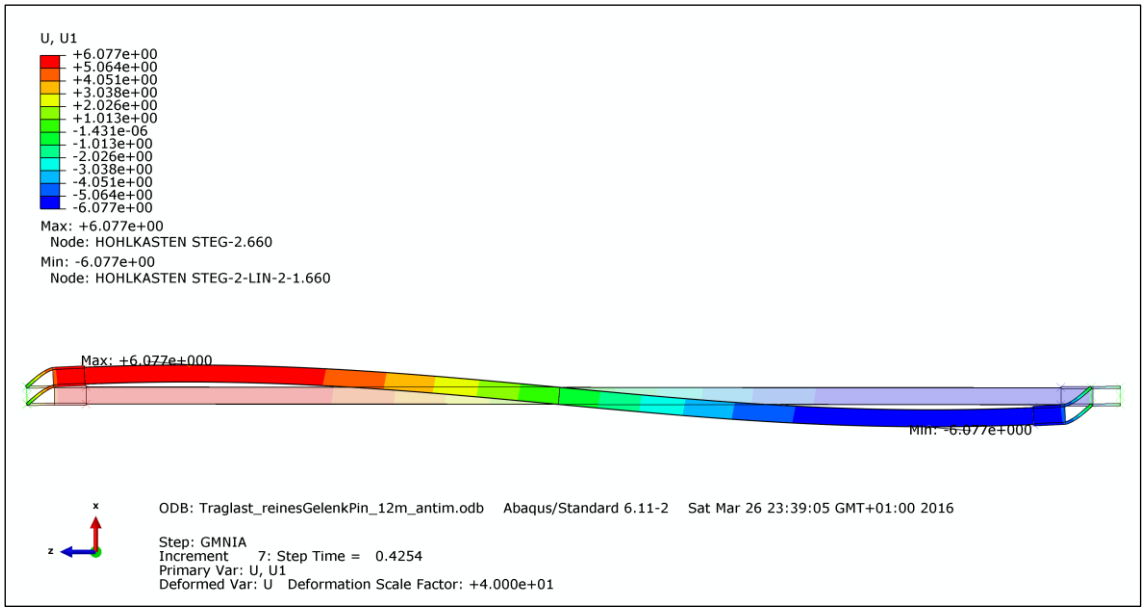
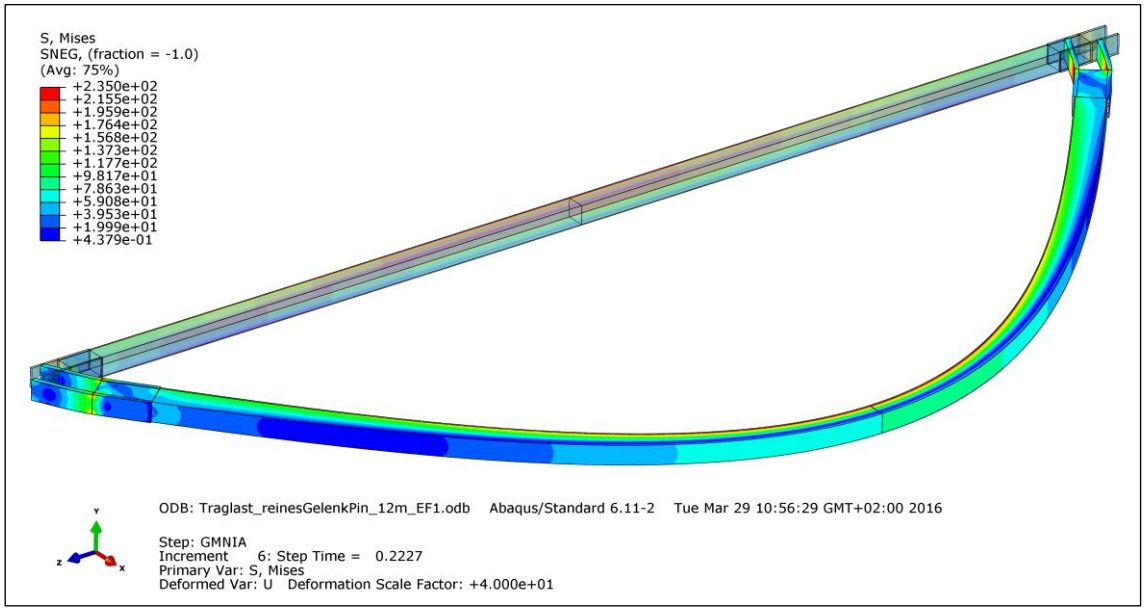
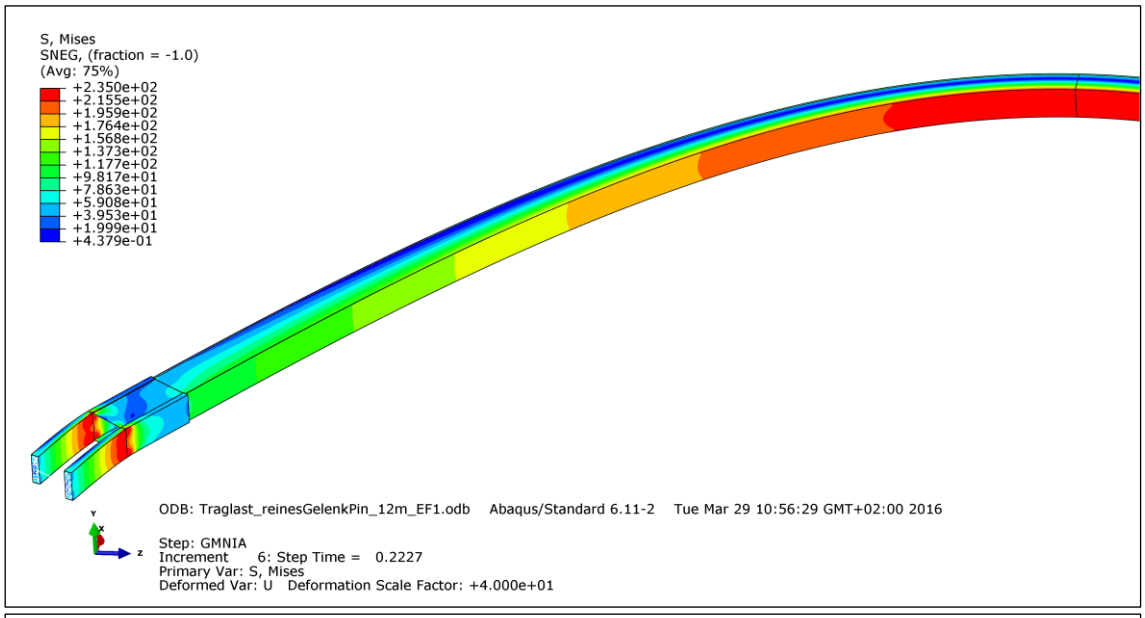


Abbildung 9-434: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim)





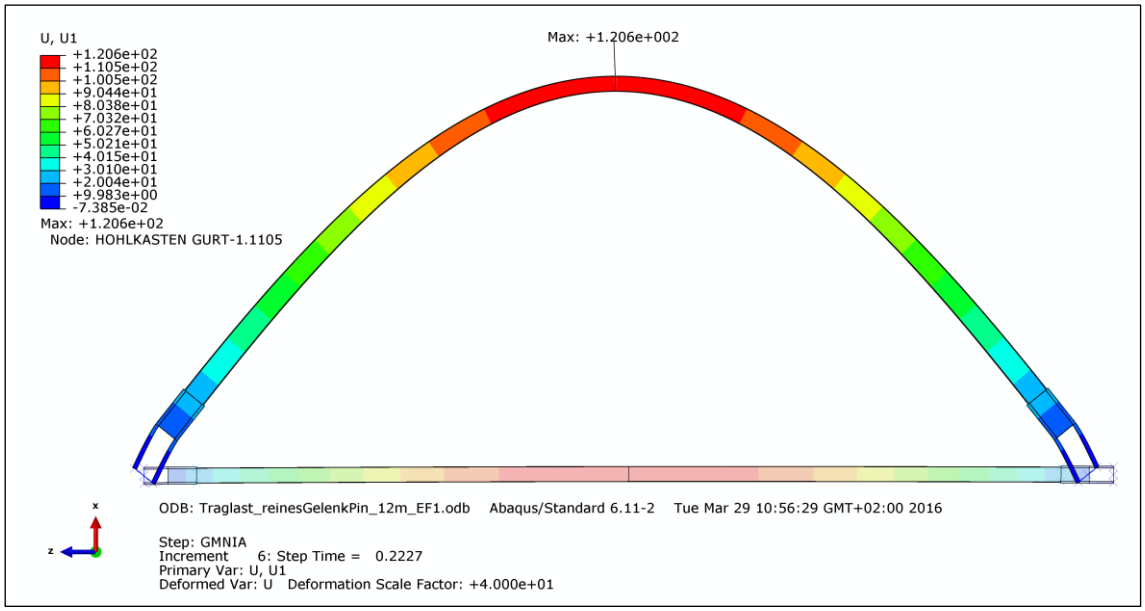
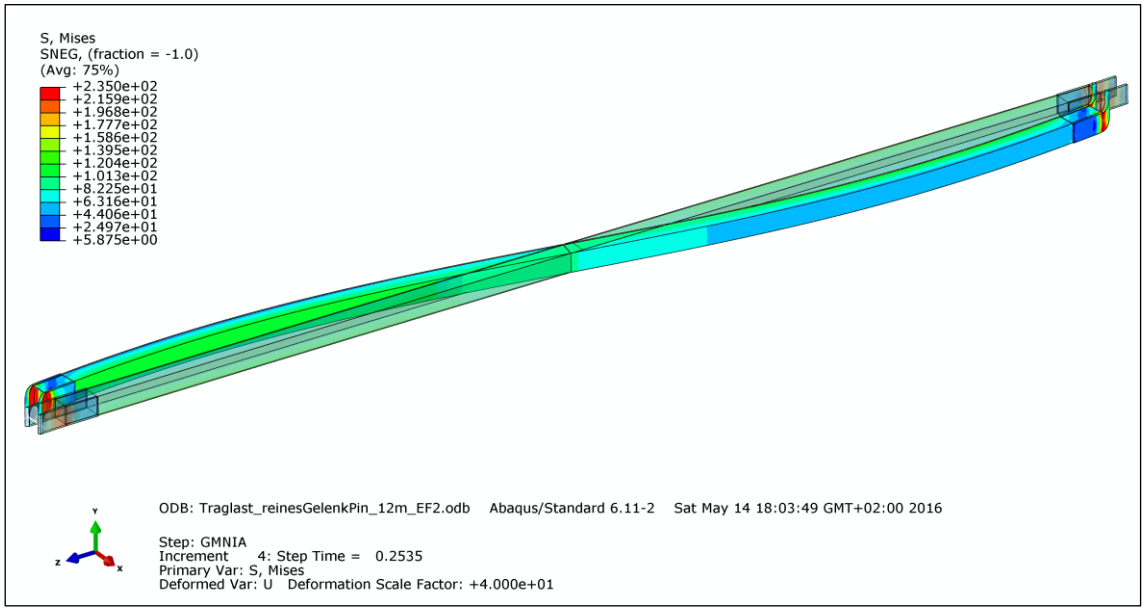
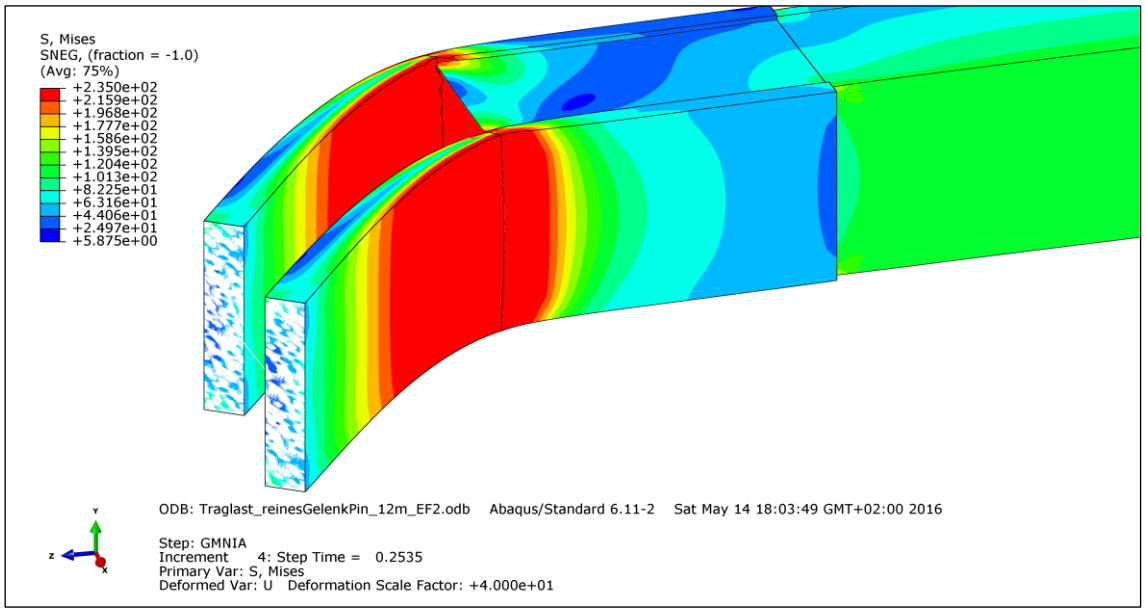


Abbildung 9-435: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1





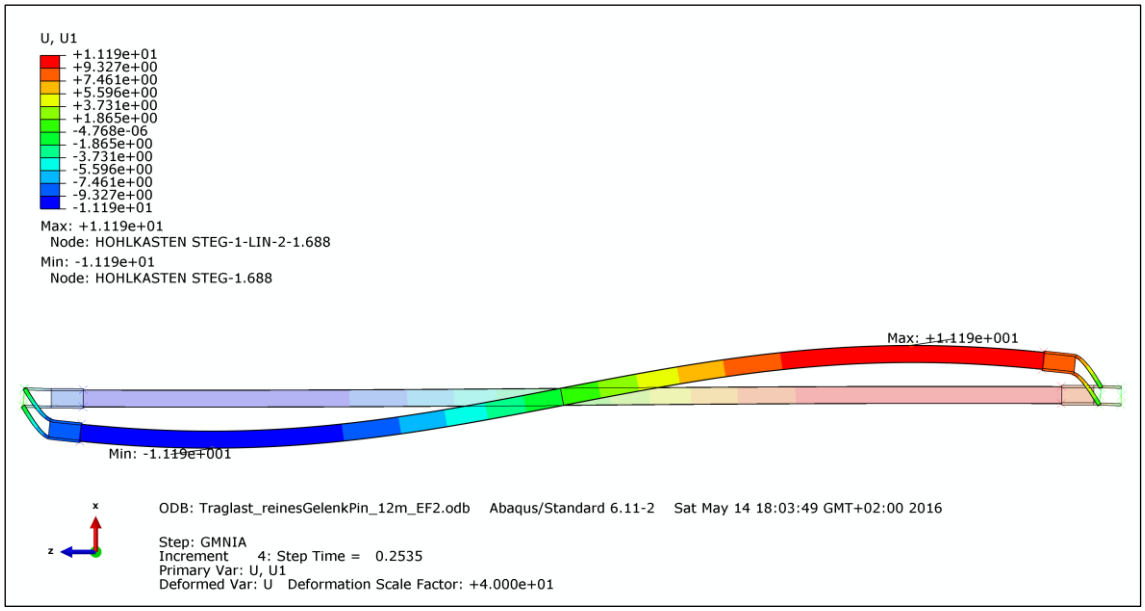
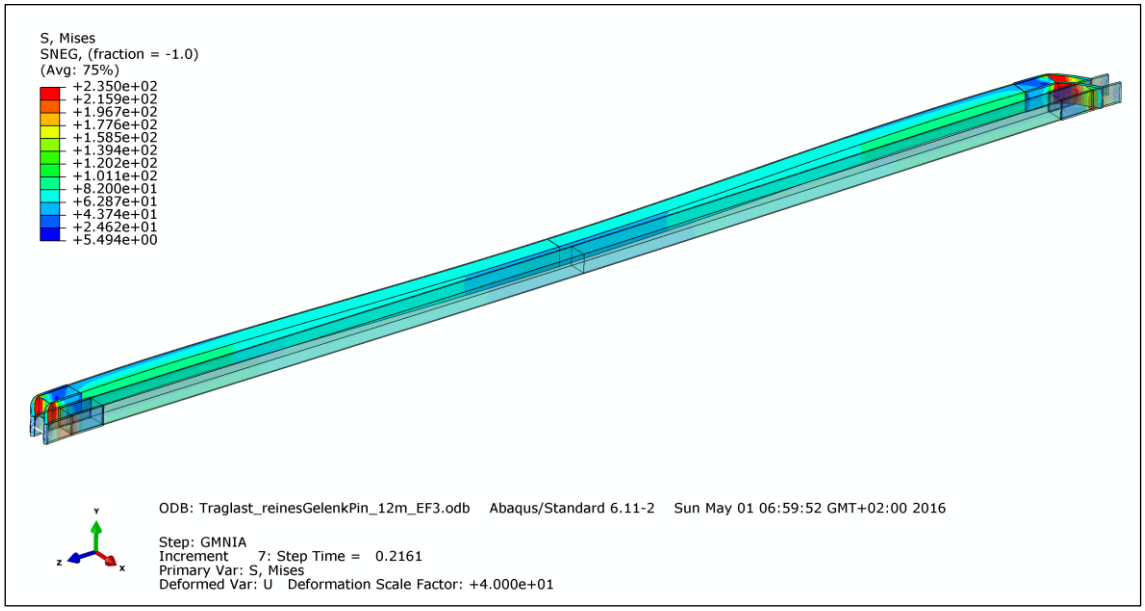
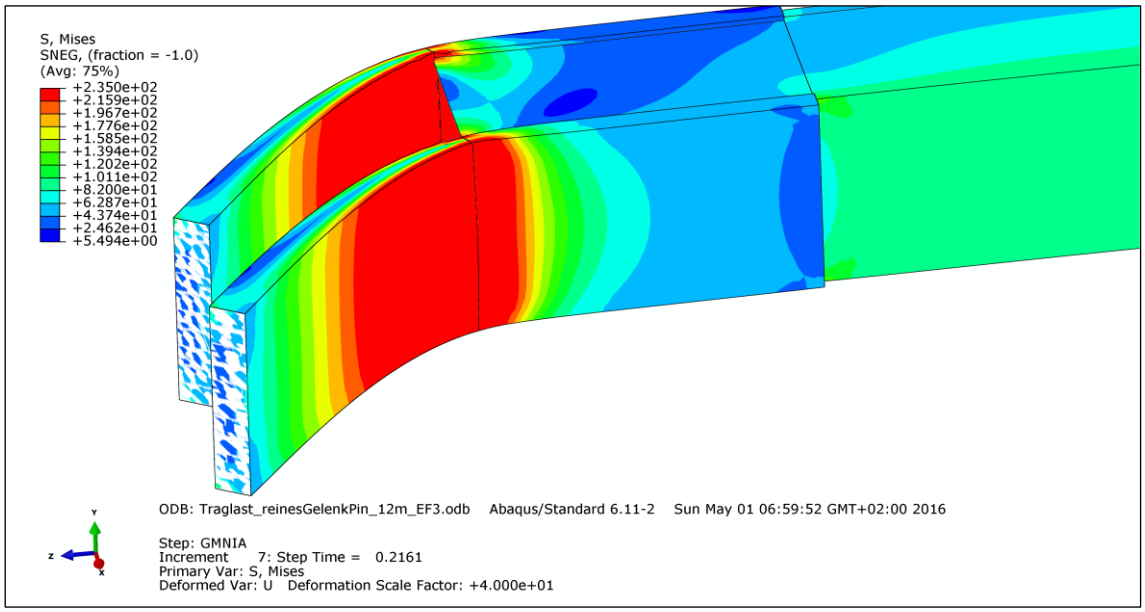


Abbildung 9-436: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2





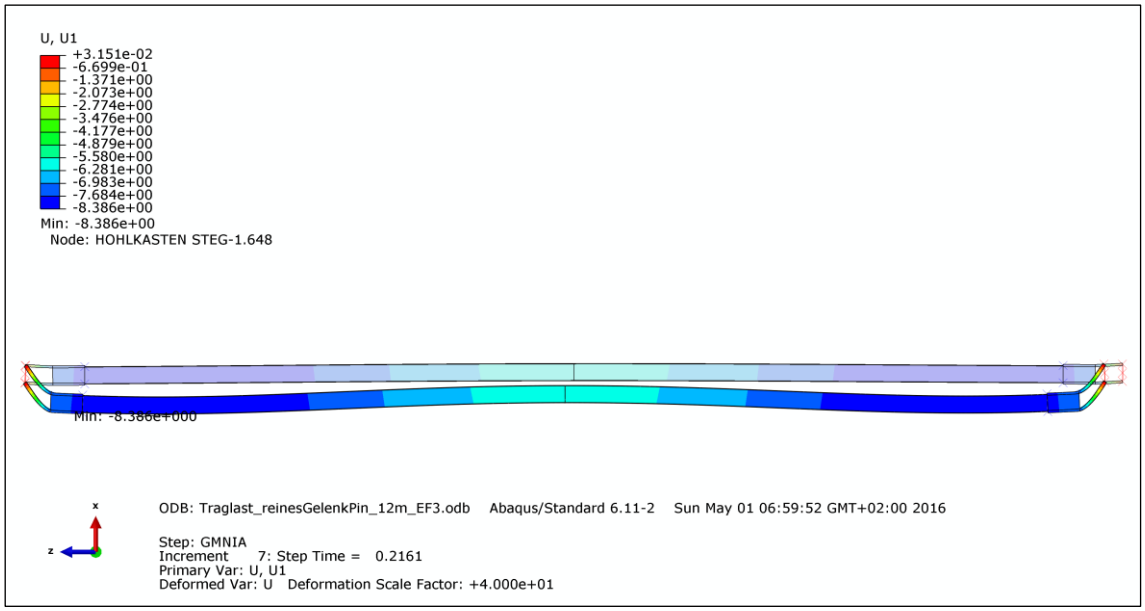
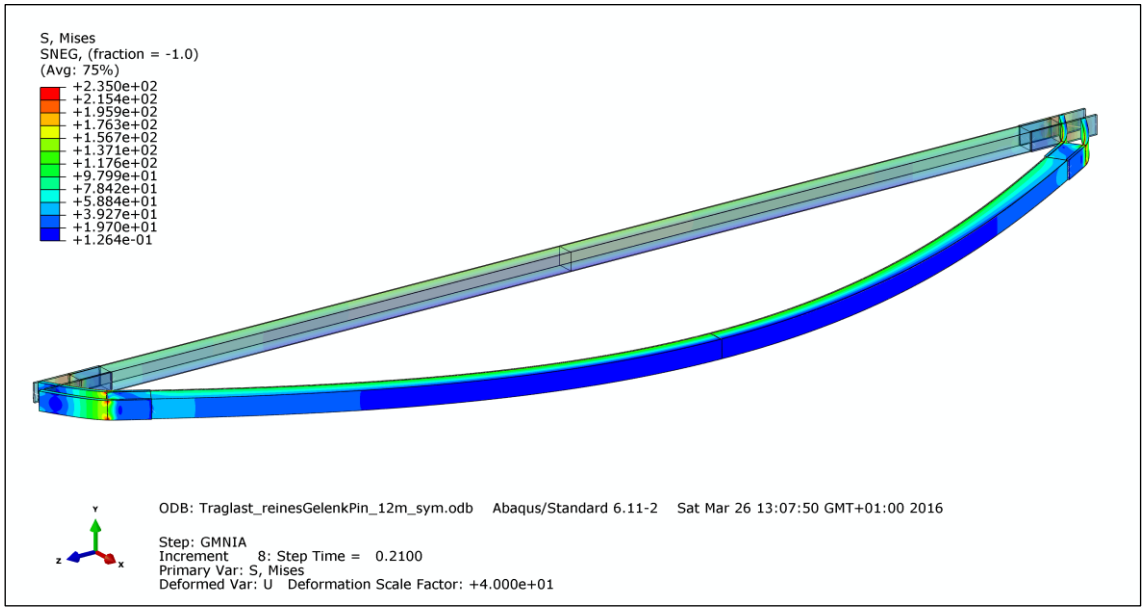
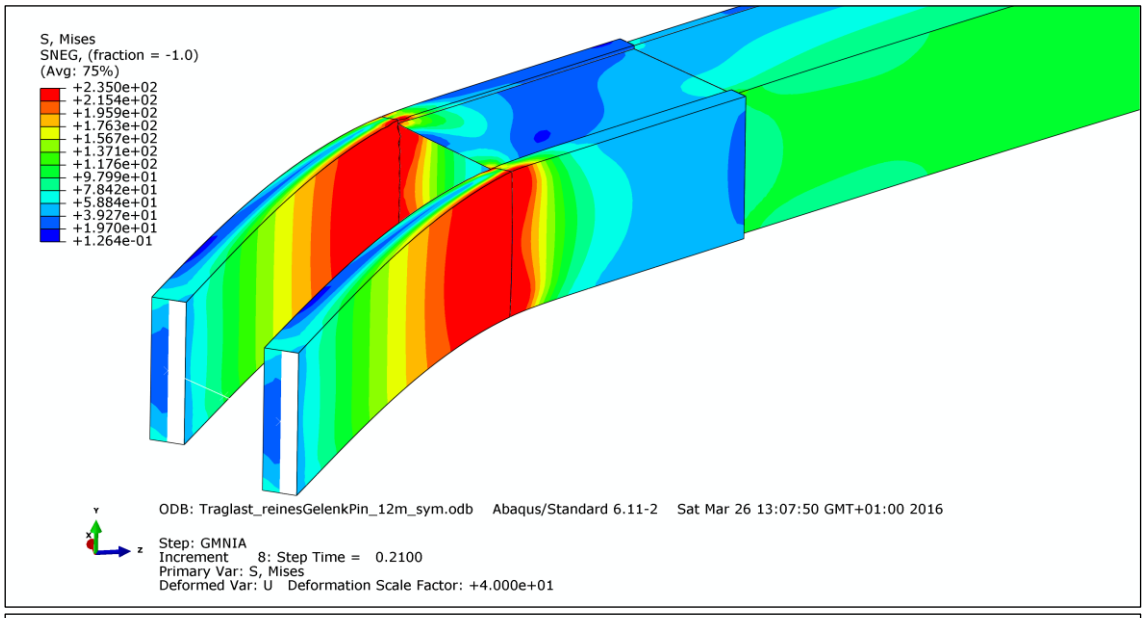


Abbildung 9-437: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3





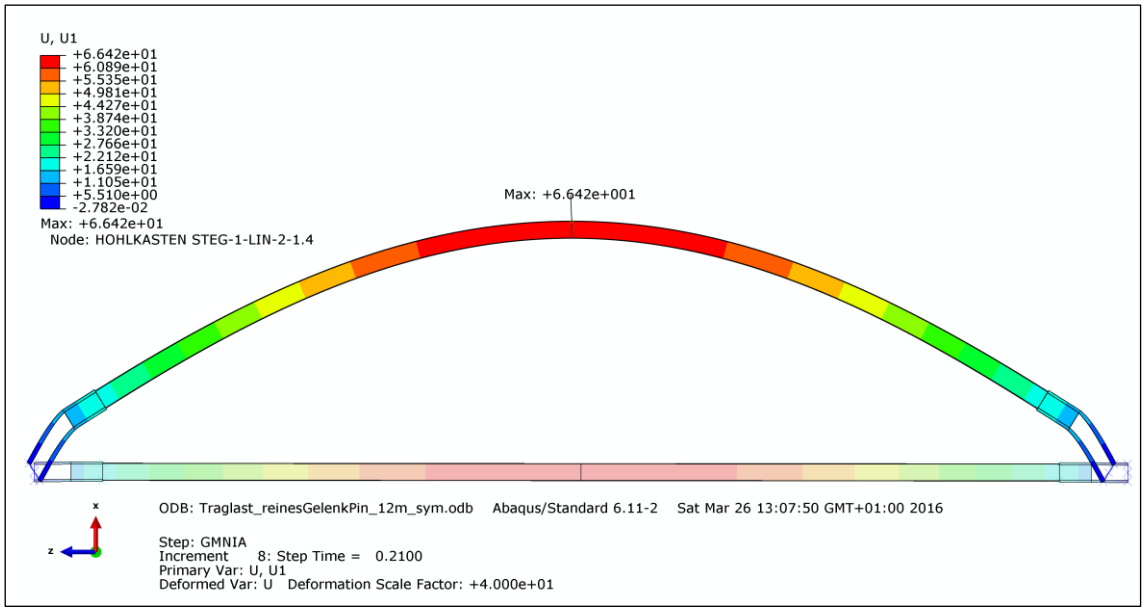
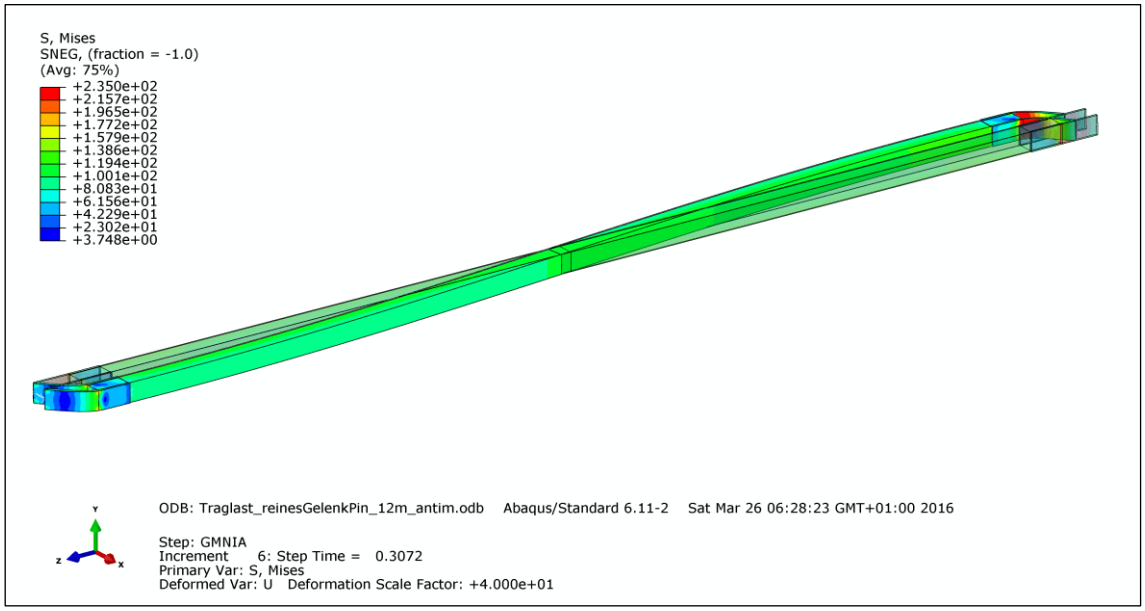
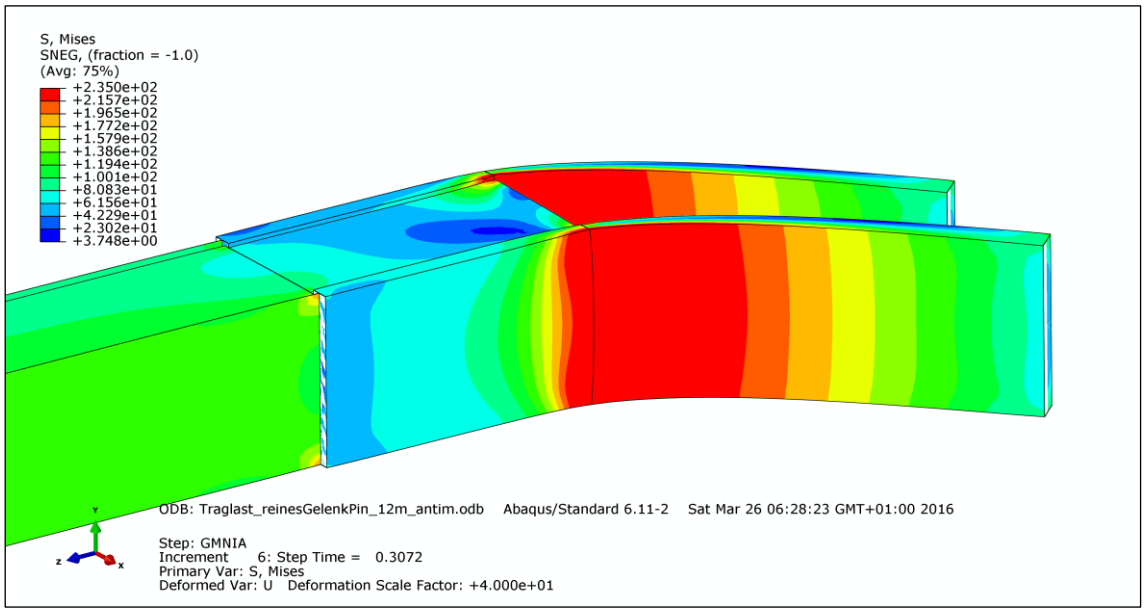


Abbildung 9-438: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym)





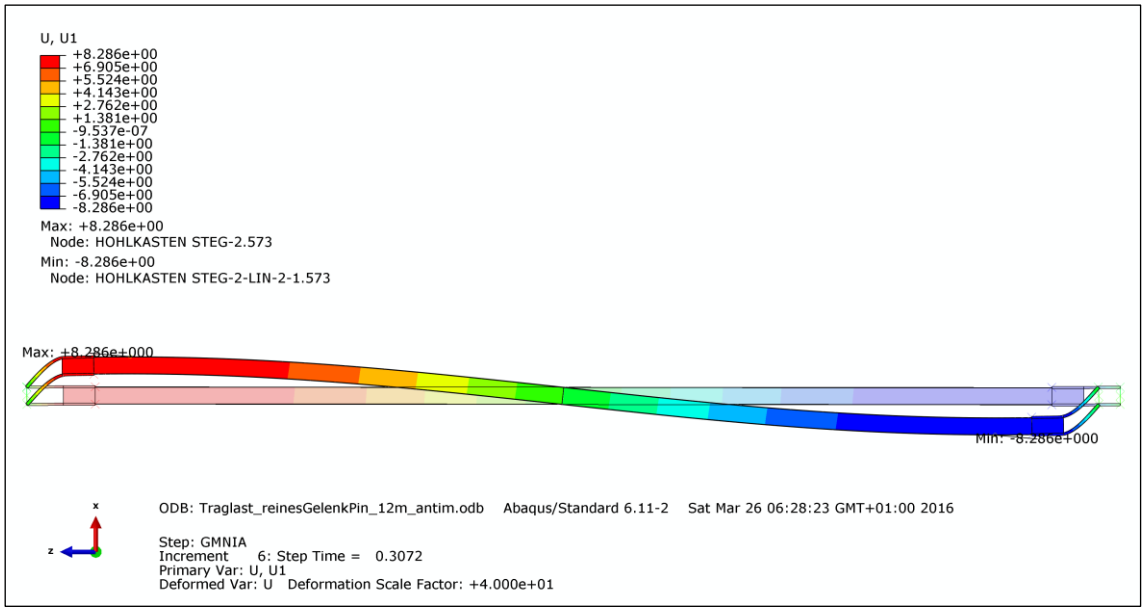
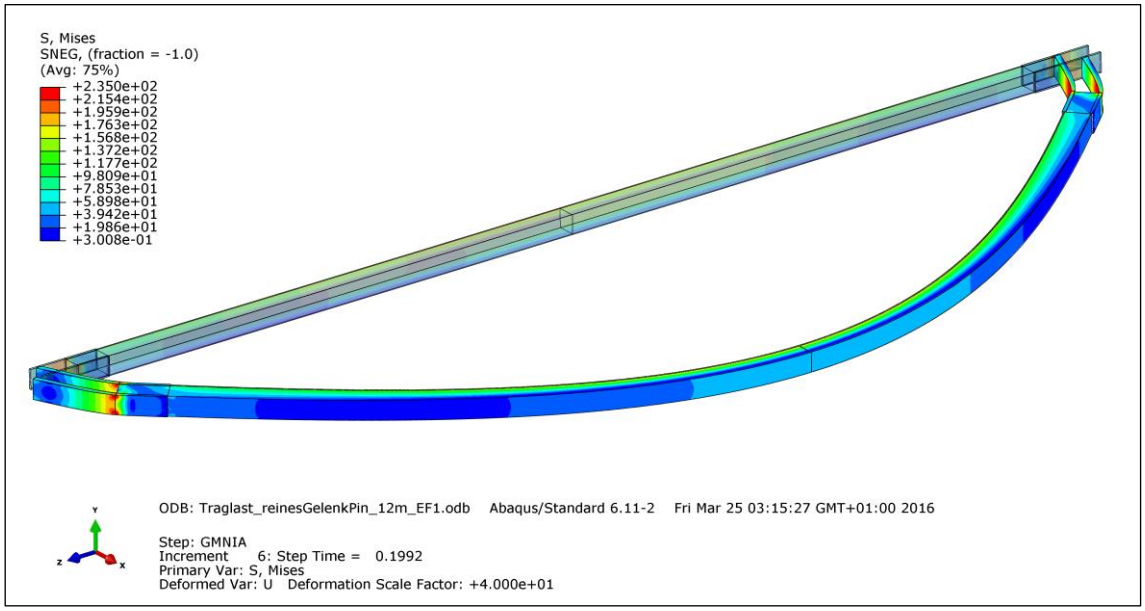
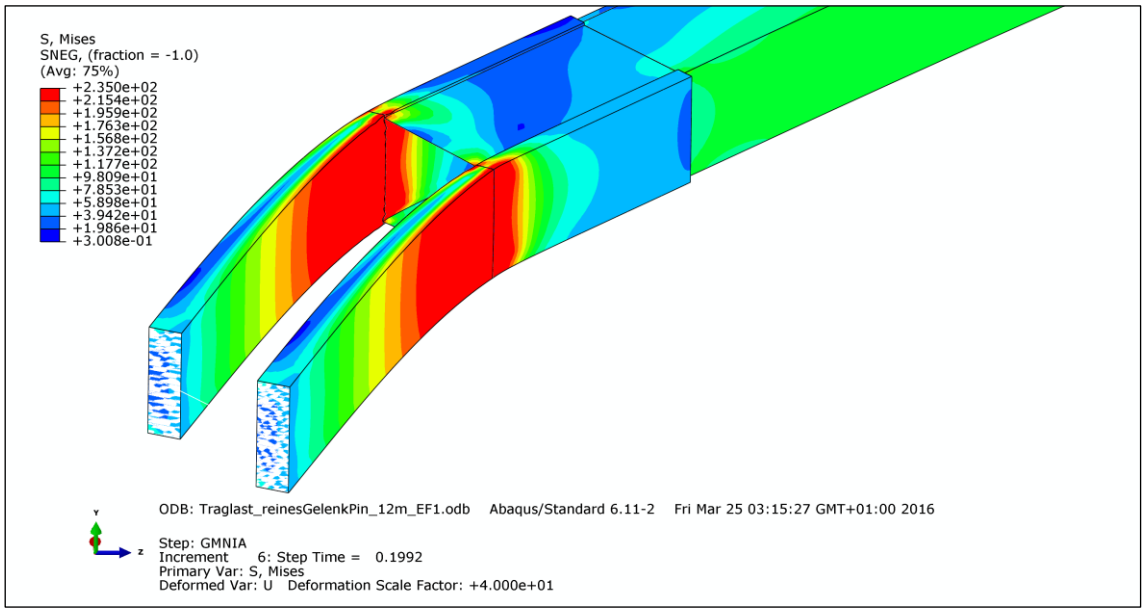


Abbildung 9-439: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim)





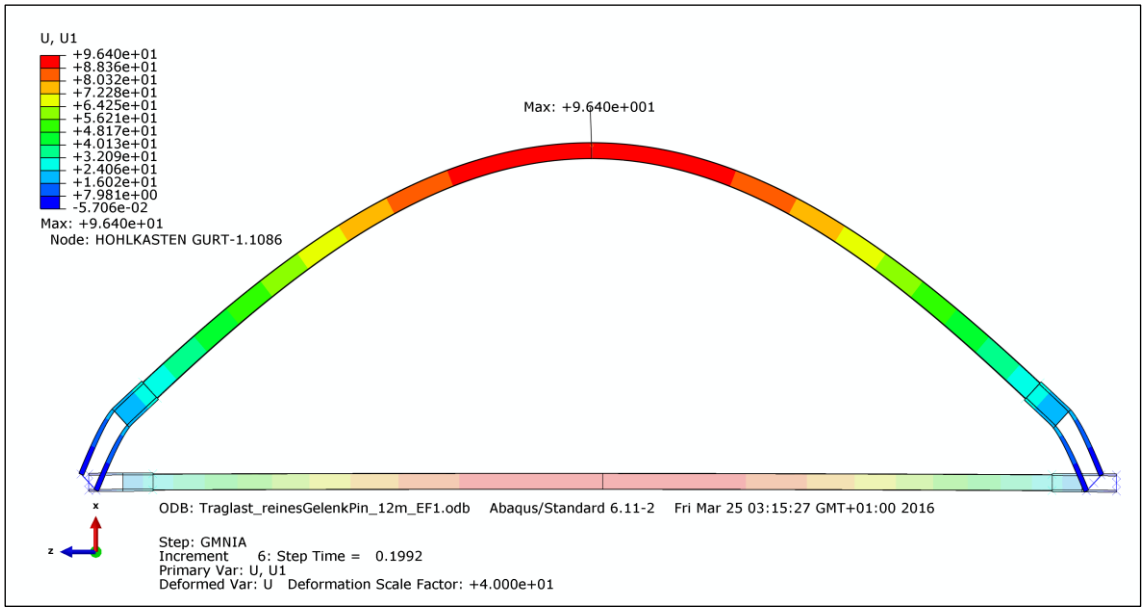
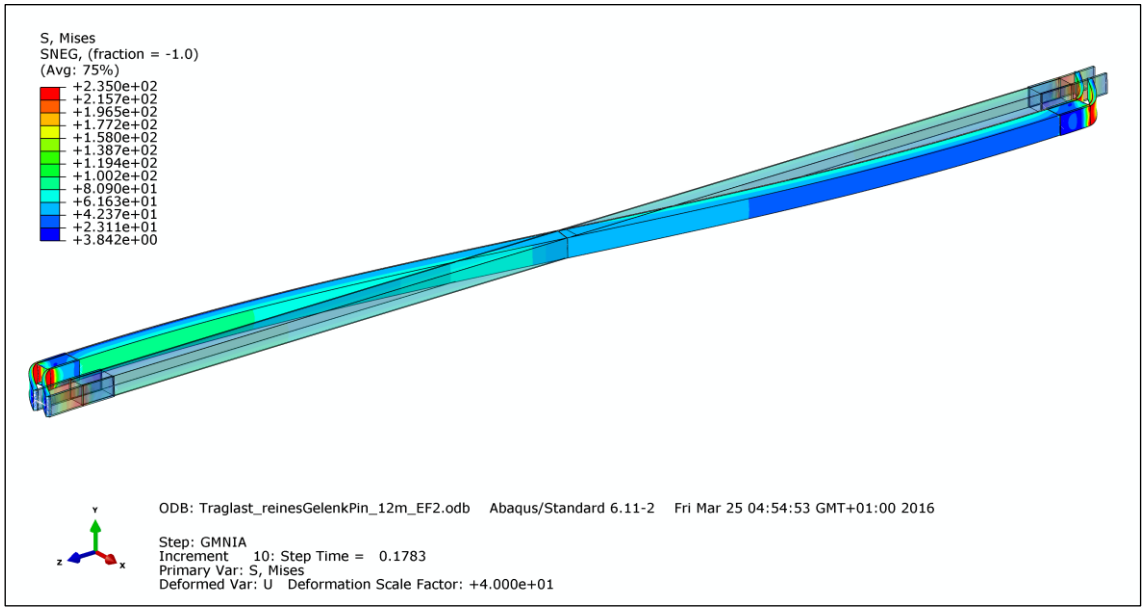
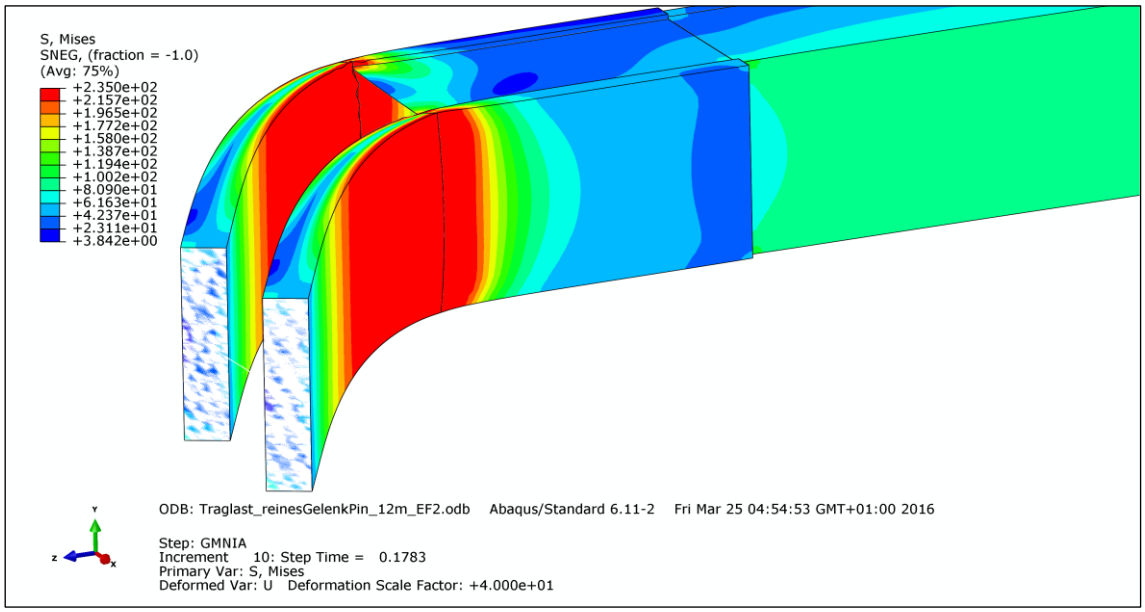


Abbildung 9-440: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1





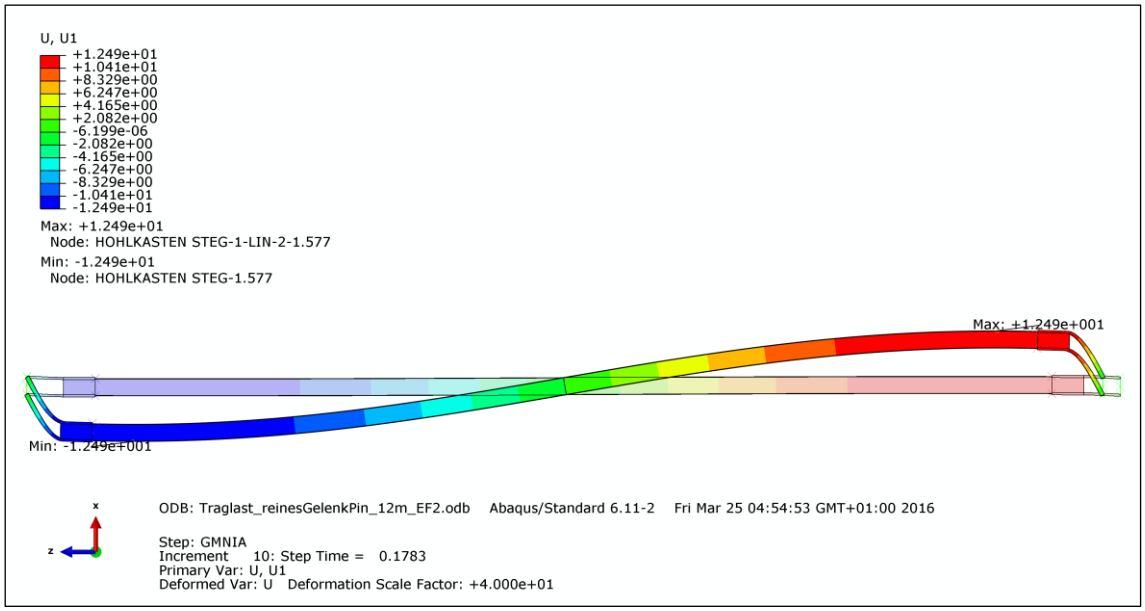
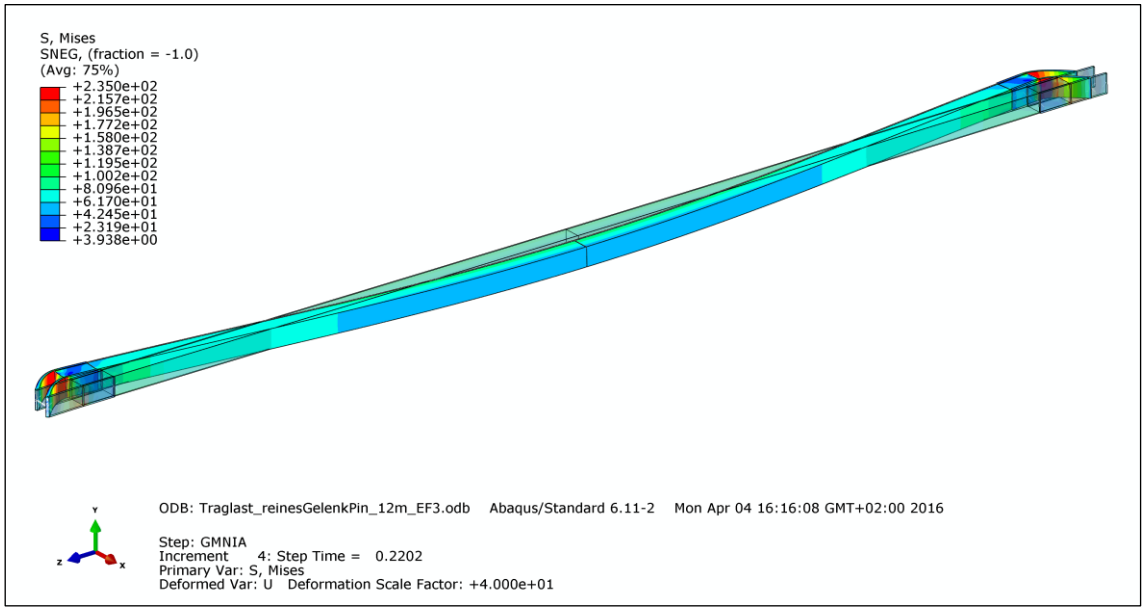
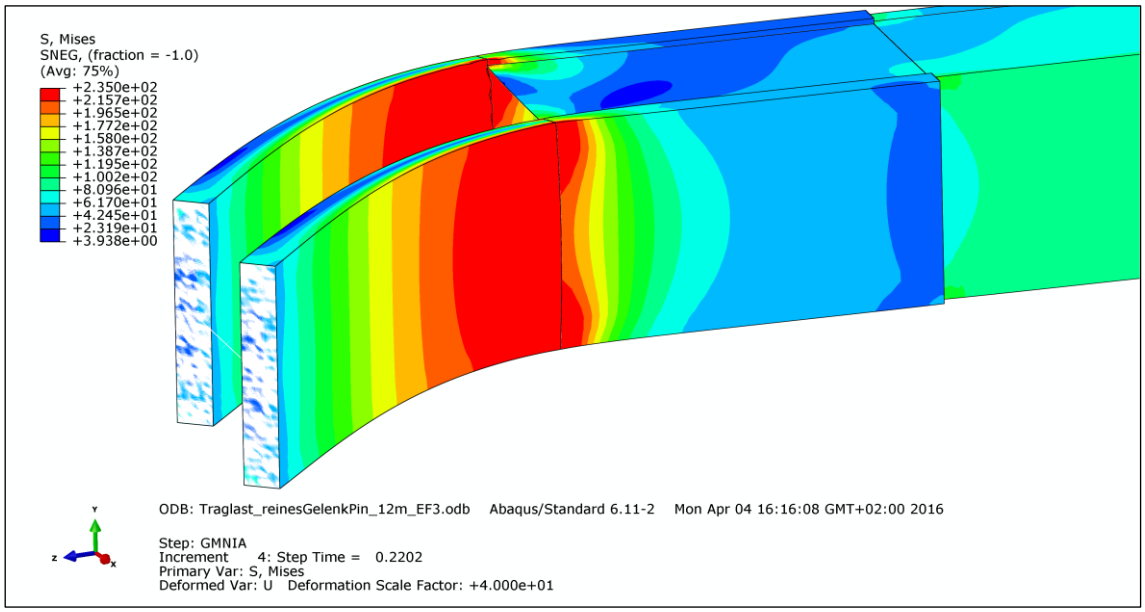


Abbildung 9-441: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2





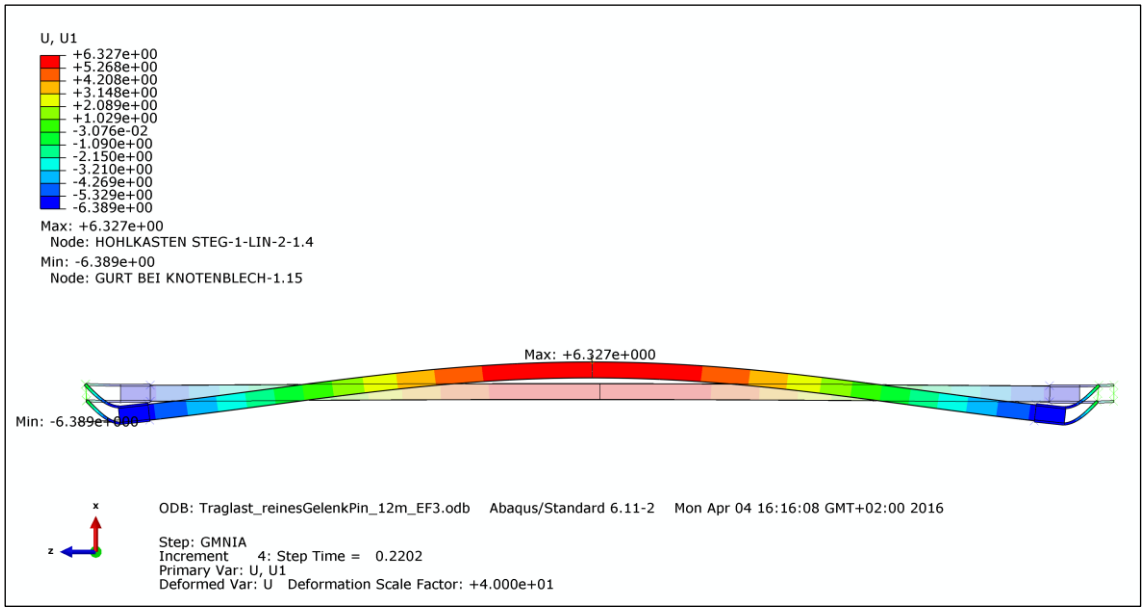
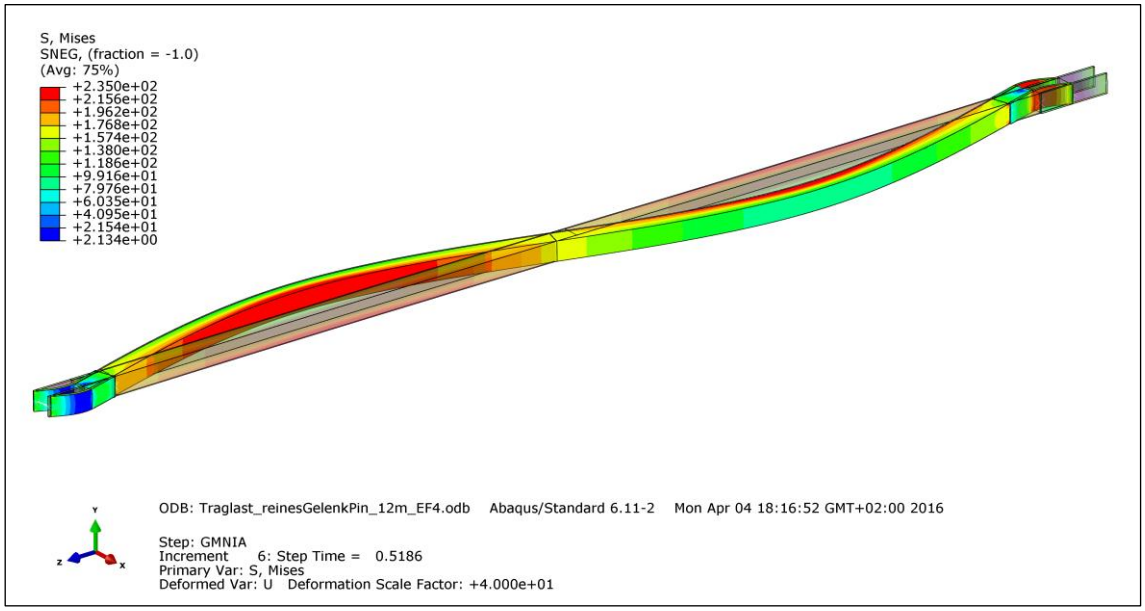
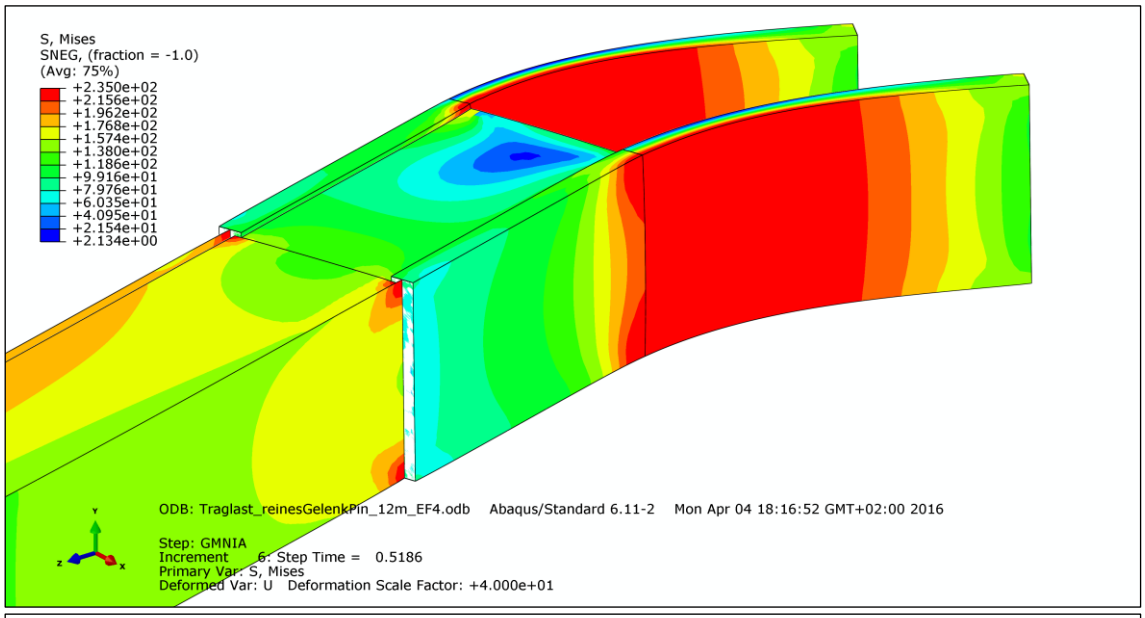


Abbildung 9-442: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3





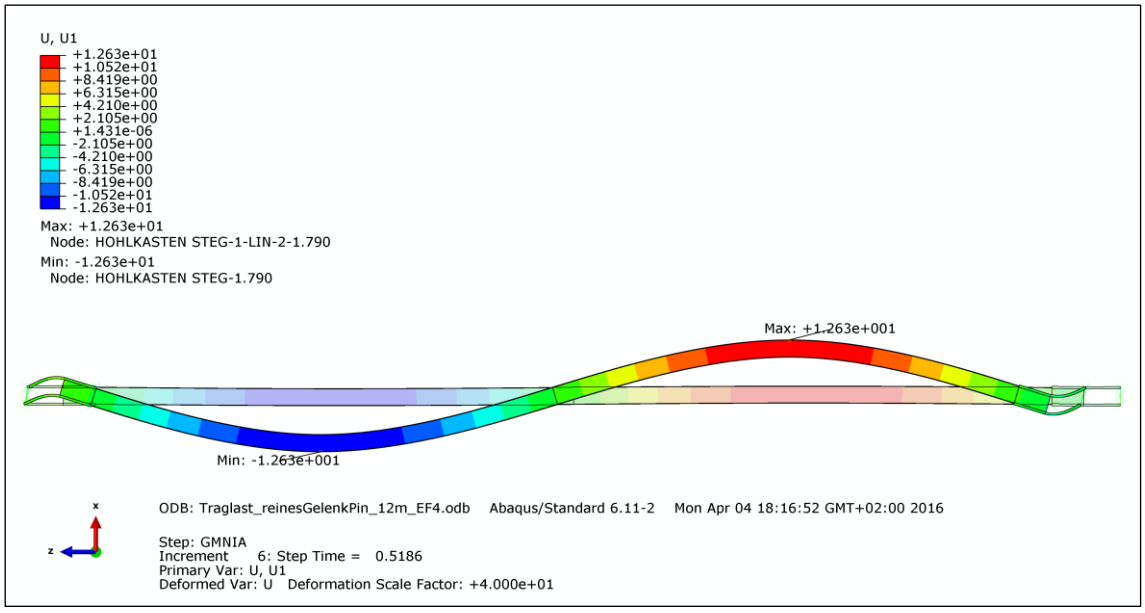
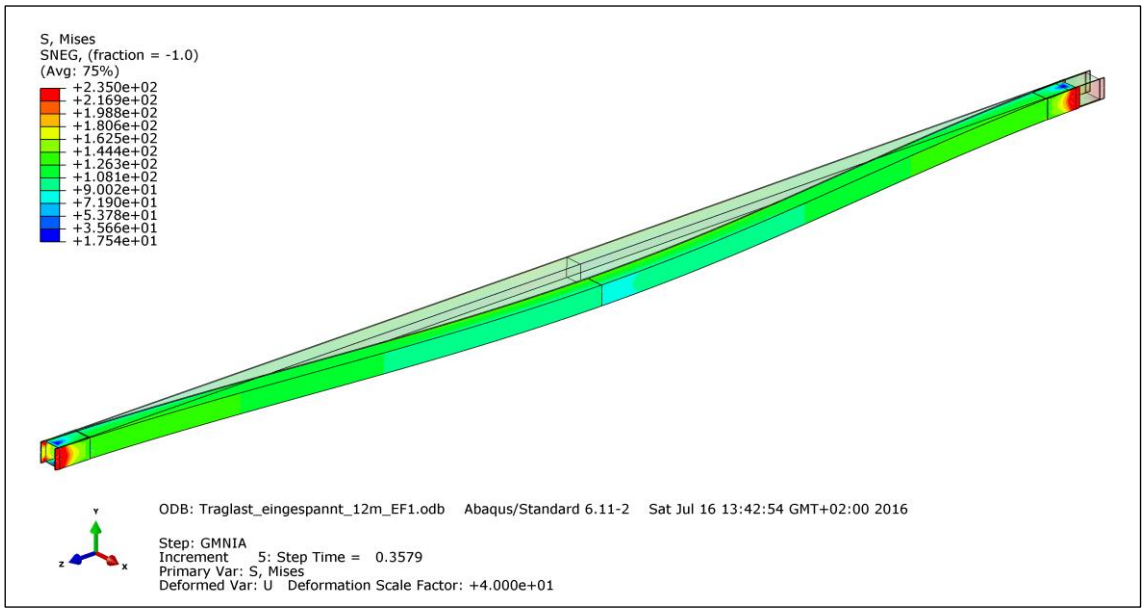


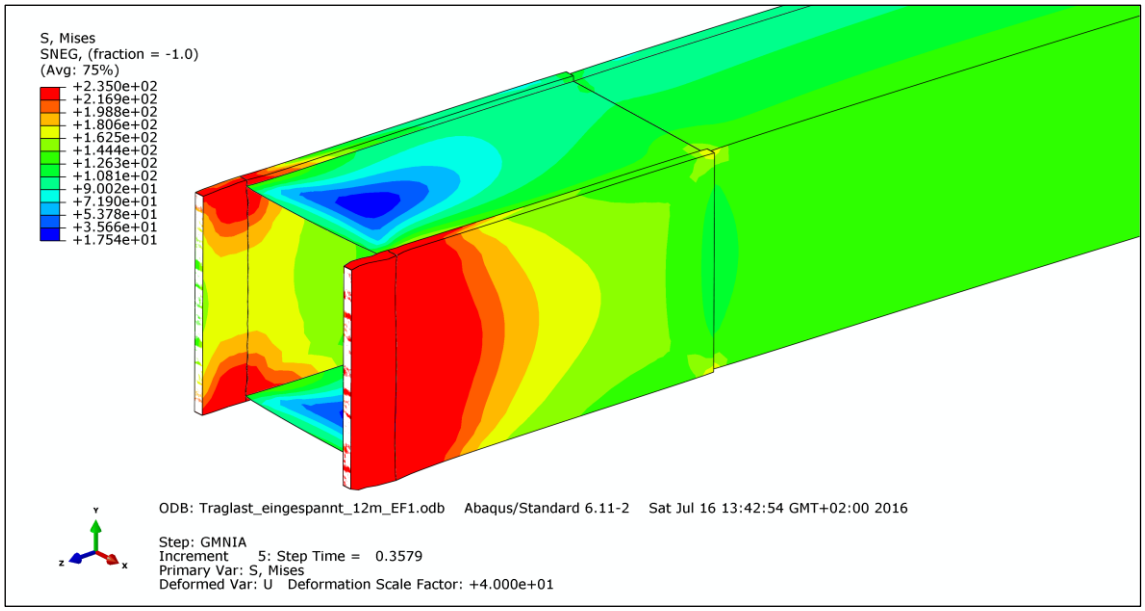
Abbildung 9-443: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF4

9.2.3 Zusätzliche Berechnungen für die Mustererkennung

In den nachfolgenden Abbildungen 9-444 bis 9-472 sind die Ergebnisse der Traglastuntersuchung für einige ausgewählte Systeme, die zur Bestätigung der Rückschlüsse aus der Analyse der Ergebnisse dienen sollen, dargestellt.

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**





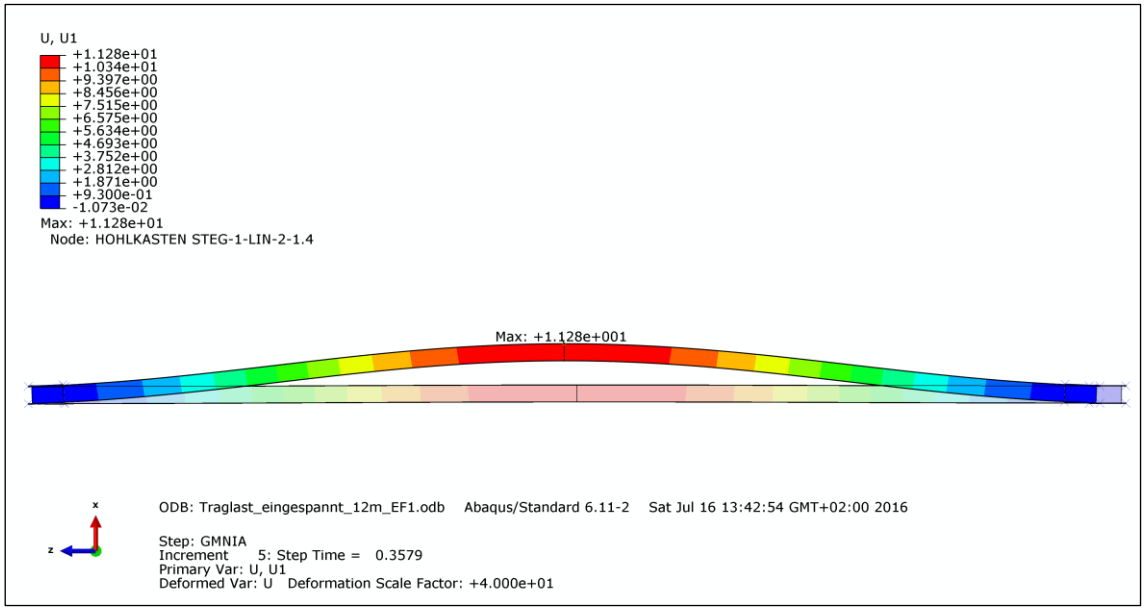
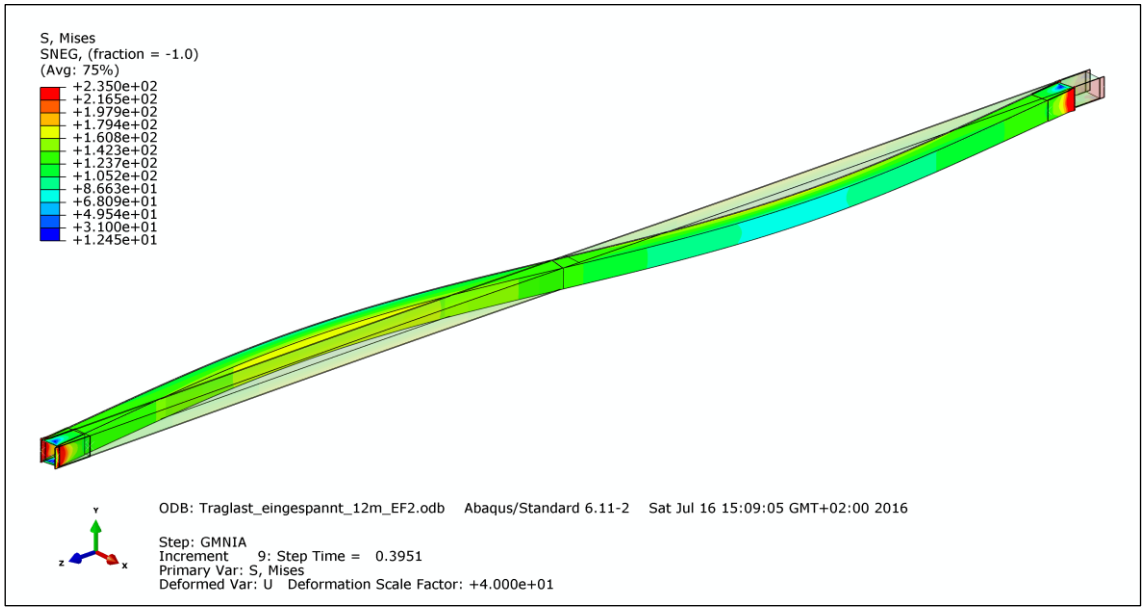
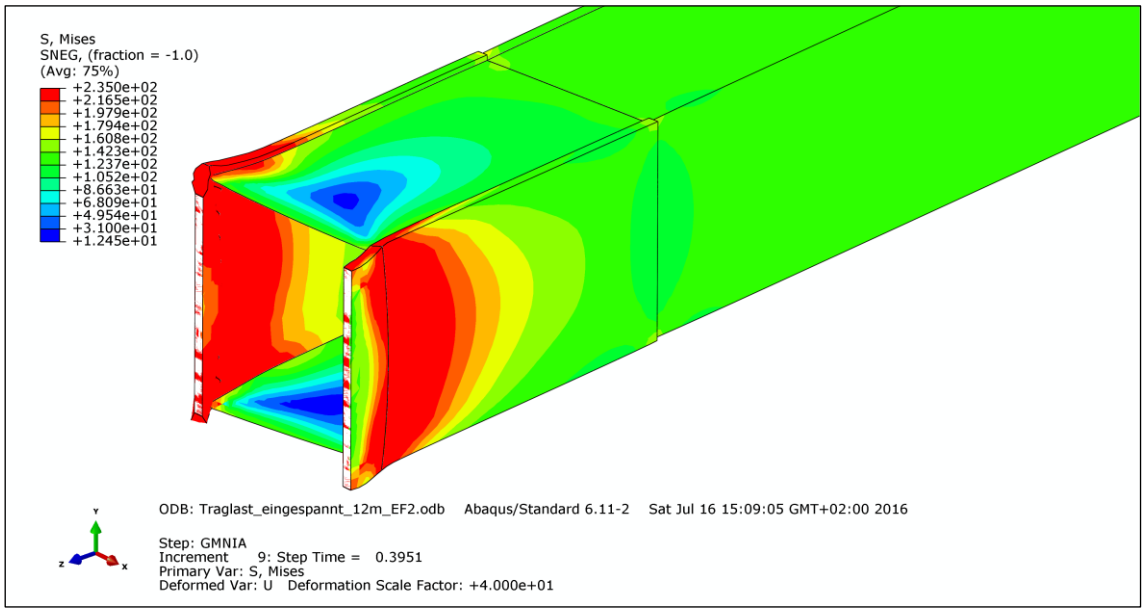


Abbildung 9-444: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1





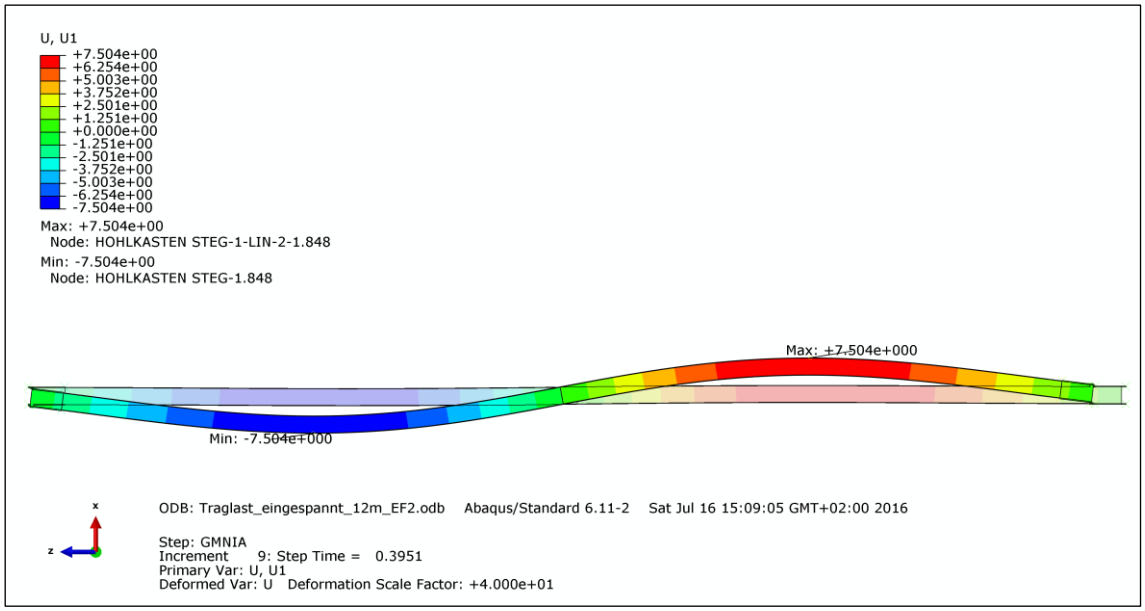
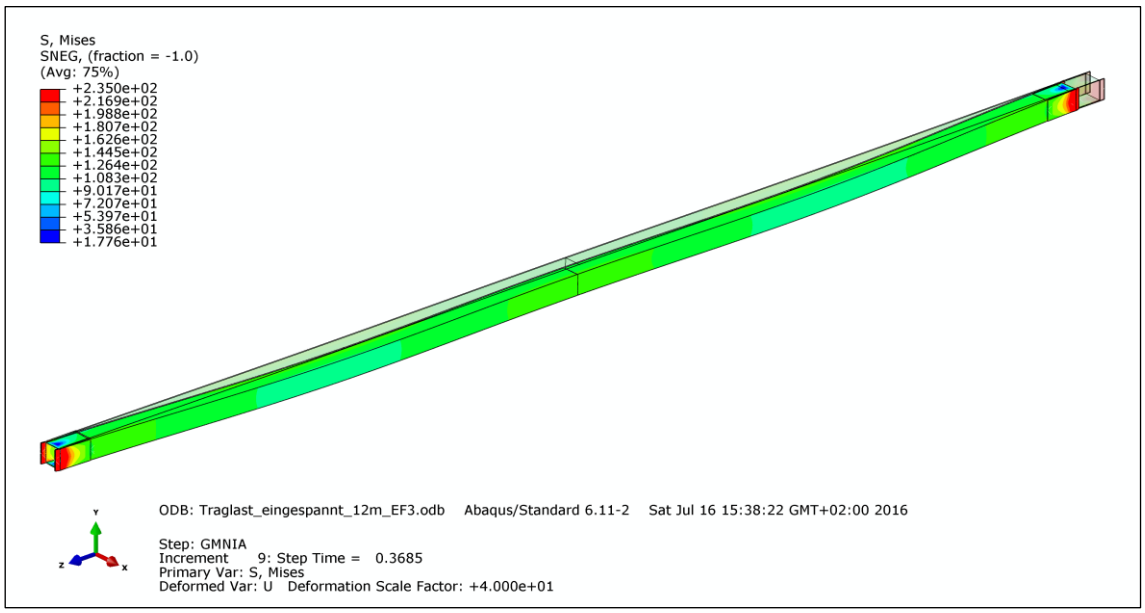
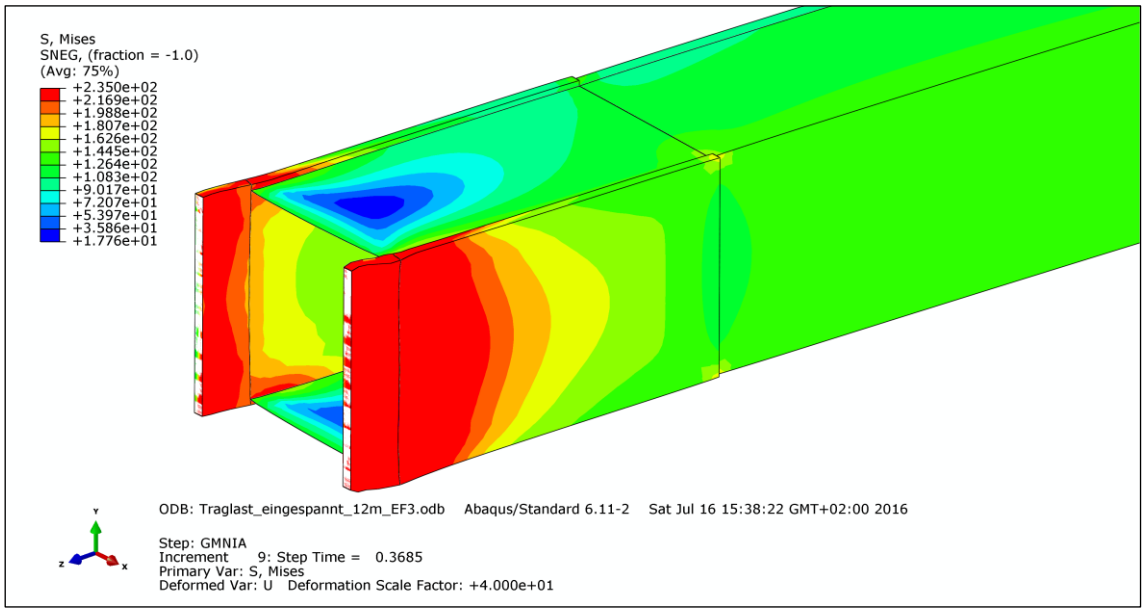


Abbildung 9-445: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2





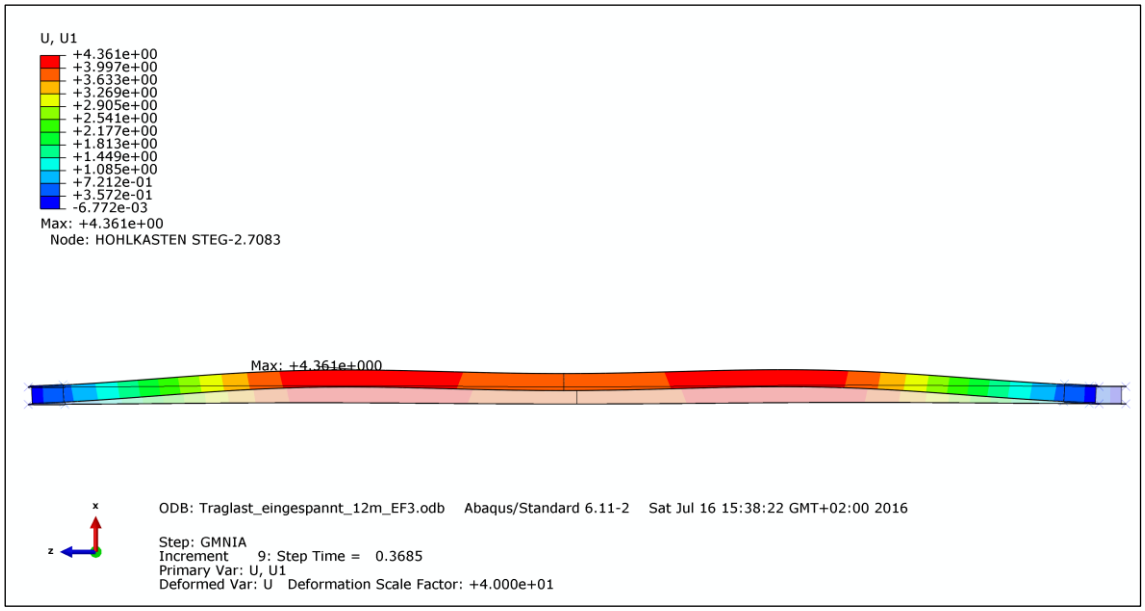
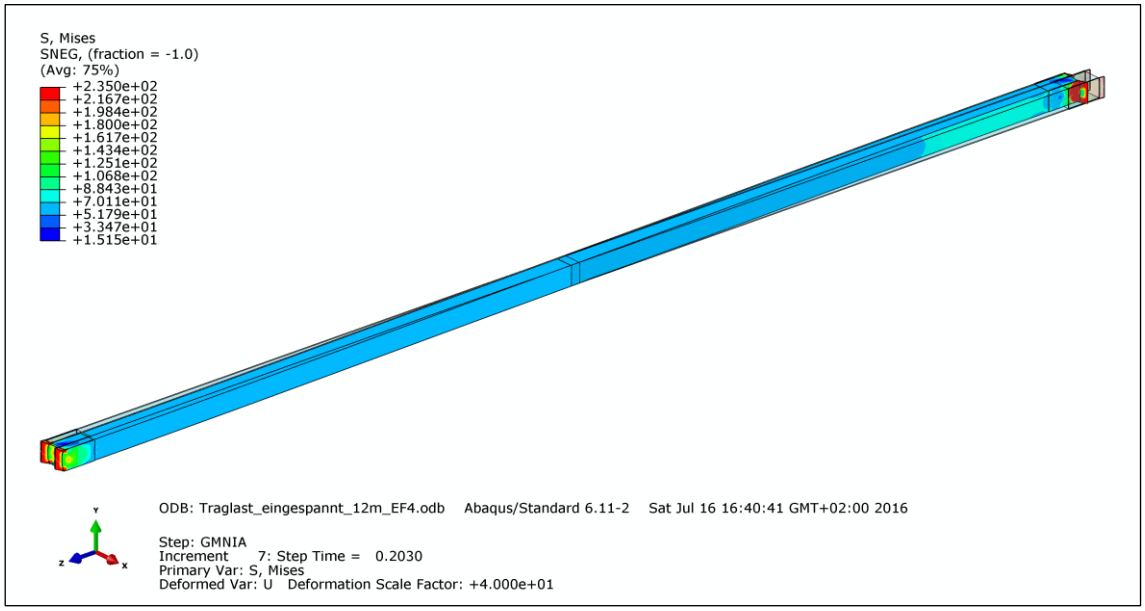
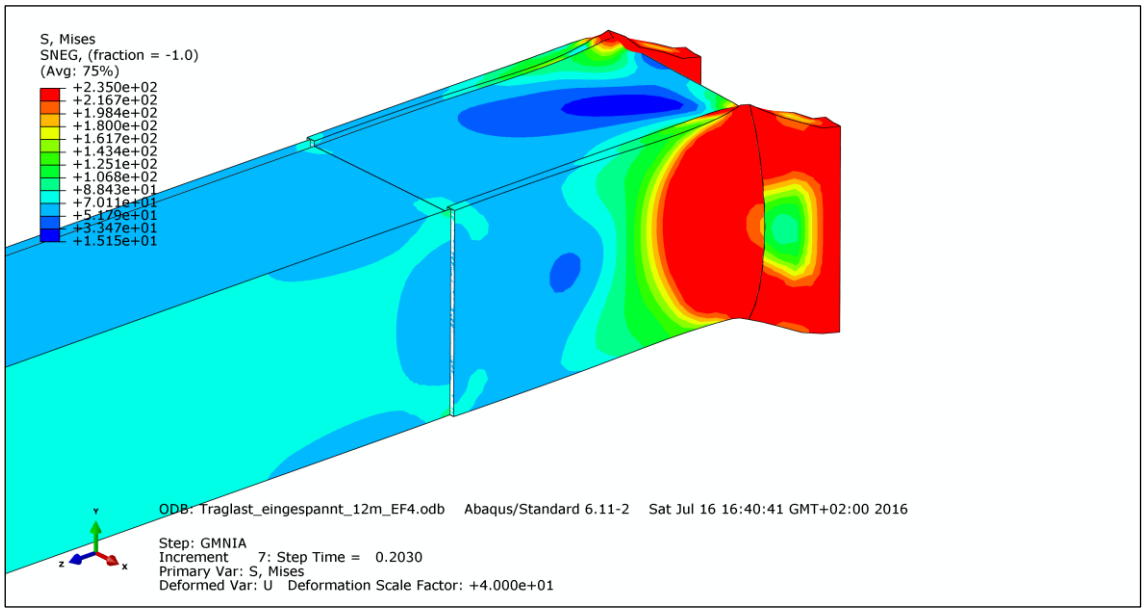


Abbildung 9-446: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3





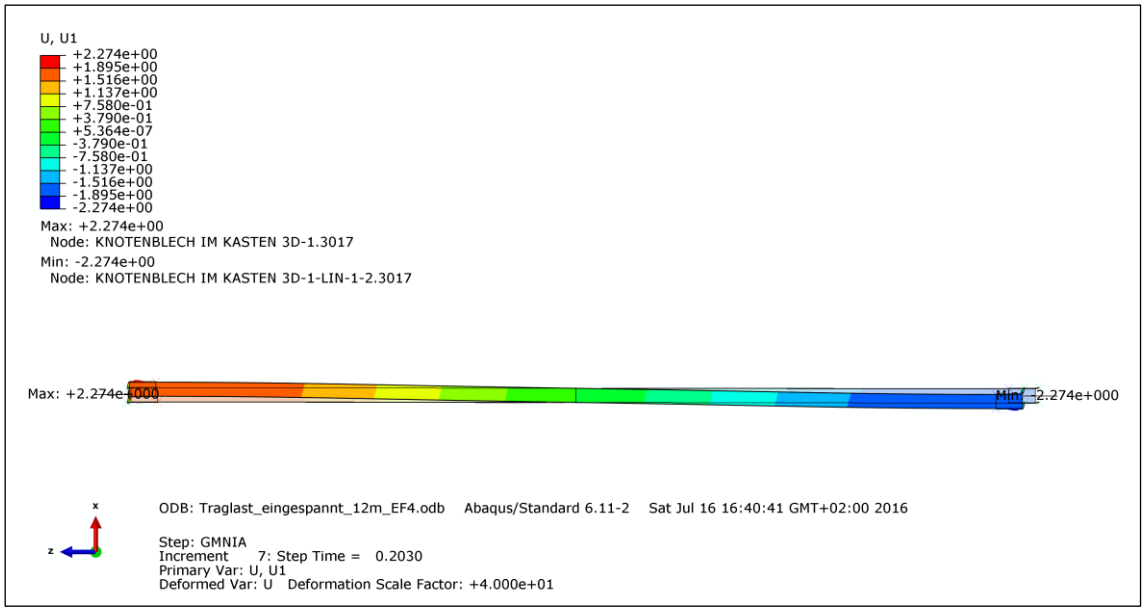
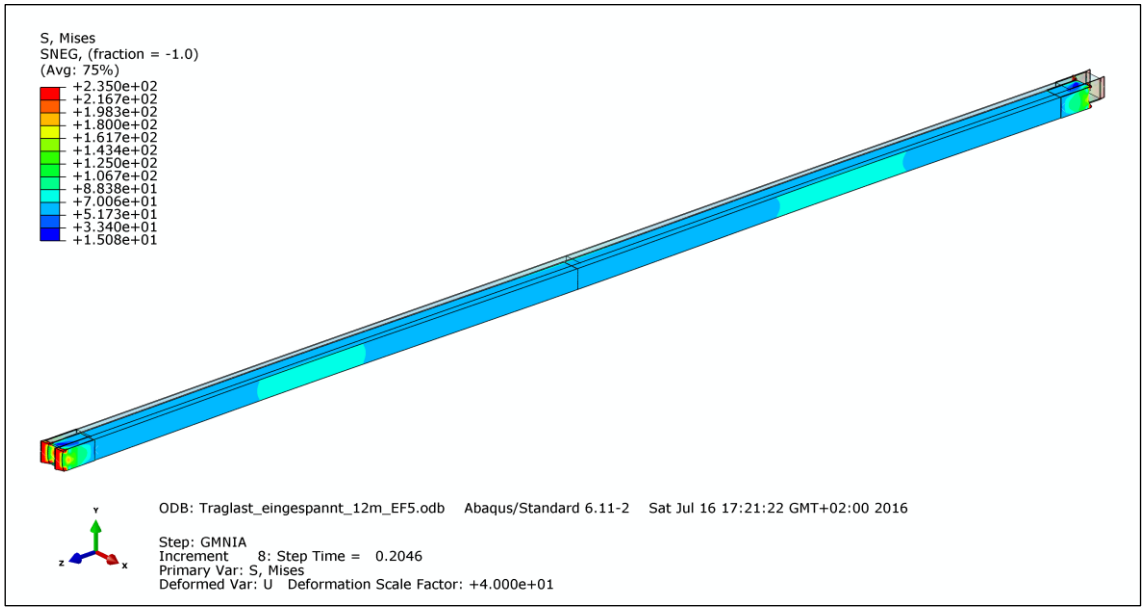
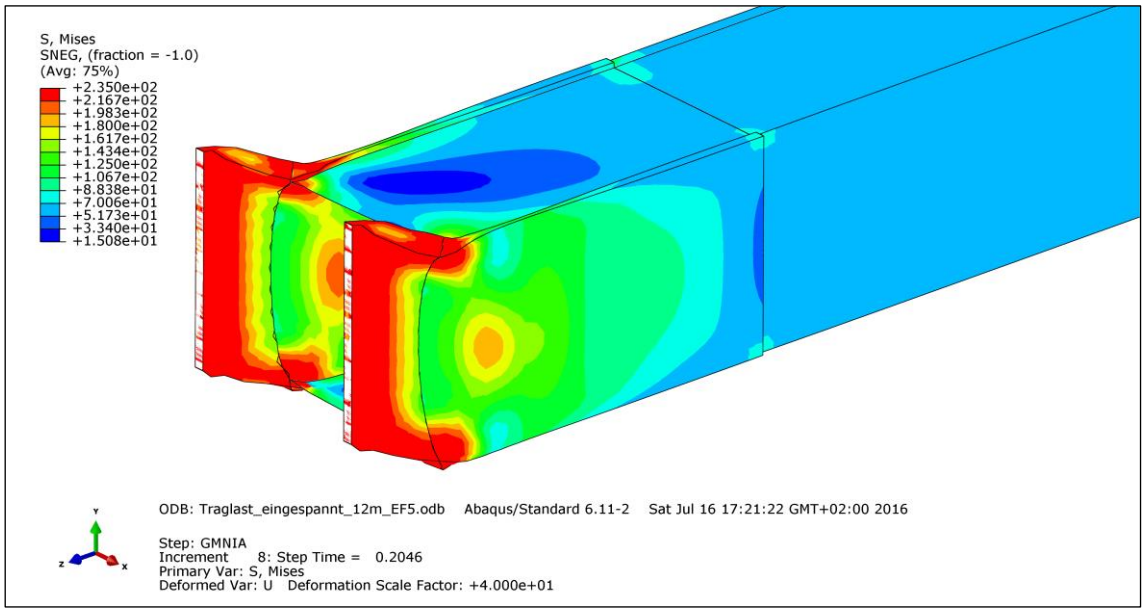


Abbildung 9-447: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4





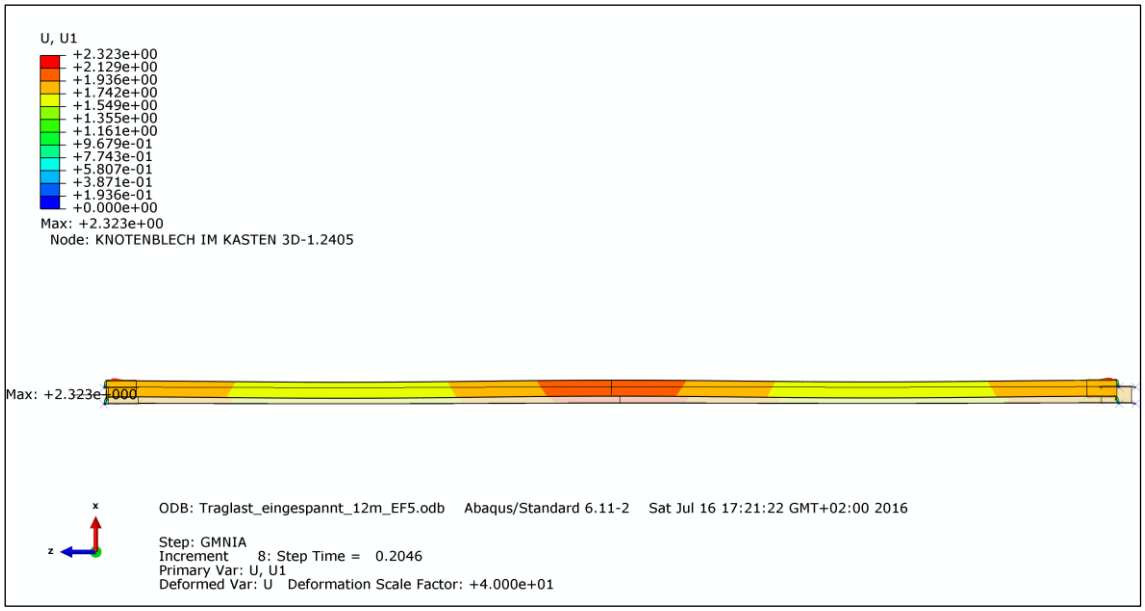
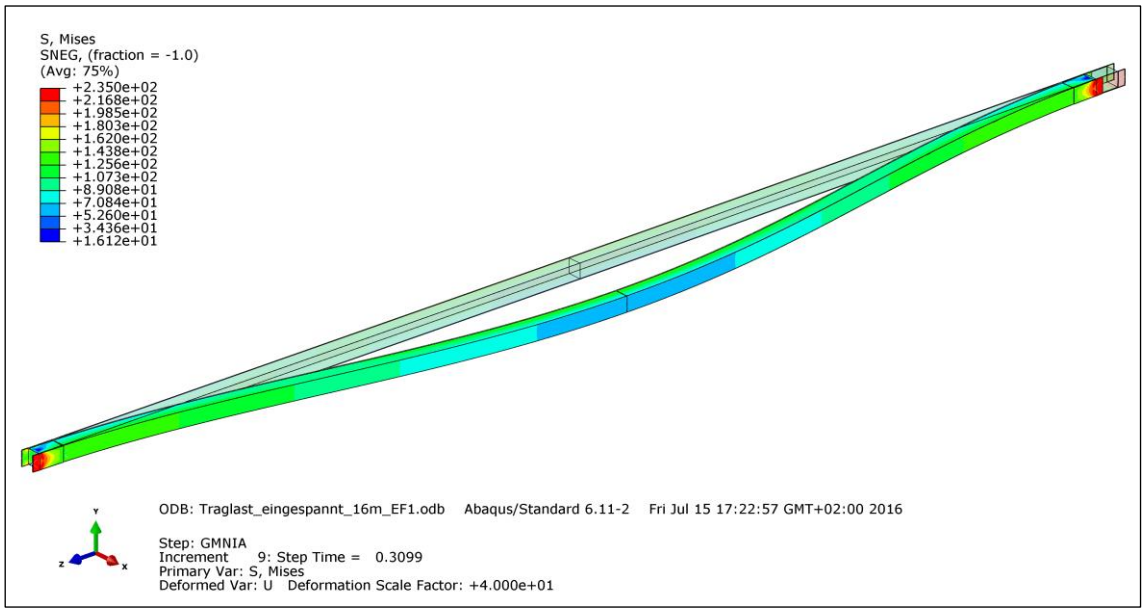
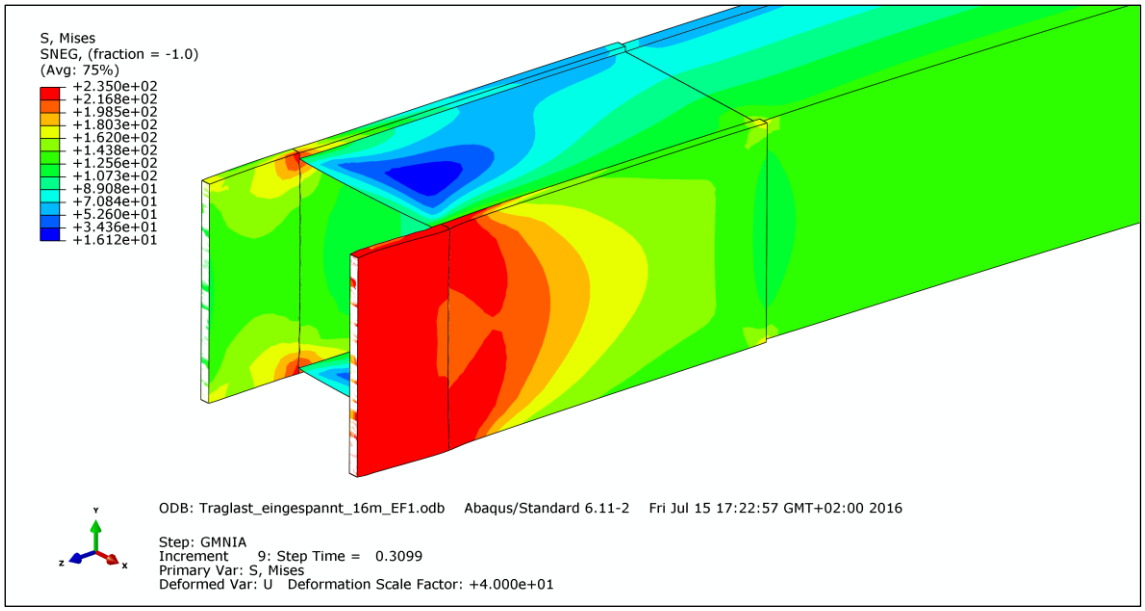


Abbildung 9-448: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5

- **System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**





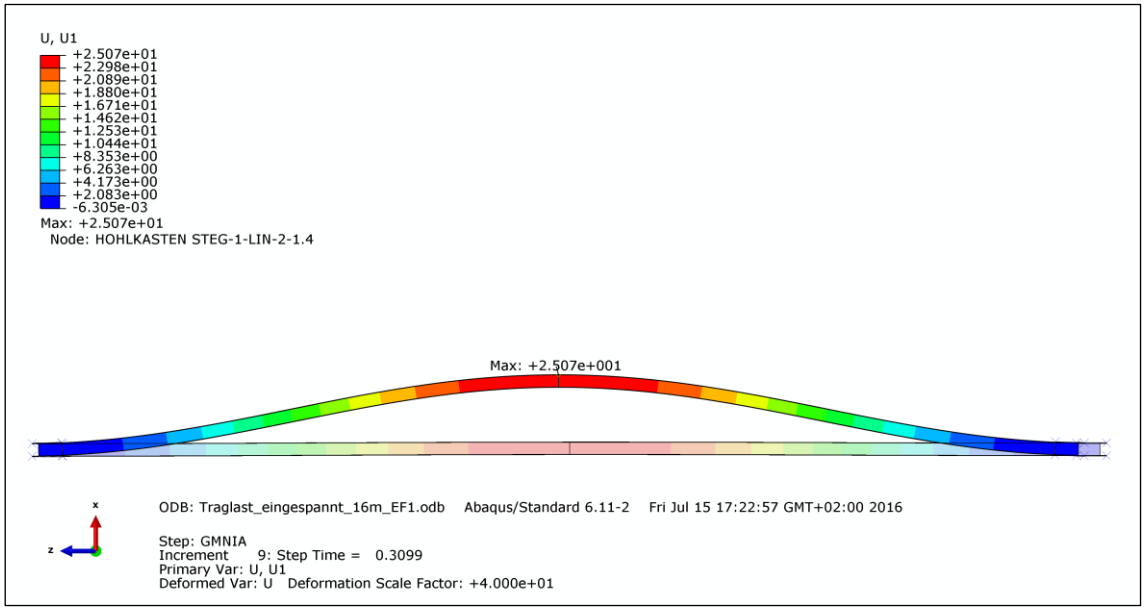


Abbildung 9-449: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1

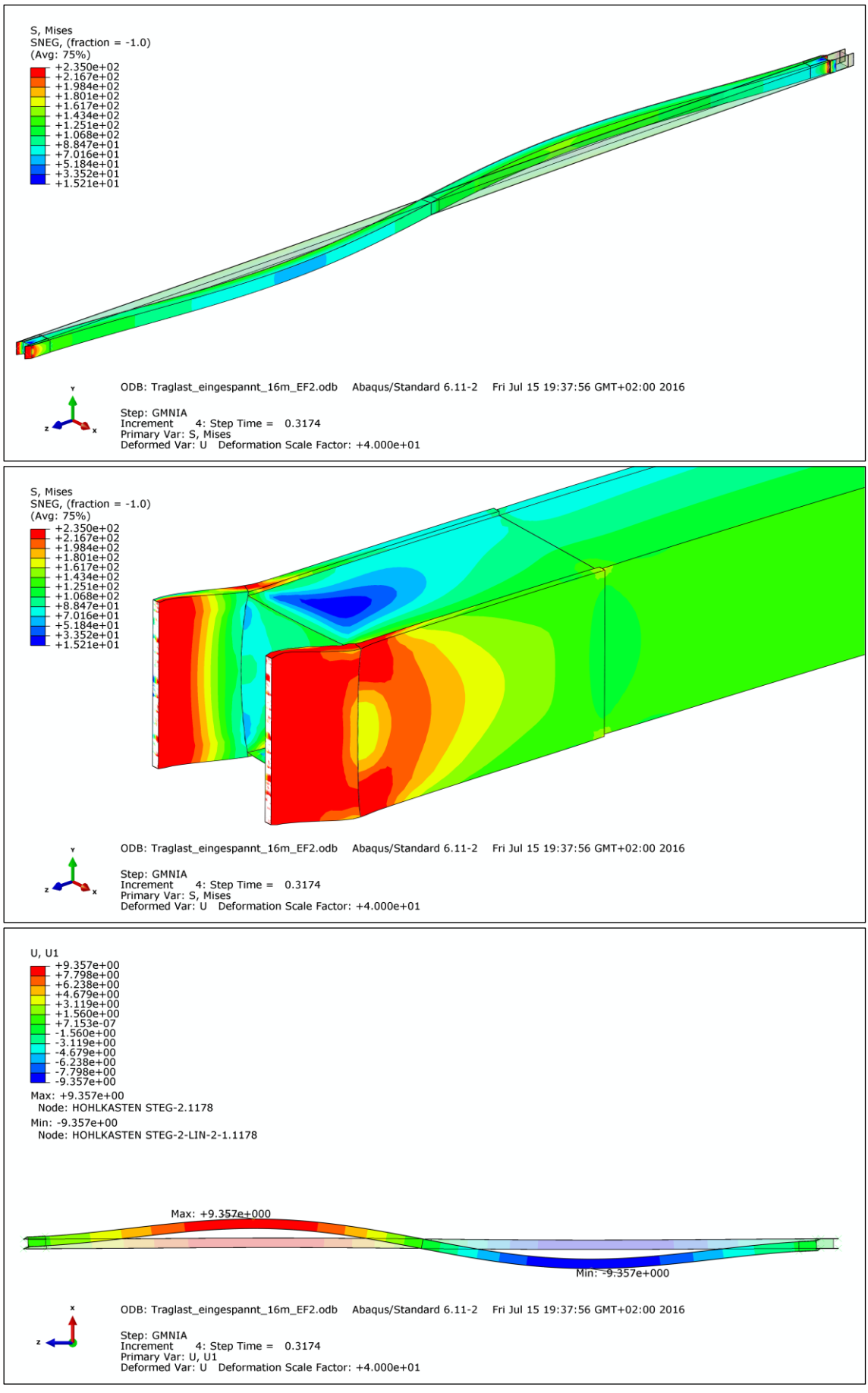
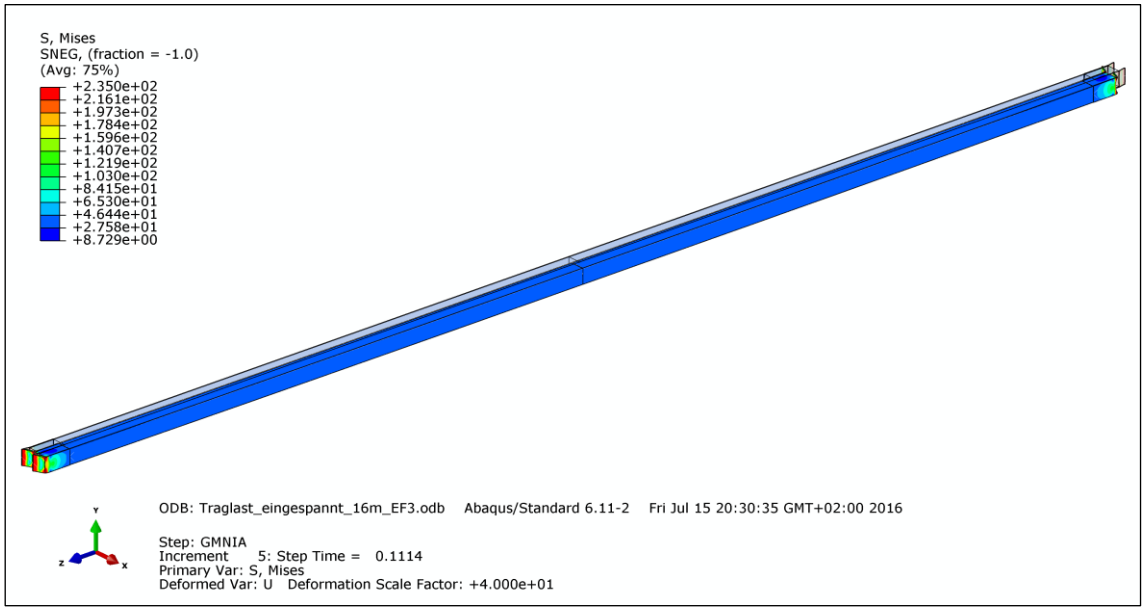
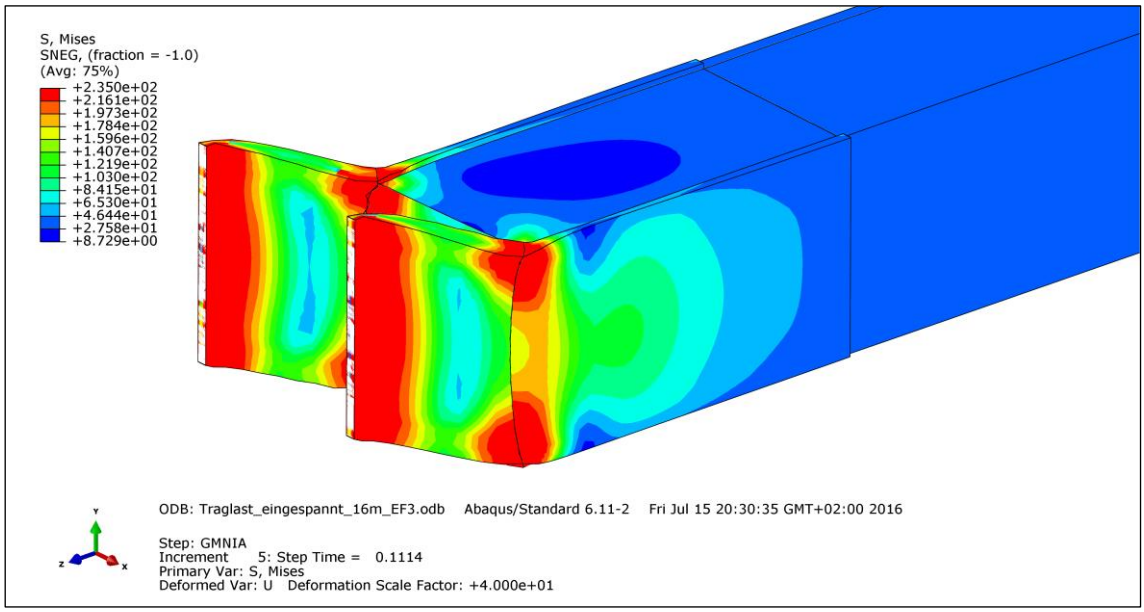


Abbildung 9-450: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





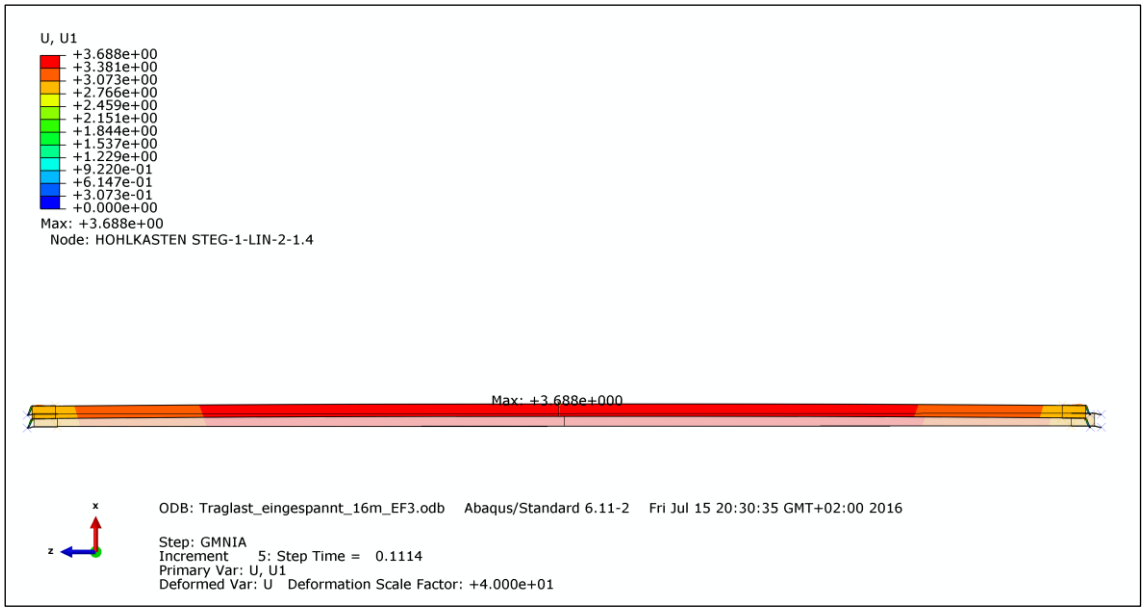
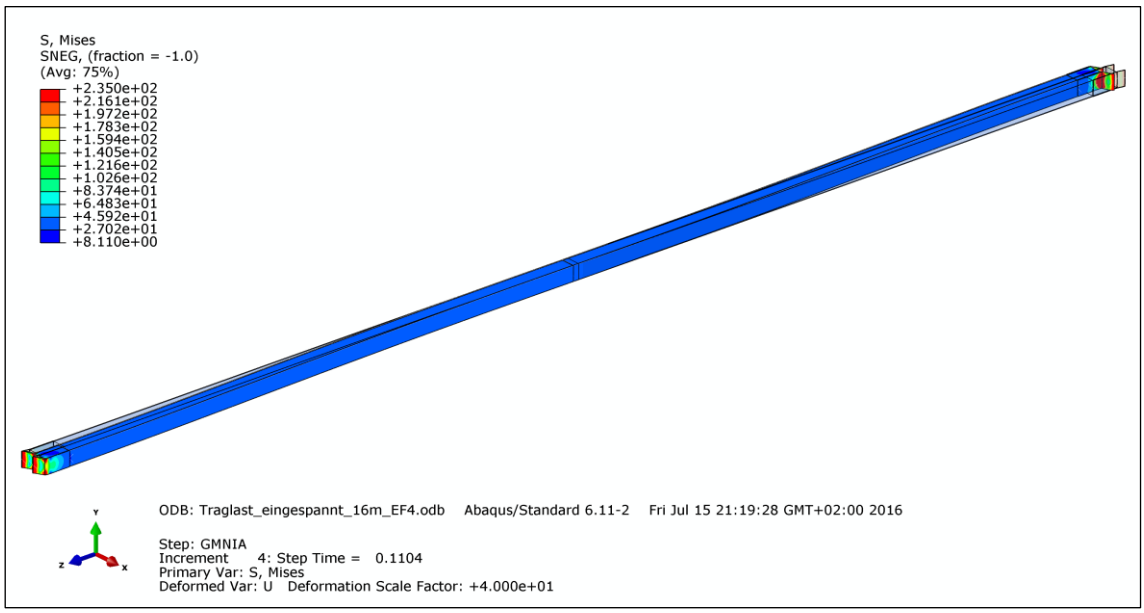
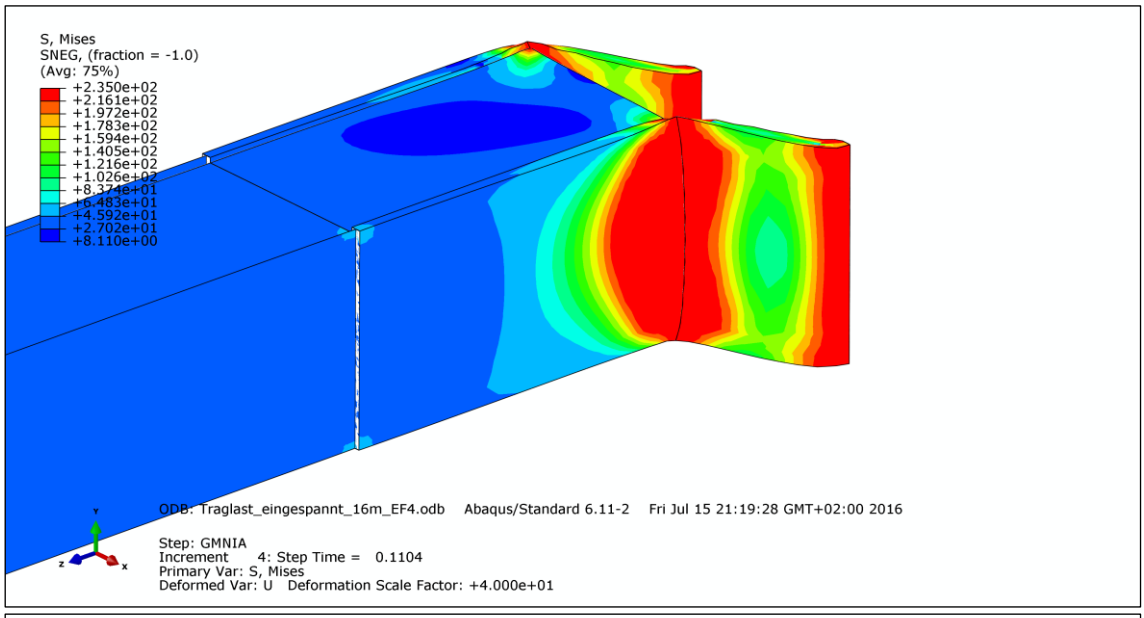


Abbildung 9-451: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





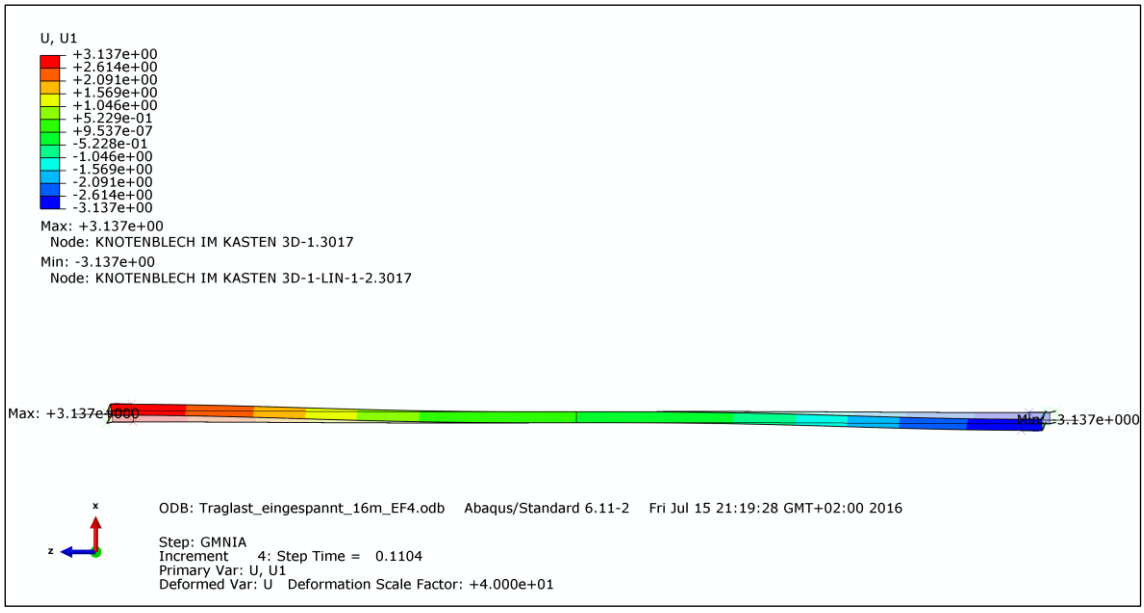


Abbildung 9-452: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**

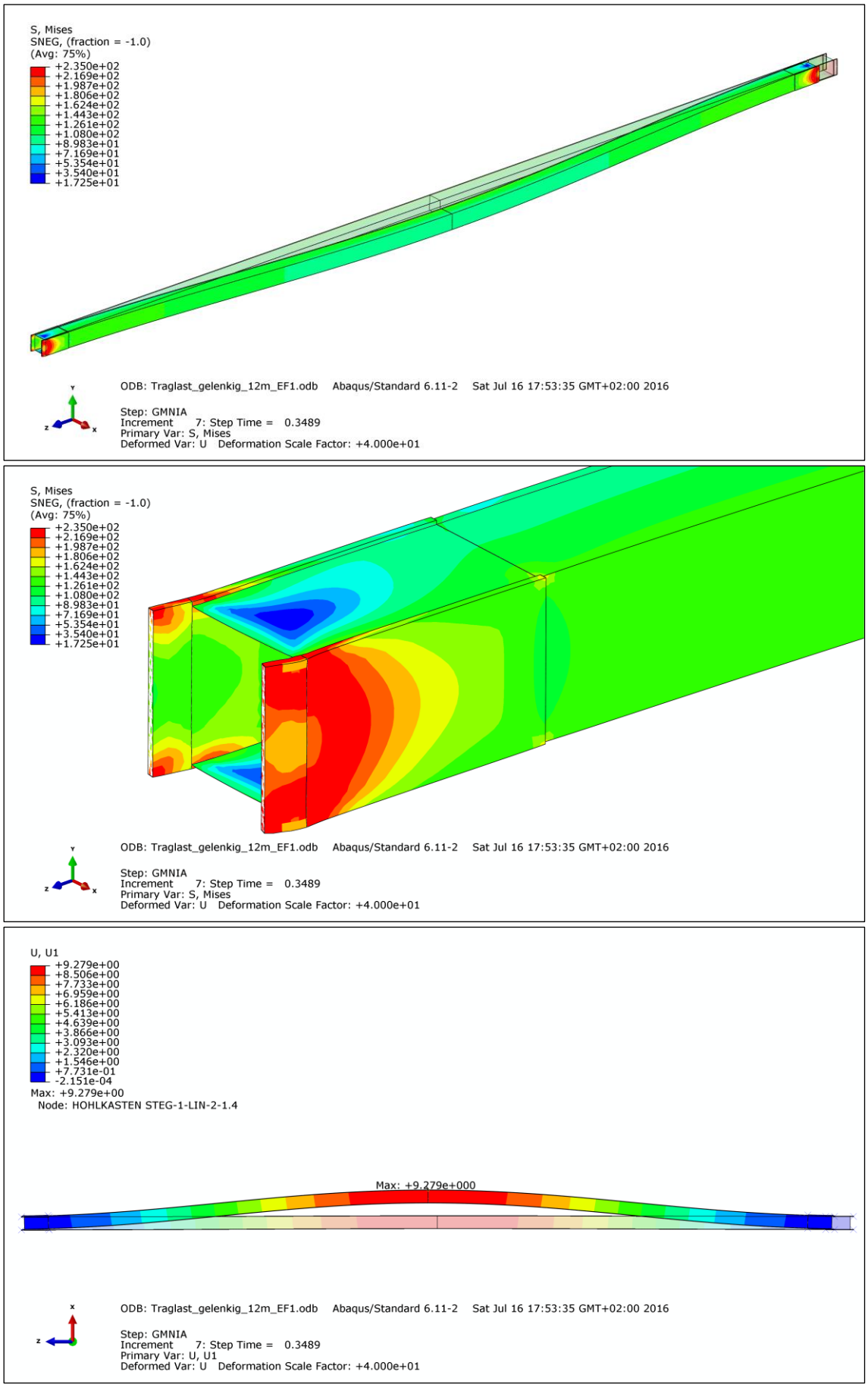
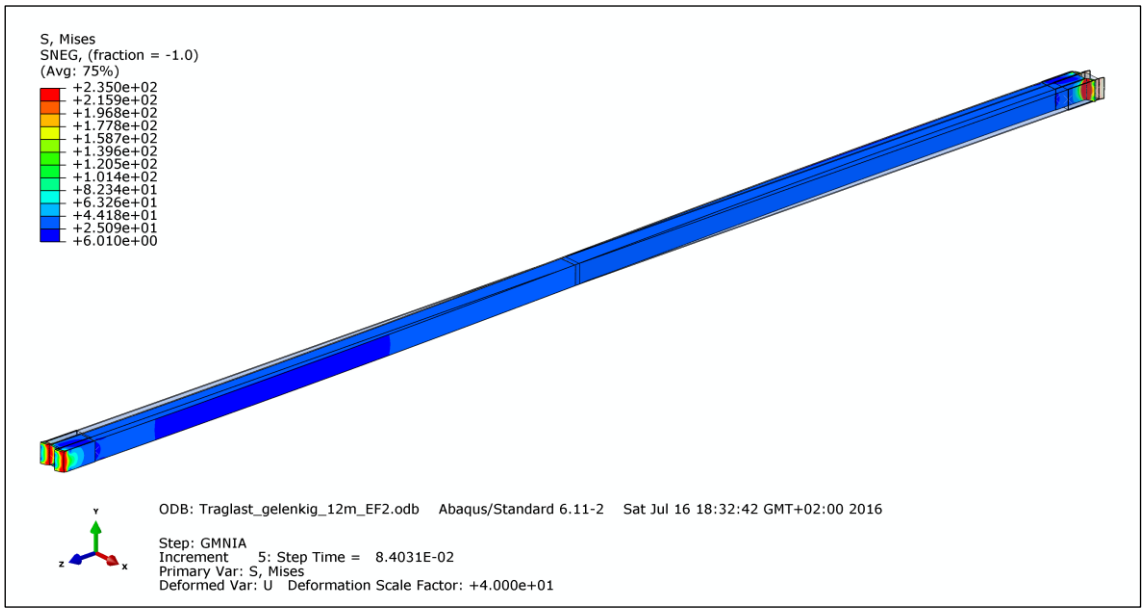
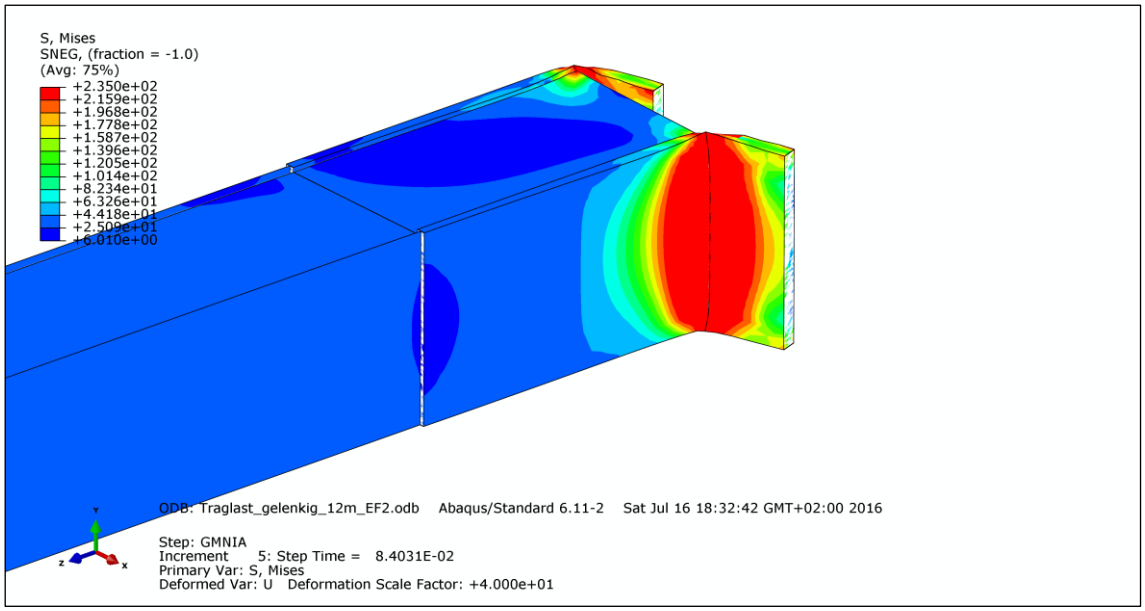


Abbildung 9-453: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1





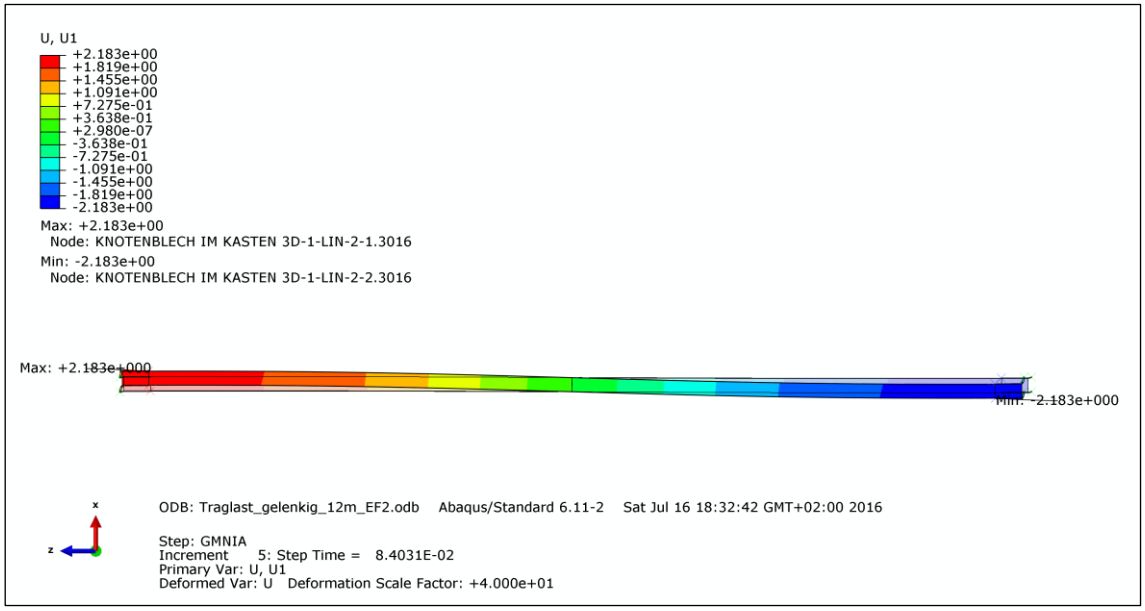
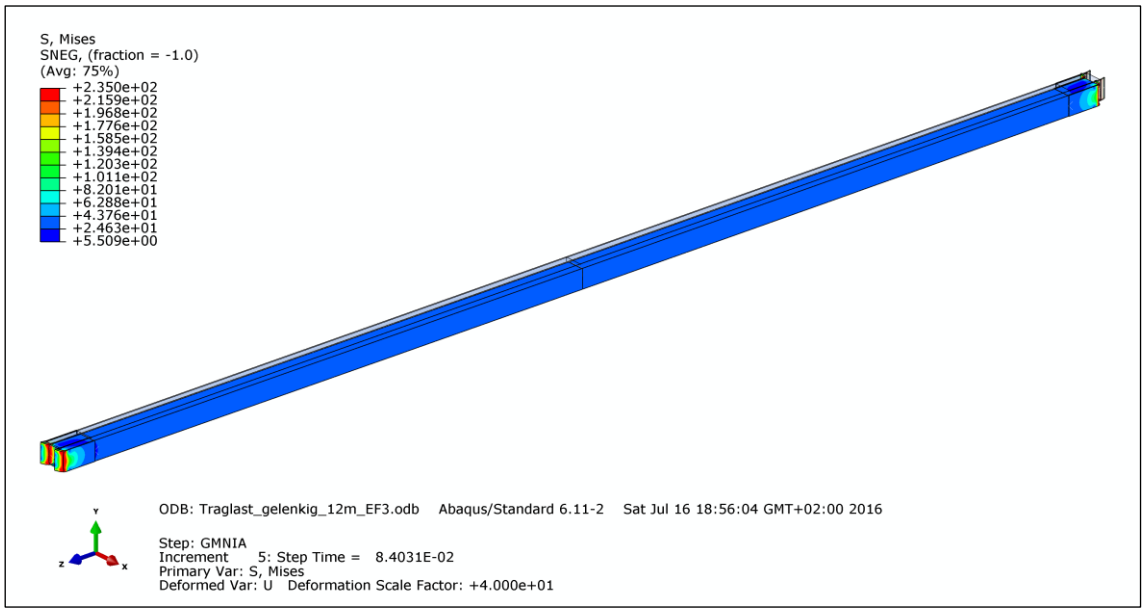
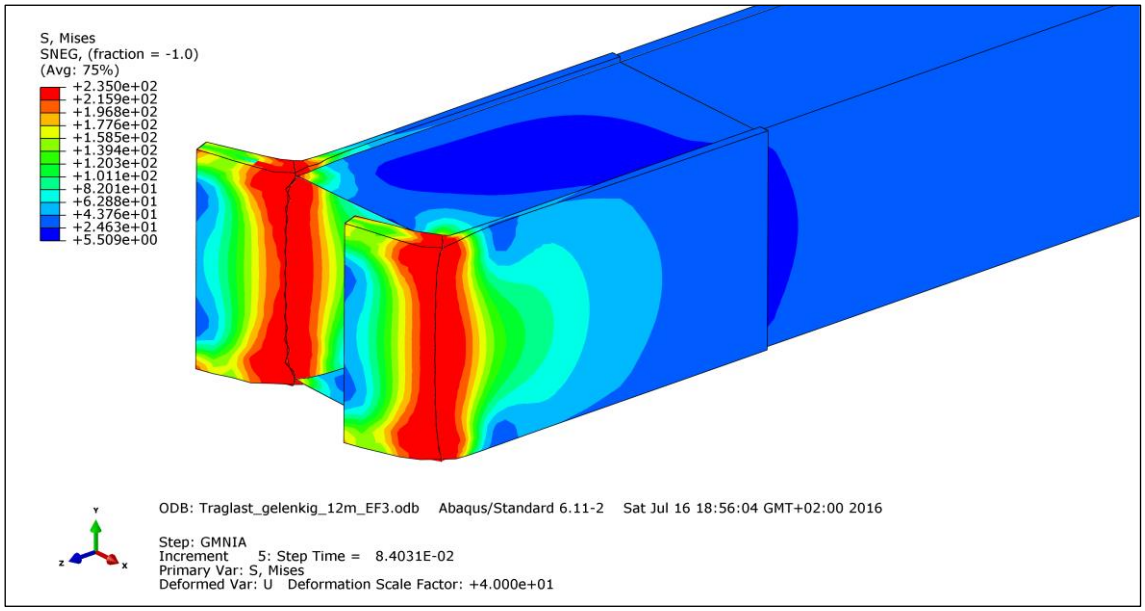


Abbildung 9-454: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2





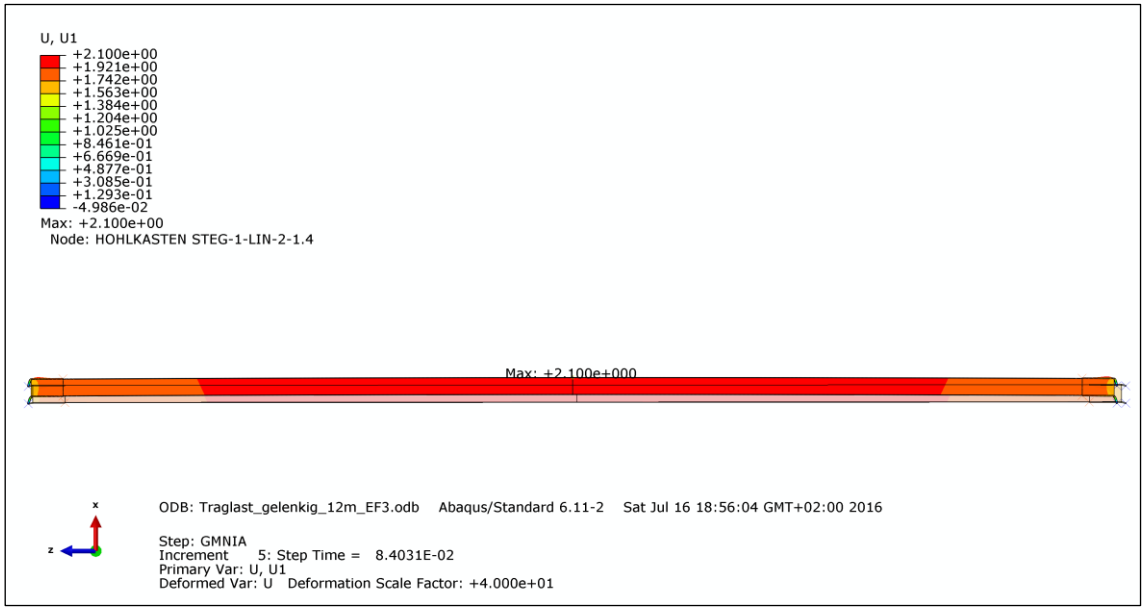
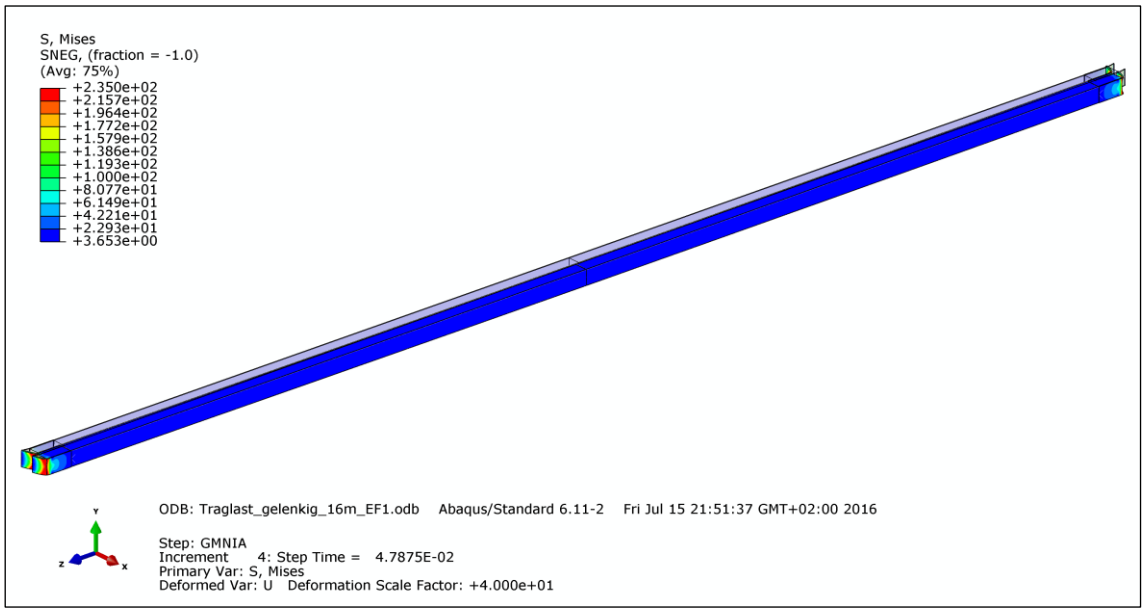
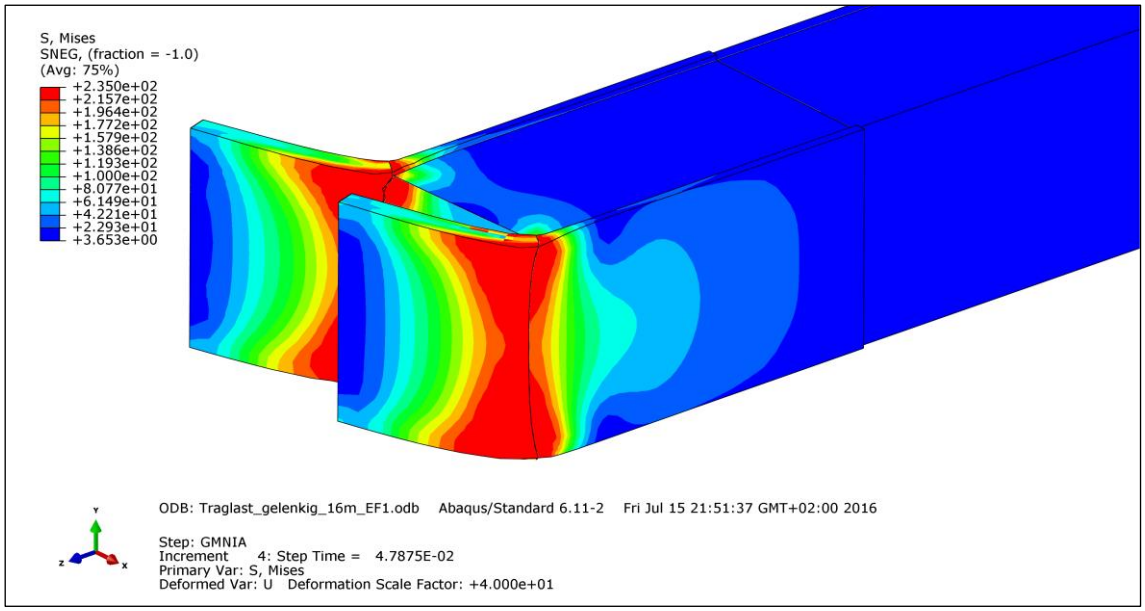


Abbildung 9-455: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**





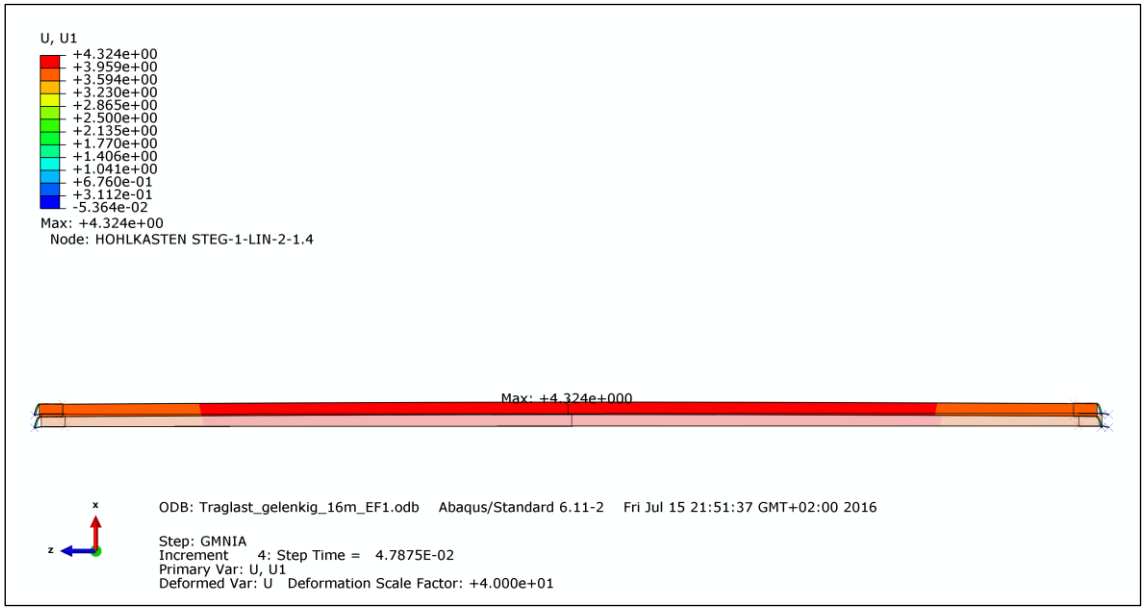
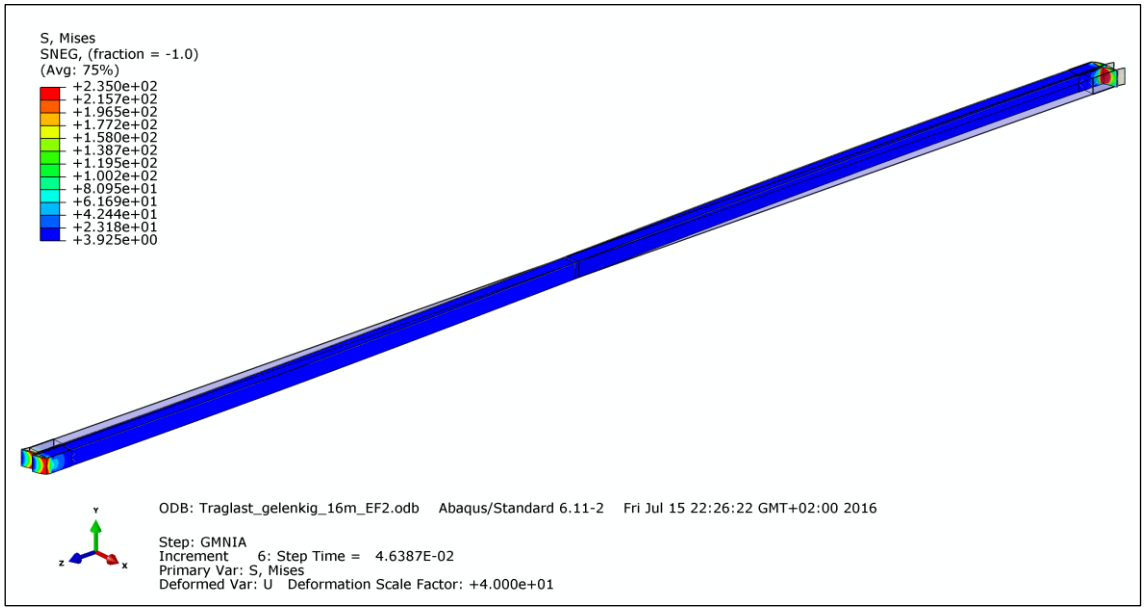
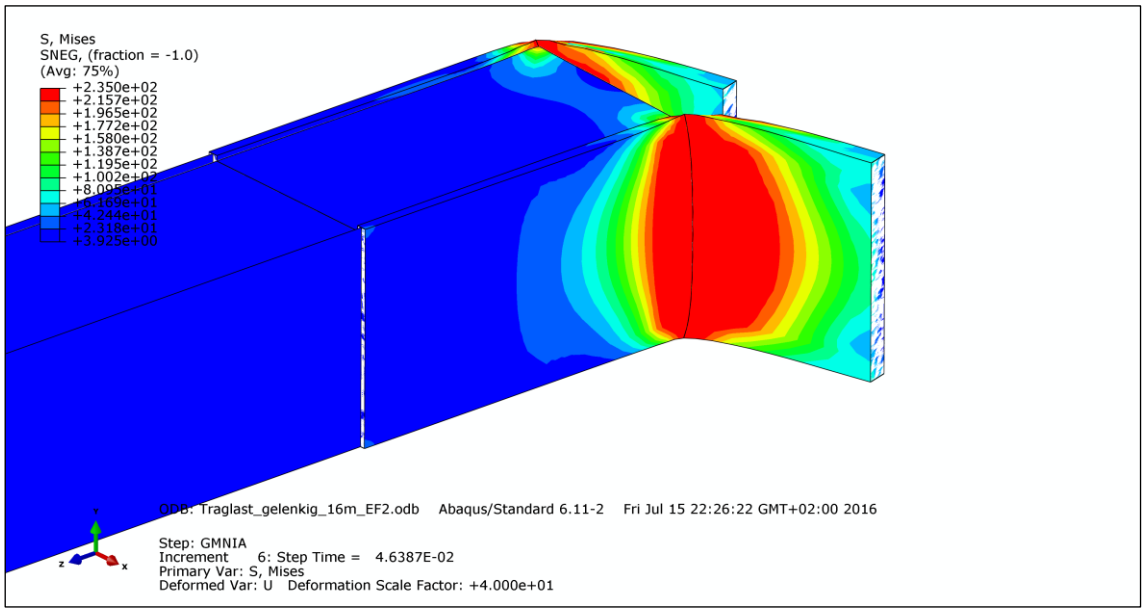


Abbildung 9-456: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





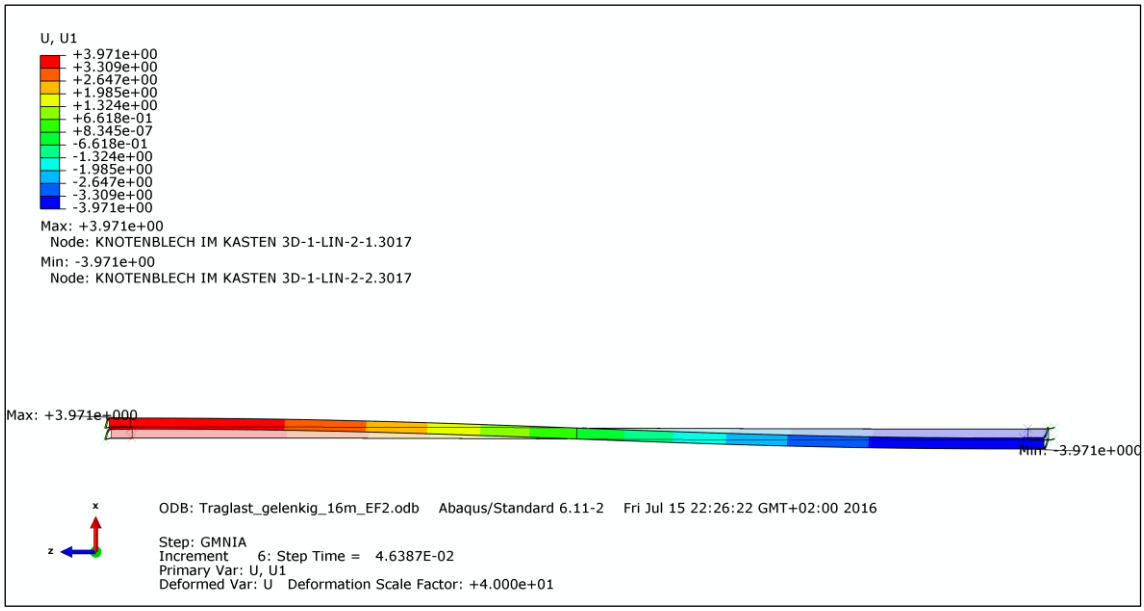


Abbildung 9-457: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**

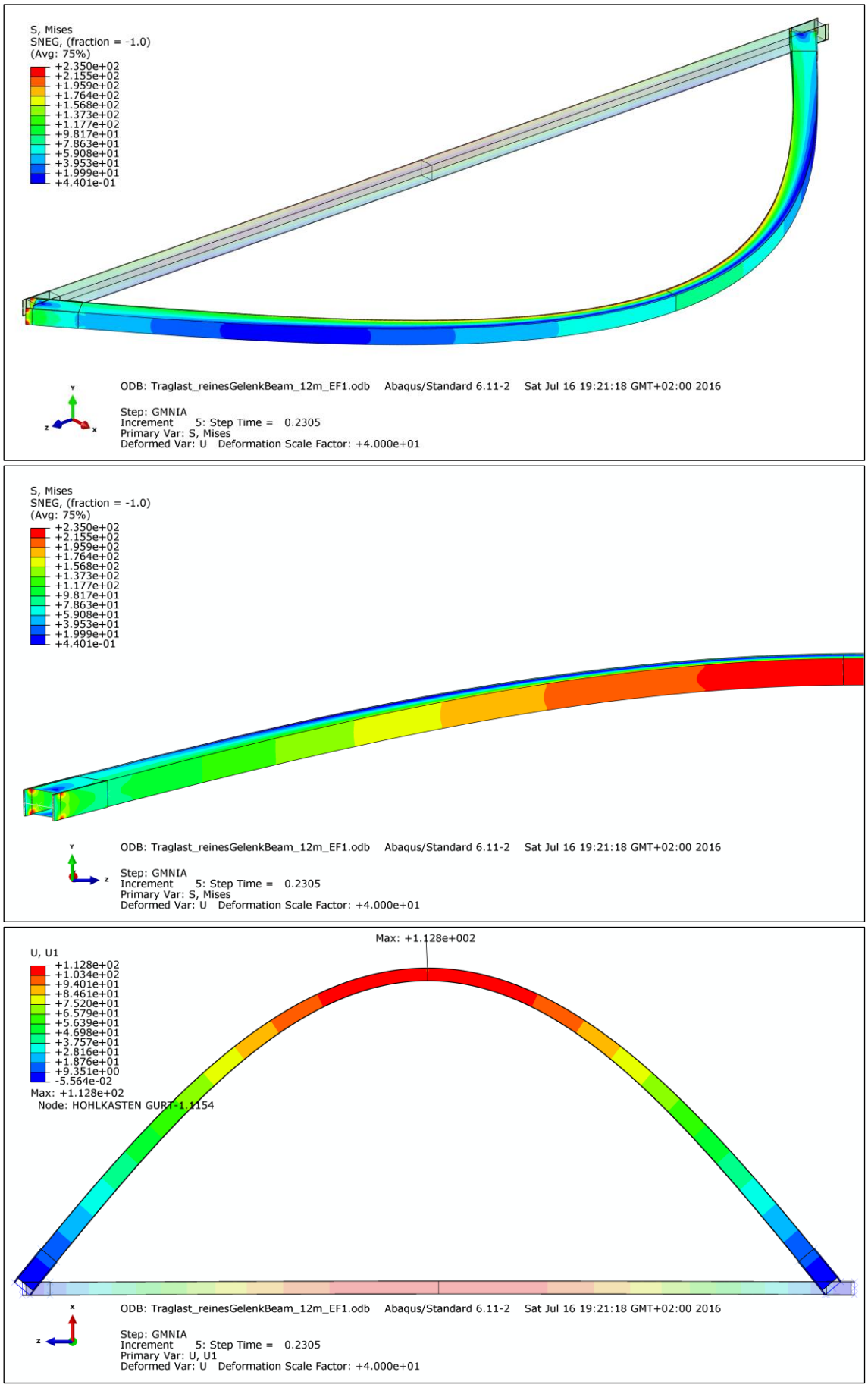
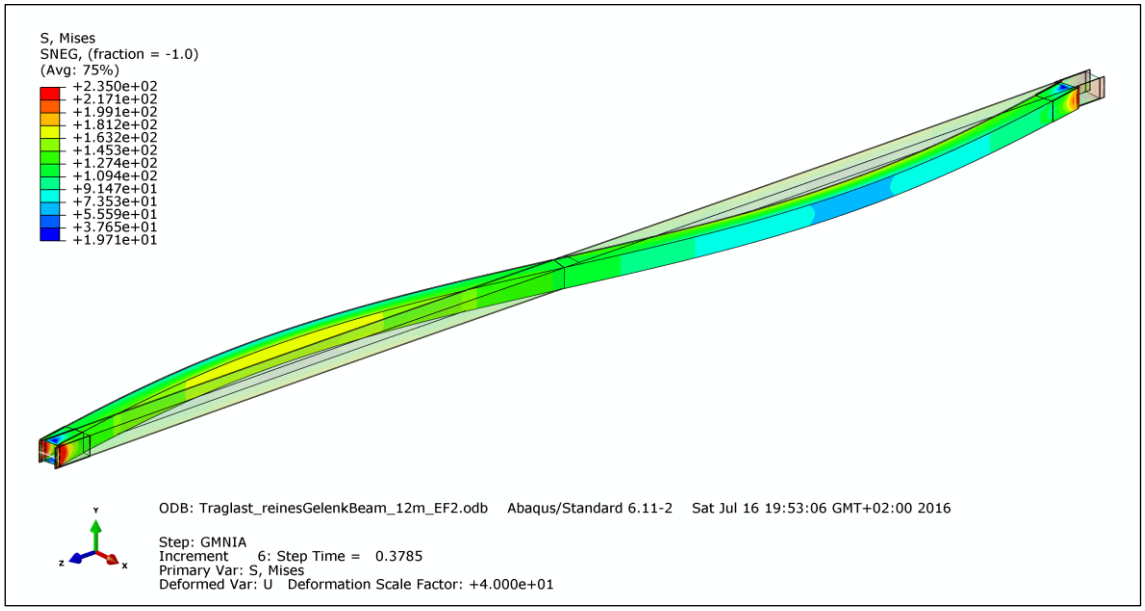
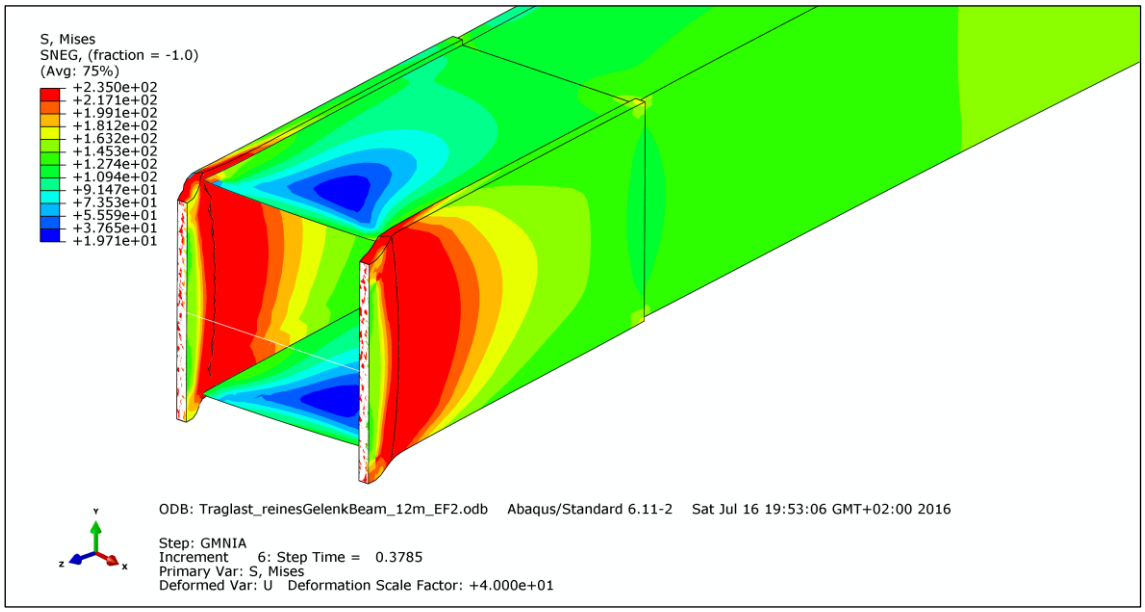


Abbildung 9-458: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1





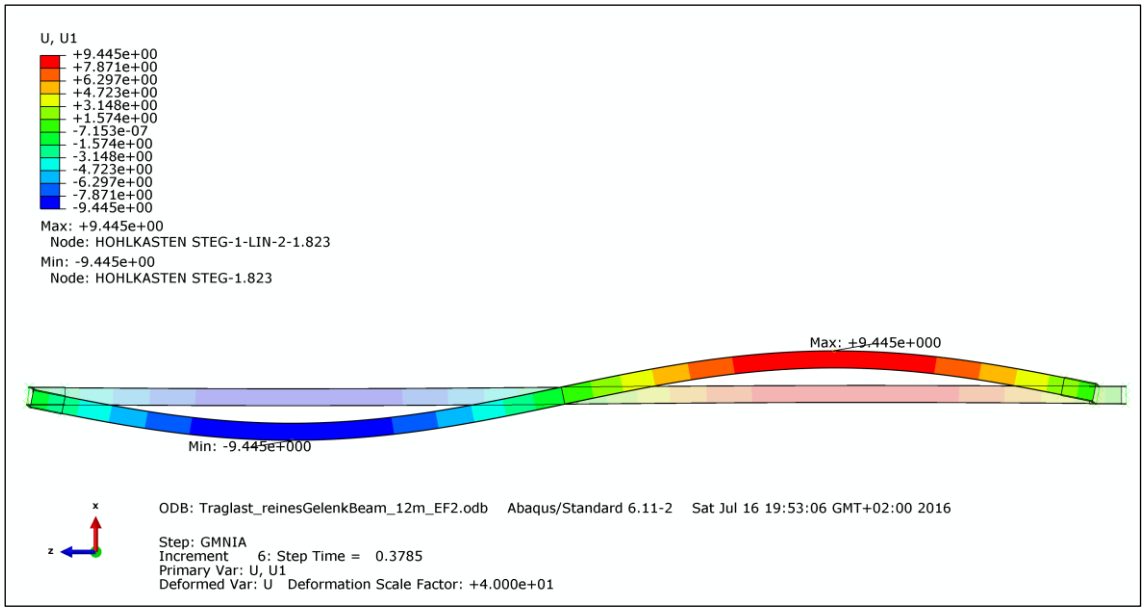
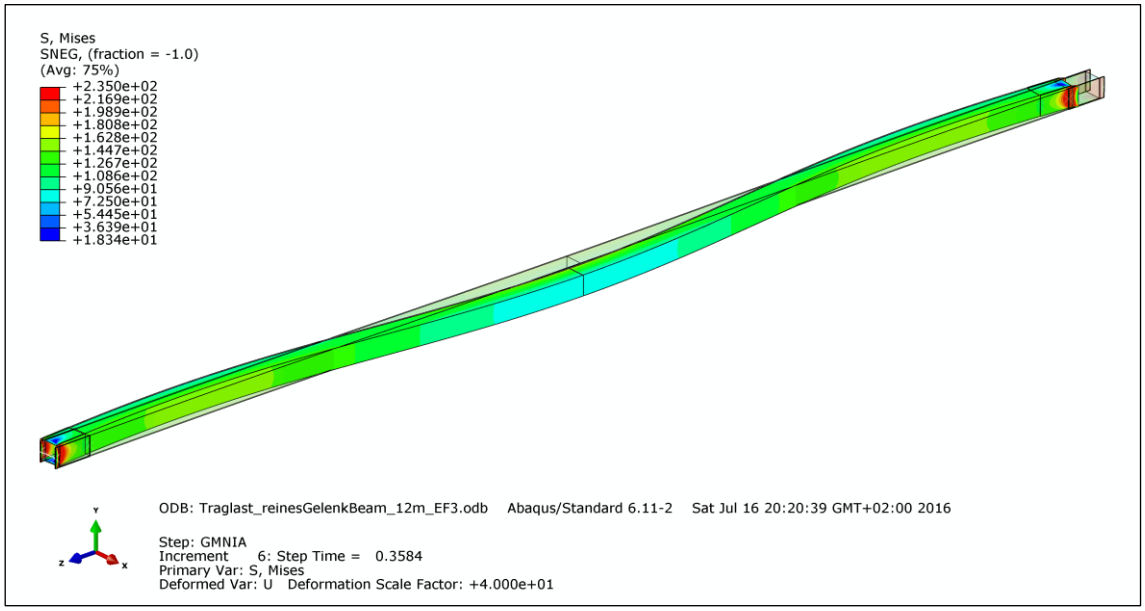
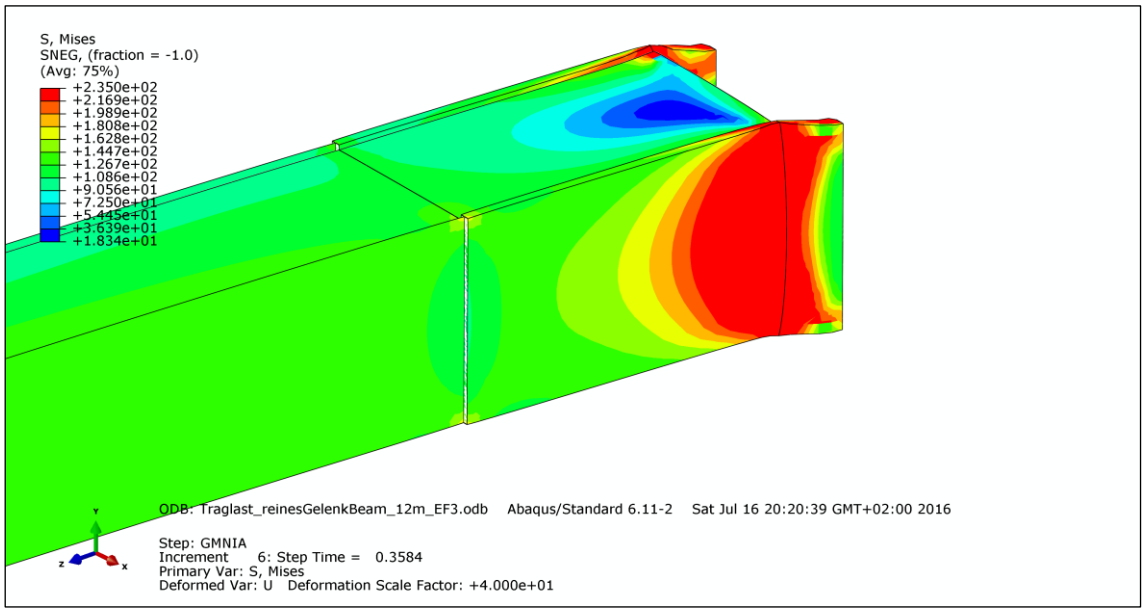


Abbildung 9-459: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2





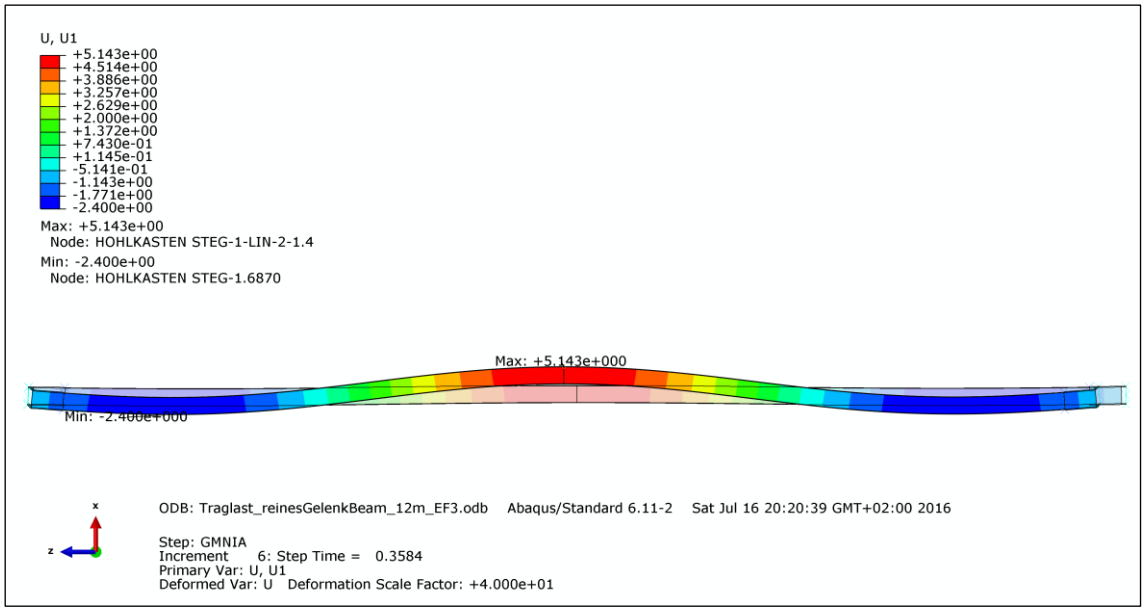


Abbildung 9-460: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3

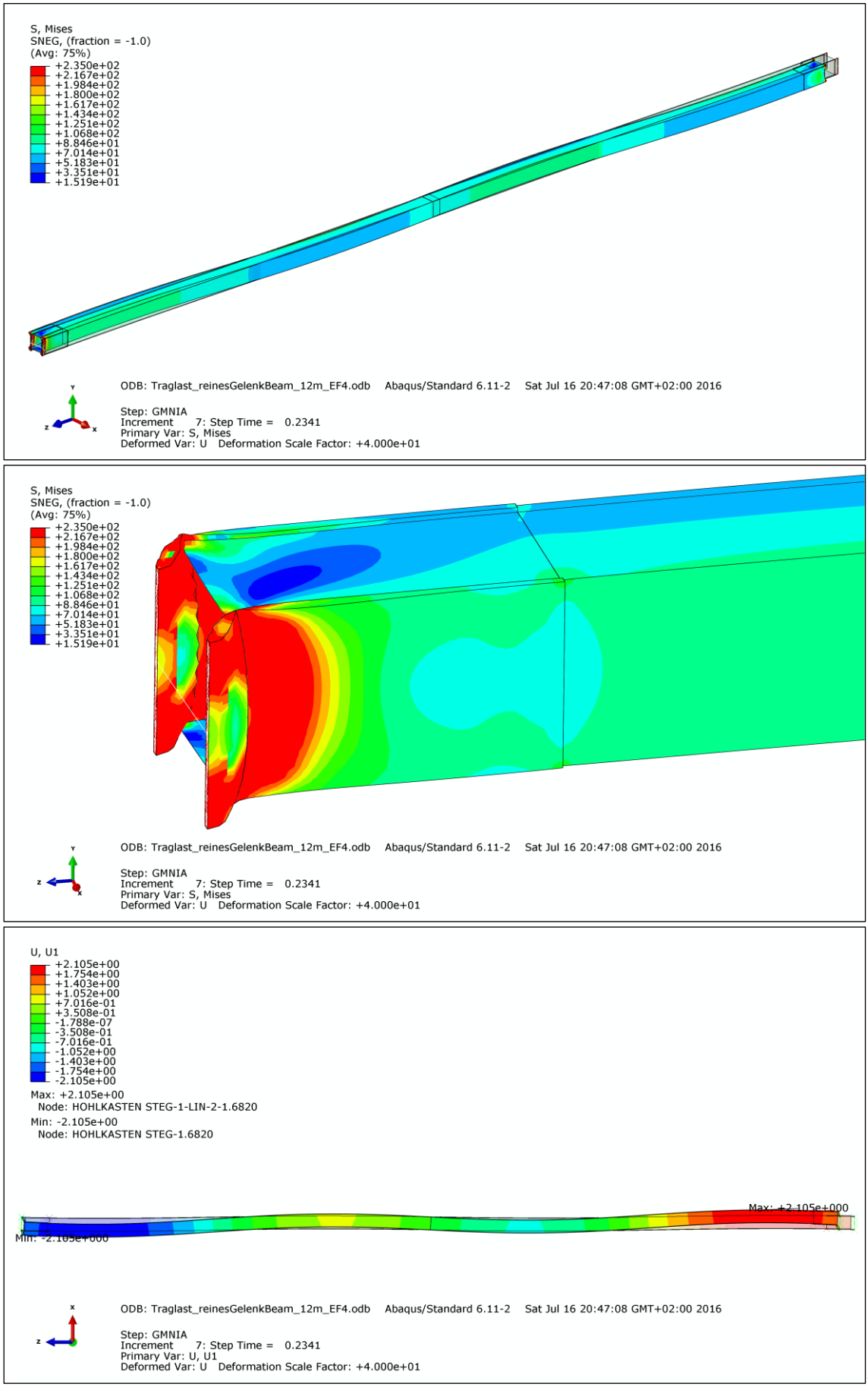
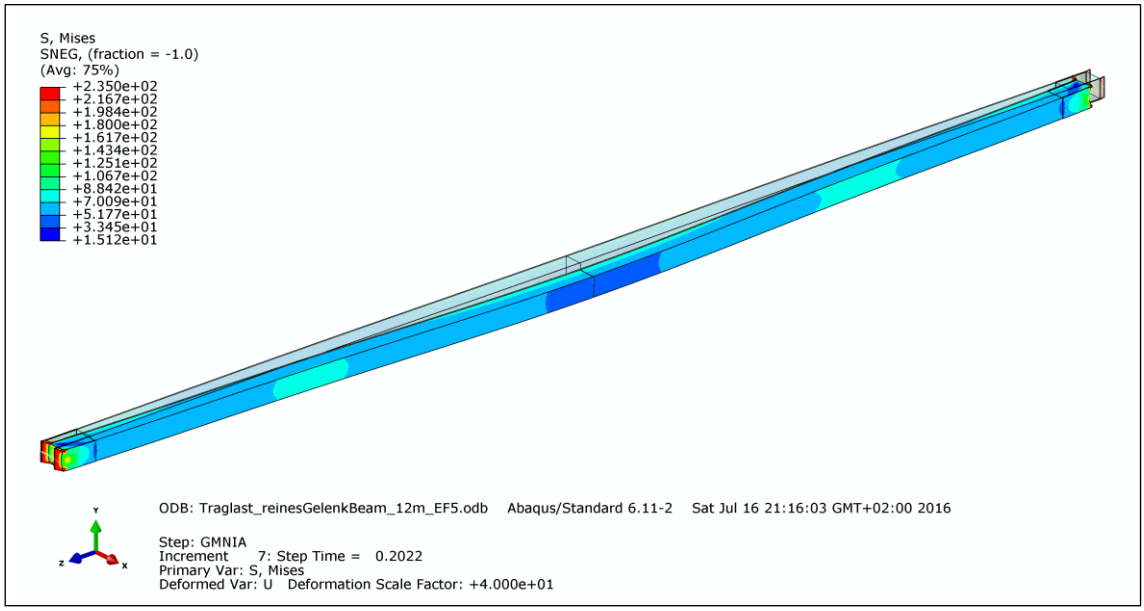
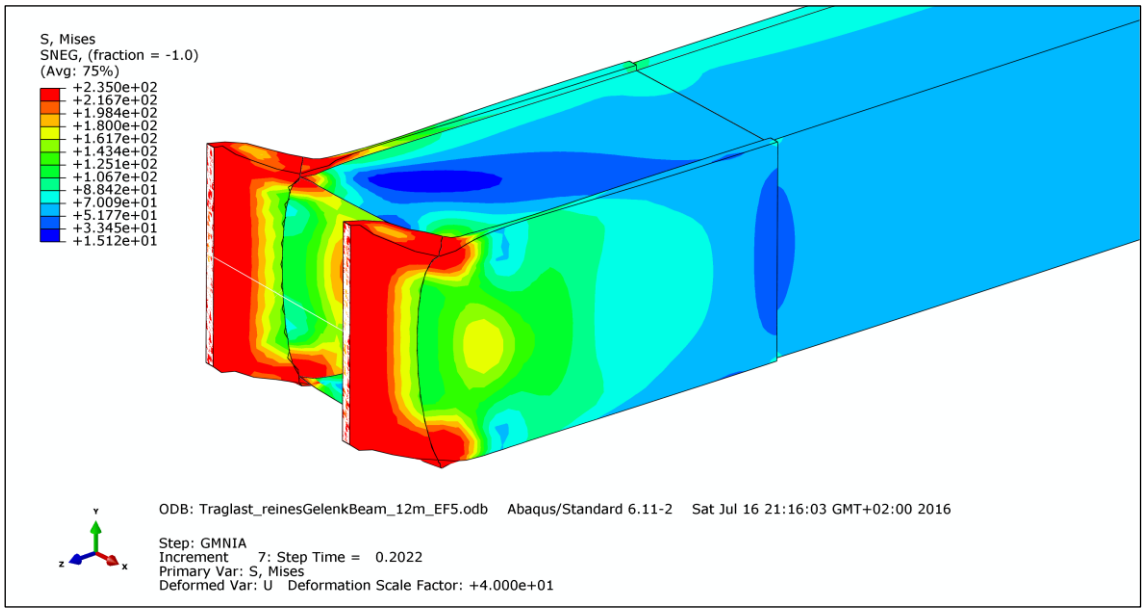


Abbildung 9-461: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4





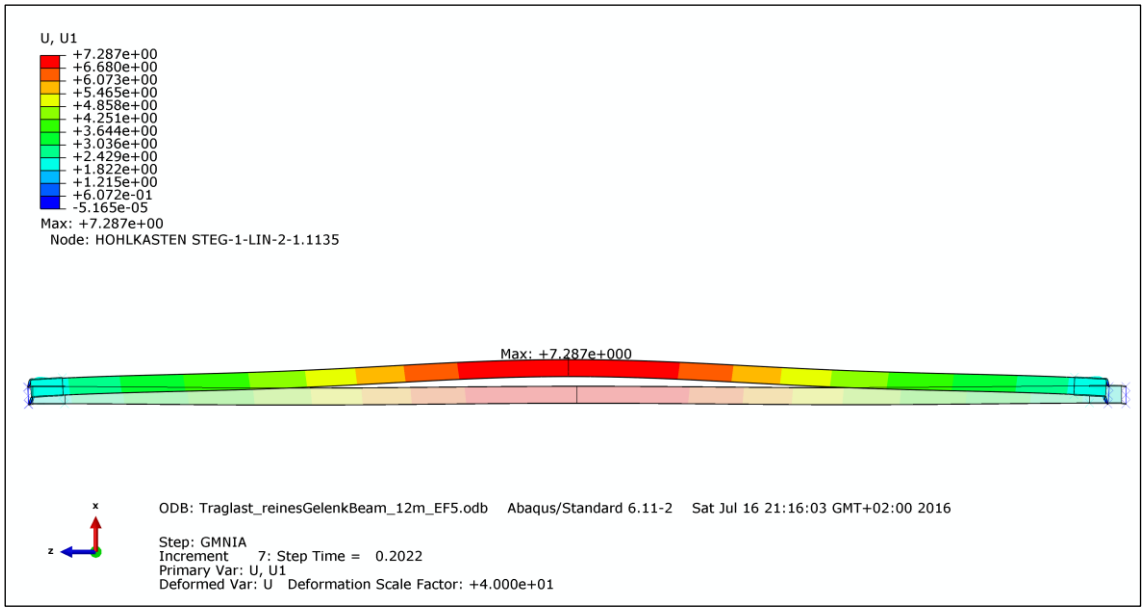


Abbildung 9-462: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**

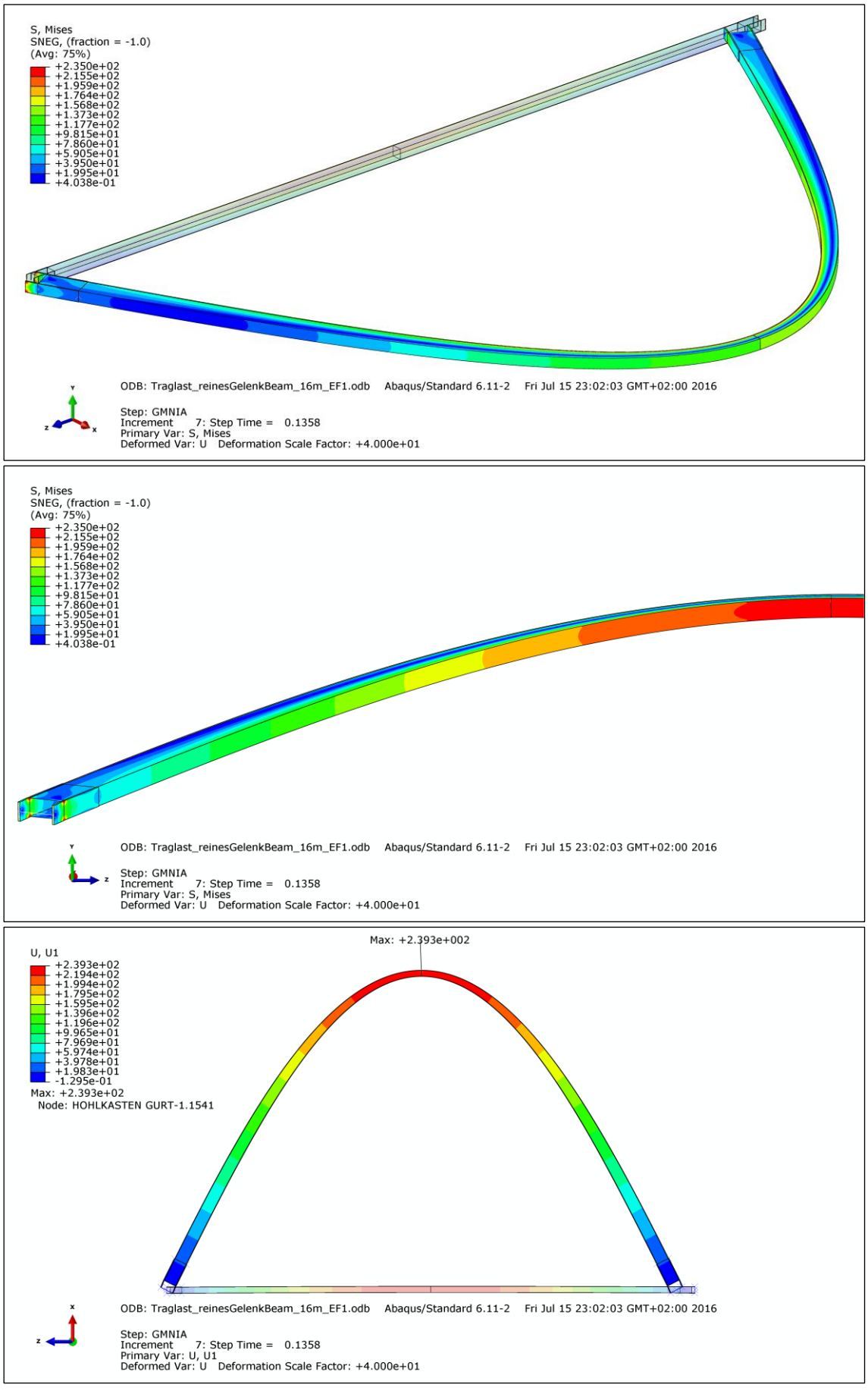
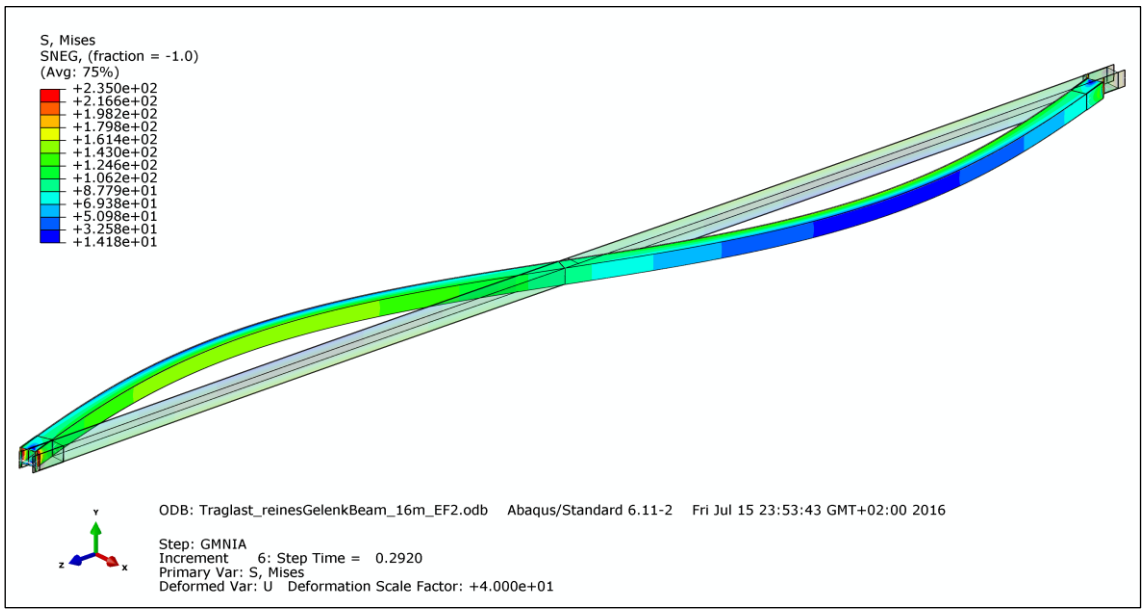
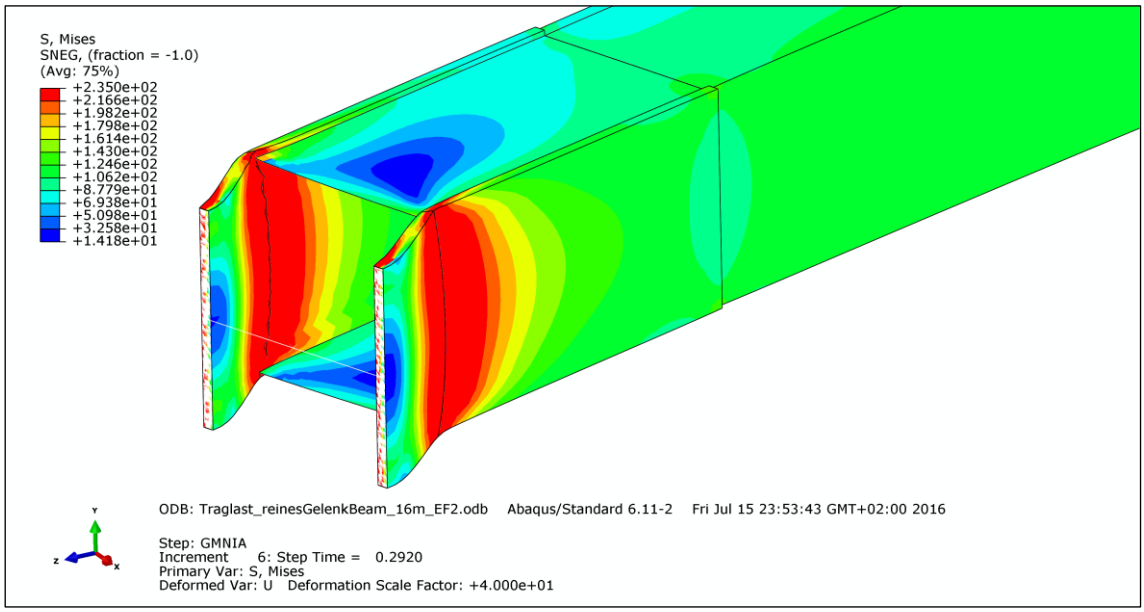


Abbildung 9-463: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





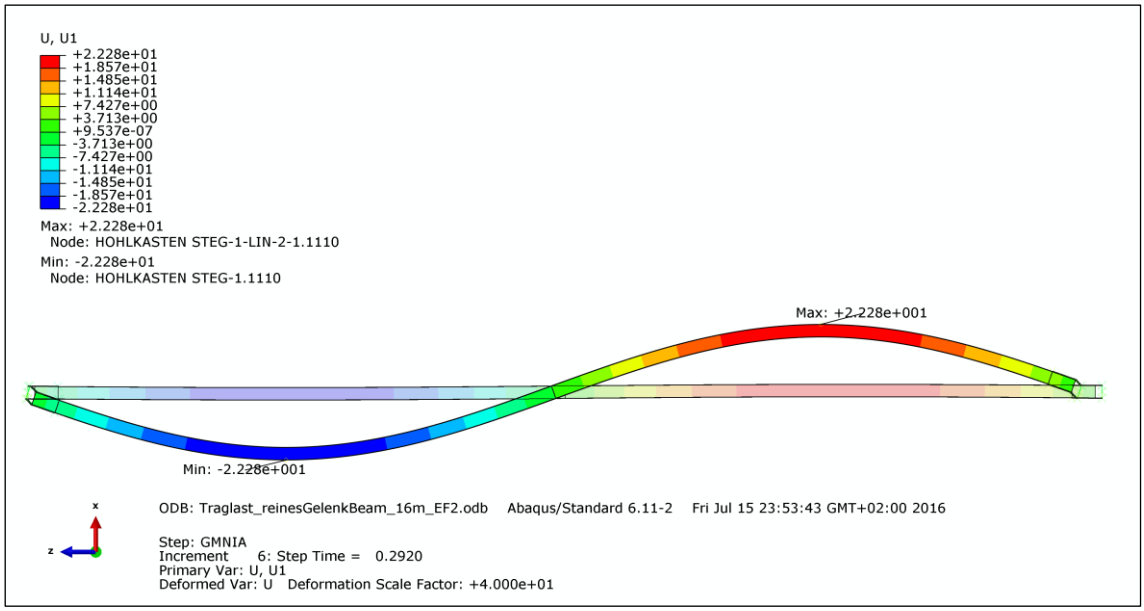
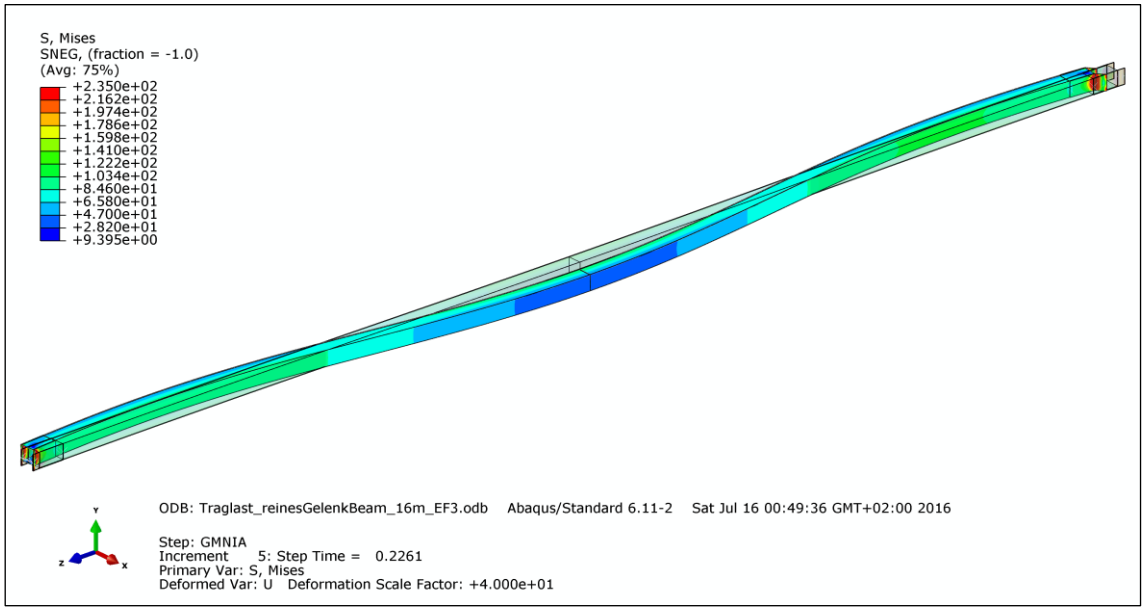
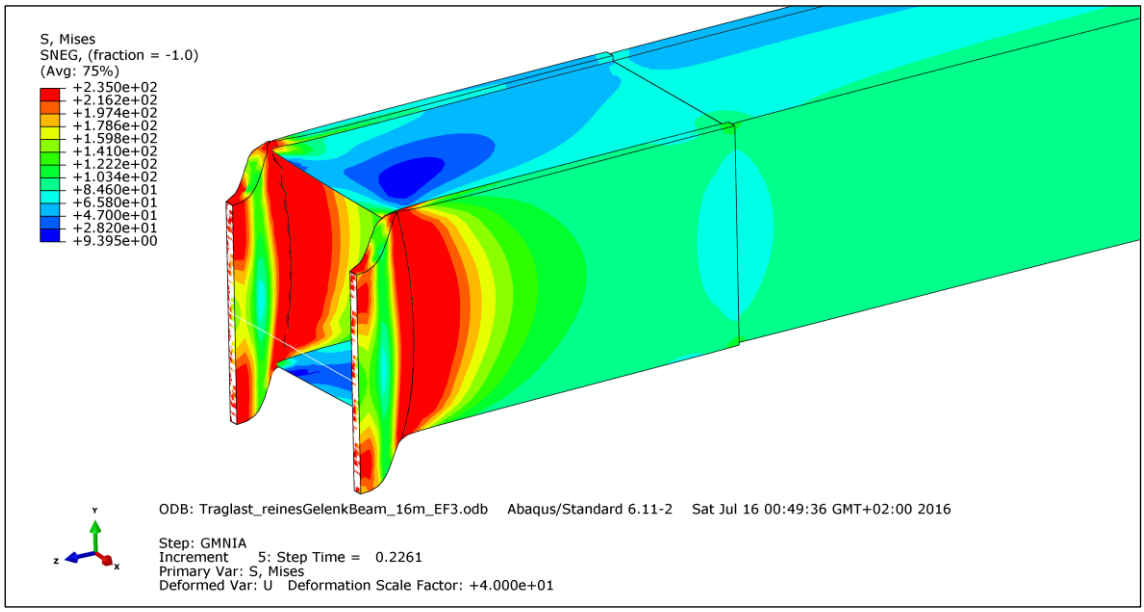


Abbildung 9-464: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





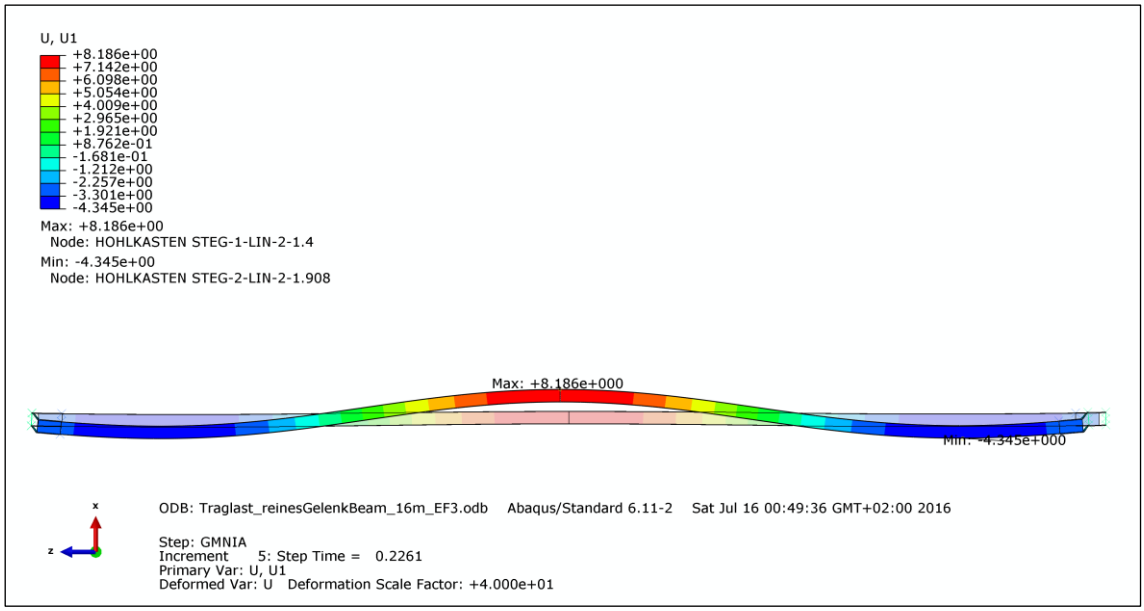
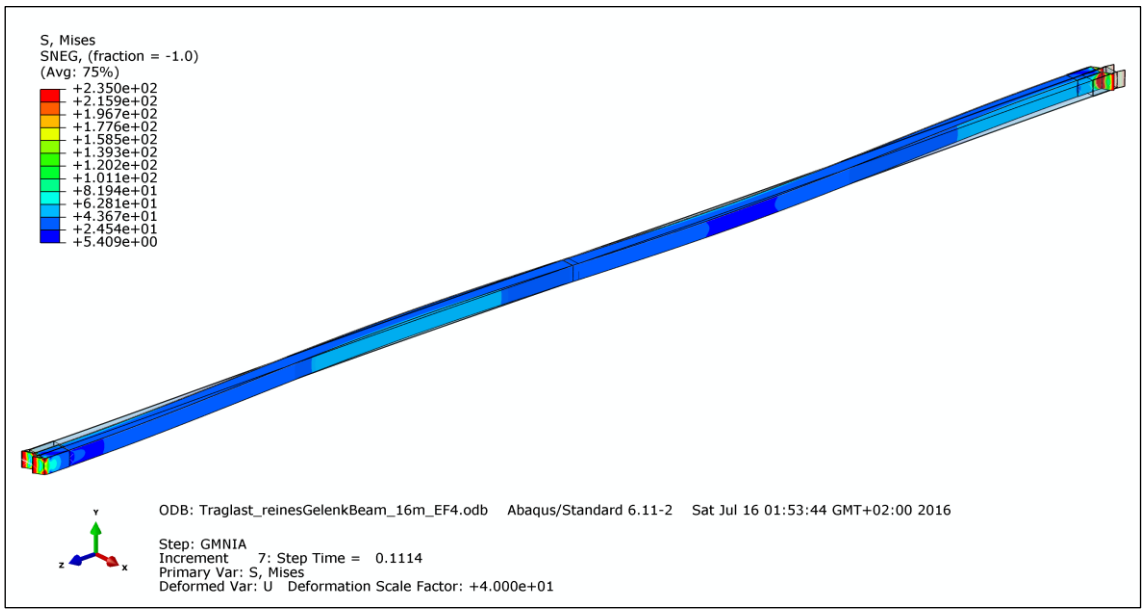
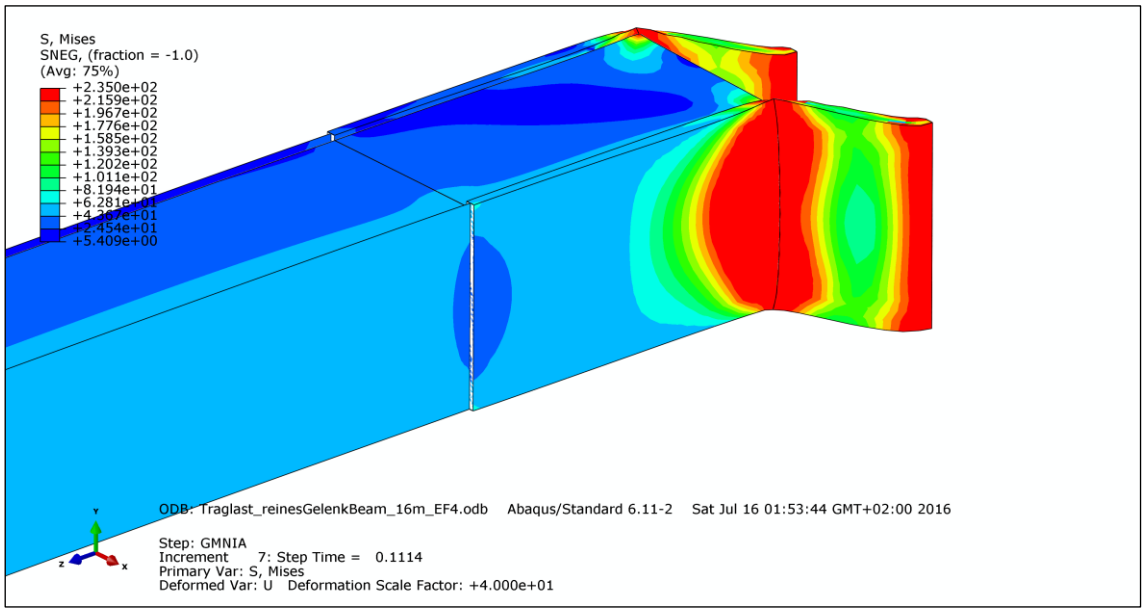


Abbildung 9-465: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3





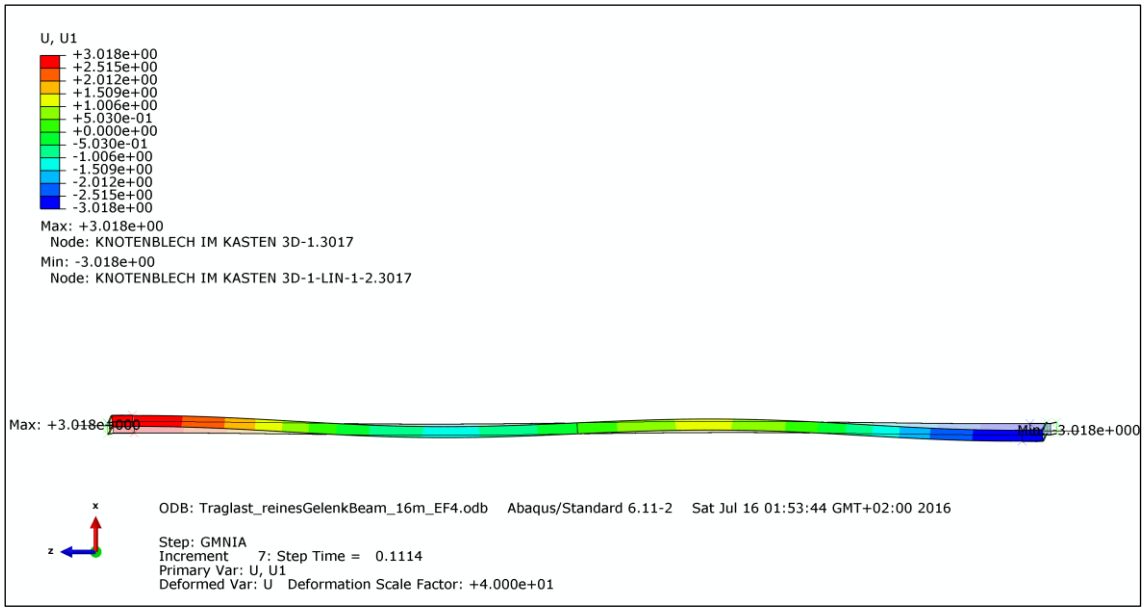


Abbildung 9-466: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm**

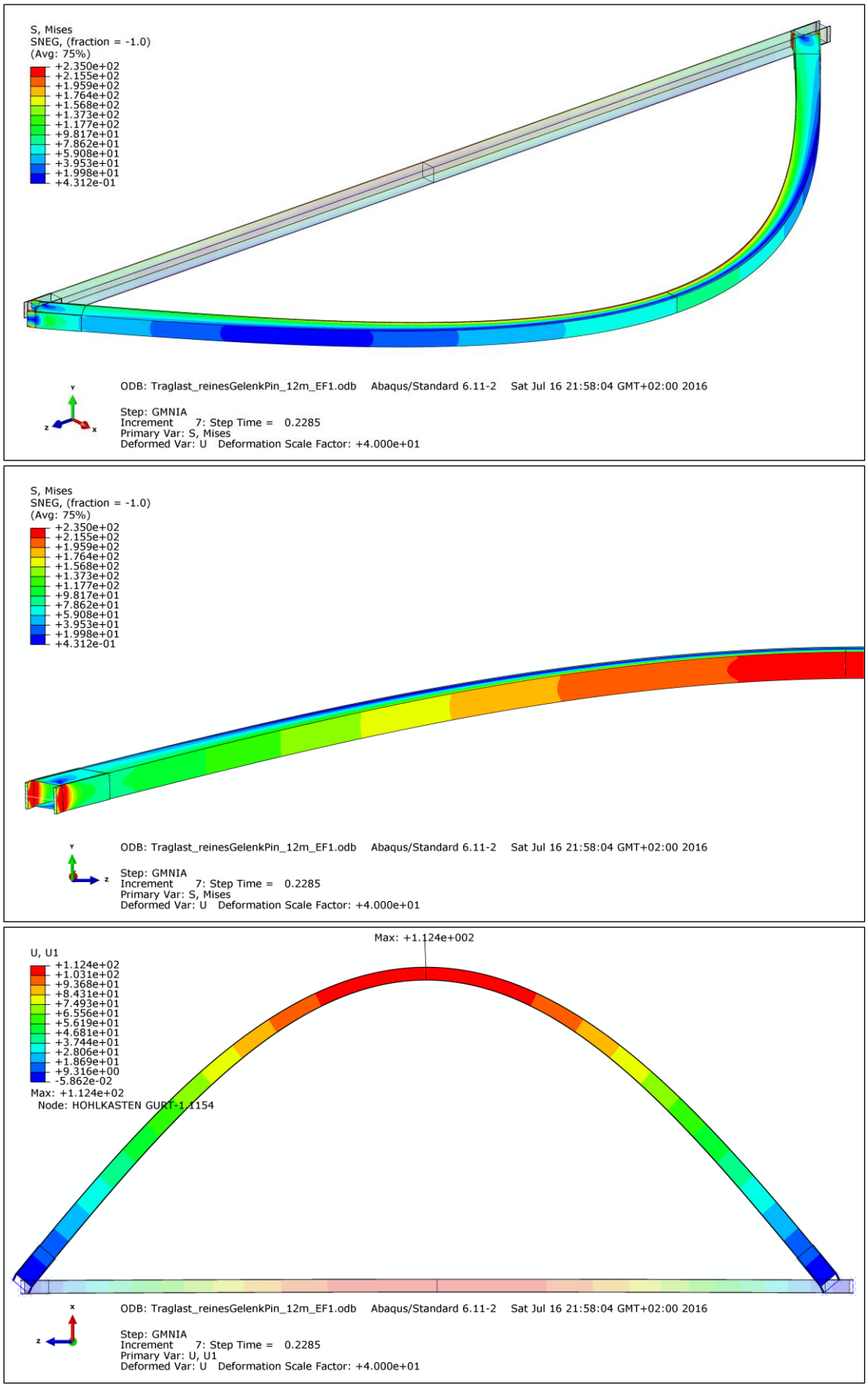
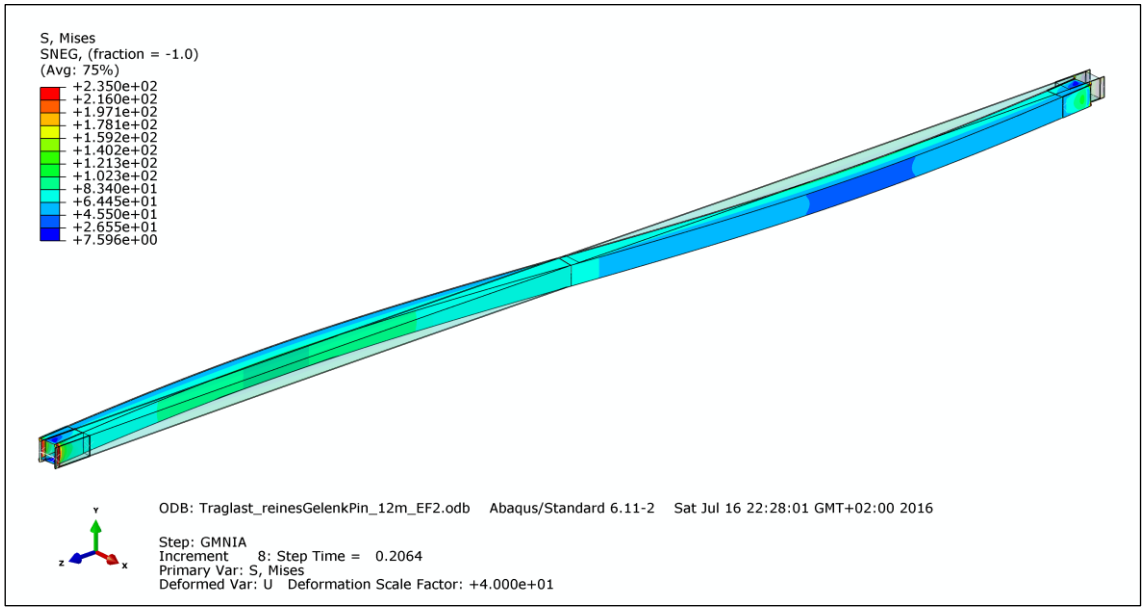
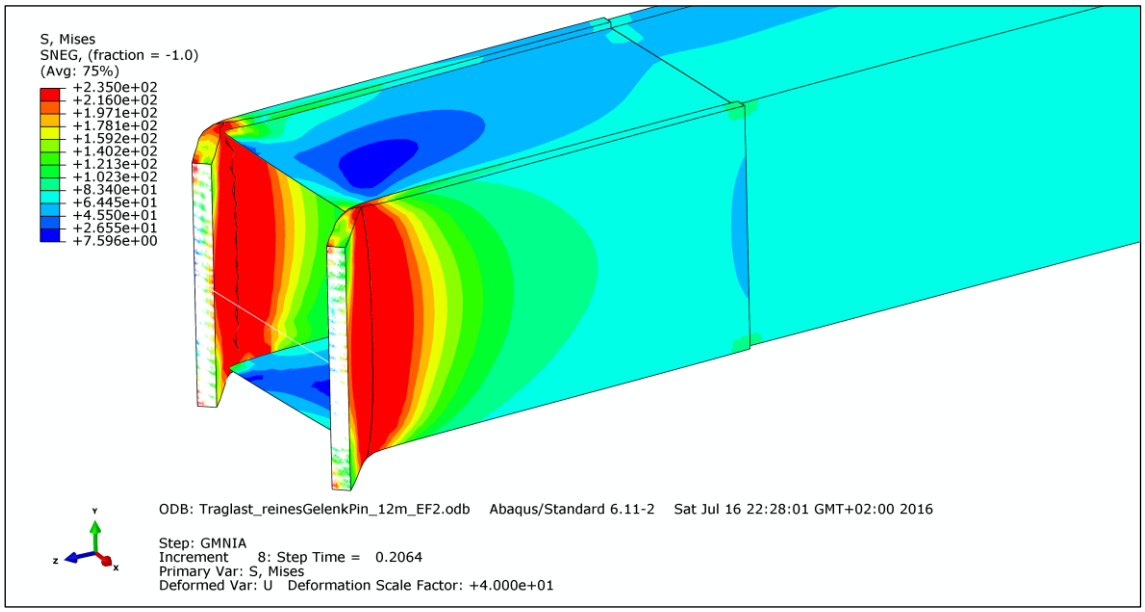


Abbildung 9-467: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1





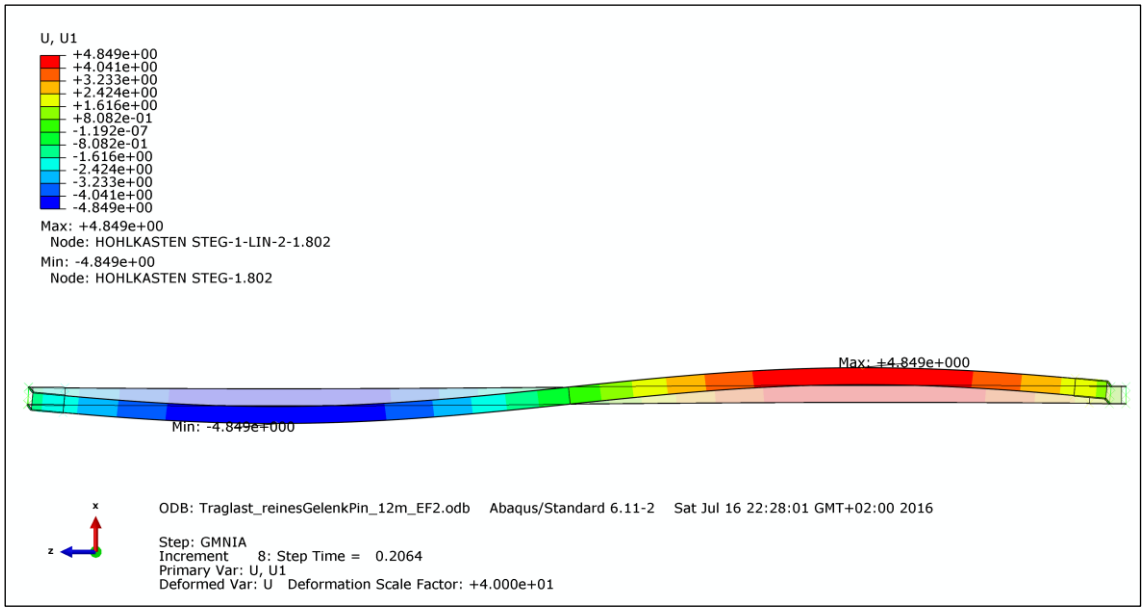
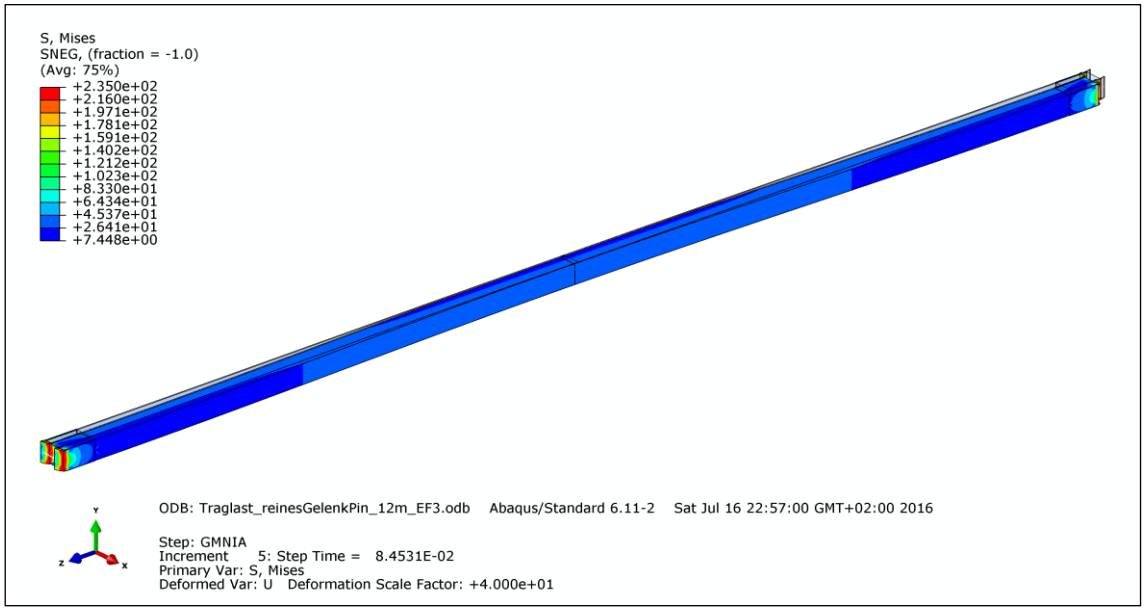
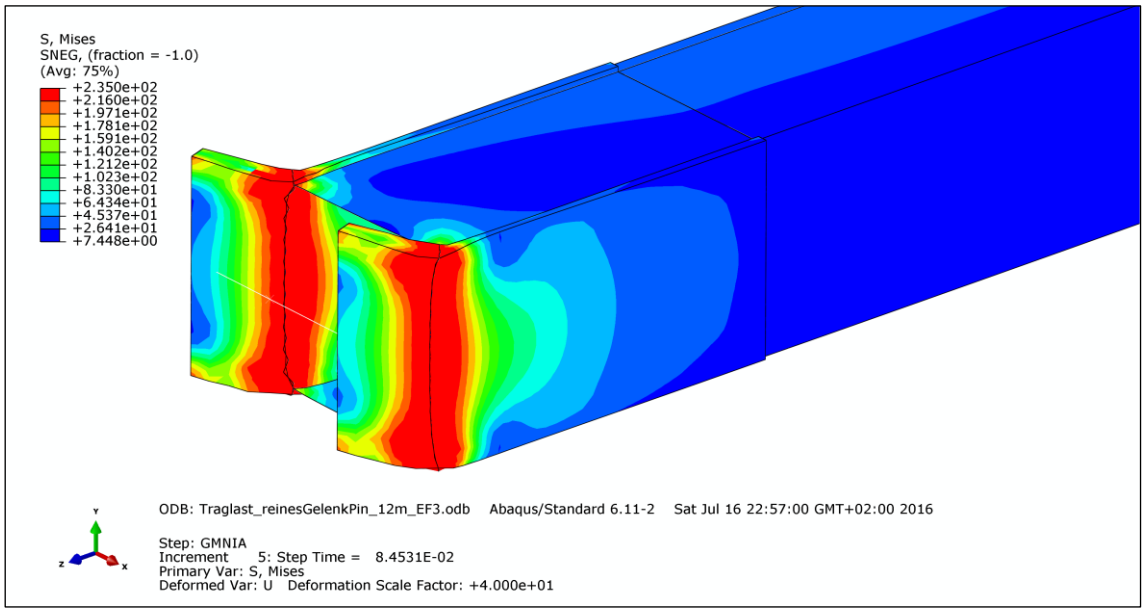


Abbildung 9-468: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2





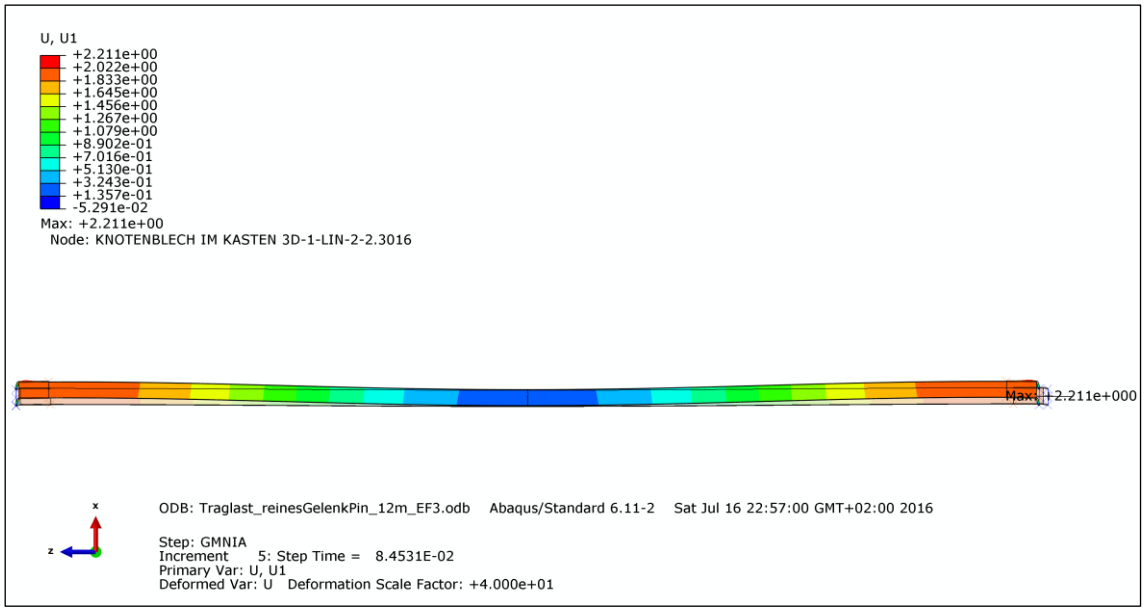
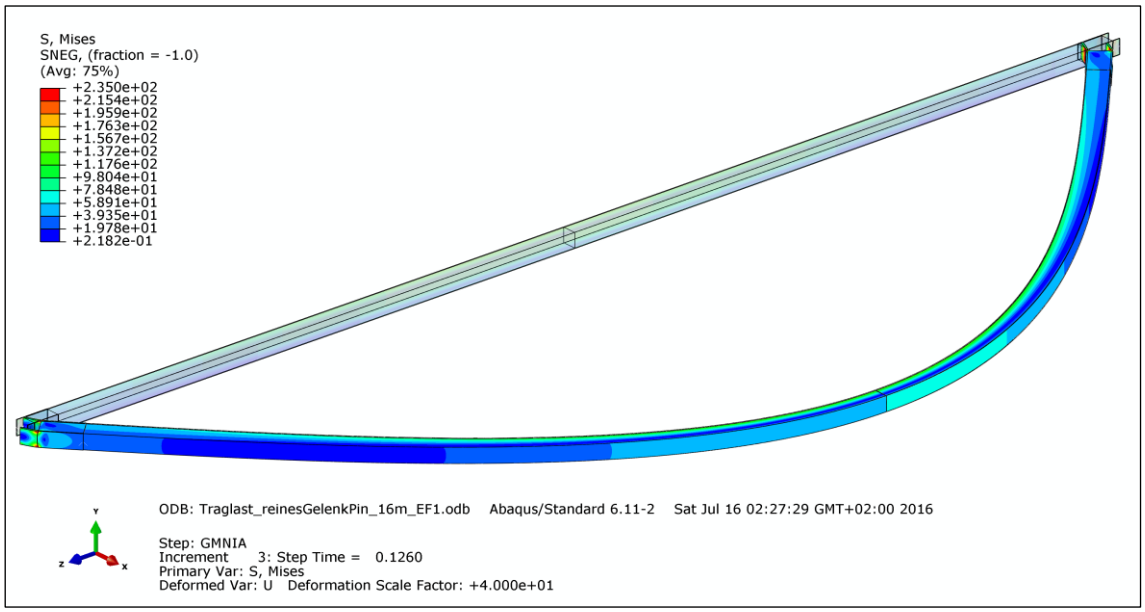
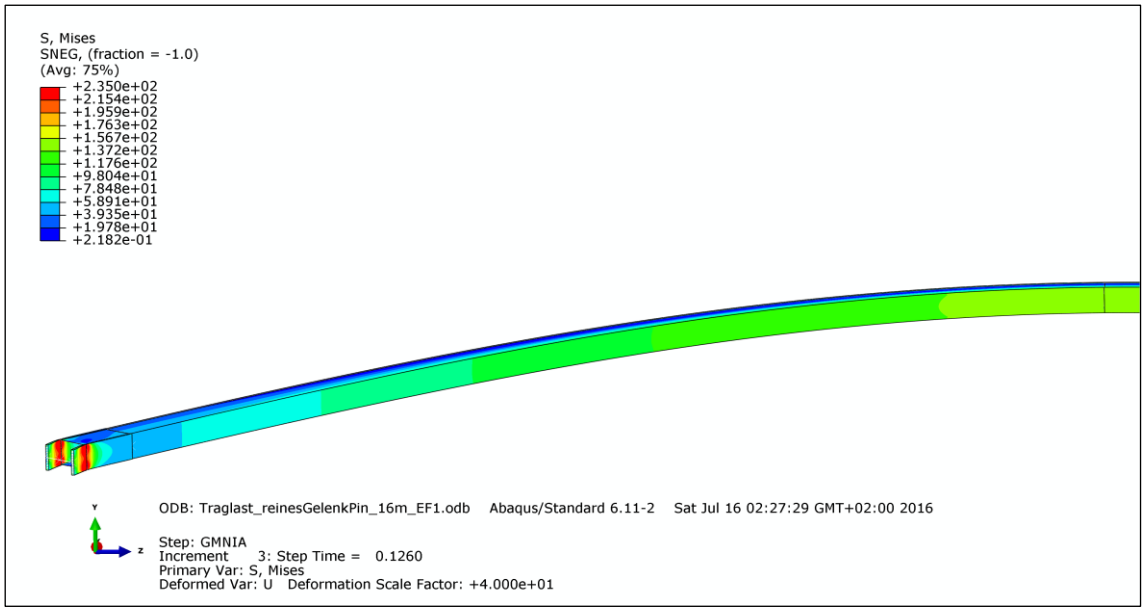


Abbildung 9-469: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3

- **System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm**





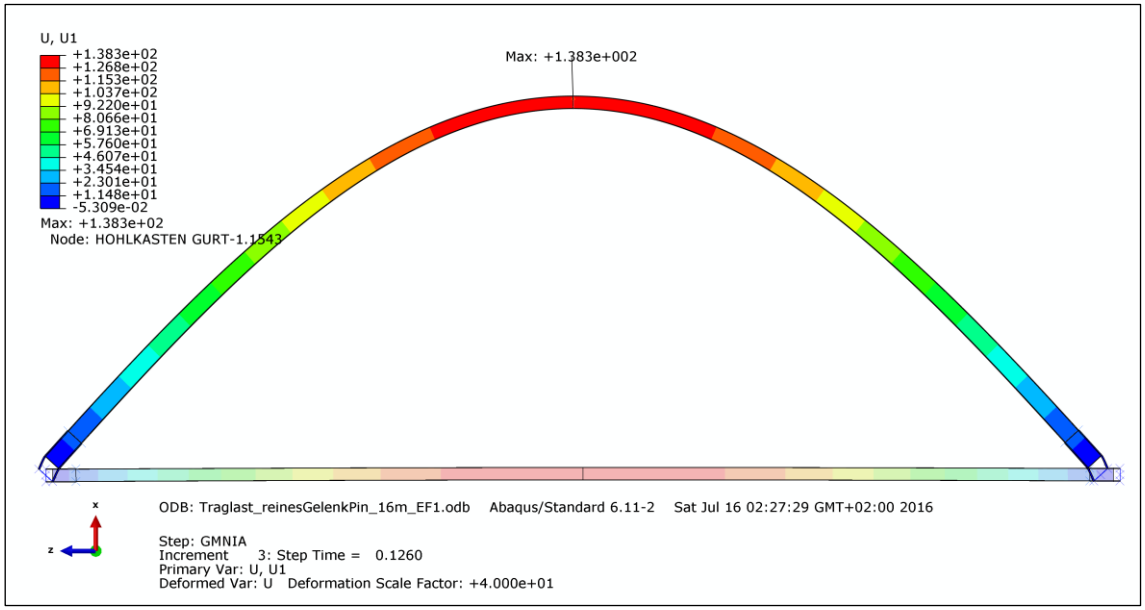
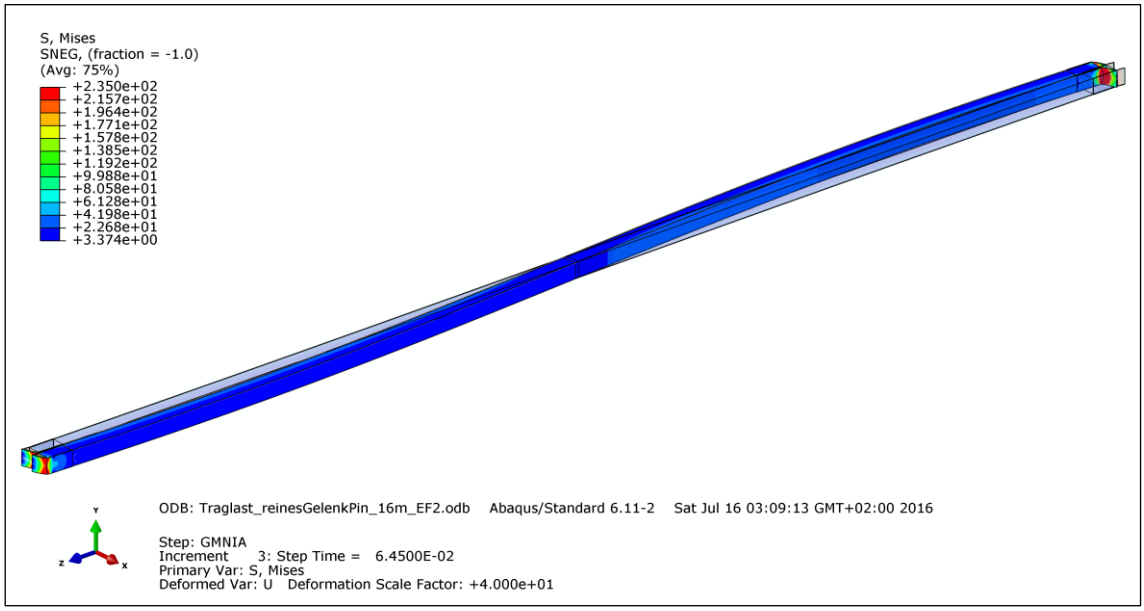
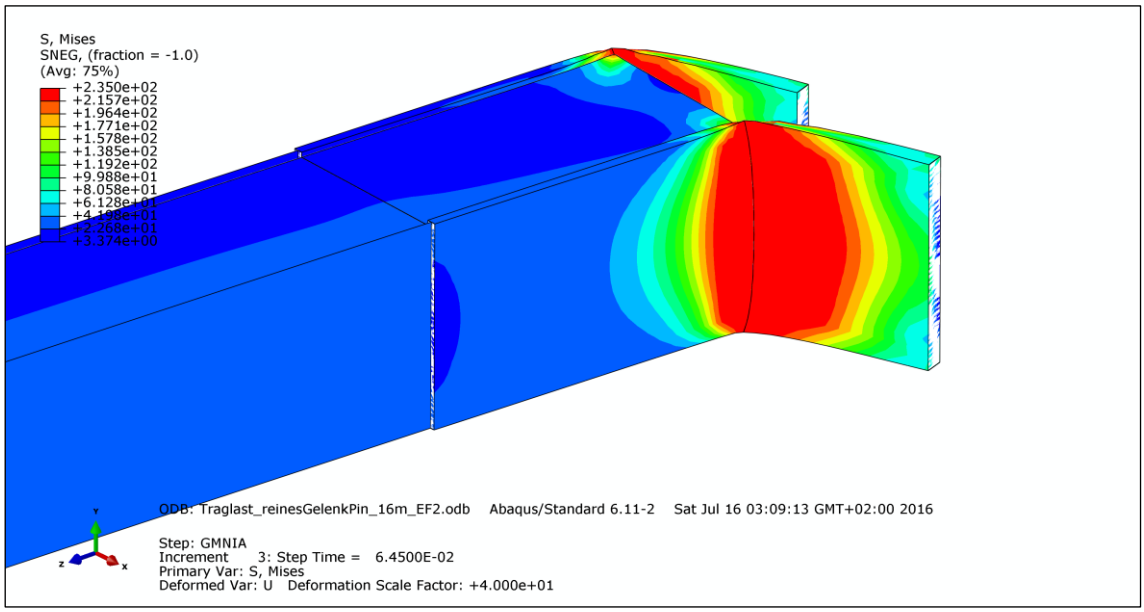


Abbildung 9-470: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1





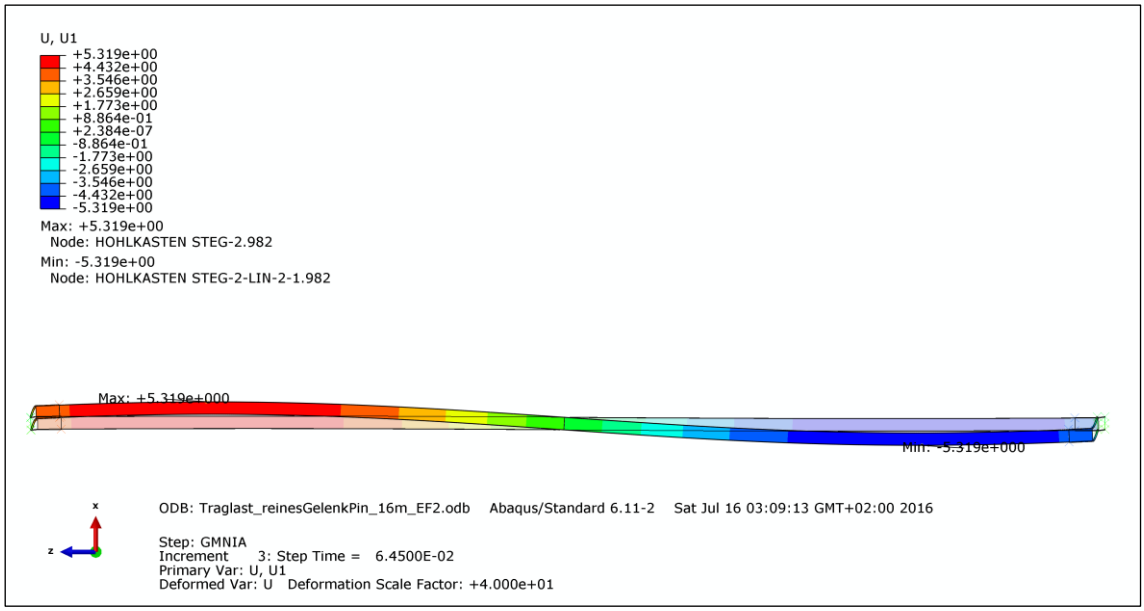
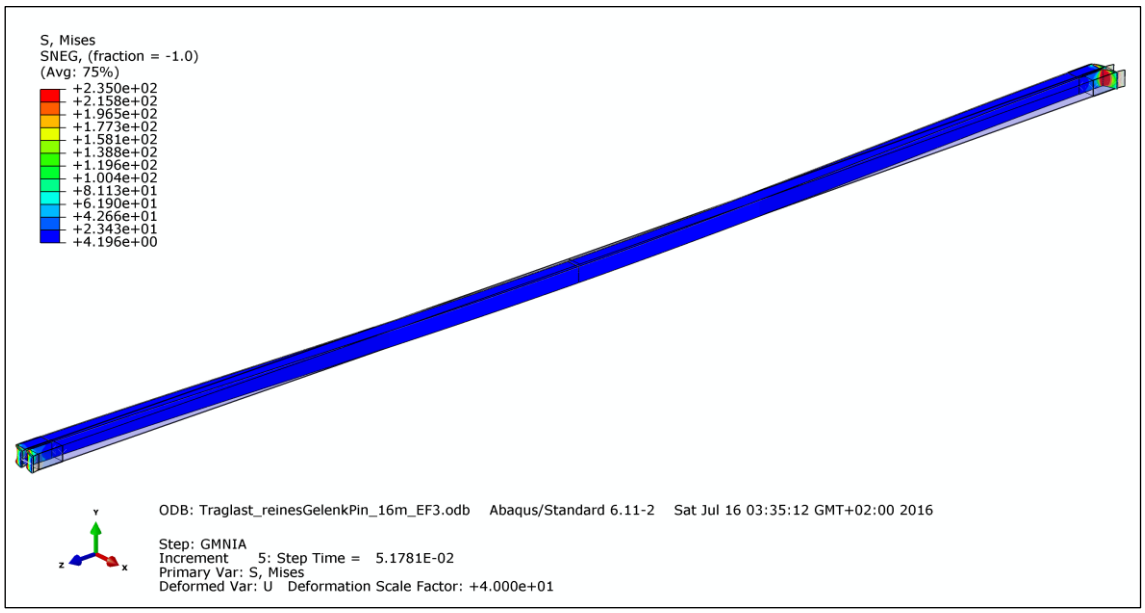
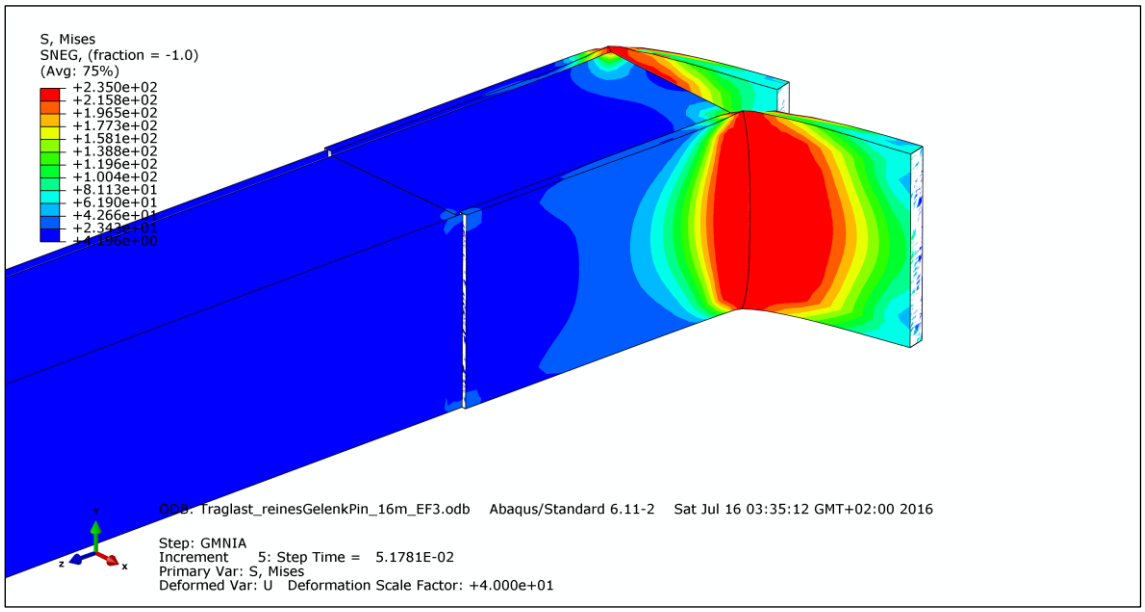


Abbildung 9-471: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2





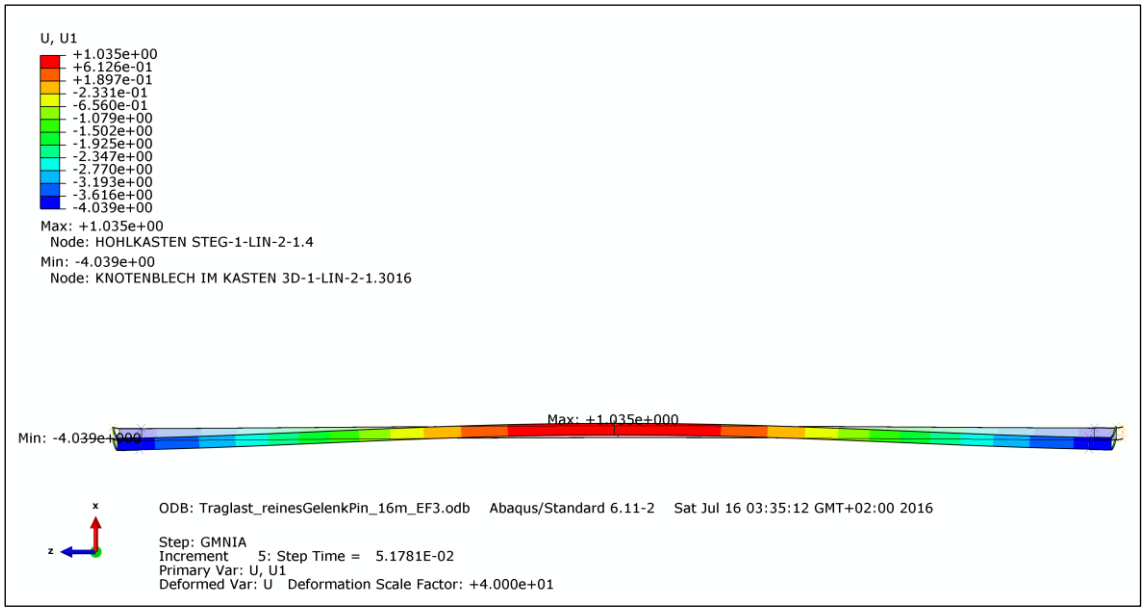


Abbildung 9-472: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3

9.2.4 Referenzsysteme

In den nachfolgenden Abbildungen 9-473 bis 9-478 sind die Ergebnisse der numerischen Traglastuntersuchung der Referenzsysteme, die als Alternative zur Durchführung eines ingenieurmäßigen Knicknachweises des Gesamtstabes dienen soll, dargestellt.

- **Referenzsystem „Einspannung“**

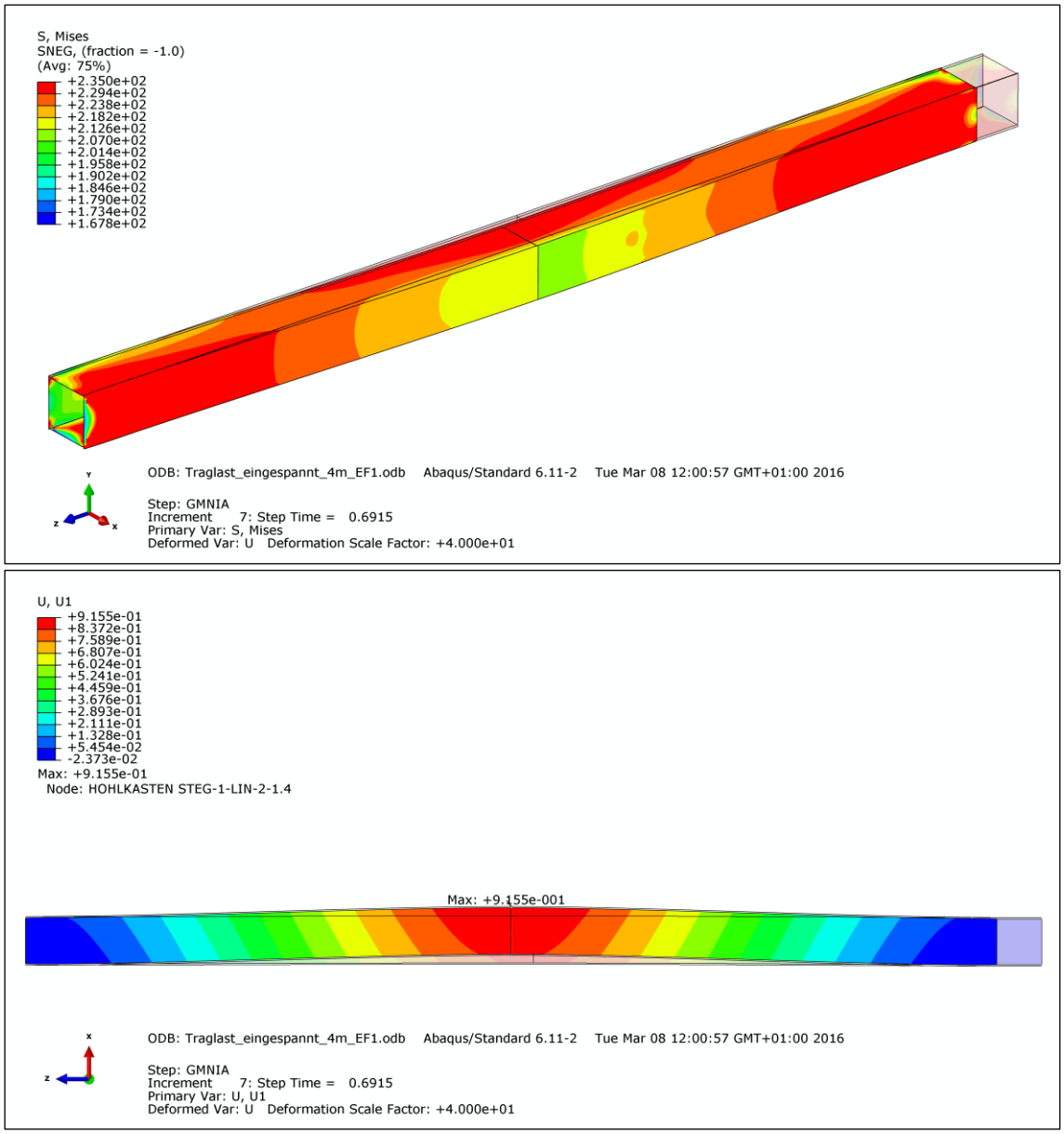


Abbildung 9-473: Referenzsystem / Einspannung / L = 4.000 mm / EF1

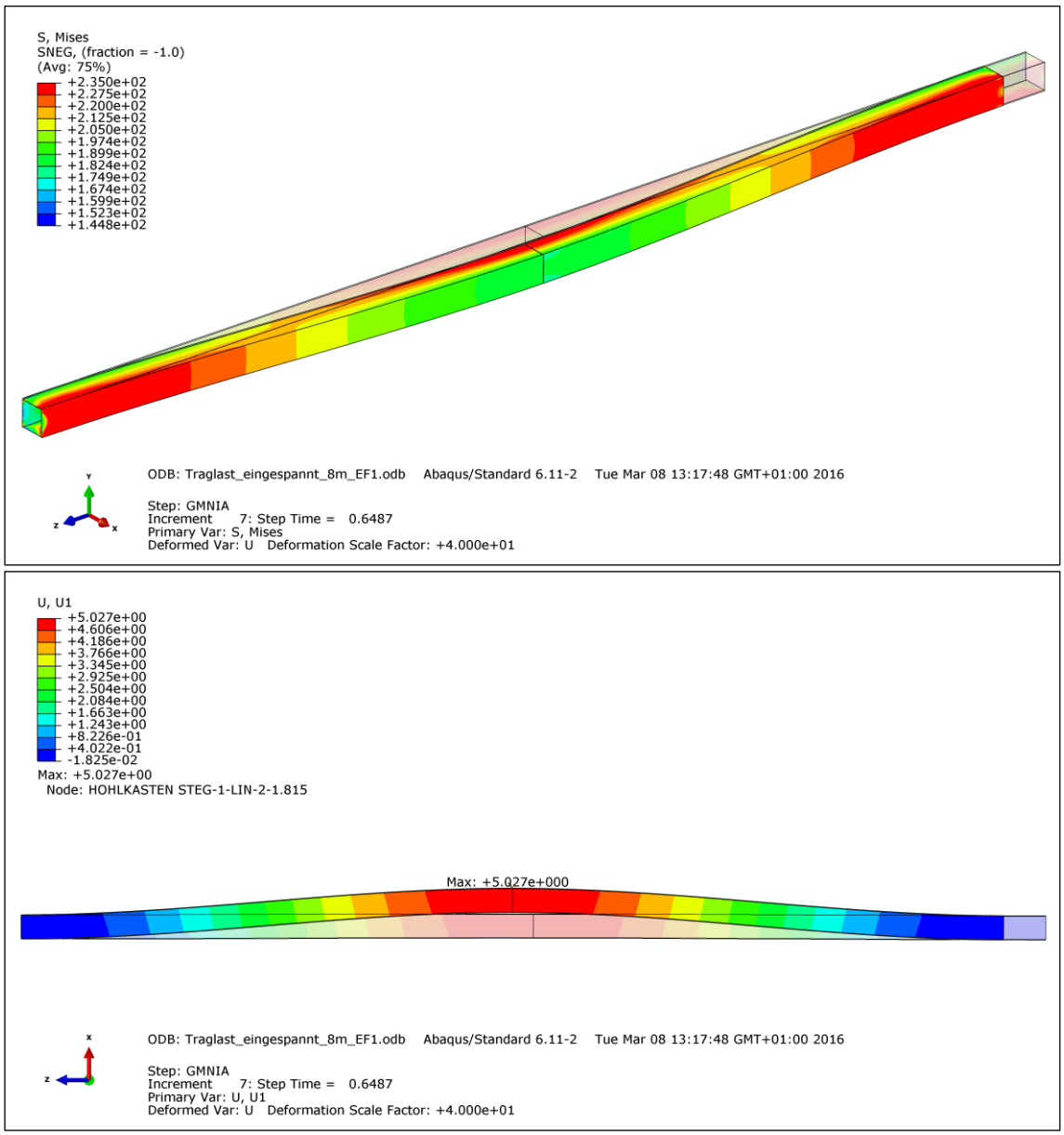
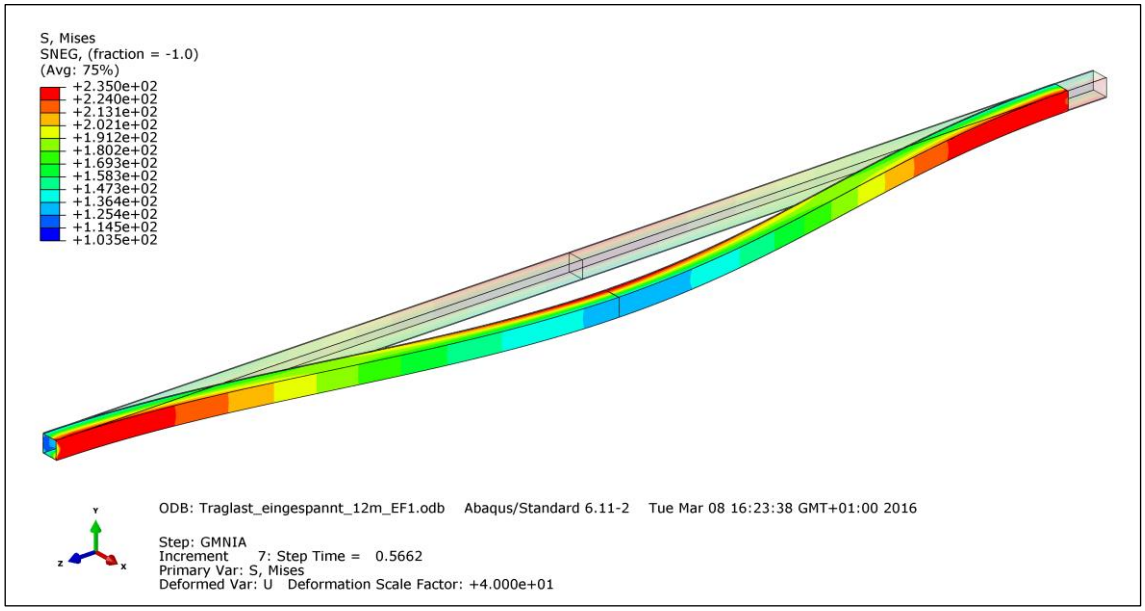


Abbildung 9-474: Referenzsystem / Einspannung / L = 8.000 mm / EF1



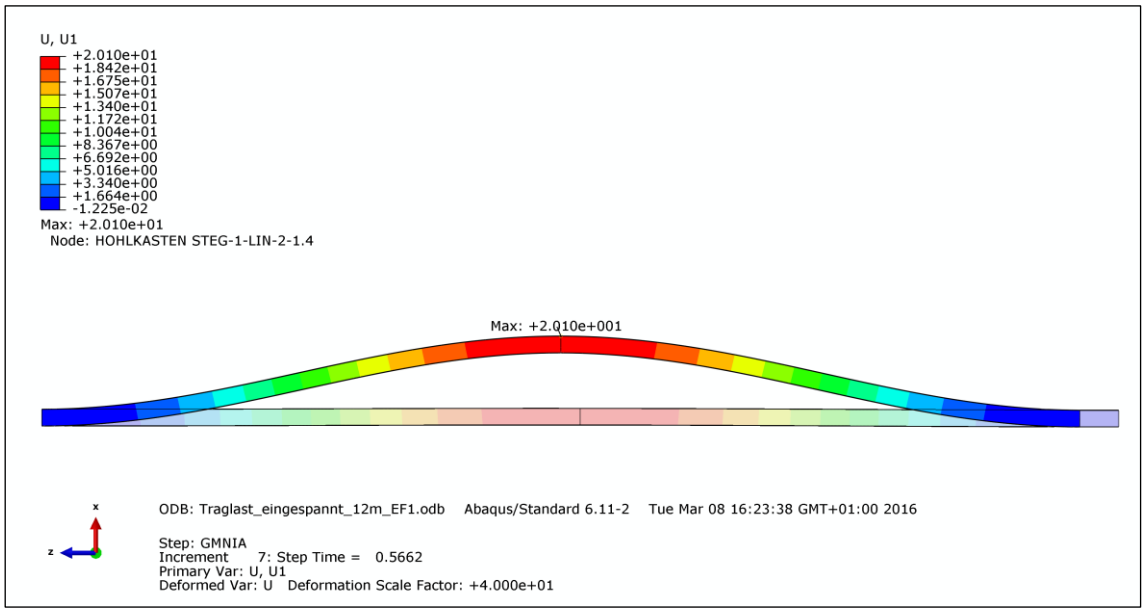


Abbildung 9-475: Referenzsystem / Einspannung / L = 12.000 mm / EF1

- **Referenzsystem „reines Gelenk“**

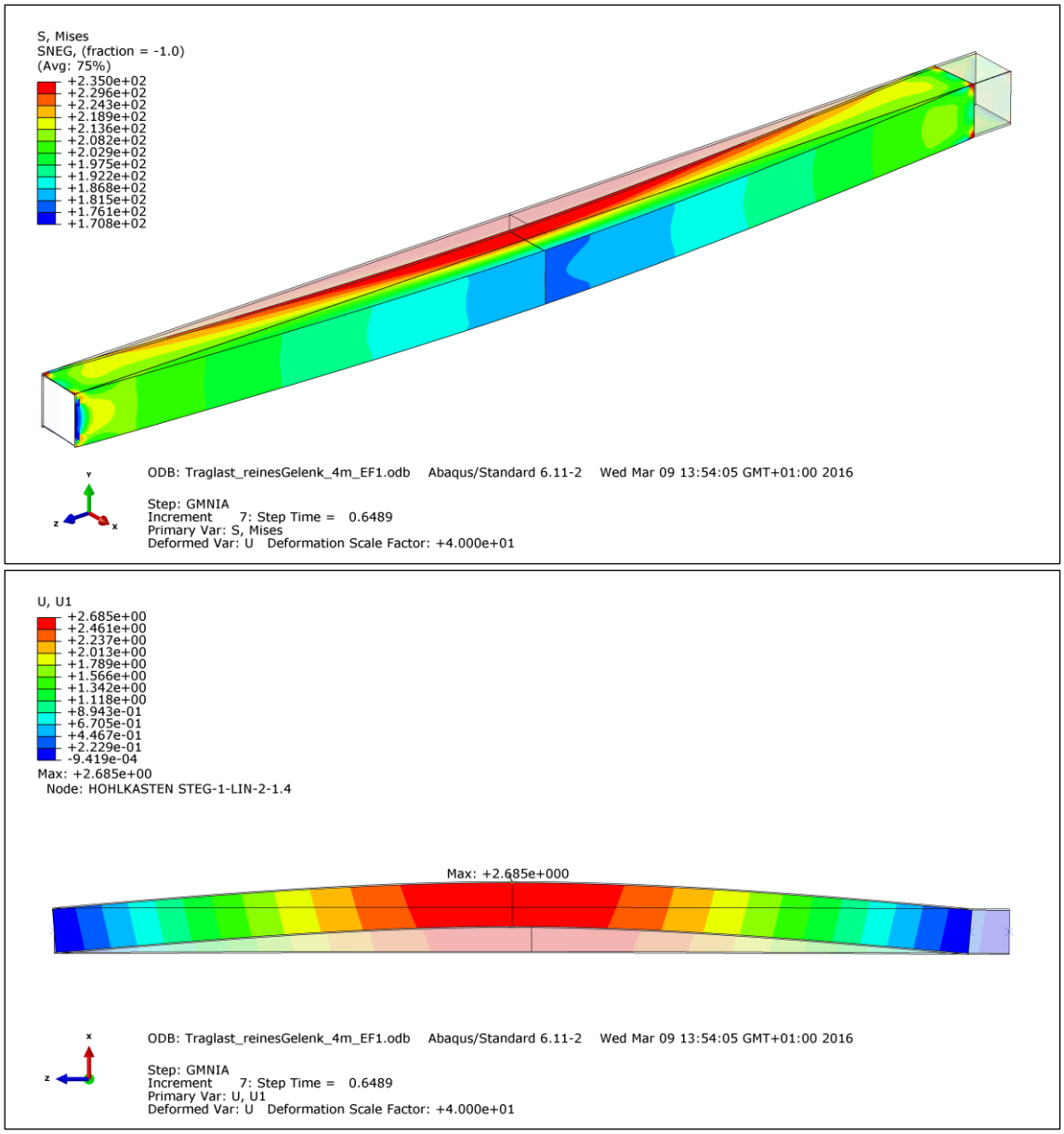
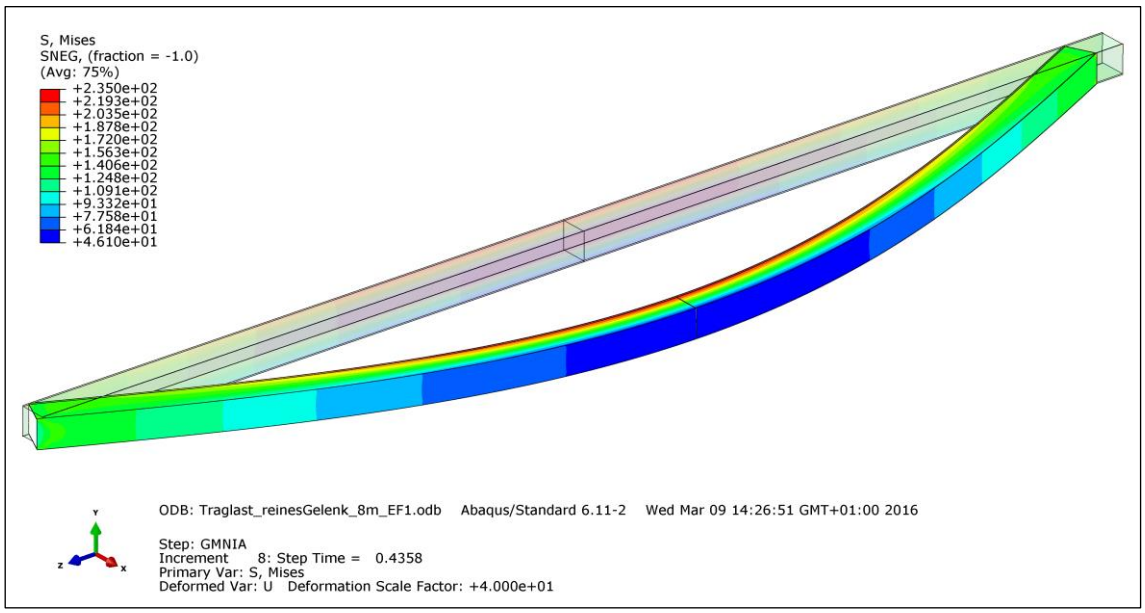


Abbildung 9-476: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 4.000 mm / EF1



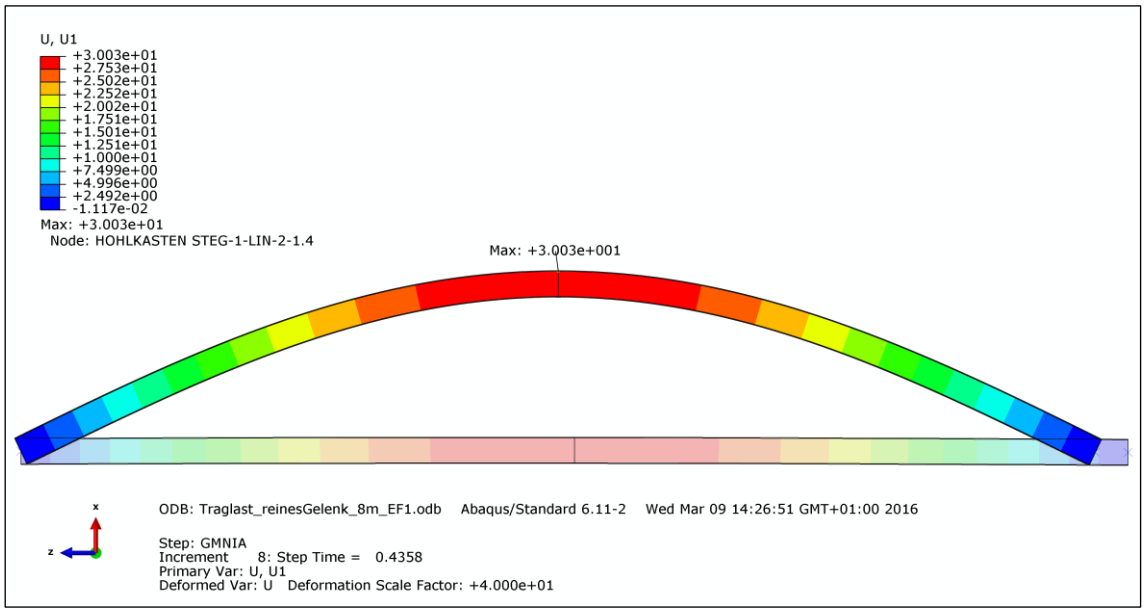


Abbildung 9-477: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 8.000 mm / EF1

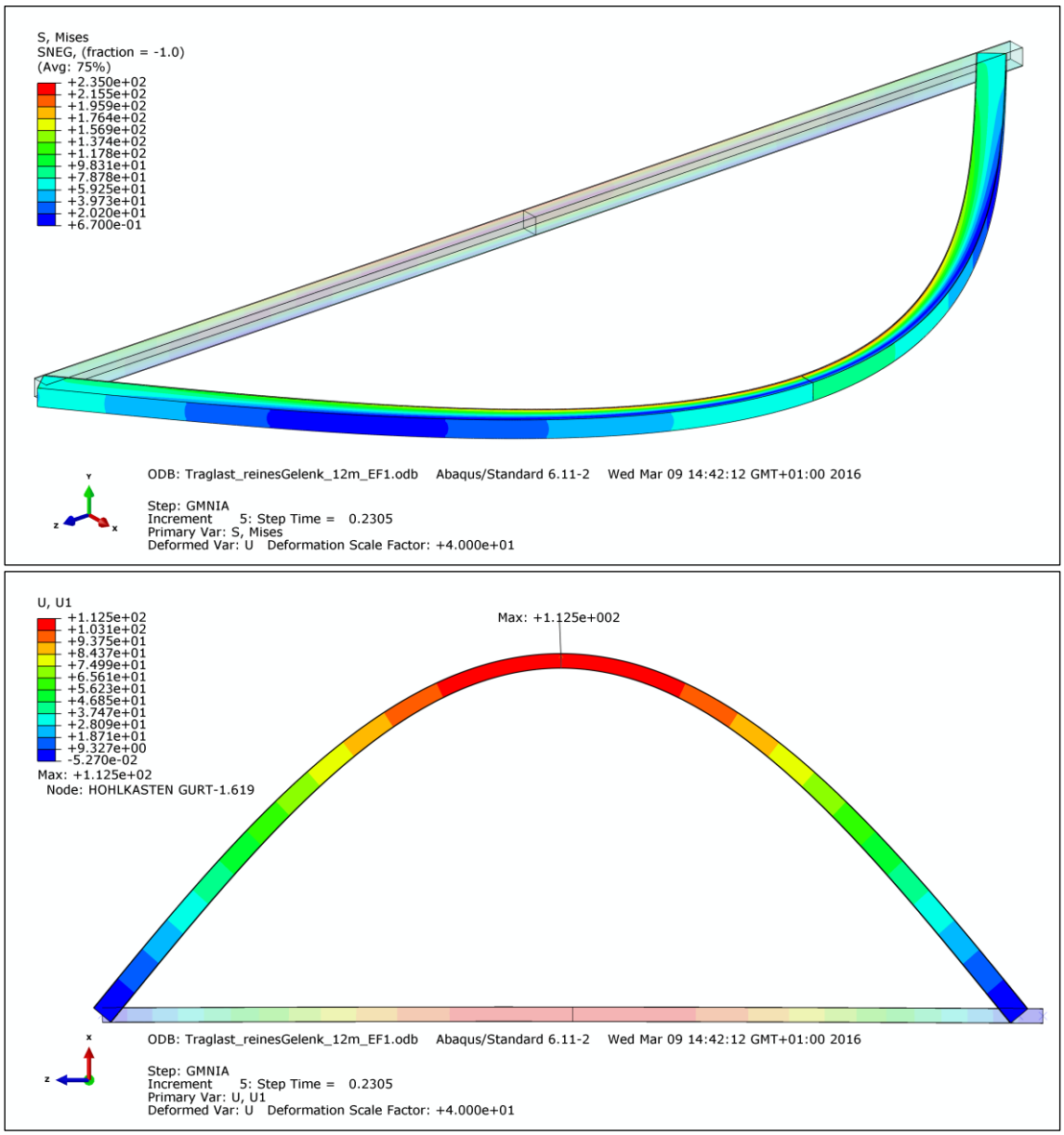


Abbildung 9-478: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 12.000 mm / EF1

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Fachwerkbrücke der Autobahn A3 über den Rhein-Herne-Kanal (Deutschland) [8] 1

Abbildung 1-2: Konstruktionsdetail einer Knotenausbildung bei einem Fachwerk - Anschluss von Diagonalstäben an den Obergurt [9] 2

Abbildung 1-3: Detail der Knotenausbildung - Fachwerkbrücke der Autobahn A3 über den Rhein-Herne-Kanal (Deutschland) [8] 3

Abbildung 1-4: Modellierung des Gesamtsystems 4

Abbildung 1-5: Darstellung der Vorgangsweise bei der Erstellung der vorliegenden Masterarbeit 6

Abbildung 2-1: Untersuchte Systemabmessungen 7

Abbildung 2-2: Grenzwerte der Nachgiebigkeit beim Anschluss der Knotenbleche an einen torsionssteifen Querschnitt 9

Abbildung 2-3: Grenzwerte der Nachgiebigkeit beim Anschluss der Knotenbleche an einen torsionsweichen Querschnitt 10

Abbildung 2-4: Lastausbreitung beim Übergang zwischen Knotenblech und Hohlprofil 11

Abbildung 2-5: Gegensinniger Knotenblechknick als symmetrische Vorverformung 12

Abbildung 2-6: Gleichsinniger Knotenblechknick als antimetrische Vorverformung 12

Abbildung 2-7: Vorverformung zufolge EF1 bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm 13

Abbildung 2-8: Vorverformung zufolge EF1 bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm 13

Abbildung 2-9: Vorverformung zufolge EF1 bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm 14

Abbildung 2-10: Vorverformung zufolge EF2 bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm 14

Abbildung 3-1: Finite Elemente-Abmessungen des untersuchten Systems 16

Abbildung 3-2: Modellierung der einzelnen Systemelemente 17

Abbildung 3-3: Anordnung der Auflager bei eingespannter und gelenkiger Lagerung 18

Abbildung 3-4: Anordnung der Auflager bei der Lagerung als reines Gelenk 19

Abbildung 3-5: Eigenformen aus der LBA beim System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm 20

Abbildung 3-6: Vergleich der Ergebnisse der Traglastberechnung bei unterschiedlicher Modellierung der Knotenbleche 22

Abbildung 4-1: Stellen an denen ein Querschnittsnachweis geführt wird 23

Abbildung 4-2: Zuordnung des eingespannten Referenzsystems zu den Systemen der Parameterstudie 25

Abbildung 4-3: Zuordnung des Referenzsystems mit reinem Gelenk zu den Systemen der Parameterstudie 26

Abbildung 4-4: Ergebnisse der numerischen Tragfähigkeit der Referenzsysteme für durchgehende Hohlprofile ohne Knotenbleche 27

Abbildung 4-5: Ingenieurmäßiger Ansatz der Knicklängenbeiwerte für den vereinfachten Beulnachweis der Knotenbleche 28

Abbildung 4-6: Ingenieurmäßiger Ansatz der Knicklängenbeiwerte für den vereinfachten Beulnachweis der Knotenbleche 28

Abbildung 4-7: Berechnungsablauf bei der Durchführung eines vereinfachtem Beulnachweises mit knickstabähnlichem Verhalten 30

Abbildung 6-1: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm 46
Abbildung 6-2: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm 47
Abbildung 6-3: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm 48
Abbildung 6-4: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm 49
Abbildung 6-5: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm 50
Abbildung 6-6: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm 51
Abbildung 6-7: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm 52
Abbildung 6-8: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm 53
Abbildung 6-9: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm 54
Abbildung 6-10: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm 55
Abbildung 6-11: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm 56
Abbildung 6-12: Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm 57
Abbildung 6-13: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 4.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen 59
Abbildung 6-14: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 8.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen 60
Abbildung 6-15: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 10 mm / L = 12.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen 61
Abbildung 6-16: Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden für KB-Knick und EF 63
Abbildung 6-17: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 100 mm 64
Abbildung 6-18: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 200 mm 65
Abbildung 6-19: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 300 mm 66
Abbildung 6-20: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 10 mm / L_{KB} = 400 mm 67
Abbildung 6-21: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt 70
Abbildung 6-22: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig 71
Abbildung 6-23: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif 72
Abbildung 6-24: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich 73
Abbildung 6-25: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm 76
Abbildung 6-26: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm 77
Abbildung 6-27: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm 78
Abbildung 6-28: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm 79
Abbildung 6-29: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm 80
Abbildung 6-30: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm 81
Abbildung 6-31: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm 82
Abbildung 6-32: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm 83

Abbildung 6-33: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm 84

Abbildung 6-34: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm 85

Abbildung 6-35: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm 86

Abbildung 6-36: Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm 87

Abbildung 6-37: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 4.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen 89

Abbildung 6-38: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 8.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen 90

Abbildung 6-39: Maßgebende Traglasten bei System - t_{KB} = 24 mm / L = 12.000 mm in Abhängigkeit der Auflagerbedingungen und der Knotenblechlängen 91

Abbildung 6-40: Gegenüberstellung der Imperfektionsamplituden für KB-Knick und EF 93

Abbildung 6-41: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 100 mm 94

Abbildung 6-42: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 200 mm 95

Abbildung 6-43: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 300 mm 96

Abbildung 6-44: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF bei System - t_{KB} = 24 mm / L_{KB} = 400 mm 97

Abbildung 6-45: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt 101

Abbildung 6-46: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig 102

Abbildung 6-47: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif 103

Abbildung 6-48: Gegenüberstellung der maßgebenden Traglasten aus den angesetzten Imperfektionen KB-Knick und EF mit der Referenzlast bei System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich 104

Abbildung 7-1: Vergleich der Ergebnisse aus der Parameterstudie mit der Studie aus [3] für eine eingespannte Auflagerung 106

Abbildung 7-2: Vergleich der Ergebnisse aus der Parameterstudie mit der Studie aus [3] für eine gelenkige Auflagerung 107

Abbildung 7-3: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 110

Abbildung 7-4: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 110

Abbildung 7-5: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 111

Abbildung 7-6: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 111

Abbildung 7-7: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 112

Abbildung 7-8: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 112

Abbildung 7-9: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 113

Abbildung 7-10: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 113

Abbildung 7-11: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt 115

Abbildung 7-12: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig 116

Abbildung 7-13: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif 117

Abbildung 7-14: Vergleich der Traglasten mit zusätzlichen Berechnungen für die Bestätigung der Schlussfolgerungen bei System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich 118

Abbildung 7-15: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 121

Abbildung 7-16: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5 121

Abbildung 7-17: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 122

Abbildung 7-18: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 122

Abbildung 7-19: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 123

Abbildung 7-20: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 123

Abbildung 7-21: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 124

Abbildung 7-22: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 124

Abbildung 8-1: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 127

Abbildung 8-2: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 127

Abbildung 8-3: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 127

Abbildung 8-4: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 127

Abbildung 8-5: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 128

Abbildung 8-6: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 128

Abbildung 8-7: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 128

Abbildung 8-8: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 128

Abbildung 8-9: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 129

Abbildung 8-10: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 129

Abbildung 8-11: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 129

Abbildung 8-12: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 129

Abbildung 8-13: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 130

Abbildung 8-14: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 130

Abbildung 8-15: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 130

Abbildung 8-16: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 130

Abbildung 8-17: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 131

Abbildung 8-18: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 131

Abbildung 8-19: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 131

Abbildung 8-20: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 132

Abbildung 8-21: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 132

Abbildung 8-22: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 132

Abbildung 8-23: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 132

Abbildung 8-24: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 133

Abbildung 8-25: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 133

Abbildung 8-26: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 134

Abbildung 8-27: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 134
Abbildung 8-28: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 134
Abbildung 8-29: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 134
Abbildung 8-30: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 135
Abbildung 8-31: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 135
Abbildung 8-32: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 135
Abbildung 8-33: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 135
Abbildung 8-34: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 136
Abbildung 8-35: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 136
Abbildung 8-36: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 136
Abbildung 8-37: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 136
Abbildung 8-38: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 137
Abbildung 8-39: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 137
Abbildung 8-40: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 137
Abbildung 8-41: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 137
Abbildung 8-42: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 138
Abbildung 8-43: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 138
Abbildung 8-44: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 138
Abbildung 8-45: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 138
Abbildung 8-46: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 139
Abbildung 8-47: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 139
Abbildung 8-48: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 139
Abbildung 8-49: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 139
Abbildung 8-50: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 140
Abbildung 8-51: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 140
Abbildung 8-52: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 140
Abbildung 8-53: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 140
Abbildung 8-54: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 141
Abbildung 8-55: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 141
Abbildung 8-56: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 141
Abbildung 8-57: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 141
Abbildung 8-58: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 142
Abbildung 8-59: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 142
Abbildung 8-60: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 142
Abbildung 8-61: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 143
Abbildung 8-62: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 143
Abbildung 8-63: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 143
Abbildung 8-64: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 143
Abbildung 8-65: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 144
Abbildung 8-66: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 144

Abbildung 8-67: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 145

Abbildung 8-68: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 145

Abbildung 8-69: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 145

Abbildung 8-70: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 146

Abbildung 8-71: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 146

Abbildung 8-72: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 146

Abbildung 8-73: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 147

Abbildung 8-74: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 147

Abbildung 8-75: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 147

Abbildung 8-76: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 147

Abbildung 8-77: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 148

Abbildung 8-78: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 148

Abbildung 8-79: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 148

Abbildung 8-80: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 148

Abbildung 8-81: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 149

Abbildung 8-82: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 149

Abbildung 8-83: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 149

Abbildung 8-84: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 149

Abbildung 8-85: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 150

Abbildung 8-86: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 150

Abbildung 8-87: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 150

Abbildung 8-88: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 150

Abbildung 8-89: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 151

Abbildung 8-90: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 151

Abbildung 8-91: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 151
Abbildung 8-92: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 151
Abbildung 8-93: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 152
Abbildung 8-94: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 152
Abbildung 8-95: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 152
Abbildung 8-96: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 153
Abbildung 8-97: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 153
Abbildung 8-98: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 153
Abbildung 8-99: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 153
Abbildung 8-100: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 154
Abbildung 8-101: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 154
Abbildung 8-102: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 155
Abbildung 8-103: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 155
Abbildung 8-104: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 155
Abbildung 8-105: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 156
Abbildung 8-106: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 156
Abbildung 8-107: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 156
Abbildung 8-108: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 156
Abbildung 8-109: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 157
Abbildung 8-110: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 157
Abbildung 8-111: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 158
Abbildung 8-112: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 158
Abbildung 8-113: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 158
Abbildung 8-114: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 159
Abbildung 8-115: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 159
Abbildung 8-116: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 159
Abbildung 8-117: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 159
Abbildung 8-118: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 160
Abbildung 8-119: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 160
Abbildung 8-120: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 160
Abbildung 8-121: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 161
Abbildung 8-122: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 161
Abbildung 8-123: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 162

Abbildung 8-124: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 162
Abbildung 8-125: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 162
Abbildung 8-126: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 162
Abbildung 8-127: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 163
Abbildung 8-128: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 163
Abbildung 8-129: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 163
Abbildung 8-130: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 163
Abbildung 8-131: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 164
Abbildung 8-132: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5 164
Abbildung 8-133: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF6 164
Abbildung 8-134: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 165
Abbildung 8-135: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 165
Abbildung 8-136: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 165
Abbildung 8-137: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4 165
Abbildung 8-138: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 166
Abbildung 8-139: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 166
Abbildung 8-140: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 166
Abbildung 8-141: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 167
Abbildung 8-142: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 167
Abbildung 8-143: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 167
Abbildung 8-144: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 167
Abbildung 8-145: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 168
Abbildung 8-146: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 168
Abbildung 8-147: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 168
Abbildung 8-148: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 168
Abbildung 8-149: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 169
Abbildung 8-150: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 169
Abbildung 8-151: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 169
Abbildung 8-152: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 170
Abbildung 8-153: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 170
Abbildung 8-154: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 170
Abbildung 8-155: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 170
Abbildung 8-156: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 171
Abbildung 8-157: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 171
Abbildung 8-158: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 172
Abbildung 8-159: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 172
Abbildung 8-160: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 172
Abbildung 8-161: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 172
Abbildung 8-162: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 173
Abbildung 8-163: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 173

Abbildung 8-164: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 173
Abbildung 8-165: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 173
Abbildung 8-166: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 174
Abbildung 8-167: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 174
Abbildung 8-168: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 174
Abbildung 8-169: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 174
Abbildung 8-170: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 175
Abbildung 8-171: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 175
Abbildung 8-172: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 175
Abbildung 8-173: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 176
Abbildung 8-174: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 176
Abbildung 8-175: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 177
Abbildung 8-176: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 177
Abbildung 8-177: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 177
Abbildung 8-178: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 178
Abbildung 8-179: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 178
Abbildung 8-180: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 178
Abbildung 8-181: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 178
Abbildung 8-182: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 179
Abbildung 8-183: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 179
Abbildung 8-184: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 179
Abbildung 8-185: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 180
Abbildung 8-186: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 180
Abbildung 8-187: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 181
Abbildung 8-188: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 181
Abbildung 8-189: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 181
Abbildung 8-190: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 181

Abbildung 8-191: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 182

Abbildung 8-192: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 182

Abbildung 8-193: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 182

Abbildung 8-194: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 183

Abbildung 8-195: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 183

Abbildung 8-196: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 183

Abbildung 8-197: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 184

Abbildung 8-198: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 184

Abbildung 8-199: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 184

Abbildung 8-200: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 185

Abbildung 8-201: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 185

Abbildung 8-202: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6 185

Abbildung 8-203: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 186

Abbildung 8-204: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 186

Abbildung 8-205: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 186

Abbildung 8-206: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 187

Abbildung 8-207: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5 187

Abbildung 8-208: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 188

Abbildung 8-209: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 188

Abbildung 8-210: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 188

Abbildung 8-211: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4 188

Abbildung 8-212: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 189

Abbildung 8-213: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 189

Abbildung 8-214: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 189

Abbildung 8-215: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF4 189

Abbildung 8-216: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 190

Abbildung 8-217: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 190

Abbildung 8-218: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 190

Abbildung 8-219: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 190

Abbildung 8-220: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 191

Abbildung 8-221: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 191

Abbildung 8-222: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 191

Abbildung 8-223: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 191

Abbildung 8-224: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 192

Abbildung 8-225: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 192

Abbildung 8-226: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 192

Abbildung 8-227: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 193

Abbildung 8-228: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 193

Abbildung 8-229: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 193

Abbildung 8-230: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 193

Abbildung 8-231: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 194

Abbildung 8-232: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 194

Abbildung 8-233: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 194

Abbildung 8-234: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 194

Abbildung 8-235: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 195

Abbildung 8-236: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 195

Abbildung 8-237: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 195

Abbildung 8-238: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 196

Abbildung 8-239: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 196

Abbildung 8-240: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6 196

Abbildung 8-241: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 197

Abbildung 8-242: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 197

Abbildung 8-243: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 197

Abbildung 8-244: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 198

Abbildung 8-245: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 198

Abbildung 8-246: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 198

Abbildung 8-247: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 199

Abbildung 8-248: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 199

Abbildung 8-249: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 200

Abbildung 8-250: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 200

Abbildung 8-251: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 200

Abbildung 8-252: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4 201

Abbildung 8-253: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5 201

Abbildung 8-254: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 202

Abbildung 8-255: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 202

Abbildung 8-256: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 202

Abbildung 8-257: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 202

Abbildung 8-258: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 203

Abbildung 8-259: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 203

Abbildung 8-260: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 203

Abbildung 8-261: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 204

Abbildung 8-262: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 204

Abbildung 8-263: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 205

Abbildung 8-264: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 205

Abbildung 8-265: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 205

Abbildung 8-266: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4 206

Abbildung 8-267: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5 206

Abbildung 8-268: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 207

Abbildung 8-269: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 207

Abbildung 8-270: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 207

Abbildung 8-271: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 207

Abbildung 8-272: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 208

Abbildung 8-273: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 208

Abbildung 8-274: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 208

Abbildung 8-275: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 209

Abbildung 8-276: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 209

Abbildung 8-277: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 209

Abbildung 8-278: Referenzsystem / Einspannung / L = 4.000 mm / EF1 210

Abbildung 8-279: Referenzsystem / Einspannung / L = 8.000 mm / EF1 210

Abbildung 8-280: Referenzsystem / Einspannung / L = 12.000 mm / EF1 210

Abbildung 8-281: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 4.000 mm / EF1 211

Abbildung 8-282: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 8.000 mm / EF1 211

Abbildung 8-283: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 12.000 mm / EF1 211

Abbildung 9-1: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) ... 214
Abbildung 9-2: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) ... 215
Abbildung 9-3: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 ... 216
Abbildung 9-4: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 ... 217
Abbildung 9-5: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) ... 218
Abbildung 9-6: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) ... 219
Abbildung 9-7: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 ... 220
Abbildung 9-8: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 ... 221
Abbildung 9-9: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) ... 222
Abbildung 9-10: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) ... 223
Abbildung 9-11: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 ... 224
Abbildung 9-12: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 ... 225
Abbildung 9-13: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) ... 226
Abbildung 9-14: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) ... 227
Abbildung 9-15: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 ... 228
Abbildung 9-16: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 ... 229
Abbildung 9-17: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) ... 230
Abbildung 9-18: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) ... 231
Abbildung 9-19: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 ... 232
Abbildung 9-20: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 ... 233
Abbildung 9-21: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) ... 234
Abbildung 9-22: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) ... 235
Abbildung 9-23: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 ... 236
Abbildung 9-24: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 ... 237
Abbildung 9-25: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) ... 238
Abbildung 9-26: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) ... 239
Abbildung 9-27: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 ... 240
Abbildung 9-28: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 ... 241
Abbildung 9-29: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) ... 242
Abbildung 9-30: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) ... 243
Abbildung 9-31: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 ... 244
Abbildung 9-32: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 ... 245
Abbildung 9-33: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) ... 246
Abbildung 9-34: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) ... 247
Abbildung 9-35: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 ... 248

Abbildung 9-36: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 249
Abbildung 9-37: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 250
Abbildung 9-38: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 251
Abbildung 9-39: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 252
Abbildung 9-40: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 253
Abbildung 9-41: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 254
Abbildung 9-42: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 255
Abbildung 9-43: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 256
Abbildung 9-44: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 257
Abbildung 9-45: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 258
Abbildung 9-46: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 259
Abbildung 9-47: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 260
Abbildung 9-48: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 261
Abbildung 9-49: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 262
Abbildung 9-50: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 263
Abbildung 9-51: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 264
Abbildung 9-52: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 265
Abbildung 9-53: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 266
Abbildung 9-54: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 267
Abbildung 9-55: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 268
Abbildung 9-56: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 269
Abbildung 9-57: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 270
Abbildung 9-58: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 271
Abbildung 9-59: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 272
Abbildung 9-60: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 273
Abbildung 9-61: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 274
Abbildung 9-62: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 275
Abbildung 9-63: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 276
Abbildung 9-64: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 277
Abbildung 9-65: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 278
Abbildung 9-66: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 279
Abbildung 9-67: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 280
Abbildung 9-68: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 281
Abbildung 9-69: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 282
Abbildung 9-70: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 283
Abbildung 9-71: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 284

Abbildung 9-72: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 285
Abbildung 9-73: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 286
Abbildung 9-74: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 287
Abbildung 9-75: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 288
Abbildung 9-76: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 289
Abbildung 9-77: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 290
Abbildung 9-78: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 291
Abbildung 9-79: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 292
Abbildung 9-80: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 293
Abbildung 9-81: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 294
Abbildung 9-82: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 295
Abbildung 9-83: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 296
Abbildung 9-84: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 297
Abbildung 9-85: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 298
Abbildung 9-86: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 299
Abbildung 9-87: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 300
Abbildung 9-88: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 301
Abbildung 9-89: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 302
Abbildung 9-90: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 303
Abbildung 9-91: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 304
Abbildung 9-92: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 305
Abbildung 9-93: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 306
Abbildung 9-94: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 307
Abbildung 9-95: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 308
Abbildung 9-96: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 309
Abbildung 9-97: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 310
Abbildung 9-98: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 311
Abbildung 9-99: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 312
Abbildung 9-100: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 313
Abbildung 9-101: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 314
Abbildung 9-102: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 315
Abbildung 9-103: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 316
Abbildung 9-104: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 317
Abbildung 9-105: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 318

Abbildung 9-106: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 319

Abbildung 9-107: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 320

Abbildung 9-108: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 321

Abbildung 9-109: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 322

Abbildung 9-110: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 323

Abbildung 9-111: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 324

Abbildung 9-112: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 325

Abbildung 9-113: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 326

Abbildung 9-114: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 327

Abbildung 9-115: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 328

Abbildung 9-116: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 329

Abbildung 9-117: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 330

Abbildung 9-118: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 331

Abbildung 9-119: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 332

Abbildung 9-120: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 333

Abbildung 9-121: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 334

Abbildung 9-122: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 335

Abbildung 9-123: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 336

Abbildung 9-124: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 337

Abbildung 9-125: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 338

Abbildung 9-126: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 339

Abbildung 9-127: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 340

Abbildung 9-128: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 341

Abbildung 9-129: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 342

Abbildung 9-130: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 343

Abbildung 9-131: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 344

Abbildung 9-132: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 345

Abbildung 9-133: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 346

Abbildung 9-134: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 347

Abbildung 9-135: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 348

Abbildung 9-136: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 349

Abbildung 9-137: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 350

Abbildung 9-138: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 351

Abbildung 9-139: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 352

Abbildung 9-140: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 353

Abbildung 9-141: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 354

Abbildung 9-142: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 355

Abbildung 9-143: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 356

Abbildung 9-144: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 357

Abbildung 9-145: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 358

Abbildung 9-146: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 359

Abbildung 9-147: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 360

Abbildung 9-148: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 361

Abbildung 9-149: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 362

Abbildung 9-150: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 363

Abbildung 9-151: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 364

Abbildung 9-152: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 365

Abbildung 9-153: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 366

Abbildung 9-154: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 367

Abbildung 9-155: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 368

Abbildung 9-156: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 369

Abbildung 9-157: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 370

Abbildung 9-158: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 371

Abbildung 9-159: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 372

Abbildung 9-160: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 373

Abbildung 9-161: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 374

Abbildung 9-162: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 375

Abbildung 9-163: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 376

Abbildung 9-164: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 377

Abbildung 9-165: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 378

Abbildung 9-166: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 379

Abbildung 9-167: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 380

Abbildung 9-168: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 381

Abbildung 9-169: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 382

Abbildung 9-170: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 383

Abbildung 9-171: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 384

Abbildung 9-172: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 385

Abbildung 9-173: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 386

Abbildung 9-174: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 387

Abbildung 9-175: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 388

Abbildung 9-176: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 389

Abbildung 9-177: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 390

Abbildung 9-178: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 391

Abbildung 9-179: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 392

Abbildung 9-180: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 393

Abbildung 9-181: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 394

Abbildung 9-182: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 395

Abbildung 9-183: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 396

Abbildung 9-184: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 397

Abbildung 9-185: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 398

Abbildung 9-186: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 399

Abbildung 9-187: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 400

Abbildung 9-188: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 401

Abbildung 9-189: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 402

Abbildung 9-190: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 403

Abbildung 9-191: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 404

Abbildung 9-192: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 405

Abbildung 9-193: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 406

Abbildung 9-194: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 407

Abbildung 9-195: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 408

Abbildung 9-196: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 409

Abbildung 9-197: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 410

Abbildung 9-198: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 412

Abbildung 9-199: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 413

Abbildung 9-200: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 414

Abbildung 9-201: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 415

Abbildung 9-202: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 416

Abbildung 9-203: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 417

Abbildung 9-204: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 418
Abbildung 9-205: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 419
Abbildung 9-206: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 420
Abbildung 9-207: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 421
Abbildung 9-208: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 422
Abbildung 9-209: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 423
Abbildung 9-210: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 424
Abbildung 9-211: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 425
Abbildung 9-212: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 426
Abbildung 9-213: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 427
Abbildung 9-214: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 428
Abbildung 9-215: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 429
Abbildung 9-216: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 430
Abbildung 9-217: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 431
Abbildung 9-218: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 432
Abbildung 9-219: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 433
Abbildung 9-220: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 434
Abbildung 9-221: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 435
Abbildung 9-222: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 436
Abbildung 9-223: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 437
Abbildung 9-224: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 438
Abbildung 9-225: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 439
Abbildung 9-226: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 440
Abbildung 9-227: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 441
Abbildung 9-228: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 442
Abbildung 9-229: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 443
Abbildung 9-230: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 444
Abbildung 9-231: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 445
Abbildung 9-232: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 446
Abbildung 9-233: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 447
Abbildung 9-234: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 448

Abbildung 9-235: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) ... 449
Abbildung 9-236: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) ... 450
Abbildung 9-237: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 ... 451
Abbildung 9-238: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 ... 452
Abbildung 9-239: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 ... 453
Abbildung 9-240: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 ... 454
Abbildung 9-241: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 ... 455
Abbildung 9-242: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) ... 456
Abbildung 9-243: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) ... 457
Abbildung 9-244: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 ... 458
Abbildung 9-245: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 ... 459
Abbildung 9-246: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 ... 460
Abbildung 9-247: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 ... 461
Abbildung 9-248: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5 ... 462
Abbildung 9-249: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF6 ... 463
Abbildung 9-250: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) ... 464
Abbildung 9-251: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) ... 465
Abbildung 9-252: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 ... 466
Abbildung 9-253: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 ... 467
Abbildung 9-254: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 ... 468
Abbildung 9-255: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4 ... 469
Abbildung 9-256: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) ... 470
Abbildung 9-257: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) ... 471
Abbildung 9-258: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 ... 472
Abbildung 9-259: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 ... 473
Abbildung 9-260: System - t_{KB} = 24 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 ... 474
Abbildung 9-261: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) ... 475
Abbildung 9-262: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) ... 476
Abbildung 9-263: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 ... 477
Abbildung 9-264: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 ... 478
Abbildung 9-265: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) ... 479
Abbildung 9-266: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) ... 480
Abbildung 9-267: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 ... 481
Abbildung 9-268: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 ... 482
Abbildung 9-269: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) ... 483

Abbildung 9-270: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) ... 484
Abbildung 9-271: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 ... 485
Abbildung 9-272: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 ... 486
Abbildung 9-273: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) ... 487
Abbildung 9-274: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) ... 488
Abbildung 9-275: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 ... 489
Abbildung 9-276: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 ... 490
Abbildung 9-277: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 ... 491
Abbildung 9-278: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) ... 492
Abbildung 9-279: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) ... 493
Abbildung 9-280: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 ... 494
Abbildung 9-281: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 ... 495
Abbildung 9-282: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 ... 496
Abbildung 9-283: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) ... 497
Abbildung 9-284: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) ... 498
Abbildung 9-285: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 ... 499
Abbildung 9-286: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 ... 500
Abbildung 9-287: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) ... 501
Abbildung 9-288: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) ... 502
Abbildung 9-289: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 ... 503
Abbildung 9-290: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 ... 504
Abbildung 9-291: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) ... 505
Abbildung 9-292: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) ... 506
Abbildung 9-293: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 ... 507
Abbildung 9-294: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 ... 508
Abbildung 9-295: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) ... 509
Abbildung 9-296: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) ... 510
Abbildung 9-297: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 ... 511
Abbildung 9-298: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 ... 512
Abbildung 9-299: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 ... 513
Abbildung 9-300: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 ... 514
Abbildung 9-301: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 ... 515
Abbildung 9-302: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) ... 516
Abbildung 9-303: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) ... 517
Abbildung 9-304: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 ... 518
Abbildung 9-305: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 ... 519
Abbildung 9-306: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 ... 520
Abbildung 9-307: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) ... 521
Abbildung 9-308: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) ... 522
Abbildung 9-309: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 ... 523

Abbildung 9-310: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 524

Abbildung 9-311: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) ... 525

Abbildung 9-312: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) . 526

Abbildung 9-313: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 527

Abbildung 9-314: System - t_{KB} = 24 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 528

Abbildung 9-315: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 529

Abbildung 9-316: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 530

Abbildung 9-317: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 531

Abbildung 9-318: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 532

Abbildung 9-319: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 533

Abbildung 9-320: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 534

Abbildung 9-321: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 535

Abbildung 9-322: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 536

Abbildung 9-323: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 537

Abbildung 9-324: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 538

Abbildung 9-325: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 539

Abbildung 9-326: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 540

Abbildung 9-327: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 541

Abbildung 9-328: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 542

Abbildung 9-329: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 543

Abbildung 9-330: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 544

Abbildung 9-331: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 545

Abbildung 9-332: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 546

Abbildung 9-333: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 547

Abbildung 9-334: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 548

Abbildung 9-335: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 549

Abbildung 9-336: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 550

Abbildung 9-337: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 551

Abbildung 9-338: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 552

Abbildung 9-339: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 553

Abbildung 9-340: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 554

Abbildung 9-341: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 555

Abbildung 9-342: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 556

Abbildung 9-343: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 557

Abbildung 9-344: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 558

Abbildung 9-345: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 559

Abbildung 9-346: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 560

Abbildung 9-347: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 561

Abbildung 9-348: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 562

Abbildung 9-349: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 563

Abbildung 9-350: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 564

Abbildung 9-351: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 565

Abbildung 9-352: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 566

Abbildung 9-353: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 567

Abbildung 9-354: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 568

Abbildung 9-355: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 569

Abbildung 9-356: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 570

Abbildung 9-357: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 571

Abbildung 9-358: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 572

Abbildung 9-359: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 573

Abbildung 9-360: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 574

Abbildung 9-361: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 575

Abbildung 9-362: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 576

Abbildung 9-363: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 577

Abbildung 9-364: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 578

Abbildung 9-365: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6 579

Abbildung 9-366: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 580

Abbildung 9-367: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 581

Abbildung 9-368: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 582

Abbildung 9-369: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 583

Abbildung 9-370: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 584

Abbildung 9-371: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF4 585

Abbildung 9-372: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF5 586

Abbildung 9-373: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 587

Abbildung 9-374: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 588

Abbildung 9-375: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 589

Abbildung 9-376: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 590

Abbildung 9-377: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 591

Abbildung 9-378: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF4 592

Abbildung 9-379: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 593

Abbildung 9-380: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 594

Abbildung 9-381: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 595

Abbildung 9-382: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 596

Abbildung 9-383: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 597

Abbildung 9-384: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF4 598

Abbildung 9-385: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 599

Abbildung 9-386: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 600

Abbildung 9-387: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 601

Abbildung 9-388: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 602

Abbildung 9-389: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 603

Abbildung 9-390: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 604

Abbildung 9-391: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 605

Abbildung 9-392: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 606

Abbildung 9-393: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 607

Abbildung 9-394: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 608

Abbildung 9-395: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 609

Abbildung 9-396: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 610

Abbildung 9-397: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 611

Abbildung 9-398: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 612

Abbildung 9-399: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 613

Abbildung 9-400: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 4.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 614

Abbildung 9-401: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 615

Abbildung 9-402: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 616

Abbildung 9-403: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 617

Abbildung 9-404: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 618

Abbildung 9-405: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 619

Abbildung 9-406: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 620

Abbildung 9-407: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 621

Abbildung 9-408: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 622

Abbildung 9-409: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 623

Abbildung 9-410: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 624

Abbildung 9-411: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 625

Abbildung 9-412: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 626

Abbildung 9-413: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 627

Abbildung 9-414: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 628

Abbildung 9-415: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 629

Abbildung 9-416: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 630

Abbildung 9-417: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 631

Abbildung 9-418: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 632

Abbildung 9-419: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 8.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 633

Abbildung 9-420: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (sym) 634

Abbildung 9-421: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / KB-Knick (antim) 635

Abbildung 9-422: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 636

Abbildung 9-423: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 637

Abbildung 9-424: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 638

Abbildung 9-425: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 639

Abbildung 9-426: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF5 640

Abbildung 9-427: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF6 641

Abbildung 9-428: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (sym) 642

Abbildung 9-429: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / KB-Knick (antim) 643

Abbildung 9-430: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF1 644

Abbildung 9-431: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF2 645

Abbildung 9-432: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 200 mm / EF3 646

Abbildung 9-433: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (sym) 647

Abbildung 9-434: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / KB-Knick (antim) 648

Abbildung 9-435: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF1 649

Abbildung 9-436: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF2 650

Abbildung 9-437: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 300 mm / EF3 651

Abbildung 9-438: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (sym) 652

Abbildung 9-439: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / KB-Knick (antim) 653

Abbildung 9-440: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF1 654

Abbildung 9-441: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF2 655

Abbildung 9-442: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF3 656

Abbildung 9-443: System - t_{KB} = 24 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 400 mm / EF4 657

Abbildung 9-444: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 659

Abbildung 9-445: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 660

Abbildung 9-446: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 661

Abbildung 9-447: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4 662

Abbildung 9-448: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5 663

Abbildung 9-449: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 664

Abbildung 9-450: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 665

Abbildung 9-451: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 666

Abbildung 9-452: System - t_{KB} = 10 mm / eingespannt / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 667

Abbildung 9-453: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 668

Abbildung 9-454: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 669

Abbildung 9-455: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 670

Abbildung 9-456: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 671

Abbildung 9-457: System - t_{KB} = 10 mm / gelenkig / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 672

Abbildung 9-458: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 673

Abbildung 9-459: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 674

Abbildung 9-460: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 675

Abbildung 9-461: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF4 676

Abbildung 9-462: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF5 677

Abbildung 9-463: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 678

Abbildung 9-464: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 679

Abbildung 9-465: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 680

Abbildung 9-466: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk biegesteif / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF4 681

Abbildung 9-467: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF1 682

Abbildung 9-468: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF2 683

Abbildung 9-469: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 12.000 mm / L_{KB} = 50 mm / EF3 684

Abbildung 9-470: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF1 685

Abbildung 9-471: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF2 686

Abbildung 9-472: System - t_{KB} = 10 mm / reines Gelenk verdrehweich / L = 16.000 mm / L_{KB} = 100 mm / EF3 687

Abbildung 9-473: Referenzsystem / Einspannung / L = 4.000 mm / EF1 689

Abbildung 9-474: Referenzsystem / Einspannung / L = 8.000 mm / EF1 690

Abbildung 9-475: Referenzsystem / Einspannung / L = 12.000 mm / EF1 691

Abbildung 9-476: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 4.000 mm / EF1 692

Abbildung 9-477: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 8.000 mm / EF1 693

Abbildung 9-478: Referenzsystem / reines Gelenk / L = 12.000 mm / EF1 694

Quellenverzeichnis

Literatur

[1] **Mehlhorn, G. & Curbach, M.**: Handbuch Brücken - Entwerfen, Konstruieren, Berechnen, Bauen und Erhalten; 3. Auflage, Springer, Kassel 2014.

[2] **Schmidt, H., Fastabend, M., Swadlo, P., Lommen, H.G**: Ein ungewöhnliches Stabilitätsproblem verursacht Schadensfall; Stahlbau 77 (2008), H.12, S. 862 - 869.

[3] **Unterweger, H. & Taras, A.:** Hohlprofile mit beidseits zentrisch eingeschlitzten Knotenblechen - Druckverhalten und Bemessungsvorschlag, Stahlbau 80. Jahrgang - Heft 11, Ernst & Sohn - Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, 2011

[4] **ÖNORM EN 1993 - 1 - 1, Eurocode 3:** Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, 2014

[5] **ÖNORM EN 1993 - 1 - 1, Eurocode 3:** Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1993 - 1 - 1, 2007

[6] **ÖNORM EN 1090 - 2:** Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken, 2012

[7] **EN ISO 13920:** Allgemeintoleranzen für Schweißkonstruktionen, 1996

Abbildungen

[8] **Nicolas Janberg:** Internationale Datenbank für Bauwerke und Bauingenieure: https://structurae.de/ Fachwerkbrücke der Autobahn A3 über den Rhein-Herne-Kanal in Oberhausen 2005.

[9] **Deutsche Bahn AG:** Richtlinie 804 – Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten; 2013.

Software

[10] **Abaqus 6.13 - pr3**: Dassault Systèmes, 2013

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology".
Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe:

D – Diplom-, Masterarbeiten/Dissertationen | F – Forschungsberichte
S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | V – Vorträge, Tagungen

Institutskennzahl:
1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik
10 – Labor für Konstruktiven Ingenieurbau

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl