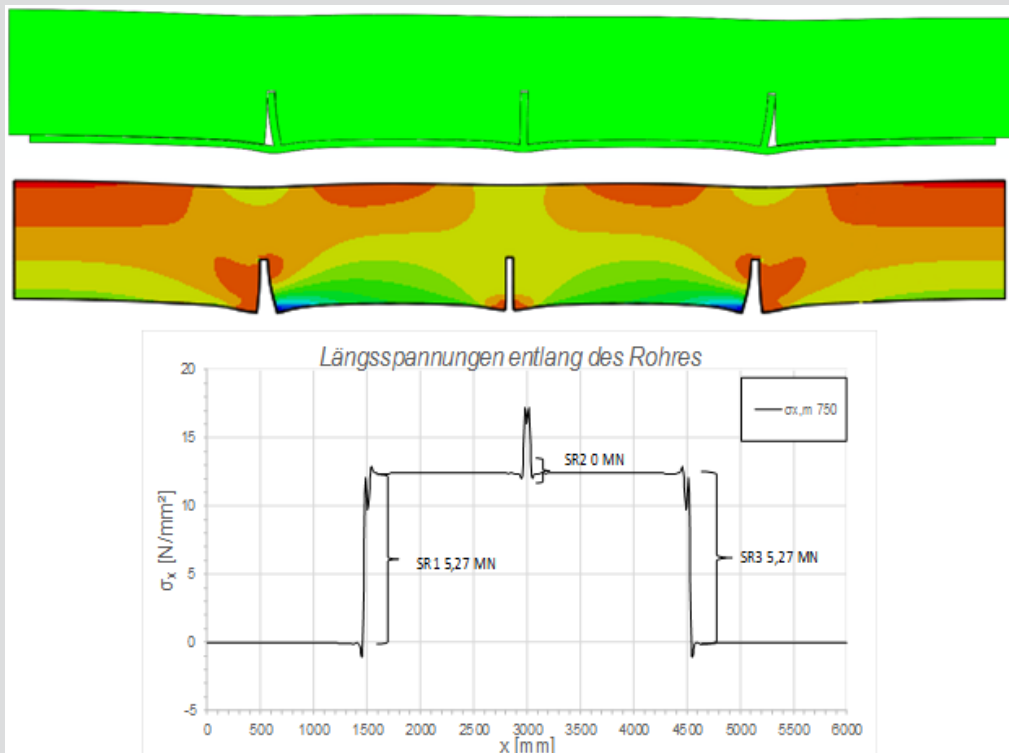


Realitätsnahe Schubringkräfte an Druckschachtpanzerungen infolge Innendruck und Temperatur



D-5-69/2018

Alexander Farkas, BSc.
Institut für Stahlbau
Technische Universität Graz

Masterarbeit

Thema:

Realitätsnahe Schubringkräfte an
Druckschachtpanzerungen infolge
Innendruck und Temperatur

verfasst von:

Alexander Farkas, BSc.

eingereicht am:

Institut für Stahlbau
Technische Universität Graz

Betreuer:

Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr.techn. Harald UNTERWEGER

mitbetreuender Assistent:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Alexander ECKER

Graz, August 2018

ERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

Graz, August 2018

Alexander Farkas

Danksagung

Den größten Dank möchte ich meinen Eltern aussprechen dafür, dass sie mir dieses Studium ermöglicht haben und mir stets sowohl in guten als auch schlechten Zeiten mit Rat und Tat beigestanden sind und mich immer wieder motiviert haben an meinen Zielen festzuhalten.

Ein großer Dank gilt auch meinen beiden Schwestern, welche immer ein offenes Ohr für mich hatten und mich mit all ihren gegebenen Möglichkeiten unterstützt haben. Ich bin sehr stolz darauf, solche Schwestern zu haben.

Meiner Freundin Simone möchte ich einen besonderen Dank aussprechen dafür, dass sie bis hin zu der anstrengendsten und schwierigsten Situation stets Ruhe bewahrt hat, rücksichtsvoll war und immer hinter mir gestanden ist. Sie ist das Beste, was mir je passiert ist.

Ein weiterer Dank gilt dem Institut für Stahlbau für die Ermöglichung dieser Diplomarbeit sowie für den zu Verfügung gestellten Arbeitsplatz am Institut.

Vielen Dank an meinen Betreuer Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr.techn. Harald Unterweger, der in zahlreichen Besprechungen stets mit viel Ruhe und Übersicht die Dinge erklärt hat.

Ein großes Dankeschön gilt auch meinem betreuenden Assistenten Dipl.-Ing. Dr.techn. Alexander Ecker für die Unterstützung über den gesamten Zeitraum dieser Arbeit sowie für das stets offene Ohr für all meine Fragen.

Kurzfassung

Druckschachtpanzerungen finden Einsatz bei Triebwasserwegen von Hochdruckwasserkraftanlagen als Verbindung zwischen dem Speichersee und dem Krafthaus. Als Schubring bzw. Verankerungsring bezeichnet man ein rechteckiges Stahlblech, welches rundum an die Druckschachtpanzerung angeschweißt wird und die Rohrlängskräfte in den umliegenden Felsen abtragen soll. Im FFG -Forschungsprojekt „SR12 – Stahlbauliche Tragfähigkeit, Betontragfähigkeit und Verformungsverhalten von Verankerungsringen im Druckstollenbau“ wurde bereits die Kraftübertragung zufolge der in Rohrlängsrichtung gerichteten Kräfte untersucht. Diese Arbeit befasst sich mit der weiterführenden Untersuchung der Schubringkräfte von mehreren Schubringen hintereinander infolge Zwangsbeanspruchungen aus Innendruck sowie aus Temperatur im elastischen Bereich der Druckschachtpanzerung.

Die Untersuchung wurde zu folgenden Punkten durchgeführt:

- a. Untersuchung der radialsymmetrisch gebetteten Druckschachtpanzerung infolge Innendruck Temperatur bei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen sowie einer Variation der Reibungskoeffizienten;
- b. Weiterführende Untersuchungen bei Änderung des Ringabstandes
- c. Kontrolle der FEM Ergebnisse auf eine Übereinstimmung mit dem analytischen Modell;
- d. Gegenüberstellung der Schubringkräfte aus den unterschiedlichen Lagerungsbedingungen, Lastfällen und Reibungskoeffizienten;

Die numerischen Berechnungen mit dem Programm ABAQUS werden mit elastischen Materialgesetz für Stahl und mit plastischen Materialgesetzen für den Hinterfüllbeton zwischen Druckschachtpanzerung und Gebirge durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden mittels Diagrammen übersichtlich dargestellt.

Im Anhang werden alle rechnerischen Ergebnisse für jeden betrachteten Fall gesondert dargestellt. Durch einen klar strukturierten Aufbau der Ergebnisdarstellungen im Anhang erhält man einen guten Einblick über das Tragverhalten der untersuchten Systeme.

Abstract

Steel pipe lining are situated at high pressure water power plants as a transition between the reservoir and the power house. A thrust ring or anchoring ring with in general a rectangular section, is welded around the steel pipe to transform longitudinal pipe forces. In the FFG research report „SR12 - Structural load-bearing capacity, concrete load-bearing capacity and deformation behavior of anchoring rings in pressure tunnel construction“ the force transmission has already been investigated according to the forces directed in the tube longitudinal direction. The aim of these thesis is the further investigation of the thrust ring forces for several thrust rings in a row due to internal pressure as well as temperature effects in the elastic range. The investigation was conducted on the following points:

- a. Determination of the forces of the thrust rings examination of the radially symmetric bedded steel pipe lining due to internal pressure and temperature at different statical systems and a variation of the friction coefficients;
- b. Further investigations by changing the ring distance;
- c. Checking the FEM results for agreement with the analytical model;
- d. Comparison of the thrust ring forces for the studied statical systems, load cases and coefficients of friction;

The numerical calculations with the program ABAQUS are carried out with elastic material law for steel and with plastic material laws for the backfilling concrete between the steel pipe lining and the rock. The results of these calculations are presented clearly in diagrams.

In the appendix all the individual stress results are presented separately for each considered case. The documentation of the results in the appendix provides a good insight into the load-bearing behavior of the investigated systems.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik und Zielsetzung	5
2.1	Zielsetzung	5
2.2	Parameter der Untersuchung	5
3	Beschreibung des FE-Modells	7
3.1	Beschreibung des Modells und der definierten Kontaktbedingungen	8
3.2	Darstellung der untersuchten Systeme	8
3.3	Schnittführung zur Ergebnissdarstellung.....	9
3.3.1	„Hard Contact“- Kontaktfuge zwischen Stahl und Beton	11
3.3.2	Modellierung der Gebirgsbettung	12
3.4	Verwendetes FE-Netz	13
4	Verwendetes Materialmodell	15
4.1	Stahlmodell in ABAQUS.....	15
4.2	Betonmodell in ABAQUS.....	15
4.2.1	Concrete Damaged Plasticity (CDP)	15
5	Ermittlung der Rohrwanddicken mit Hilfe des analytischen Modells nach Seeber	19
5.1	Ermittlung der Rohrwandstärke mittels analytischer Beziehung	19
5.1.1	Darstellung der Berechnungsschritte zur Ermittlung der Rohrwanddicke	19
6	Berechnungsergebnisse im Überblick	23
6.1	Fall 1 bei Lastfall Innendruck.....	23
6.1.1	Längsnormalspannungen im Rohr	23
6.1.2	Umfangsnormalspannungen im Rohr.....	23
6.1.3	Verformungen des Rohres	24
6.1.4	Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr.....	25
6.1.5	Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte	26
6.1.6	Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte	26
6.1.7	Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen	27
6.1.8	Radialspannungen über die Dicke der Schubringe	30
6.1.9	Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung	31
6.2	Fall 1 bei Lastfall Temperatur -10°C.....	32
6.2.1	Längsnormalspannungen im Rohr	32

6.2.2	<i>Umfangsnormalspannungen im Rohr</i>	33
6.2.3	<i>Verformungen des Rohrs</i>	33
6.2.4	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr</i>	34
6.2.5	<i>Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte</i>	35
6.2.6	<i>Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte</i>	35
6.2.7	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen</i>	36
6.2.8	<i>Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung</i>	37
6.3	Fall 1 bei Lastfall Temperatur +10°C.....	37
6.3.1	<i>Längsnormalspannungen im Rohr</i>	37
6.3.2	<i>Umfangsnormalspannungen im Rohr</i>	38
6.3.3	<i>Verformungen des Rohrs</i>	39
6.3.4	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr</i>	39
6.3.5	<i>Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte</i>	40
6.3.6	<i>Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte</i>	40
6.3.7	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen</i>	41
6.3.8	<i>Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung</i>	43
6.4	System SF1 bei Lastfall Innendruck.....	44
6.4.1	<i>Längsnormalspannungen im Rohr</i>	44
6.4.2	<i>Umfangsnormalspannungen im Rohr</i>	44
6.4.3	<i>Verformungen des Rohrs</i>	45
6.4.4	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr</i>	46
6.4.5	<i>Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte</i>	46
6.4.6	<i>Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte</i>	47
6.4.7	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen</i>	48
6.4.8	<i>Radialspannungen über die Dicke der Schubringe</i>	50
6.4.9	<i>Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung</i>	51
6.5	System SF2 bei Lastfall Innendruck.....	52
6.5.1	<i>Längsnormalspannungen im Rohr</i>	52
6.5.2	<i>Umfangsnormalspannungen im Rohr</i>	52

6.5.3	<i>Verformungen des Rohrs</i>	53
6.5.4	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr</i>	54
6.5.5	<i>Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte</i>	54
6.5.6	<i>Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte</i>	55
6.5.7	<i>Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen</i>	56
6.5.8	<i>Radialspannungen über die Dicke der Schubringe</i>	57
6.5.9	<i>Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung</i>	58
7	Kontrolle des analytischen Modells	59
7.1	Vergleich des analytischen Modells mit den FE-Ergebnissen.....	60
7.2	Adaptiertes Rohrmodell unter Berücksichtigung der Betonmanteldicke.....	61
7.3	Adaptiertes Modell bei Betrachtung als Verbundquerschnitt.....	62
7.4	Schlussfolgerung zu den Modellen	64
8	Gesamtergebnisse der Schubringkräfte	67
8.1	Schubringkräfte für das statische System nach Fall 1.....	67
8.2	Schubringkräfte für das System SF1.....	68
8.3	Schubringkräfte für das System SF2.....	69
9	Zusammenfassung	71
10	Tabellenverzeichnis	73
11	Literaturverzeichnis	75

Inhaltsverzeichnis Anhang

A	Anhang A: Fall 1 Innendruck und Temperatur	A.1
A.1	Statisches System Fall 1	A.1
A.2	Erläuterungen zu den Ergebnisdarstellungen	A.2
A.3	Fall 1 bei Lastfall Innendruck.....	A.2
A.3.1	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$	A.2
A.3.2	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.10
A.3.3	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	A.16
A.3.4	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$	A.22
A.3.5	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.28
A.3.6	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	A.34
A.3.7	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$	A.40
A.3.8	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.46
A.3.9	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	A.52
A.3.10	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	A.58
A.3.11	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.61
A.3.12	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	A.64
A.3.13	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.67
A.3.14	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	A.70
A.3.15	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.73
A.4	Fall 1 bei Lastfall Temperatur.....	A.76
A.4.1	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.76
A.4.2	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.80
A.4.3	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.85
A.4.4	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.89
A.4.5	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.92
A.4.6	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.97
A.4.7	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.102
A.4.8	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.107
A.4.9	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.110
A.4.10	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.114

A.4.11	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.119
A.4.12	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.123

B Anhang B: SF1 Innendruck und Temperatur..... B.1

B.1	Statisches System SF1	B.1
B.2	System SF1 bei Lastfall Innendruck.....	B.2
B.2.1	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$	B.2
B.2.2	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.8
B.2.3	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	B.14
B.2.4	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$	B.20
B.2.5	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.26
B.2.6	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	B.33
B.2.7	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$	B.39
B.2.8	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.43
B.2.9	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	B.48
B.2.10	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	B.52
B.2.11	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	B.55
B.2.12	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	B.58
B.2.13	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	B.61
B.2.14	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	B.64
B.2.15	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	B.67
B.3	System SF1 bei Lastfall Temperatur	B.70
B.3.1	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.70
B.3.2	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.73
B.3.3	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.77
B.3.4	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.80
B.3.5	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.83
B.3.6	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.85
B.3.7	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.90
B.3.8	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.93
B.3.9	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.96
B.3.10	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.98
B.3.11	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.102

B.3.12	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	B.105
--------	---	-------

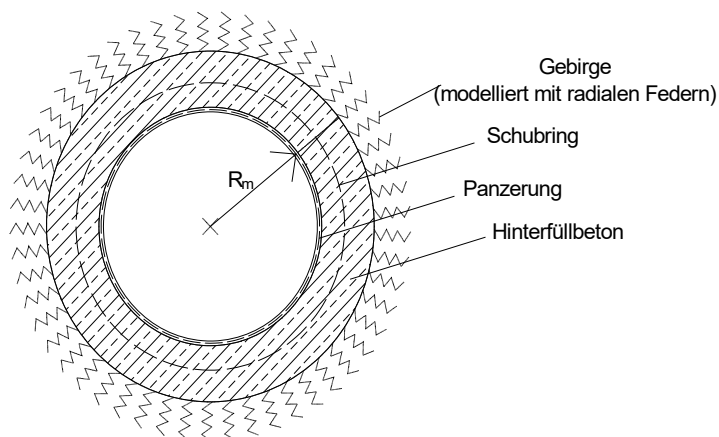
C Anhang C: SF2 Innendruck und Temperatur C.1

C.1	Statisches System SF2	C.1
C.2	System SF2 bei Lastfall Innendruck.....	C.2
C.2.1	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$	C.2
C.2.2	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.8
C.2.3	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	C.14
C.2.4	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$	C.20
C.2.5	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.26
C.2.6	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	C.33
C.2.7	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$	C.39
C.2.8	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.45
C.2.9	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	C.51
C.2.10	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	C.57
C.2.11	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.60
C.2.12	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	C.63
C.2.13	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.66
C.2.14	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	C.69
C.2.15	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.72
C.3	System SF2 bei Lastfall Temperatur	C.75
C.3.1	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.75
C.3.2	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.79
C.3.3	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.84
C.3.4	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.87
C.3.5	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.90
C.3.6	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.95
C.3.7	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.100
C.3.8	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.103
C.3.9	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.106
C.3.10	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.110
C.3.11	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.115

C.3.12 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$
..... C.118

1 Einleitung

Als Übergang zwischen dem Speichersee und dem Krafthaus stellt der Druckstollen einen wichtigen Bestandteil im Wasserkraftwerksbau für Hochdruckanlagen dar. Im Gegensatz zu der Freispiegelleitung ist die Druckleitung mit Wasser ausgefüllt, wodurch sich ein hydrostatischer Wasserdruck als Innendruck aufbaut [5]. Um einer Versickerung des Wassers durch die Poren und die Risse im Gestein unter diesem hohen Druck zu vermeiden, werden Druckstollen in der heutigen Zeit wasserdicht und druckfest verkleidet [5]. Diese Panzerung kann je nach Höhe des Innendrucks aus Stahlbeton, Stahlrohren oder einer Kombination aus beiden erfolgen [5]. Ein Schubring ist ein rechteckiges Stahlblech, welches wie in Abbildung 1.2 an die Panzerung angeschweißt wird. Die auftretenden Rohrlängskräfte im System werden über diese Schubringe an den Hinterfüllbeton sowie in weiterer Folge an das anliegende Gebirge weitergeleitet. Aufbauend auf dem FFG -Forschungsprojekt „SR12 – Stahlbauliche Tragfähigkeit, Betontragfähigkeit und Verformungsverhalten von Verankerungsringen im



Druckstollenbau“ [2], welches sich mit der Kraftübertragung zufolge der in Rohrlängsrichtung gerichteten Kräfte befasst, soll in dieser Arbeit das Tragverhalten der Schubringe bzw. Verankerungsringe zufolge Innendruck sowie Zwangskräften aus Temperatur bei mehreren Schubringen hintereinander untersucht werden.

Abbildung 1.1: Querschnitt der untersuchten Druckschachtpanzerung ($R_m = 1500 \text{ mm}$)

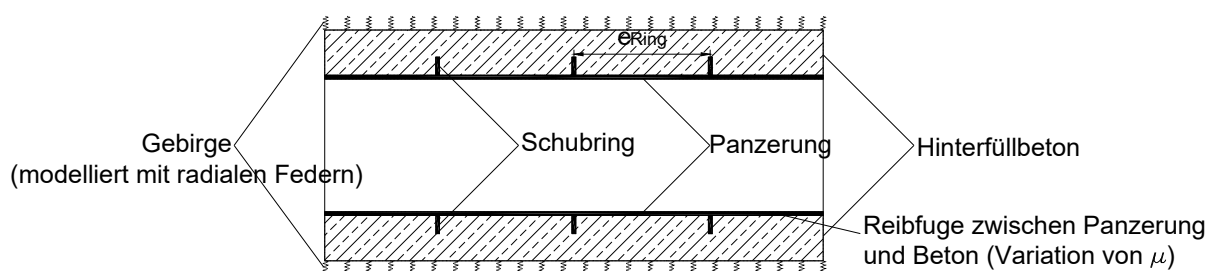


Abbildung 1.2: Längsschnitt der untersuchten Druckschachtpanzerung

Für die Untersuchungen wurden einige Rahmenbedingungen definiert, um einen Überblick über das Tragverhalten erlangen zu können. Neben einer Variation der Lagerungsbedingungen der Panzerung wurde auch ein oberer sowie unterer Grenzwert für die Reibungskoeffizienten zwischen Stahlpanzerung und Hinterfüllbeton festgelegt. Das grundlegende Ziel dieser Arbeit ist eine anschauliche Aufarbeitung des Spannungs- bzw. Kraftflusses in der Druckschachtpanzerung. Hauptschwerpunkt dabei sind die an den Schubringen abgesetzten Rohrlängskräfte. Abbildung 1.1 zeigt den für diese Arbeit

verwendeten Querschnitt für die Untersuchung. Prinzipiell erfährt das Rohr durch die Belastungen, welche punktuell und konzentriert in den Betonmantel durch die Schubringe eingeleitet werden, Spannungen, Dehnungen sowie Verschiebungen. Der Betonmantel stellt dabei die kraftschlüssige Verbindung zwischen der Panzerung und dem Gebirge her. Die Steifigkeit des Gebirges wird im Modell durch eine radiale Bettung berücksichtigt.

Alle Berechnungen erfolgten mit dem FE-Programm ABAQUS [1]. Um eine bessere Darstellung der Ergebnisse zu erlangen, wurden entlang mehrerer Schnitte die Längsspannungen, Umfangsspannungen sowie Verschiebungen in Diagrammen dargestellt. Für den Fall der beidseitigen Lagerung des Rohres wurde die numerische Berechnung mit der analytischen Lösung verglichen (siehe Abschnitt 7).

Im Anhang findet sich die Ergebnisdarstellung für das Tragverhalten der Schubringe für die untersuchten unterschiedlichen Fälle der Lagerung (vgl. Abbildung 3.2) und den beiden Einwirkungen Innendruck und Temperatur mit einer Variation der Rohrwanddicken t_{Rohr} sowie der Schubringabmessungen im Verhältnis $h_{\text{Ring}}/t_{\text{Ring}} = 7$ (vgl. Abbildung 1.3). Des Weiteren wird der Reibungskoeffizient μ als auch der Abstand der Schubringe e_{Ring} (vgl. Abbildung 1.2) variiert.

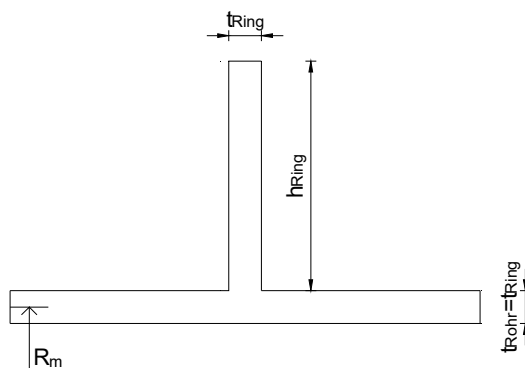


Abbildung 1.3: Darstellung der Schubringbezeichnungen

Diese Darstellung ist in allen Anhängen gleich. Somit findet man folgende Ergebnisse in den einzelnen Anhängen (Lagerung vgl. Abschnitt 3.2):

- Anhang A: einseitige Längslagerung des Rohres (Fall 1 in Abbildung 3.2) unter Innendruck sowie unter Zwangsbeanspruchungen aus Abkühlung sowie Erwärmung des Rohres - 10 °C/+10 °C;
- Anhang B: beidseitige Längslagerung des Rohres (System SF1 in Abbildung 3.2) unter Innendruck sowie unter Zwangsbeanspruchungen aus Abkühlung sowie Erwärmung des Rohres - 10 °C/+10 °C;
- Anhang C: keine Längslagerung des Rohres (System SF2 in Abbildung 3.2) unter Innendruck sowie unter Zwangsbeanspruchungen aus Abkühlung sowie Erwärmung des Rohres - 10 °C/+10 °C;

Anschließend werden im Abschnitt 8 alle Berechnungsergebnisse bzw. Schubringkräfte verglichen und das Tragverhalten interpretiert.

Allgemeine Abkürzungen

In dieser Arbeit werden bei den dargestellten Diagrammen sowie in einigen Formeln Abkürzungen verwendet, welche wie folgt definiert sind:

σ_x	.....	Längsspannung im Rohr
σ_φ	.....	Umfangsspannung im Rohr
σ_R	.....	Radialspannungen im Rohr
U_r	.....	Verformung des Rohres in radialer Richtung
U_x	.....	Verformung des Rohres in axialer Richtung
x	.....	Laufvariable zur Darstellung der Rohrlänge
t_{Rohr}}	.....	Rohrwanddicke
t_{Ring}}	.....	Schubringdicke
h_{Ring}}	.....	Schubringhöhe
μ	.....	Reibungskoeffizient
R_m	.....	Radius des Rohres in Rohrmitte
R	.....	Rohraußenradius
d_c	.....	Betonmanteldicke
e_{Ring}}	.....	Abstand zwischen den Schubringen
V_F	.....	Verformungsmodul des anliegenden Gebirges
p_i	.....	Innendruck

ABAQUS Abkürzungen

In den Diagrammlegenden sind teilweise Abkürzungen verwendet, welche dieses FE-Programm für verschiedenen Spannungen und Verschiebungen verwendet. Diese sind wie folgt definiert:

S_{11}	.....	Radialspannung an der Oberfläche des Betonmantels
C_{press}	.....	Kontaktspannung normal zur „Kontaktfuge“
C_{shear}	.....	Kontaktschubspannung in der „Kontaktfuge“

2 Stand der Technik und Zielsetzung

Zum aktuellen Stand der Technik findet man das FFG - Forschungsprojekt „SR12 – Stahlbauliche Tragfähigkeit, Betontragfähigkeit und Verformungsverhalten von Verankerungsringen im Druckstollenbau“ [2] sowie den in weiterer Folge darauf aufbauend Forschungsbericht „SR12+ Tragverhalten von Verankerungsringen bei praktischen Anwendungsbeispielen – weiterführende numerische Untersuchungen und Bemessungsbehelf“ [3]. Im Ersteren wird auf die Kraftübertragung in Rohrlängsrichtung sowie auf die Aufbereitung der FE-Berechnungen und der einzelnen Materialmodelle eingegangen. Ziel des Forschungsberichtes „SR12+“ sind ergänzende Untersuchungen für baupraktische Abmessungen, um das bisherige Modell zu bestätigen oder gegebenenfalls zu ergänzen bzw. zu modifizieren. Aus diesem Bericht ergeben sich auch die elastische Pressungslänge c_{el} , welche in weiterer Folge in der Ergebnisdarstellung verwendet wird. Diese Pressungslänge c_{el} definiert die Länge der Pressungsverteilung am Schubring (in Rohrlängsrichtung) zum Betonmantel, wo hinsichtlich der Belastungshöhe praktisch noch elastische Verhältnisse vorliegen. Grundsätzlich baut sich in dieser Pressungslänge ein dreiecksförmiger Spannungsverlauf auf, welcher sein Maximum an der Einspannstelle des Schubringes besitzt. Für das Verhalten der Schubringe unter Innendruck sowie unter Zwangsbelastungen aus Temperatur findet man keine Veröffentlichungen bei der Literaturrecherche. Für die Baupraxis können die Ergebnisse dieser Arbeit wichtige Aufschlüsse über das Tragverhalten der Schubringe darstellen.

2.1 Zielsetzung

Die Stahlpanzerung wird in der Regel so dimensioniert, dass die Umfangsspannungen 60 % der Fließgrenze betragen soll ($\sigma_{\varphi} \leq 0,6 \cdot f_y$). Dabei wird die Bettung durch das Gebirge nach Seeber [4] mitberücksichtigt. Dies entspricht der üblichen Auslegungspraxis. Verifiziert soll auch werden, ob sich die Annahme des analytischen Modells mit der numerischen Rechnung bestätigen lässt oder ob dieses adaptiert werden muss. Des Weiteren sollen die Spannungsverläufe an ausgewählten Schnitten sowie das Verformungsverhalten der Druckschachtpanzerung mit mehreren Schubringen genau dargestellt werden. Ziel ist es, die Kraftaufteilung auf die einzelnen Schubringe infolge Innendruck und Temperatur darzustellen und zu interpretieren.

2.2 Parameter der Untersuchung

Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die untersuchten Systeme und zeigt gleichzeitig welche Parameter innerhalb dieser Untersuchungen verändert wurden. Die Berechnungen erfolgten unter unterschiedlichen Lagerungsbedingungen der Druckschachtpanzerung. Dazu zählen die einseitige Längskraftlagerung (Fall 1), die beidseitige (SF1) sowie keine Lagerung (SF2) (Lagerungsarten vgl. Abschnitt 3.2). Der Radius R ist gleichzustellen mit dem Radius R_m aus Abbildung 1.1. Der Kennwert V_F beschreibt die verwendeten Verformungsmoduli des Gebirges, welcher sowohl für die Ermittlung der Rohrwanddicken t_{Rohr} als auch für die Ermittlung der Umfangsspannungen in Abschnitt 5 verwendet wird. Aus dem Kennwert V_F

ergibt sich die Federsteifigkeit c_F für das radial gebettete Rohr unter Innendruck. Die Abmessungen wurden so gewählt, dass $t_{\text{Rohr}} = t_{\text{Ring}}$ und das Verhältnis $h_{\text{Ring}}/t_{\text{Ring}} = 7$ (vgl. Abbildung 1.3). Des Weiteren wurde der Reibungskoeffizient in der Reibfuge zwischen der Panzerung und dem Betonmantel variiert zwischen $\mu = 0, 0,25$ und $0,5$. Durch die Änderung des Ringabstandes e_{Ring} (vgl. Abbildung 1.2) sollte der Einfluss von Geometrieänderungen untersucht werden. Als Innendruck p_i wurden immer 9 Bar bzw. 9 N/mm^2 aufgebracht. Für die Bestimmung des Tragverhaltens unter Zwangsbeanspruchungen aus Temperatur wurde eine konstante Temperaturdifferenz von -10°C (Abkühlung aller Stahlteile) als auch $+10^\circ\text{C}$ (Erwärmung aller Stahlteile) aufgebracht.

Die Berechnung erfolgte unter Variation der Parameter für folgende Fälle:

Lagerung	R_m [mm]	V_F [N/mm ²]	t_{Rohr} [mm]	$t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]	μ [-]	e_{Ring}^* [mm]	p_i [N/mm ²]	$-\Delta T$ [° C]	$+\Delta T$ [° C]
inseitige, beidseitige , keine (vgl. Abbildung 3.2)	1500	7000	20	20/140	0	R/ 2R	9,0	-	-
		7000	20	20/140	0,25	R/ 2R	9,0	-10	+10
		7000	20	20/140	0,5	R	9,0	-	-
		4000	45	45/315	0	R/ 2R	9,0	-	-
		4000	45	45/315	0,25	R/ 2R	9,0	-10	+10
		4000	45	45/315	0,5	R	9,0	-	-
		1000	60	60/420	0	R/ 2R	9,0	-	-
		1000	60	60/420	0,25	R/ 2R	9,0	-10	+10
		1000	60	60/420	0,5	R	9,0	-	-

*) R entspricht hier R_m

Tabelle 2.1: Darstellung der untersuchten Fälle mit Variation der Kennwerte

3.1 Beschreibung des Modells und der definierten Kontaktbedingungen

Für die Untersuchung wurde ein axialsymmetrisches FE-Modell verwendet. Das Stahlrohr besitzt einen Radius von $R_m = 1500$ mm mit drei aufgeschweißten rechteckigen Schubringen im äquidistanten Abstand e_{Ring} und wird mit der Stahlsorte S 355 ausgeführt (vgl. Abbildung 3.1). Die Lagerung des Stahlrohres ist abhängig vom untersuchten Fall und unterscheidet sich wie in Abbildung 3.2 dargestellt.

Untersuchte statische Systeme:

- Einseitige in Axialrichtung unverschiebliche Lagerung am Rohr; in weiterer Folge als Fall 1 bezeichnet
- Beidseitige in Axialrichtung unverschiebliche Lagerung am Rohr; in weiterer Folge als SF1 bezeichnet
- keine Lagerung in Axialrichtung am Rohr; in weiterer Folge als SF2 bezeichnet

Umgeben wird das Stahlrohr von einem $d_c = 750$ mm starken Betonmantel der Betongüte C25/30 lt. EC 2 [6]. Die Kontaktbedingung in der Kontaktfuge zwischen dem Stahlrohr und dem Betonmantel wurde als „Hard Contact“ definiert (vgl. Abschnitt 3.3.1).

3.2 Darstellung der untersuchten Systeme

Abbildung 3.2 zeigt die in dieser Arbeit untersuchten Lagerungsbedingungen der Druckschachtpanzerung. Für die leichtere Unterscheidung der untersuchten Lagerungen wurden Bezeichnung eingeführt (vgl. Abbildung 3.2), welche bei der Ergebnisdarstellung eine leichte Unterscheidung ermöglichen. Wie in Abbildung 3.1 ersichtlich wird für den Betonmantel der Panzerung eine in axialer Richtung beidseits unverschiebliche Lagerung gewählt.

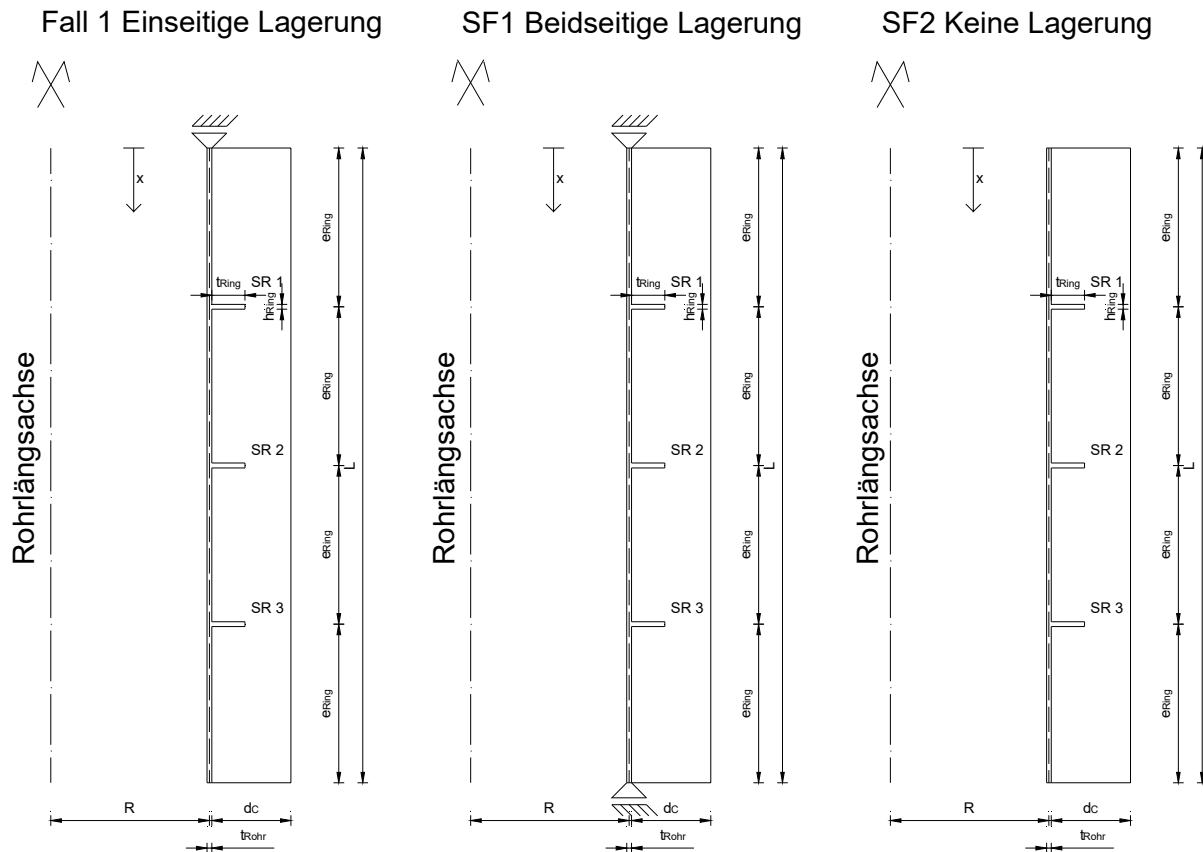


Abbildung 3.2: Darstellung der untersuchten Fälle für die unterschiedlichen Lagerungsbedingungen des Stahlrohres in Rohrlängsrichtung

3.3 Schnittführung zur Ergebnissdarstellung

In Abbildung 3.3 sind die gewählten Schnittführungen sowie die daraus ausgelesenen Ergebniskennwerte sowohl für die Panzerung als auch den Betonmantel dargestellt. Die Spannungen $\sigma_{x,m}$, $\sigma_{\varphi,m}$, stellen Membranspannungen der Panzerung dar. $U_{R,m}$ sowie $U_{x,m}$ sind zugehörige Verschiebungen. Durch die Schnittführung an der Außen- sowie Innenseite der Panzerung lassen sich die Längsspannungen $\sigma_{x,a}$ und $\sigma_{x,i}$ sowie die Umfangsspannungen $\sigma_{\varphi,a}$ und $\sigma_{\varphi,i}$ darstellen. Die Radialspannungen σ_R an den Schubringen soll einen Aufschluss über die Normalspannungen (Membran- und Biegespannungen) geben. Die Kontaktfuge zwischen der Panzerung und dem Betonmantel gibt einen Aufschluss über die Kontaktspannungen S_{11} und C_{press} , als auch die Kontaktschubspannungen C_{shear} . Die Bezeichnung der Schubringsschnitte in oben „O“ und unten „U“ erfolgt mit der vorgegebenen Richtung der Laufvariable X (vgl. Abbildung 3.3). Diese Verläufe sollen einen Aufschluss über die Pressungsverteilung im Betonmantel an der Ober- und Unterseite des Schubrings ermöglichen.

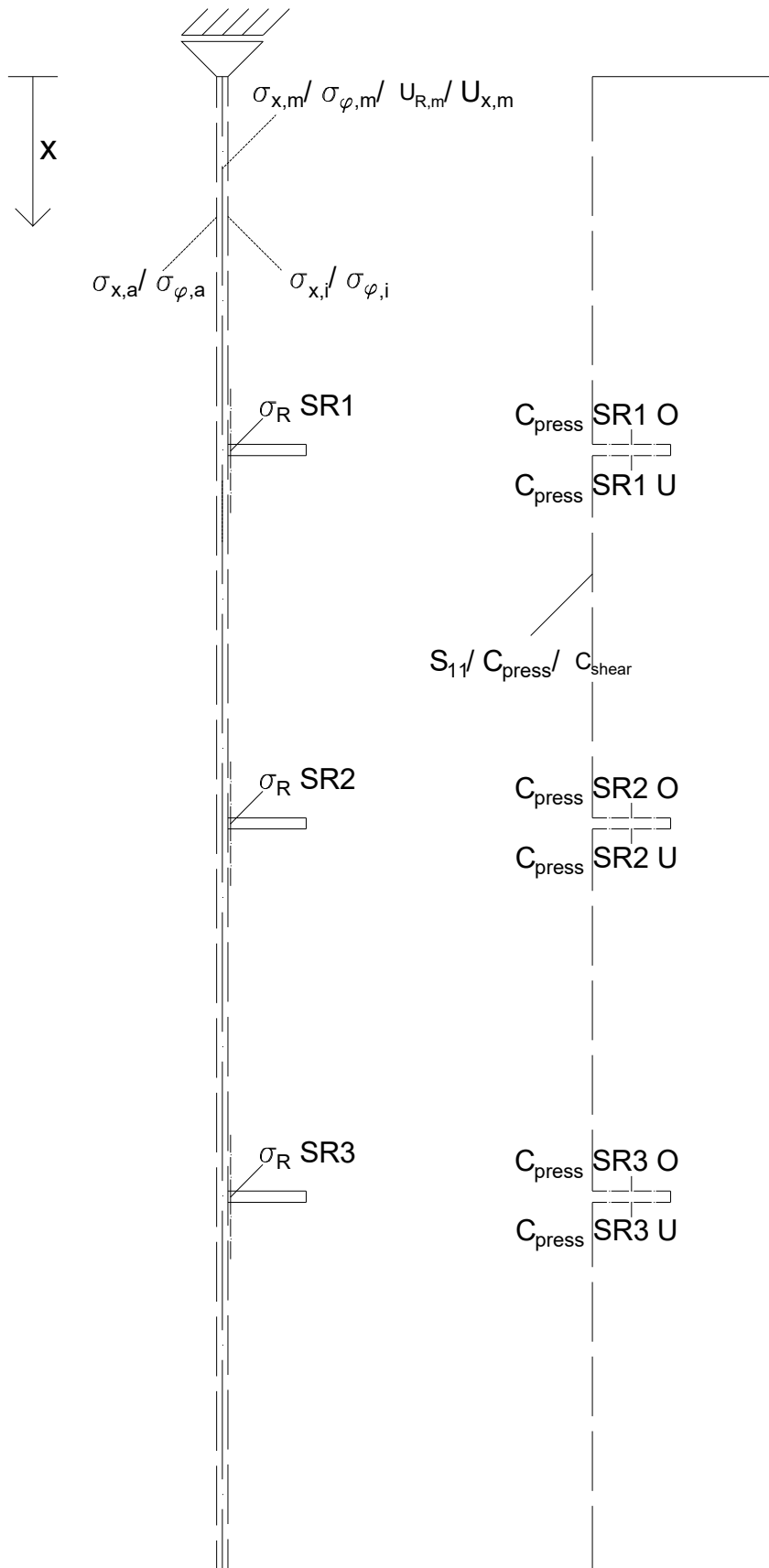


Abbildung 3.3: Darstellung der gewählten Schnittführung sowie der daraus ausgelesenen Kenngrößen

3.3.1 „Hard Contact“- Kontaktfuge zwischen Stahl und Beton

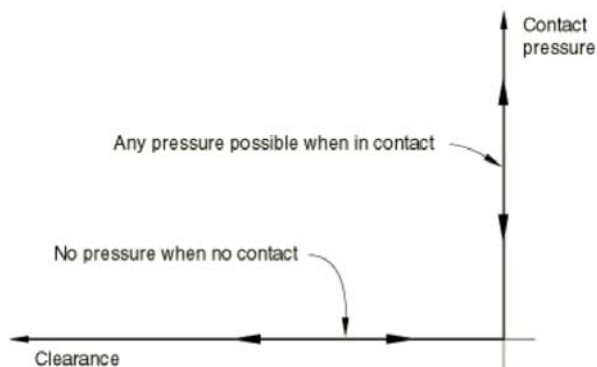


Abbildung 3.4: Darstellung der standardmäßigen Beziehung für Druck und fehlenden Kontakt auf Zug „Hard Contact“ [1]

Abbildung 3.4 zeigt die Funktionsweise der „Hard Contact“ Beziehung. In weiterer Folge bedeutet das, dass bei Kontakt Druckspannungen übertragen werden können, jedoch, dass sobald der Kontakt verloren geht, keine Kraftübertragung mehr möglich ist. Die Eingabe dieser Bedingung benötigt eine „Slave“- als auch eine „Master“-Oberfläche. Als „Slave“ soll lt. ABAQUS Manual [1] grundsätzlich die „weichere“ Oberfläche verwendet werden, in diesen Fall der Betonmantel. Die „Master“-Oberfläche ist in diesem Fall das „steifere“ Stahlrohr. In weiterer Folge bedeutet das für die Kontaktbedingung, dass das Eindringen der „Slave“-Oberfläche in die „Master“-Oberfläche nicht stattfinden kann und die Übertragung von Zugspannungen in dieser Grenzfläche nicht möglich ist. In Axialrichtung ist der Betonmantel an beiden Enden längsfest gehalten, einzig die radiale Verschiebung des Betonmantels ist möglich (vgl. Abbildung 3.1). Der an den Betonmantel anliegende Fels wurde über eine radiale Bettung abgebildet (vgl. Abbildung 3.1).

Bei der Eingabe in ABAQUS [1] wird bei Kontaktflächen in das tangential Verhalten sowie auf das Verhalten normal zur Fläche unterschieden. „Hard Contact“ bezeichnet das Verhalten normal auf die betroffenen Flächen, während beim tangentialen Verhalten die Variation des Reibungskoeffizienten μ möglich ist und damit eine Längsverschiebung zwischen Stahl und Beton.

3.3.2 Modellierung der Gebirgsbettung

Die stützende Wirkung des umliegenden Gebirges in radialer Richtung wird mithilfe einer radialsymmetrischen Bettung des Betonmantels in der numerischen Berechnung berücksichtigt, welche nur im Falle von Druckspannungen wirksam ist. Als Grundlage für die Ermittlung der Federsteifigkeit dieser Bettung dient der Verformungsmodul des Gebirges V_F . Berechnet wird die Federsteifigkeit exemplarisch für die in Abbildung 3.5 dargestellten Werte mit $c_F = \frac{V_F}{(1+\nu_F)*R_F} = \frac{1000}{(1+0,2)*2250} = 0,37 \text{ N/mm}^3$. Dabei ist ν_F die Querkontraktionszahl des Gebirges und R_F der Radius für das Gebirge am Übergang zum Beton. Auch bei der Modellierung des Gebirges unterscheidet man in das tangentiale sowie in das Verhalten normal zu den Flächen. Das tangentiale Verhalten wurde wie in Abbildung 3.5 ersichtlich als reibungsfrei definiert, während bei der Eingabe des Verhaltens normal auf die Fläche Zahlenwerte für die „Pressure- Overclosure“ Bedingung erforderlich sind. Diese Zahlenwerte sind Wertepaare aus dem Druck p_i und der Überdeckung „Overclosure“ h_i und definieren die Kontaktbedingung (vgl. Abbildung 3.6). Eine negative Überdeckung „Overclosure“ bedeutet ein positives Spiel „Clearance“. Das bedeutet, dass die Oberflächen erst Kontaktspannungen übertragen, wenn die Überdeckung „Overclosure“ zwischen ihnen, gemessen normal auf die Flächen, größer ist als h_1 , wobei h_1 die Überdeckung „Overclosure“ bei null Druck p_i ist. Daraus ergeben sich die in Abbildung 3.5 eingegeben Wertepaare, wobei die Federsteifigkeit auf 1000 mm Eindringtiefe bezogen wurden, wodurch sich der Wert 370 [N/mm²] ergibt.

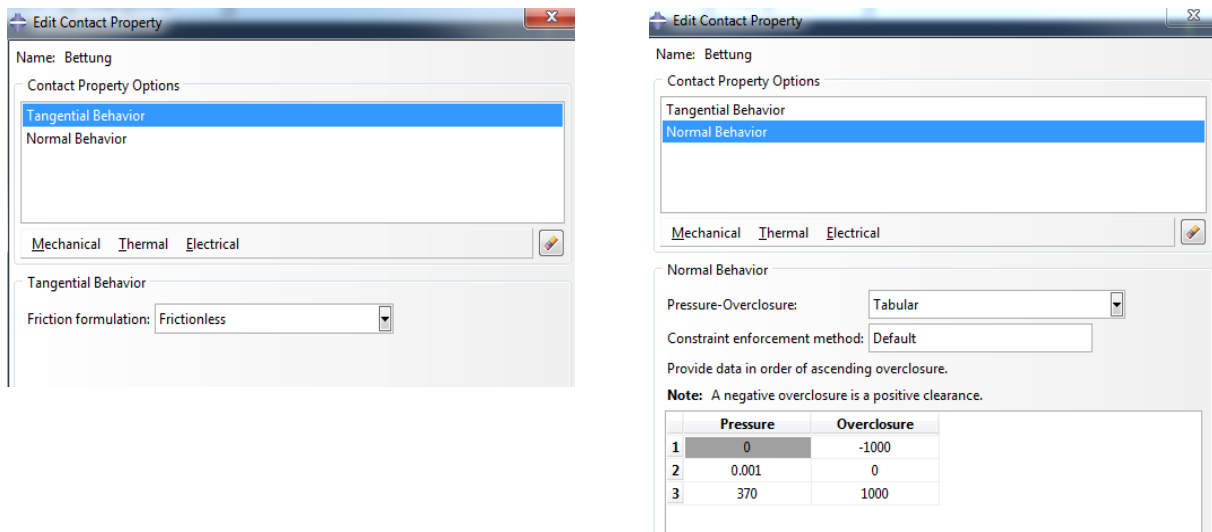


Abbildung 3.5: Darstellung der Eingaben für die „Bettung“ Kontaktbedingungen

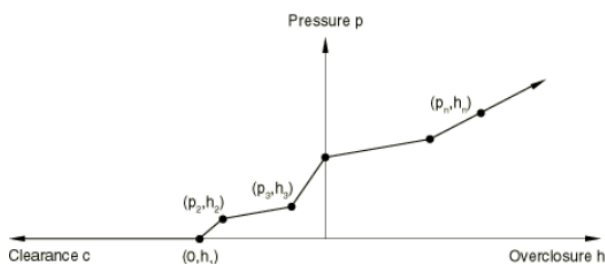


Abbildung 3.6: Definition der Überdeckungs „Overclosure“ Bedingung lt. ABAQUS [1]

3.4 Verwendetes FE-Netz

Abbildung 3.7 zeigt den Aufbau des FE-Netzes für die numerische Berechnung in ABAQUS [1], dargestellt für die Abmessungen $t_{\text{Rohr}} = t_{\text{Ring}} = 60 \text{ mm}$ sowie $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$. Die Netzgröße weist über den gesamten Beton als auch Rohrquerschnittbereich eine Elementgröße von $10 \times 5 \text{ mm}$ (vgl. Abbildung 3.7) auf. Lediglich im Bereich der Schubringe wurde 50 mm ober- bzw. unterhalb der Schubringe eine Netzverfeinerung auf $5 \times 5 \text{ mm}$ vorgenommen (vgl. Abbildung 3.8) um die dort auftretenden Spannungen feiner darstellen zu können.

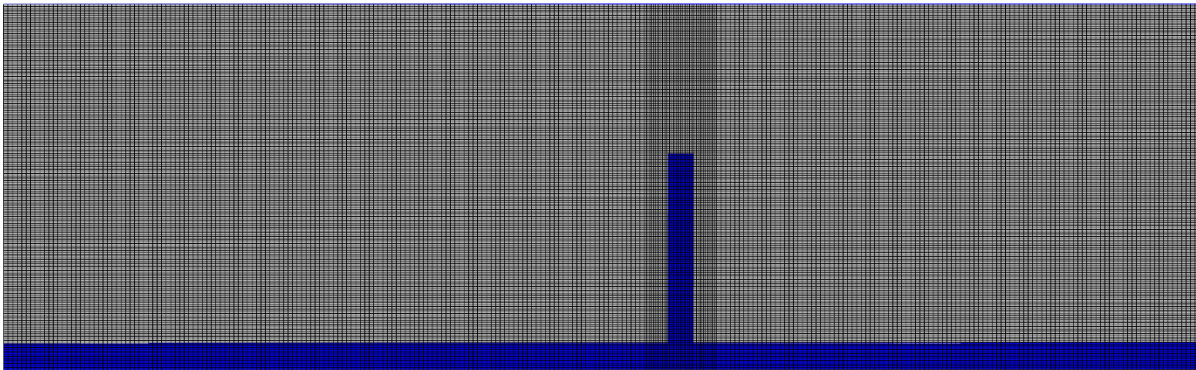


Abbildung 3.7: Ausschnitt des FE-Netzes aus dem Modell

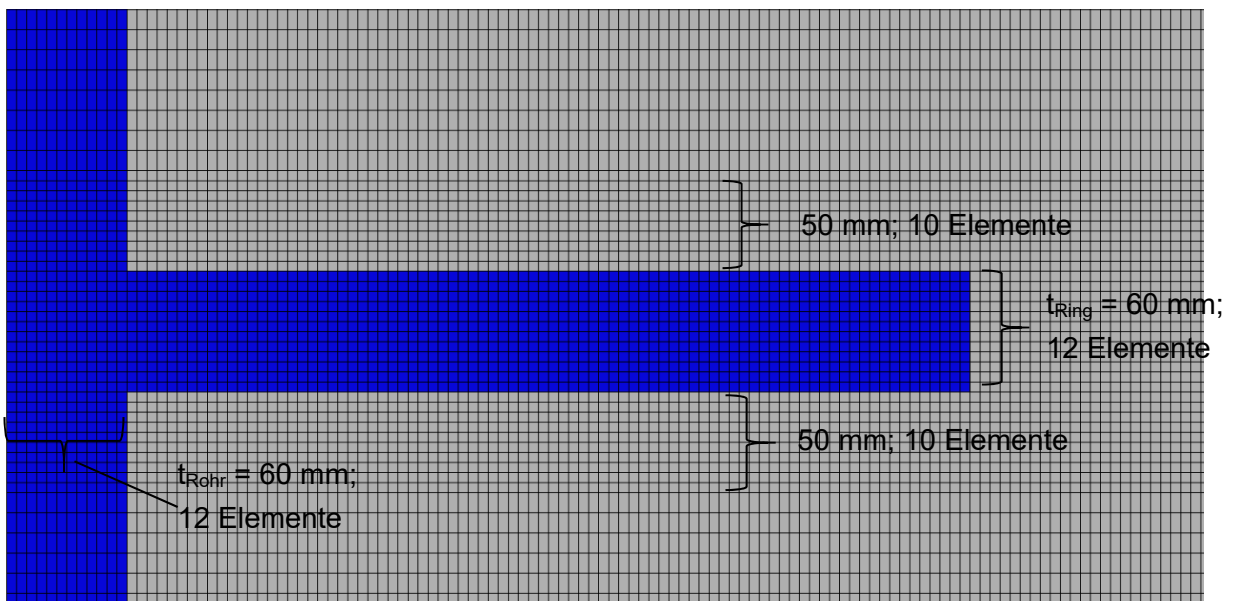


Abbildung 3.8: Darstellung der Netzverfeinerung im Bereich der Schubringe

4 Verwendetes Materialmodell

4.1 Stahlmodell in ABAQUS

Für die Untersuchung wurde für alle Stahlteile (Rohr, Schubring) die Stahlgüte S 355 verwendet, es wurde jedoch das plastische Materialverhalten nicht abgebildet. Aufgrund der Bedingung, dass $\sigma_{\varphi} \leq 0,6 \cdot f_y$ sein soll, ist bei der Eingabe des Materialmodells nur die Eingabe der linear elastischen Kenngrößen notwendig (vgl. Abbildung 4.1). Diese sind der E-Modul $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ als auch die Poissonziffer oder Querkontraktionszahl $\nu = 0,3$. Für die Berechnung der Temperaturlastfälle war es nötig, den Temperaturexpansionskoeffizienten $\alpha_T = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ zu definieren.

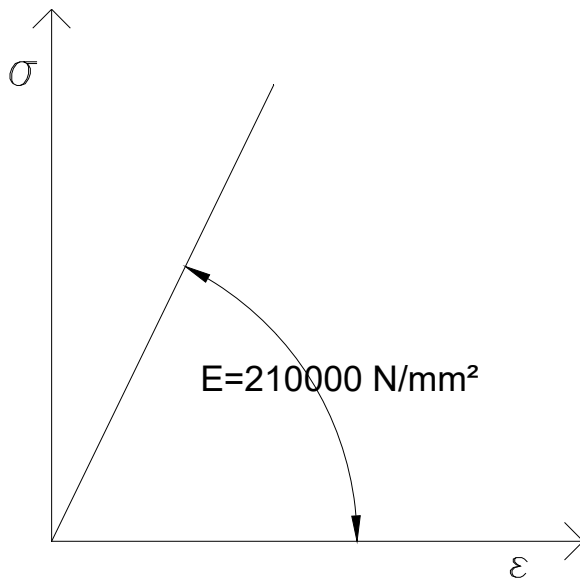


Abbildung 4.1: Darstellung des ideal elastischen Materialgesetzes

4.2 Betonmodell in ABAQUS

Eine realitätsnahe Modellierung des Betonkörpers aufgrund seines unterschiedlichen Verhaltens auf Zug als auch auf Druck ist unbedingt erforderlich. Des Weiteren muss auch das plastische Tragverhalten abgebildet werden.

4.2.1 Concrete Damaged Plasticity (CDP)

ABAQUS bietet die Möglichkeit der Eingabe mehrere Betonmodelle wobei in weiterer Folge nur mehr das Concrete Damage Plasticity (CDP) verwendet und beschrieben wird.

Die wesentlichen Kennzeichen dieses Materialmodells sind:

- Der Beton kann grundsätzlich in allen Strukturen modelliert werden: z.B. Balken, Fachwerken, Schalen und Festkörpern;
- Die Verwendung für bewehrten als auch unbewehrten Beton ist möglich;
- Eine Bewehrung kann über diskrete Bewehrungsstäbe simuliert werden; dies wird in dieser Arbeit nicht verwendet

- Anwendbar für Beton unter monotonen, zyklischen oder dynamischen Beanspruchungen. Der hydrostatische Druck sollte kleiner als das vier- bis fünffache der einachsigen Druckfestigkeit sein.

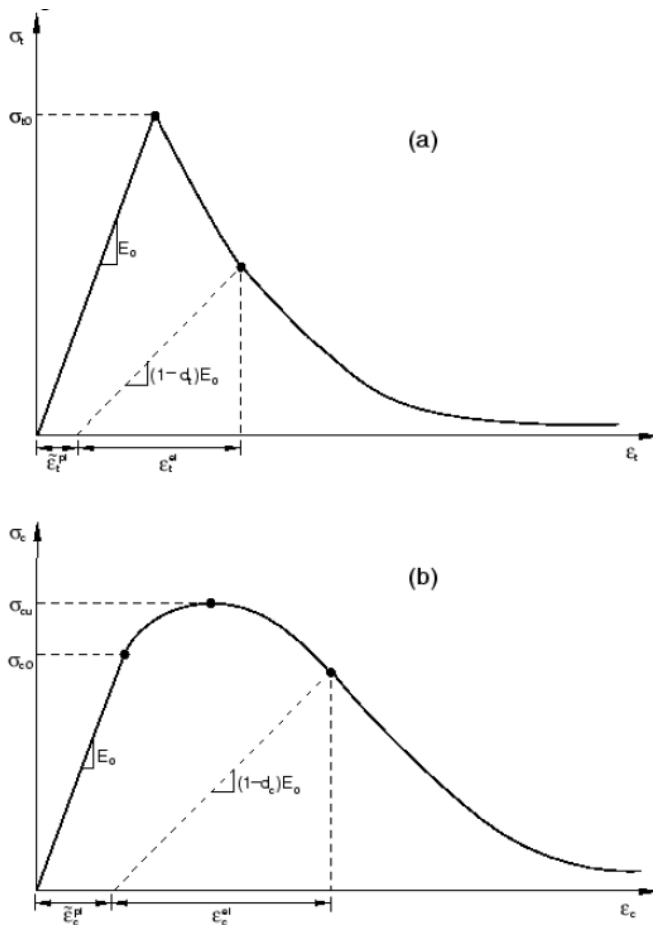


Abbildung 4.2: FEM-Modell in ABAQUS: Einachsige Belastung bei a) Zug und b) Druckbeanspruchungen [1]

Abbildung 4.2 (a) zeigt die Antwort des Modells bei einer einachsigen Zugbeanspruchung am Beton. Abbildung 4.2 (b) stellt das Verhalten des Betons unter einer einachsigen Druckbeanspruchung dar.

Für die Eingabe des Modells müssen folgende Größen definiert werden:

- Spannungs-Dehnungsbeziehung des Betons unter einachsiger Druckfestigkeit
- Dichte des Betons
- Verhältnis der biaxialen Druckfestigkeit zur einachsigen Druckfestigkeit (Standardwert:1.16)
- Schädigungsparameter für den Druck- und Zugbereich: Diese vermindern den E-Modul bei einer Wiederbelastung unter der Berücksichtigung der Schädigung aufgrund der Risse im Beton.
- Dilatationswinkel ψ , welche in der sogenannten p-q Ebene gemessen wird und bei hohen Druckbeanspruchungen die nicht assoziierte Fließregel beschreibt.[2]
- Parameter, welche die Ausrundung des plastischen Potentials definieren (als „Eccentricity“ ε bezeichnet in ABAQUS: Standardwert 0.1)

- Beiwert K_c , welcher die Form der Fließfläche in der deviatorischen Ebene beschreibt (Standardwert: 0,6667). Dieser Wert kommt allerdings nur dann zum Tragen, wenn alle drei Hauptspannungen im Modell Druckspannungen sind, andernfalls wird die Fließfläche vom Verhältnis β unter Abhängigkeit von den zweiachsigen Zug- und Druckfestigkeiten des Betons bestimmt.
- Einachsige Zugfestigkeit
- Tension-Stiffening: Dient in erster Linie dazu, Konvergenzprobleme bei der Berechnung zu vermeiden. Für die Eingabe gibt es die Möglichkeit mittels Verschiebungen, mittels Bruchenergie oder mittels Dehnungen. In dieser Arbeit wurde die Eingabe mittels Bruchenergie weiterverfolgt. Dabei muss die Energie definiert werden, welche nötig ist, dass der Beton im Nachbruchverhalten keinen Zugspannungen mehr aufnehmen kann.

Diese Eingabeparameter dienen zur Übersicht der benötigten Werte auf die im FFG - Forschungsprojekt „SR12“ [2] genauer eingegangen wird.

Es kommt das im SR12 - Forschungsbericht 2 [3], beschriebene Betonmodell Concrete Damaged Plasticity (CDP) zum Einsatz. Der Beton wird in der Betongüte C25/30 lt. Eurocode 2 (EC2) [6] ausgeführt. Die für die Eingabe dieses Modells erforderlichen Parameter sind im SR12 - Forschungsbericht [3] angegeben. Es werden die dort beschriebenen Werte verwendet (Verhältnis der biaxialen Druckfestigkeit zur einaxialen = 1.16, $\psi = 36.41^\circ$, $\varepsilon = 0.1$, $K_c = 0.725$, Bruchenergie $G_F = 0.06 \text{ Nmm/mm}^2$). Die einaxiale Spannungs-Dehnungsbeziehung bei Druckbelastung wird an die entsprechende Betongüte angepasst. Die Betonarbeitslinie wird dabei ohne Berücksichtigung des Teilsicherheitsfaktors γ_c und mit der mittleren Betondruckfestigkeit eingegeben.

Die mittlere Druckfestigkeit des Betons C25/30 ergibt sich zu:

$$f_{cm} = 33.0 \text{ N/mm}^2$$

Die benötigte Parabelfunktion, welche für eine nichtlineare Berechnung im EC2 [6], Kapitel 3.1.5 angegeben ist, um die Spannungs-Dehnungslinie des Betons bei einaxialer Druckbeanspruchung darzustellen, lautet:

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}$$

Dabei gilt:

$$\eta = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}$$

$$k = \frac{1.1 * E_{cm} * |\varepsilon_{c1}|}{f_{cm}}$$

Der Vorfaktor k wurde mit 1.1 berücksichtigt.

$$E_{cm} = 31000 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{c1} = 0,0021 [-]$$

Die Gleichung gilt unter der Bedingung: $\varepsilon_c \leq \varepsilon_{c1}$ (vgl. Abbildung 4.3)

Für den Post-Failure Bereich $\varepsilon_c > \varepsilon_{c1}$ wurde die Arbeitslinie nach MC 90 (siehe SR12 - Forschungsbericht 1 [3] Kapitel 5) verwendet.

Im Falle der einaxialen Zugfestigkeit wurde ebenfalls die mittlere Zugfestigkeit angesetzt:

$$f_{ctm} = 2.6 \text{ N/mm}^2$$

Abbildung 4.4 zeigt das Verhalten des Materialmodells bei einaxialer Zugspannung. Bis zum Erreichen der mittleren Zugfestigkeit f_{ctm} verhält sich das Material elastisch. In weiterer Folge gibt es einen Abfall der Zugspannungen. Die Zugspannungen werden dann Null, wenn die vorgegebene Bruchenergie erreicht ist. Die in Abbildung 4.4 dargestellte Verschiebung u stellt die Rissöffnung dar. Der von [1] empfohlene Wert der Bruchenergie von $G_F = 0.06 \text{ Nmm/mm}^2$ wurde auf den Wert $G_F = 0.05 \text{ Nmm/mm}^2$ abgemindert.

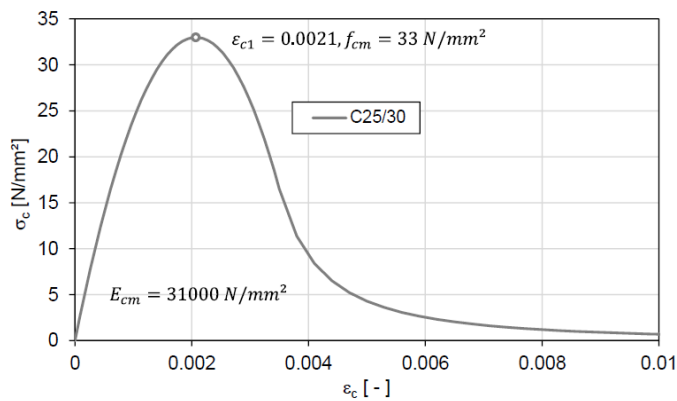


Abbildung 4.3: Spannungs-Dehnungsbeziehung für den Beton C25/30 [3]

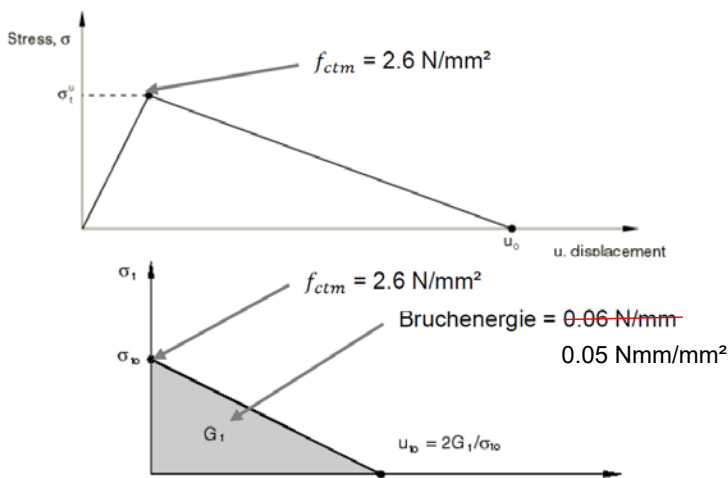


Abbildung 4.4: Verhalten des Materialmodells bei einachsiger Zugbelastung [3]

5 Ermittlung der Rohrwanddicken mit Hilfe des analytischen Modells nach Seeber

5.1 Ermittlung der Rohrwandstärke mittels analytischer Beziehung

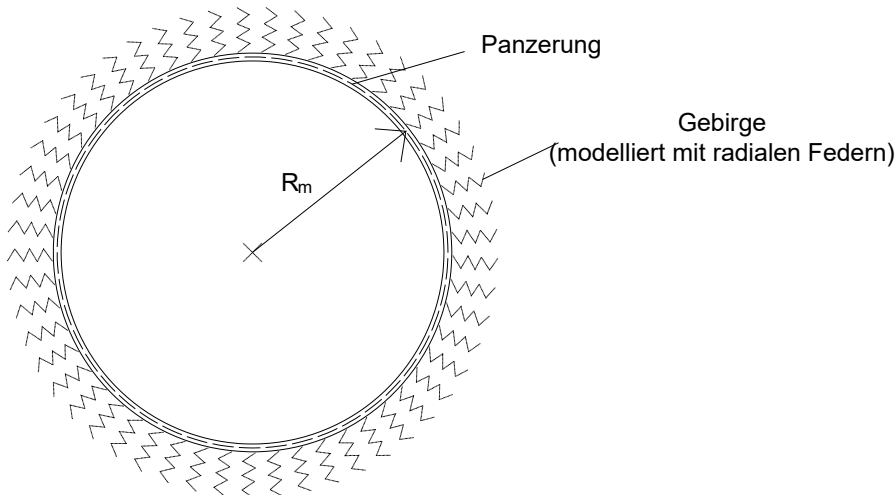


Abbildung 5.1: Analytisches Modell des radial gebetteten Rohres nach Seeber [4]

Für das in Abbildung 5.1 dargestellte radial gebettete Rohr gibt es eine analytische Methode nach Seeber [4] zur Berechnung der Umfangsspannungen. Unter der Bedingung, dass die Umfangsspannungen aus Innendruck $\sigma_\varphi \leq 0,6 \cdot f_y$ sein sollen, wurde für die unterschiedlichen Bettungsmodule V_F auf die erforderliche Rohrwanddicke zurückgerechnet.

5.1.1 Darstellung der Berechnungsschritte zur Ermittlung der Rohrwanddicke

Kennwerte Stahl (S 355)	Kennwerte Beton (C 25/30)	Kennwerte Fels
$f_y = 355 \frac{N}{mm^2}$	$E_{cm} = 31000 \frac{N}{mm^2}$	$V_{F,1000} = 1000 \frac{N}{mm^2}$
$E_s = 210000 \frac{N}{mm^2}$	$d_c = 750 \text{ mm}$	$V_{F,4000} = 4000 \frac{N}{mm^2}$
$R_m = 1500 \text{ mm}$	$R_{Beton} = 2250 \text{ mm}$	$V_{F,7000} = 7000 \frac{N}{mm^2}$
$\nu_s = 0,3$	$\nu_B = 0,2$	$\nu_F = 0,2$

Tabelle 5.1: Eingangswerte für die Berechnung

Als Innendruck wird immer $p_i = 9,0 \frac{N}{mm^2}$ angesetzt.

Aus der gestellten Bedingungen ergibt sich folgende Grenzspannung in Umfangsrichtung des Rohres:

$$\sigma_{\varphi, \max} = 0,6 \cdot f_y = 0,6 \cdot 355 \frac{N}{mm^2} = 213 \frac{N}{mm^2}$$

Für die weitere Berechnung ist der erhöhte E-Modul des Stahls unter der Berücksichtigung des Poisson-Effektes notwendig:

$$E_S^* = \frac{E_S}{1 - \nu_S^2} = \frac{210000}{1 - 0,3^2} = 230769 \frac{N}{mm^2}$$

Die Federsteifigkeit des Felsens bei radialer Bettung und unter Innendruckbelastung ergibt sich für $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$ zu:

$$c_F = \frac{V_F}{(1 + \nu_F) * R_m} = \frac{4000}{(1 + 0,2) * 1500} = 2,189 \frac{N}{mm^3}$$

Die radiale Federsteifigkeit des Stahlrohrs ergibt sich zu:

$$c_{st}^* = \frac{E_S^* * t}{R_m^2}$$

Es wurde bei der Berechnung kein Initialspalt angesetzt.

Aufteilung des Innendrucks mit $p_i = 9,0 \text{ N/mm}^2$ aufgrund der unterschiedlichen Federsteifigkeiten und Berechnung des Innendruckanteils auf das Stahlrohr $p_{i,st}$ für $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$:

$$p_{i,st} = p_i * \frac{c_{st}^*}{c_{st}^* + c_F} = 9,0 * \frac{\frac{E_S^* * t}{R_m^2}}{\frac{E_S^* * t}{R_m^2} + 2,189} = 9,0 * \frac{E_S^* * t}{E_S^* * t + 2,189 R_m^2}$$

Die Umfangsspannung im geraden Rohr berechnet sich nun wie folgt:

$$\sigma_\varphi = \frac{p_{i,st} * R_m}{t}$$

Daraus kann die Rohrwanddicke mit $R_m = 1500 \text{ mm}$ der Bedingung $\sigma_{\varphi,max} = 0,6 * f_y$ leicht berechnet werden zu: (Beispiel für $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$)

$$t = \frac{p_{i,st} * R_m}{\sigma_\varphi} = \frac{9,0 * \frac{E_S^* * t}{E_S^* * t + 2,189 R_m^2} * R_m}{\sigma_{\varphi,max}} = \frac{3,115 * 10^9 * t}{230769 * t + 4,925 * 10^6} \\ = \frac{3,115 * 10^9 * t}{(230769 * t + 4,925 * 10^6) * 0,6 * 355} \rightarrow t_{ber} = 42,03 \text{ mm}$$

Die anderen Ergebnisse (für $V_F = 1000, 7000 \text{ N/mm}^2$) werden in Tabelle 5.2 dargestellt. Dabei wurden die Rohrwandstärken in der Regel aufgerundet ($t_{gew} > t_{ber}$). Eine Ausnahme wurde im Falle der Bettung $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$ gemacht, um feststellen zu können ob sich das Verhalten bei einer sehr dünnen Rohrwandstärke von jenen Verhalten der anderen unterscheidet. Daraus ergeben sich folgende Wandstärken:

Verformungsmodul V_F [N/mm ²]	t_{ber} [mm]	t_{gew} [mm]
1000	58,1	60
4000	42,0	45
7000	25,7	20

Tabelle 5.2: Gegenüberstellung der berechneten sowie der gewählten Rohrwandstärken des Stahlrohrs

Aus diesen in Tabelle 5.2 gewählten Rohrwandstärken ergeben sich folgende Umfangsspannungen aus der analytischen Berechnung:

Verformungsmodul V_F [N/mm ²]	t_{gew} [mm]	σ_φ [N/mm ²]
1000	60	206,7
4000	45	203,5
7000	20	234,1

Tabelle 5.3: Darstellung der sich ergebenden Umfangsspannungen aus der analytischen Berechnung für $p_i = 9,0$ N/mm², $R_m = 1500$ mm

Mit diesen Wanddicken wurde die numerische Parameterstudie durchgeführt. Die weiteren variierenden Parameter sind im Abschnitt 2.2 erläutert.

6 Berechnungsergebnisse im Überblick

6.1 Fall 1 bei Lastfall Innendruck

6.1.1 Längsnormalspannungen im Rohr

Die Abbildung 6.1 zeigt den Verlauf der Längsnormalspannungen im Stahlrohr für den Fall 1 („Einseitige Lagerung“, vgl. Abbildung 3.2) unter Innendruckbelastung. Die Berechnung wurde mit zwei unterschiedlichen Betonmantelstärken durchgeführt ($d_c = 750$ mm und 1000 mm), um den Einfluss der Betonummantelung auf die Spannungen bzw. Schubringkräfte abzubilden.

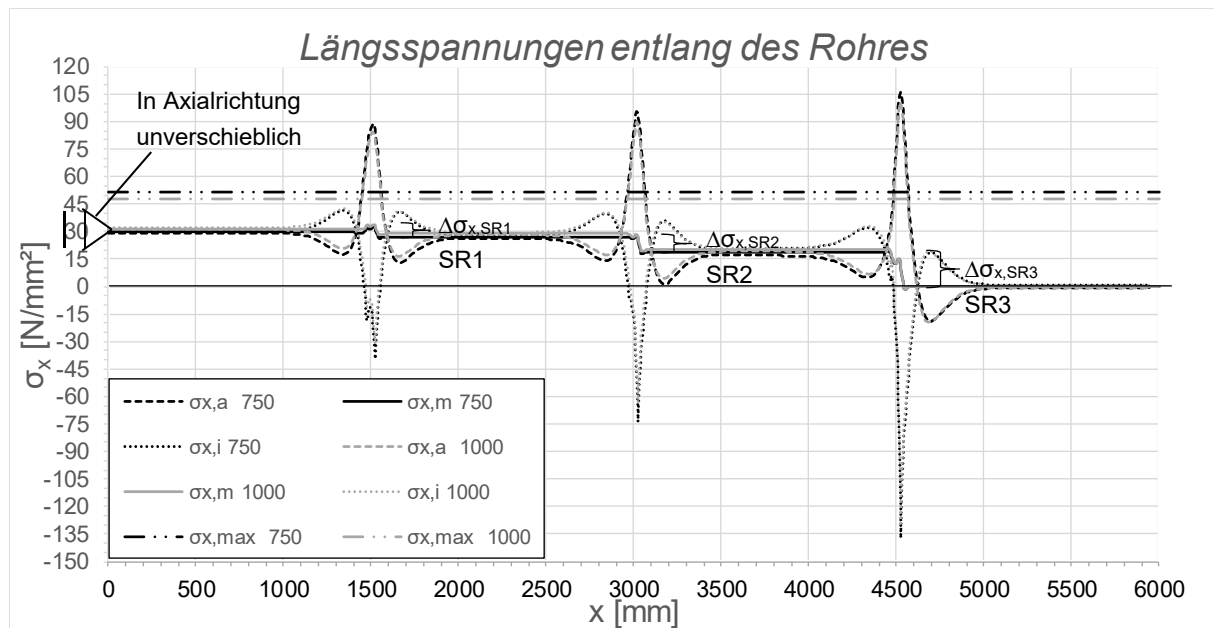


Abbildung 6.1: Darstellung der Längsnormalspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45$ mm, $h_{Ring} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

Aus den Längsmembranspannungen $\sigma_{x,m}$ lässt sich erkennen, dass der Schubring SR3 die größte Belastung erfährt (aus dem Sprung in der Membranspannung) und diese, je näher der Schubring sich beim Auflager befindet, stark abnimmt. Aus dem Sprung der Längsmembranspannung im Bereich der Schubringe lässt sich die Schubringkraft wie folgt ermitteln: $F_{SR} = 2 * \Delta \sigma_x * R_m * t_{Rohr} * \pi$ (vgl. Ergebnisse in Abbildung 6.5). In Abbildung 6.5 ist auch die Längsspannung aus der Querkontraktion für einen beidseitig axial unverschieblich gehaltenen Zylinder eingetragen ($\sigma_{x,max} = \sigma_\varphi * \nu$; $\nu = 0,3$). Dabei wird $\sigma_{\varphi,max}$ aus der numerischen Lösung (vgl. Abbildung 6.2) verwendet. Diese baut sich jedoch nicht auf, da die Schubringe eine gewisse Nachgiebigkeit in Längsrichtung besitzen. Am freien Ende wird die Längsmembranspannung Null (von $x = 4500$ bis $x = 6000$ mm). Die unterschiedlichen Betonwanddicken d_c zeigen keinen signifikanten Einfluss auf die Längsmembranspannung bzw. auf die Schubringkräfte.

6.1.2 Umfangsnormalspannungen im Rohr

Bei den Umfangsspannungen im Stahlrohr spielt die Betonmantelstärke eine doch entscheidende Rolle (vgl. Abbildung 6.2). Der Spannungsunterschied lässt sich dadurch

erklären, dass auch der Betonmantel Umfangsspannungen aufnimmt. Ein steiferer Mantel nimmt somit mehr Spannungen auf und reduziert somit auch jene im Stahlrohr. Im Bereich der Schubringe kommt es dann noch aufgrund der höheren Radialsteifigkeit und Rohrfläche zu einer weiteren Abnahme der Umfangsspannungen, und zu zusätzlichen Biege normalspannungen.

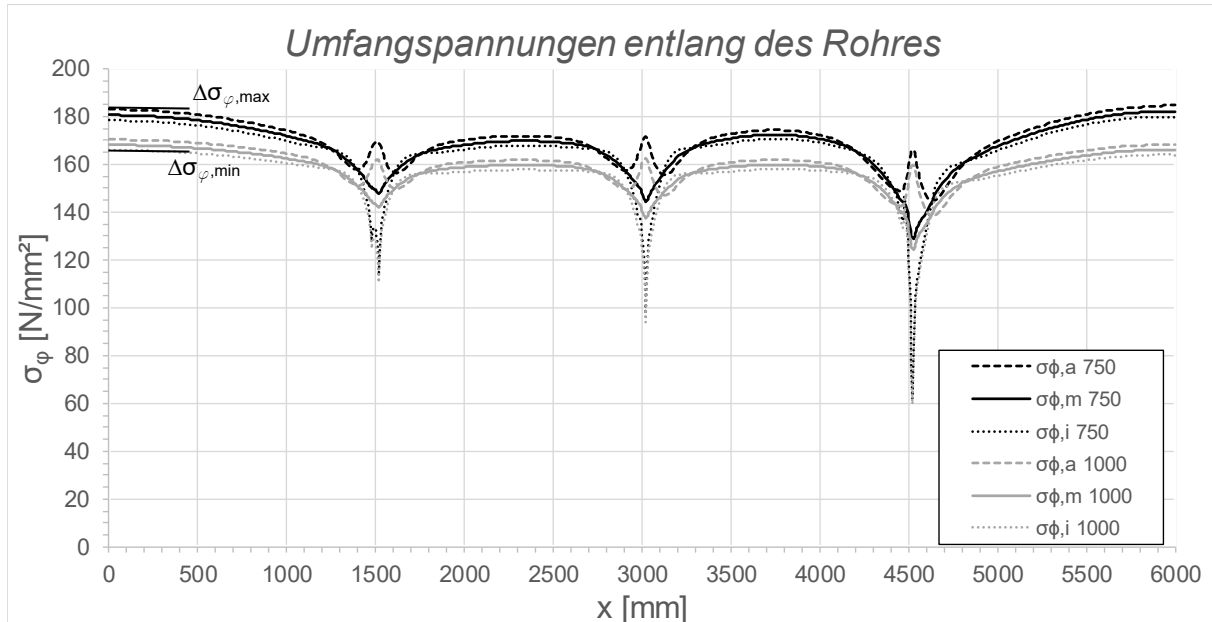


Abbildung 6.2: Darstellung der Umfangsnormalspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.1.3 Verformungen des Rohres

Der in Abschnitt 6.1.2 erwähnte Steifigkeitsunterschied spielt auch bei den Radial- sowie Längsverformungen eine große Rolle. Es ist in Abbildung 6.3 wieder zu erkennen, dass der steifere Betonmantel die Radialverformung mehr behindert als jener mit der geringeren Dicke. Bei der Längsverformung erkennt man an den Knicken im Verlauf den Einfluss der Schubringe. Der steifere Betonmantel verhindert auch die Zunahme der Längsverformungen was sich an der unterschiedlichen Steigung der Geraden erkennen lässt (vgl. Abbildung 6.3).

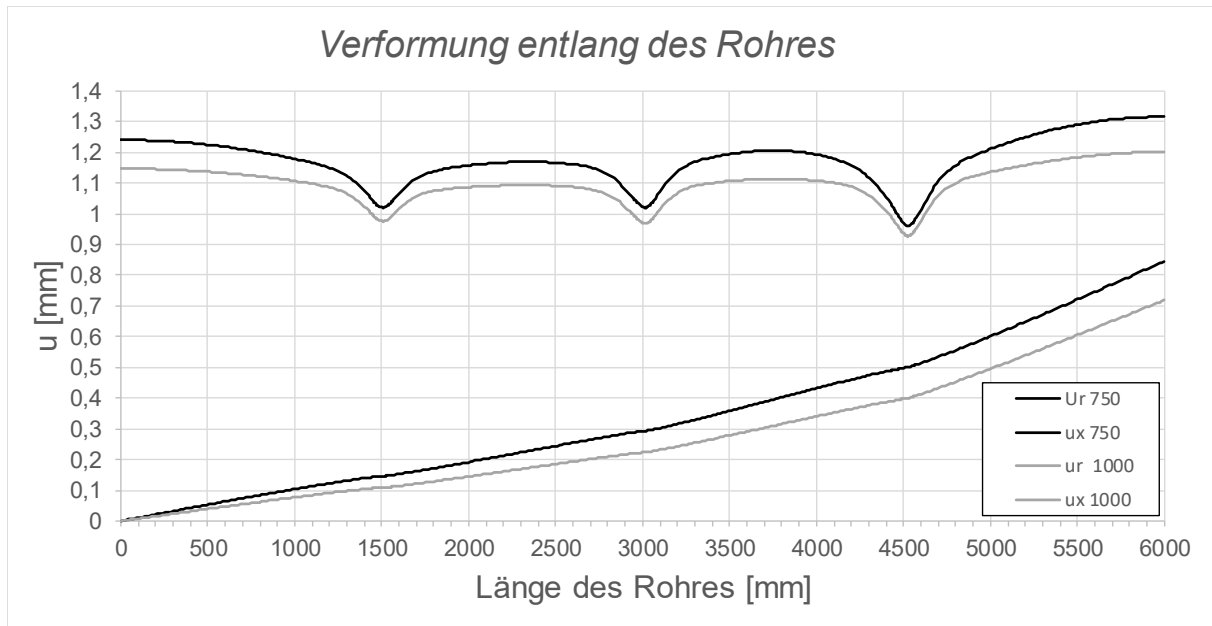


Abbildung 6.3: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

Die Längsverformungen U_x stellen tatsächlich eine Rohrverkürzung dar (vgl. Abbildung).

6.1.4 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr

Durch den Innendruck kommt es in der Kontaktfuge zwischen dem Stahlrohr und dem Betonmantel zu Kontaktspannungen. Hierbei wurden die Radialspannungen S_{11} an der Oberfläche des Betonmantels im Stahlrohr sowie die direkten Kontaktspannungen C_{press} als Kontrolle der Übereinstimmung gegenübergestellt (vgl. Abbildung 6.4 und Abbildung 3.3). Auch hier ist der Einfluss der Mantelstärke erkennbar, jedoch ist dieser sehr klein.

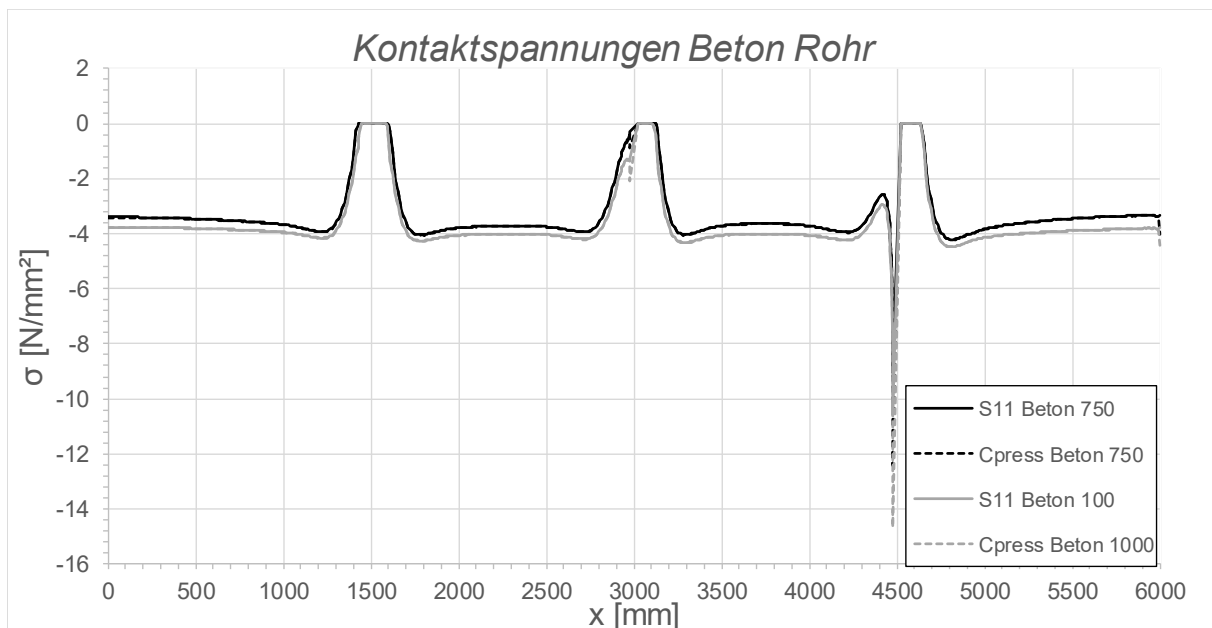


Abbildung 6.4: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.1.5 Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte

Die Darstellung der Längsmembranspannungen soll zur besseren Veranschaulichung der aus den Schubringen auftretenden Kraftübertragung dienen (vgl. Abbildung 6.5). Im Falle der einseitigen Lagerung des Rohres stellt sich ein treppenartiger Verlauf ein, anhand dem man die Kraftübertragung des einzelnen Schubringes an den Betonmantel mit $F_{SR,i} = 2 * \Delta \sigma_{x,i} * R_m * t_{Rohr} * \pi$ berechnen kann. Der Einfluss der Betonmantelstärke ist auch hier erkennbar, es ist jedoch zu sagen, dass die Zunahme der übertragbaren Kräfte bei der Betonmantelstärke d_c von 1000 mm relativ klein ist und konstant im Bereich von $\approx 6-7\%$ liegt.

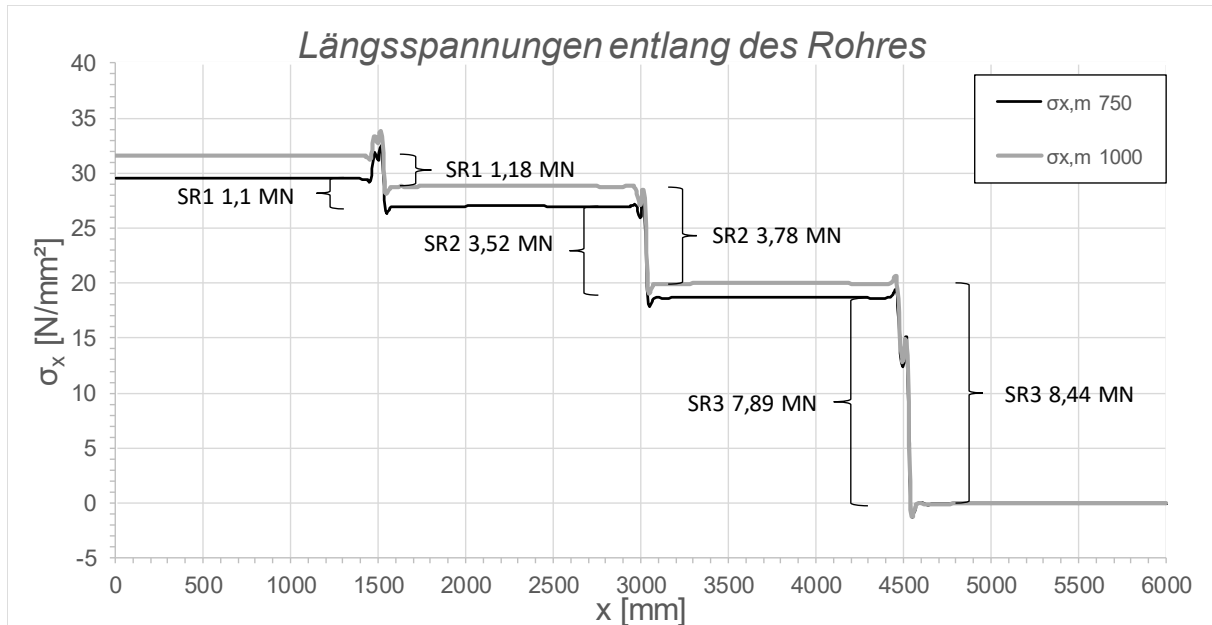


Abbildung 6.5: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45$ mm, $h_{Ring} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.1.6 Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte

Die in Abbildung 6.5 dargestellten Schubringkräfte ergeben in Summe 100 % der Kraftübertragung. Um den prozentuellen Einfluss auf jeden Schubring zu zeigen, wurde die übertragene Schubringkraft auf die Summe der übertragenen Kräfte bezogen. Daraus zeigt sich, dass der am stärksten belastete Schubring SR3 rund 2/3 der Kraftübertragung übernimmt (vgl. Abbildung 6.6). Eine dickere Betonmantelstärke beeinflusst die Kraftaufteilung nicht.

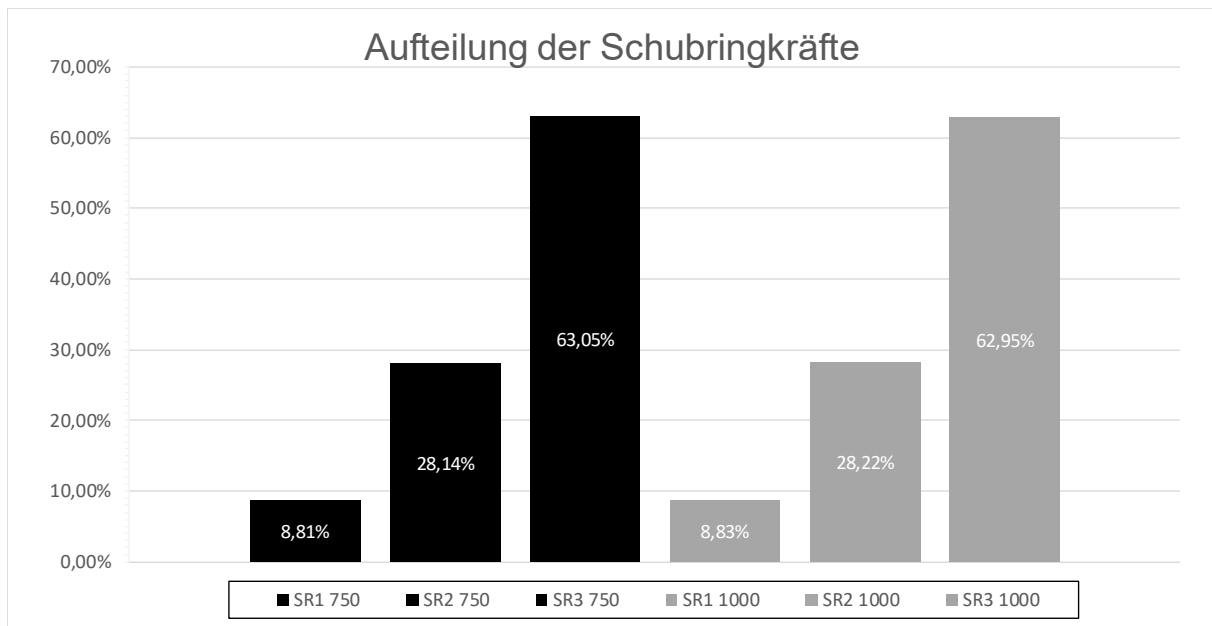


Abbildung 6.6: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45\text{mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315\text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500\text{ mm}$, $d_c = 750/1000\text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000\text{ N/mm}^2$

6.1.7 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen

Für die Darstellung der Kontaktspannungen in Rohrlängsrichtung in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen gilt die Definition der Laufvariablen x , wie in Abbildung 6.7 angegeben.

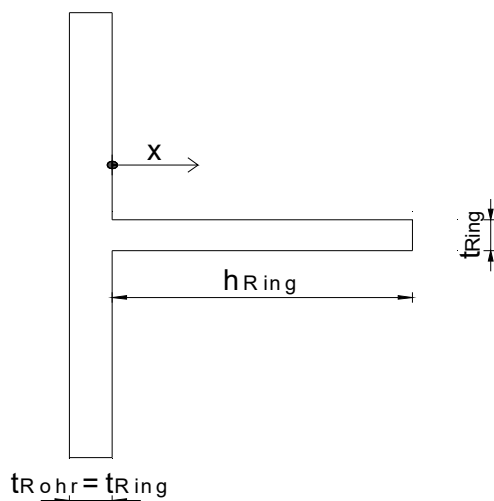


Abbildung 6.7: Definition der Laufvariable x für die Darstellung der Kontaktspannungen

Bei diesen Diagrammen (Abbildung 6.8 bis Abbildung 6.10) ist dargestellt, welche Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite der Schubringe auftreten (vgl. Abbildung 3.3). Da die Kontaktspannungen C_{press} von Abaqus als Betrag der Spannung ausgegeben werden, wurden zur besseren Veranschaulichung die Spannungen an der Schubringunterseite mit -1 multipliziert. Es handelt sich jedoch bei allen Spannungen um Druckspannungen, da in der Kontaktfuge keine Zugspannungen übertragbar sind. Der Wert c_{el} stellt vereinfachend die Pressungslänge aus [3] dar. Diese Pressungslänge wird hier als Vergleich in den Ergebnissen wiedergegeben. Berechnet wird diese mit:

$$c_{el} = 0,85 * t_{Rohr} + t_{Ring} * \left[1 + 0,1 * \left(\frac{h_{Ring}}{t_{Ring}} - 2 \right) \right].$$

Der Einfluss der Betonmantelstärke ist wiederum sehr gering bei den Kontaktspannungen.

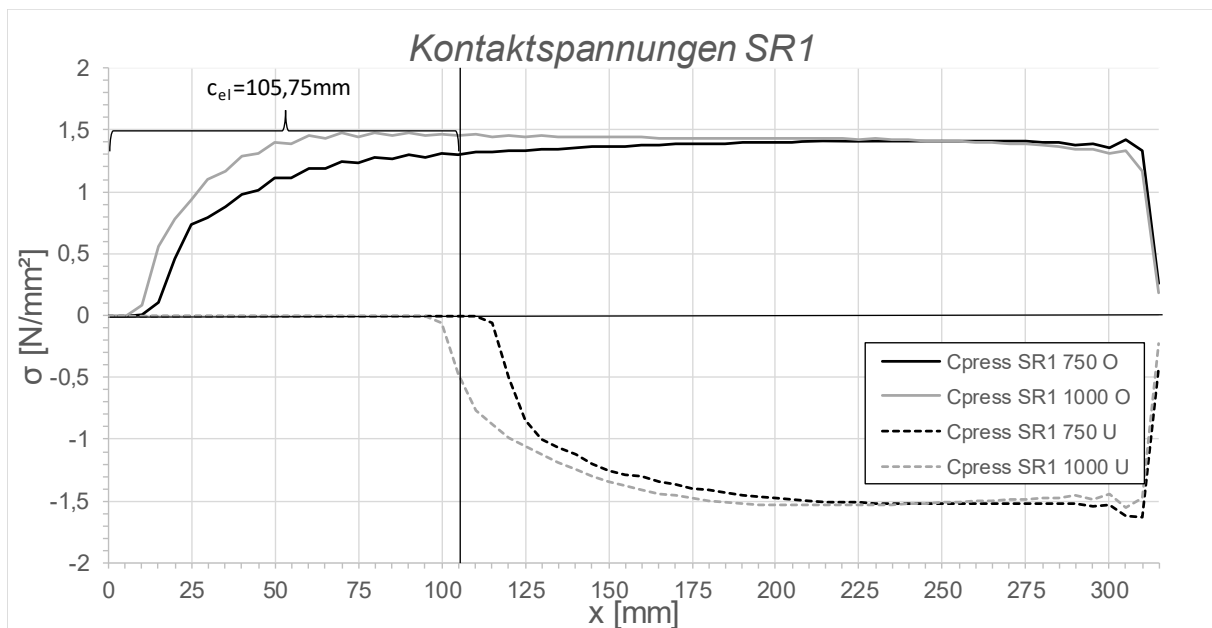


Abbildung 6.8: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

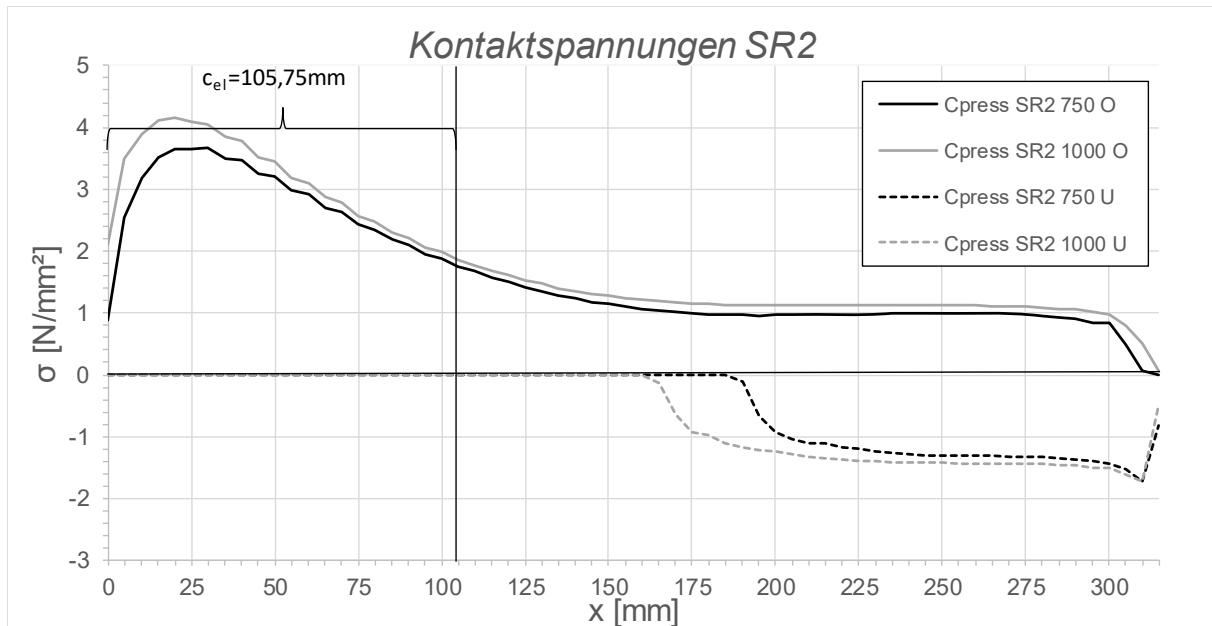


Abbildung 6.9: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

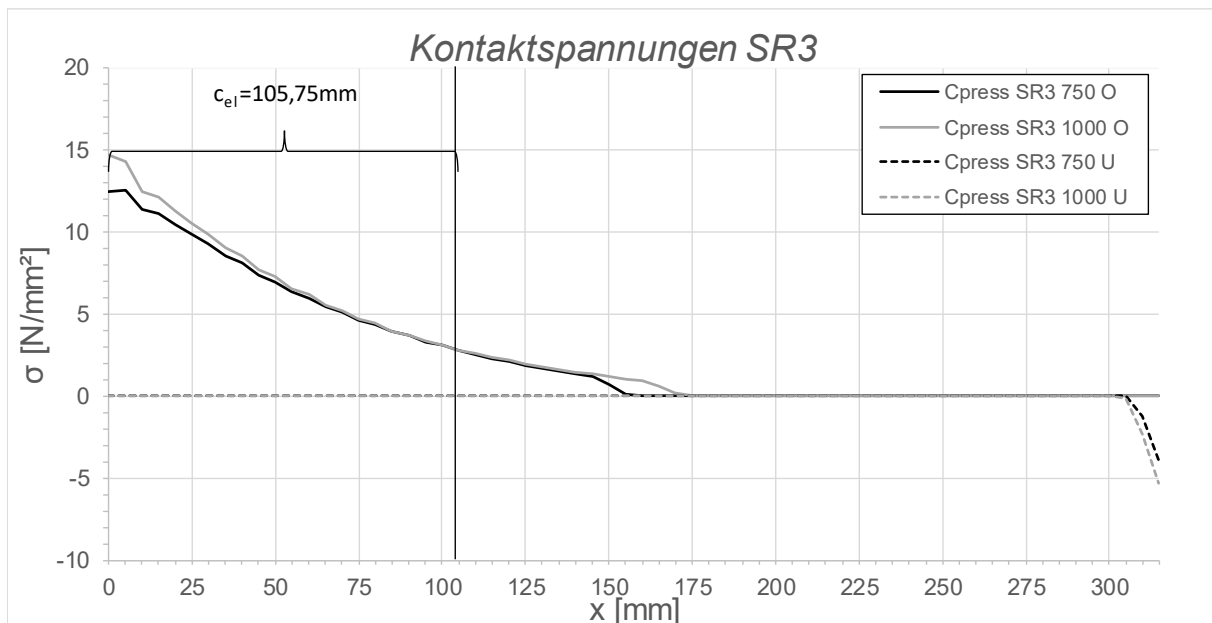


Abbildung 6.10: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

Die Schubringe 1 und 2 (SR1 und SR2 in Abbildung 6.8 und Abbildung 6.9) zeigen untypische Verläufe der Kontaktspannungen, bedingt durch die relativ kleine Längskraft, die durch die Schubringe abgesetzt wird. Der Schubring 3 in Abbildung 6.10 zeigt den typisch dreiecksförmigen Pressungsverlauf, welcher aus dem Forschungsprojekt SR12 [2] beobachtet wurde. Die Pressungslänge c_{el} ist jedoch für diesen Fall nicht ganz zutreffend. Für den Lastfall Temperatur ($\Delta T = -10^\circ \text{ C}$), dargestellt in Abschnitt 6.2, passt sie jedoch exakt.

6.1.8 Radialspannungen über die Dicke der Schubringe

Für die Darstellung der Radialspannungen über die Dicke der Schubringe gilt die Definition der Laufvariablen x , wie in Abbildung 6.11 ausgegeben.

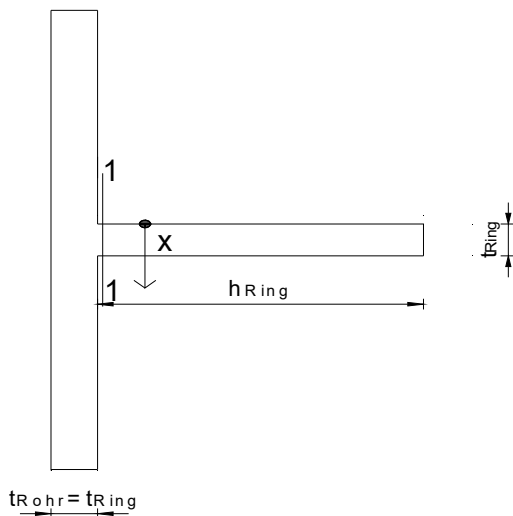


Abbildung 6.11: Definition der Laufvariable x für die Darstellung der Radialspannungen an der Ringinnenseite (Achse 1-1)

Die Auswahl des Schnittes für die Darstellung der Radialspannungen über die Dicke der Schubringe wurde deshalb gewählt, weil man sehr gut die Normal- sowie Biegespannungen im Schubring erkennen kann (vgl. Abbildung 6.12). Der grün schraffierte Bereich zeigt den symmetrischen Verlauf der Normalspannungen im Schubring, aus dem die radiale Membrankraft ableitbar ist, während über den Blau schraffierten Bereich sehr gut der Einfluss der Biegespannungen erkennbar ist. Der Anteil der Biegespannungen wird im Fall 1 an jeden Schubring immer größer (vgl. Abbildung 6.12 bis Abbildung 6.14), da die Schubringkräfte in Richtung des freien Endes immer größer werden (vgl. Abbildung 6.5).

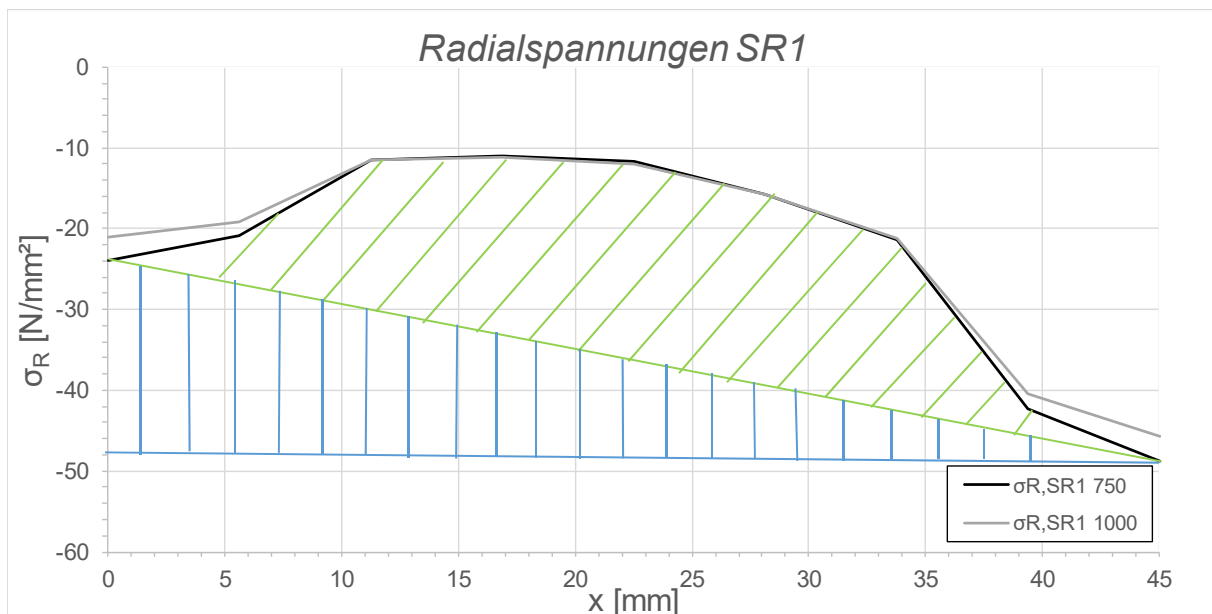


Abbildung 6.12: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

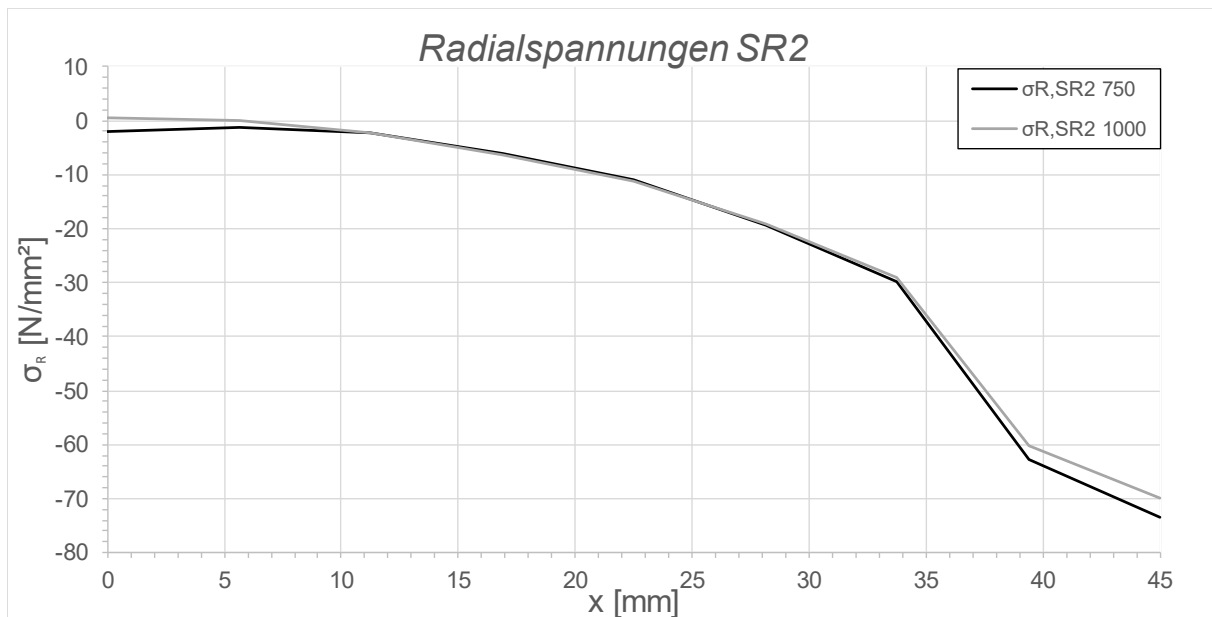


Abbildung 6.13: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

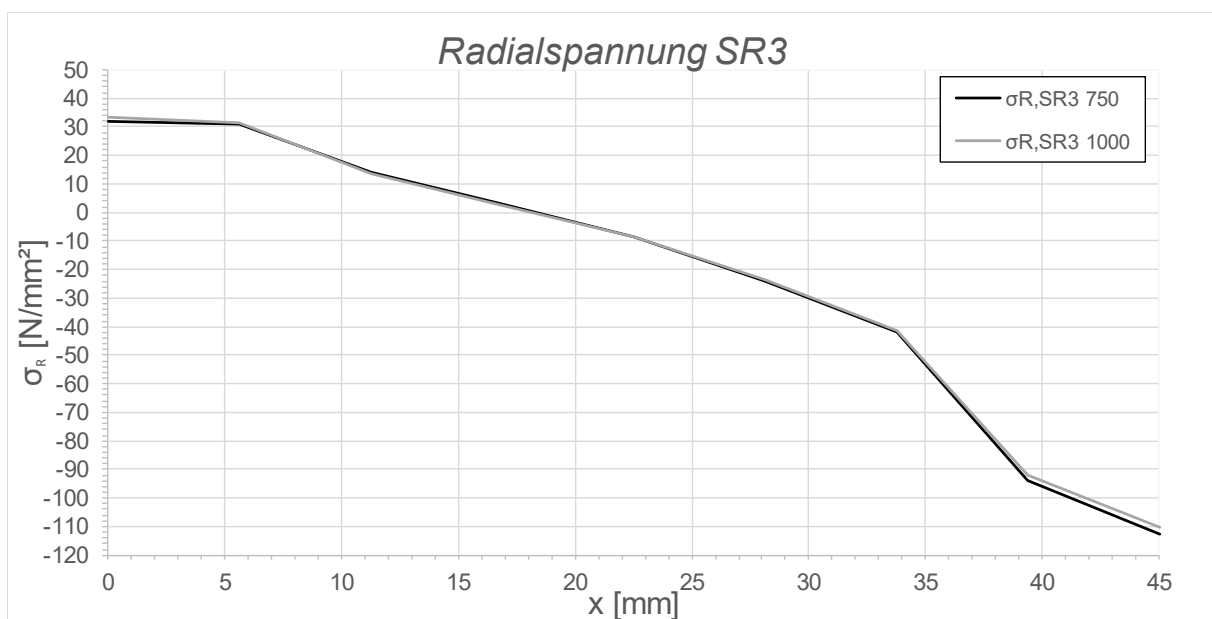


Abbildung 6.14: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.1.9 Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung

In Abbildung 6.15 erkennt man klar das in Abbildung 6.1 beschriebene Verhalten, dass der Schubring SR3 durch die großen auftretenden Verformungen in axialer Richtung die meiste Kraftübertragung übernimmt. Auch der in Abbildung 6.14 dargestellte Einfluss der Biegespannungen lässt sich erkennen. Die Betonmanteldicke d_c nimmt hier, wie in Abbildung 6.15 und Abbildung 6.16 dargestellt, keinen signifikanten Einfluss auf die Verformung der Panzerung.

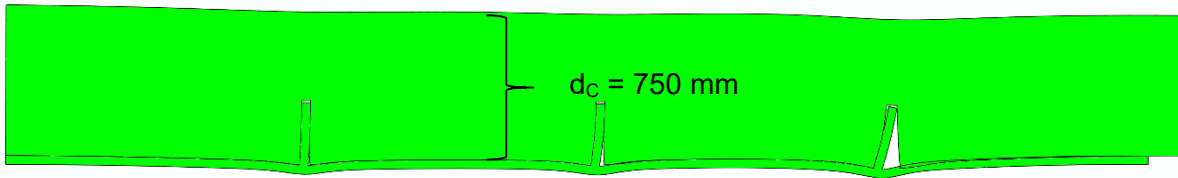


Abbildung 6.15: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

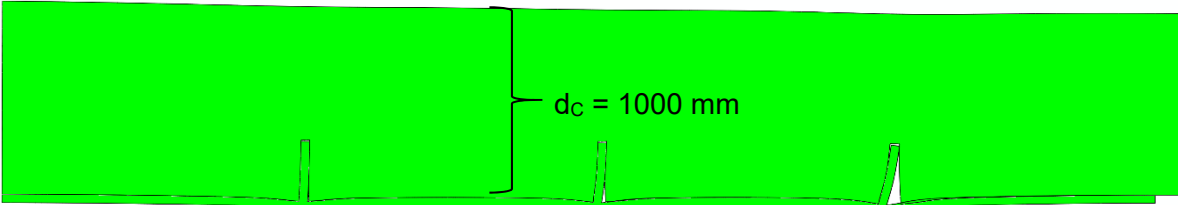


Abbildung 6.16: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.2 Fall 1 bei Lastfall Temperatur -10°C

6.2.1 Längsnormalspannungen im Rohr

Beim Aufbringen der Zwangskraft zufolge einer Abkühlung im Stahlrohr und in den Schubringen stellt sich der selbe stufenförmige Verlauf ein, wie bei einer Belastung zufolge Innendruck (vgl. Abbildung 6.1). Es gibt jedoch einen deutlichen Spannungsunterschied am Auflager. Wie in Abbildung 6.1 ersichtlich, baut sich hier eine Längsspannung von rund 30 N/mm^2 auf, was im Vergleich zu Abbildung 6.17 rund dem 1,5fachen Wert der Spannung bei Temperatureinwirkung entspricht. Bei diesem Lastfall ist aufgrund der selben Kraftübertragungsrichtung ein guter Vergleich mit den Ergebnissen aus Kapitel 6.1 möglich.

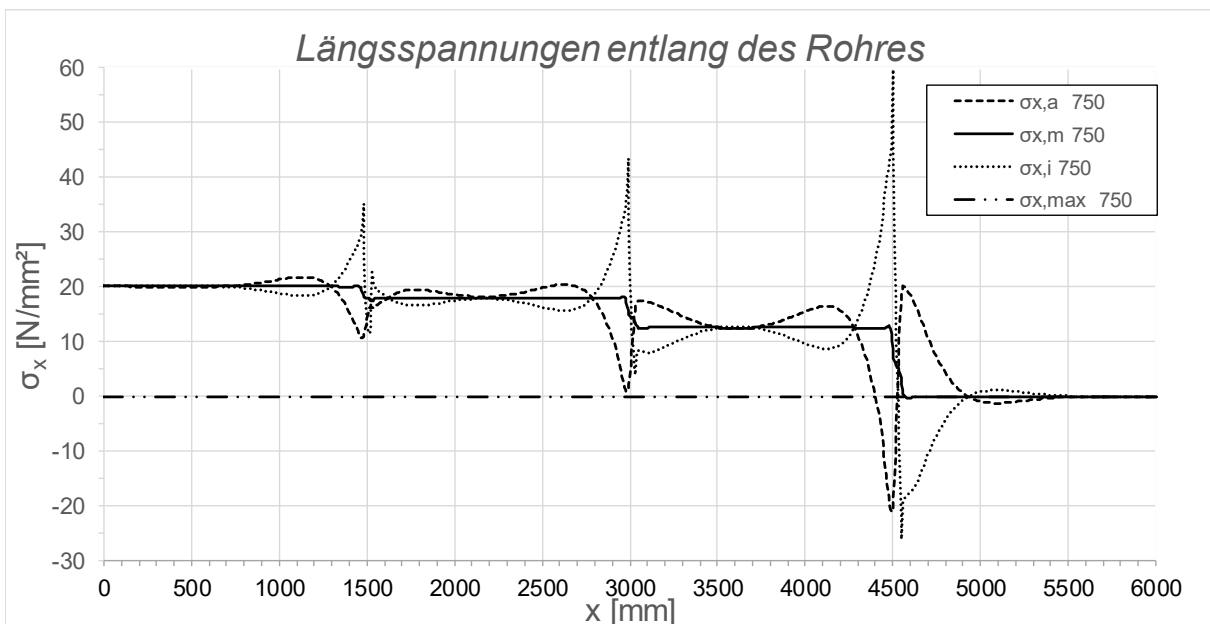


Abbildung 6.17: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10°C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

Die einwirkenden Zwangskräfte zufolge der Abkühlung führen zu keiner Beanspruchung in Umfangsrichtung des Rohres (vgl. Abbildung 6.18), da sich das Rohr radial frei verkürzen kann (vgl. Abbildung 6.26). Lediglich im Bereich der Schubringe kommt es durch die Einspannung der Schubringe sowie in Folge der Querkontraktion zu einer Beanspruchung in Umfangsrichtung. Diese Beeinflussungen klingen jedoch sehr schnell wieder ab.

6.2.2 Umfangsnormalspannungen im Rohr

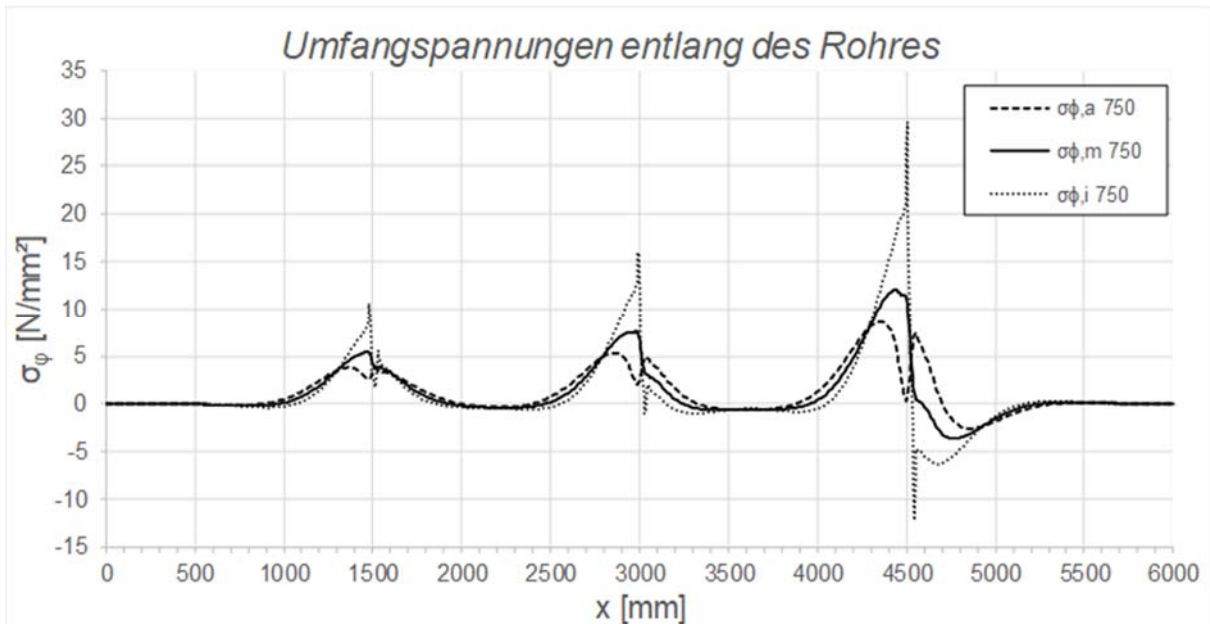


Abbildung 6.18: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.2.3 Verformungen des Rohrs

An den Radialverformungen U_r erkennt man, dass unter dieser Beanspruchung das Stahlrohr den Kontakt zum Betonmantel verliert (vgl. Abbildung 6.19). Des Weiteren werden die Schubringe aus dem Betonmantel herausgezogen (vgl. Abbildung 6.26). An den Knicken in der Linie U_x erkennt man wiederum den Einfluss der Schubringe auf die Längsverformung. Die Längsverschiebungen U_x bedeuten wieder eine Verkürzung des Rohres.

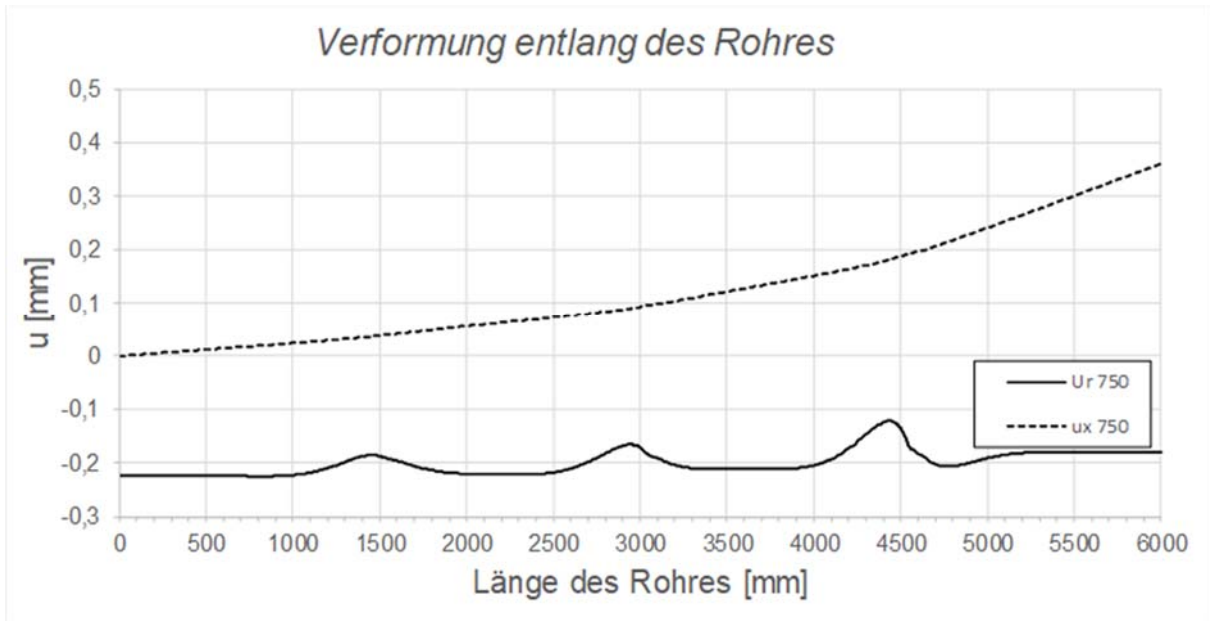


Abbildung 6.19: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.2.4 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr

Der in Abbildung 6.19 beschriebene Verlust des Kontaktes zwischen dem Stahlrohr und dem Betonmantel führt dazu, dass es nur im Bereich der Schubringe zu lokalen Kontaktspannungen kommt, wie Abbildung 6.20 zeigt.

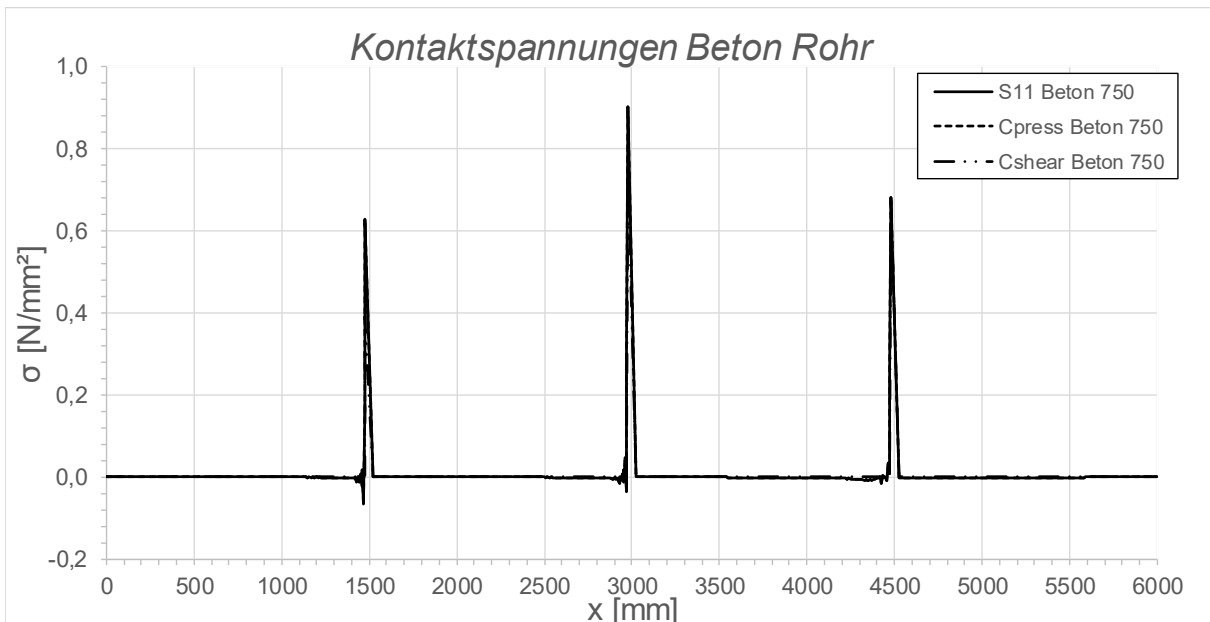


Abbildung 6.20: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.2.5 Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte

Durch den Verlust des Kontaktes erfolgt die Kraftübertragung rein über die Schubringe (vgl. Abbildung 6.21) und es zeichnet sich der selbe stufenförmige Verlauf wie bei der Belastung aus Innendruck auf (vgl. Abbildung 6.5).

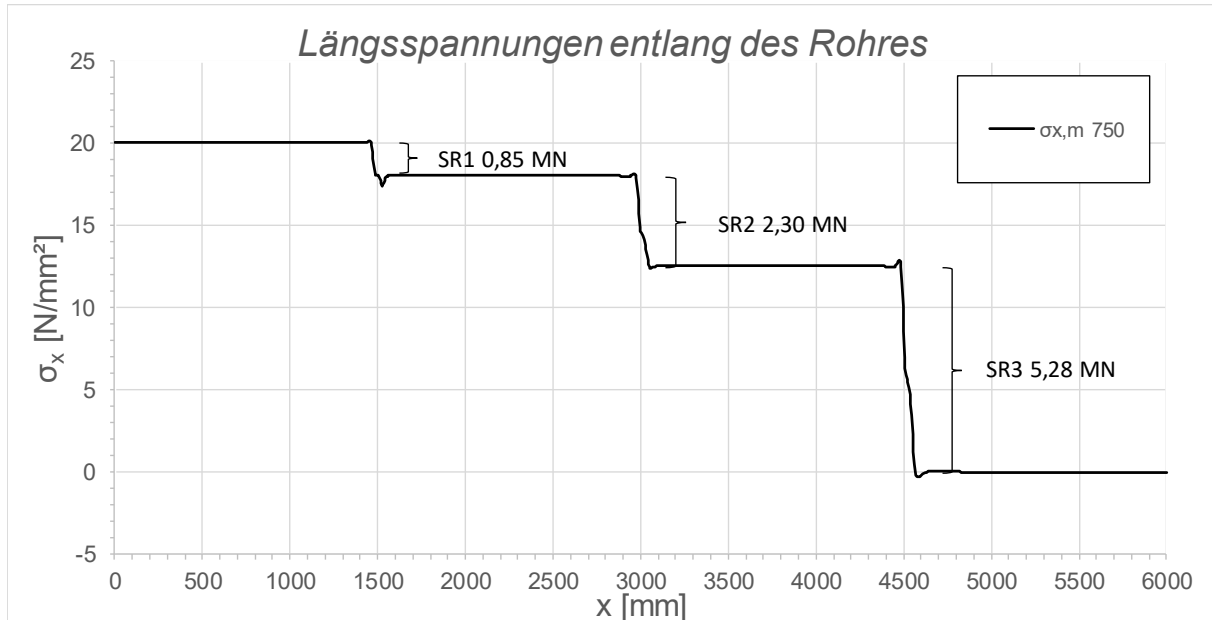


Abbildung 6.21: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.2.6 Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte

Bei der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte bei Temperaturbelastung in Abbildung 6.22 erkennt man minimale Unterschiede zu jenen aus Abbildung 6.6 für Innendruck.

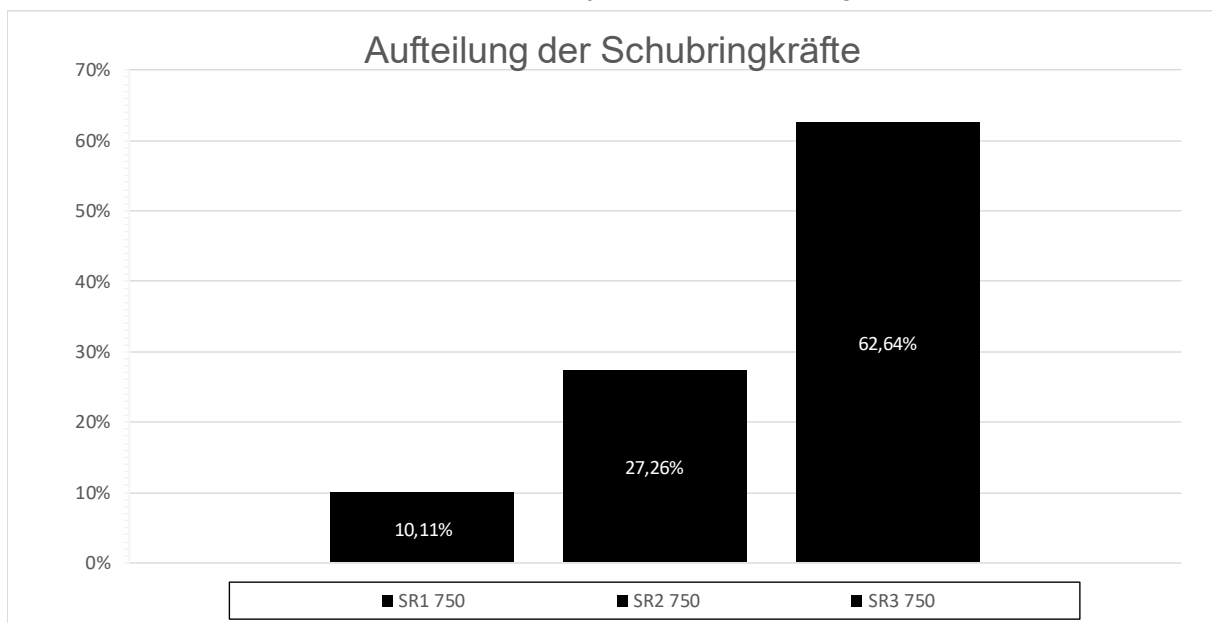


Abbildung 6.22: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.2.7 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen

Für den Schubring 1 zeigt sich ein eher untypischer Verlauf der Kontaktspannungen (Abbildung 6.23) wobei es bei Schubring SR2 und SR3 (vgl. Abbildung 6.24 und Abbildung 6.25) zu einer guten Übereinstimmung mit der elastischen Pressungslänge c_{el} aus dem SR12 Forschungsprojekt [2] kommt. Diese Übereinstimmung bestätigt, dass es bei einer in Rohrlängsrichtung gerichteten Kraft zu einer dreiecksförmigen Spannungsverteilung kommt.

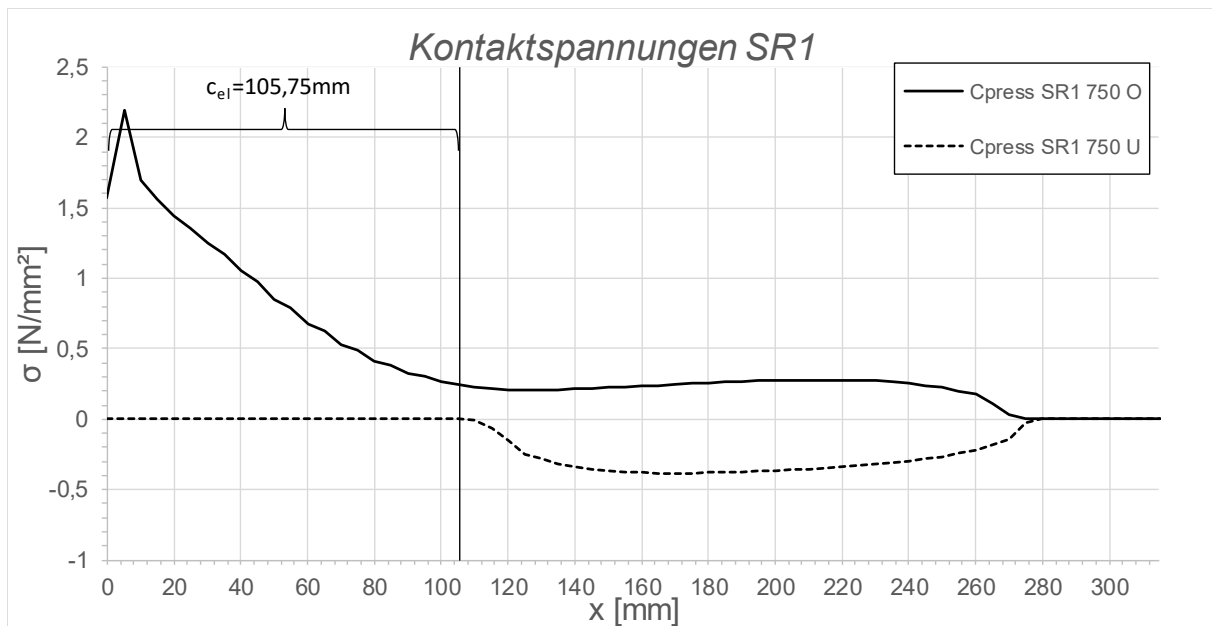


Abbildung 6.23: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45$ mm, $h_{Ring} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

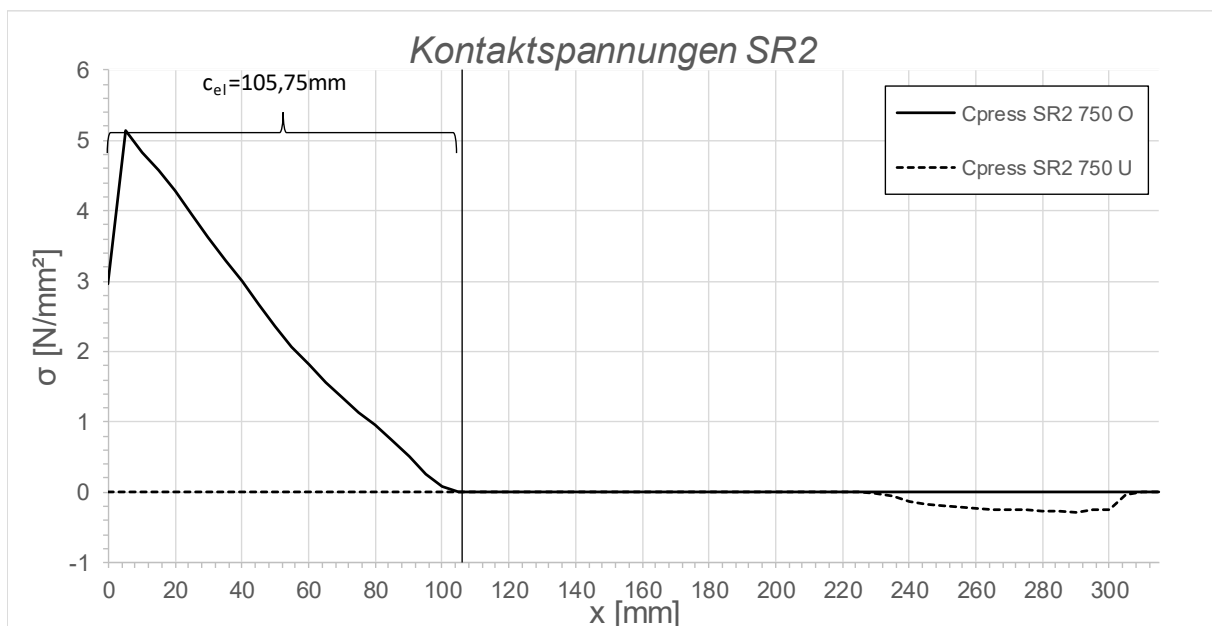


Abbildung 6.24: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45$ mm, $h_{Ring} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

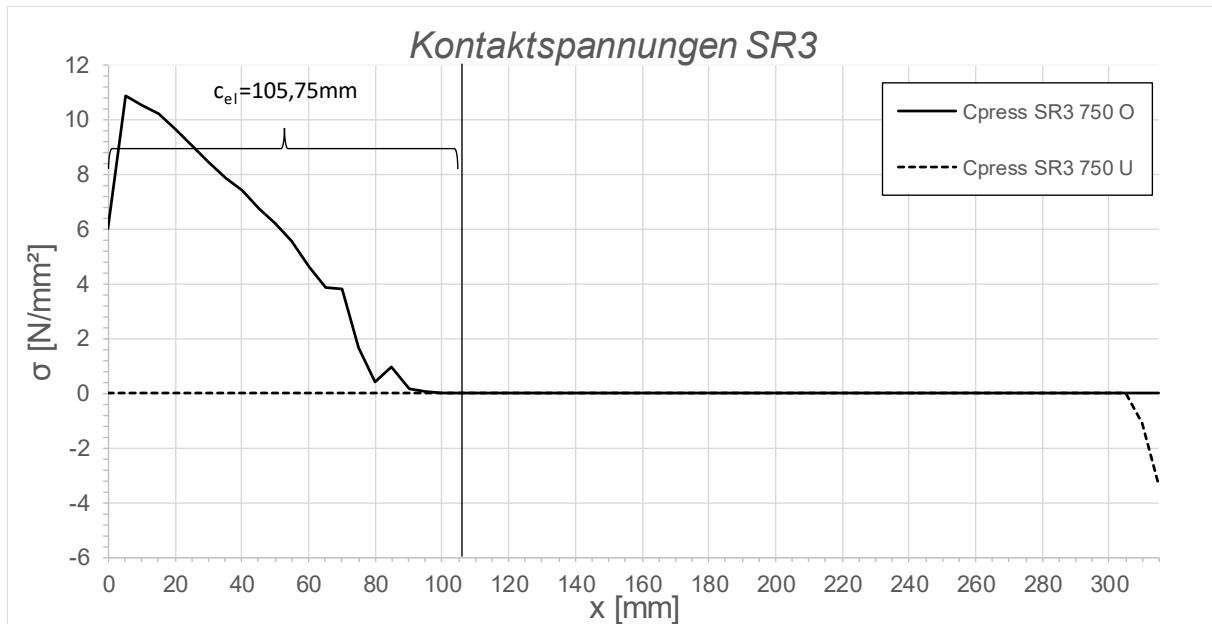


Abbildung 6.25: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.2.8 Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung

Abbildung 6.26 zeigt sehr klar, dass es im Fall einer Abkühlung des Rohres um $\Delta T = -10^\circ \text{C}$ zu einem Kontaktverlust zwischen der Panzerung und dem Betonmantel kommt. Der Schubring SR3 zeigt auch in diesem Fall die größten Verformungen auf.

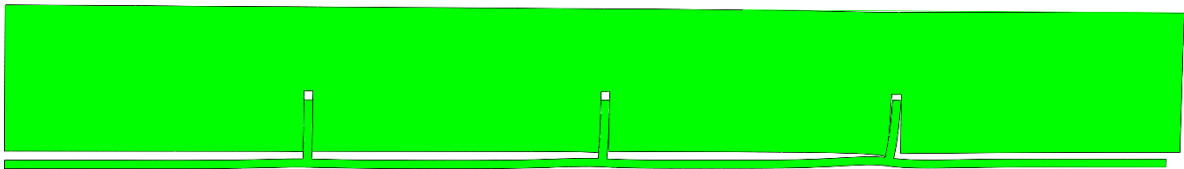


Abbildung 6.26: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.3 Fall 1 bei Lastfall Temperatur +10°C

6.3.1 Längsnormalspannungen im Rohr

Wenn das Rohr erwärmt wird, stellt sich hinsichtlich der Längsnormalspannungen nach Abbildung 6.27 ein annähernd spiegelverkehrter Verlauf zu jenen aus Abbildung 6.1 für Innendruck ein. Es bauen sich auch ähnliche Biegenormalspannungen auf, der Abbau der Kräfte erfolgt jedoch nicht nur durch die Schubringe selbst, sondern auch durch die Reibung. Das erkennt man an den leicht steigenden Linien, welche den Abbau der Kräfte durch die vorhandene Reibung zwischen den Schubringen darstellt (vgl. Abbildung 6.27).

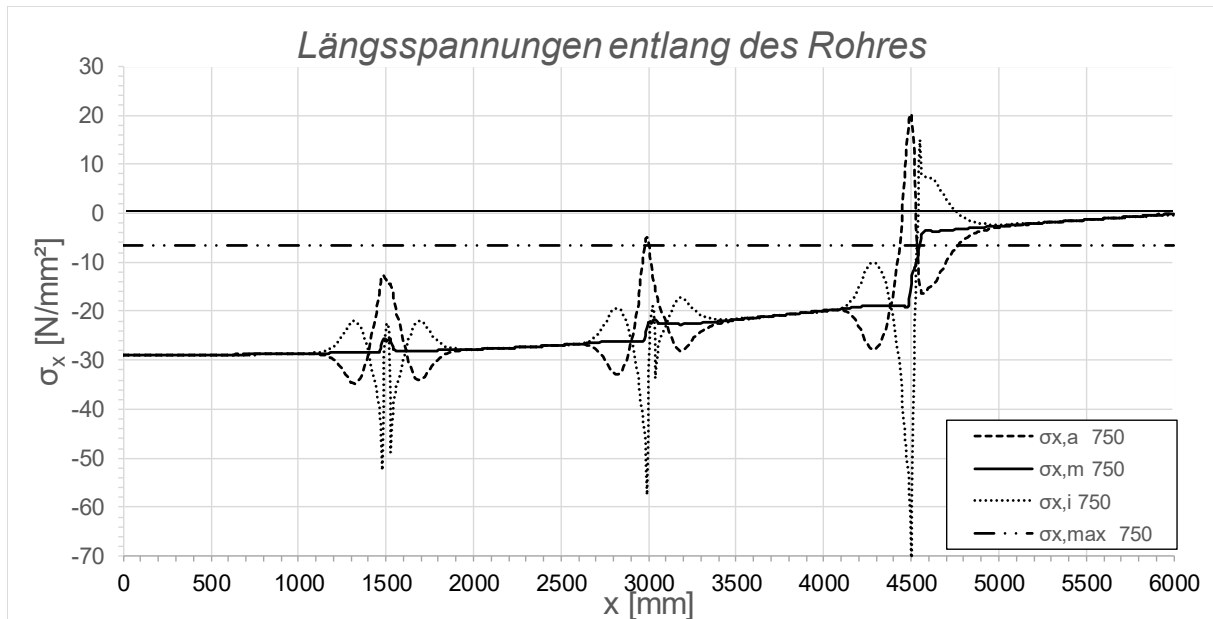


Abbildung 6.27: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.3.2 Umfangsnormalspannungen im Rohr

Da es durch die Erwärmungen zu radialen Verformungen kommt, die nun durch den Betonmantel behindert werden, kommt es auch hier zu Umfangsspannungen – nun jedoch Druckspannungen – welche im Bereich der Schubringe wiederum durch den Biegeeinfluss der Schubringe gestört werden (vgl. Abbildung 6.28). Ein leicht erkennbarer Abfall der Umfangsspannungen in Richtung des freien Endes ist zu erkennen.

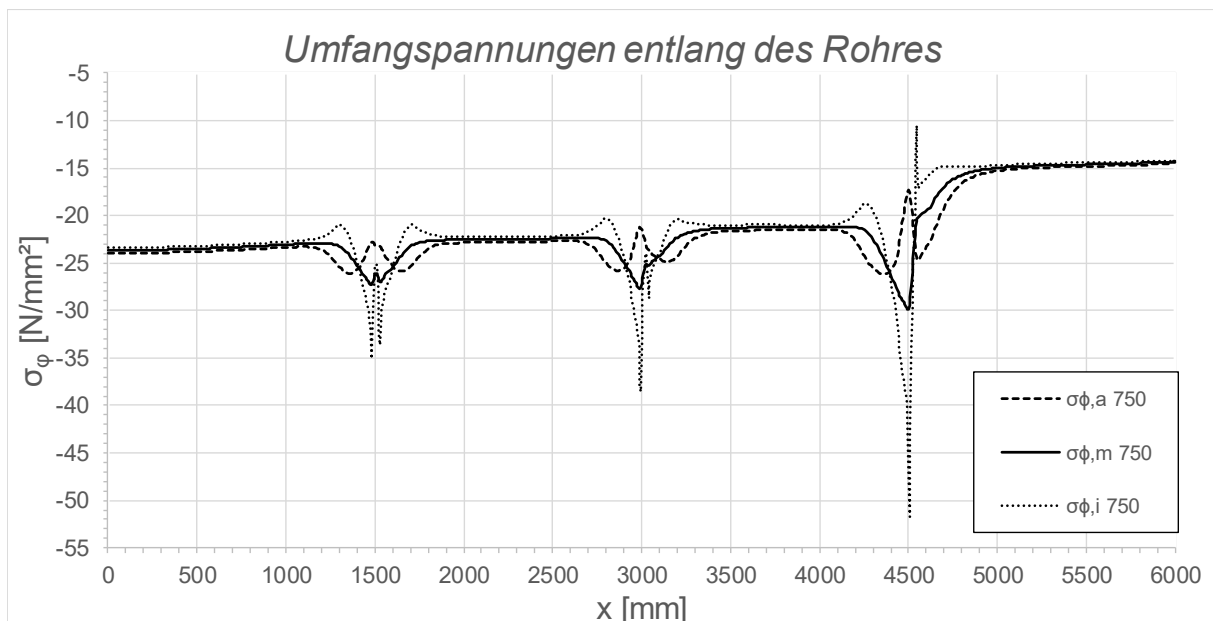


Abbildung 6.28: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.3.3 Verformungen des Rohrs

Wie bereits in Abbildung 6.28 beschrieben, kommt es zu radialen Verformungen des Rohres, welche Abbildung 6.29 zeigt. Die hier dargestellten negativen Verschiebungen U_x in Längsrichtung stellen eine Verlängerung des Rohres, aufgrund der Erwärmung von $\Delta T = +10^\circ \text{C}$ dar (vgl. Abbildung 6.36). Ebenso in Abbildung 6.29 ersichtlich ist der Einfluss der Schubringe auf die Längsverformung, erkennbar durch die Knicke im Verlauf.

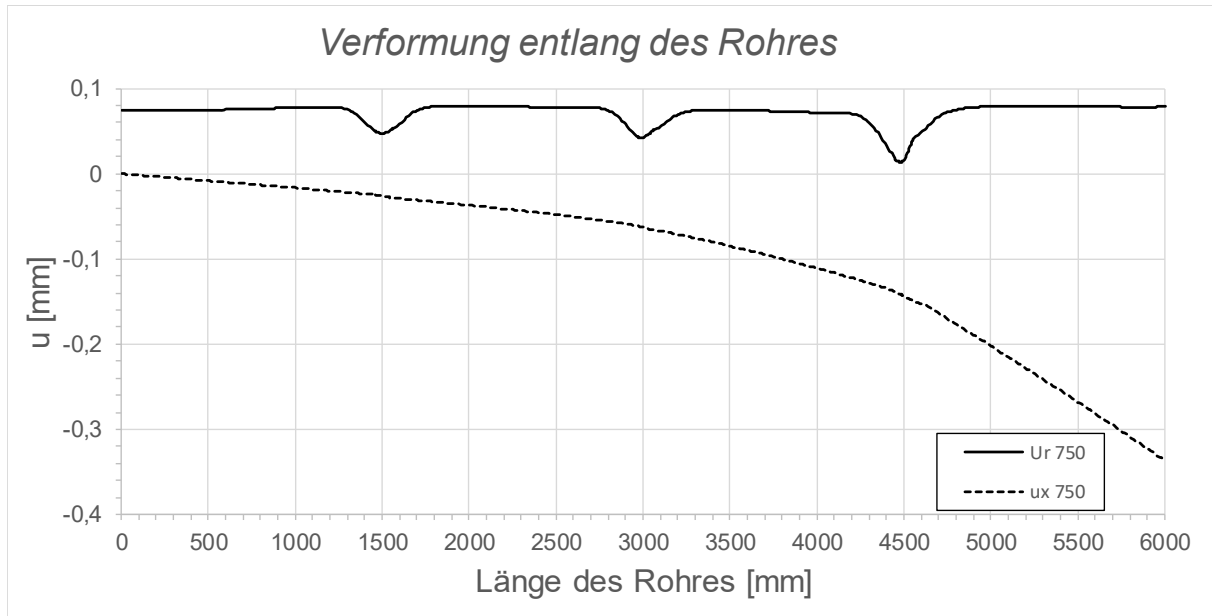


Abbildung 6.29: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.3.4 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr

Durch die gleichmäßige Erwärmung der Panzerung um $\Delta T = +10^\circ \text{C}$ bauen sich ziemlich konstante Kontaktspannungen über die Rohrlänge auf (vgl. Abbildung 6.30). Lediglich im Bereich des Schubrings SR3 kommt es durch den verformten Schubring zu einer hohen lokalen Kontaktspannung. Die Schubspannungen über die Rohrlänge sind nahezu Null.

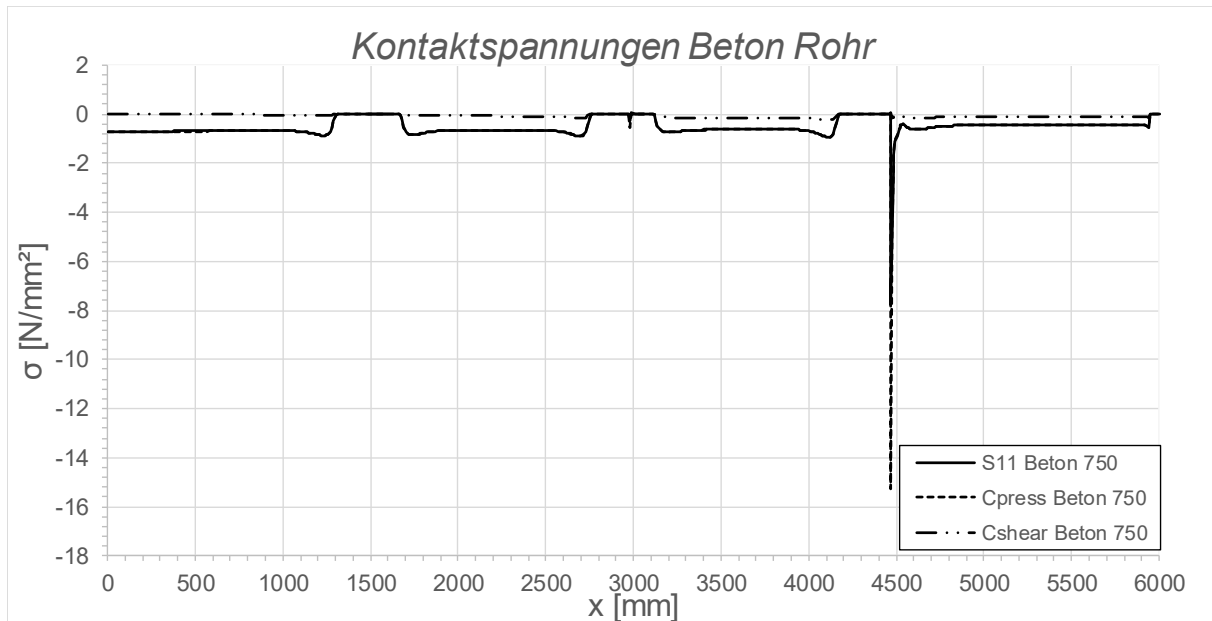


Abbildung 6.30: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.3.5 Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte

Im Falle der Erwärmung um $\Delta T = +10^\circ \text{ C}$ stellt sich ebenso ein stufenförmiger Verlauf der Längsmembranspannungen ein (vgl. Abbildung 6.31), welcher durch die Berücksichtigung des Reibungskoeffizienten μ etwas abgemindert wird.

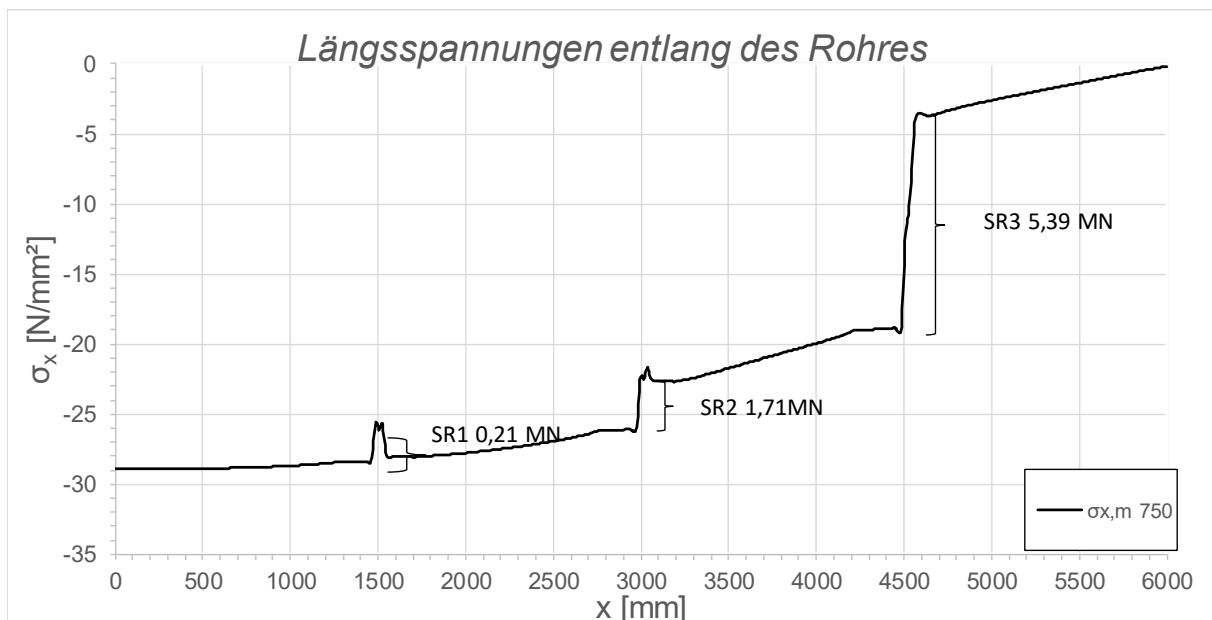


Abbildung 6.31: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.3.6 Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte

Bei der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte zeigen sich signifikante Änderungen (vgl. Abbildung 6.32), im Vergleich zu einer Belastung aus Innendruck (vgl. Abbildung 6.6) oder

einer Abkühlung um $\Delta T = -10\text{ °C}$ (vgl. Abbildung 6.22). Während der Schubring SR1 nahezu keine Belastung mehr bekommt, übernimmt der Schubring SR3 nun fast $\frac{3}{4}$ der gesamten Zwangskräfte.

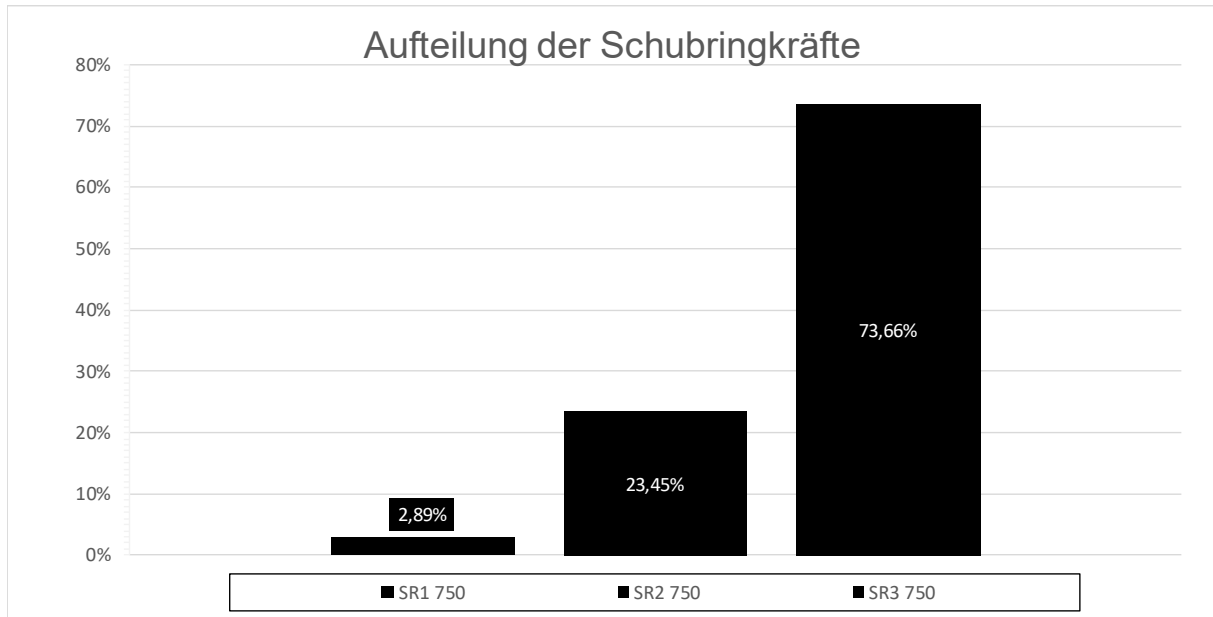


Abbildung 6.32: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45\text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315\text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500\text{ mm}$, $d_C = 750\text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000\text{ N/mm}^2$

6.3.7 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen

Die Spannungsverläufe zeigen den klassischen dreieckförmigen Verlauf, welcher sehr gut mit der elastischen Pressungslänge aus [2] übereinstimmt (vgl. Abbildung bis Abbildung 6.35). Am Ende der Schubringe stellt sich durch die lokalen Verformungen, sowohl an der Ober- als auch an der Unterseite, eine zusätzlich entgegengerichtete Kontaktspannung ein (vgl. Abbildung bis Abbildung 6.35).

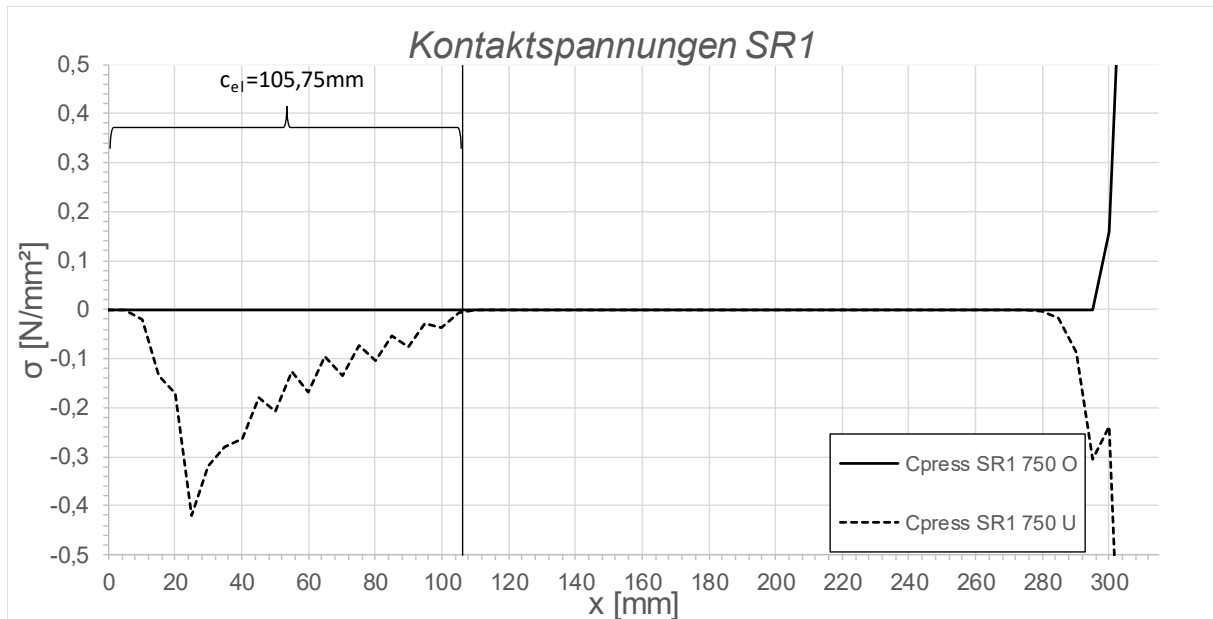


Abbildung 6.33: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

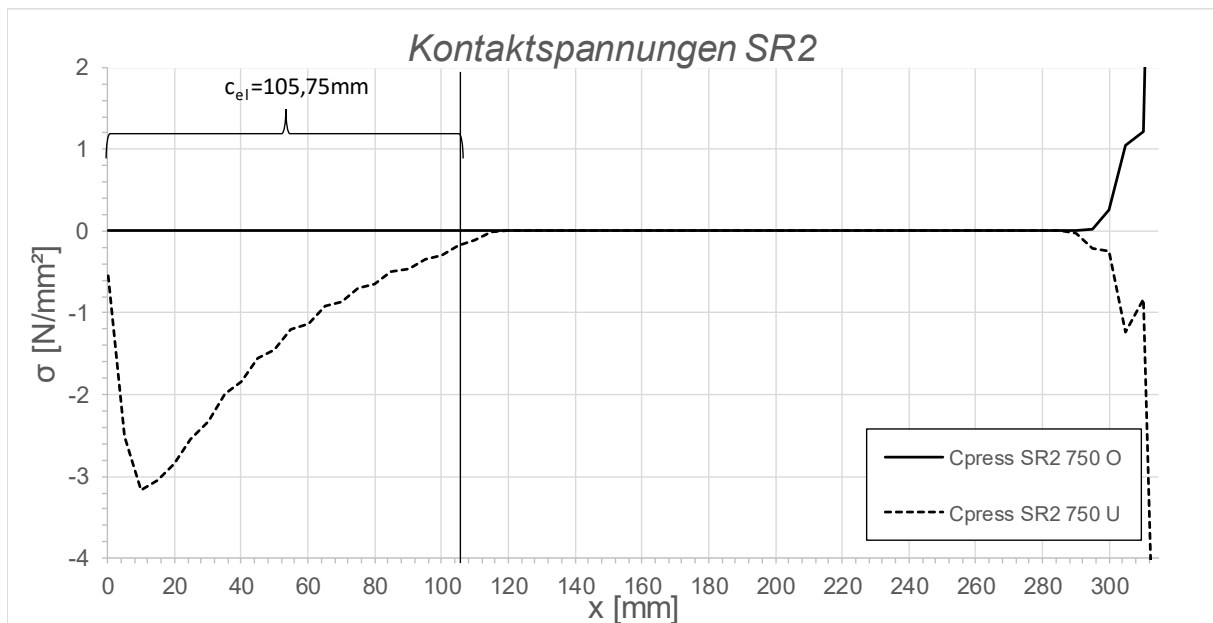


Abbildung 6.34: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

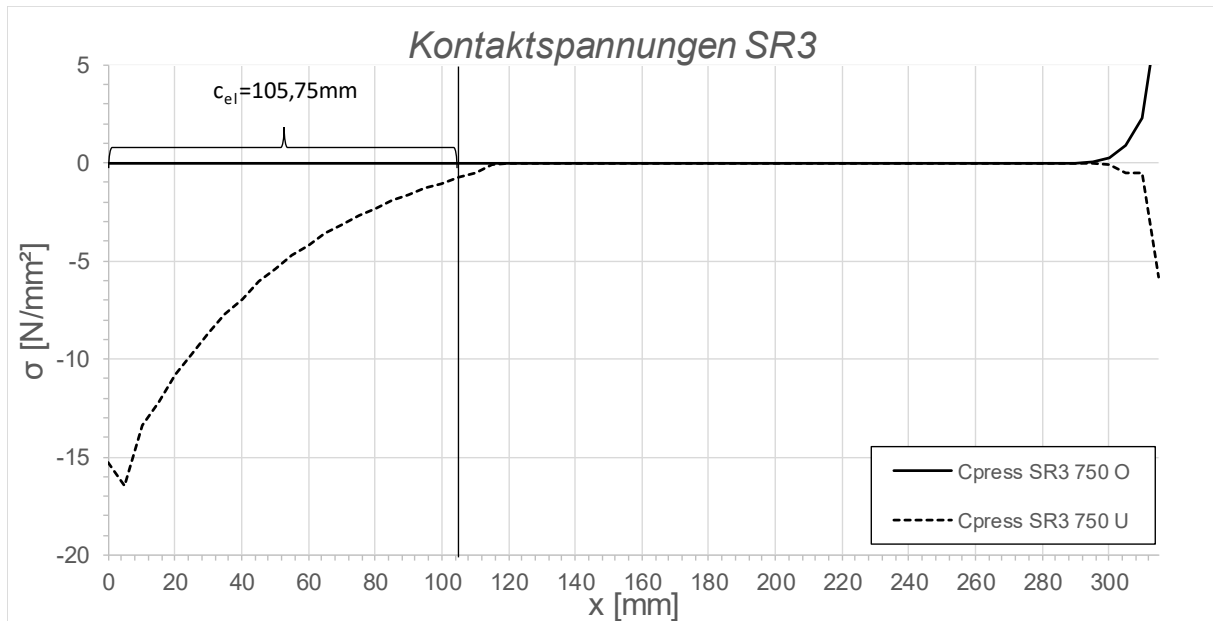


Abbildung 6.35: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.3.8 Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung

Die Verformungsfigur aus Abbildung 6.36 spiegelt wider, dass Schubring SR3 fast $\frac{3}{4}$ der Kraftübertragung übernimmt.

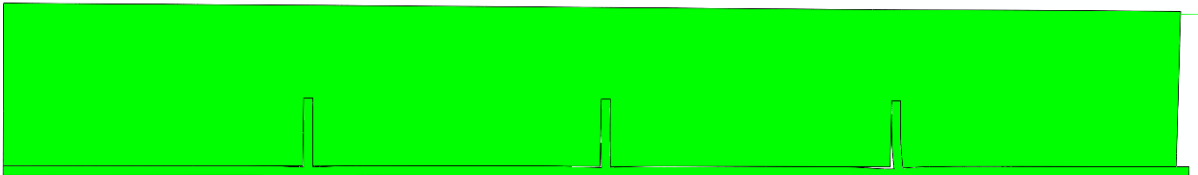


Abbildung 6.36: Überhöhte Darstellung (200-fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.4 System SF1 bei Lastfall Innendruck

6.4.1 Längsnormalspannungen im Rohr

Bei beidseitiger längsfester Lagerung „SF1“ am Rohr (vgl. Abbildung 3.2) stellt sich annähernd konstante Längsnormalspannung $\sigma_{x,max}$ ein. Das bedeutet, dass die Längsnormalspannungen durch die Querkontraktion rund 30 % der Umfangsspannungen betragen ($\sigma_x = \sigma_\varphi \cdot \nu = 0,3 \cdot \sigma_\varphi$). Der Einfluss der Schubringe auf die Längsnormalspannungen ist an den lokalen Biegespannungen deutlich erkennbar, es kommt in diesem Fall aber zu keiner Übertragung von Schubringkräften (vgl. Abbildung 6.41).

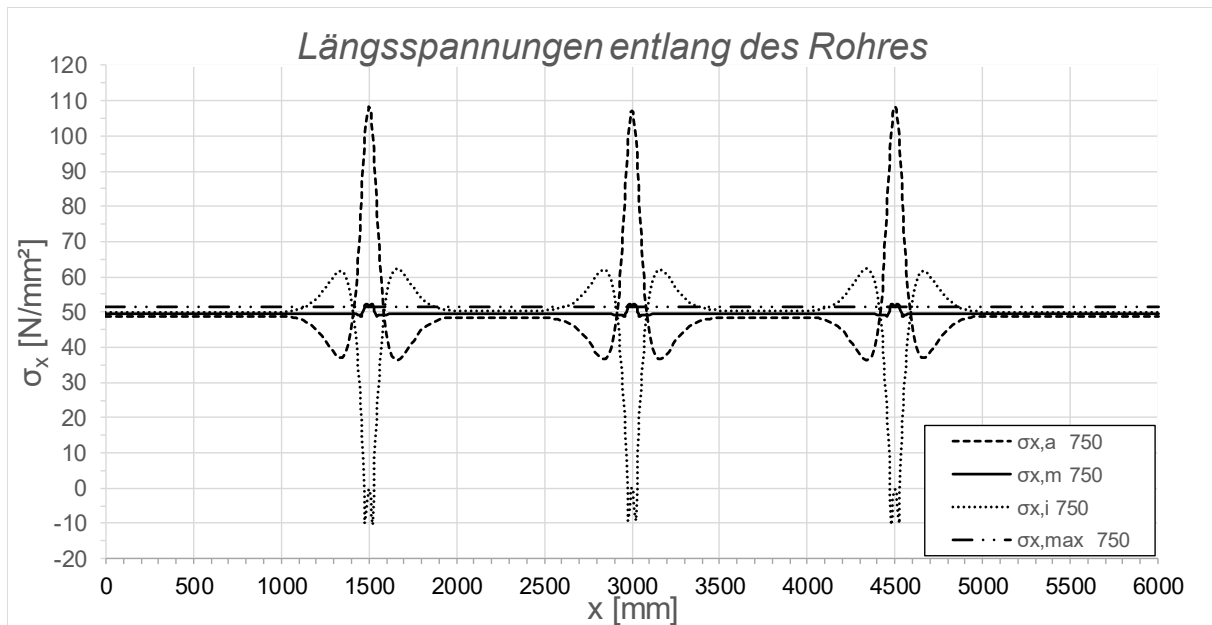


Abbildung 6.37: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{Ring} = t_{rohr} = 45$ mm, $h_{Ring} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.4.2 Umfangsnormalspannungen im Rohr

An den Rohrenden bauen sich die größten Umfangsnormalspannungen im System auf, welche jedoch durch den großen Einfluss der Schubringe sehr rasch abfallen und im Bereich zwischen den Schubringen relativ konstant sind. Leicht erklärbar ist dies durch die zusätzliche Steifigkeit im Bereich der Schubringe (vgl. Abbildung 6.38).

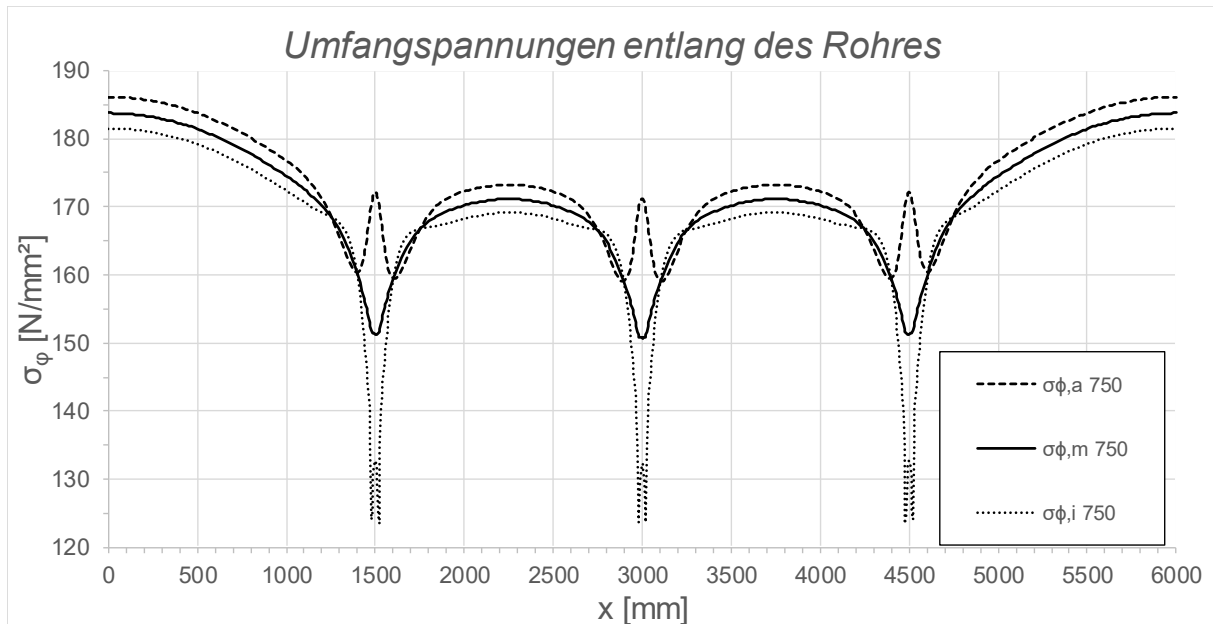


Abbildung 6.38: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.4.3 Verformungen des Rohrs

Die Verformungen in axialer Richtung sind aufgrund der beidseitigen längsfesten Lagerung Null (vgl. Abbildung 6.39). Die Radialverformung zeigt wiederum den Einfluss der höheren Steifigkeit im Bereich der Schubringe.

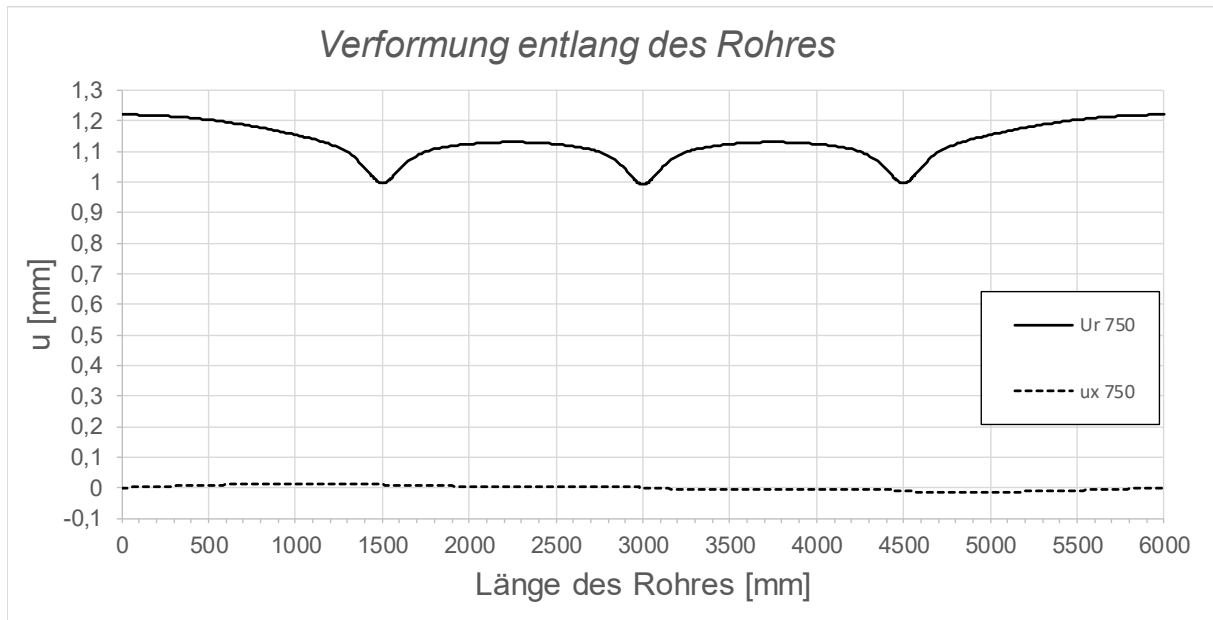


Abbildung 6.39: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.4.4 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr

Durch die relativ konstante radiale Verformung der Panzerung (vgl. Abbildung 6.39) kommt es ebenso zu relativ konstanten Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen der Panzerung und dem Betonmantel (vgl. Abbildung 6.40). Durch die auftretenden Verformungen (vgl. Abbildung 6.49) fallen die Kontaktspannungen im Bereich der Schubringe auf Null ab.

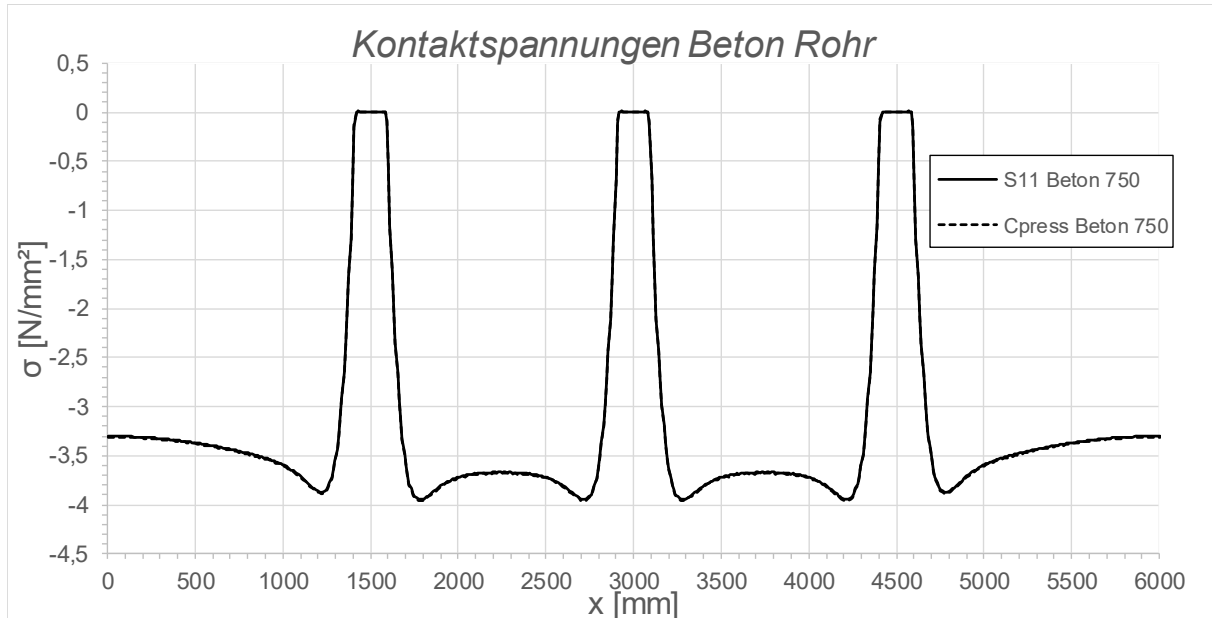


Abbildung 6.40: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.4.5 Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte

Durch die beidseitige längsfeste Lagerung (vgl. Abbildung 3.2) baut sich eine konstante Längsnormalspannung ohne Spannungsdifferenzen $\Delta\sigma$ an den Schubringen auf, woraus sich die äußerst geringe Kraftübertragung ableiten lässt (vgl. Abbildung 6.41). Für diesen Fall erfolgt die Kraftübertragung nur über die beiden äußeren Schubringe 1 und 3.

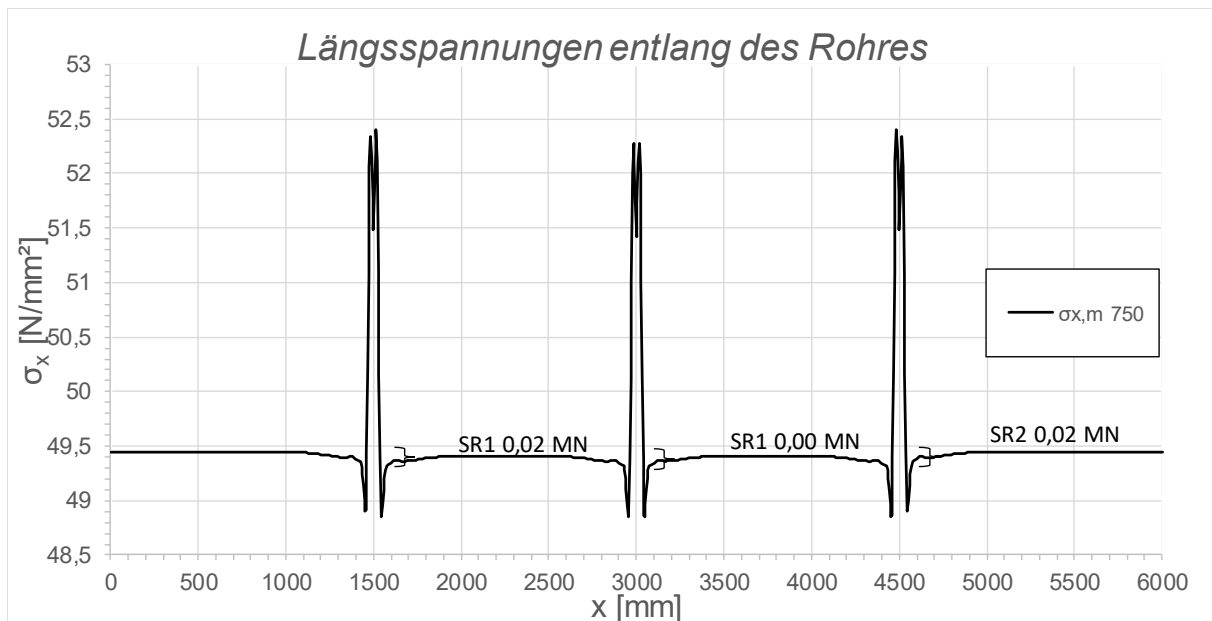


Abbildung 6.41: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.4.6 Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte

Die prozentuelle Aufteilung ist aufgrund der verschwindend geringen Schubringkräfte ohne praktische Bedeutung. Wie bereits in Abbildung 6.41 ersichtlich, erfolgt die Kraftübertragung rein über die äußeren Schubringe SR1 und SR3 woraus sich auch die prozentuelle Aufteilung in Abbildung 6.42 ergibt.

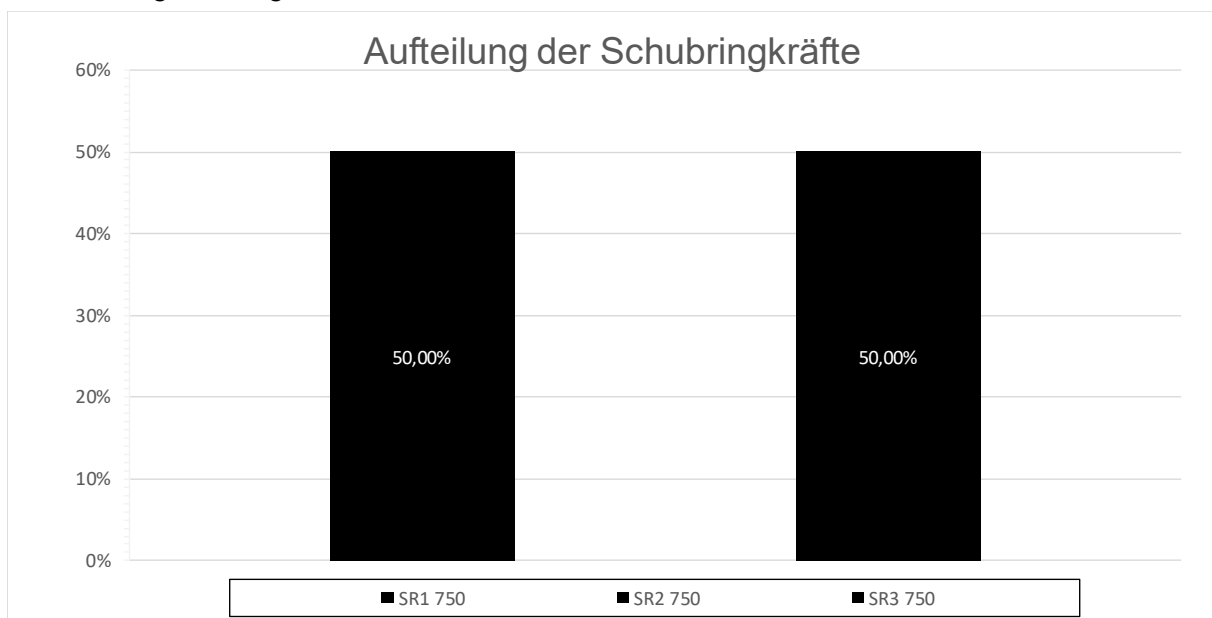


Abbildung 6.42: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.4.7 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen

Es baut sich unter beidseitiger längsfester Lagerung der Panzerung (vgl. Abbildung 3.2) ein sehr A-typischer Spannungsverlauf auf (vgl. Abbildung 6.43). Durch die geringen Verformungen der Schubringe gibt es im Übergangsbereich zwischen dem Stahlrohr und dem Betonmantel keine Kontaktspannung. Dies bedeutet, dass über rund 1/3 der Schubringhöhe keine Kontaktspannungen wirken. Ab dem zweiten Drittel der Schubringhöhe wird der Betonmantel symmetrisch an der Ober- sowie der Unterkante angedrückt (vgl. Abbildung 6.43 und Abbildung 6.49). Erklärbar ist dieser Spannungsverlauf dadurch, dass der Beton auch Umfangsnormalspannungen erfährt und es aufgrund der Querkontraktion zu einer beidseitigen Pressung an den Schubringen kommt.

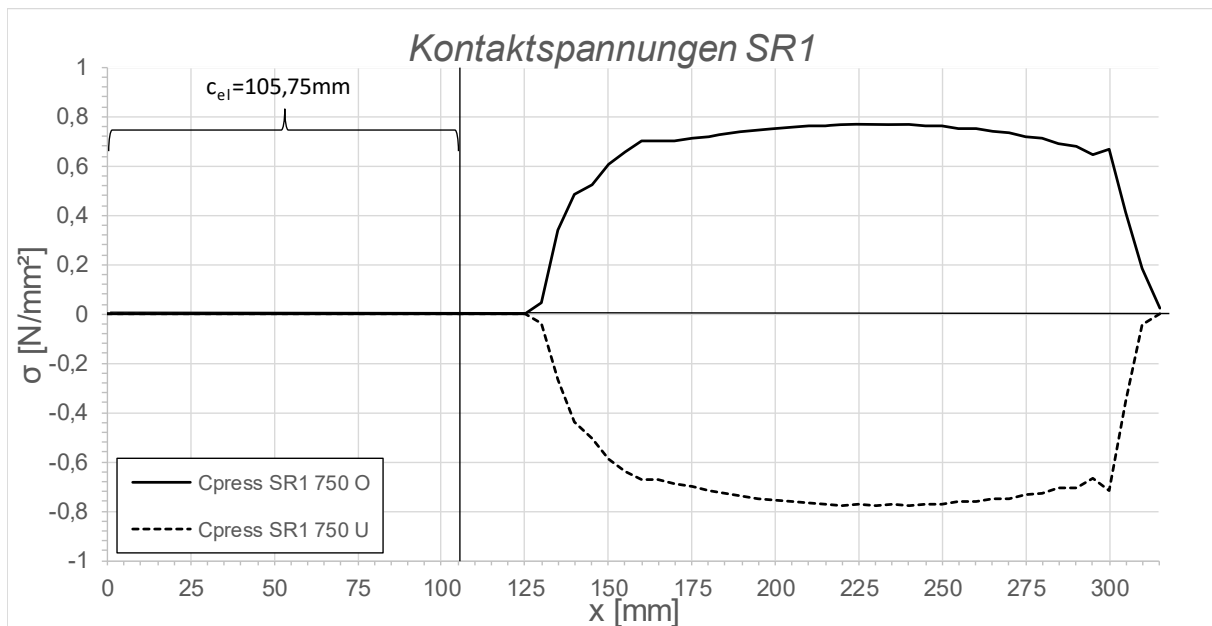


Abbildung 6.43: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

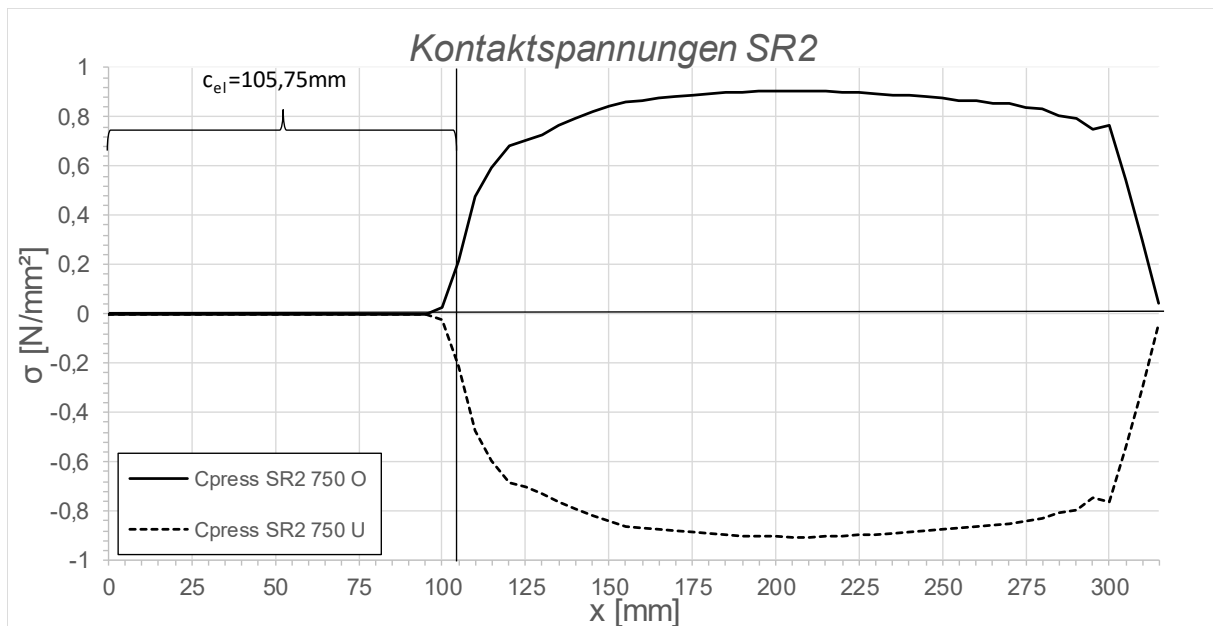


Abbildung 6.44: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

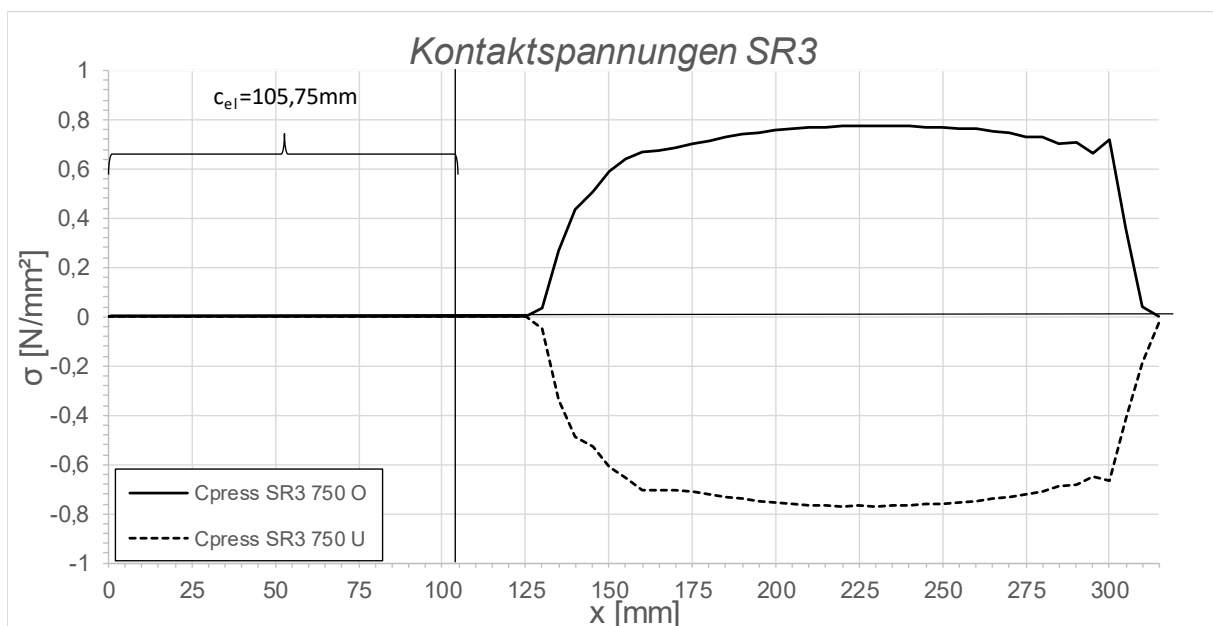


Abbildung 6.45: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.4.8 Radialspannungen über die Dicke der Schubringe

Der sehr symmetrische Verlauf (vgl. Abbildung 6.46 bis Abbildung 6.48) der Radialspannungen zeigt keine Beeinflussung durch Biegespannungen der Schubringe (vgl. Abbildung 6.49).

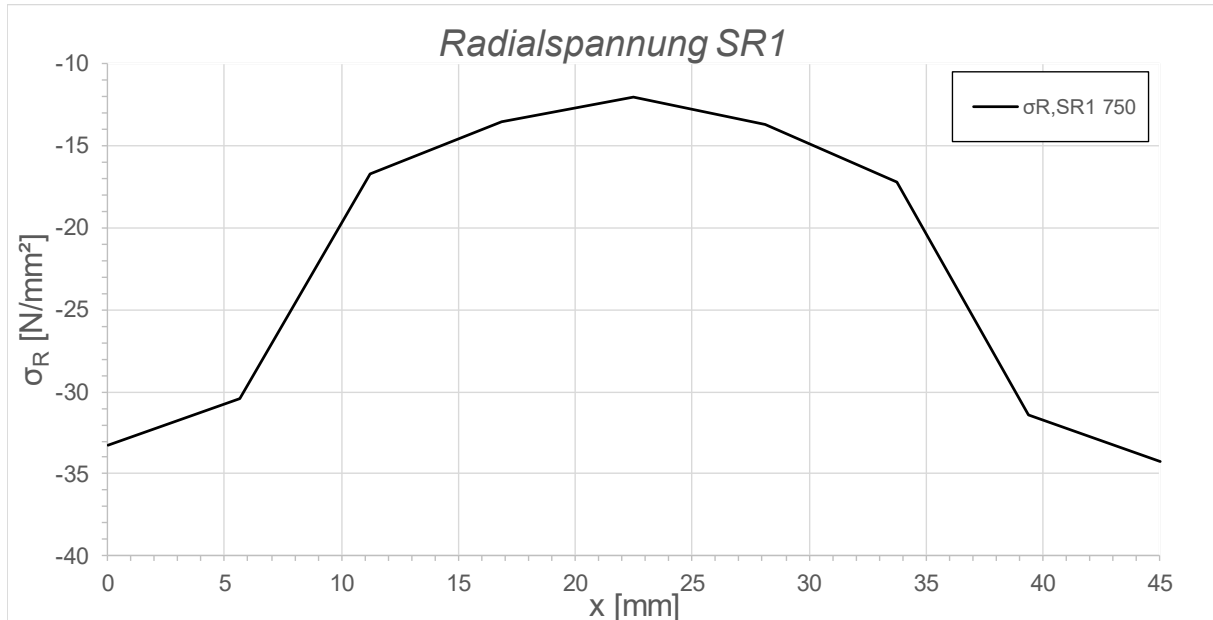


Abbildung 6.46: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

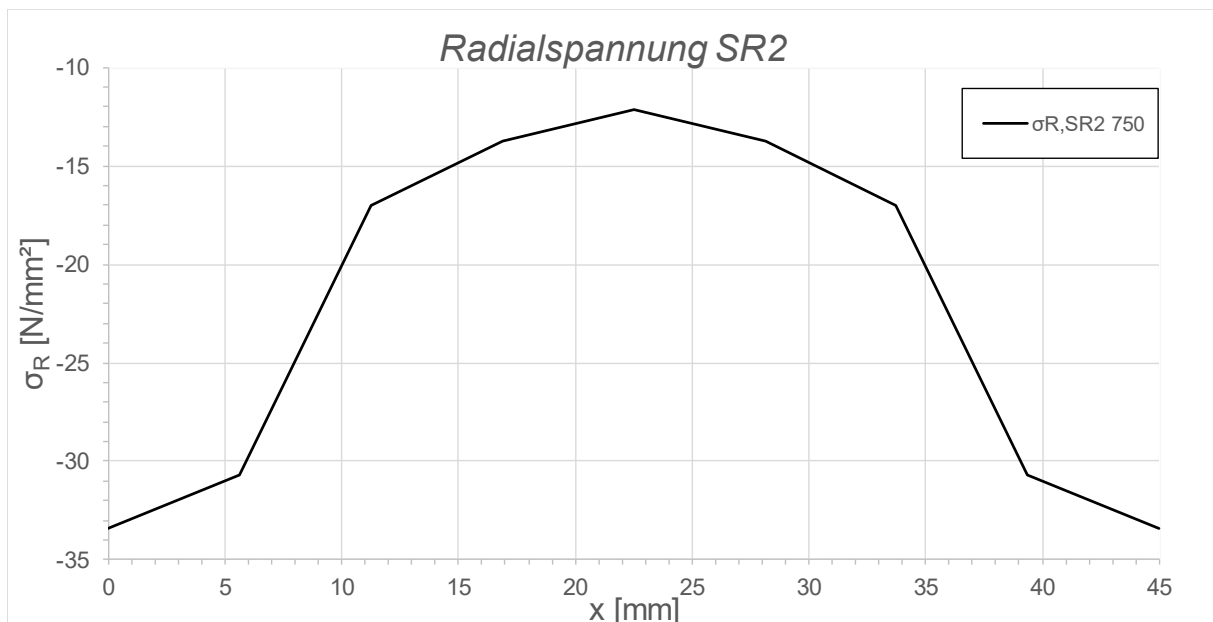


Abbildung 6.47: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

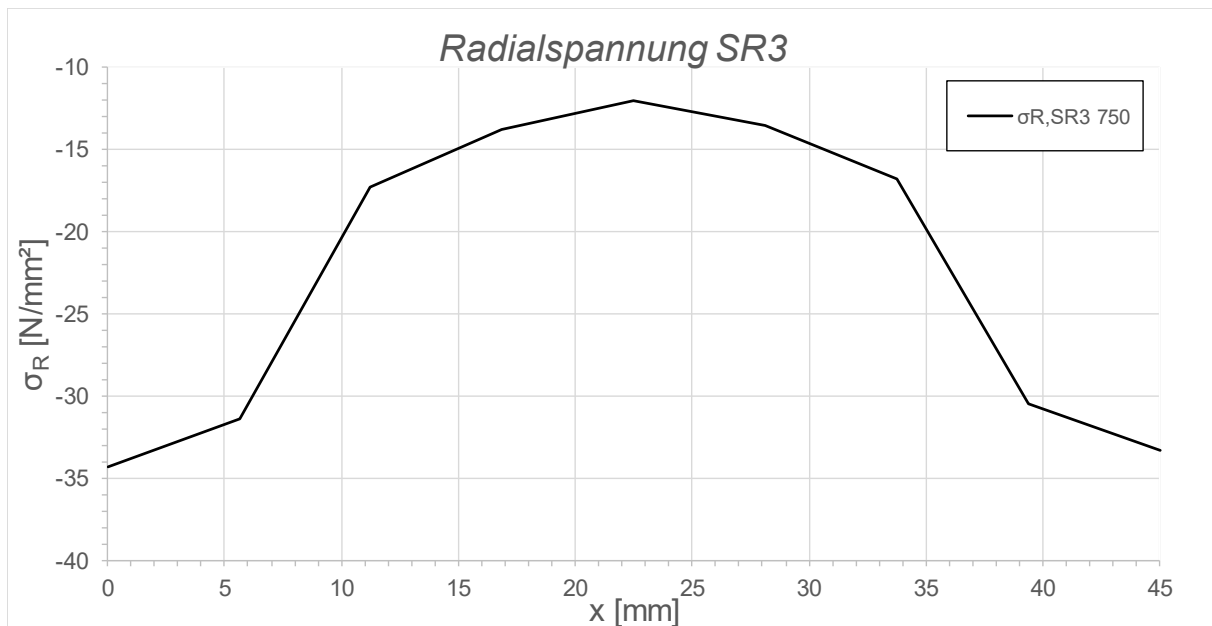


Abbildung 6.48: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.4.9 Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung

Abbildung 6.49 zeigt, dass es keine signifikanten Verformungen der Schubringe gibt, wodurch sich auch die geringe Kraftübertragung ergibt (vgl. Abbildung 6.41).



Abbildung 6.49: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.5 System SF2 bei Lastfall Innendruck

6.5.1 Längsspannungen im Rohr

Die Kraftübertragung im System „SF2“ mit längsfreien Rohrenden (vgl. Abbildung 3.2) erfolgt durch die auftretende Spannungsdifferenz an den äußeren Schubringen hin zu den freien Enden (vgl. Abbildung 6.50). Der Spannungsabfall auf Null erklärt sich durch die freien Enden an beiden Seiten des Rohres. Dieser Verlauf ist charakteristisch für alle untersuchten Fälle des Systems SF2 (vgl. Abbildung 3.2). Auch ein Vergleich mit dem System SF1 ist möglich, da nur die äußeren Schubringe zur Kraftübertragung beitragen und sich der mittlere Schubring dieser entzieht (vgl. Abbildung 6.41).

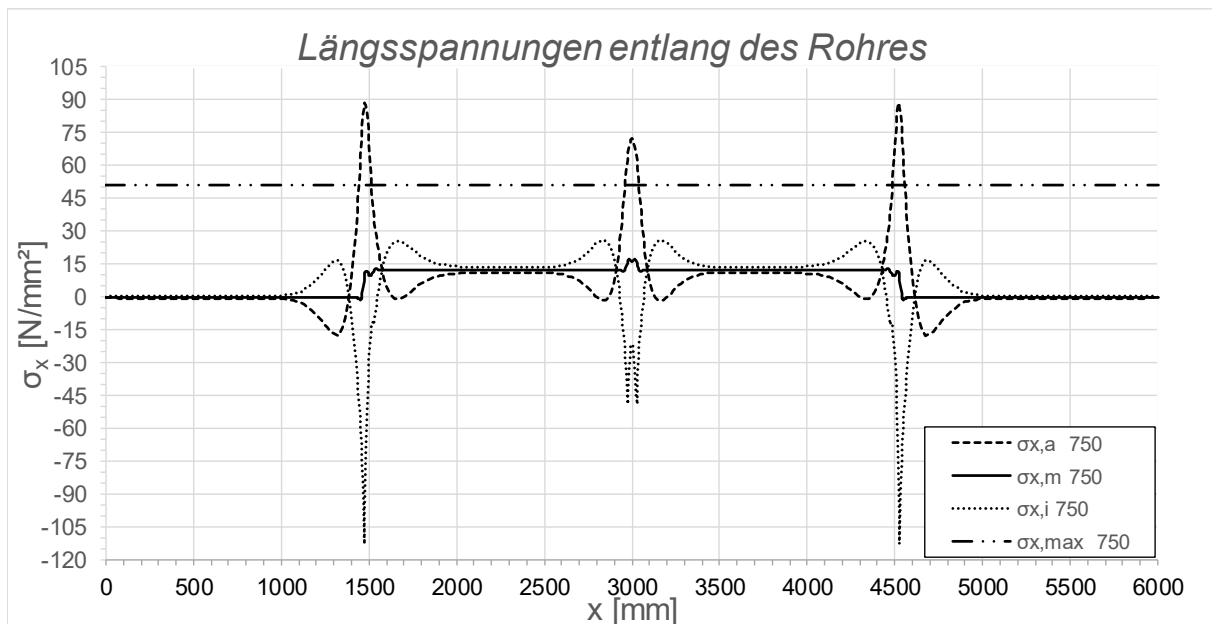


Abbildung 6.50: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.5.2 Umfangsnormalspannungen im Rohr

Der Verlauf der Umfangsnormalspannungen ist nahezu analog zu jenen aus der Abbildung 6.38 für das System SF1 mit dem Unterschied, dass der Einfluss der Biegespannungen im Bereich der äußeren Schubringe nun viel deutlicher ist (vgl. Abbildung 6.62).

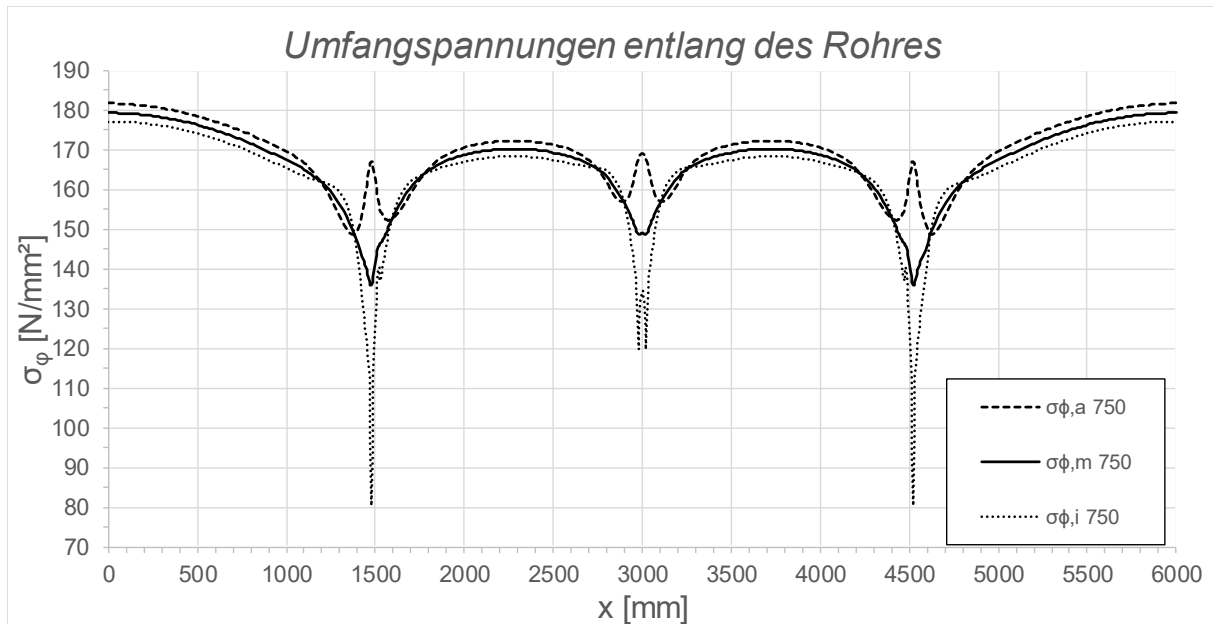


Abbildung 6.51: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.5.3 Verformungen des Rohrs

Die Radialverformungen der Panzerung zeigen stets ein relativ ähnliches Verhalten. Die Verformungen in Längsrichtung zeichnen sich dadurch aus, dass es beiderseits zu einer Verkürzung des Rohres (vgl. Abbildung 6.62) kommt, welche in Abbildung 6.52 durch den Vorzeichenwechsel erkennbar sind.

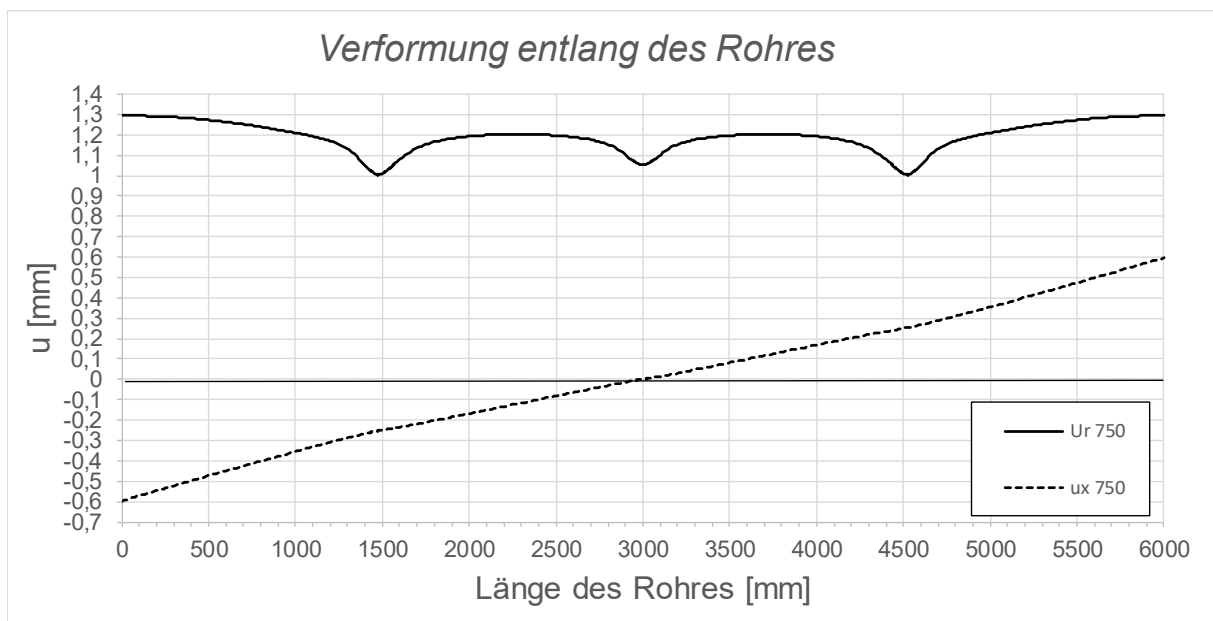


Abbildung 6.52: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

6.5.4 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und dem Stahlrohr

Es kommt zu einem recht ähnlichen Spannungsverlauf wie in Abbildung 6.40 für System SF1. Es wird jedoch kurz nach dem ersten bzw. kurz vor dem letzten Schubring lokal eine Kontaktpressung eingeleitet (vgl. Abbildung 6.53).

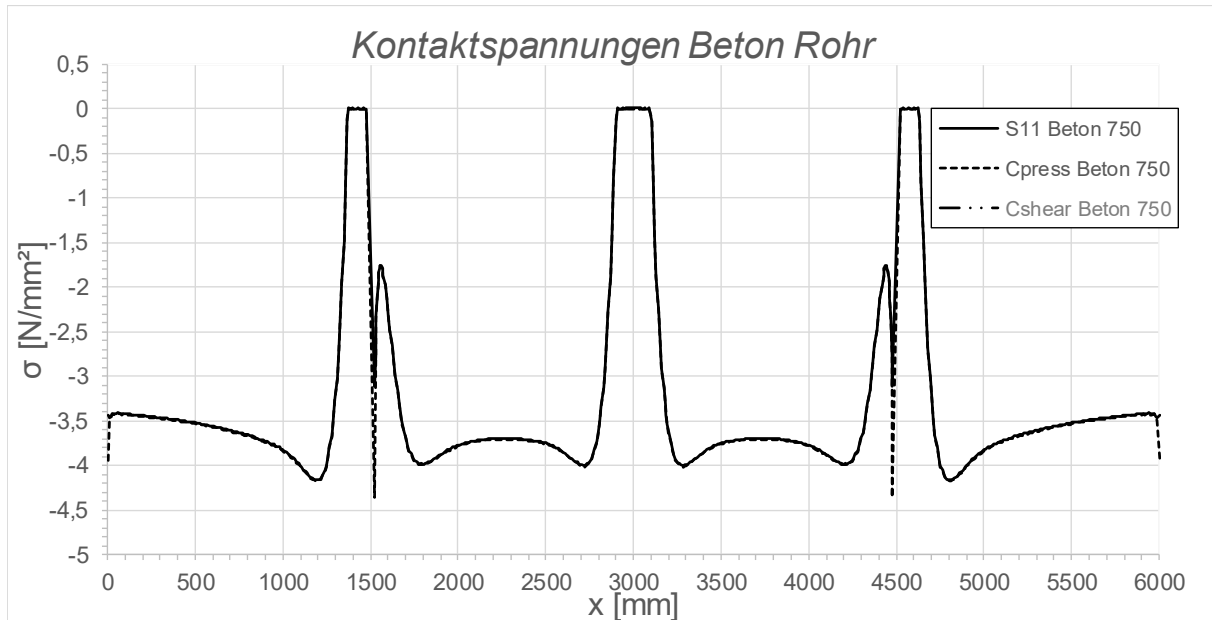


Abbildung 6.53: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und RohrM; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.5.5 Längsmembranspannungen im Rohr und Schubringkräfte

Durch die beidseits freien Enden der Panzerung bauen sich die Spannungen bzw. Schubringkräfte erst im Bereich der beiden äußeren Schubringe auf (vgl. Abbildung 6.54). Für die Kraftübertragung sind in diesem Fall nur die Schubringe 1 und 3 maßgebend. Bei SR2 lässt sich ein deutlicher Einfluss der Biegespannungen erkennen, jedoch baut sich hier keine Spannungsdifferenz $\Delta\sigma$ auf, wodurch es auch zu keiner Kraftübertragung am Schubring 2 kommt (vgl. Abbildung 6.54).

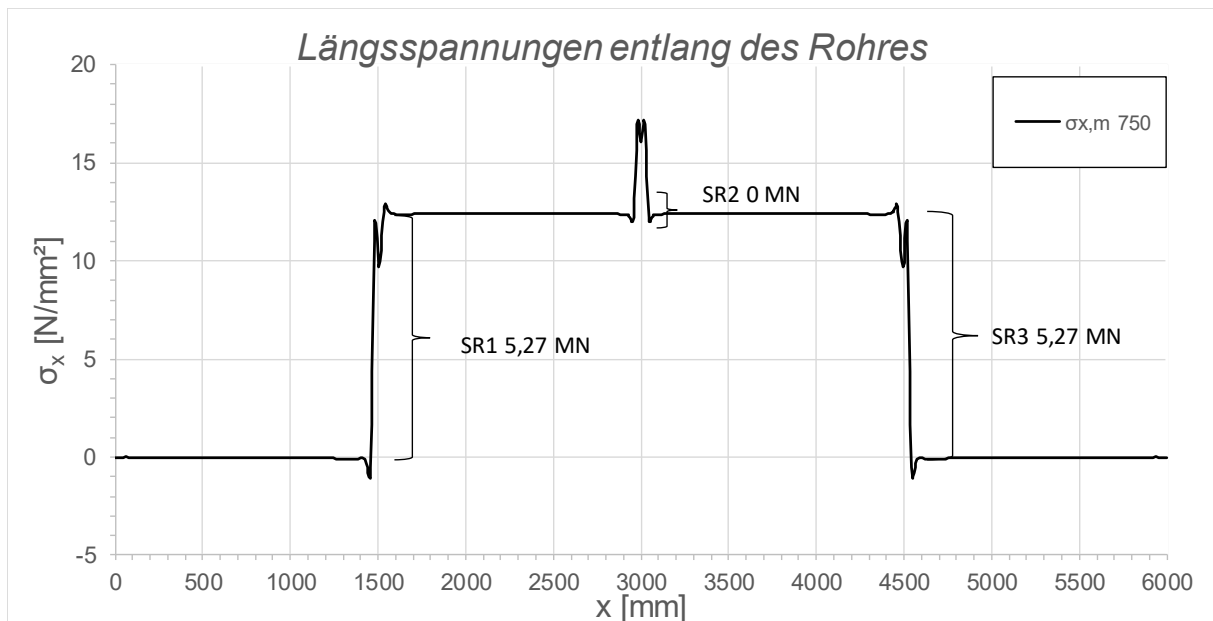


Abbildung 6.54: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

6.5.6 Prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte

Die Abbildung 6.55 zeigt, dass Schubring 1 und 3 dieselbe Belastung erfahren. Anzunehmen ist, dass jeder der beiden Schubringe die volle Zwangsbeanspruchung aus dem Rohr erfährt (100%).

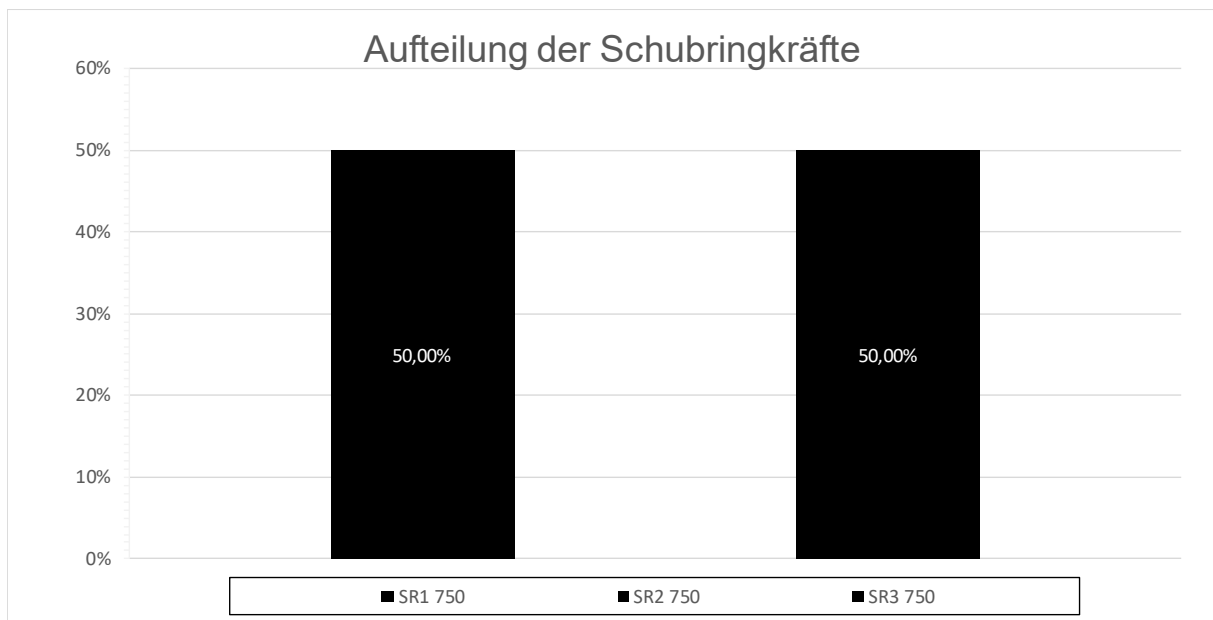


Abbildung 6.55: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

6.5.7 Kontaktspannungen in der Kontaktfuge zwischen Betonmantel und den Schubringen

Die äußeren Schubringe weisen einen annähernd dreieckförmigen Spannungsverlauf auf, wobei es zu keiner sehr guten Übereinstimmung mit der elastischen Pressungslänge c_{el} kommt (vgl. Abbildung 6.56 und Abbildung). Der Spannungsverlauf des SR2 zeigt wiederum eine beidseitige Pressung des Betonmantels aufgrund der Querkontraktion (vgl. Abbildung 6.57).

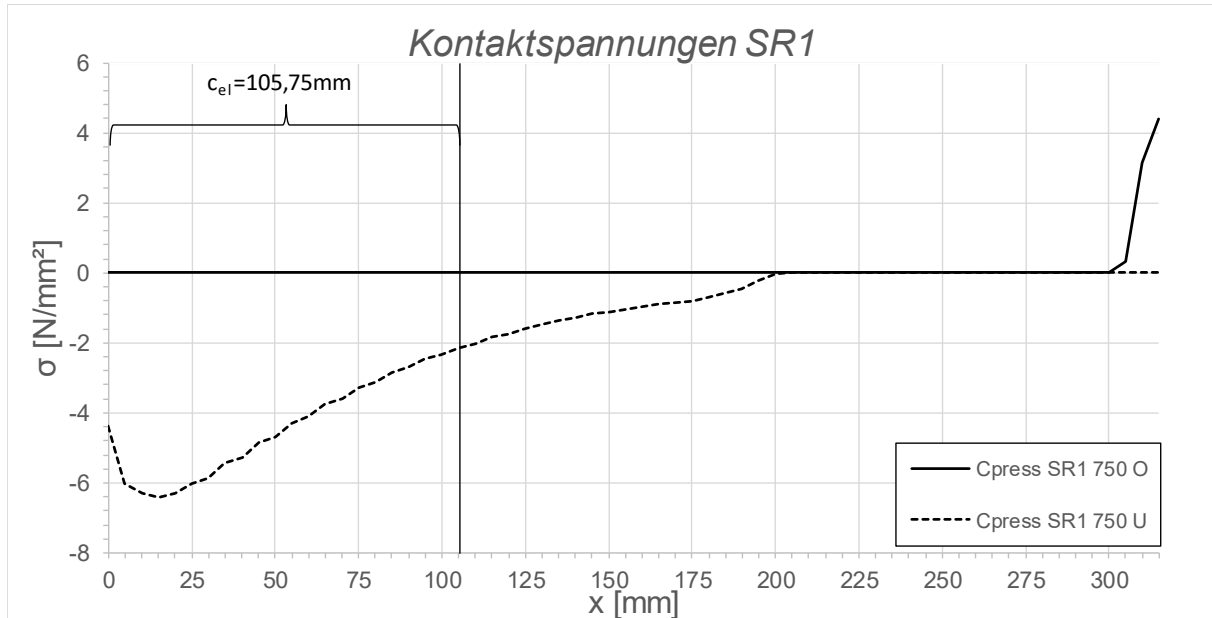


Abbildung 6.56: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

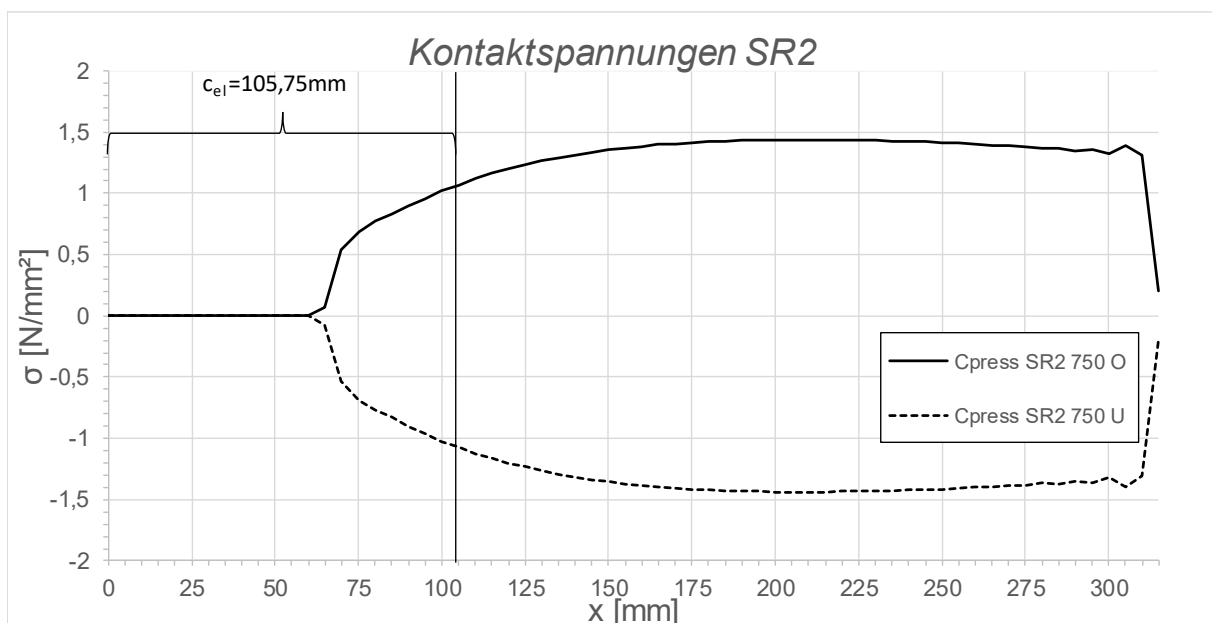


Abbildung 6.57: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

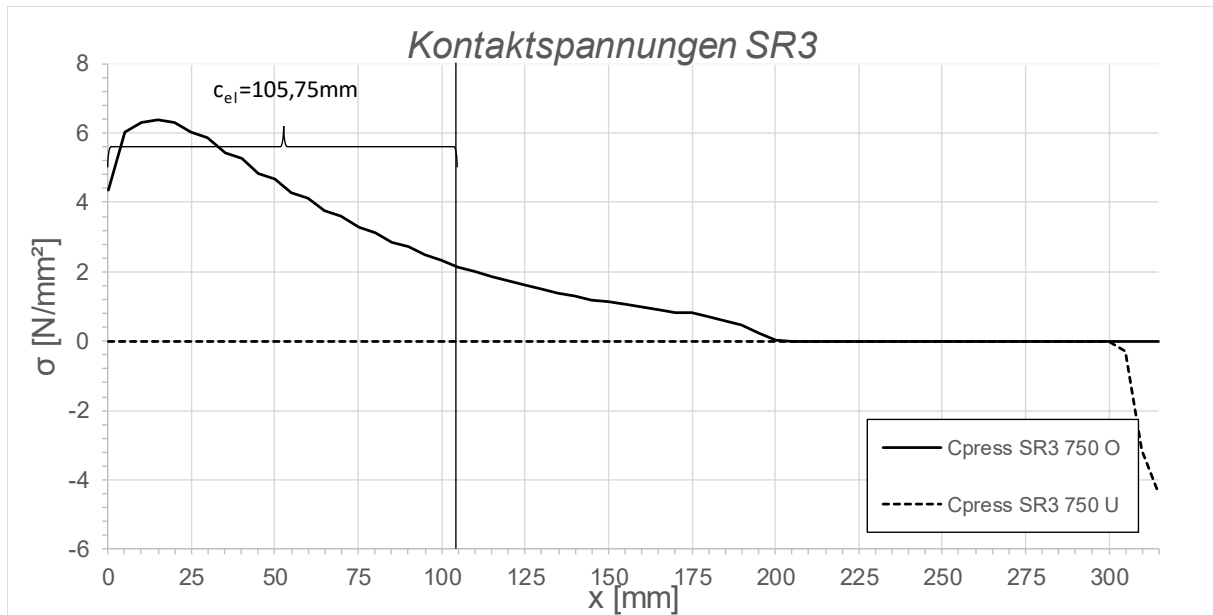


Abbildung 6.58: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

6.5.8 Radialspannungen über die Dicke der Schubringe

Für die beiden äußeren Schubringe 1 und 3 zeigt sich anhand der Radialspannungen (Abbildung 6.59 und Abbildung 6.61) sehr deutlich der Einfluss der Biegespannungen im Schubring. Durch die geringen Verformungen des SR2 (vgl. Abbildung 6.62) zeigt sich hier ein sehr symmetrischer Verlauf der Radialspannungen (vgl. Abbildung 6.60).

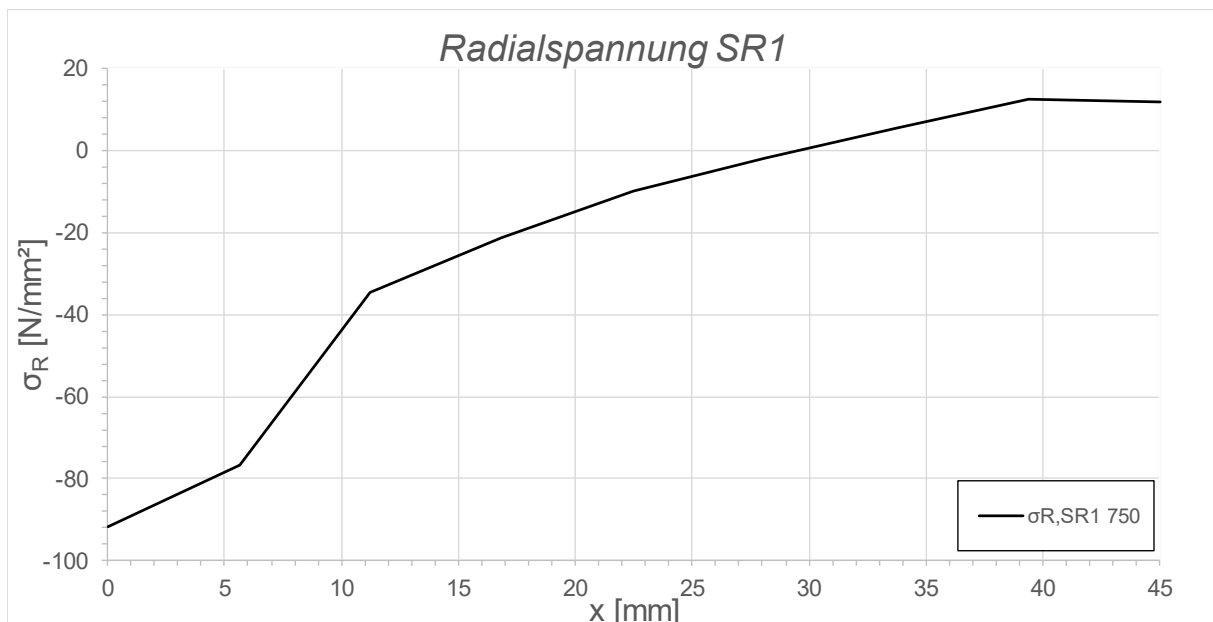


Abbildung 6.59: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

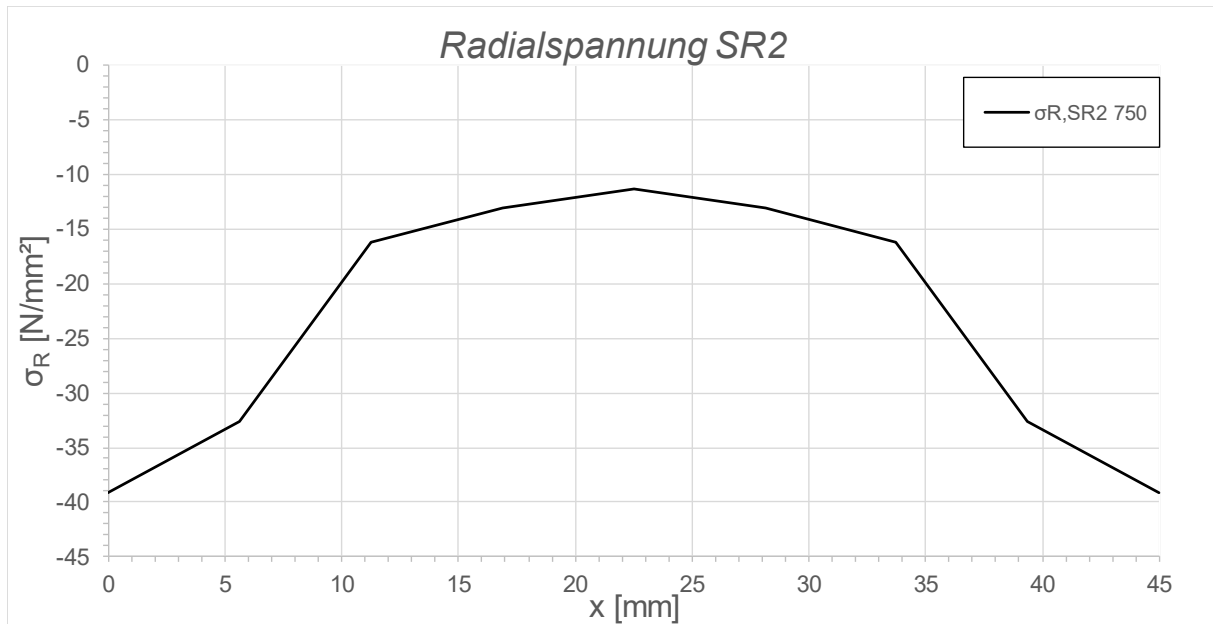


Abbildung 6.60: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

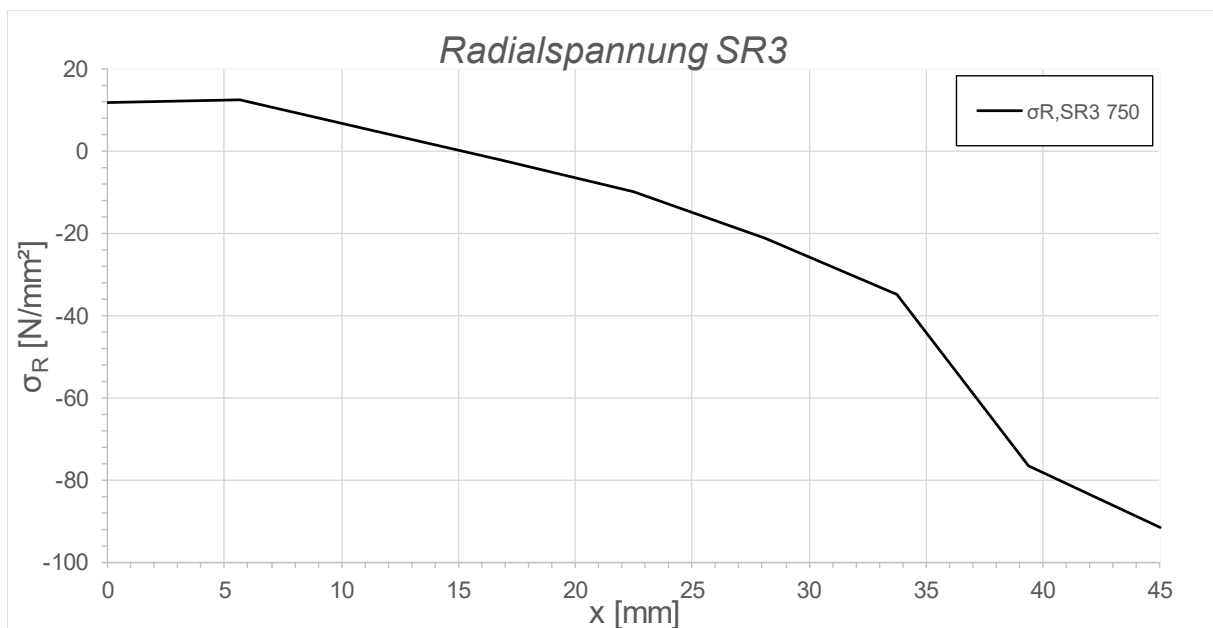


Abbildung 6.61: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

6.5.9 Überhöhte Verformungsfiguren aus der FE-Berechnung

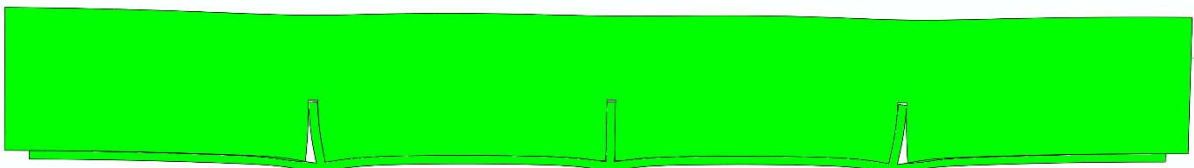


Abbildung 6.62: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; System SF2, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

7 Kontrolle des analytischen Modells

Wie bereits in Abschnitt 5 beschrieben, wurden die Rohrwanddicken nach dem ebenen Modell des radial gebetteten Rohres ermittelt. Daraus wurden Umfangsspannungen σ_φ in Tabelle 5.3 ermittelt. Nach dem Ende der Berechnung für System SF1 mit beidseits längsfester Lagerung des Rohres wurde kontrolliert, ob die Umfangsspannungen σ_φ dieses Modelles mit jenen der numerischen Berechnung übereinstimmen. Zum besseren Vergleich wurden, wie in Abbildung 7.1 gezeigt, zwei Prüfquerschnitte (QS I und QS II) eingeführt, um zu sehen ob es zwischen den Schubringen zu einer Beeinflussung der Umfangsnormalspannungen durch die Mitwirkung der Schubringe kommt.

Anmerkung: Der Querschnitt QS I entspricht der Rohrmitte für einen Schubringabstand $2 \cdot e_{\text{Ring}}$.

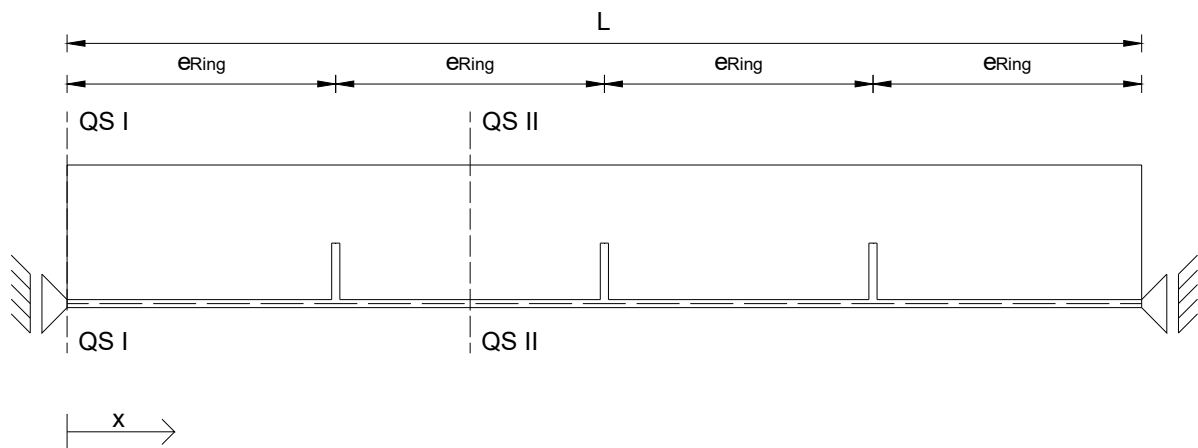


Abbildung 7.1: Darstellung der eingeführten Querschnitte zur Kontrolle des analytischen Modells

Die Querschnitte, an denen die Umfangsspannungen ausgelesen wurden, sind in Abbildung 7.1 also mit QS I und QS II bezeichnet. Ausgelesen wurden die Umfangsspannungen in den Querschnitten I und II bei Berechnung des Systems SF1 mit $e_{\text{Ring}} = R$ und zusätzlich mit $e_{\text{Ring}} = 2R$, um einen eventuell vorhandenen Einfluss zwischen den Schubringen zu erkennen.

7.1 Vergleich des analytischen Modells mit den FE-Ergebnissen

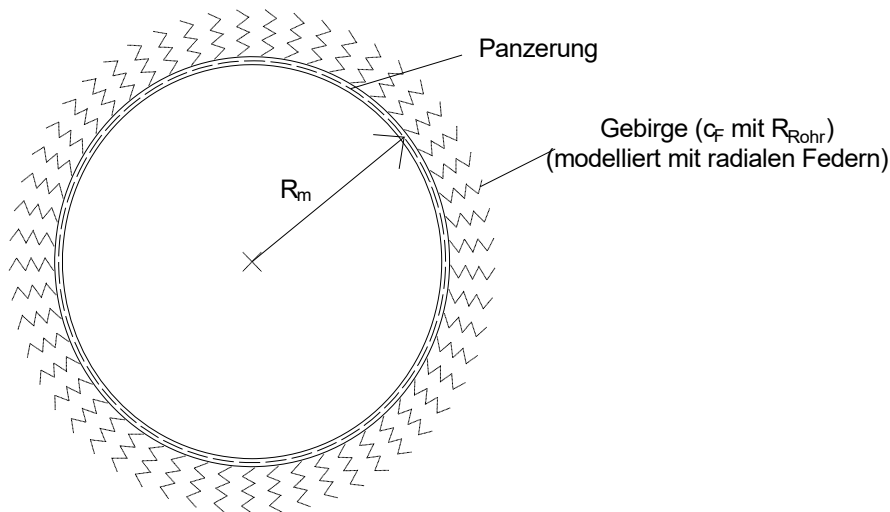


Abbildung 7.2: Darstellung des radial gebetteten Rohres

Die hier in Abschnitt 7 dargestellten Tabellen (mit Ausnahme der Tabelle 7.3) sind mit den folgenden Werten errechnet bzw. erstellt:

- Vorgabe Verformungsmodul V_F [N/mm²]
- Innendruck $p_i = 9,0$ N/mm²
- Federsteifigkeit des Felsens c_F bei radialer Bettung unter Innendruckbelastung
 - c_F mit R_m [N/mm³] (vgl. Tabelle 7.1 und Abbildung 7.2)
 - c_F mit $R_{\text{Beton}} = R + d_C$ [N/mm³] (vgl. Tabelle 7.2 und Abbildung 7.3)
 - c_F mit $R_{\text{eff}} = R + t_{\text{eff}}$ [N/mm³] (vgl. Tabelle 7.4, Tabelle 7.5 und Abbildung 7.4)

Anmerkung: Die effektive Dicke t_{eff} stellt die gemeinsame Wirkung von Stahlrohr und Betonmantel dar (vgl. Abschnitt 7.3)

- Umfangsspannung aus der analytisch Berechnung $\sigma_{\varphi, \text{analytisch}}$ [N/mm²]
- Umfangsspannungen aus der numerischen Berechnung für QS I und QS II, für $e_{\text{Ring}} = R$ [N/mm²]
- Umfangsspannungen aus der numerischen Berechnung für QS I und QS II, für $e_{\text{Ring}} = 2R$ [N/mm²]

Die Federsteifigkeit $c_F = \frac{V_F}{(1 + \nu_F) \cdot R_m}$ wurde in Tabelle 7.1 mit dem Radius des Rohres R_m aus Abbildung 7.2 berechnet. Da es zu erheblichen Abweichungen vor allem bei einen niedrigen Verformungsmodul V_F in den Ergebnissen kommt, wurde das analytische Modell adaptiert. Anhand der Ergebnisse lässt sich erkennen, dass es bei einem Ringabstand von $e_{\text{Ring}} = R$ zu einer Beeinflussung der Ergebnisse zwischen den Schubringen kommt. Dies erkennt man in der Tabelle 7.1 daran, dass es bei einem Ringabstand $e_{\text{Ring}} = R$ zu deutlichen Unterschieden in den Umfangsspannungen zwischen Querschnitt QS I und QS II kommt. Bei einem Ringabstand von $e_{\text{Ring}} = 2R$ ist eine Beeinflussung der Schubringe auszuschließen, da es zu keinen signifikanten Abweichungen der Ergebnisse zwischen QS I und QS II kommt (vgl. Tabelle 7.1).

Verformungsmodul V_F [N/mm ²]	ν_F []	t_{Rohr} [mm]	c_F mit R_m [N/mm ³]	$\sigma_{\varphi,analytisch}$ [N/mm ²]	$e_{Ring} = R$		$e_{Ring} = 2R$	
					$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS I [N/mm ²]	$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS II [N/mm ²]	$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS I [N/mm ²]	$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS II [N/mm ²]
1000	0,2	60	0,556	206,4	178,4	162,7	177,8	178,5
4000	0,2	45	2,222	202,5	183,7	171,1	184,6	183,3
7000	0,2	20	3,889	233,1	233,4	228,2	234	233,1

Tabelle 7.1: Vergleich der FEM Ergebnisse mit der analytischen Lösung

$$\sigma_{\varphi,analytisch} = p_i * \frac{c_{st}^*}{c_{st}^* + c_F} * \frac{R_m}{t_{Rohr}}$$

$$\sigma_{\varphi,analytisch} = p_i * \frac{\frac{E_s^* * t_{Rohr}}{R_m^2}}{\frac{E_s^* * t_{Rohr}}{R_m^2} + \frac{V_F}{(1 + \nu_F) * R_m}} * \frac{R_m}{t_{Rohr}}$$

mit: $E_s^* = \frac{E_s}{1 - \nu_s^2} = \frac{210000}{1 - 0,2^2} = 230769 \text{ N/mm}^2$

7.2 Adaptiertes Rohrmodell unter Berücksichtigung der Betonmanteldicke

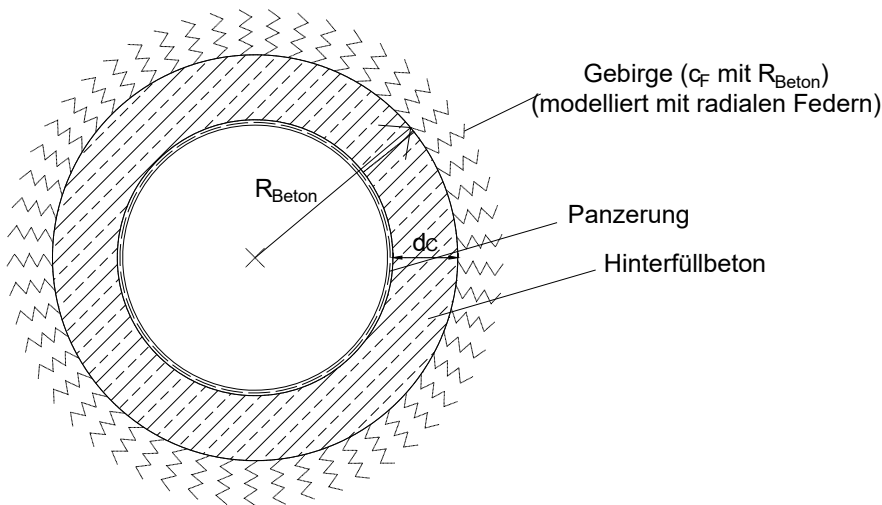


Abbildung 7.3: Darstellung des radial gebetteten Rohres unter Berücksichtigung der Betonmantelstärke

Verformungsmodul V_F [N/mm ²]	c_F mit R_{Beton} [N/mm ³]	$\sigma_{\varphi,analytisch}$ [N/mm ²]	$e_{Ring} = R$		$e_{Ring} = 2R$	
			$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS I [N/mm ²]	$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS II [N/mm ²]	$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS I [N/mm ²]	$\sigma_{\varphi,FEM}$ QS II [N/mm ²]
1000	0,365	212,4	178,4	162,7	177,8	178,5
4000	1,467	227,7	183,7	171,1	184,6	183,3
7000	2,581	298,9	233,4	228,2	234,0	233,1

Tabelle 7.2: Vergleich der FEM Ergebnisse mit der adaptierten analytischen Lösung

Bei der Berechnung der Federsteifigkeit $c_F = \frac{V_F}{(1+\nu_F) \cdot R_{\text{Beton}}}$ wurde dieses Mal der Radius des Betonkörpers $R_{\text{Beton}} = R + d_c$ aus Abbildung 7.3 eingesetzt. In diesen Fall verschlechtert sich das Ergebnis (weiter Zunahme der Umfangsspannungen $\sigma_{\varphi, \text{analytisch}}$), da bei der Spannungsberechnung der Betonmantel nicht berücksichtigt wurde, so dass das Modell weiter adaptiert werden musste. Die Überlegungen führten dazu, den Gesamtquerschnitt aus der Stahlrohrpanzerung und dem Betonmantel als Verbundquerschnitt zu betrachten.

$$\sigma_{\varphi, \text{analytisch}} = p_i \cdot \frac{c_{st}^*}{c_{st}^* + c_F} \cdot \frac{R_m}{t_{\text{Rohr}}}$$

$$\sigma_{\varphi, \text{analytisch}} = p_i \cdot \frac{\frac{E_s^* \cdot t_{\text{Rohr}}}{R_m^2}}{\frac{E_s^* \cdot t_{\text{Rohr}}}{R_m^2} + \frac{V_F}{(1 + \nu_F) \cdot R_{\text{Beton}}}} \cdot \frac{R_m}{t_{\text{Rohr}}}$$

mit: $E_s^* = \frac{E_s}{1 - \nu_s^2} = \frac{210000}{1 - 0,2^2} = 230769 \text{ N/mm}^2$

7.3 Adaptiertes Modell bei Betrachtung als Verbundquerschnitt

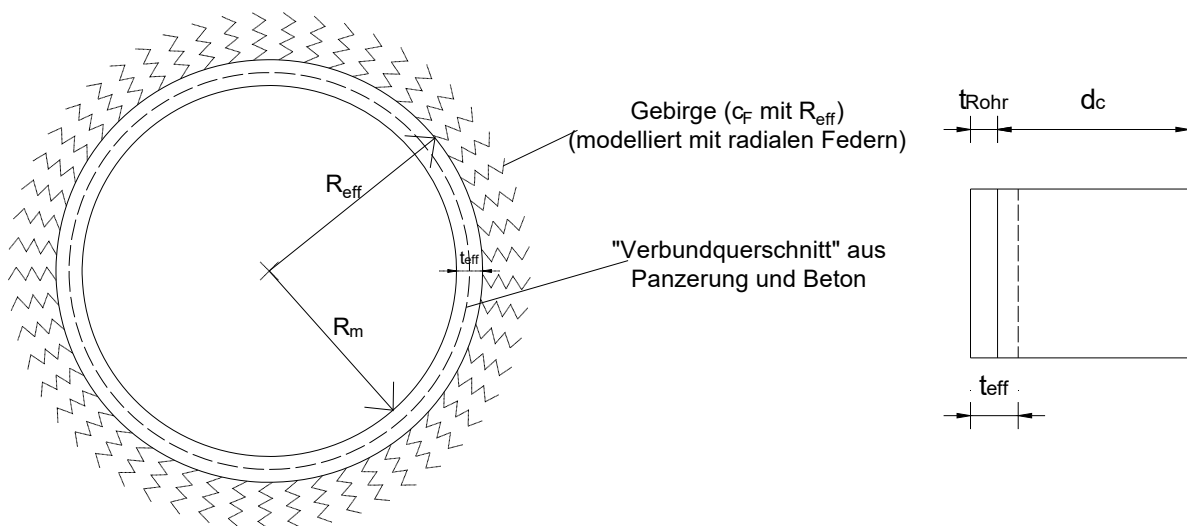


Abbildung 7.4: Darstellung des adaptierten Modells mit „Verbundquerschnitt“

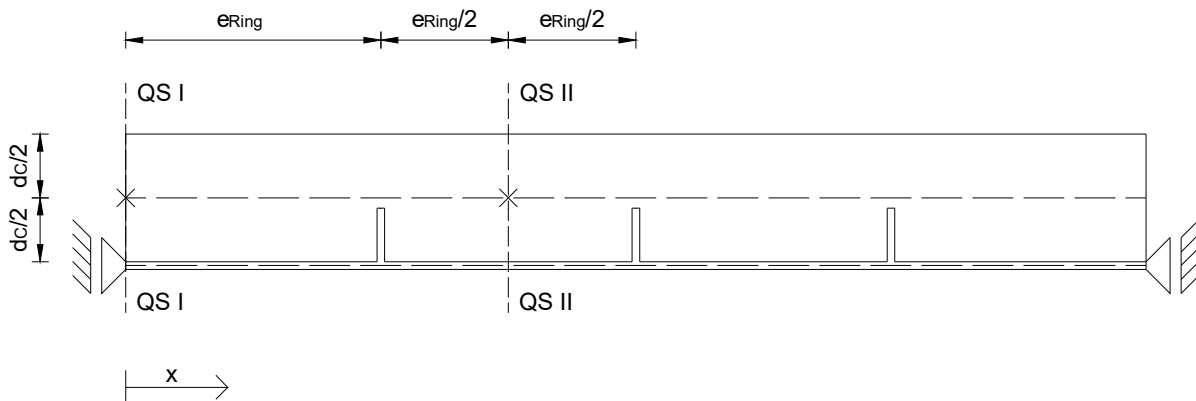


Abbildung 7.5: Darstellung der gewählten Auslesepunkte für das numerische Modell

Um den Betonmantel auf eine effektive Stahlstärke umrechnen zu können, wurden aus den zwei ausgewählten Punkten in QS I und QS II in Abbildung 7.1 bzw. Abbildung 7.5 die Umfangsspannungen sowie die dazugehörigen Dehnungen am Betonkörper ausgelesen und zwar in der Mitte der Betonmantelstärke d_C . Anschließend wurde über die Bedingung $E_{c,eff} = \frac{\sigma_{c,\varphi}}{\varepsilon_{c,\varphi}}$ der effektive E-Modul des (gerissenen) Betonmantels an diesen Stellen errechnet um in weiterer Folge über die Beziehung $t_{eff} = t_{Rohr} + d_C * \frac{E_{c,eff}}{E_s}$ die effektive Rohrwanddicke eines fiktiven Stahlrohrs zu ermitteln (vgl. Tabelle 7.3).

Für die Berechnung dieser Parameter wurde die Tabelle 7.3 mit den folgenden Werten aufgebaut:

- Umfangsnormalspannung im Betonkörper $\sigma_{c,\varphi}$ für die unterschiedlichen Verformungsmoduli V_F , ausgelesen an den in Abbildung 7.5 dargestellten Punkten für die Ringabstände $e_{Ring} = R$ und $e_{Ring} = 2R$
- Umfangsdehnungen im Betonkörper $\varepsilon_{c,\varphi}$ unter den unterschiedlichen Verformungsmoduli V_F , ausgelesen an den in Abbildung 7.5 dargestellten Punkten für die Ringabstände $e_{Ring} = R$ und $e_{Ring} = 2R$
- Ermittlung effektive E-Modul $E_{c,eff} = \frac{\sigma_{c,\varphi}}{\varepsilon_{c,\varphi}}$ [N/mm²]
- Ermittlung effektive Rohrwanddicke $t_{eff} = t_{Rohr} + d_C * \frac{E_{c,eff}}{E_s}$ des „Verbundquerschnitts“ [mm]
- Ermittlung effektiver Radius $R_{eff} = R + t_{eff}$ des „Verbundquerschnitts“ [mm]

	QS I/ $e_{Ring}=R$	QS II/ $e_{Ring}=R$	QS I/ $e_{Ring}=2R$	QS II/ $e_{Ring}=2R$
$\sigma_{c,\varphi,1000}$ [N/mm ²]	2,34242	2,34242	2,34739	2,34552
$\varepsilon_{c,\varphi,1000}$ [%]	0,000563958	0,000563958	0,00054902	0,00055751
$E_{c,eff,1000}$ [N/mm ²]	4153,5	4153,5	4275,6	4207,1
$\sigma_{c,\varphi,4000}$ [N/mm ²]	2,25074	2,24764	2,25386	2,25386
$\varepsilon_{c,\varphi,4000}$ [%]	0,000562052	0,000518075	0,000565404	0,000555411
$E_{c,eff,4000}$ [N/mm ²]	4004,5	4338,4	3986,3	4058,0
$\sigma_{c,\varphi,7000}$ [N/mm ²]	2,13251	2,13545	2,13274	2,13291
$\varepsilon_{c,\varphi,7000}$ [%]	0,000722236	0,000691901	0,00071977	0,000718033
$E_{c,eff,7000}$ [N/mm ²]	2952,6	3086,4	2963,1	2970,5
$t_{eff,1000}$ ($t_{Rohr} = 60$) [mm]	74,83	74,83	75,27	74,83
$t_{eff,4000}$ ($t_{Rohr} = 45$) [mm]	59,30	60,49	59,24	60,49
$t_{eff,7000}$ ($t_{Rohr} = 20$) [mm]	30,55	31,02	30,58	31,02
$R_{eff,1000}$ [mm]	1604,83	1604,83	1605,27	1604,83
$R_{eff,4000}$ [mm]	1581,80	1582,99	1581,74	1582,99
$R_{eff,7000}$ [mm]	1540,55	1541,02	1540,58	1541,02

Tabelle 7.3: Darstellung der ausgelesenen Werte aus der FE-Berechnung sowie der daraus berechneten Werte

Durch die Reduktion des Beton E-Moduls, auf den zutreffenden Wert der FEM-Berechnung von rund 1/10 seines anfänglichen Wertes von $E_C = 31000$ N/mm² (vgl. Tabelle 7.3), wird die effektive Dicke t_{eff} des Rohres gegenüber der vorhandenen Rohrwanddicke erhöht. Die

Federsteifigkeit $c_{F,eff} = \frac{V_F}{(1+v_F) \cdot R_{eff}}$ wurde dieses Mal unter der Berücksichtigung des effektiven Radius (vgl. Abbildung 7.4) berechnet zur Anpassung an dieses Modell.

Tabelle 7.4 zeigt den Vergleich der analytischen Berechnungen mit den Ergebnissen aus den numerischen Berechnungen. Bei einem Ringabstand von $e_{Ring} = R$ zeigt sich bei den FE-Ergebnissen die bereits beschriebene Beeinflussung durch die Schubringe und die daraus auftretenden Spannungsdifferenzen zur analytischen Lösung liegen in einem Bereich von rund 11 bis 18 %. Des Weiteren zeigt sich eine Verbesserung der Ergebnisse bei der Verringerung des Verformungsmoduls V_F und der daraus folgenden Zunahme der Rohrwanddicke t_{Rohr} .

		$e_{Ring} = R$			
Verformungsmodul V_F [N/mm ²]	$c_{F,eff}$ mit R_{eff} [N/mm ³]	$\sigma_{\varphi,analytisch}$	$\sigma_{\varphi,analytisch}$	$\sigma_{\varphi,FEM}$	$\sigma_{\varphi,FEM}$
		QS I [N/mm ²]	QS II [N/mm ²]	QS I [N/mm ²]	QS II [N/mm ²]
1000	0,519	179,1	176,0	178,4	162,7
4000	2,107	173,3	170,9	183,7	171,1
7000	3,787	199,5	198,2	233,4	228,2

Tabelle 7.4: Vergleich der analytischen Lösung des Verbundquerschnittes mit den Ergebnissen der FE-Berechnung für $e_{Ring} = R$

In Tabelle 7.5 ist wiederum der Vergleich der Ergebnisse am „Verbundquerschnitt“ für die numerische Berechnung mit dem Ringabstand $e_{Ring} = 2R$ aufgeführt. Die Schwankungsbreite der auftretenden Spannungsdifferenz zwischen Numerik und Analytik liegen hier bei rund 1,5 bis 17 %. Es kommt auch hier zu einer deutlichen Verbesserung der Treffsicherheit bei einer Verringerung des Verformungsmoduls V_F .

		$e_{Ring} = 2R$			
Verformungsmodul V_F [N/mm ²]	$c_{F,eff}$ mit R_{eff} [N/mm ³]	$\sigma_{\varphi,analytisch}$	$\sigma_{\varphi,analytisch}$	$\sigma_{\varphi,FEM}$	$\sigma_{\varphi,FEM}$
		QS I [N/mm ²]	QS II [N/mm ²]	QS I [N/mm ²]	QS II [N/mm ²]
1000	0,519	178,2	179,1	177,8	178,5
4000	2,107	173,4	170,9	184,6	183,3
7000	3,787	199,4	198,2	234,0	233,1

Tabelle 7.5: Vergleich der analytischen Lösung des Verbundquerschnittes mit den Ergebnissen der FE-Berechnung für $e_{Ring} = 2R$

7.4 Schlussfolgerung zu den Modellen

Im Falle des radial gebetteten Rohres sind die analytischen ermittelten Umfangsspannungen am Stahlrohr (Rechnung mit t_{Rohr}) rund 10 - 15 % größer als die ermittelten Spannungen aus der FE-Berechnung. Es lässt sich auch gut erkennen, dass es mit der Zunahme der Bettungssteifigkeit und der daraus folgenden Abnahme der Rohrwanddicke zu einer Minimierung der Spannungsdifferenzen kommt. Wird im analytischen Modell nur der Radius auf R_{Beton} erhöht und der Betonmantel bleibt bei der Spannungsberechnung unberücksichtigt (Rechnung mit t_{Rohr}), verschlechtert sich der auftretende Spannungsunterschied in einem

Bereich von rund 19 - 28 %. In diesem Fall lässt sich keine klare Tendenz einer Verbesserung aufgrund der Bettungseigenschaften sowie der Rohrwandstärken erkennen. Bei der Adaptierung des Modells als Verbundquerschnitt (Rechnung mit t_{eff}) erreicht man sehr gute Übereinstimmungen in den Spannungsdifferenzen zur numerischen Berechnung im Bereich von rund 0,4 - 15 %. Hier zeigt sich im Gegensatz zur analytischen Lösung des radial gebetteten Rohrs eine Verschlechterung der Übereinstimmung bei zunehmender Bettungssteifigkeit und abnehmender Rohrwandstärke.

8 Gesamtergebnisse der Schubringkräfte

Um sich über die untersuchten Berechnungen einen besseren Überblick verschaffen zu können, wurden die errechneten Schubringkräfte von allen untersuchten Fällen in einer Fallweise gegenübergestellt.

8.1 Schubringkräfte für das statische System nach Fall 1

Die Detailergebnisse von den Berechnungen sind im Anhang dargestellt. Ermittelt wurden die Schubringkräfte wie für Abbildung 6.5 dargestellt.

Tabelle 8.1 sind alle Ergebnisse der Schubringkräfte für den Fall 1 (einseitige längsfeste Lagerung vgl. Abbildung 3.2) dargestellt.

Aufgebaut sind die Tabellen mit folgenden Werten:

- Verformungsmodul V_F [N/mm²]
- Rohrwandstärke t_{Rohr} [mm] sowie die Schubringabmessungen $t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]
- Reibungsbeiwert μ []
- Schubringkräfte infolge Innendruck $p_i = 9$ N/mm² für $e_{\text{Ring}} = R$
- Schubringkräfte infolge Zwangsbeanspruchung aus Temperatur für $\Delta T = -10^\circ\text{C}/+10^\circ\text{C}$ für $e_{\text{Ring}} = R$
- Schubringkräfte infolge Innendruck $p_i = 9$ N/mm² für $e_{\text{Ring}} = 2R$; berechnet nur für die Reibungskoeffizienten $\mu = 0$ und $0,25$ um den Trend der Ergebnisse aus $e_{\text{Ring}} = R$ bestätigen zu können.

Die Vorzeichen der Schubringkräfte werden in Abbildung 8.1 sowie in Abbildung 8.2 definiert.

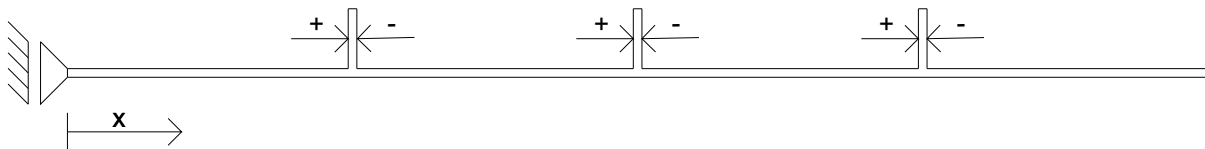


Abbildung 8.1: Definition der Vorzeichen für die Schubringkräfte für Fall 1 und SF1 aufgrund der Kraftwirkungsrichtung der Pressung am Schubring

Fall 1: einseitige Lagerung, $e_{\text{Ring}}=R$									
v_F [N/mm ²]	t_{Rohr} [mm]	$t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]	μ []	Schubringkräfte [MN], $p_i=9\text{N/mm}^2$			Schubringkräfte [MN], $\Delta T=-10^\circ\text{C}/\Delta T=+10^\circ\text{C}$		
				SR1	SR2	SR3	SR1	SR2	SR3
7000	20	20/140	0	0,64	2,41	7,12			
			0,25	0,02	0,02	0,34	0,29/ -0,09	1,01/ -0,63	3,00/ -3,35
			0,5	0,01	0,01	0,19			
4000	45	45/315	0	1,10	3,52	7,89			
			0,25	0,42	0,48	1,84	0,85/ -0,21	2,30/ -1,71	5,28/ -5,39
			0,5	0,03	0,16	0,89			
1000	60	60/420	0	1,01	3,36	7,18			
			0,25	0,19	0,97	2,69	1,15/ -0,14	3,03/ -1,99	6,19/ -8,24
			0,5	0,09	0,10	1,29			

Fall 1: einseitige Lagerung, $e_{\text{Ring}}=2R$									
v_F [N/mm ²]	t_{Rohr} [mm]	$t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]	μ []	Schubringkräfte [MN], $p_i=9\text{N/mm}^2$			Schubringkräfte [MN], $\Delta T=-10^\circ\text{C}/\Delta T=+10^\circ\text{C}$		
				SR1	SR2	SR3	SR1	SR2	SR3
7000	20	20/140	0	0,39	1,79	8,43			
			0,25	0,01	0,01	0,01	0,16/ -0,005	0,79/ -0,15	3,5/ -2,73
			0,5						
4000	45	45/315	0	0,91	3,05	10,61			
			0,25	0,03	0,10	0,31	0,53/ -0,003	1,93/ -0,26	6,47/ -5,54
			0,5						
1000	60	60/420	0	0,51*	2,38*	9,95*			
			0,25	0,07	0,22	1,90	0,63/ -0,04	2,1/ -0,72	6,36/ -7,47
			0,5						

*) linear extrapoliert

Tabelle 8.1: Gesamtergebnis der Schubringkräfte für den Fall 1 - Innendruckbelastung $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ sowie Temperatur ΔT

Bei einer Innendruckbelastung zeichnet sich ein klarer Trend dahin ab, dass es mit zunehmender Reibung zu einer starken Abnahme der übertragenen Schubringkräfte kommt. Dies ist sowohl in den Ergebnissen bei einfachen sowie doppelten Ringabstand zu erkennen. Der Schubring 3 erfährt immer die größte Belastung und diese nimmt für SR2 und SR1 stark ab. Bei dem mit „*“ gekennzeichneten Zahlen handelt es sich um eine lineare Hochrechnung der Kräfte, da die Berechnung bei rund 37 % der aufgetragenen Innendruckbelastung, aufgrund eines Spaltzugrisses beim Schubring 3, abgebrochen hat. Diese Hochrechnung ist möglich, da die Kraft nach Auftreten des Risses trotzdem weiter gesteigert werden kann (vgl. Forschungsbericht „SR12+“) [3]. Bei der Abkühlung des Rohres kommt es zu keiner Reduzierung der Schubringkräfte durch Reibung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Rohr aufgrund der Belastung den Kontakt mit dem Betonmantel verliert und somit die Kraftübertragung nur über die Schubringe erfolgt (vgl. Abbildung 6.26). Infolge einer Erwärmung des Stahlrohres besitzt das Stahlrohr wieder einen Kontakt mit dem Betonmantel und die Reibung hat wieder einen Einfluss auf die Ergebnisse (vgl. Abbildung 6.36). Mit steigender Rohrwandstärke kommt es auch hier zu einer Steigerung der übertragenen Kräfte durch die Steigerung der Dehnsteifigkeit.

8.2 Schubringkräfte für das System SF1

Wird das Rohr an beiden Seiten längsfest gehalten, so findet eine sehr kleine bzw. gar keine Lastübertragung an den Schubringen statt. Dies ist dadurch erklärbar, dass sich das System aufgrund der Lagerung hauptsächlich in radialer Richtung verformt und die

Längsverformungen des Rohres an den Schubringen durch die beidseitige Lagerung behindert werden.

SF1: beidseitige Lagerung, $e_{\text{Ring}}=R$									
v_F [N/mm ²]	t_{Rohr} [mm]	$t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]	μ []	Schubringkräfte [MN], $p_i=9\text{N/mm}^2$			Schubringkräfte [MN], $\Delta T=-10^\circ\text{C}/\Delta T=+10^\circ\text{C}$		
				SR1	SR2	SR3	SR1	SR2	SR3
7000	20	20/140	0	0,04	0,00	0,04			
			0,25	0,02	0,00	0,02	0,00/ -0,004	0,00/ 0,00	0/ -0,004
			0,5	0,02	0,00	0,02			
4000	45	45/315	0	0,02	0,00	0,02			
			0,25	0,07	0,00	0,07	0,00/ -0,03	0,00/ 0,00	0/ -0,03
			0,5	0,06	0,00	0,06			
1000	60	60/420	0	0,00	0,00	0,00			
			0,25	0,02	0,00	0,02	0,00/ -0,03	0,00/ 0,00	0/ -0,03
			0,5	0,01	0,00	0,01			
SF1: beidseitige Lagerung, $e_{\text{Ring}}=2R$									
v_F [N/mm ²]	t_{Rohr} [mm]	$t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]	μ []	Schubringkräfte [MN], $p_i=9\text{N/mm}^2$			Schubringkräfte [MN], $\Delta T=-10^\circ\text{C}/\Delta T=+10^\circ\text{C}$		
				SR1	SR2	SR3	SR1	SR2	SR3
7000	20	20/140	0	0,09	0,00	0,09			
			0,25	0,01	0,00	0,01	0,00/ -0,004	0,00/ 0,00	0,00/ -0,004
			0,5						
4000	45	45/315	0	0,04	0,00	0,04			
			0,25	0,02	0,00	0,02	0,00/ -0,007	0,00/ 0,00	0,00/ -0,007
			0,5						
1000	60	60/420	0	0,06	0,00	0,06			
			0,25	0,01	0,00	0,01	0,00/ -0,014	0,00/ 0,00	0,00/ -0,014
			0,5						

Tabelle 8.2: Gesamtergebnis der Schubringkräfte für das System SF1 - Innendruckbelastung $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ sowie Temperatur ΔT

8.3 Schubringkräfte für das System SF2

Für das System SF2 gibt es aufgrund der fehlenden Lagerung der Panzerung an beiden Enden eine Neudefinition der Vorzeichen (vgl. Abbildung 8.2).

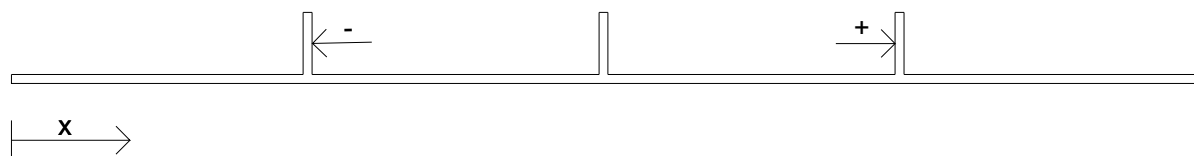


Abbildung 8.2: Definition der Vorzeichen für SF2 aufgrund der Kraftwirkungsrichtung

Im Fall bei dem das Stahlrohr in Längsrichtung nicht gelagert ist, erfolgt die Kraftübertragung nur über die Schubringe 1 und 3 (vgl. Abbildung 6.62). Diese Schubringkräfte müssen immer gleich groß sein. Im Fall des Innendrucks zeichnet sich wieder der selbe Trend wie im Fall 1 sowie bei System SF1 ab, dass bei mitwirkender Reibung die Schubringkräfte deutlich reduziert werden. Wird das Rohr abgekühlt, verliert es wieder den Kontakt zu dem Betonmantel und überträgt somit die Kräfte nur über die Schubringe. Verdoppelt man den Ringabstand, so nehmen die Schubringkräfte rund den 1,5-fachen Wert an. Im Falle der Erwärmung nimmt dieser Effekt bei doppeltem Ringabstand ab, da hier ein Teil über die größere Reibungslänge abgetragen wird.

SF2: keine Lagerung, $e_{\text{Ring}}=R$									
v_F [N/mm ²]	t_{Rohr} [mm]	$t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]	μ [°]	Schubringkräfte [MN], $p_i=9\text{N/mm}^2$			Schubringkräfte [MN], $\Delta T=-10^\circ\text{C}/\Delta T=+10^\circ\text{C}$		
				SR1	SR2	SR3	SR1	SR2	SR3
7000	20	20/140	0	-5,71	0,00	5,71			
			0,25	-0,28	0,00	0,28	-2,48/ 2,97	0,00/ 0,00	2,48/ -2,97
			0,5	-0,15	0,00	0,15			
4000	45	45/315	0	-5,27	0,00	5,27			
			0,25	-1,25	0,00	1,25	-3,92/ 5,03	0,00/ 0,00	3,92/ -5,03
			0,5	-0,72	0,00	0,72			
1000	60	60/420	0	-3,47	0,00	3,47			
			0,25	-1,87	0,00	1,87	-4,57/ 5,76	0,00/ 0,00	4,57/ -5,76
			0,5	-0,95	0,00	0,95			
SF2: keine Lagerung, $e_{\text{Ring}}=2R$									
v_F [N/mm ²]	t_{Rohr} [mm]	$t_{\text{Ring}}/h_{\text{Ring}}$ [mm]	μ [°]	Schubringkräfte [MN], $p_i=9\text{N/mm}^2$			Schubringkräfte [MN], $\Delta T=-10^\circ\text{C}/\Delta T=+10^\circ\text{C}$		
				SR1	SR2	SR3	SR1	SR2	SR3
7000	20	20/140	0	-7,19	0,00	7,19			
			0,25	-0,01	0,00	0,01	-3,17/ 2,55	0,00/ 0,00	3,17/ -2,55
			0,5						
4000	45	45/315	0	-7,76	0,00	7,76			
			0,25	-0,13	0,00	0,13	-5,60/ 4,72	0,00/ 0,00	5,60/ -4,72
			0,5						
1000	60	60/420	0	-6,38	0,00	6,38			
			0,25	-1,34	0,00	1,34	-6,65/ 5,79	0,00/ 0,00	6,65/ -5,79
			0,5						

Tabelle 8.3: Gesamtergebnis der Schubringkräfte für das System SF2 - Innendruckbelastung $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ sowie Temperatur ΔT

9 Zusammenfassung

Da Druckstollenpanzerungen im Druckrohrleitungsbau von Wasserkraftanlagen eine entscheidende Rolle spielen und es in der Praxis noch unterschiedliche Meinungen zu den Kraftübertragungsmechanismen von Schubringen gibt, baut diese Arbeit darauf auf, die Mechanismen der Schubringkräfte infolge Innendruckes sowie Zwangskräften aus Temperaturänderungen zu untersuchen. Um am Ende ein gesamtheitliches Bild über die Schubringkräfte an den einzelnen Schubringen zu erhalten, wurde in dieser Arbeit eine Vielzahl von Parametern wie Rohrreibung, Verformungsmoduli des Gebirges und unterschiedliche Schubringabmessungen im Verhältnis $h_{\text{Ring}}/t_{\text{Ring}} = 7$ variiert und untersucht. Da nur spezielle Fälle einer Druckschachtpanzerung mittels einer analytischen Beziehung gelöst werden können, wurden numerische Methoden eingeführt, um eine gesamtheitliche Darstellung der Ergebnisse unter verschiedenen Lagerungsbedingungen darstellen zu können. Um diese numerischen Berechnungen nachvollziehen zu können, wurde zu Beginn der Arbeit das Modell mit den untersuchten Lagerungsbedingungen erklärt.

Einerseits bestand die Aufgabe darin, die Druckschachtpanzerungen unter drei unterschiedlichen Lagerungsbedingungen zu untersuchen. Eine klar strukturierte Ergebnisdarstellung im Anhang soll Aufschluss über das gesamtheitlich Tragverhalten der Druckschachtpanzerungen liefern.

Im Endeffekt kann mit dieser Arbeit gezeigt werden, dass sich im Falle einer Erwärmung bzw. einer Abkühlung ein ähnliches Tragverhalten wie unter einer in Rohrlängsrichtung gerichteten Kraft einstellt (abgesehen von der Kraftaufteilung auf mehrere Schubringe). Auch die elastische Pressungslänge c_{el} , welche im FFG-Forschungsprojekt „SR12“ [2] ermittelt wurde, konnte im Fall der Temperaturlastfälle bestätigt werden. Im Falle des Innendruckes kann man das analytische Modell so adaptieren, dass es hinsichtlich der Ermittlung der Umfangsnormalspannungen zu einer guten Übereinstimmung mit den numerischen Berechnungsergebnissen kommt, trotz zusätzlicher Betonummantelung.

Die Ergebnisse können in der Art und Weise verwertet werden, dass man in weiterführenden Arbeiten z.B. das vorhandene Bemessungsmodell für die Schubringe bestätigt bzw. modifiziert, oder ein gesamtheitliches Bemessungsmodell für all jene Einwirkungen entwickelt. Des Weiteren sollte man sich für die praktischen Anwendungen ein einheitliches Bild über das Tragverhalten schaffen können.

Es hat sich gezeigt, dass die Reibung einen sehr großen Einfluss auf die Schubringkräfte hat, vor allem wenn ein Innendruck vorhanden ist, reduzieren sich die Schubringkräfte signifikant. Außerdem spielen die Lagerungsbedingungen der Druckschachtpanzerung eine große Rolle im Hinblick auf die Schubringkräfte. Ein weiterführender Schritt wäre ein Vergleich der Aufteilung der einzelnen Schubringkräfte für die Beanspruchungen aus Innendruck und Temperatur mit dem im Forschungsprojekt „SR12+“ [3] entwickelten „Einstabmodell“ mit jener Aufteilung aus den numerischen Berechnungen in dieser Arbeit.

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Darstellung der untersuchten Fälle mit Variation der Kennwerte	6
Tabelle 5.1:	Eingangswerte für die Berechnung	19
Tabelle 5.2:	Gegenüberstellung der berechneten sowie der gewählten Rohrwandstärken des Stahlrohrs	21
Tabelle 5.3:	Darstellung der sich ergebenden Umfangsspannungen aus der analytischen Berechnung für $p_i = 9,0 \text{ N/mm}^2$, $R_m = 1500 \text{ mm}$	21
Tabelle 7.1:	Vergleich der FEM Ergebnisse mit der analytischen Lösung	61
Tabelle 7.2:	Vergleich der FEM Ergebnisse mit der adaptierten analytischen Lösung	61
Tabelle 7.3:	Darstellung der ausgelesenen Werte aus der FE-Berechnung sowie der daraus berechneten Werte	63
Tabelle 7.4:	Vergleich der analytischen Lösung des Verbundquerschnittes mit den Ergebnissen der FE-Berechnung für $e_{\text{Ring}} = R$	64
Tabelle 7.5:	Vergleich der analytischen Lösung des Verbundquerschnittes mit den Ergebnissen der FE-Berechnung für $e_{\text{Ring}} = 2R$	64
Tabelle 8.1:	Gesamtergebnis der Schubringkräfte für den Fall 1 - Innendruckbelastung $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ sowie Temperatur ΔT	68
Tabelle 8.2:	Gesamtergebnis der Schubringkräfte für das System SF1 - Innendruckbelastung $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ sowie Temperatur ΔT	69
Tabelle 8.3:	Gesamtergebnis der Schubringkräfte für das System SF2 - Innendruckbelastung $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ sowie Temperatur ΔT	70

11 Literaturverzeichnis

- [1] **ABAQUS v.6.14-3 and ABAQUS Documentation**, USA, © Dassault Systèmes, 2014.
- [2] **FFG - Forschungsprojekt Nr. 836725 - SR12** „Stahlbauliche Tragfähigkeit, Betontragfähigkeit und Verformungsverhalten von Verankerungsringen im Druckstollenbau“; Forschungsgesamtbericht; Unterweger H., Ecker A., 2013
- [3] **Forschungsprojekt SR12+** „Tragverhalten von Verankerungsringen bei praktischen Anwendungsbeispielen – weiterführende numerische Untersuchungen und Bemessungsbehelf“; Unterweger H., Ecker A., 2014
- [4] **Druckstollen und Druckschächte, Seeber Gerhard, Stuttgart; 1999.**
ISBN: 3-13-117511-7
- [5] **<https://de.wikipedia.org/wiki/Druckstollen>** (letzter Zugriff: 26.08.2018)
- [6] **ÖNORM EN 1992-1-1 Eurocode 2:** Bemessung und Konstruktionen von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, 2009

Inhaltsverzeichnis Anhang

A	Anhang A: Fall 1 Innendruck und Temperatur	A.1
A.1	Statisches System Fall 1	A.1
A.2	Erläuterungen zu den Ergebnisdarstellungen	A.2
A.3	Fall 1 bei Lastfall Innendruck.....	A.2
A.3.1	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$	A.2
A.3.2	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.10
A.3.3	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	A.16
A.3.4	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$	A.22
A.3.5	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.28
A.3.6	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	A.34
A.3.7	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$	A.40
A.3.8	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.46
A.3.9	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	A.52
A.3.10	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	A.58
A.3.11	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.61
A.3.12	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	A.64
A.3.13	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.67
A.3.14	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	A.70
A.3.15	Fall1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.73
A.4	Fall 1 bei Lastfall Temperatur.....	A.76
A.4.1	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.76
A.4.2	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.80
A.4.3	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.85
A.4.4	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.89
A.4.5	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.92
A.4.6	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.97
A.4.7	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.102
A.4.8	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.107
A.4.9	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.110
A.4.10	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	A.114

A.4.11	Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.119
A.4.12	Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	A.123

B Anhang B: SF1 Innendruck und Temperatur..... B.1

B.1	Statisches System SF1	B.1
B.2	System SF1 bei Lastfall Innendruck.....	B.2
B.2.1	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$	B.2
B.2.2	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.8
B.2.3	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	B.14
B.2.4	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$	B.20
B.2.5	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.26
B.2.6	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	B.33
B.2.7	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$	B.39
B.2.8	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.43
B.2.9	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	B.48
B.2.10	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	B.52
B.2.11	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	B.55
B.2.12	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	B.58
B.2.13	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	B.61
B.2.14	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	B.64
B.2.15	SF1 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	B.67
B.3	System SF1 bei Lastfall Temperatur	B.70
B.3.1	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.70
B.3.2	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.73
B.3.3	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.77
B.3.4	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.80
B.3.5	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.83
B.3.6	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.85
B.3.7	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.90
B.3.8	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.93
B.3.9	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.96
B.3.10	SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	B.98
B.3.11	SF1 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$.	B.102

B.3.12 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$
 B.105

C	Anhang C: SF2 Innendruck	C.1
C.1	Statisches System SF2	C.1
C.2	System SF2 bei Lastfall Innendruck	C.2
C.2.1	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$	C.2
C.2.2	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.8
C.2.3	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	C.14
C.2.4	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$	C.20
C.2.5	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.26
C.2.6	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	C.33
C.2.7	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$	C.39
C.2.8	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.45
C.2.9	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$	C.51
C.2.10	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	C.57
C.2.11	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.60
C.2.12	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	C.63
C.2.13	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.66
C.2.14	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{Ring} = 2R$	C.69
C.2.15	SF2 LF1 $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.72
C.3	System SF2 bei Lastfall Temperatur	C.75
C.3.1	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.75
C.3.2	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.79
C.3.3	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.84
C.3.4	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.87
C.3.5	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.90
C.3.6	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.95
C.3.7	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.100
C.3.8	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.103
C.3.9	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.106
C.3.10	SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$	C.110
C.3.11	SF2 LF2 - 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$	C.115

C.3.12 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 60 \text{ mm}$, $h_{Ring} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{Ring} = 2R$
..... C.118

A Anhang A: Fall 1 Innendruck und Temperatur

A.1 Statisches System Fall 1

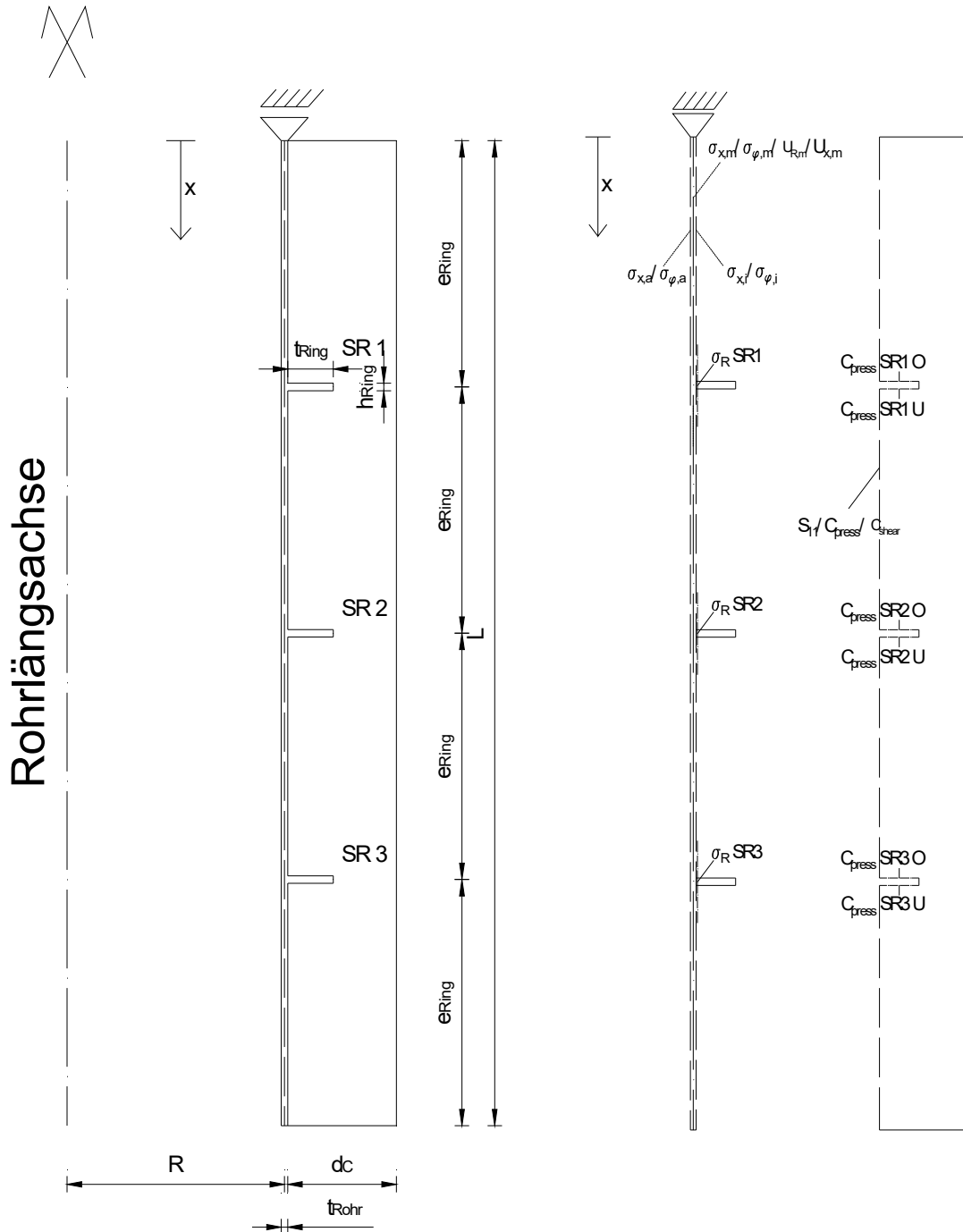


Abbildung A.1: Darstellung des statischen Systems sowie der Schnittführungen mit den zugehörigen Kenngrößen zur Ergebnisdarstellung für den Fall 1

In Abbildung A.1 ist das statische System für den Fall 1 mit allen seinen in weiterer Folge verwendeten Kenngrößen dargestellt. Des Weiteren werden alle verwendeten Schnittführungen sowie die ausgelesenen Kenngrößen aus diesen Schnitten beschrieben.

Untersuchte Lastfälle:

- LF1: Innendruck p_i alleine
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$
- LF2: -10° C ; Abkühlung im Stahlrohr und den Schubringen um -10° C
- LF2: $+10^\circ \text{ C}$; Erwärmung im Stahlrohr und den Schubringen um $+10^\circ \text{ C}$

A.2 Erläuterungen zu den Ergebnisdarstellungen

Im nachfolgenden Abschnitt erfolgt eine kurze Erläuterung zu den dargestellten Ergebnissen. Die gewählte Reihenfolge der Abbildungen ist in allen Anhängen gleich, wobei es zu kleinen Abänderungen kommen kann. Betroffen sind hier die Abbildungen der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr sowie die prozentuelle Aufteilung der Schubringkräfte. Da es in gewissen Fällen zu keiner Übertragung von Kontaktspannungen sowie Schubringkräften kommt und diese somit Null sind, wird auf eine Darstellung dieser Diagramme verzichtet. Des Weiteren wird darauf verzichtet, in allen Fällen die Kontaktspannungen zwischen Beton und den Schubringen sowie den Spannungen über die Dicke der Schubringe darzustellen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich ein klarer Trend der Spannungsverläufe erkennen lässt und es bei einer Geometrieänderung zu keiner qualitativen Änderung dieser Verläufe kommt. Das verformte FE-Modell in jedem Anhang nur für die Wanddicke $t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$ dargestellt, da die anderen Rohrwanddicken ein ähnliches Bild aufweisen.

A.3 Fall 1 bei Lastfall Innendruck

A.3.1 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$

In Abbildung A.2 werden die Längsnormalspannungen σ_x über die Rohrlänge dargestellt. Diese wirken parallel zur Rohrachse und zeigen die Biegespannungen aufgrund der Schubringe. Die Schnitte, an welchen die Spannungen $\sigma_{x,a}$, $\sigma_{x,m}$, $\sigma_{x,i}$, abgelesen werden, sind in Abbildung A.1 dargestellt. Die Spannung $\sigma_{x,\text{max}}$ stellt die Längsspannungen dar, welche sich bei beidseitiger starrer Lagerung des Rohres (SF1) ohne Schubringen einstellen sollte. Berechnet wurde diese Spannung über die Umfangsmembranspannung $\sigma_{\varphi,m}$ multipliziert mit der Querdehnzahl $\nu = 0,3$. Der abgestufte Verlauf ergibt sich durch die Kraftübertragung der Schubringe und wird in Abbildung A.6 genauer erklärt.

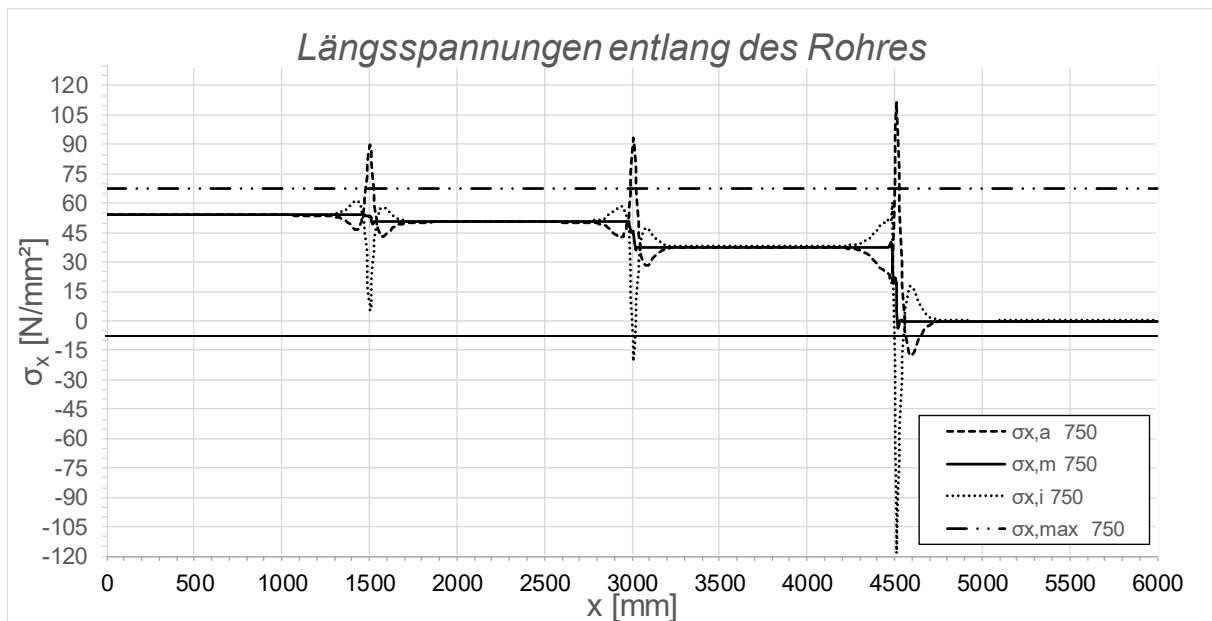


Abbildung A.2: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

Die in Abbildung A.3 dargestellten Umfangsspannungen zeigen einen sehr konstanten Verlauf über die Länge des Rohres. Es kommt hier zu einer Abnahme der Umfangsspannungen im Bereich der Schubringe. Durch dies sind die Biegespannungen der Schubringe deutlich erkennbar. Eine weitere Erklärung für diesen Abfall ist die höhere Steifigkeit sowie Rohrfläche an dieser Stelle. Vom fest gehaltenen Punkt an der Stelle 0 zu dem freien Ende an der Stelle 6000 ist eine sehr geringe Abnahme der Umfangsspannung erkennbar.

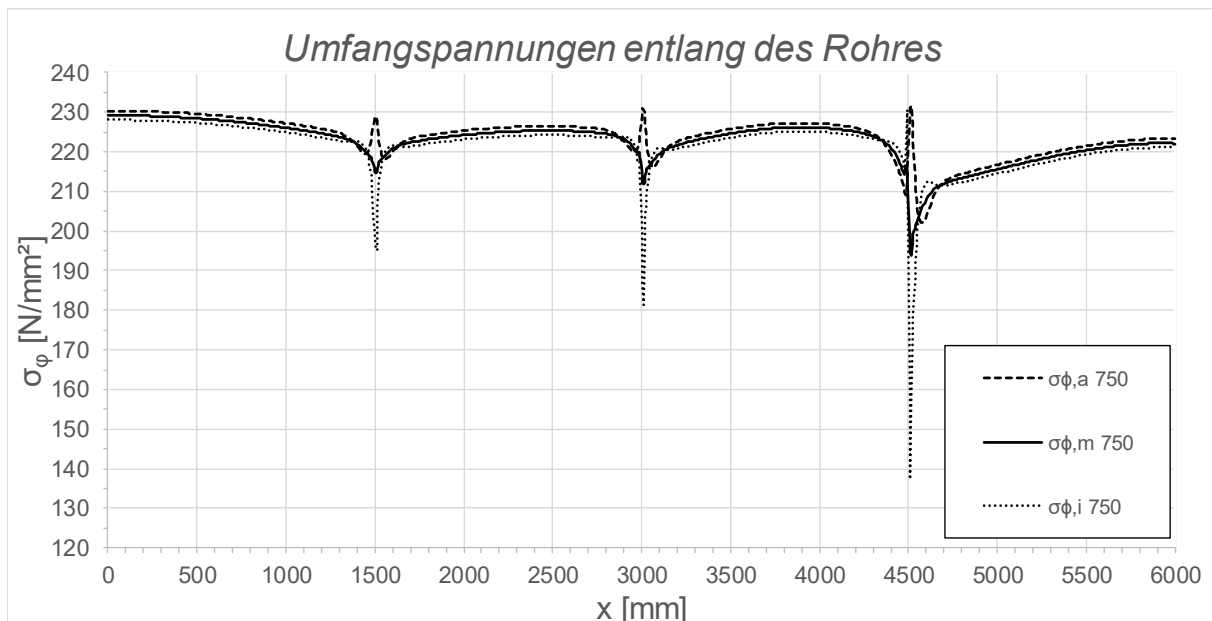


Abbildung A.3: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

Da es im Bereich durch die Ringe zu einer Behinderung der Radialverformung kommt, lässt sich gut am Verlauf U_r erkennen (vgl. Abbildung A.4). Diese Behinderung lässt sich auf die radiale Steifigkeitsänderung in diesem Bereich zurückführen. Bei der Längsverformung U_x ergibt sich eine kontinuierliche Zunahme der Verformung. Der Einfluss der Schubringe äußert sich in diesem Fall durch Knicke im Verformungsverlauf.

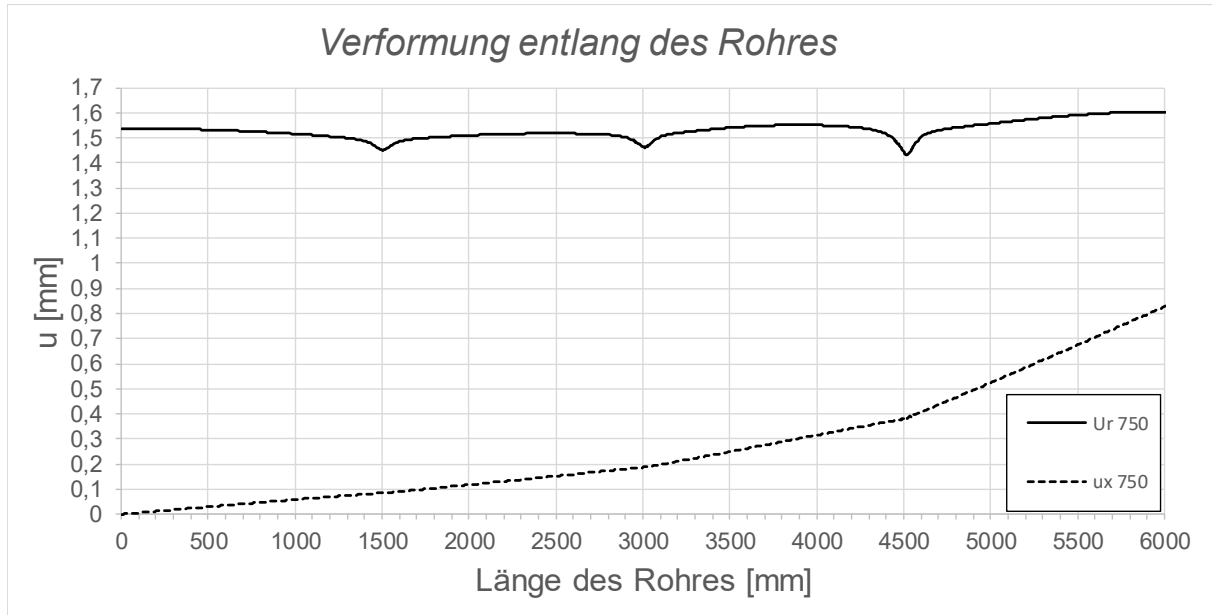


Abbildung A.4: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

In der Kontaktfuge zwischen dem Stahlrohr sowie dem Betonkörper wurden die Radialspannungen S_{11} der Betonoberfläche sowie die Kontaktspannungen C_{press} in der Kontaktfuge als Kontrolle gegenübergestellt (vgl. Abbildung A.5). Diese sind nahezu ident. Die Schubspannungen C_{shear} in der Kontaktfuge sind im folgendem in jeder dieser Abbildungen in der Legende angeführt jedoch erfolgt die Darstellung nur in den Fällen wo eine Reibung vorhanden ist.

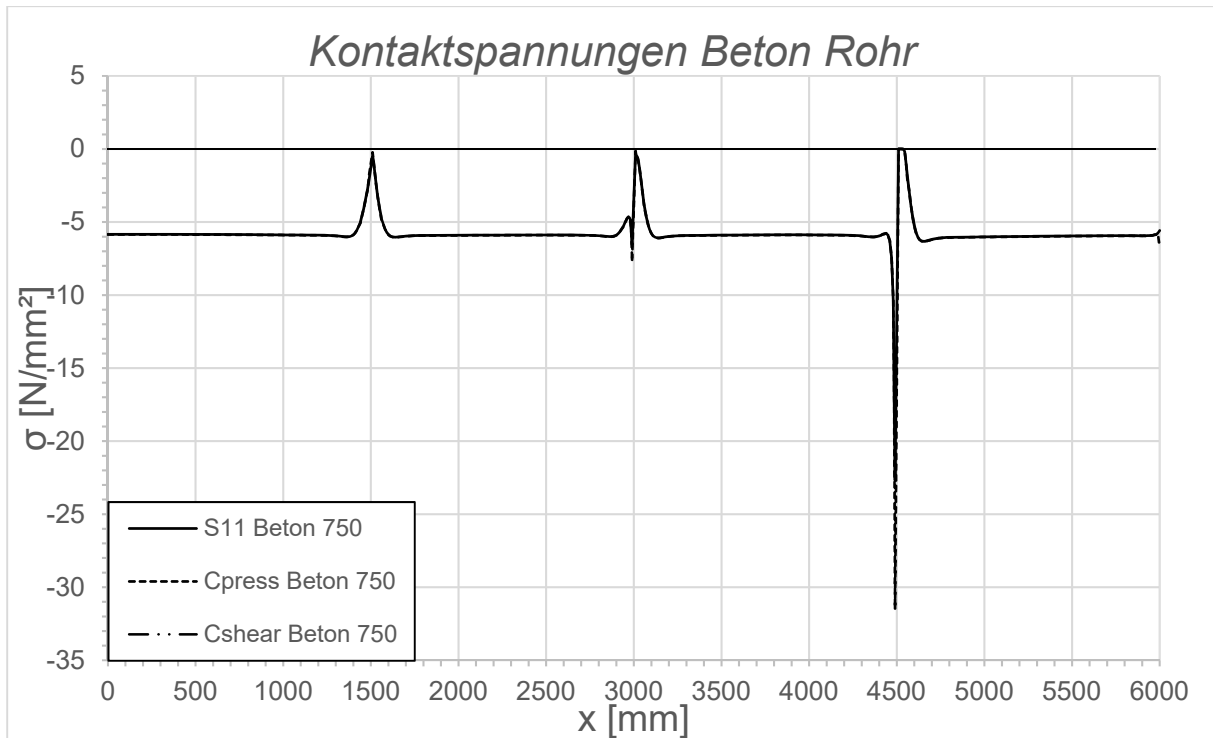


Abbildung A.5: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

Die in Abbildung A.6 dargestellten Längsmembranspannungen dienen zur besseren Veranschaulichung der Einflüsse durch die vorhandenen Schubringe. Aufgrund der Lagerungsbedingungen sowie der Belastung aus Innendruck kommt es zu ungleichen Schubringkräften. Die angegebenen Zahlen stellen die übertragenen Schubringkräfte in MN dar und wurden wie folgt berechnet: $F_{SR} = 2 * \Delta\sigma * R * t_{\text{Rohr}} * \pi$.

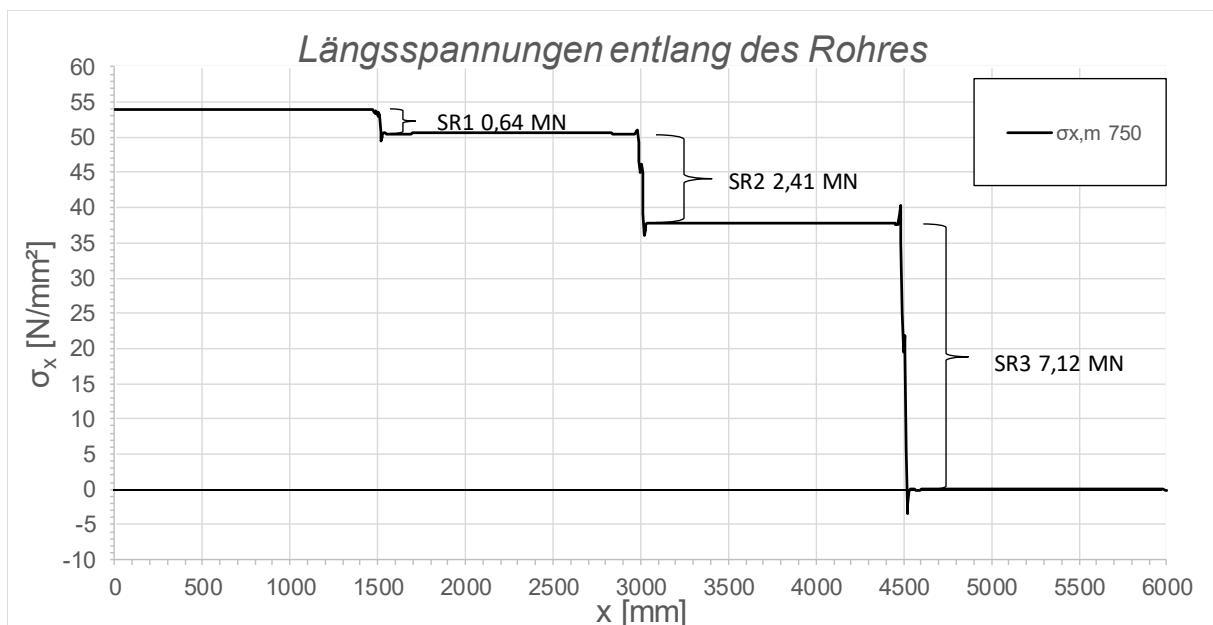


Abbildung A.6: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

Um einen noch besseren Überblick über die übertragenen Kräfte zu erhalten wird hier die prozentuelle Aufteilung über die Schubringe dargestellt (vgl. Abbildung A.7).

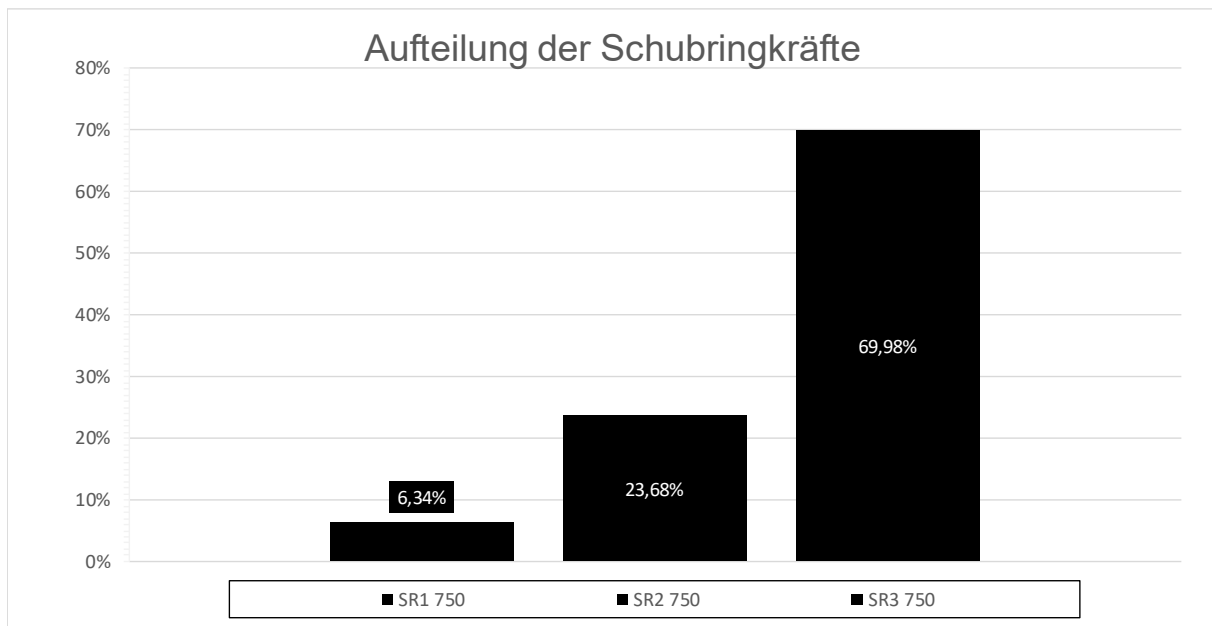


Abbildung A.7: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

In den Kontaktfugen zwischen den Schubringen und dem Betonmantel kommt es zu Kontaktspannungen (vgl. Abbildung A.8 bis Abbildung A.10). Diese wurden zur besseren Veranschaulichung getrennt an der Oberseite bzw. Unterseite des Schubringes betrachtet. Die Spannungen C_{press} werden als Betrag der Spannung ausgegeben und wurden hier zur besseren Darstellung für die Unterseite mit dem Wert -1 multipliziert. Bei allen hier dargestellten Spannungen handelt es sich um Druckspannungen. Beim eingetragenen Wert $c_{\text{el}} = 47 \text{ mm}$ handelt es sich um die elastische Pressungslänge aus dem Forschungsprojekt „SR12“ [2]. Dieser dreiecksförmige Verlauf wurde aus den Berechnungen in diesem Forschungsbericht abgeleitet und wird hier als Gegenüberstellung dargestellt.

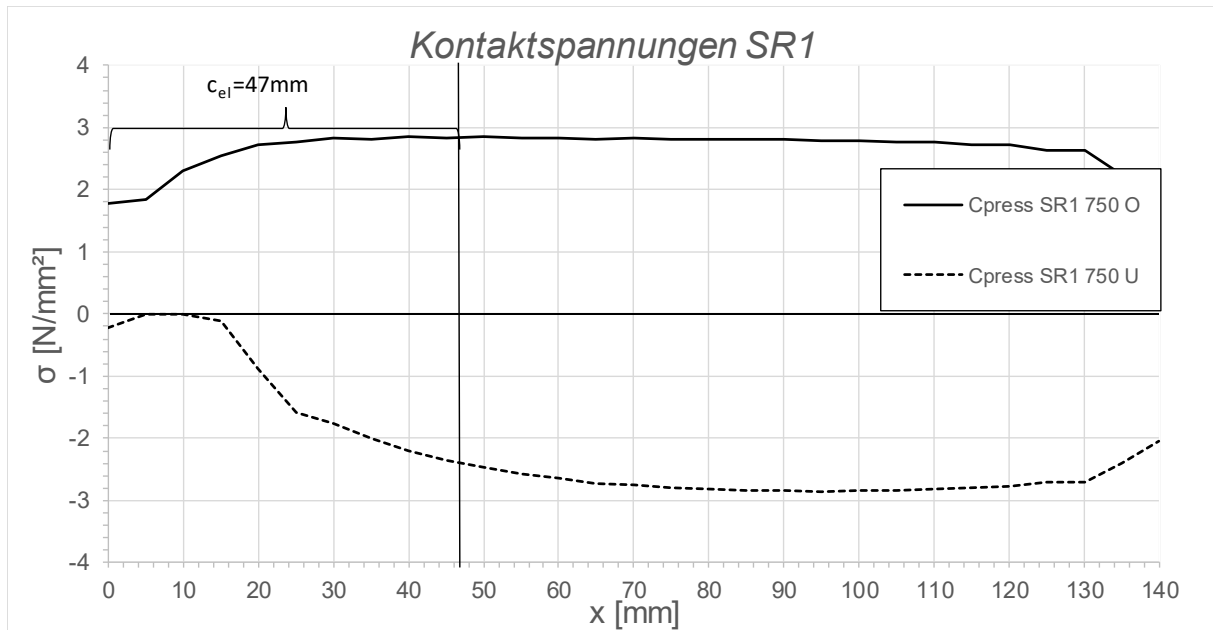


Abbildung A.8: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

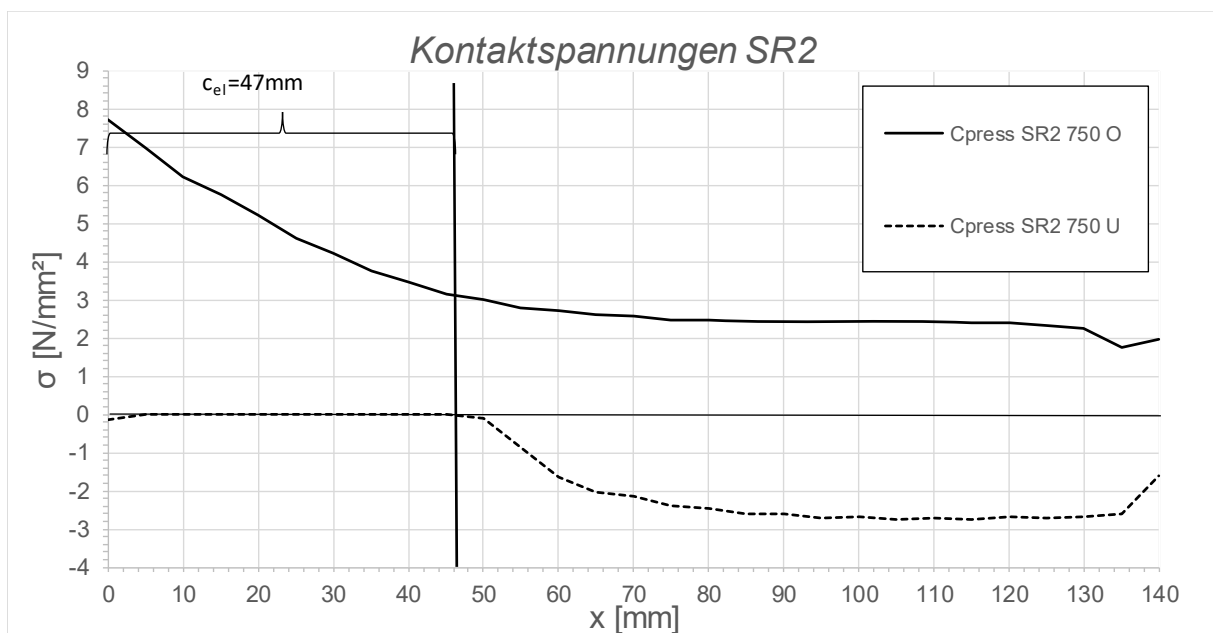


Abbildung A.9: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

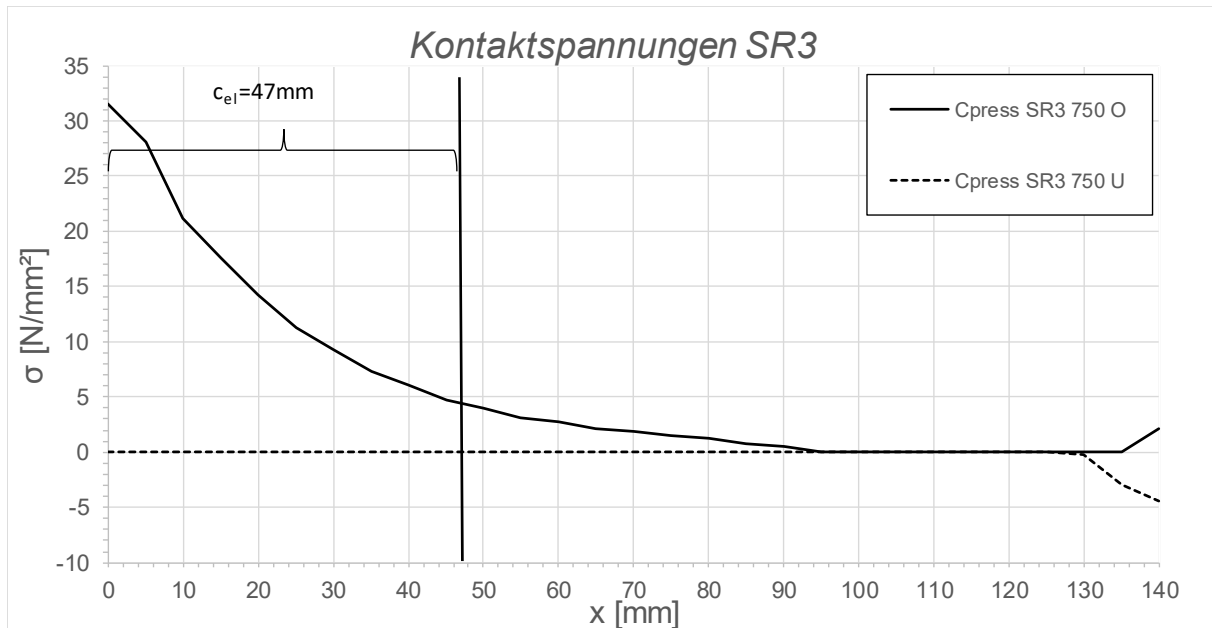


Abbildung A.10: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

Der Spannungsverlauf über die Dicke des Schubringes soll zur Veranschaulichung der Radialspannungen, welche sich durch die Verformungen ergeben, dienen (vgl. Abbildung A.11 bis Abbildung A.13). Man kann anhand des Verlaufes die Normalspannungen sowie die Biegespannungen im Schubring erkennen.

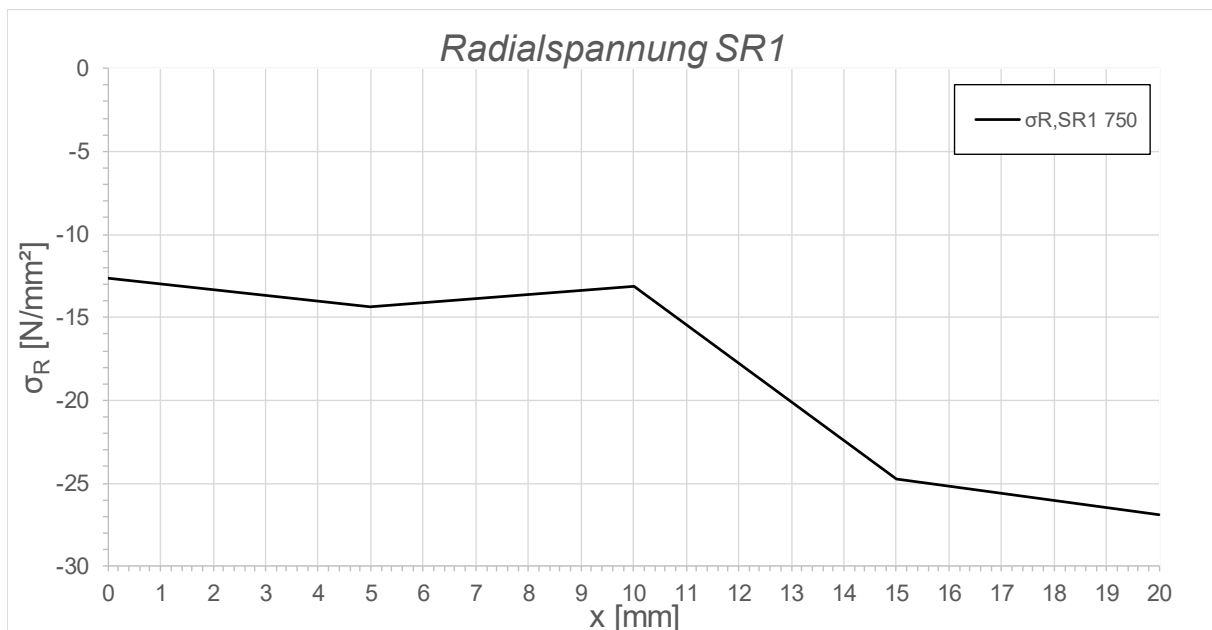


Abbildung A.11: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

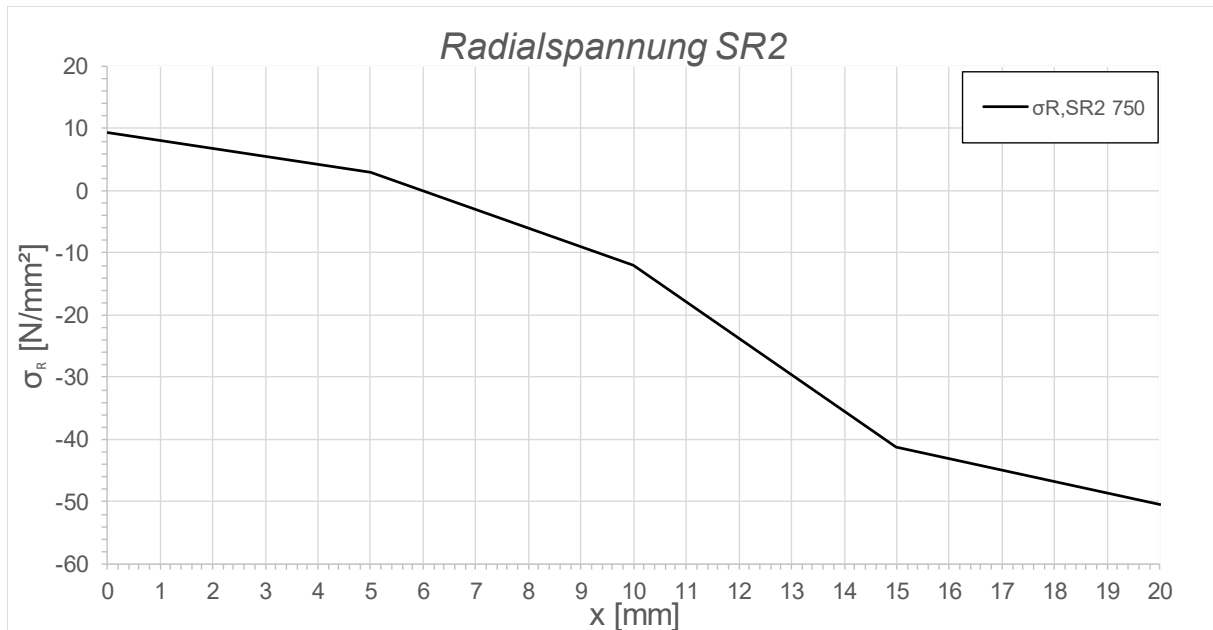


Abbildung A.12: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

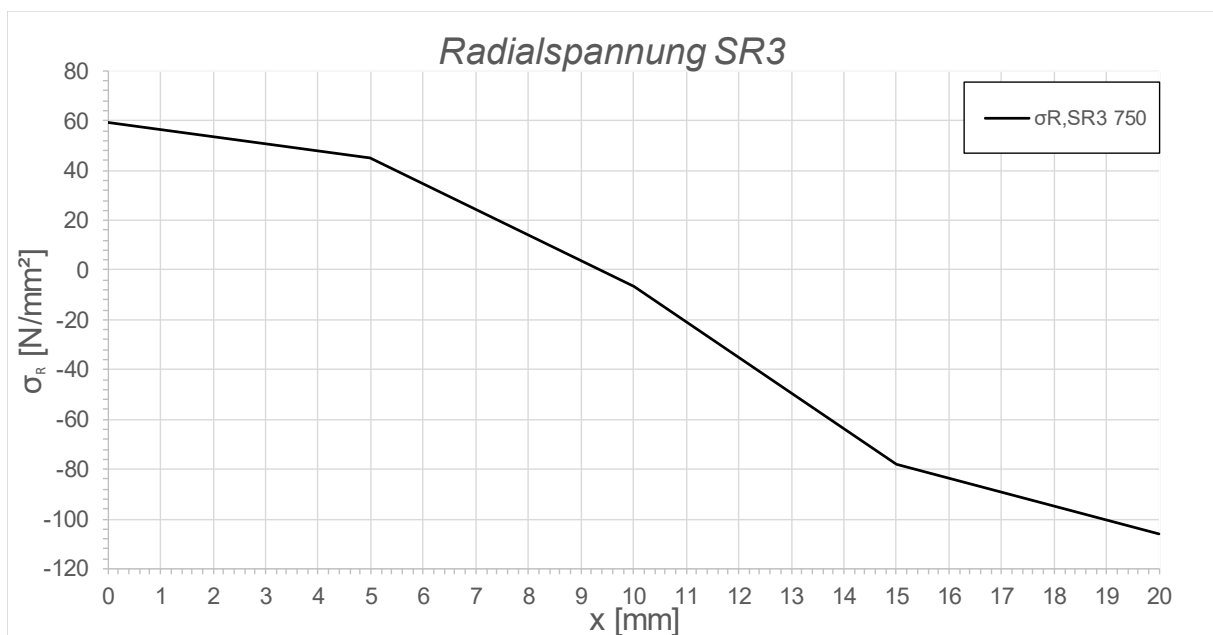


Abbildung A.13: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

A.3.2 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

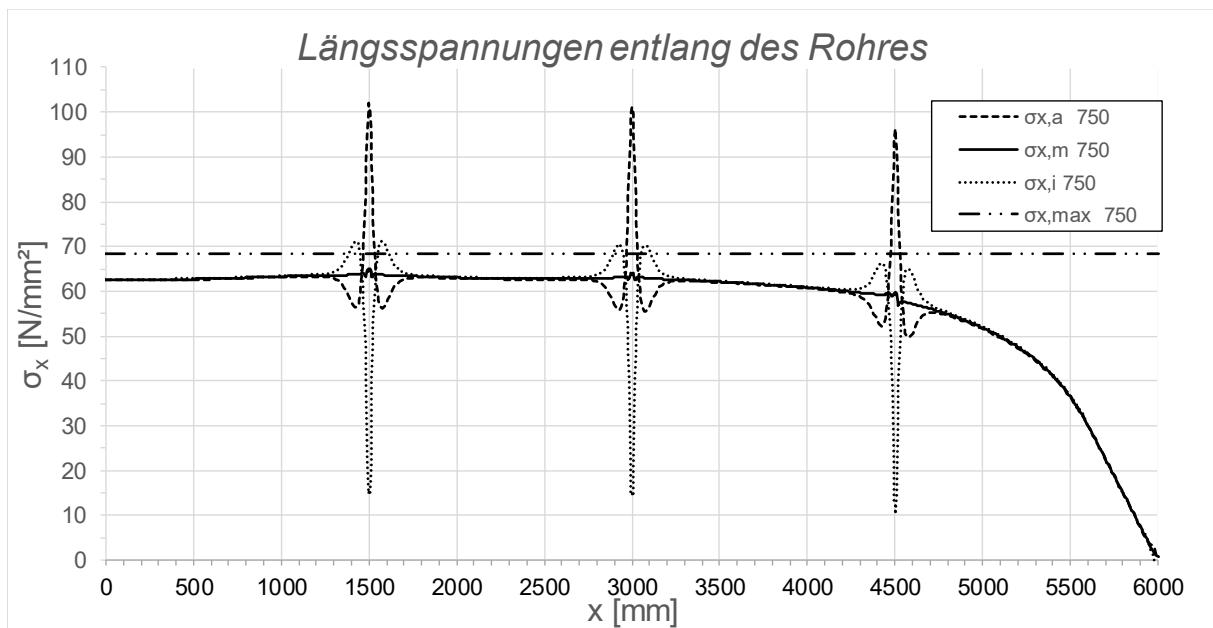


Abbildung A.14: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

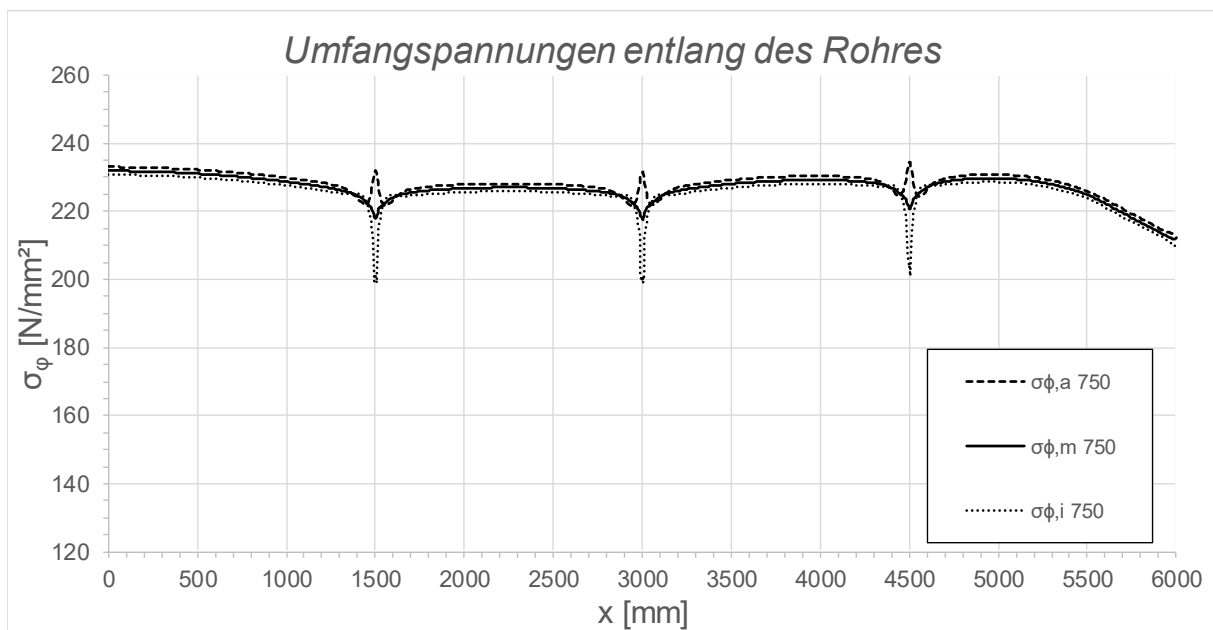


Abbildung A.15: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

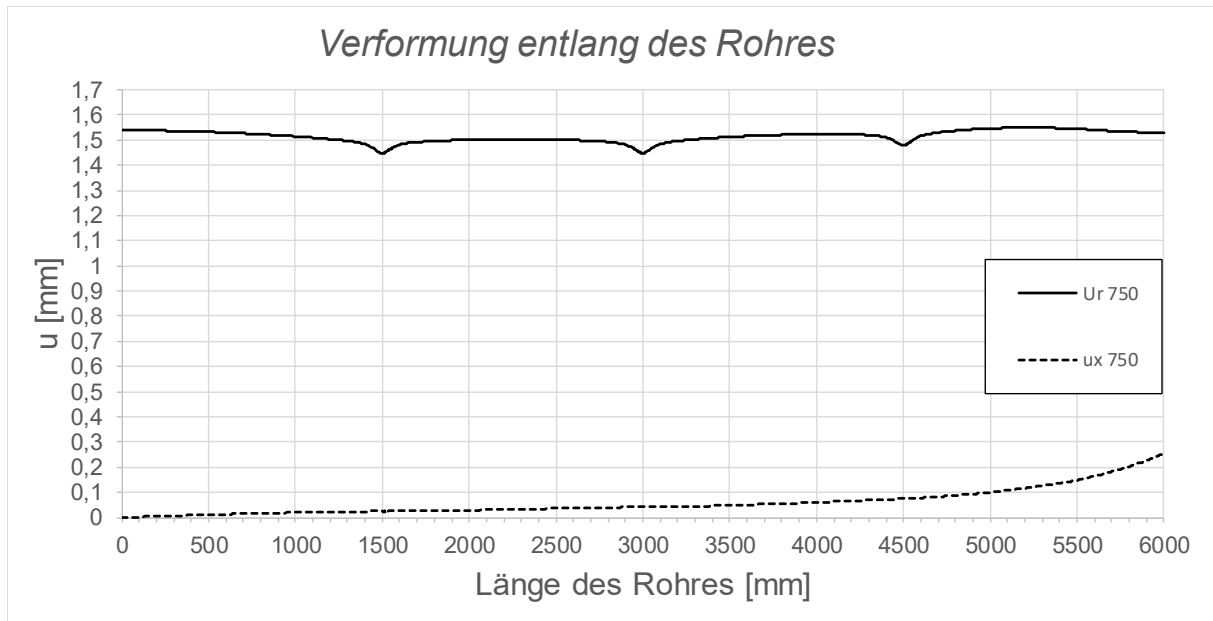


Abbildung A.16: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

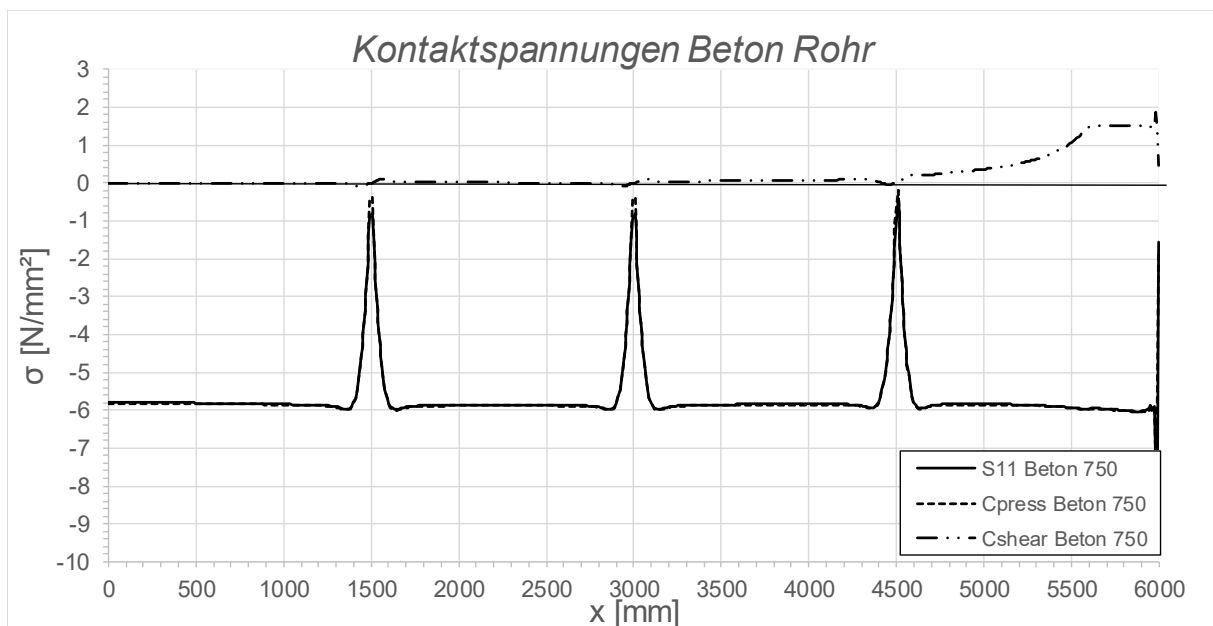


Abbildung A.17: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

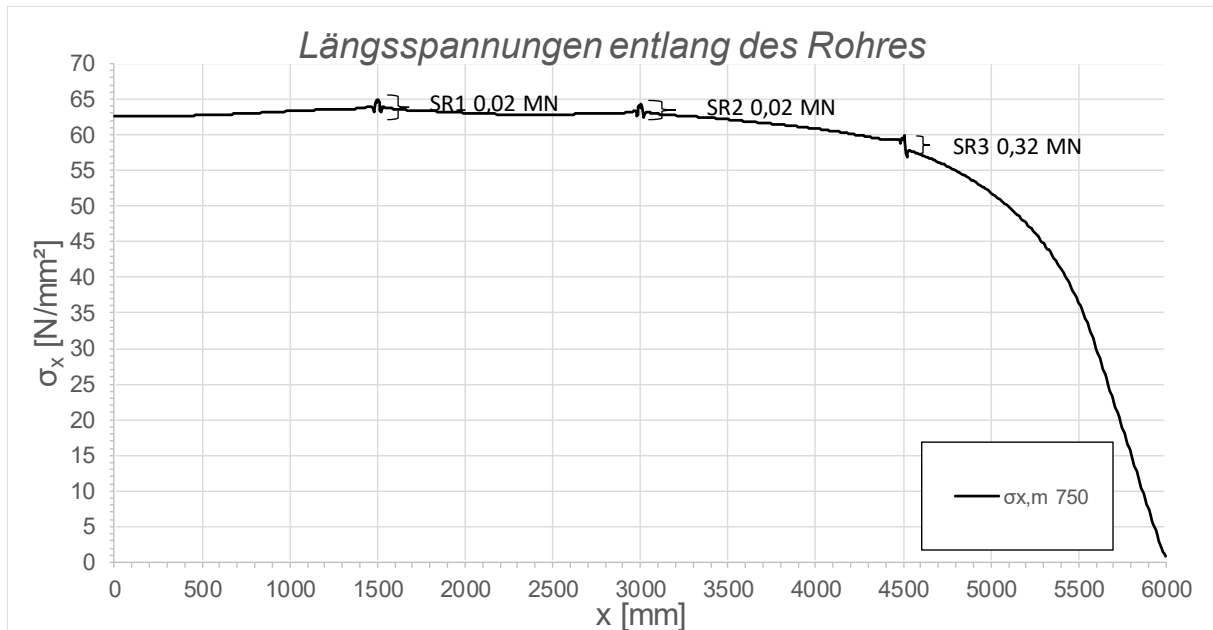


Abbildung A.18: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

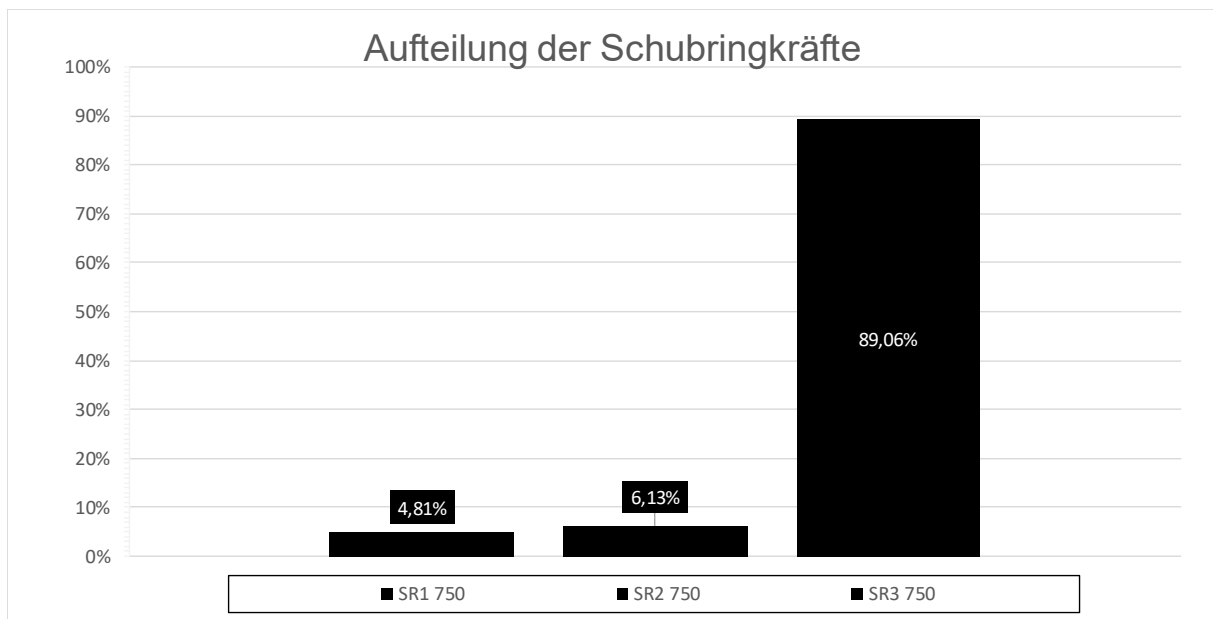


Abbildung A.19: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte Fall 1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

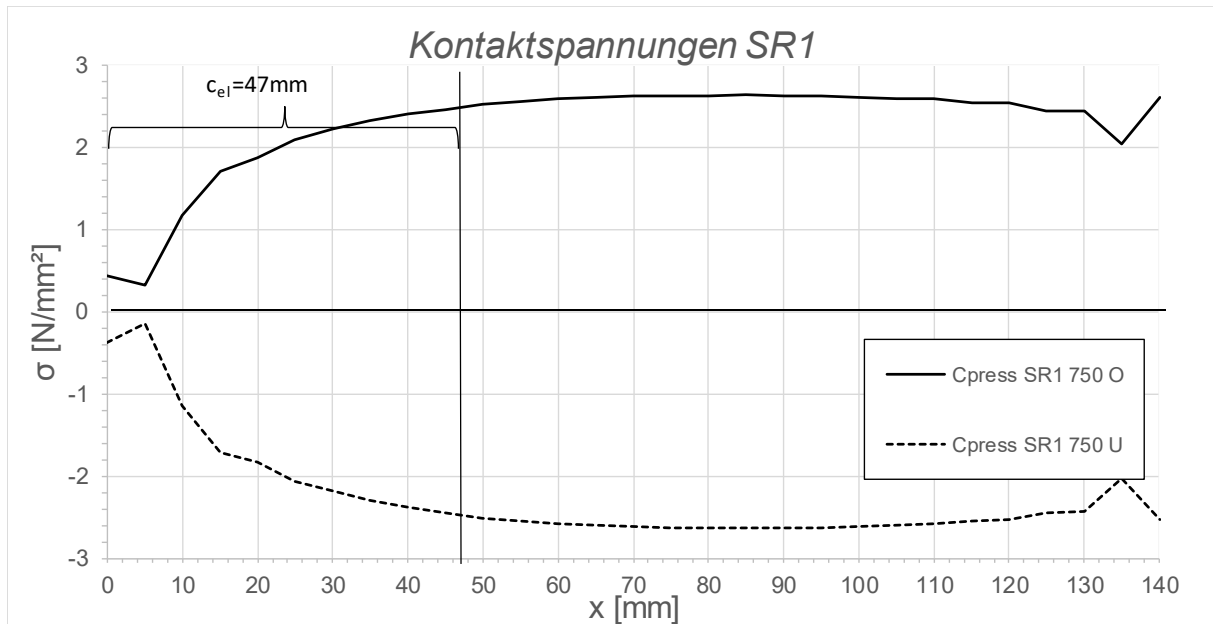


Abbildung A.20: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

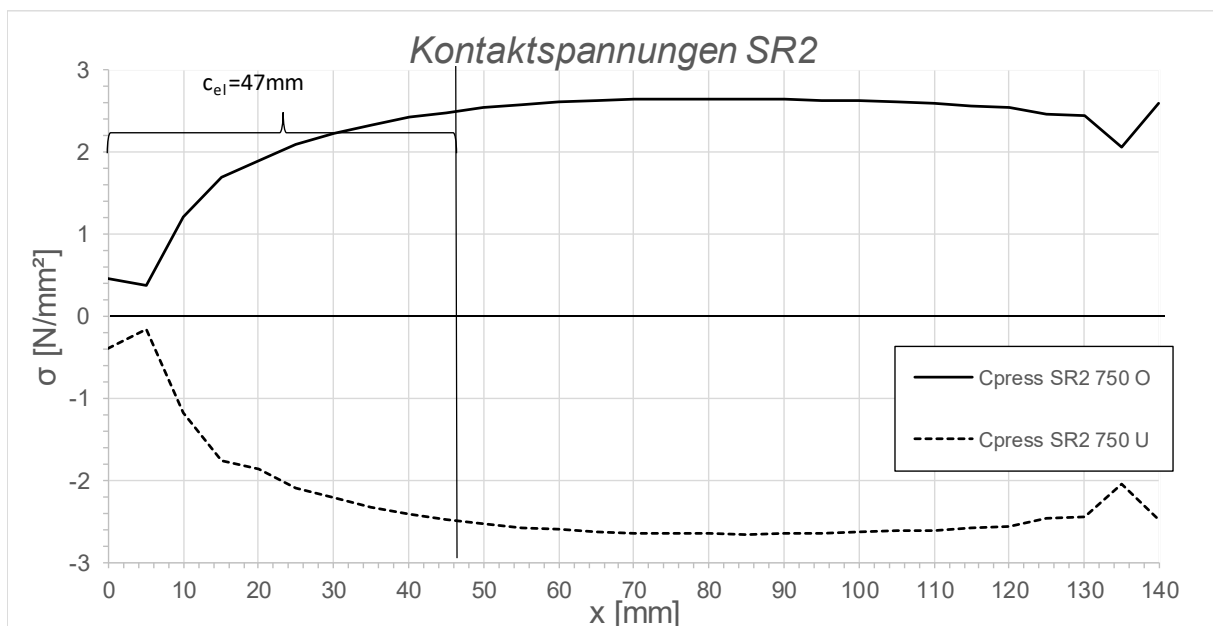


Abbildung A.21: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

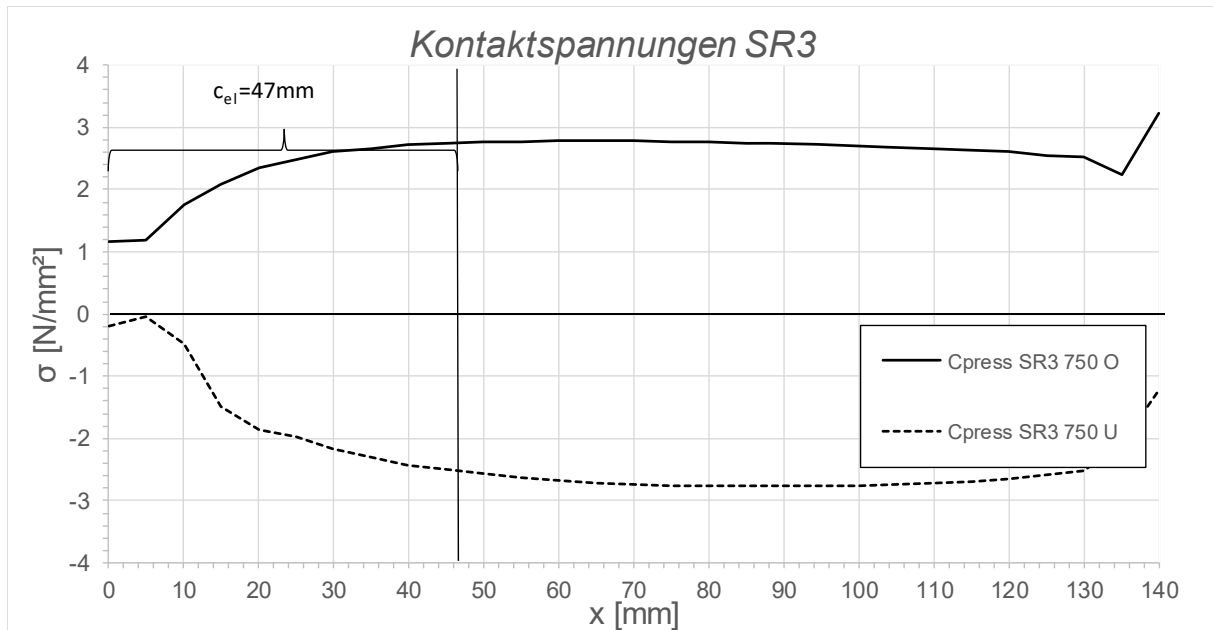


Abbildung A.22: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

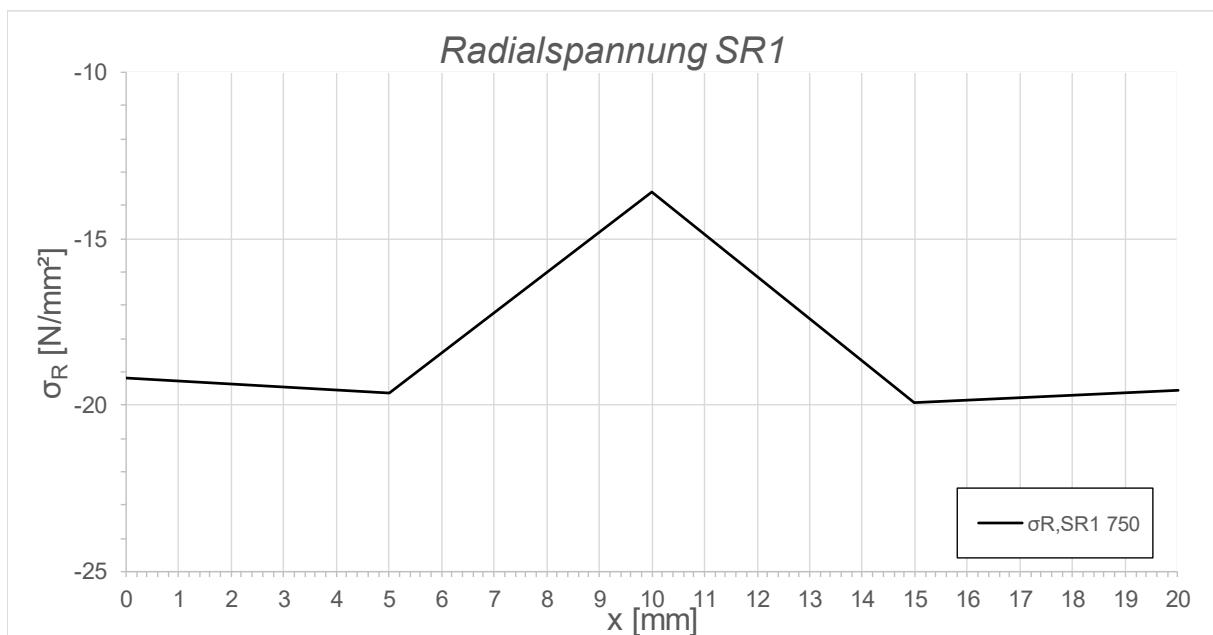


Abbildung A.23: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

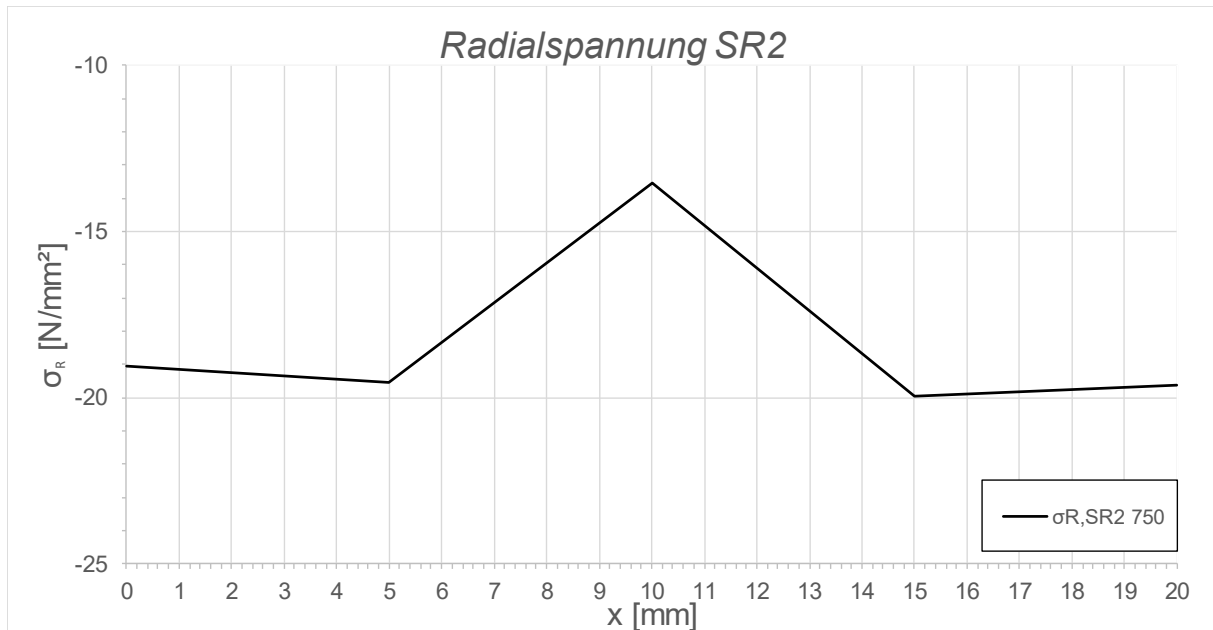


Abbildung A.24: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

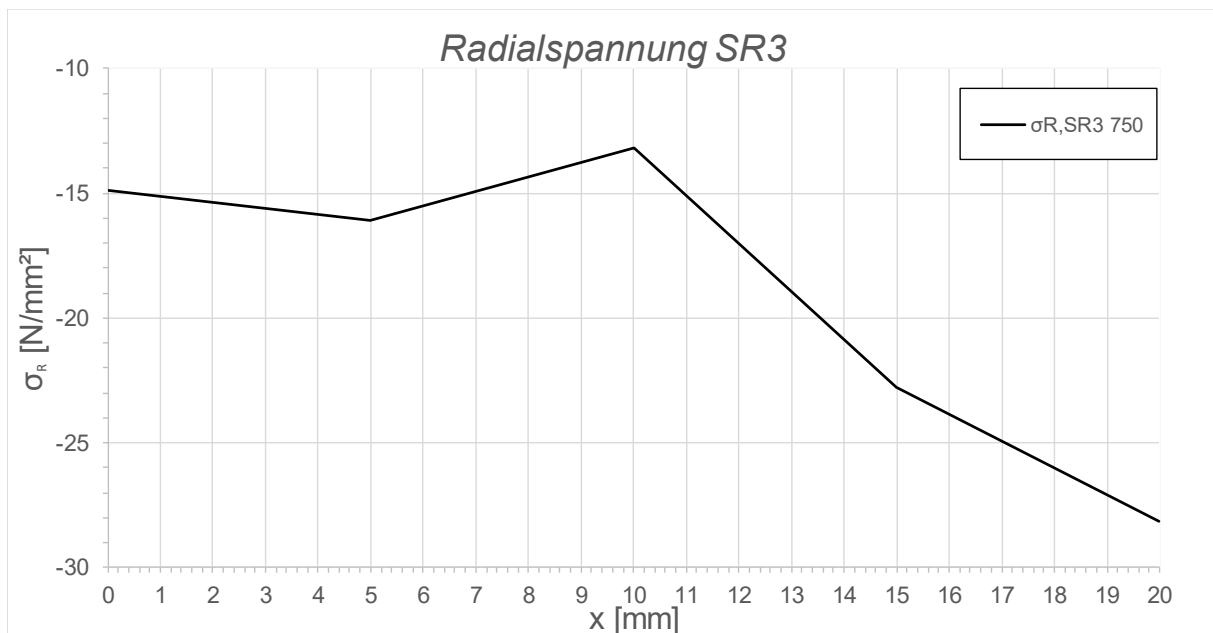


Abbildung A.25: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

A.3.3 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$

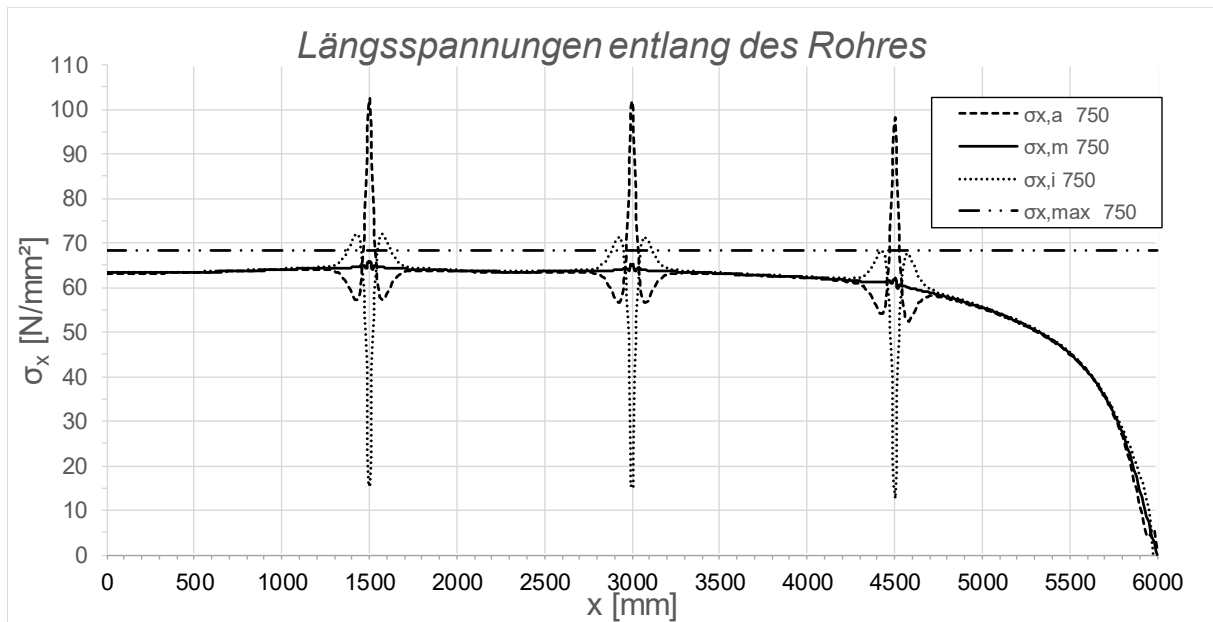


Abbildung A.26: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

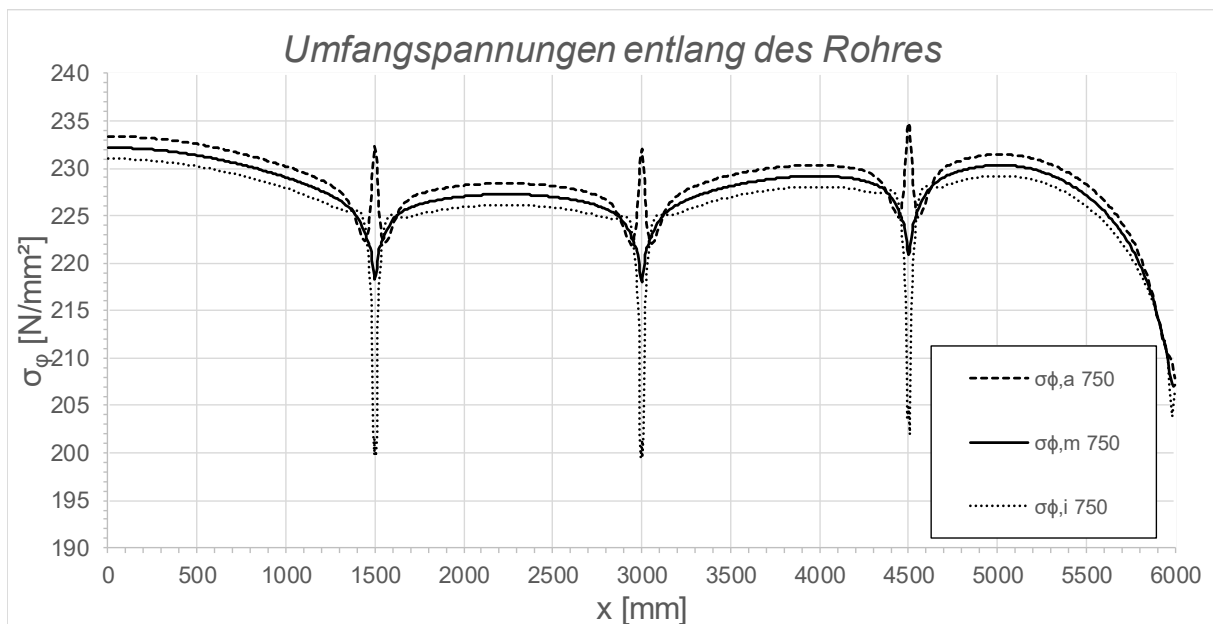


Abbildung A.27: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

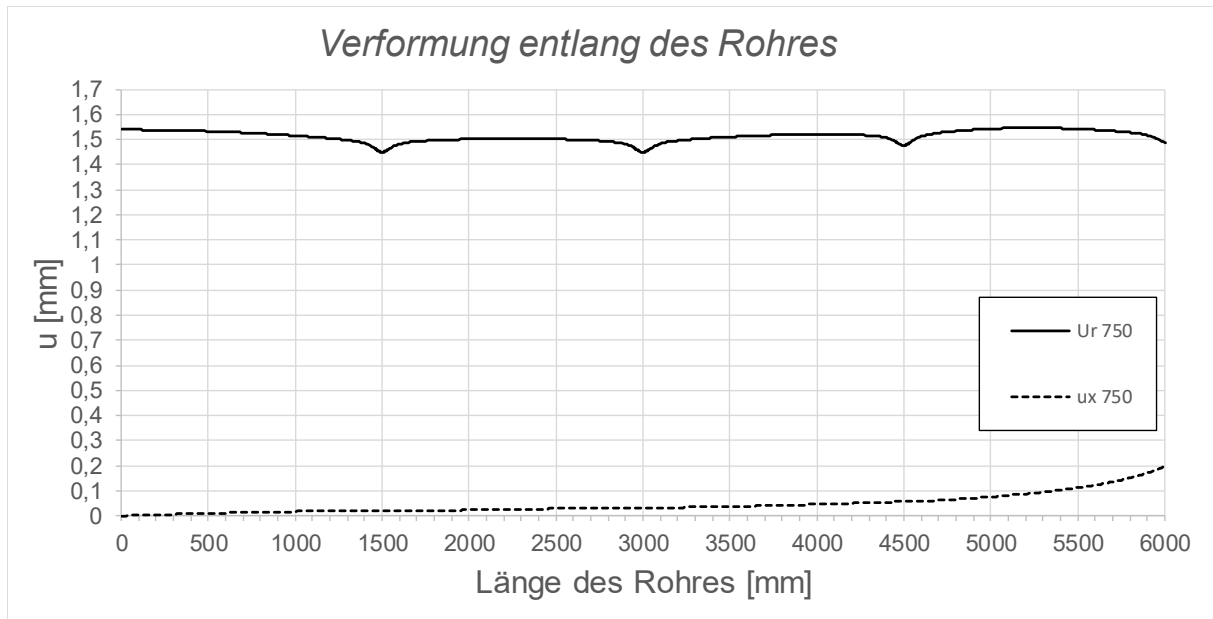


Abbildung A.28: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

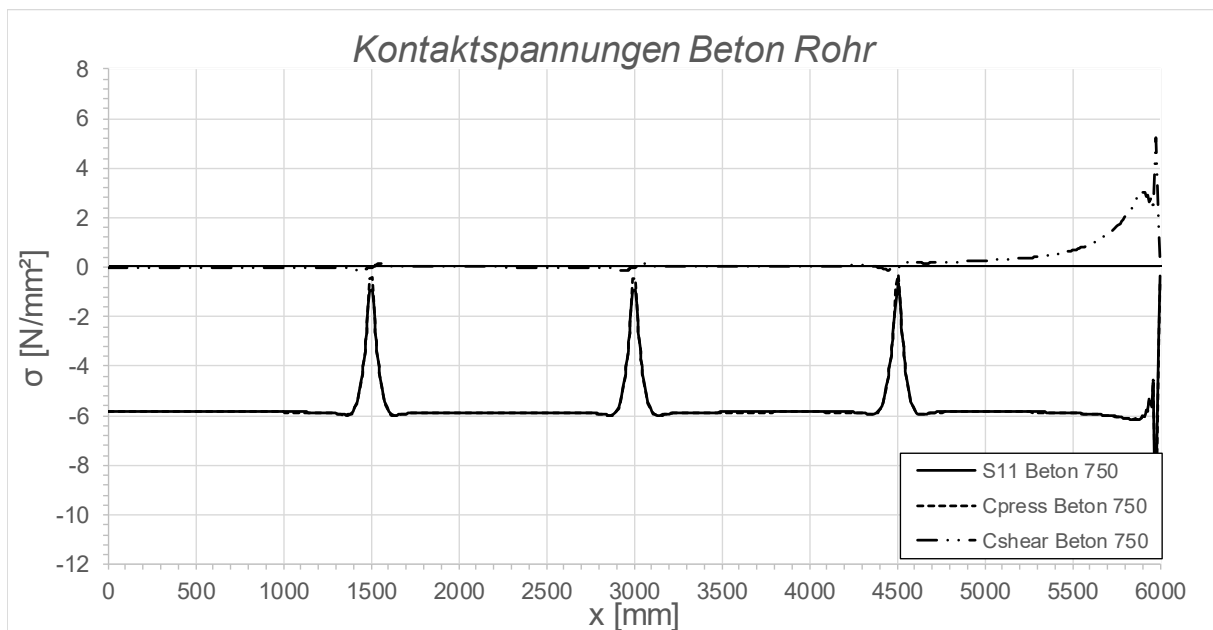


Abbildung A.29: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

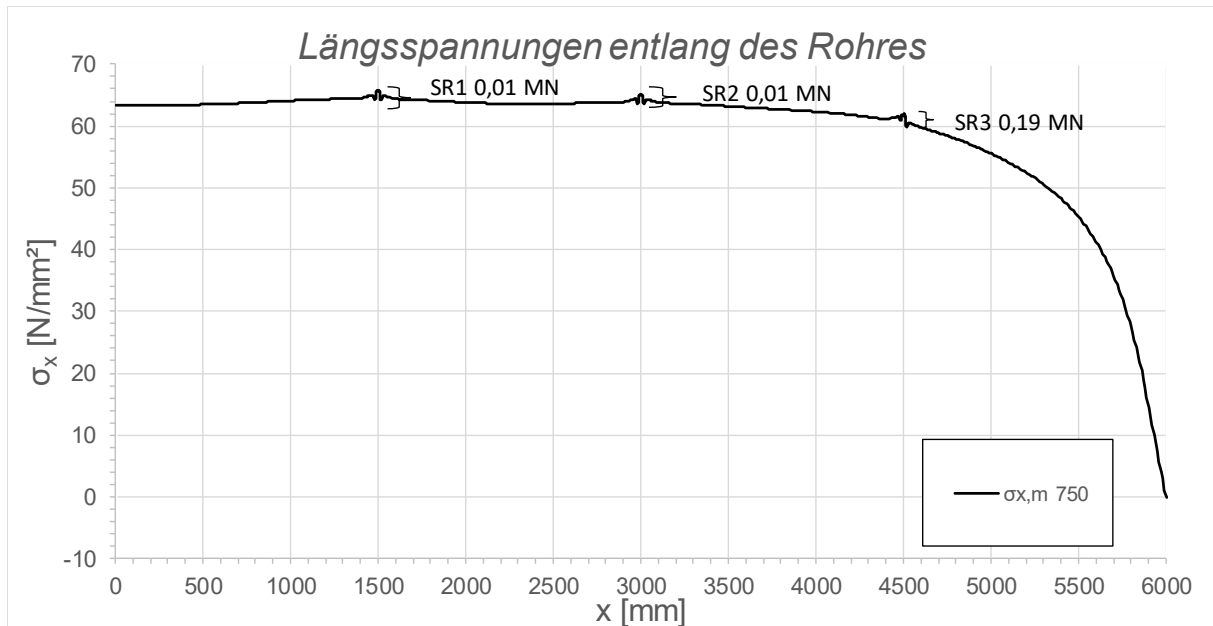


Abbildung A.30: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

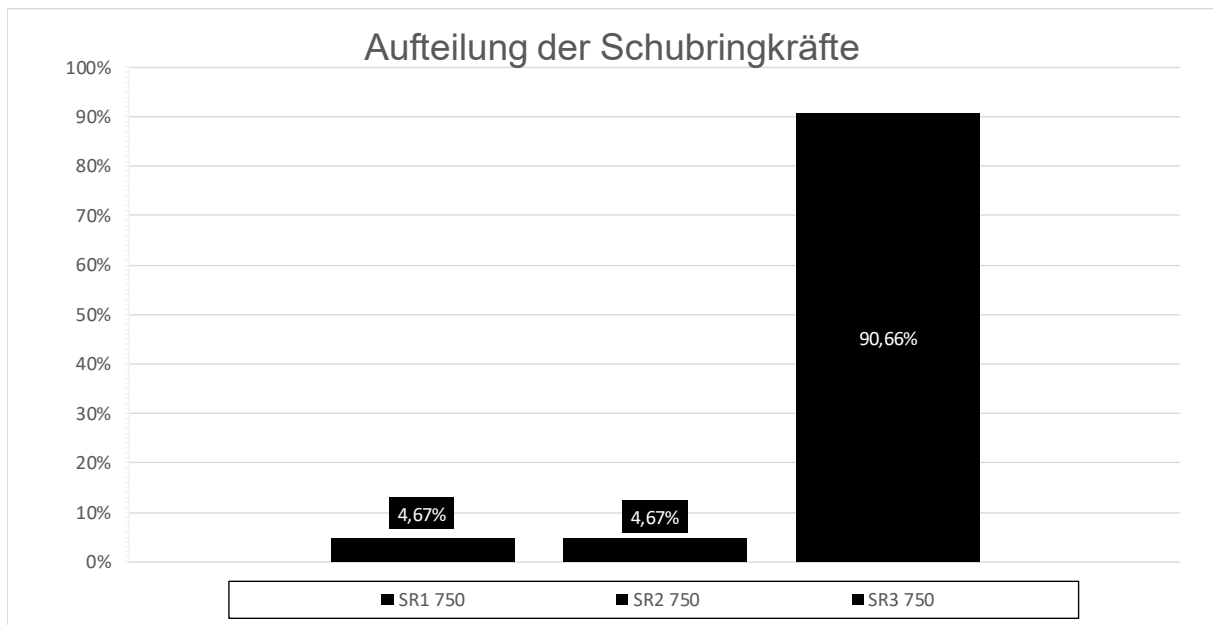


Abbildung A.31: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

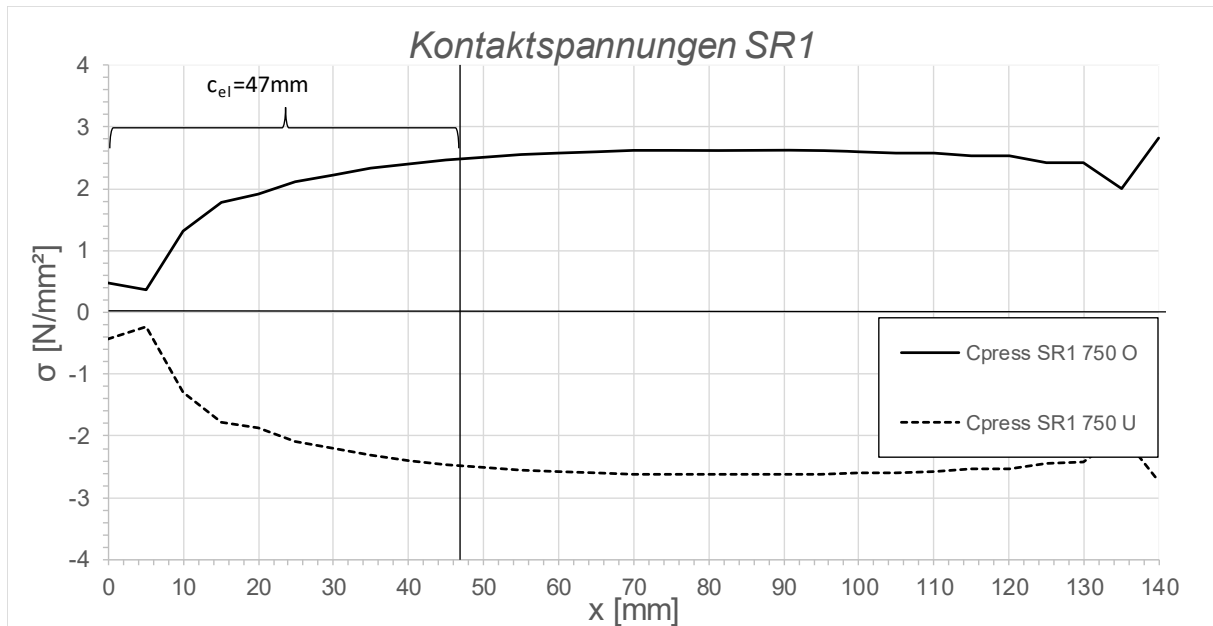


Abbildung A.32: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

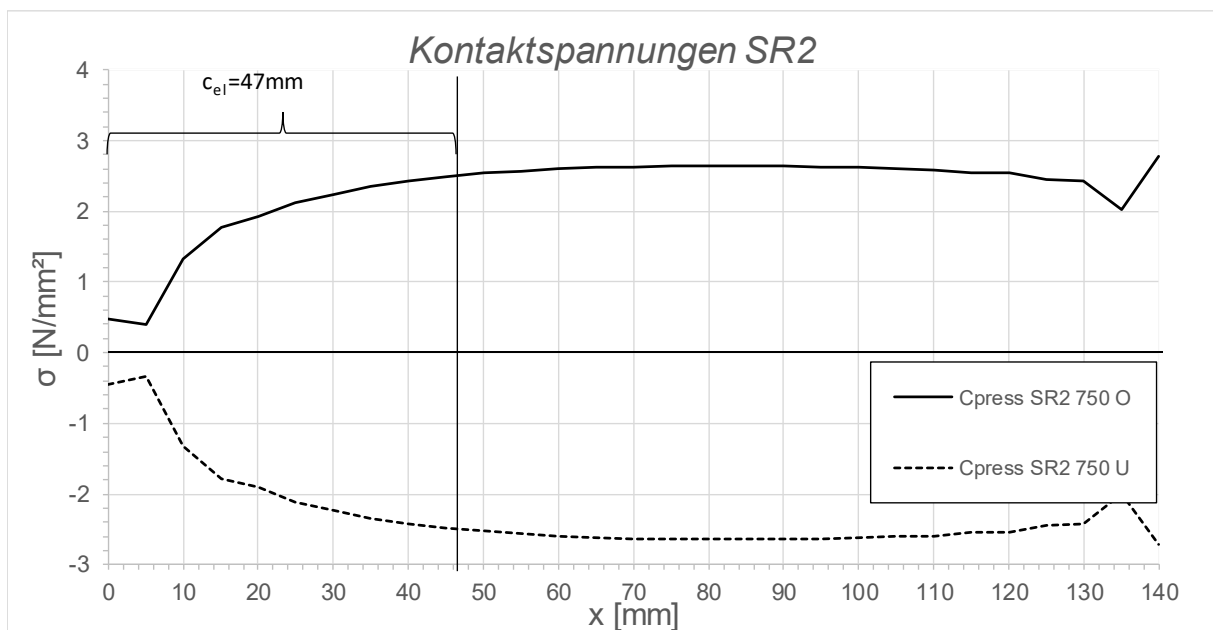


Abbildung A.33: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

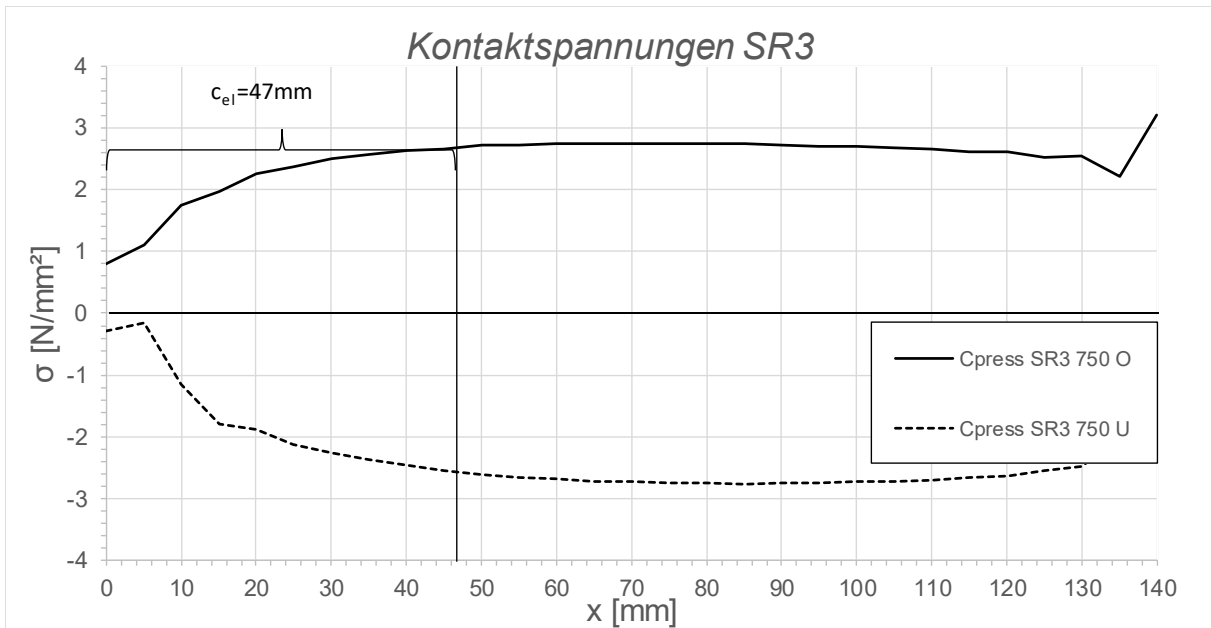


Abbildung A.34: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

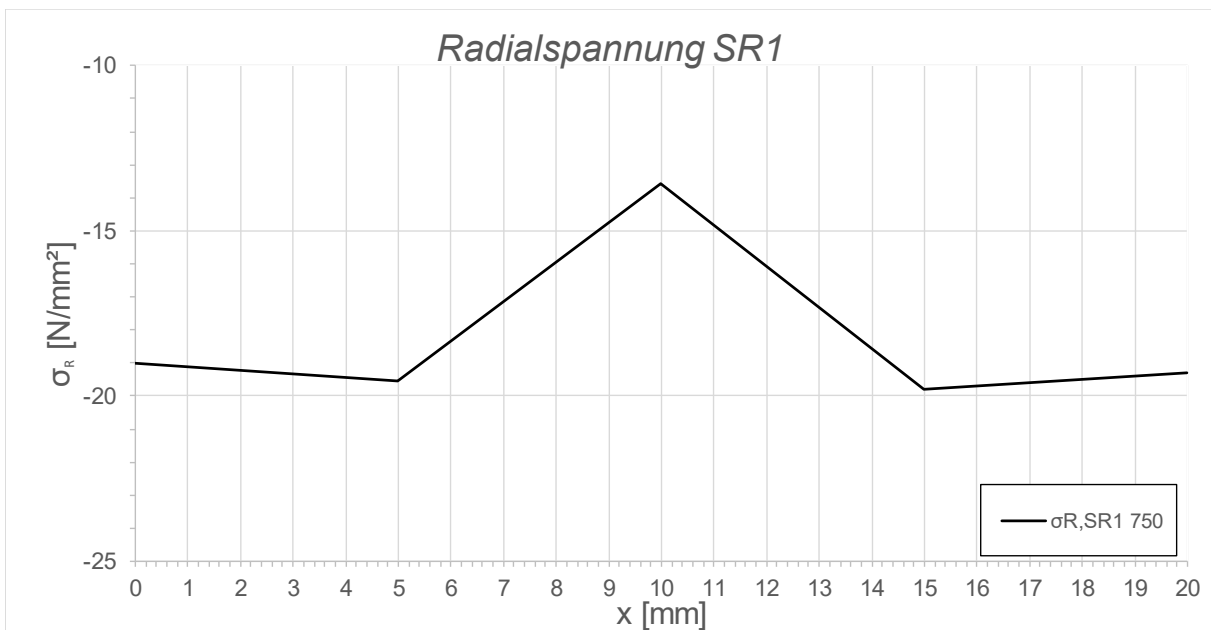


Abbildung A.35: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

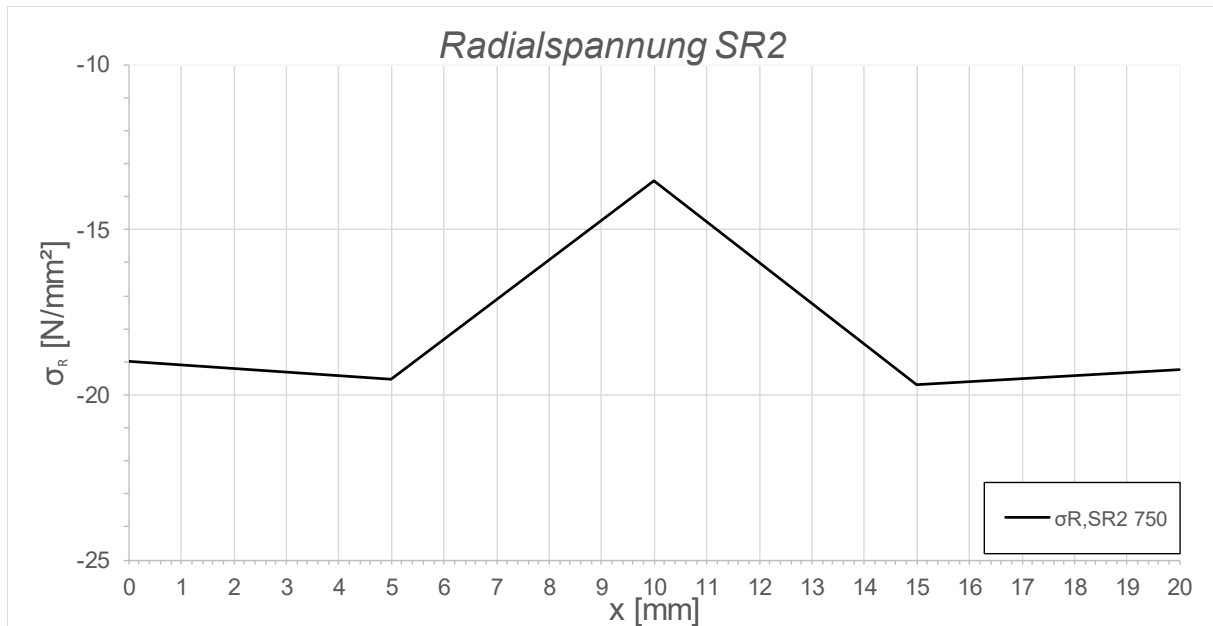


Abbildung A.36: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

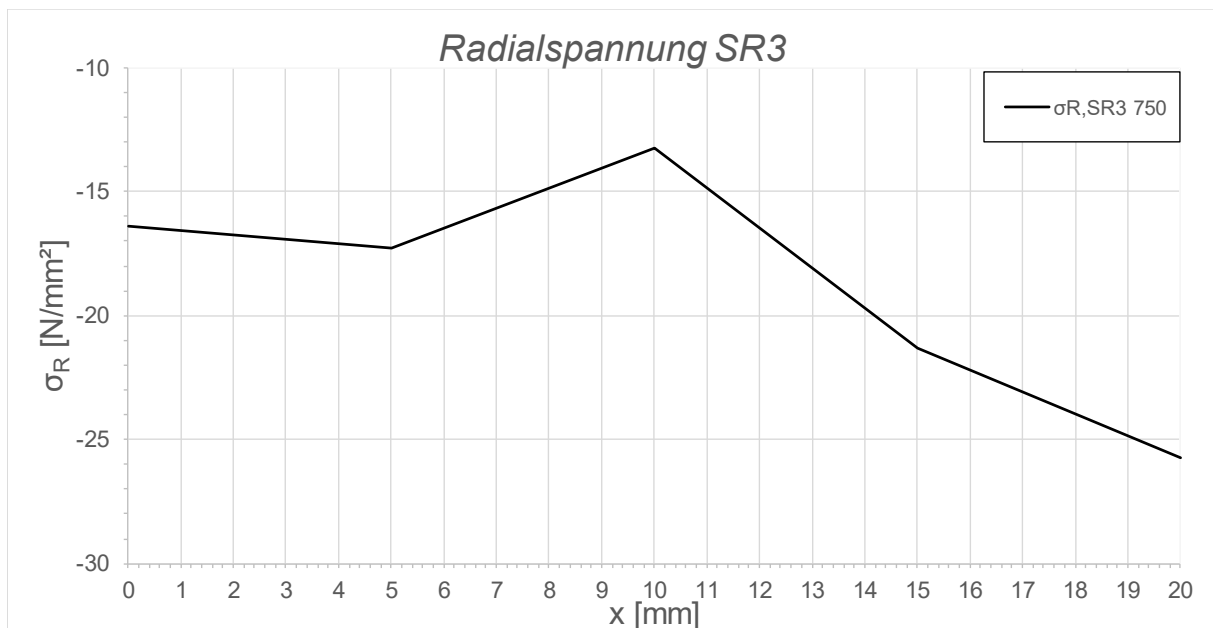


Abbildung A.37: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

A.3.4 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$

Im folgenden Beispiel wurde eine Vergleichsrechnung mit unterschiedlichen Betonmantelstärken d_c durchgeführt um den Einfluss auf die Berechnungsergebnisse genauer betrachten zu können. Dieses Beispiel wird in Abschnitt 6.1 genau beschrieben.

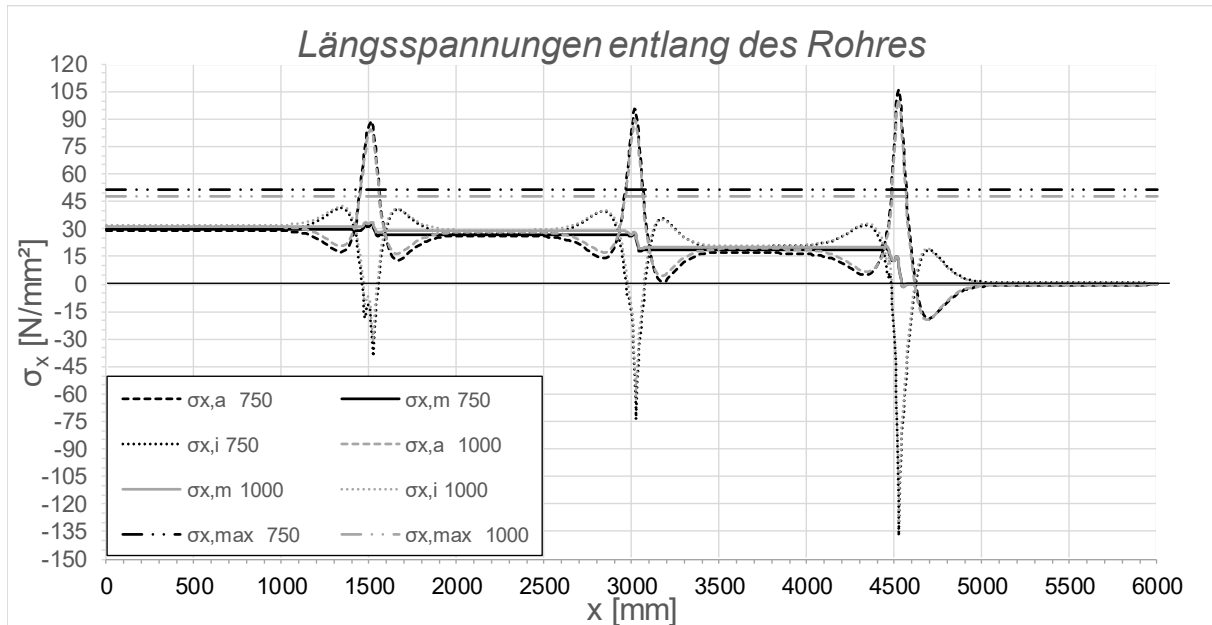


Abbildung A.38: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

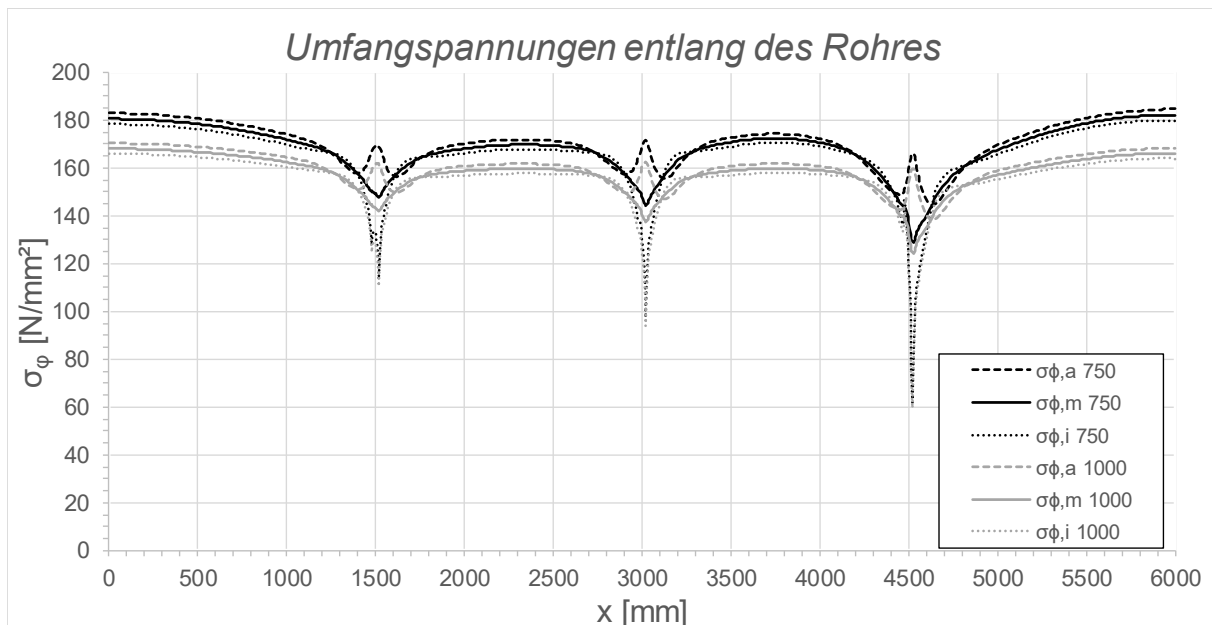


Abbildung A.39: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

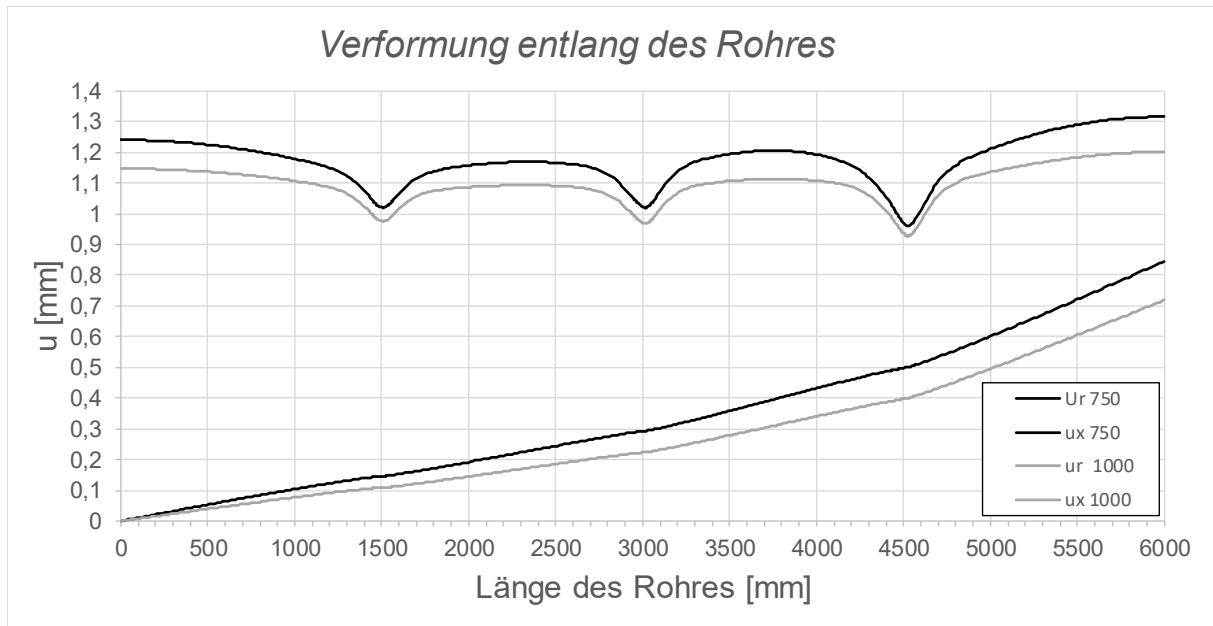


Abbildung A.40: Darstellung Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

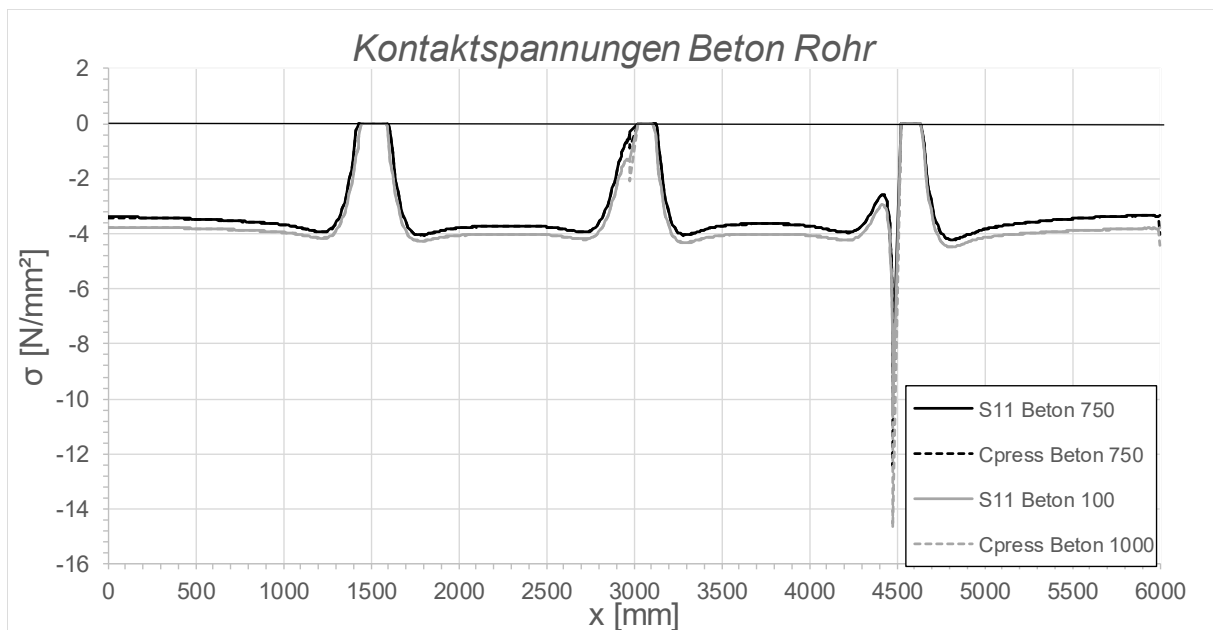


Abbildung A.41: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

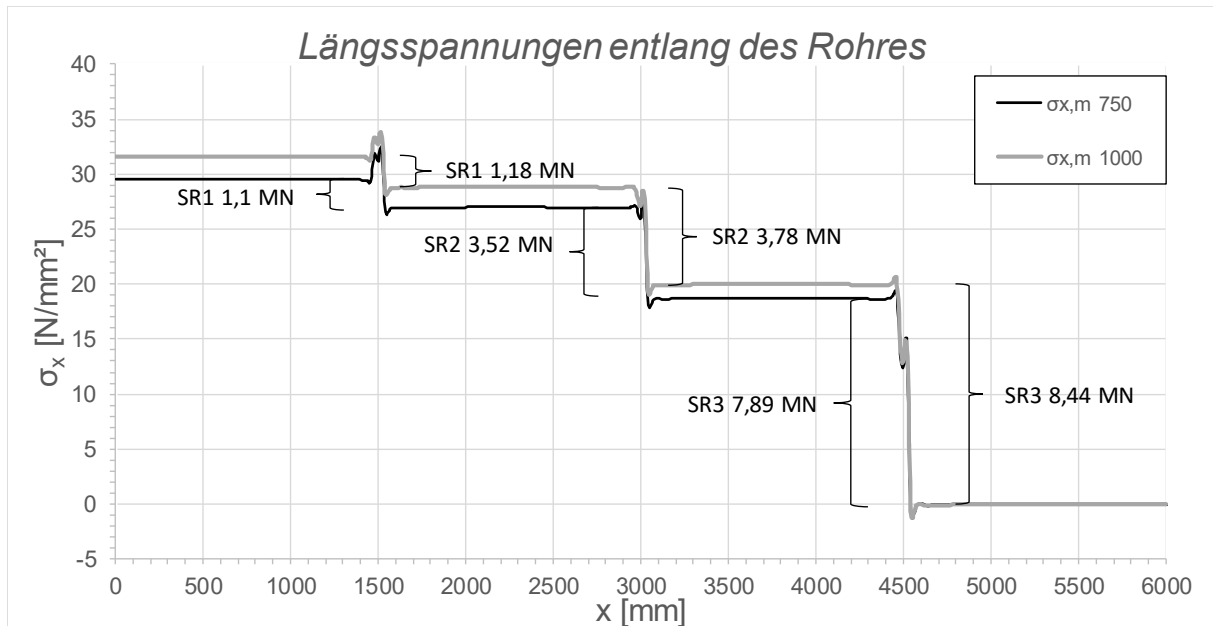


Abbildung A.42: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

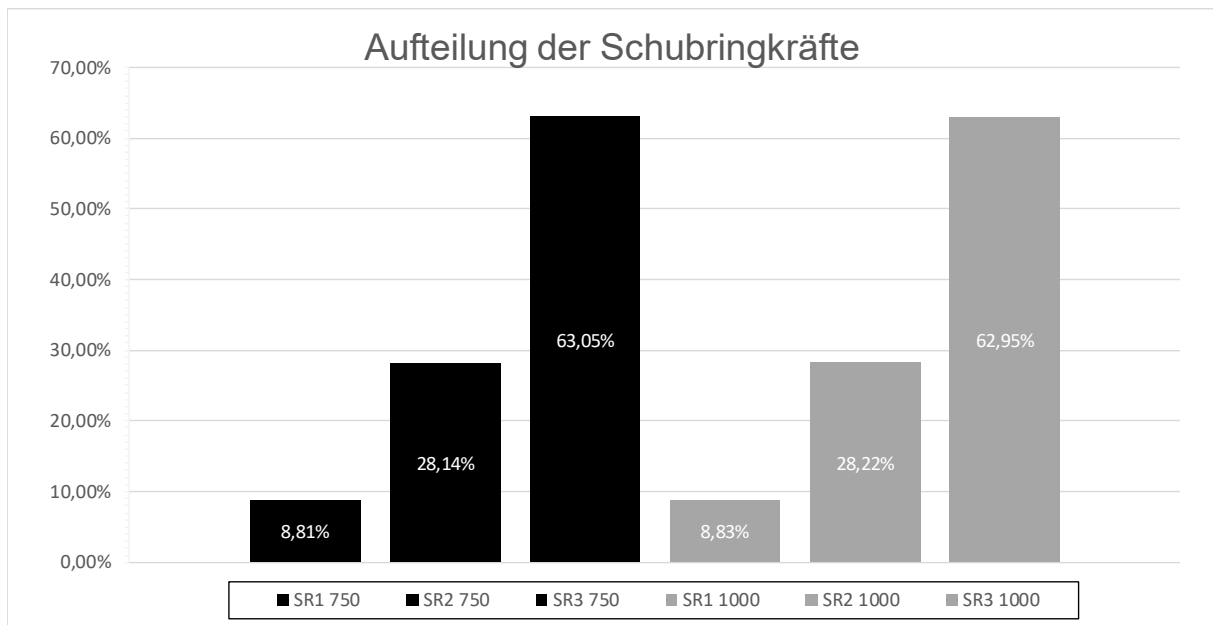


Abbildung A.43: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

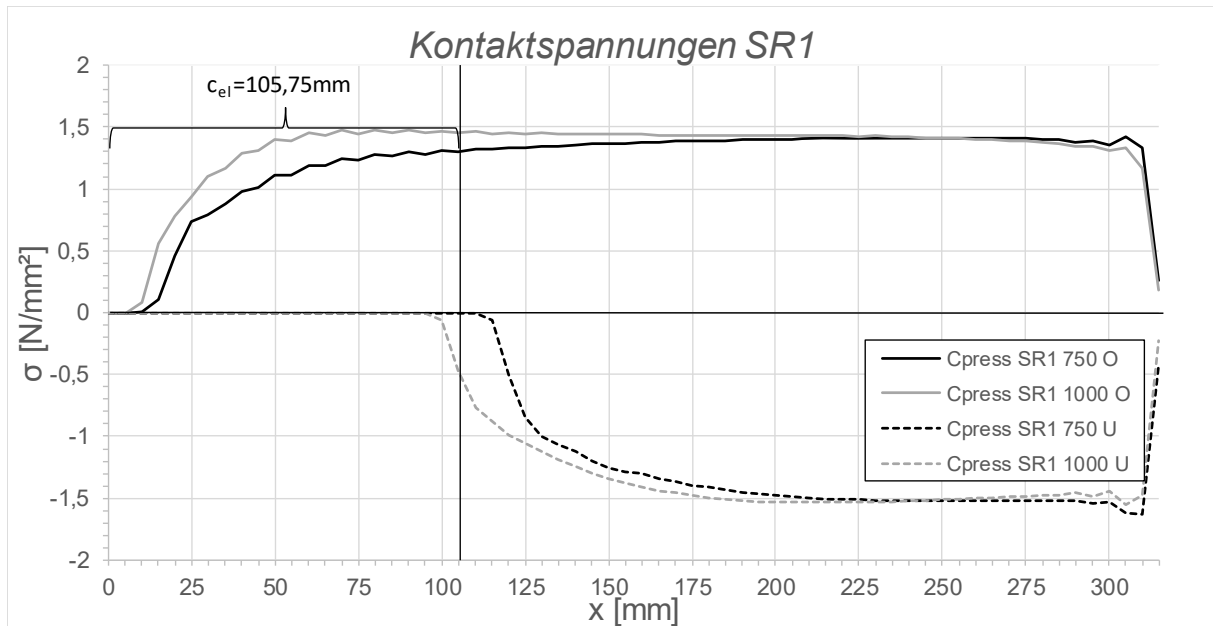


Abbildung A.44: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

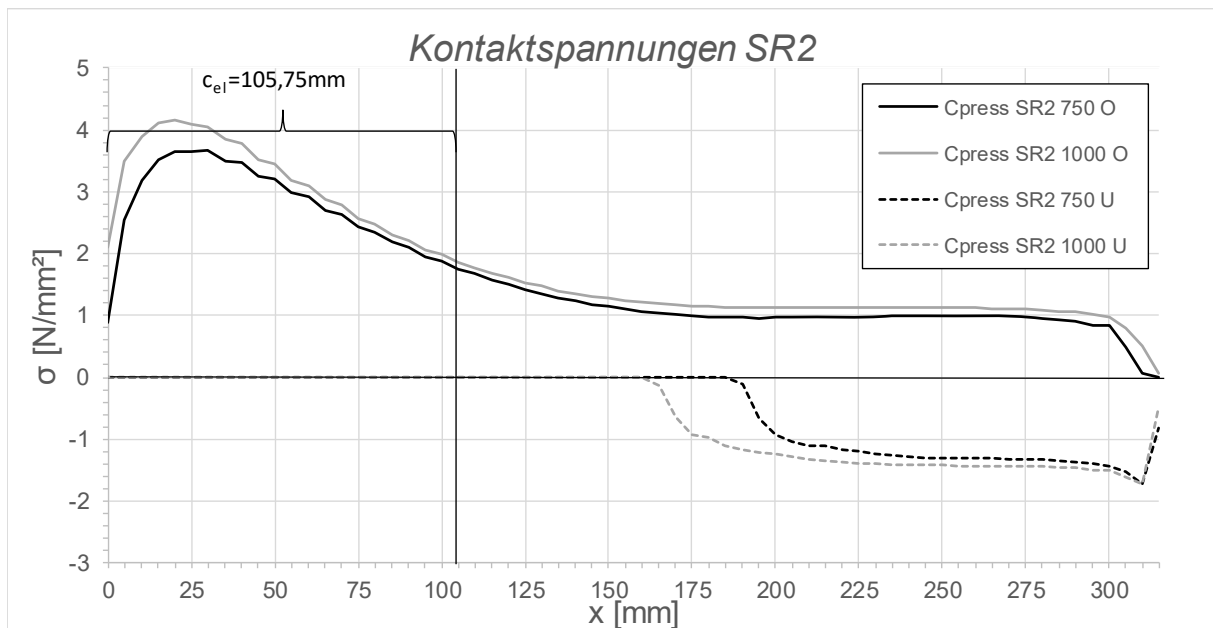


Abbildung A.45: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

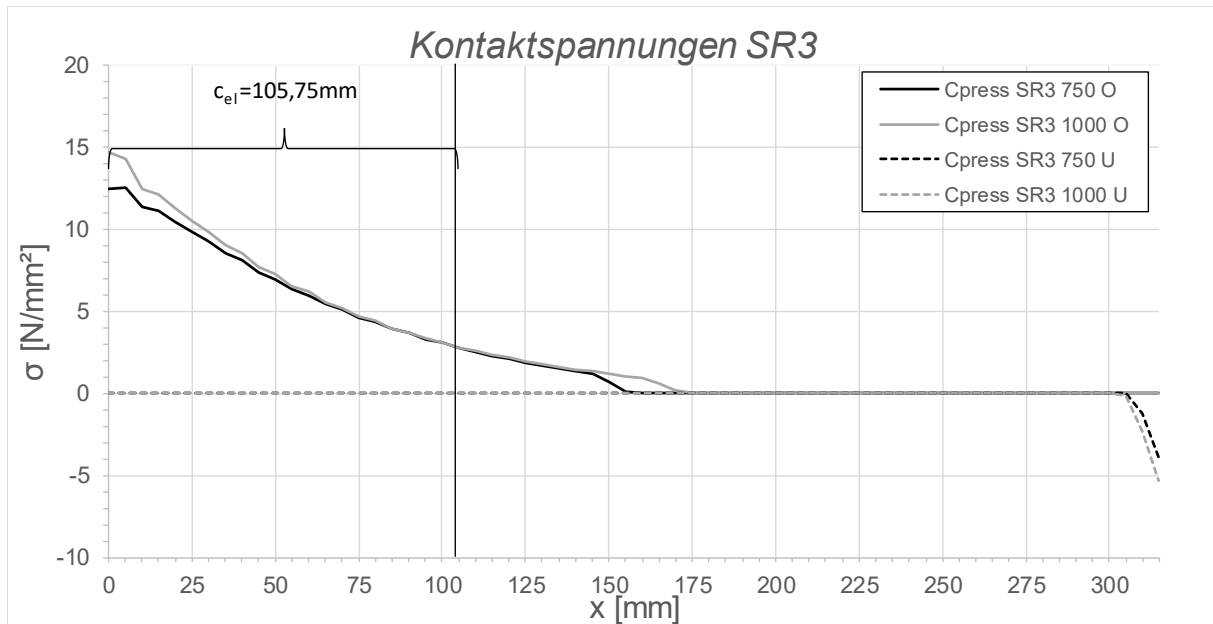


Abbildung A.46: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

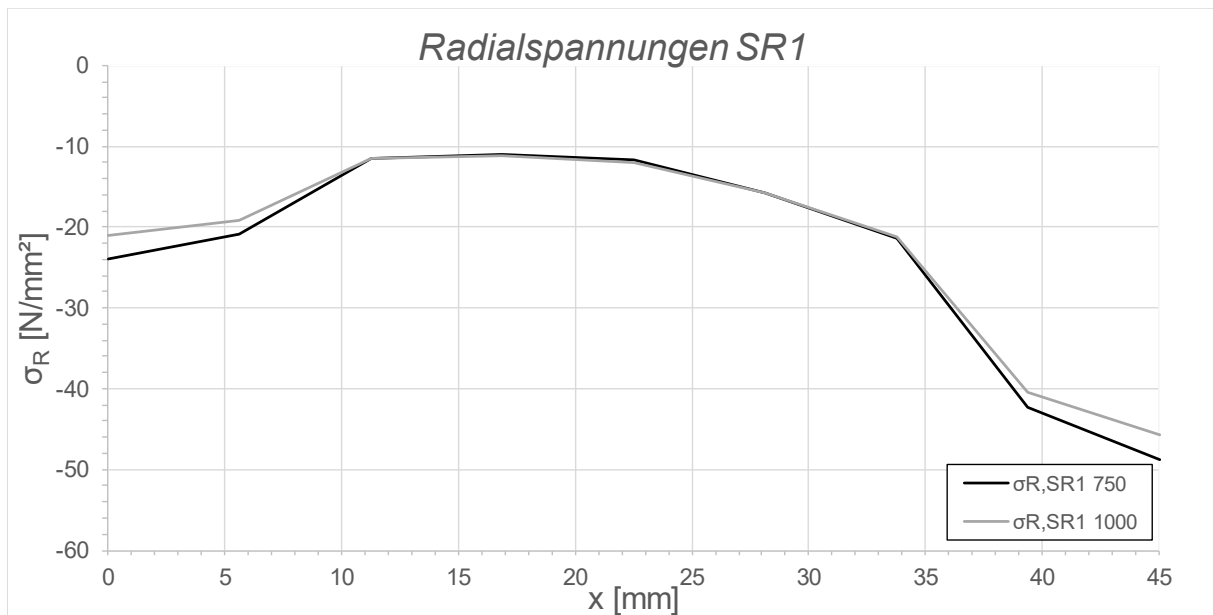


Abbildung A.47: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750/1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

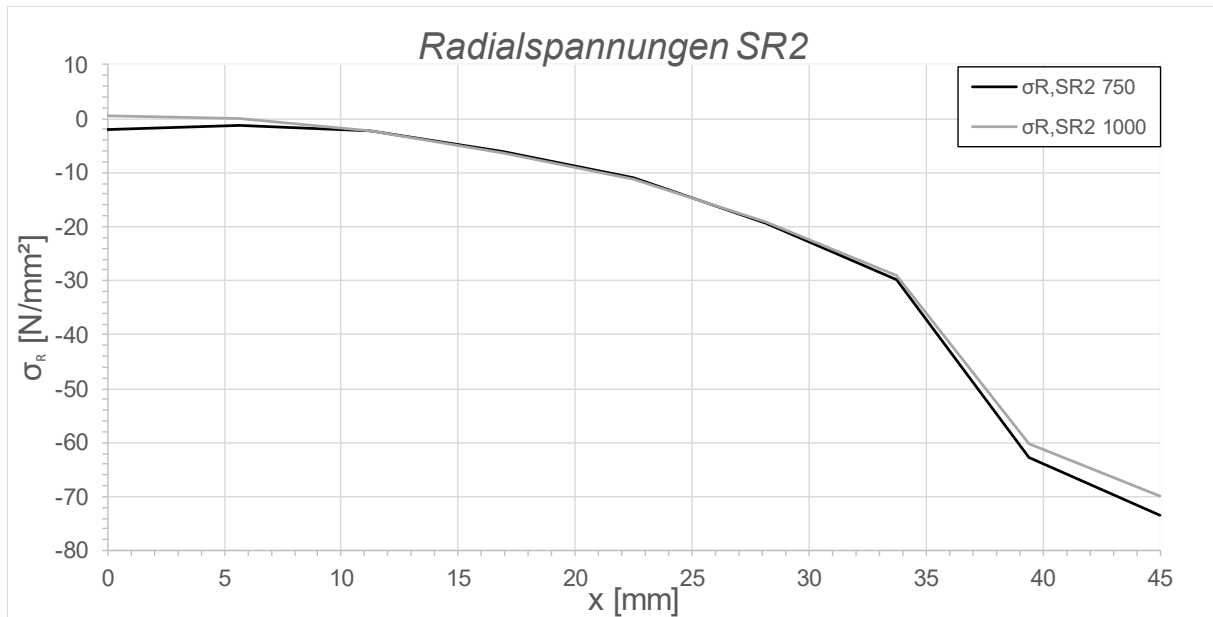


Abbildung A.48: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

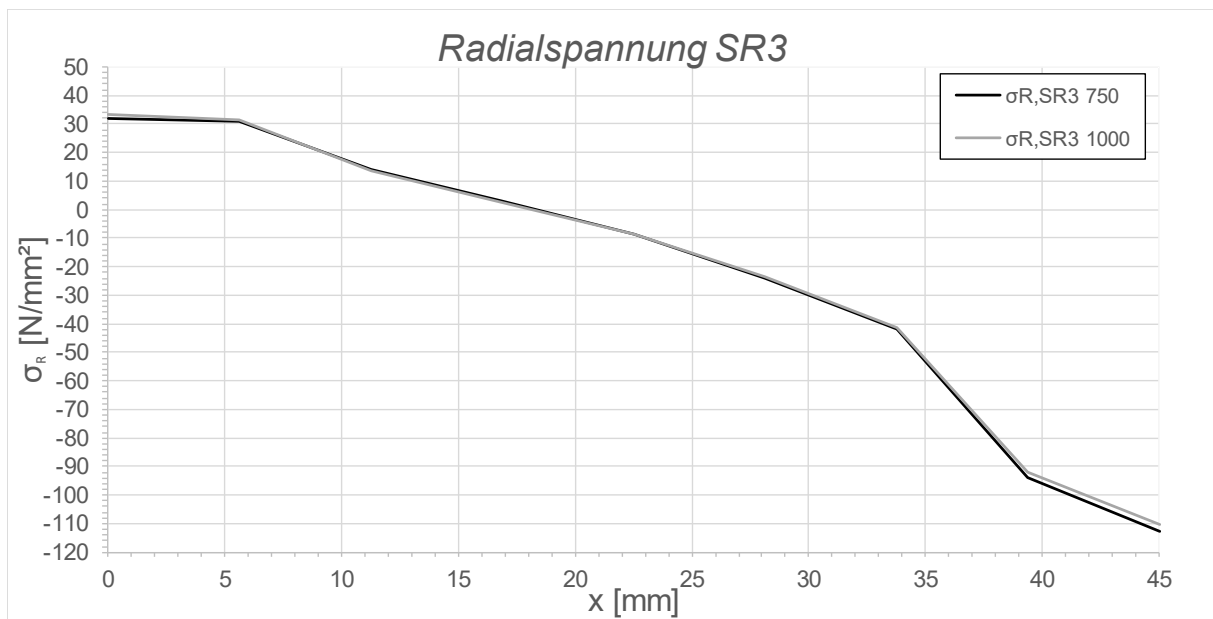


Abbildung A.49: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 Fall 1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750/1000$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

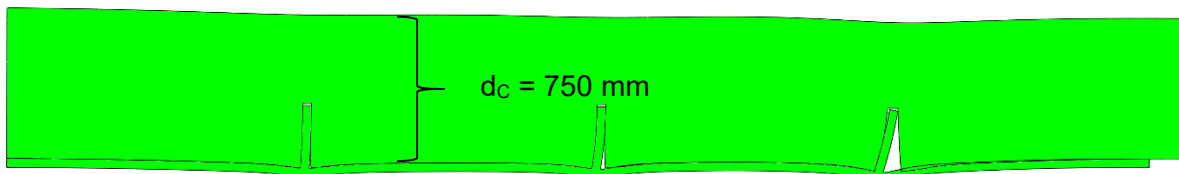


Abbildung A.50: Überhöhte Darstellung (200-fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

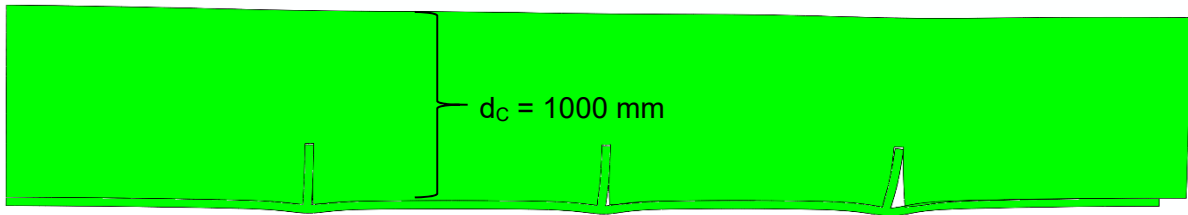


Abbildung A.51: Überhöhte Darstellung (200-fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 1000 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

A.3.5 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

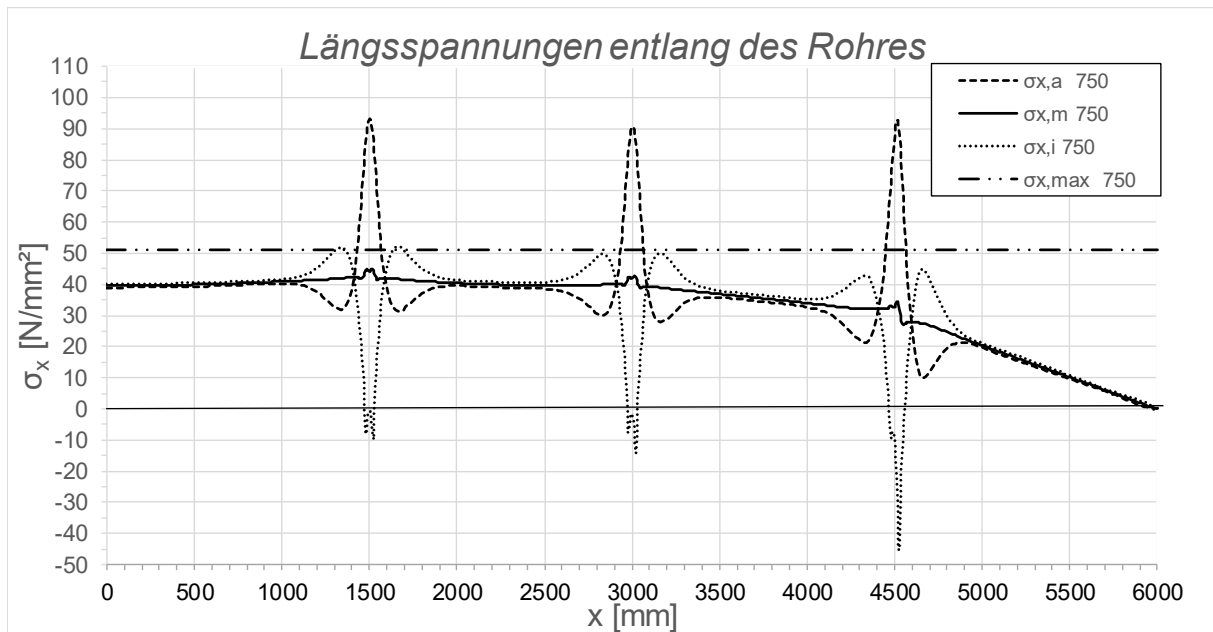


Abbildung A.52: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

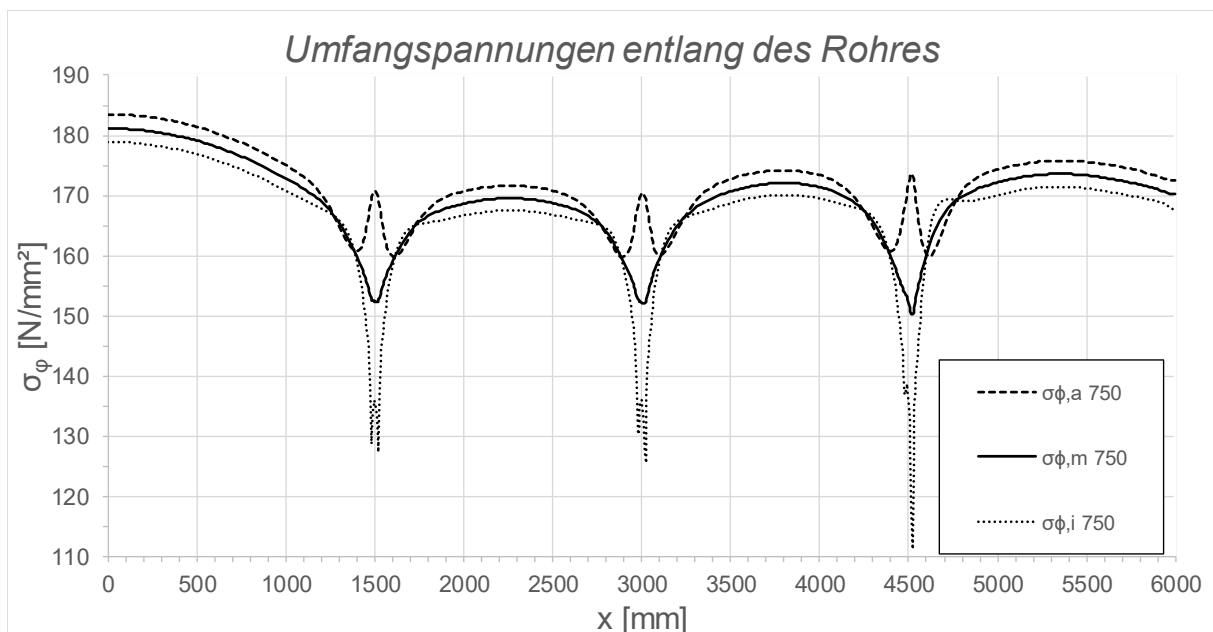


Abbildung A.53: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

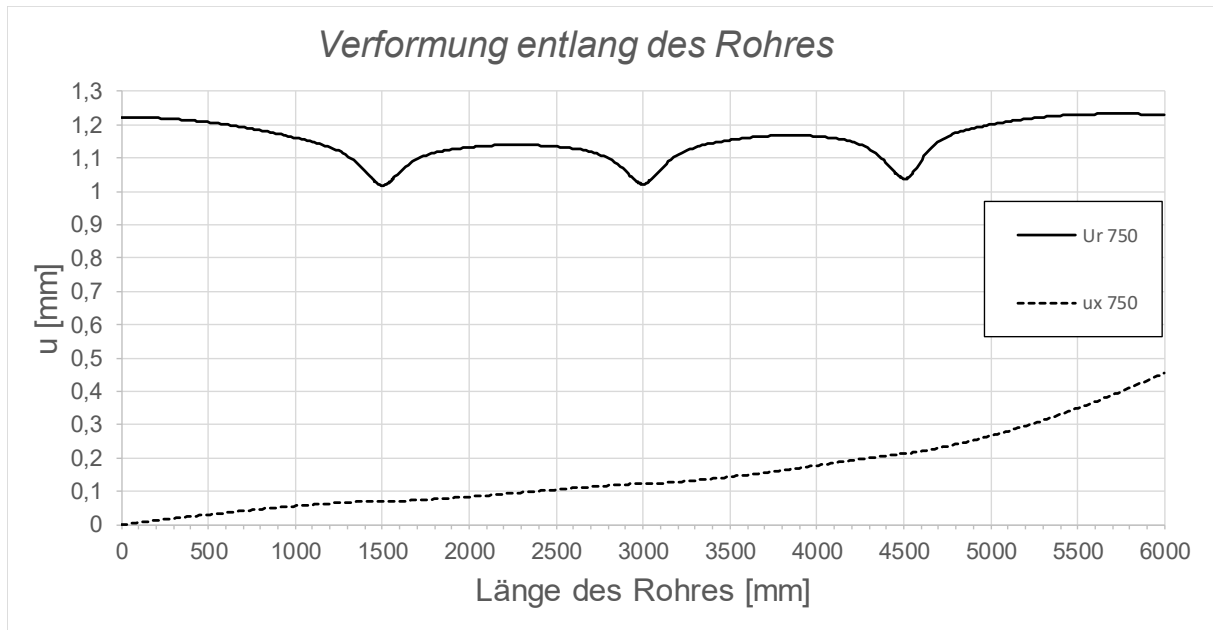


Abbildung A.54: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

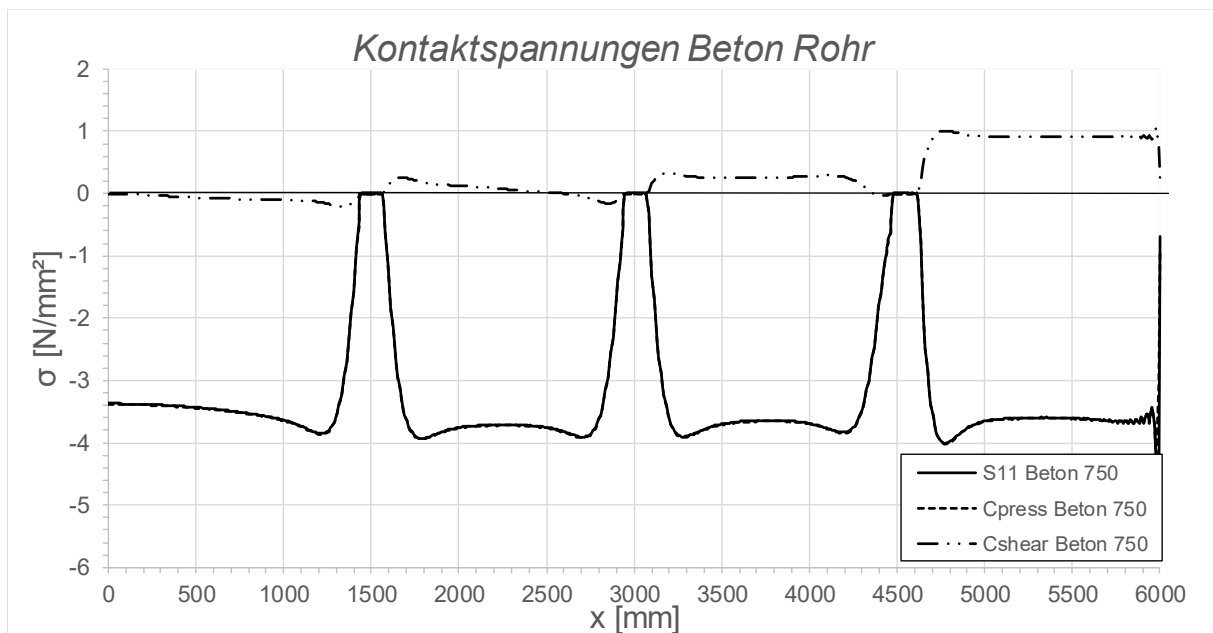


Abbildung A.55: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

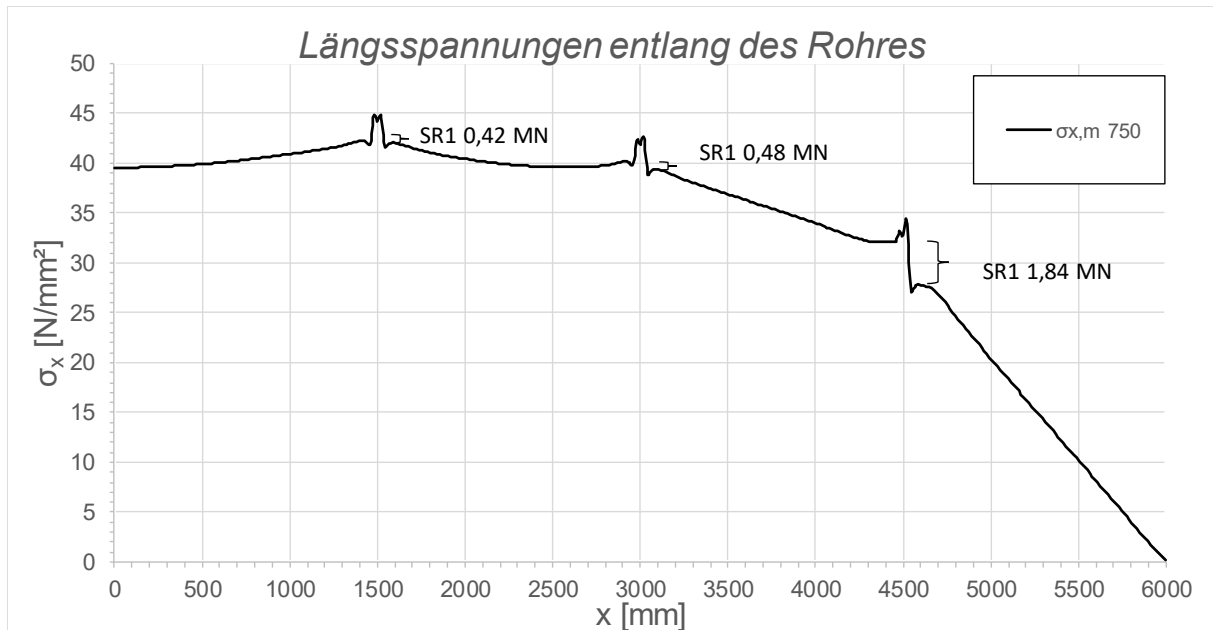


Abbildung A.56: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

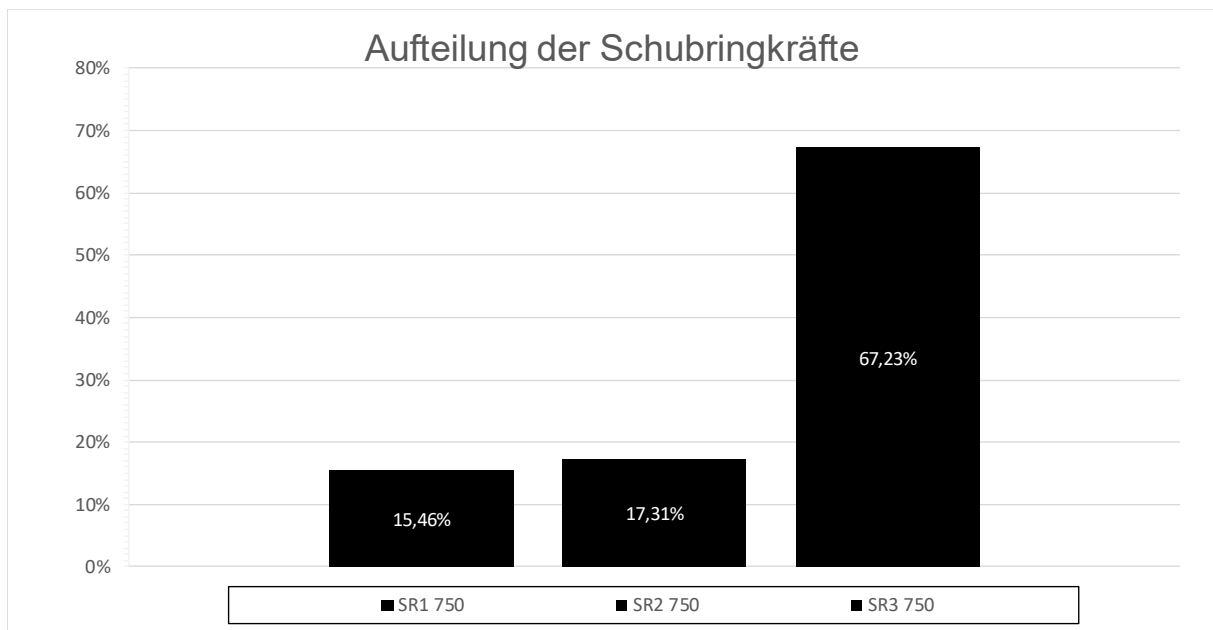


Abbildung A.57: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

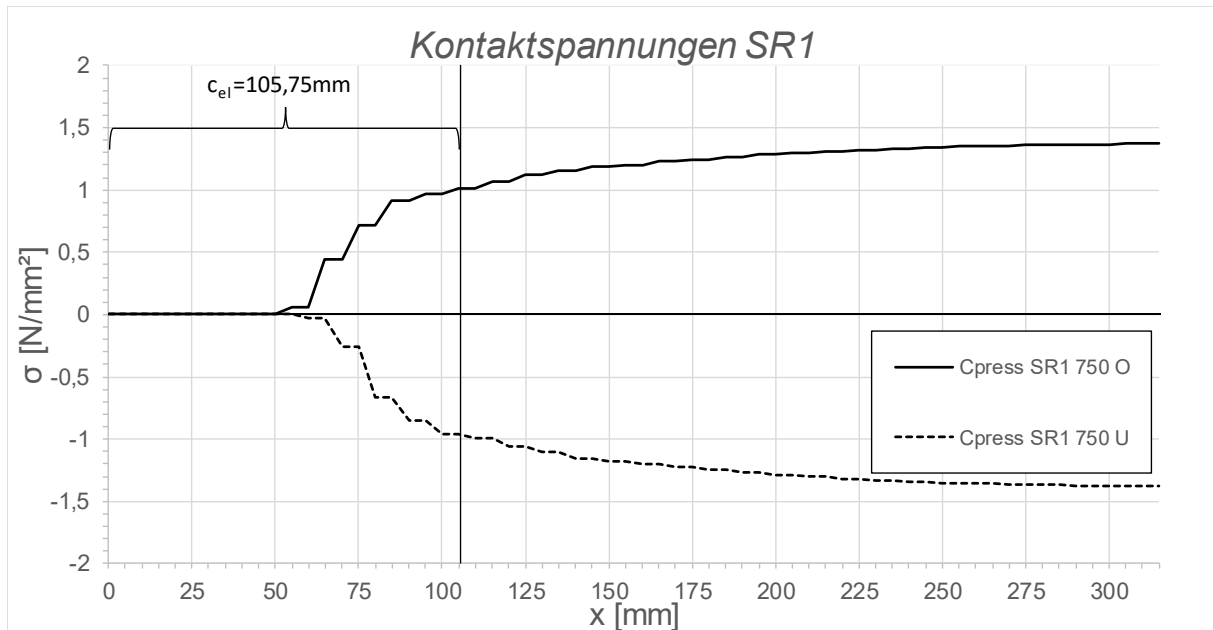


Abbildung A.58: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

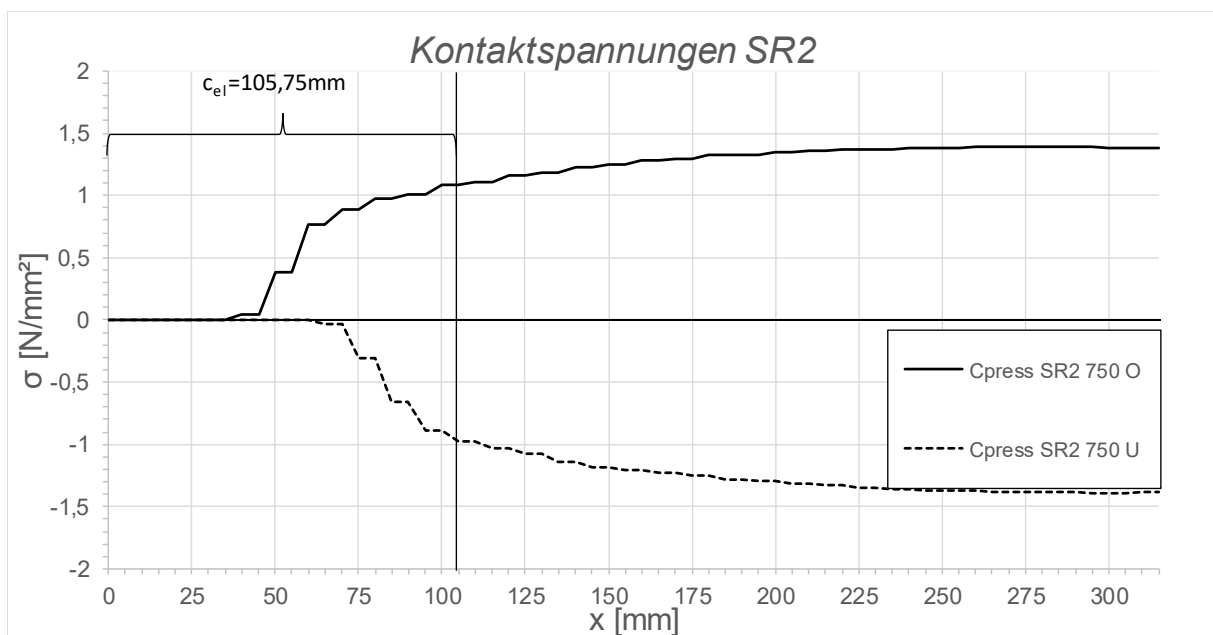


Abbildung A.59: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

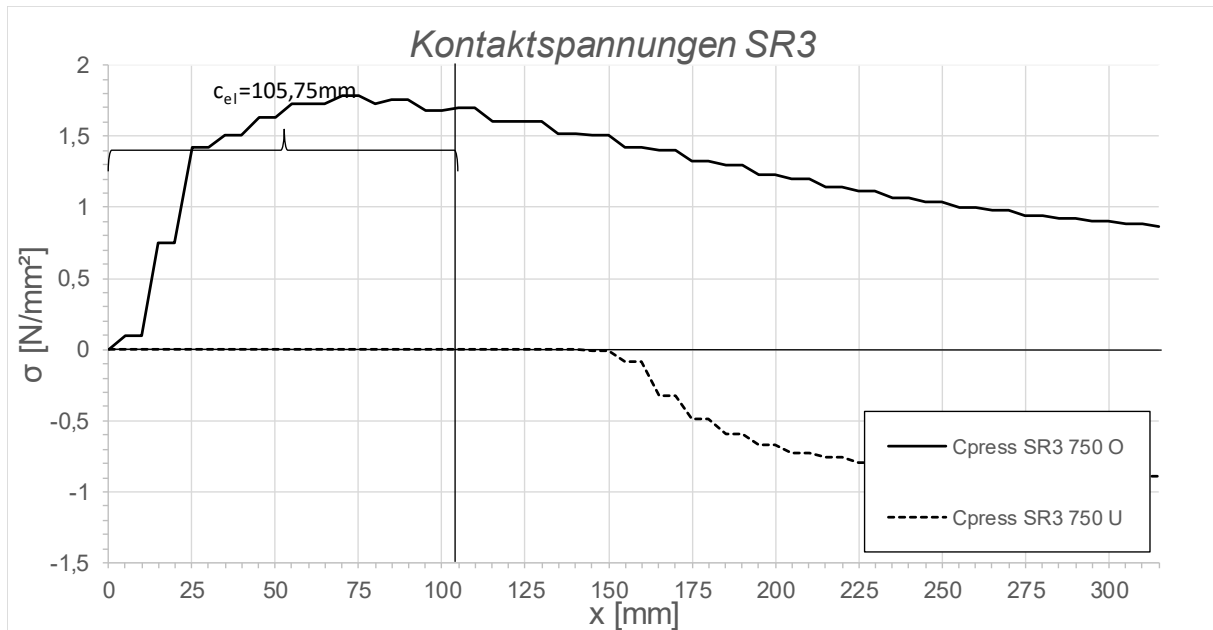


Abbildung A.60: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

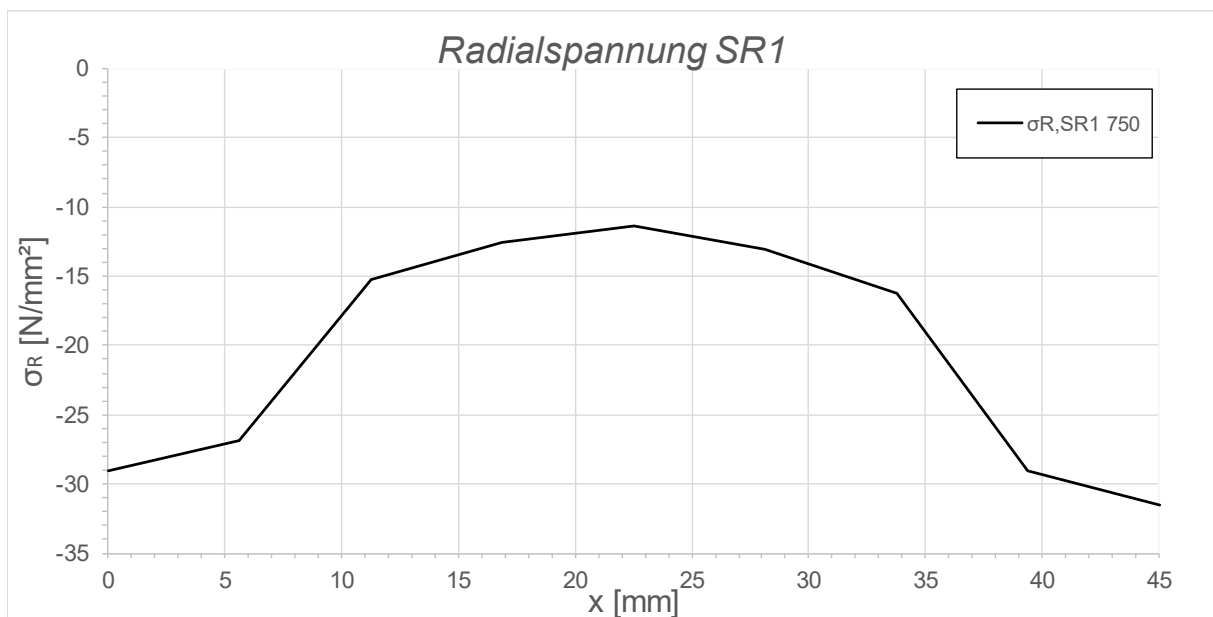


Abbildung A.61: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

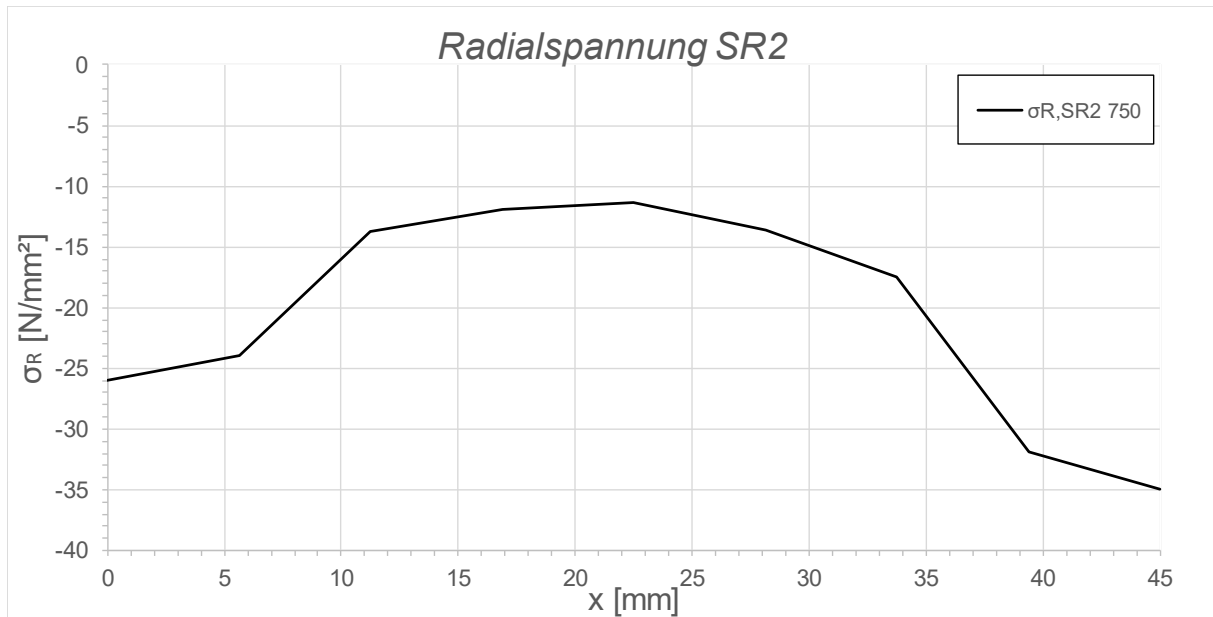


Abbildung A.62: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

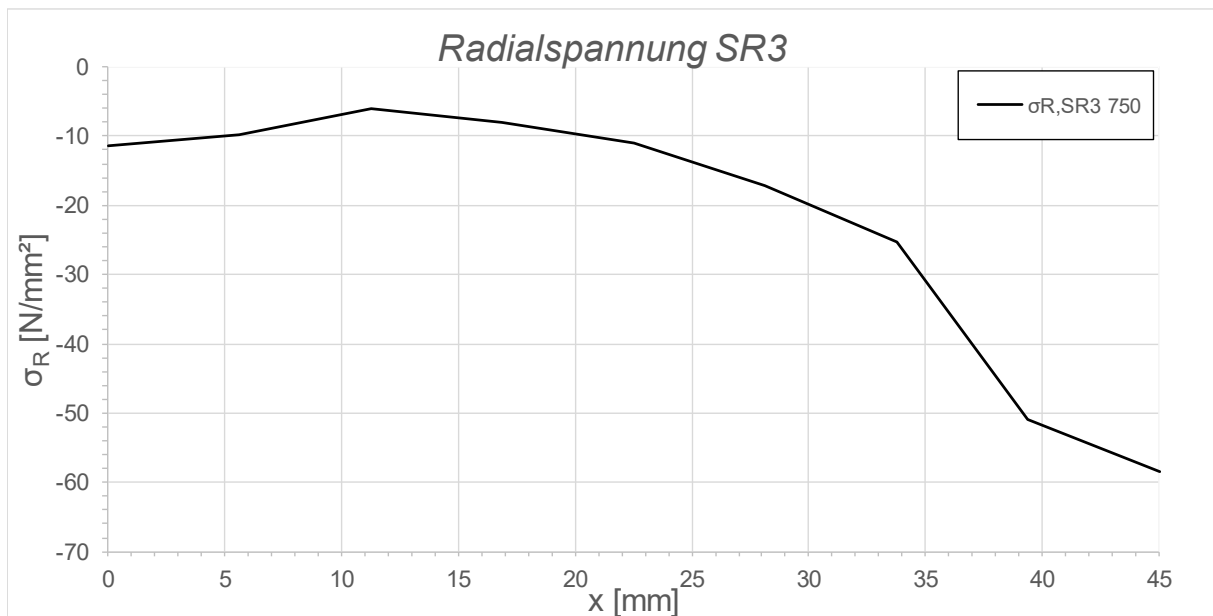


Abbildung A.63: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$



Abbildung A.64: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

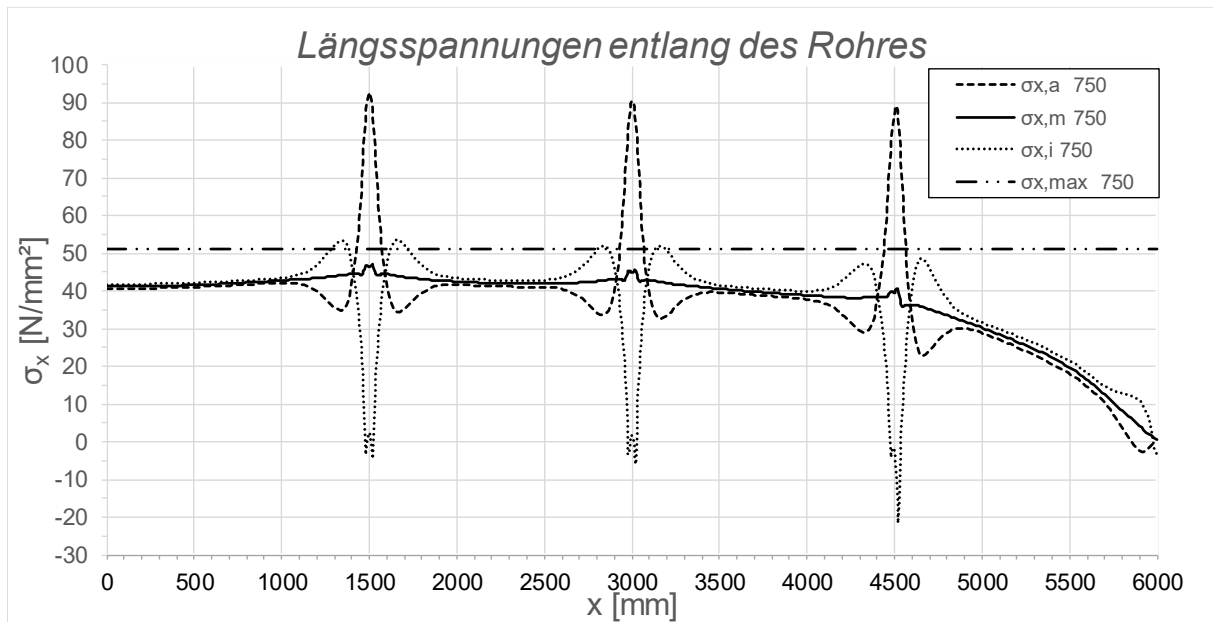
A.3.6 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$ 

Abbildung A.65: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

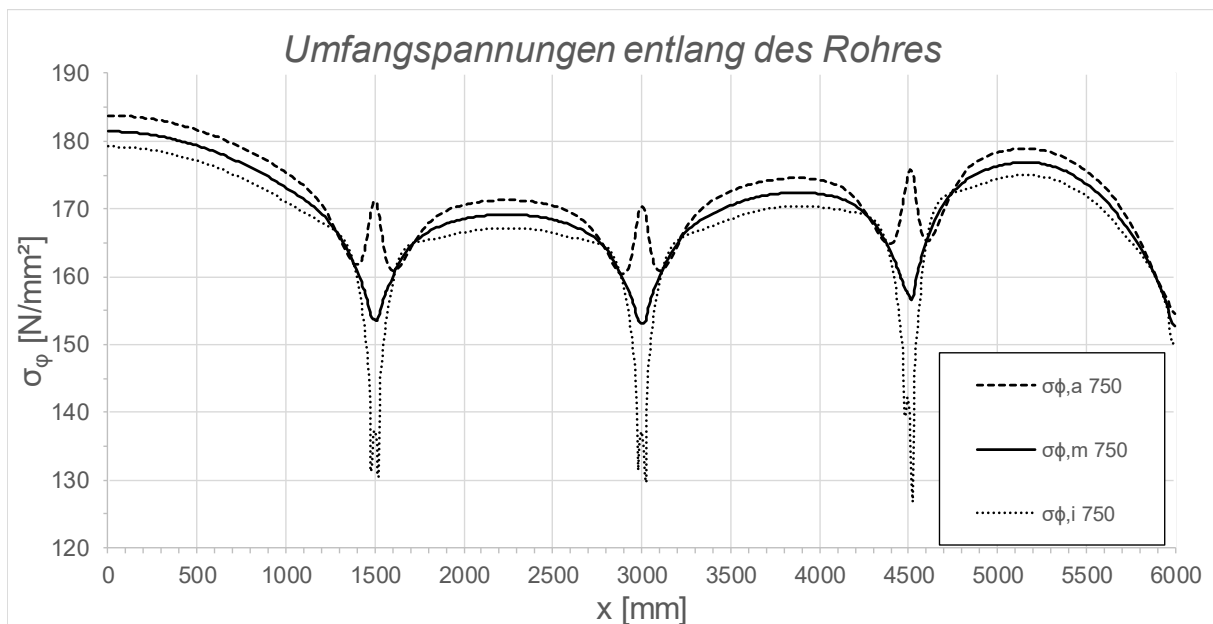


Abbildung A.66: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

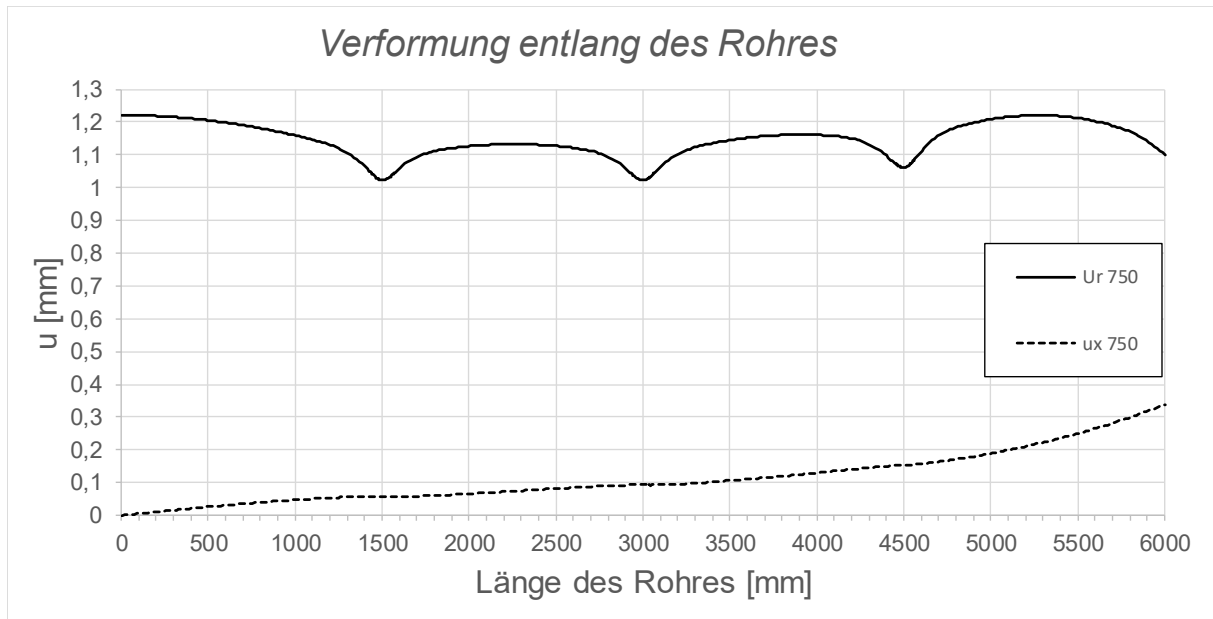


Abbildung A.67: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

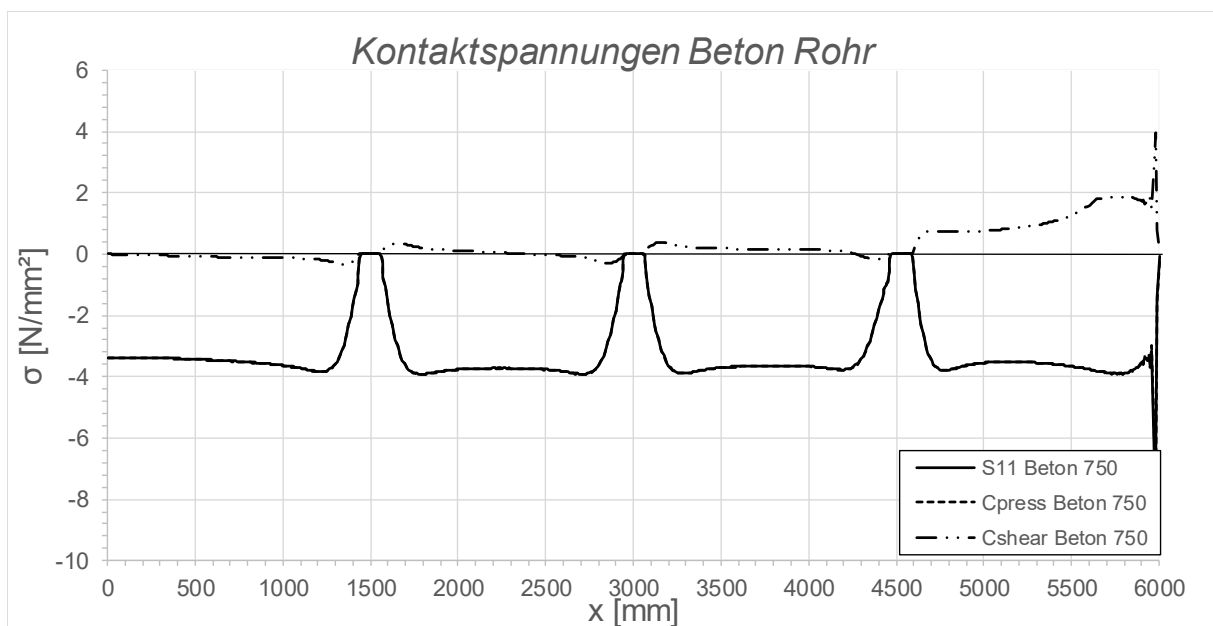


Abbildung A.68: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

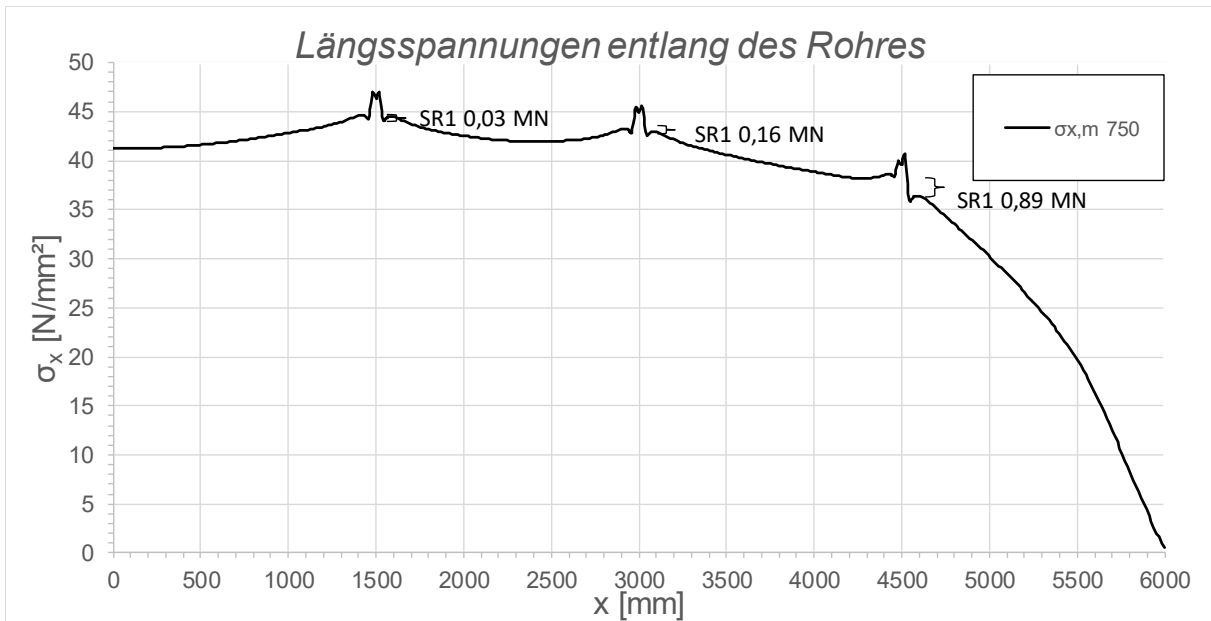


Abbildung A.69: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

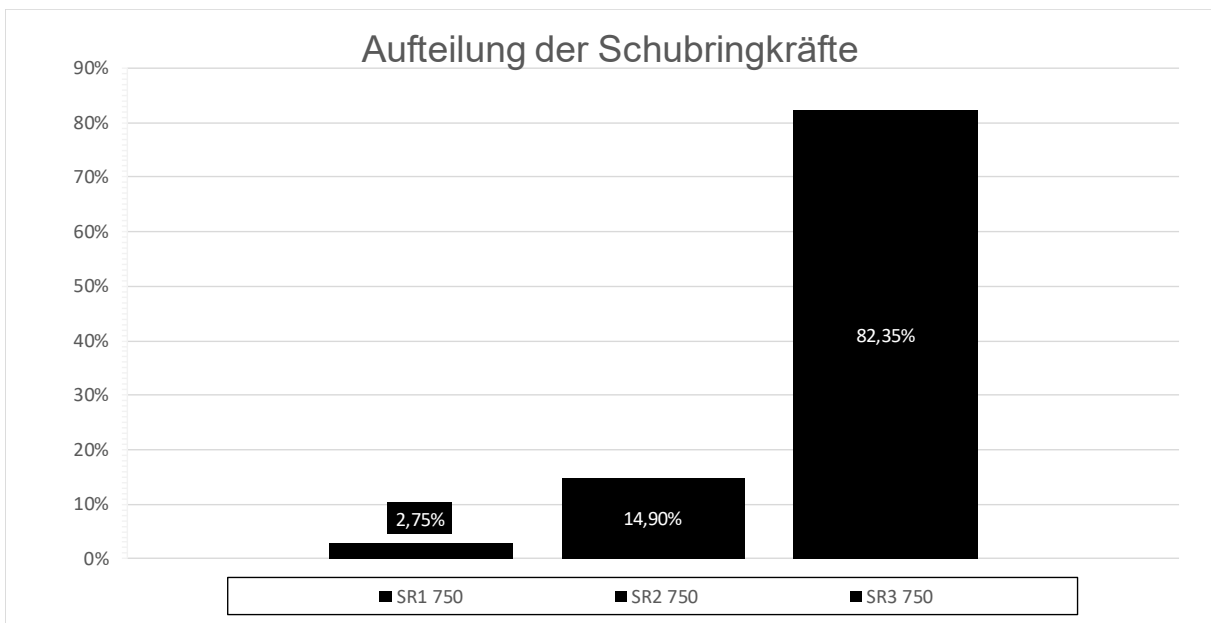


Abbildung A.70: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

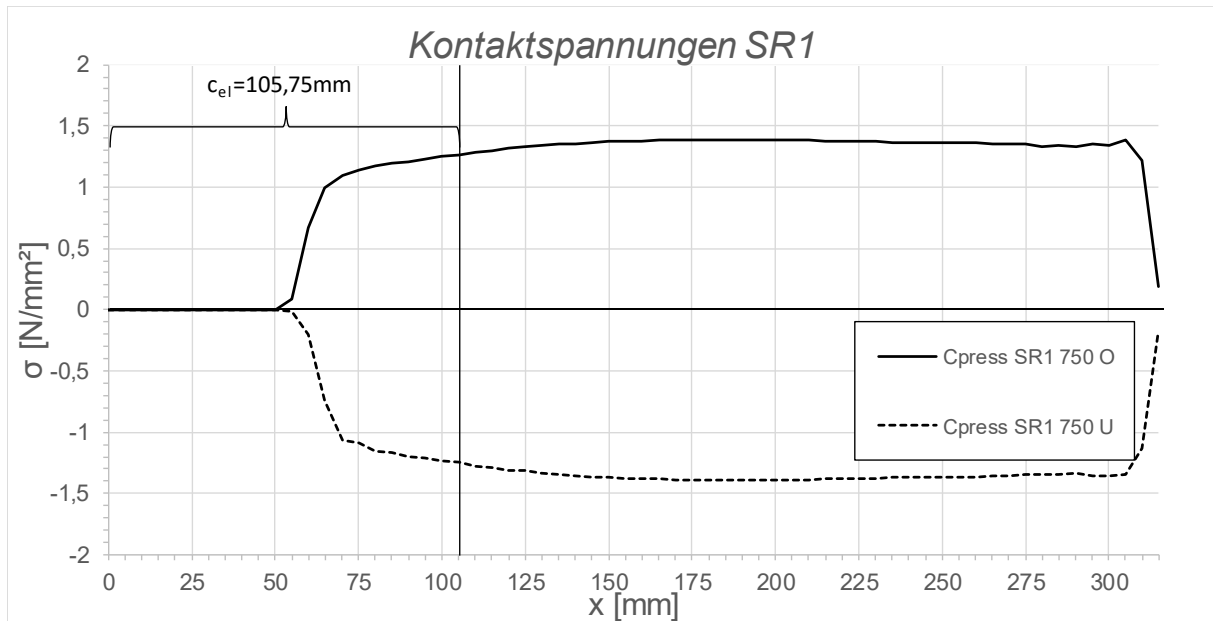


Abbildung A.71: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

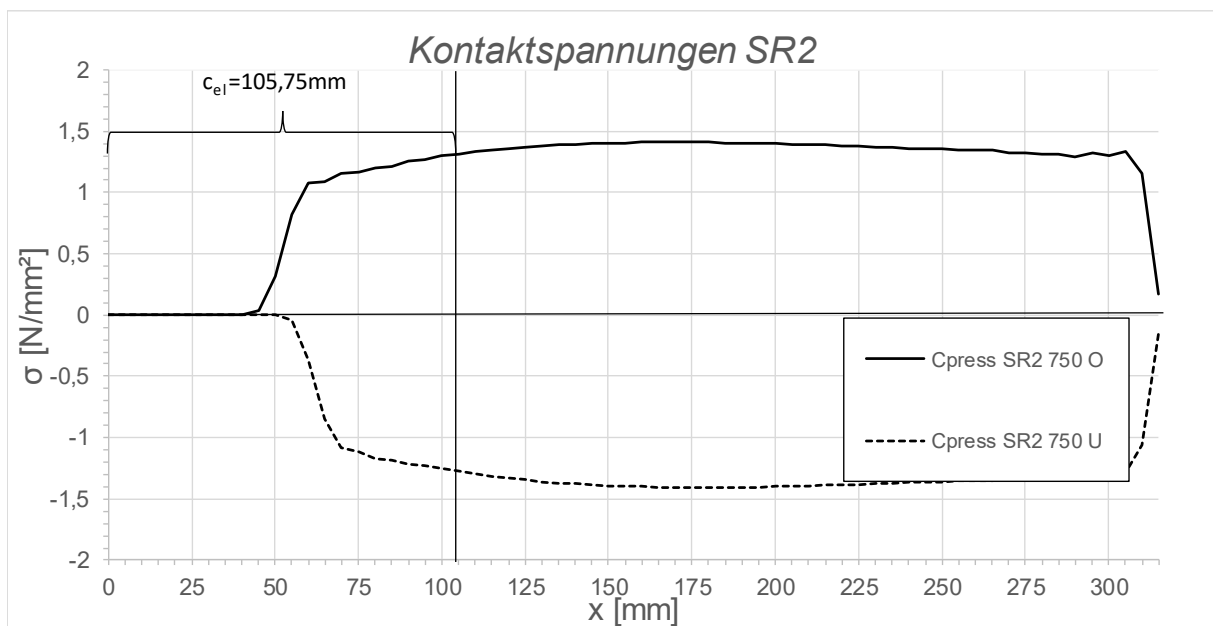


Abbildung A.72: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

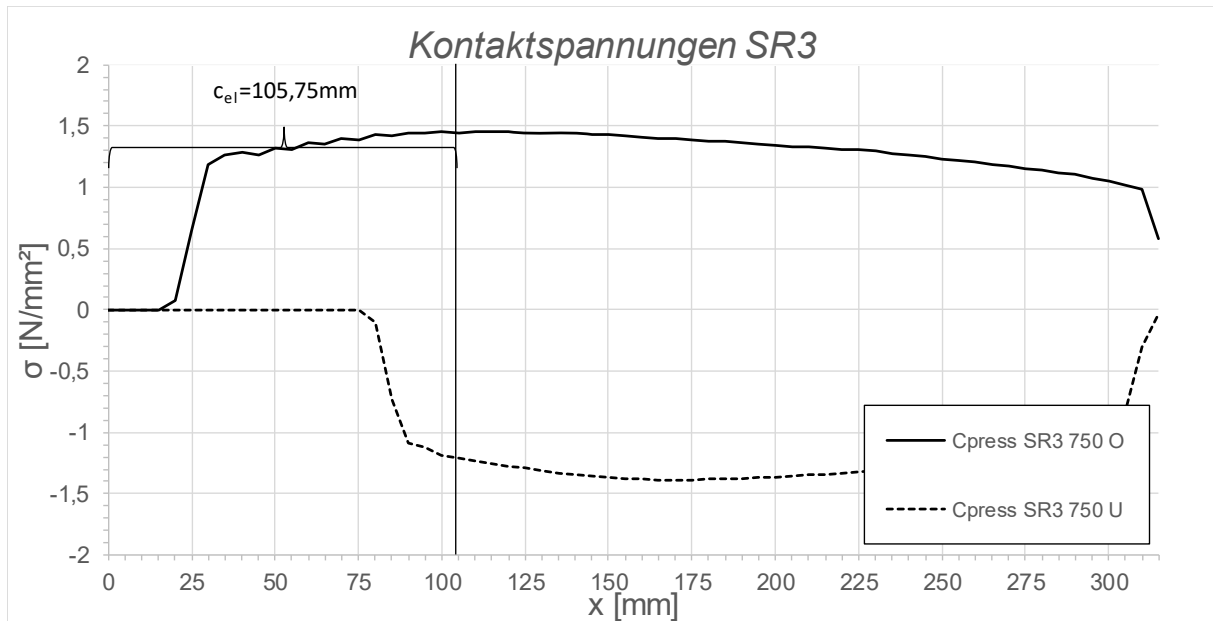


Abbildung A.73: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

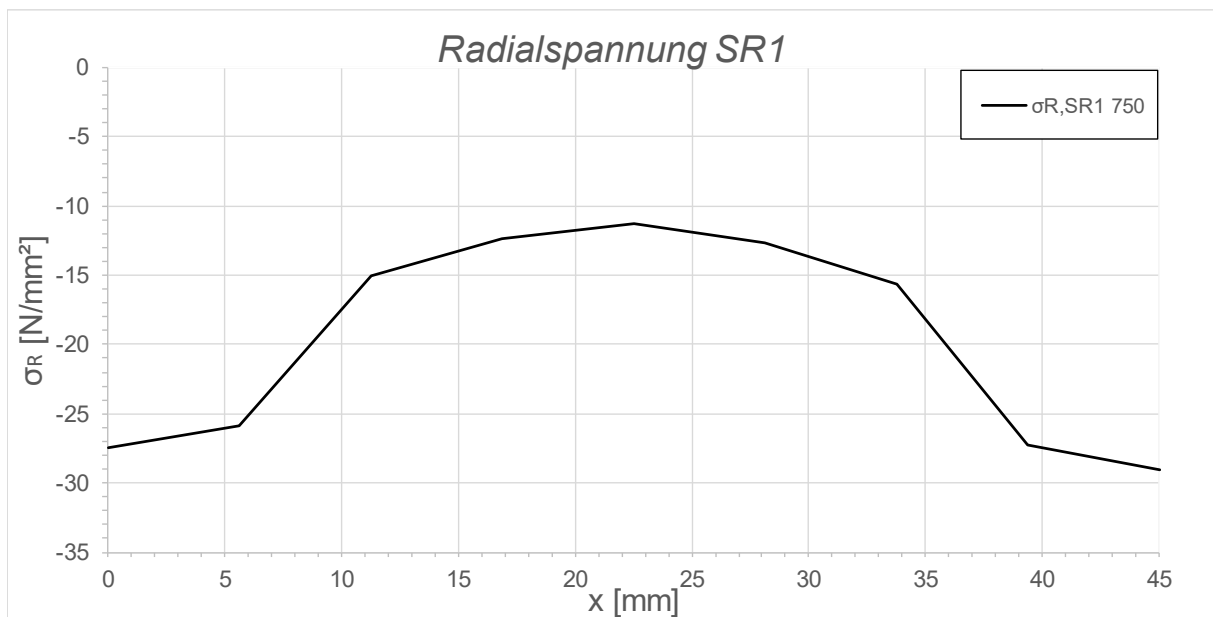


Abbildung A.74: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

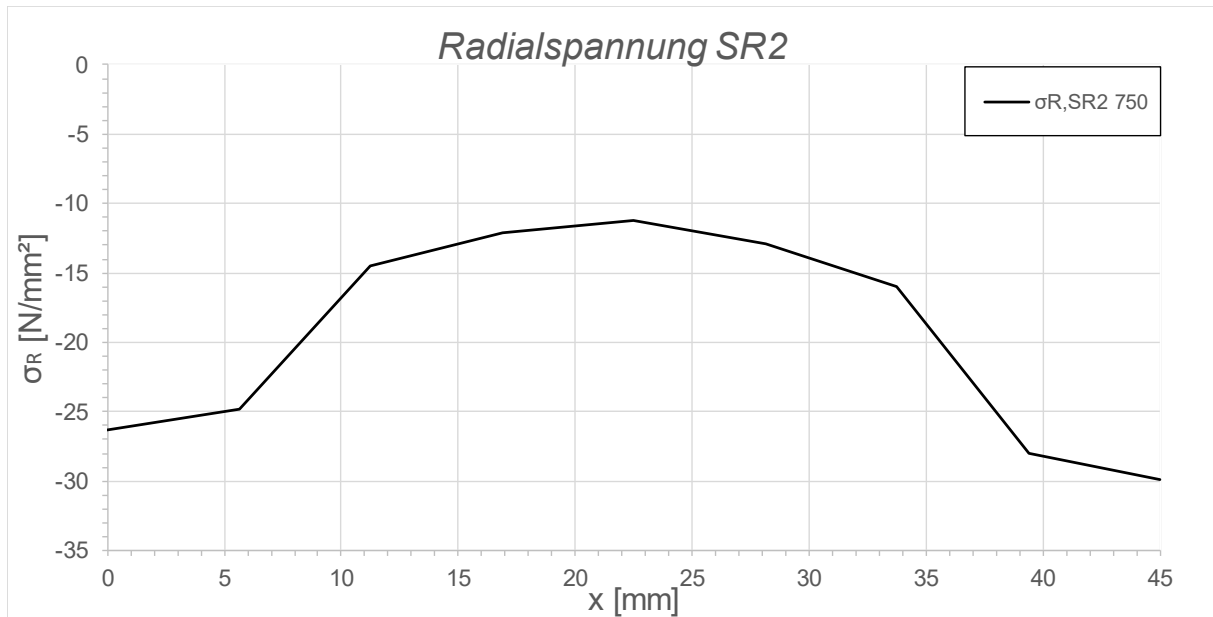


Abbildung A.75: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45\text{ mm}$, $h_{Ring} = 315\text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500\text{ mm}$, $d_C = 750\text{ mm}$, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000\text{ N/mm}^2$

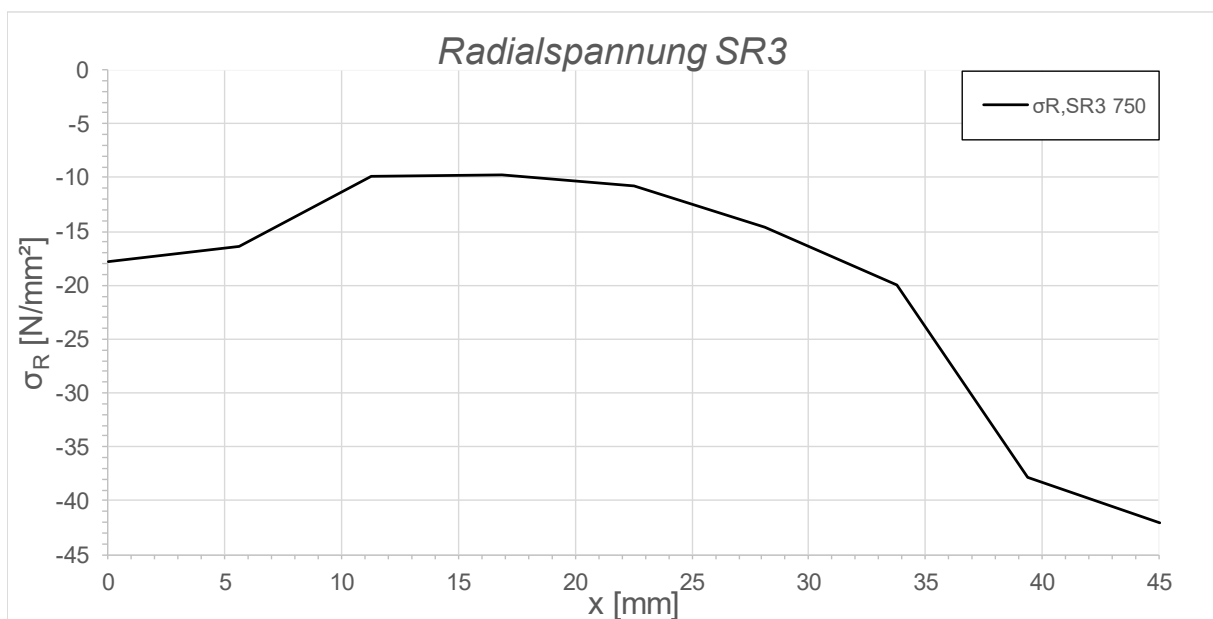


Abbildung A.76: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45\text{ mm}$, $h_{Ring} = 315\text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500\text{ mm}$, $d_C = 750\text{ mm}$, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000\text{ N/mm}^2$

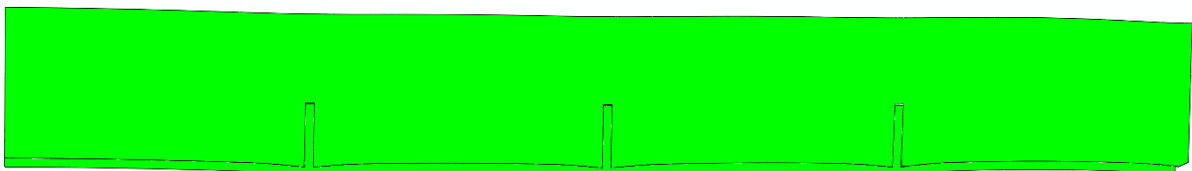


Abbildung A.77: Überhöhte Darstellung (200-fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 45\text{ mm}$, $h_{Ring} = 315\text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500\text{ mm}$, $d_C = 750\text{ mm}$, $e_{Ring} = R$, $V_F = 4000\text{ N/mm}^2$

A.3.7 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$

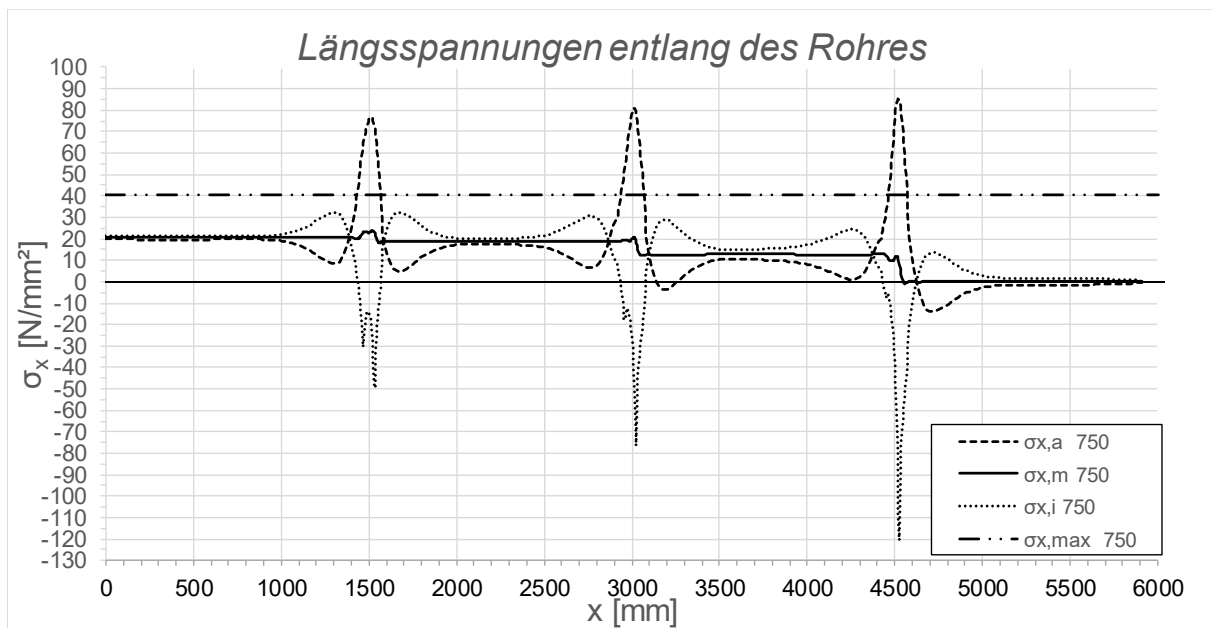


Abbildung A.78: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

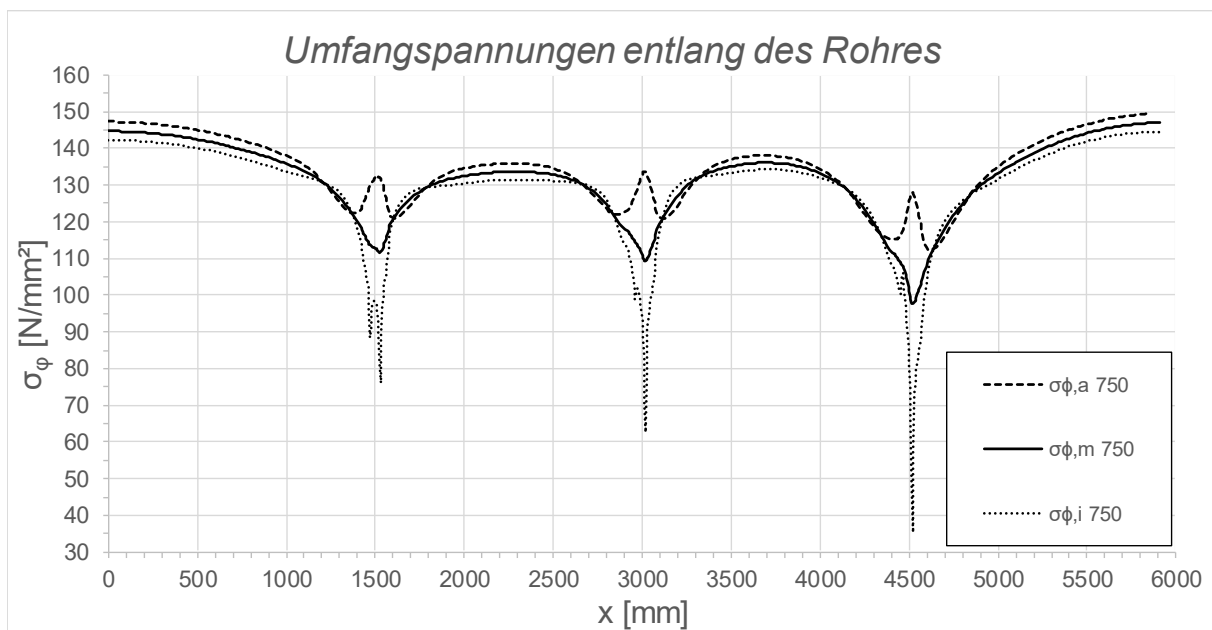


Abbildung A.79: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

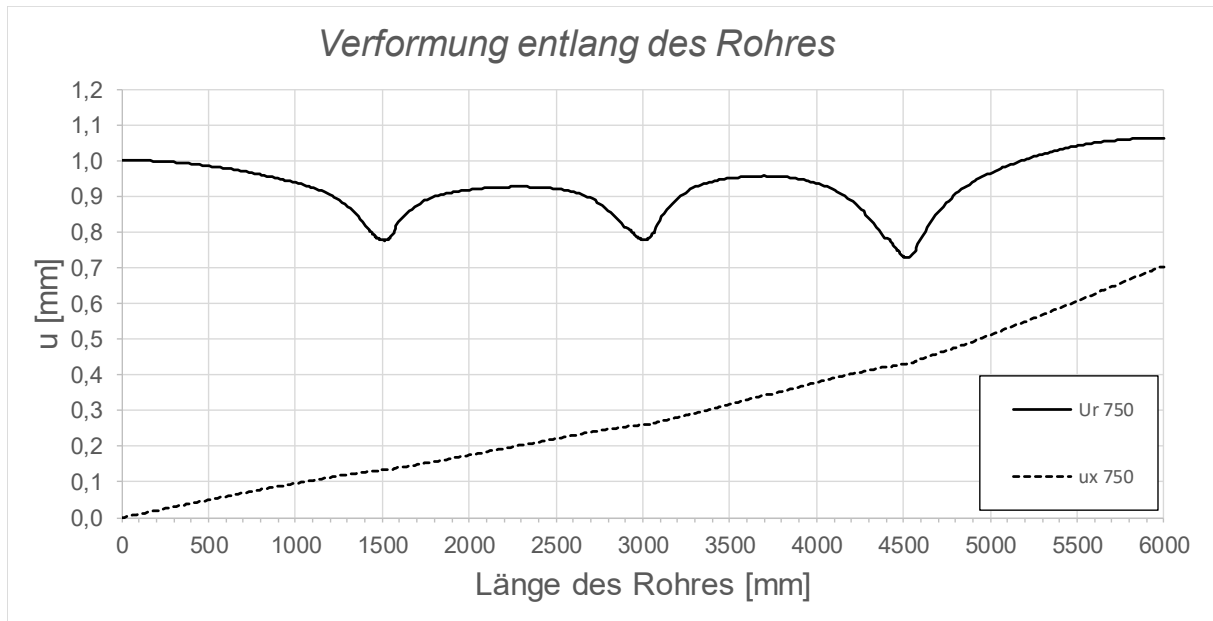


Abbildung A.80: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

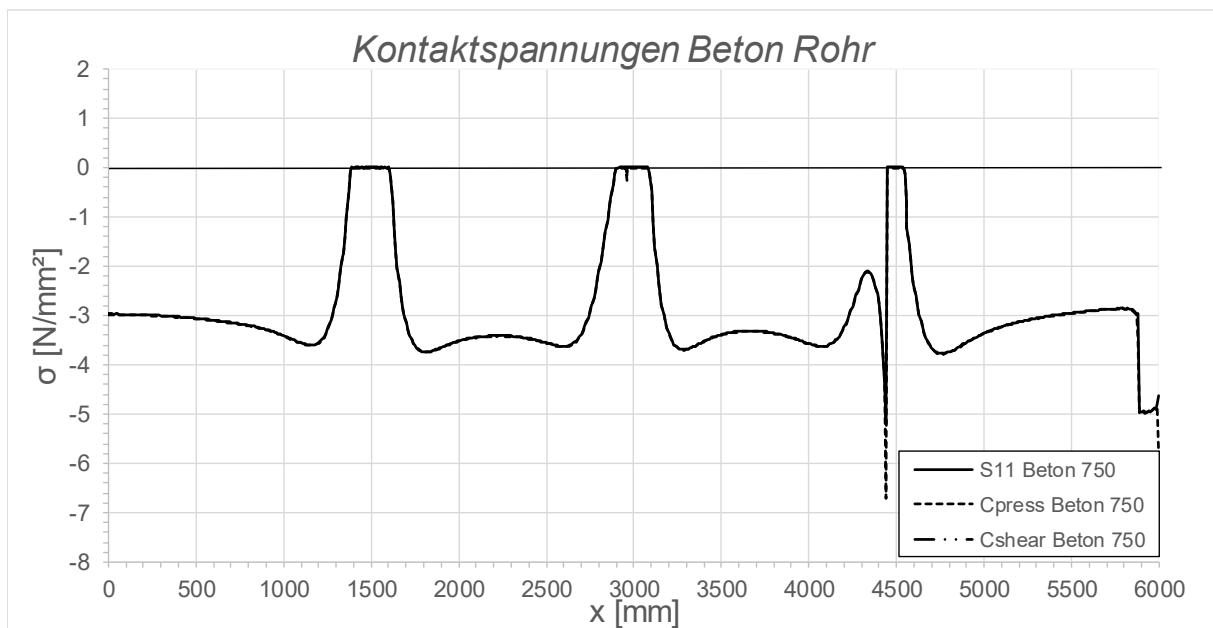


Abbildung A.81: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

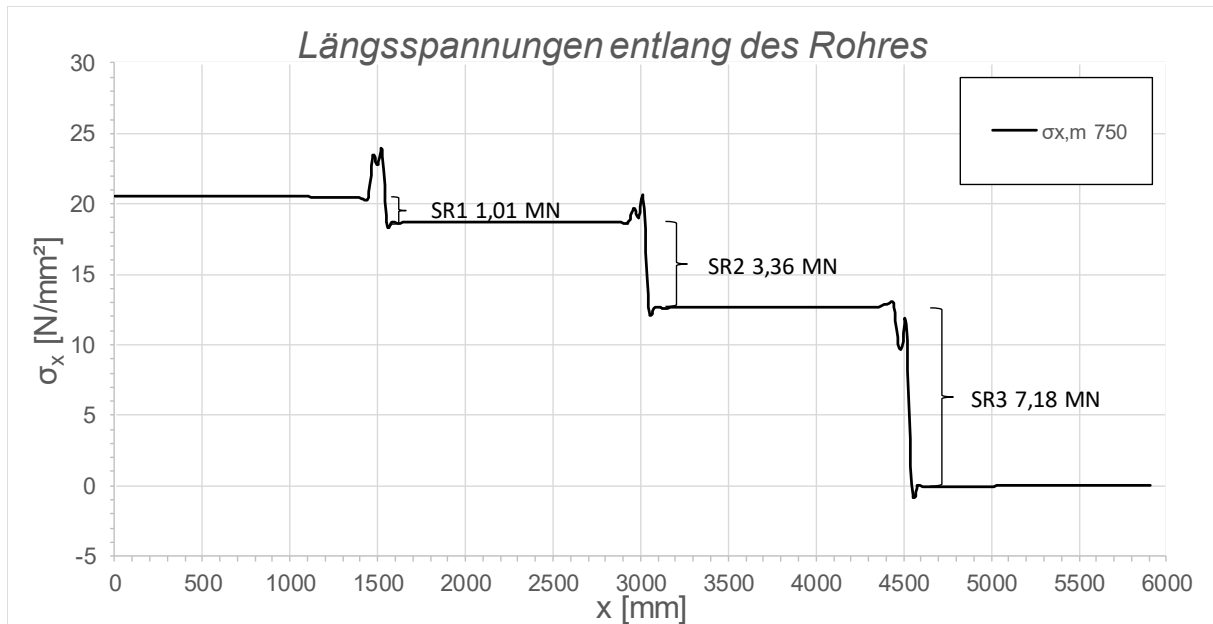


Abbildung A.82: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

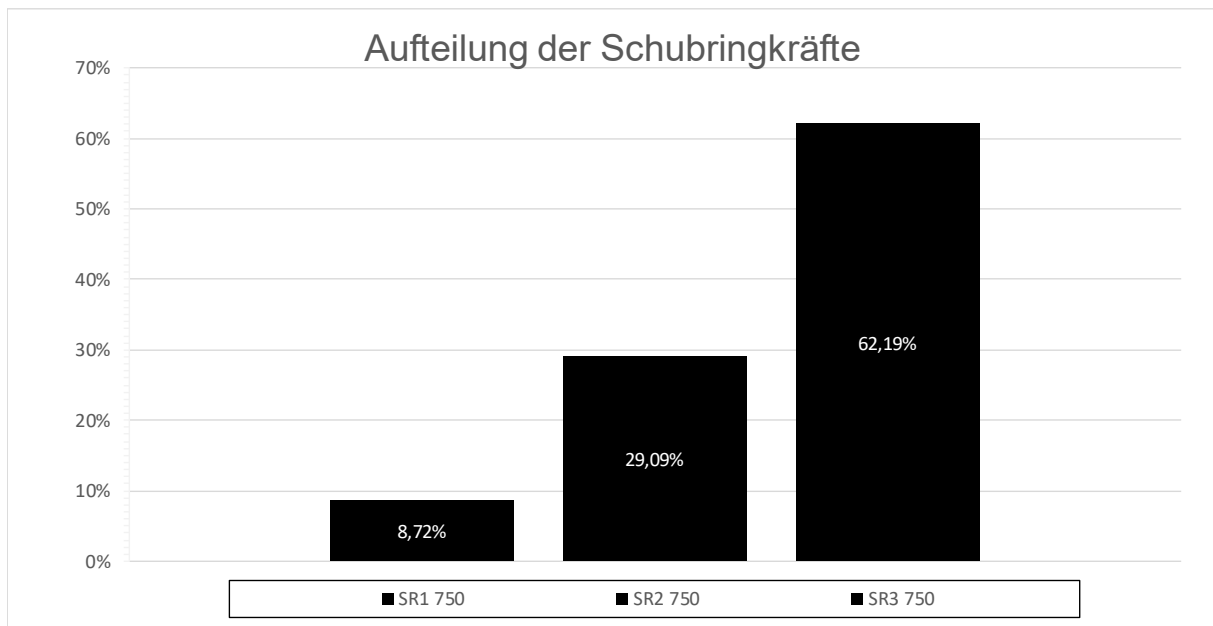


Abbildung A.83: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

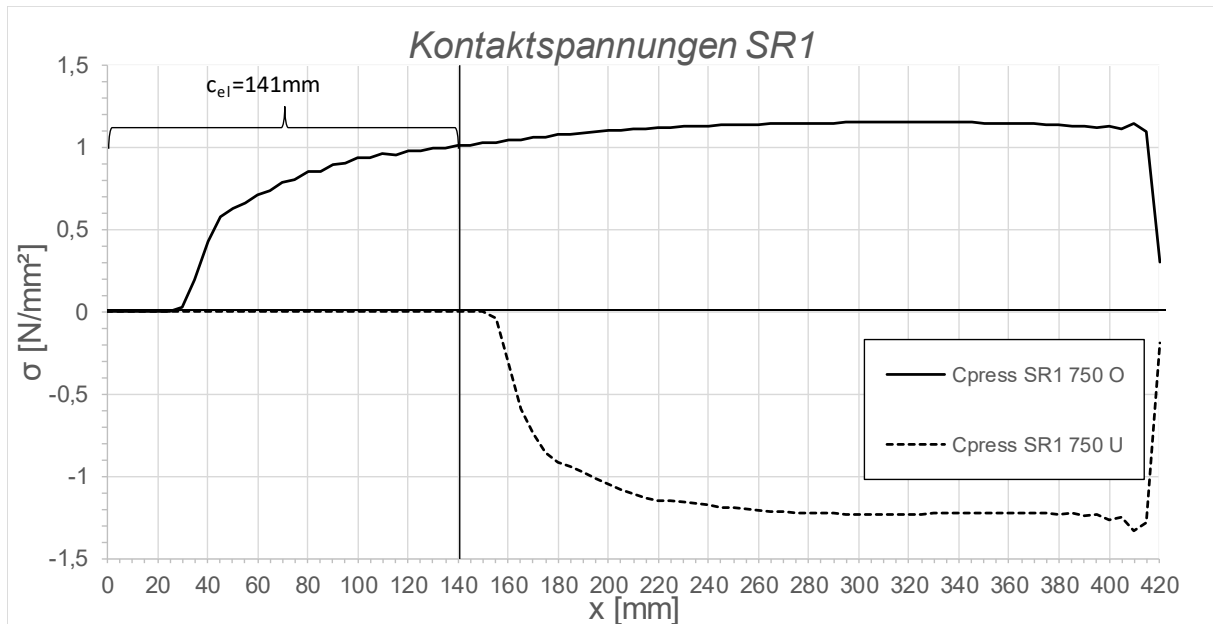


Abbildung A.84: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

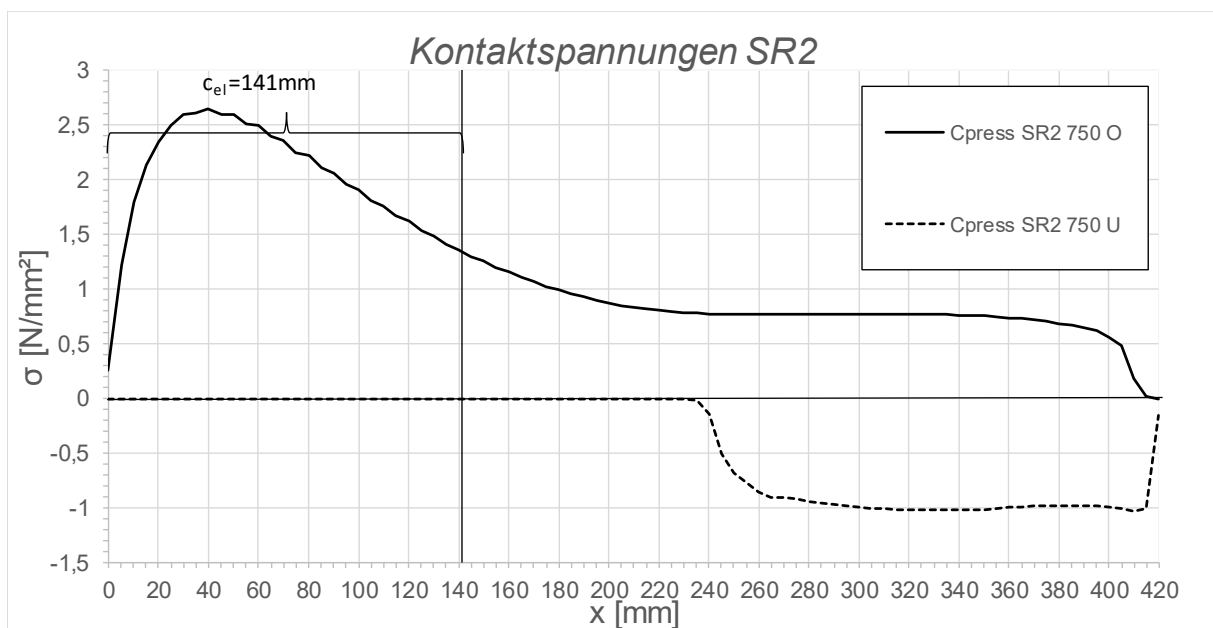


Abbildung A.85: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

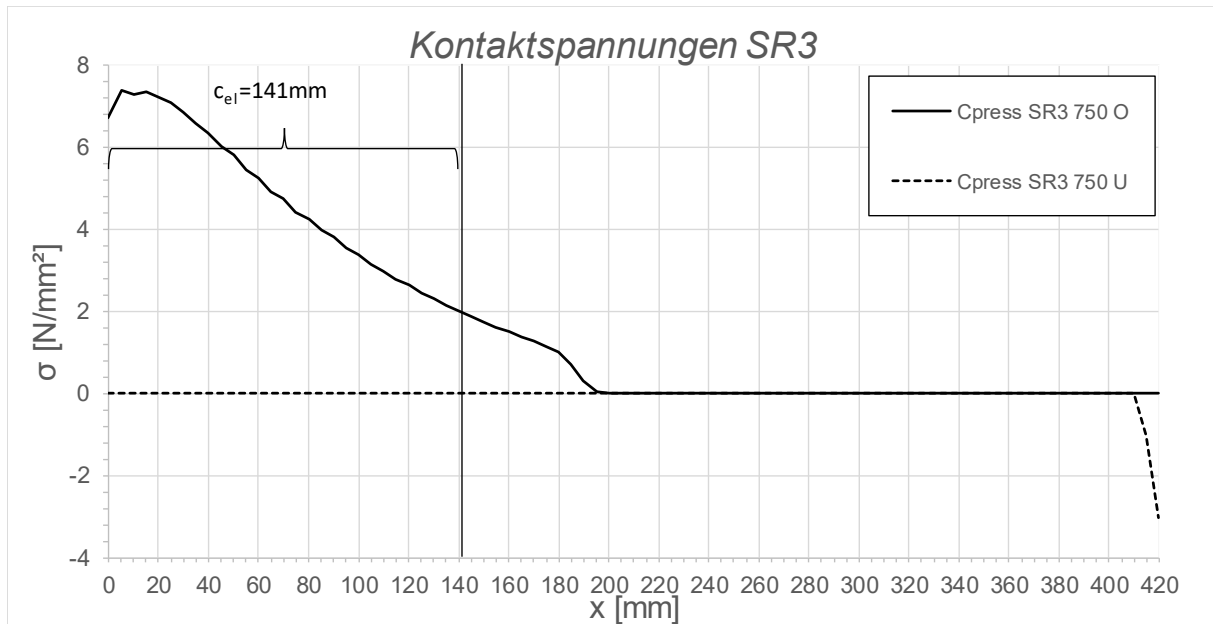


Abbildung A.86: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

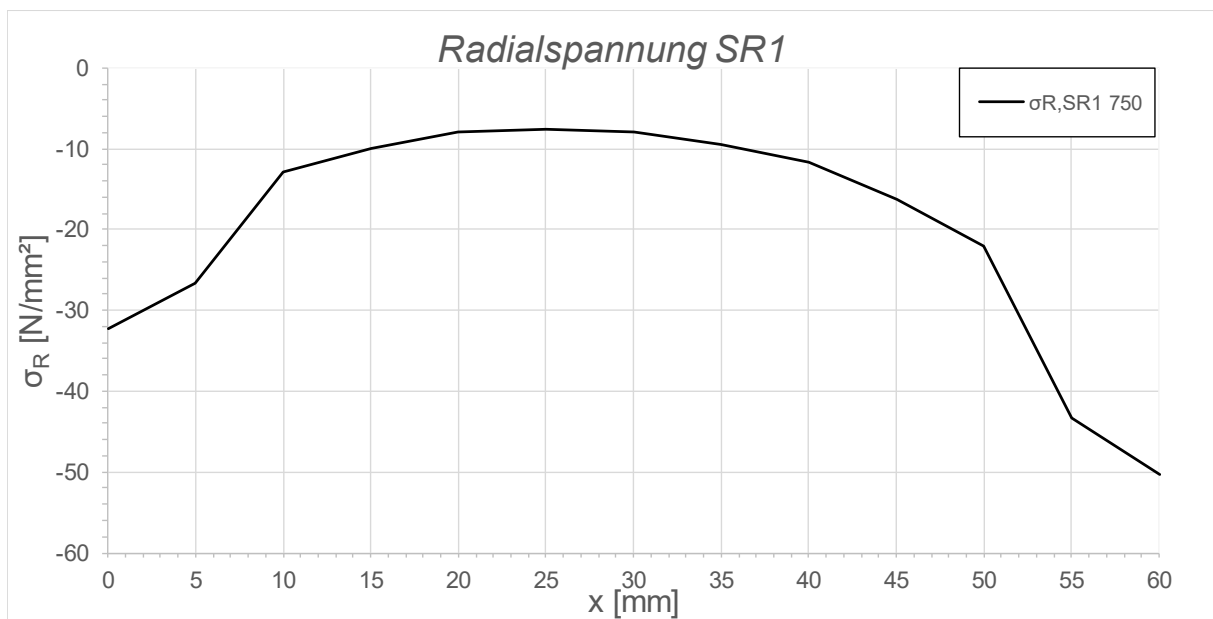


Abbildung A.87: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

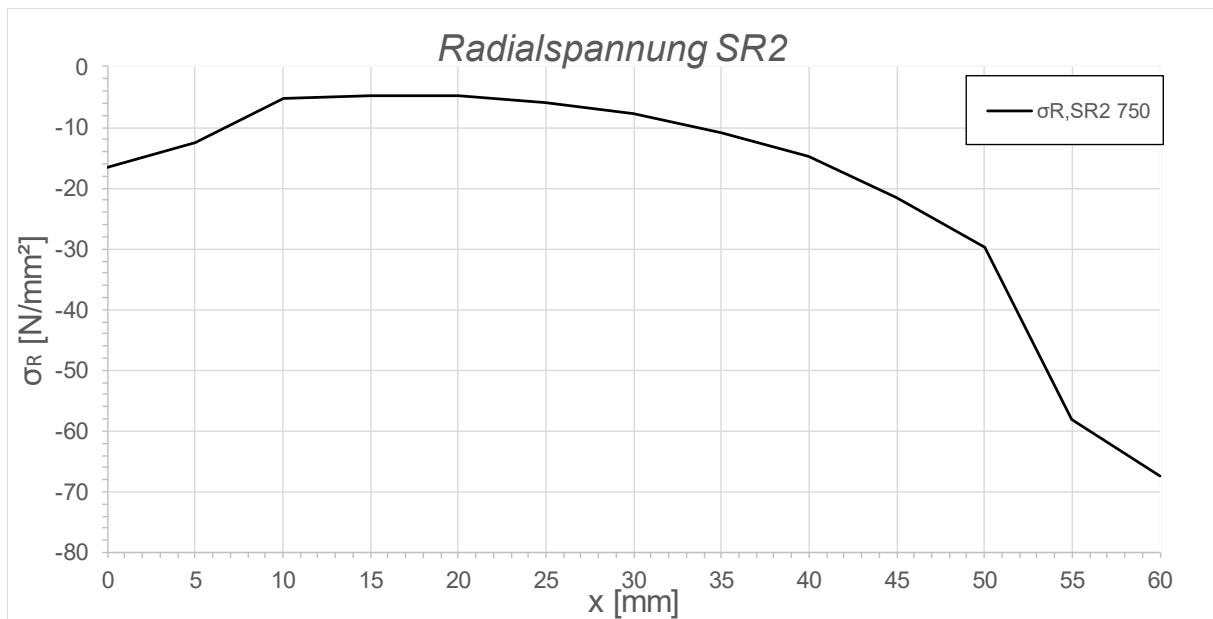


Abbildung A.88: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

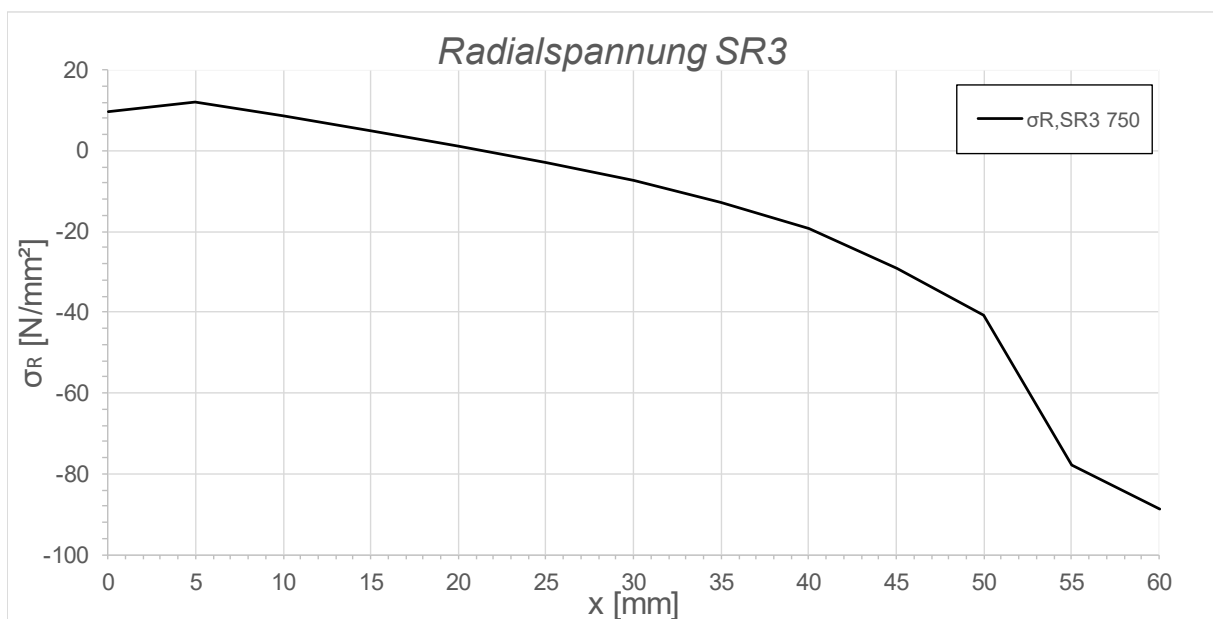


Abbildung A.89: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

A.3.8 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

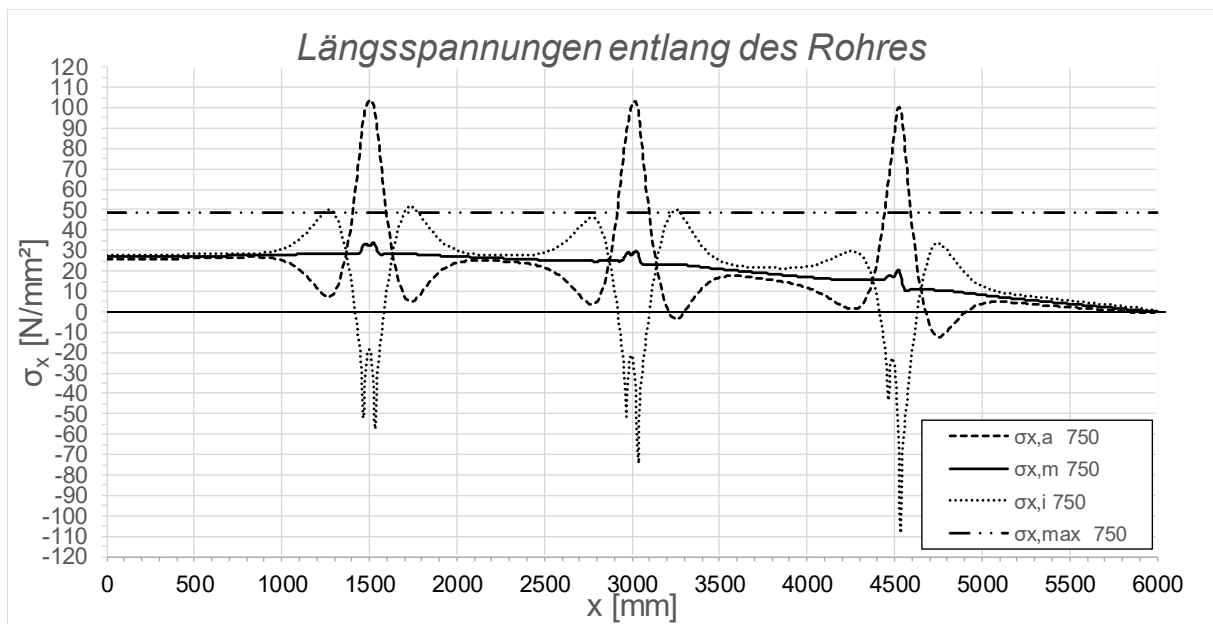


Abbildung A.90: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

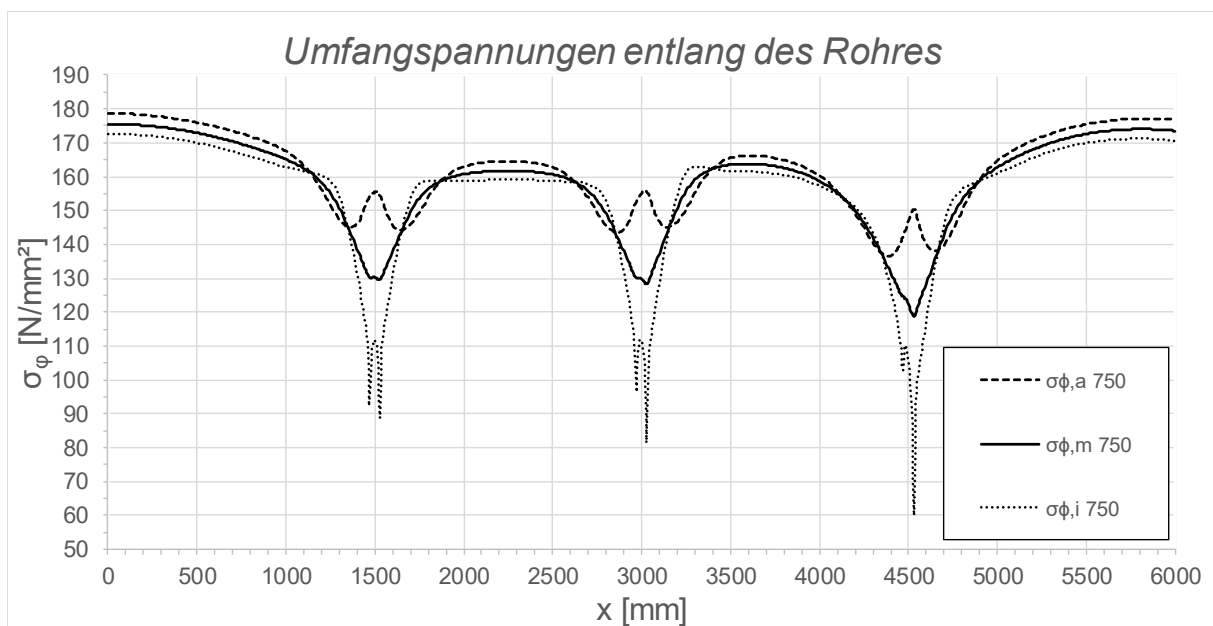


Abbildung A.91: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

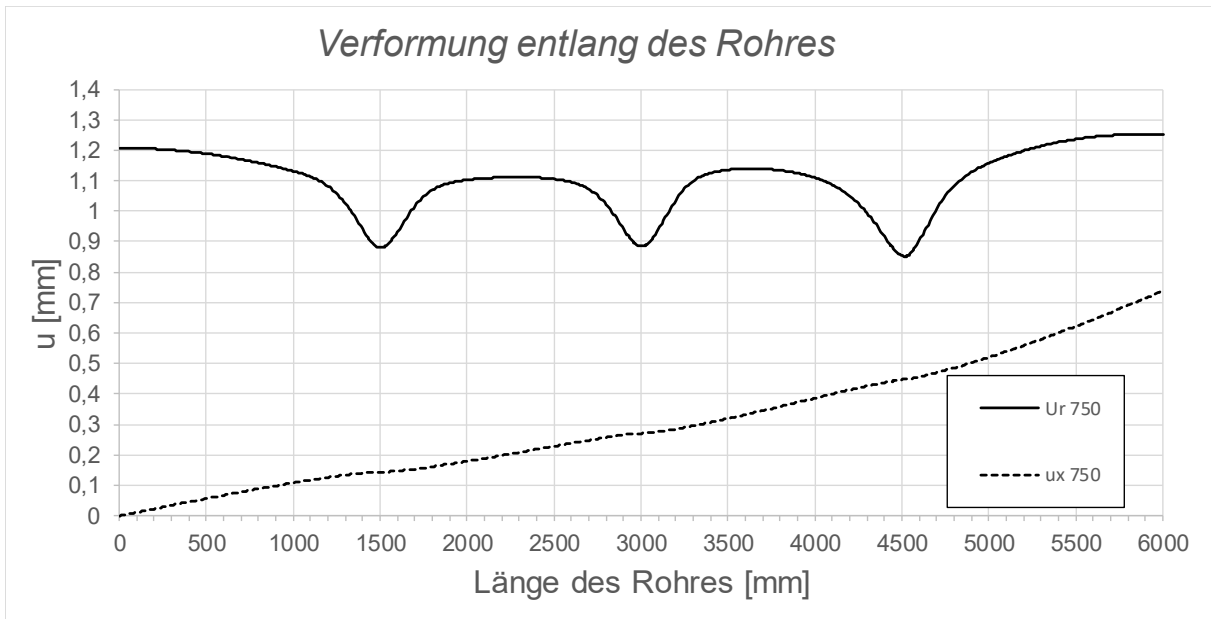


Abbildung A.92: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

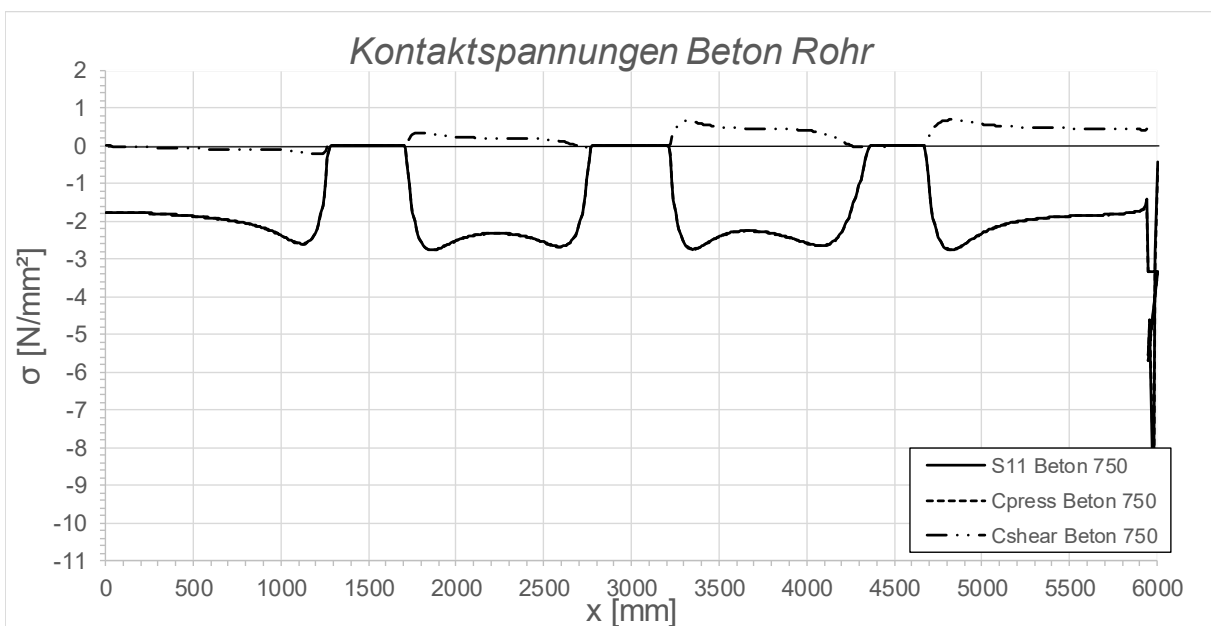


Abbildung A.93: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

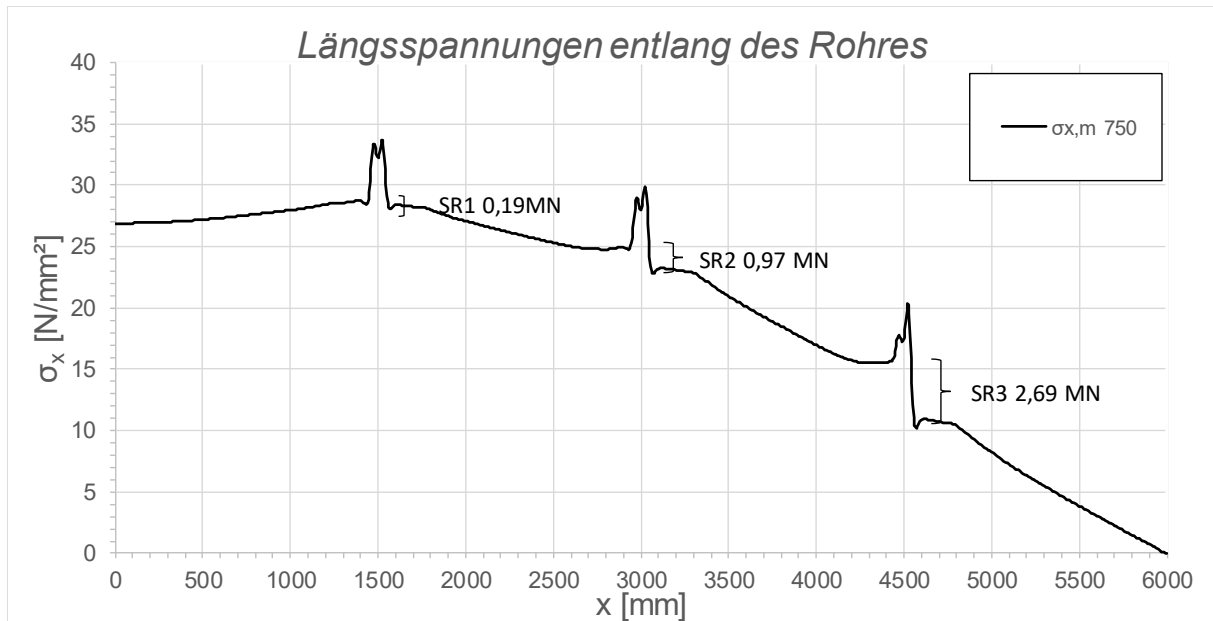


Abbildung A.94: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

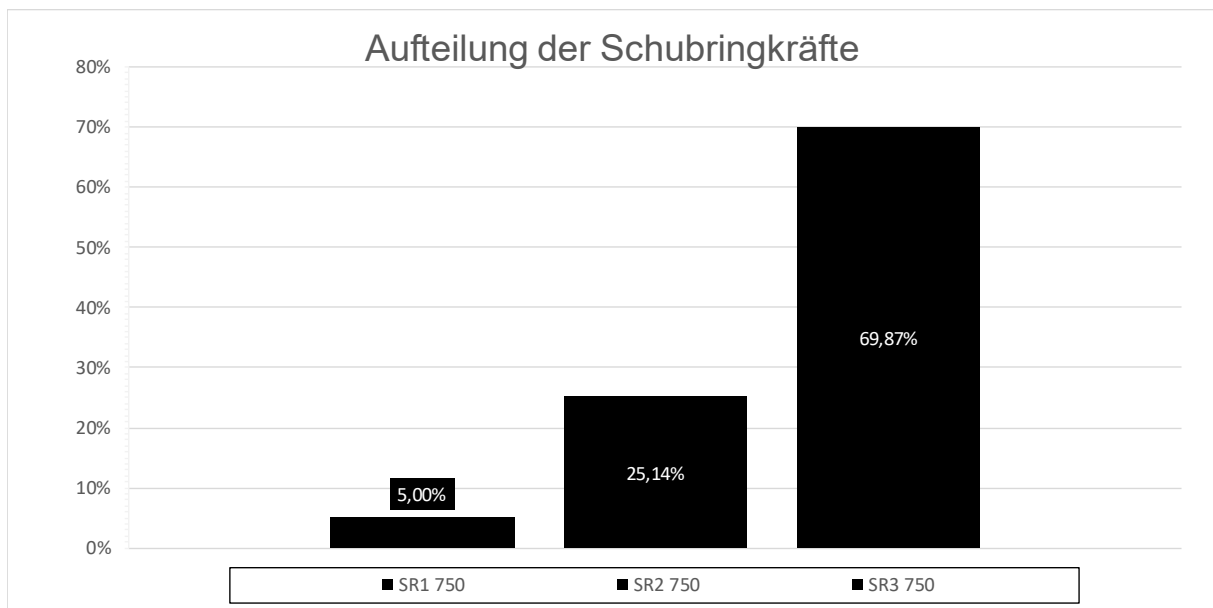


Abbildung A.95: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

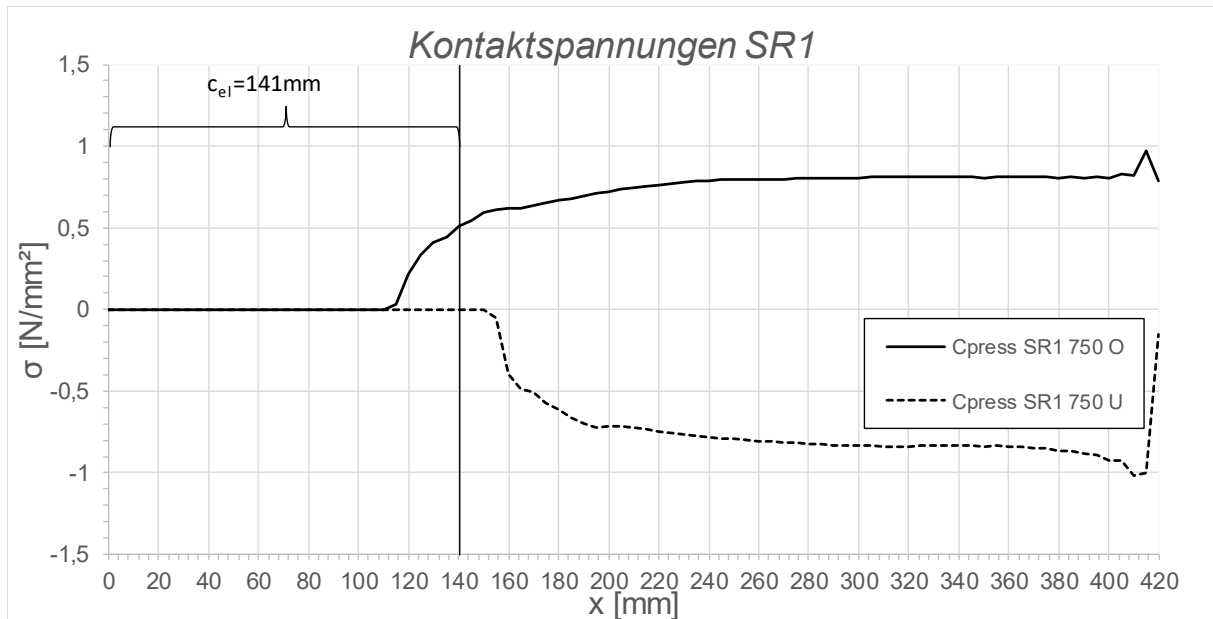


Abbildung A.96: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubrings 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

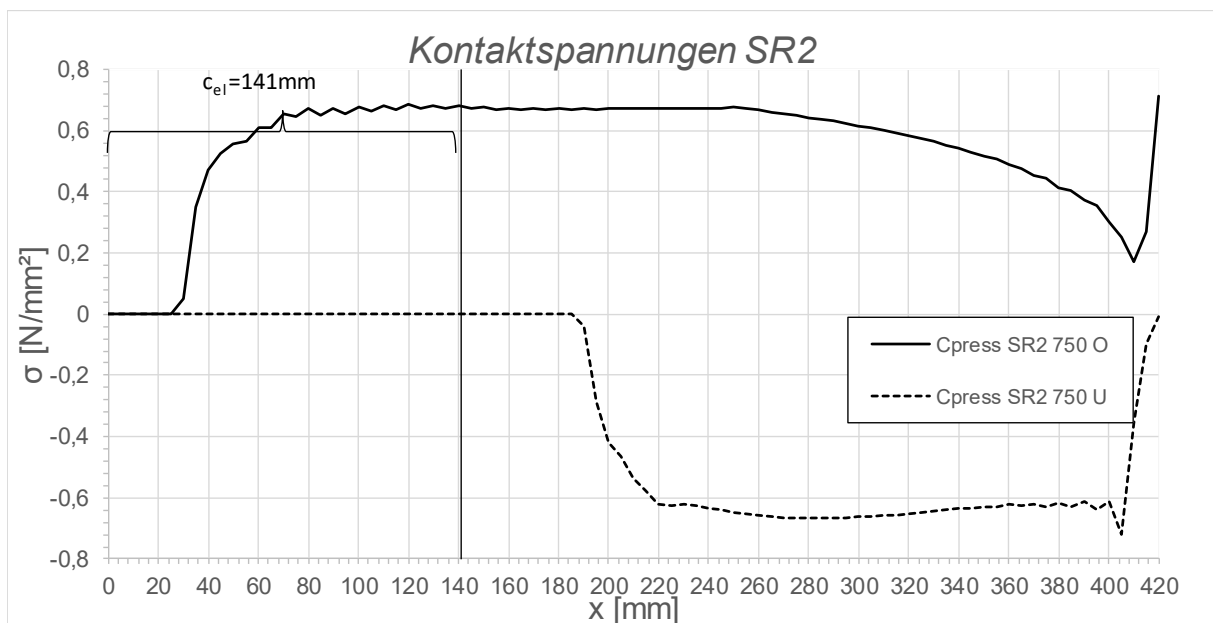


Abbildung A.97: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubrings 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

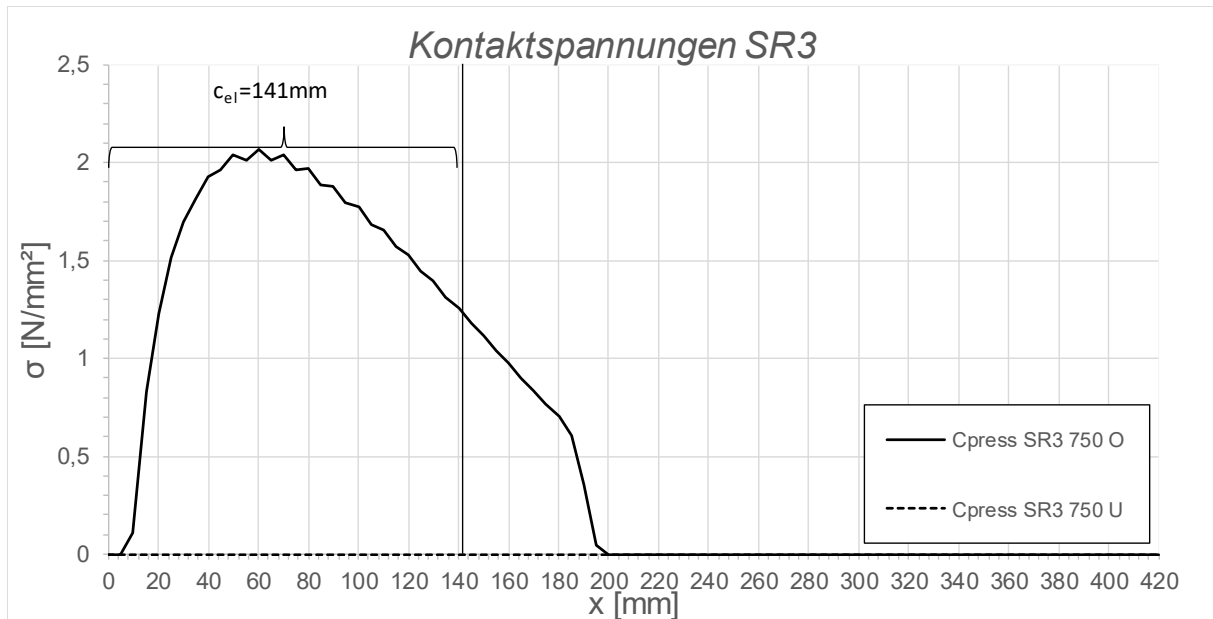


Abbildung A.98: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

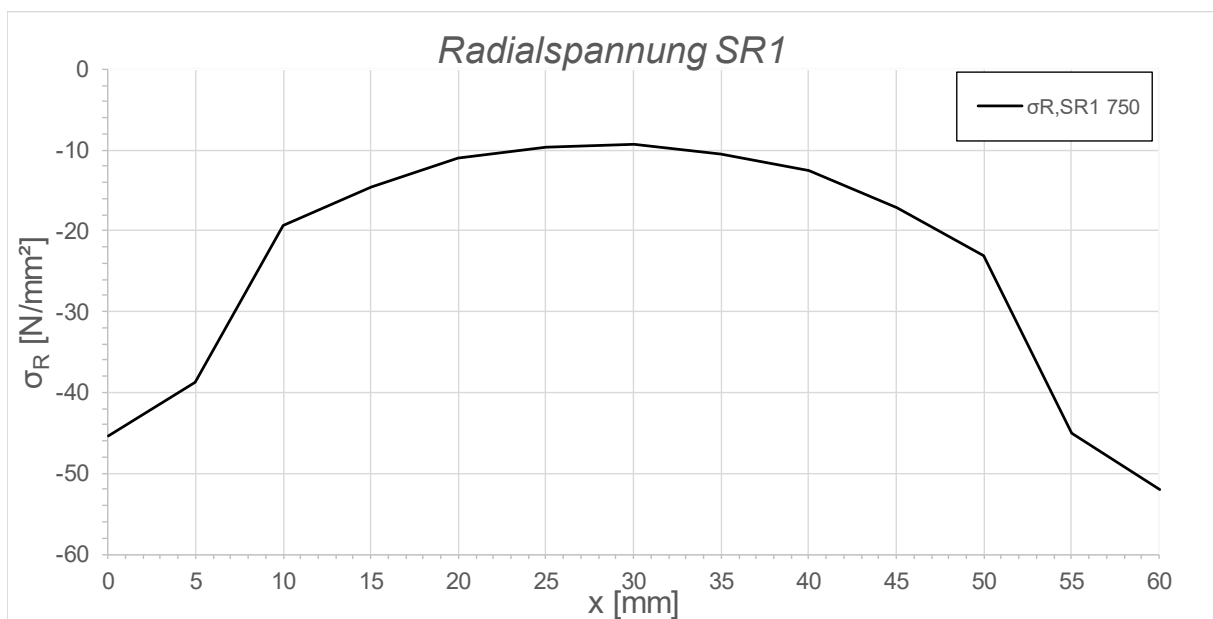


Abbildung A.99: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

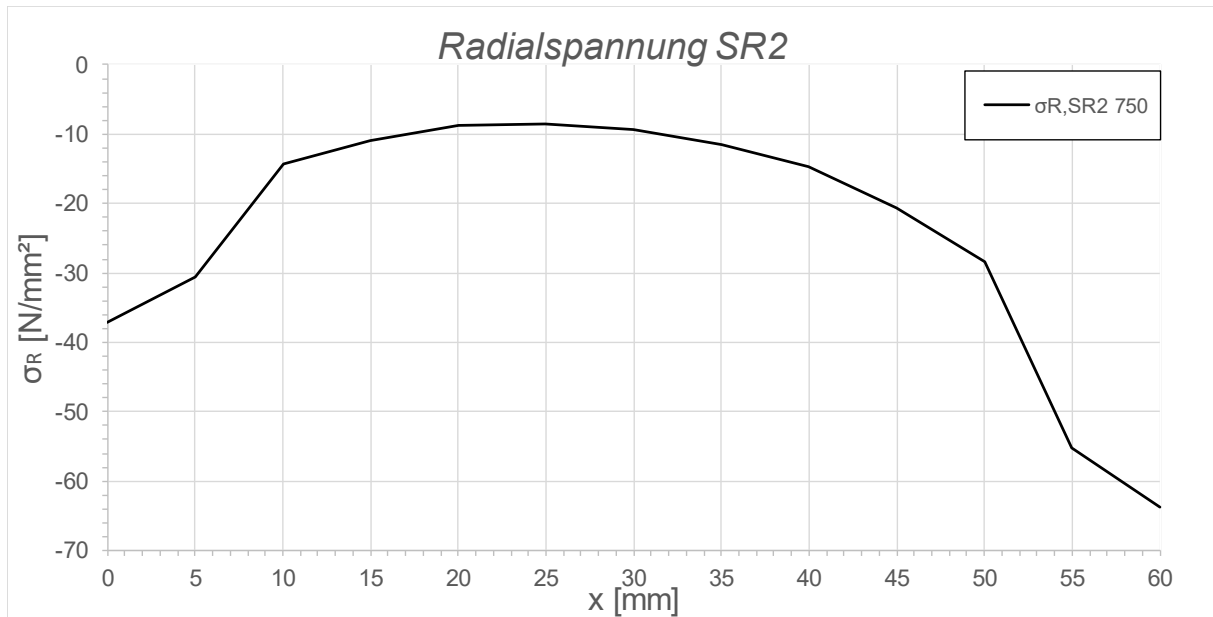


Abbildung A.100: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

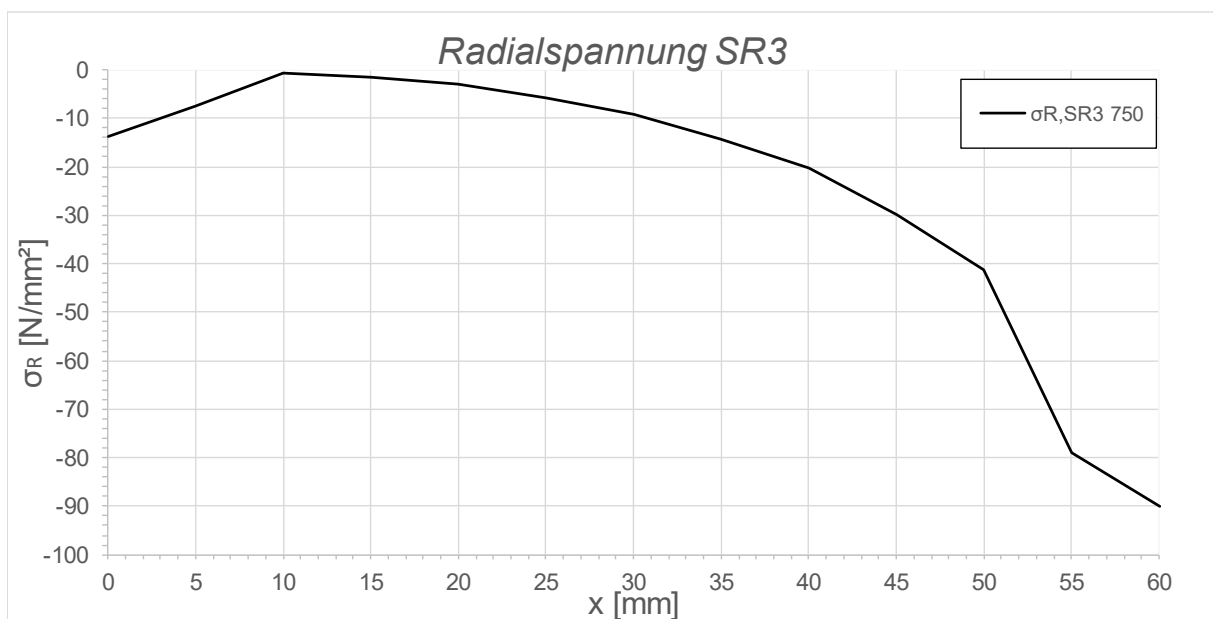


Abbildung A.101: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

A.3.9 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$

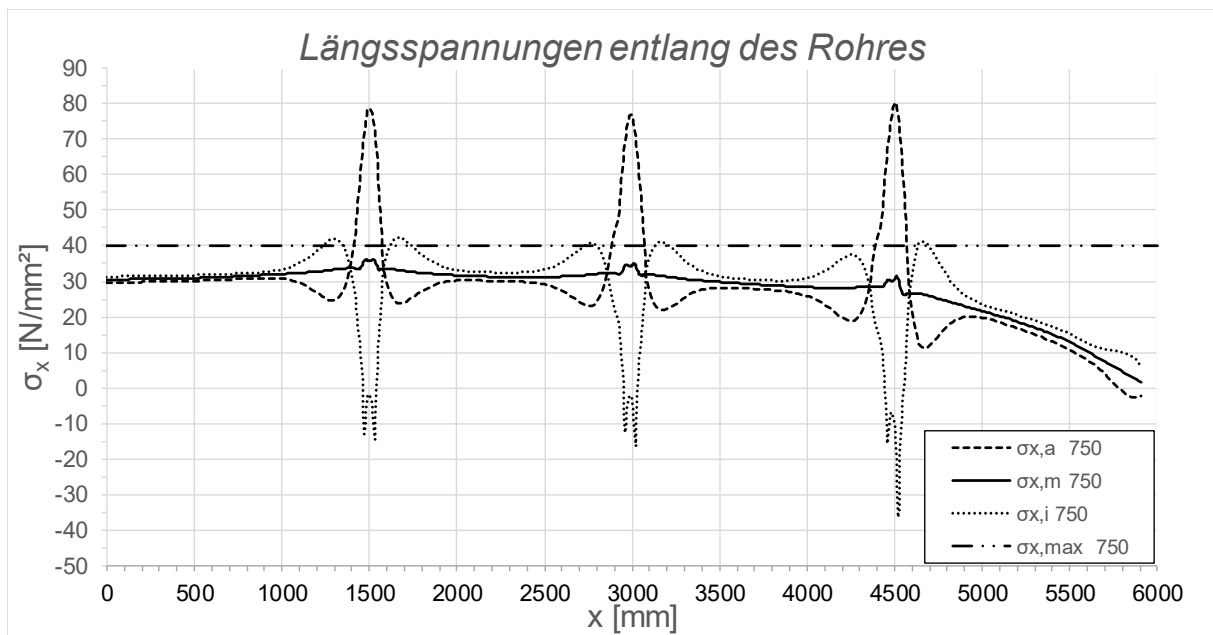


Abbildung A.102: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

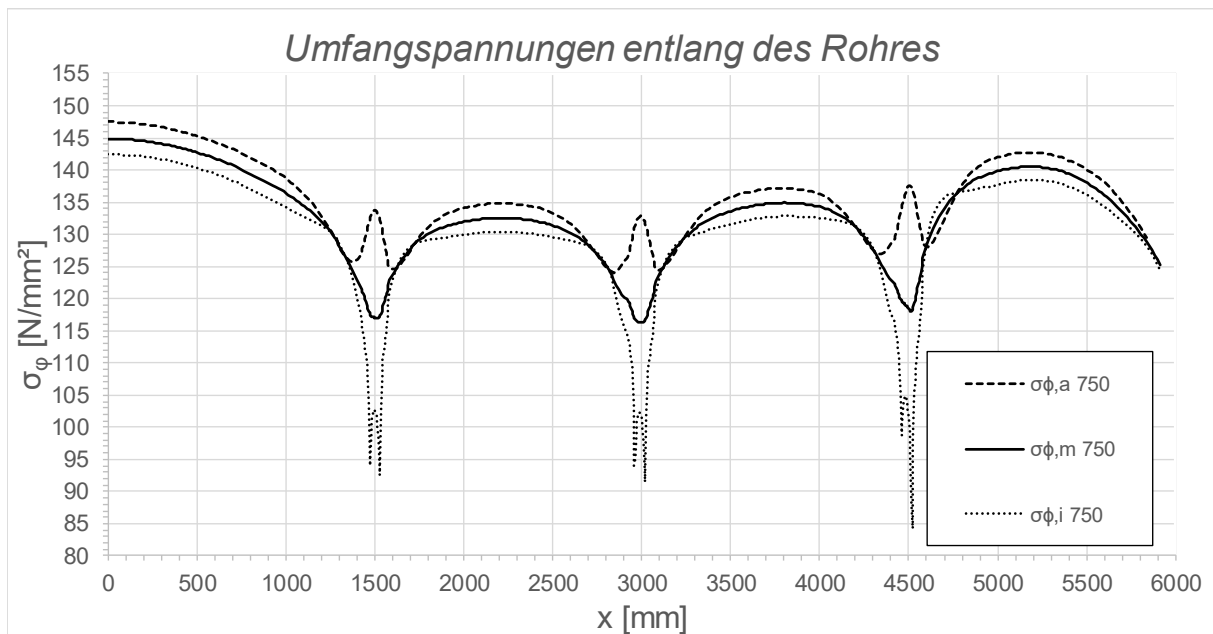


Abbildung A.103: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

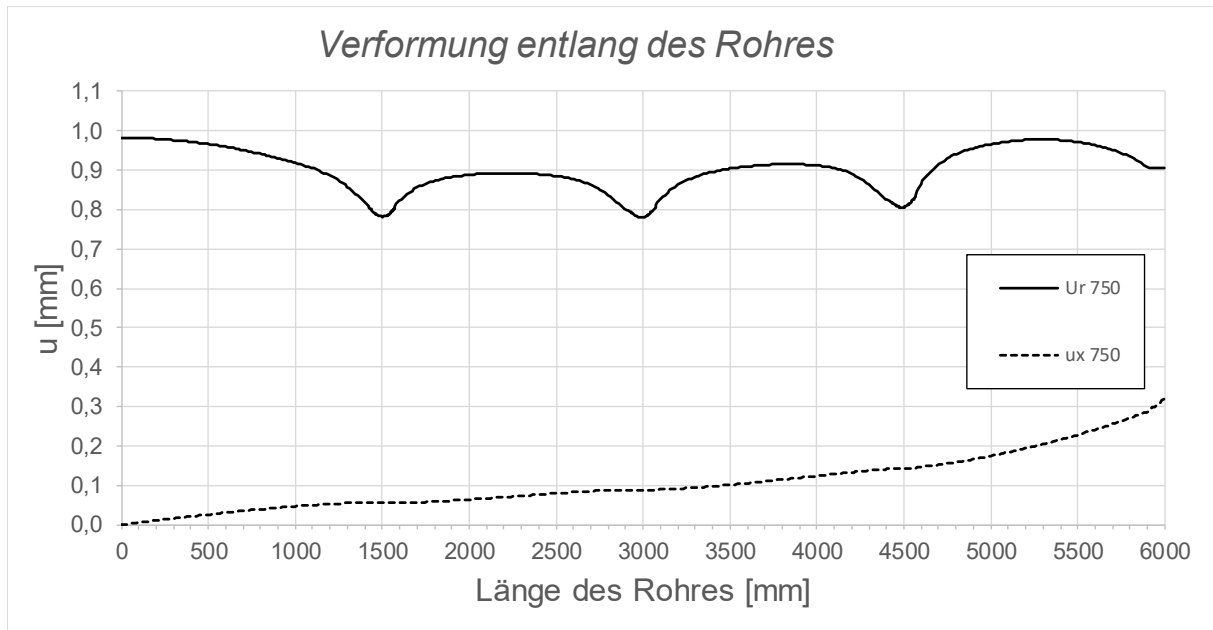


Abbildung A.104: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

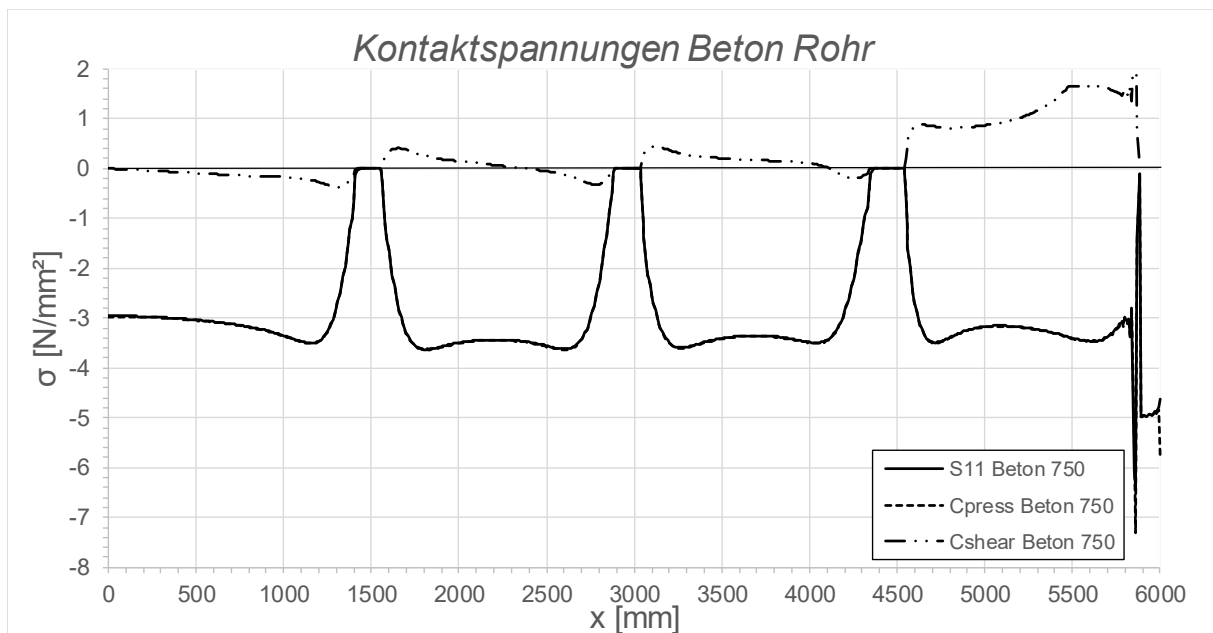


Abbildung A.105: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

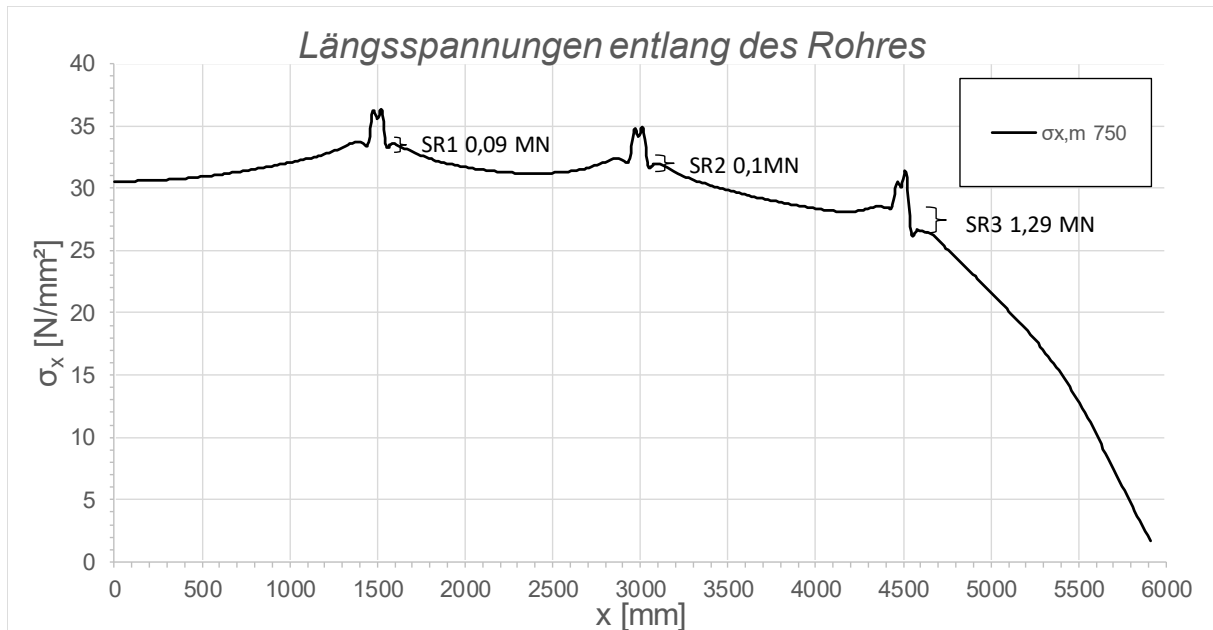


Abbildung A.106: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

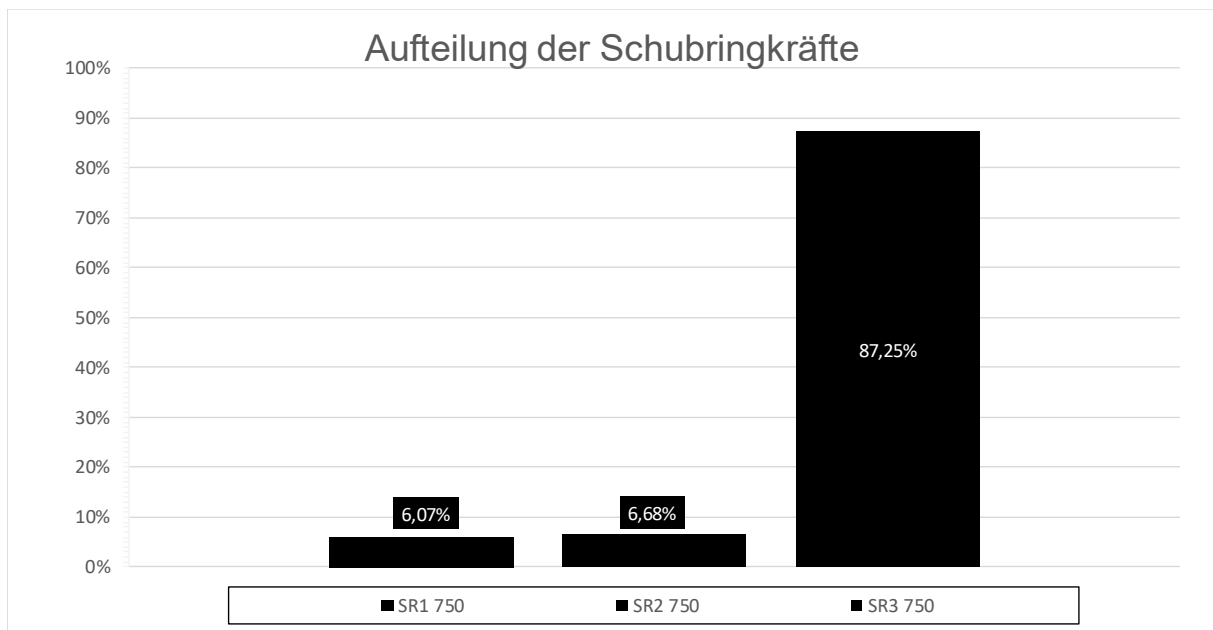


Abbildung A.107: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

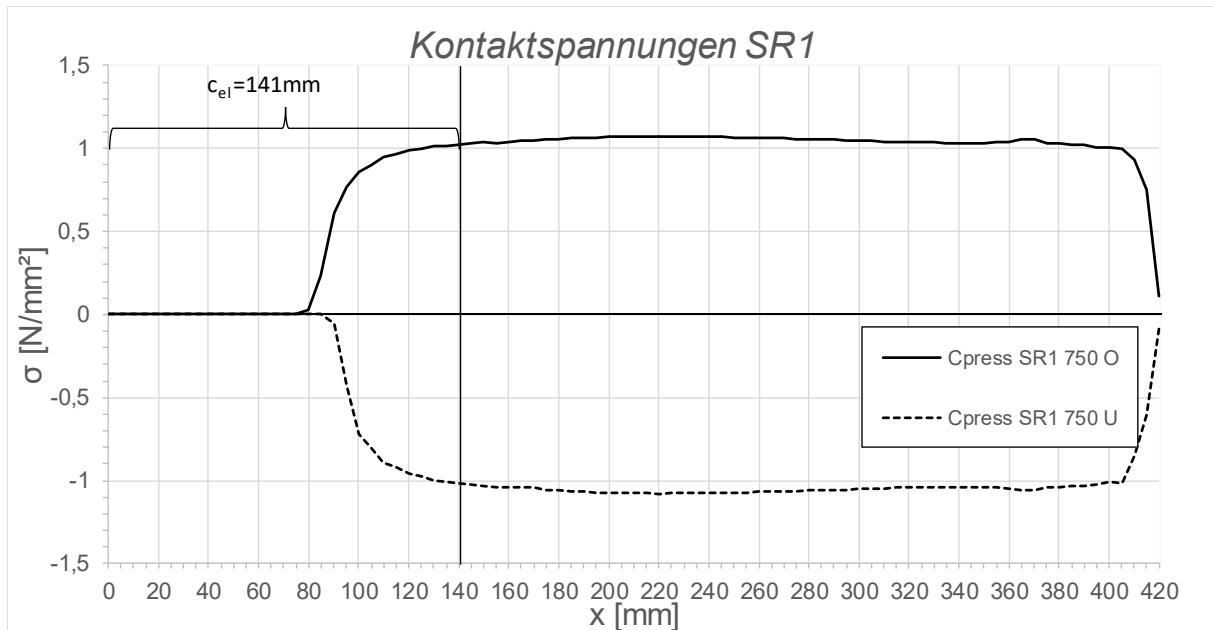


Abbildung A.108: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

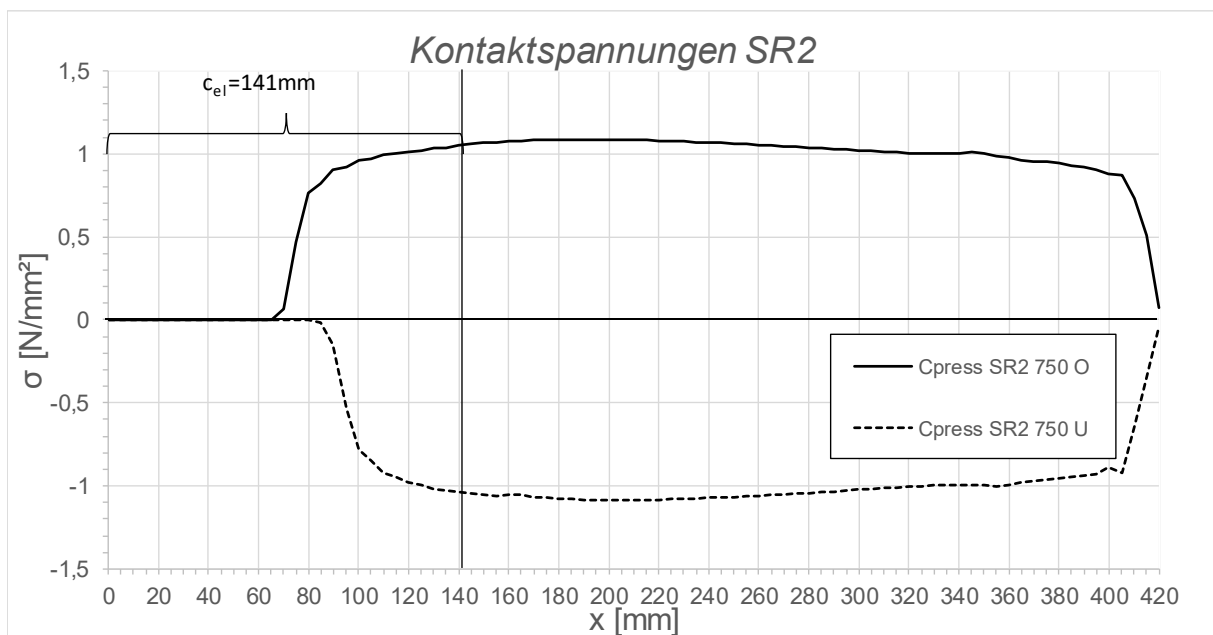


Abbildung A.109: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

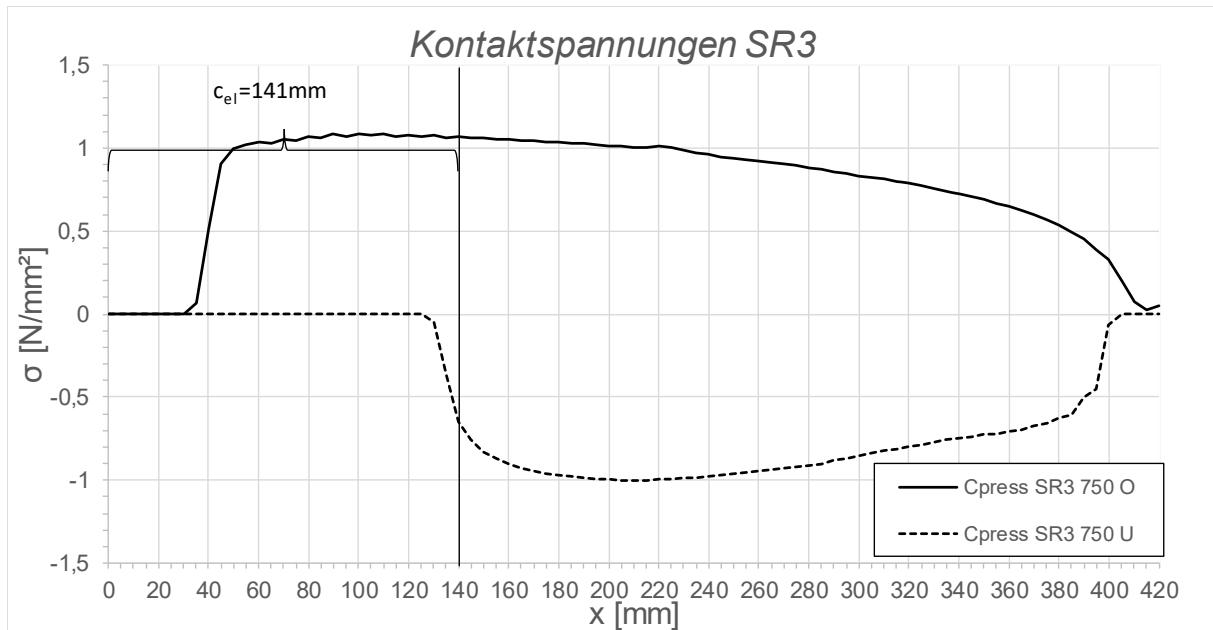


Abbildung A.110: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

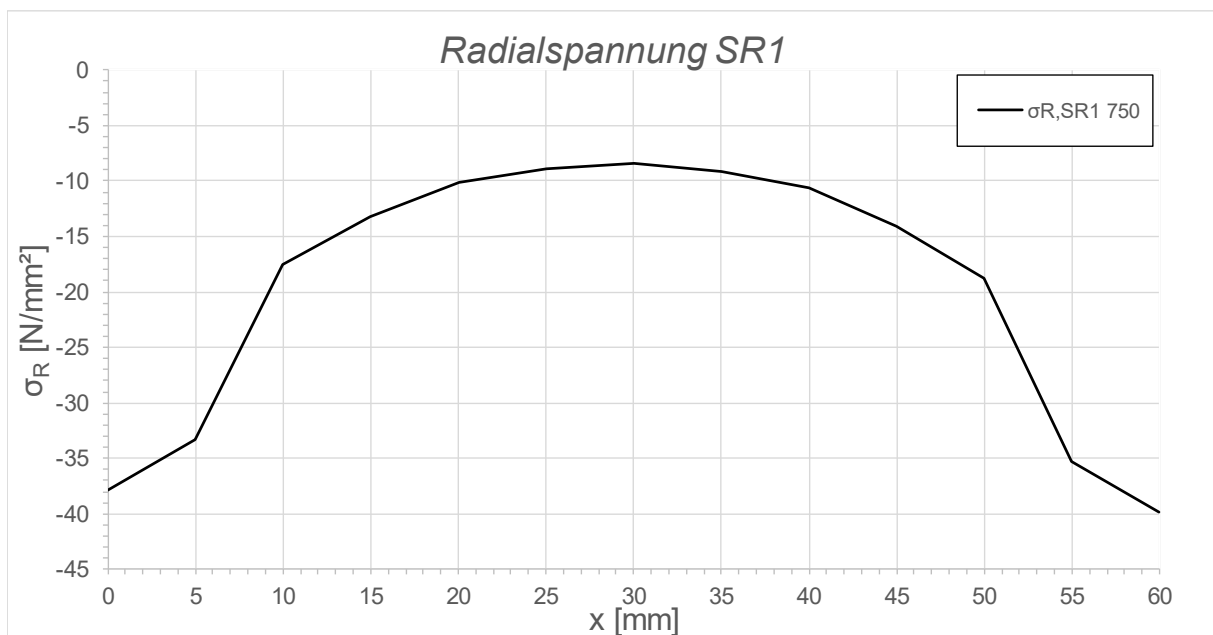


Abbildung A.111: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

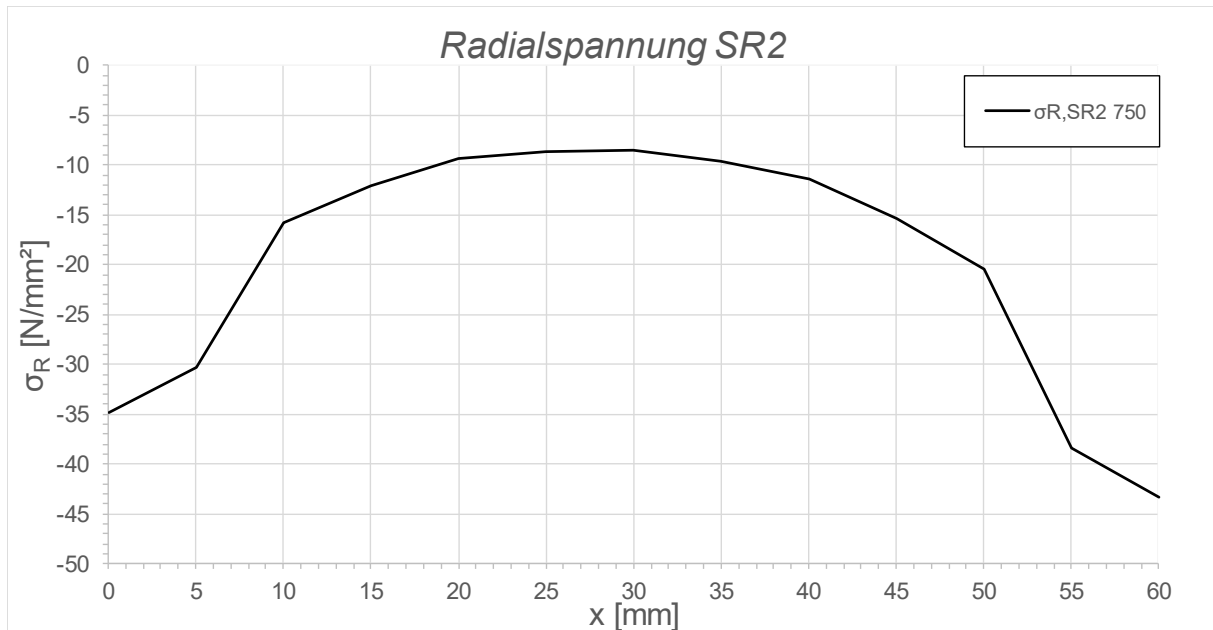


Abbildung A.112: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

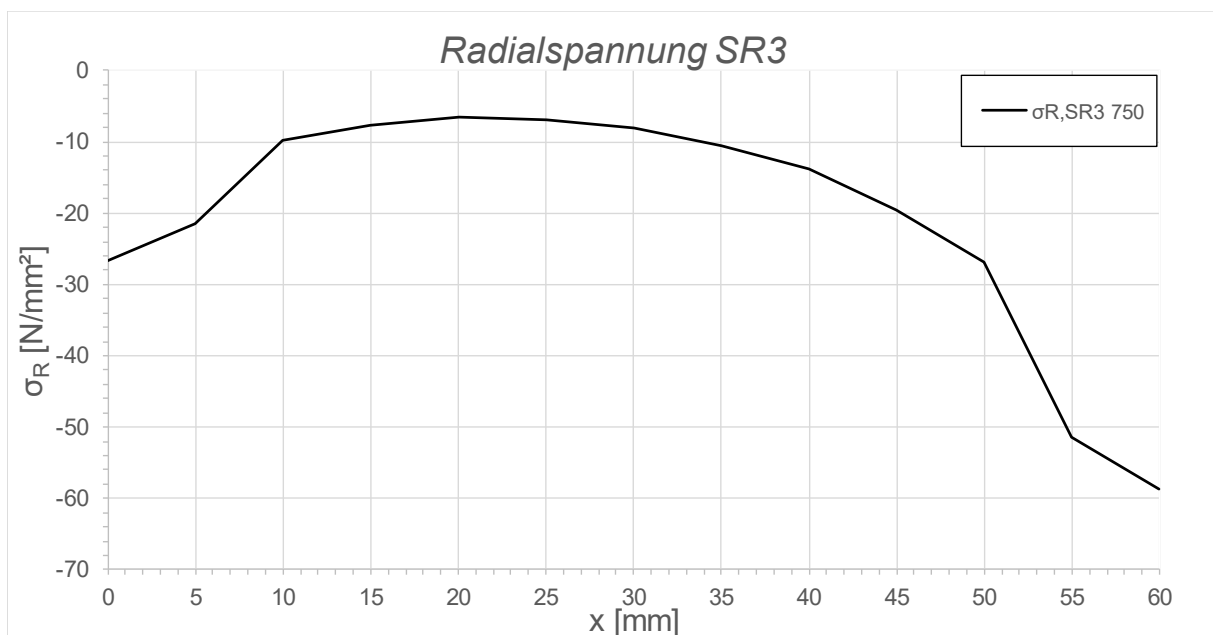


Abbildung A.113: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

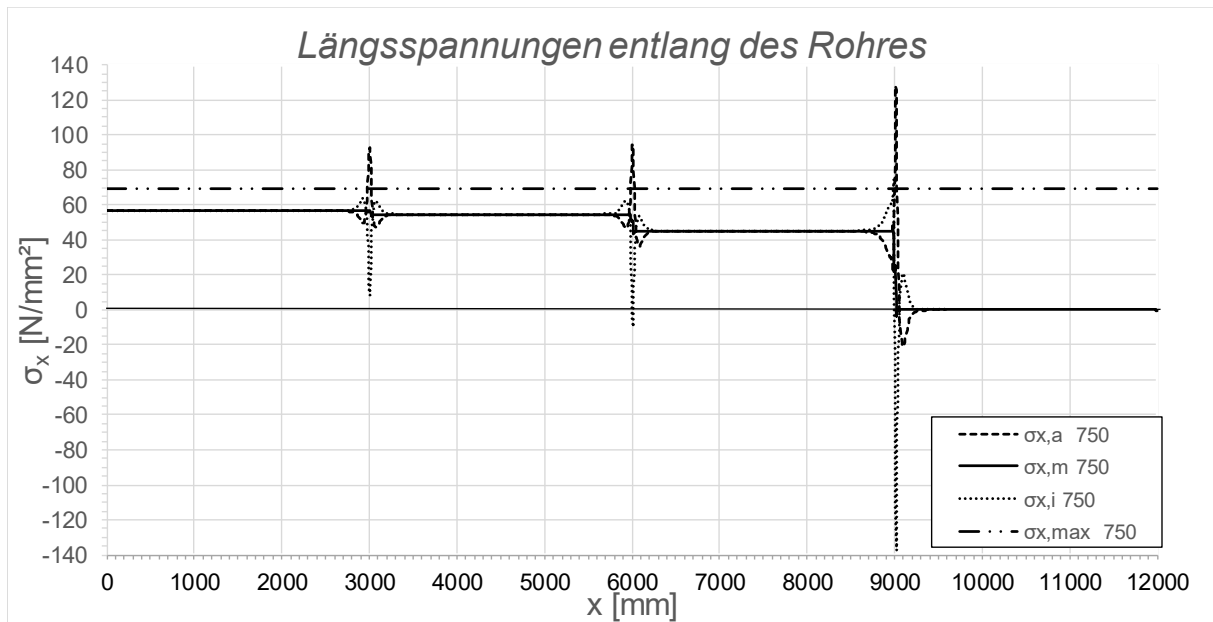
A.3.10 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$ 

Abbildung A.114: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

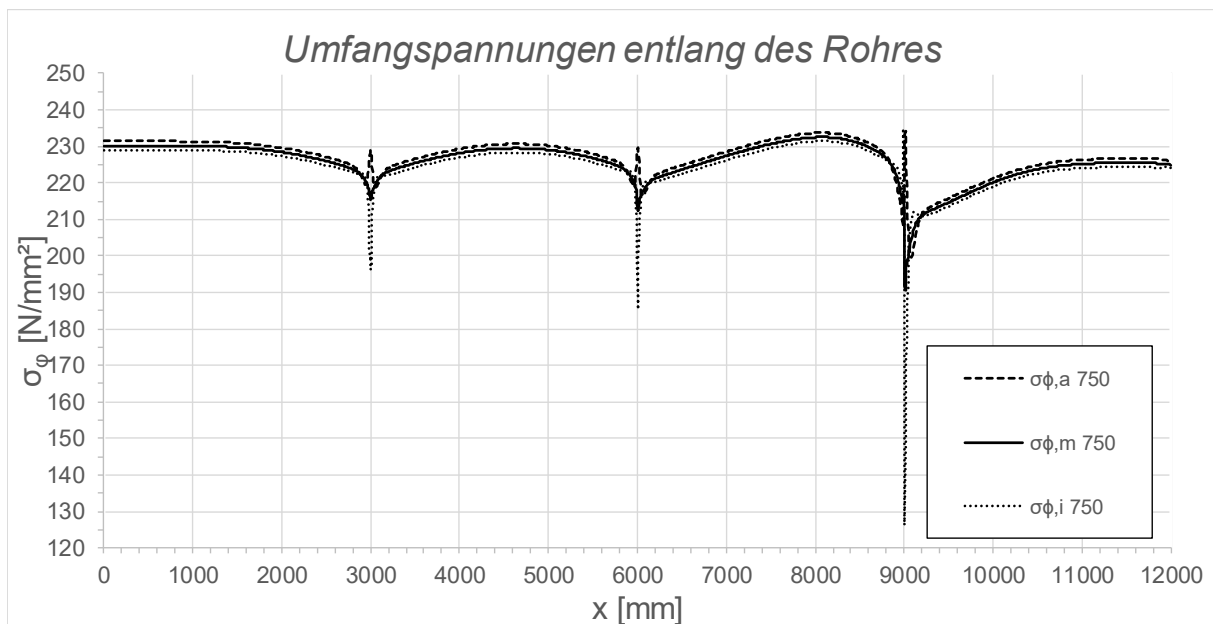


Abbildung A.115: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

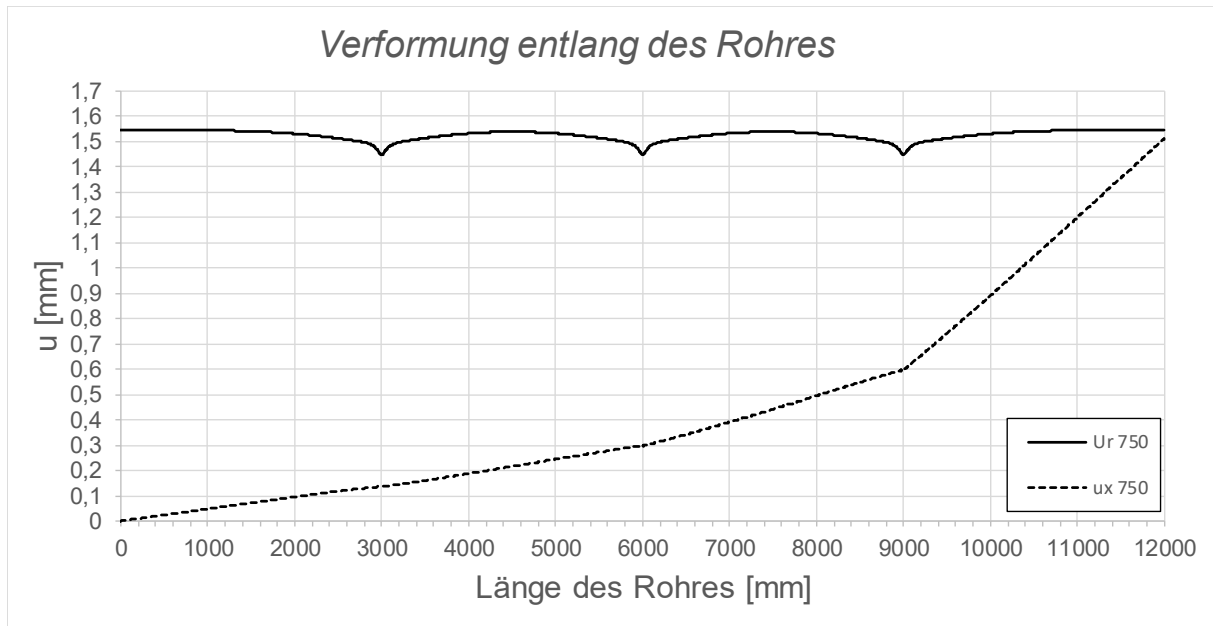


Abbildung A.116: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

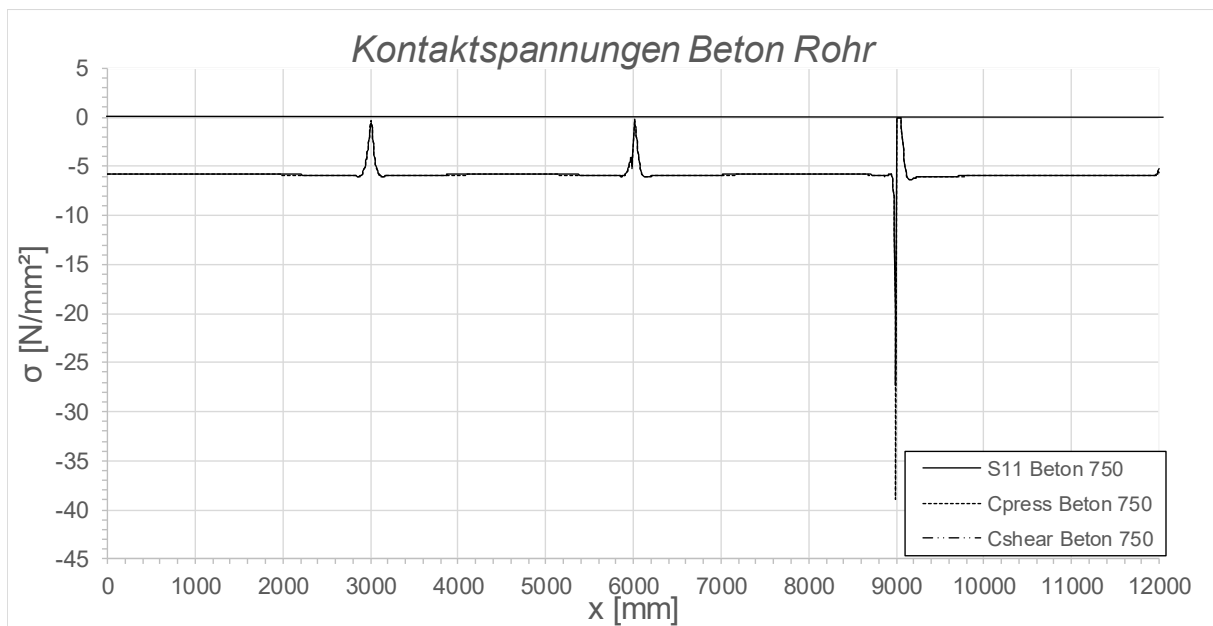


Abbildung A.117: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

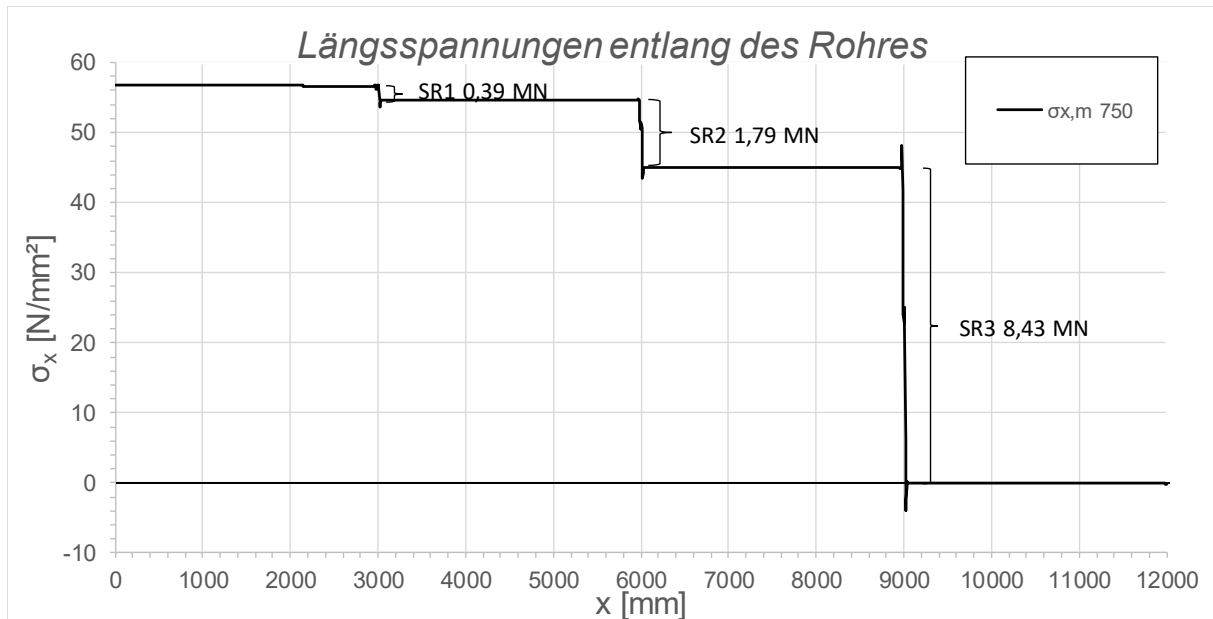


Abbildung A.118: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

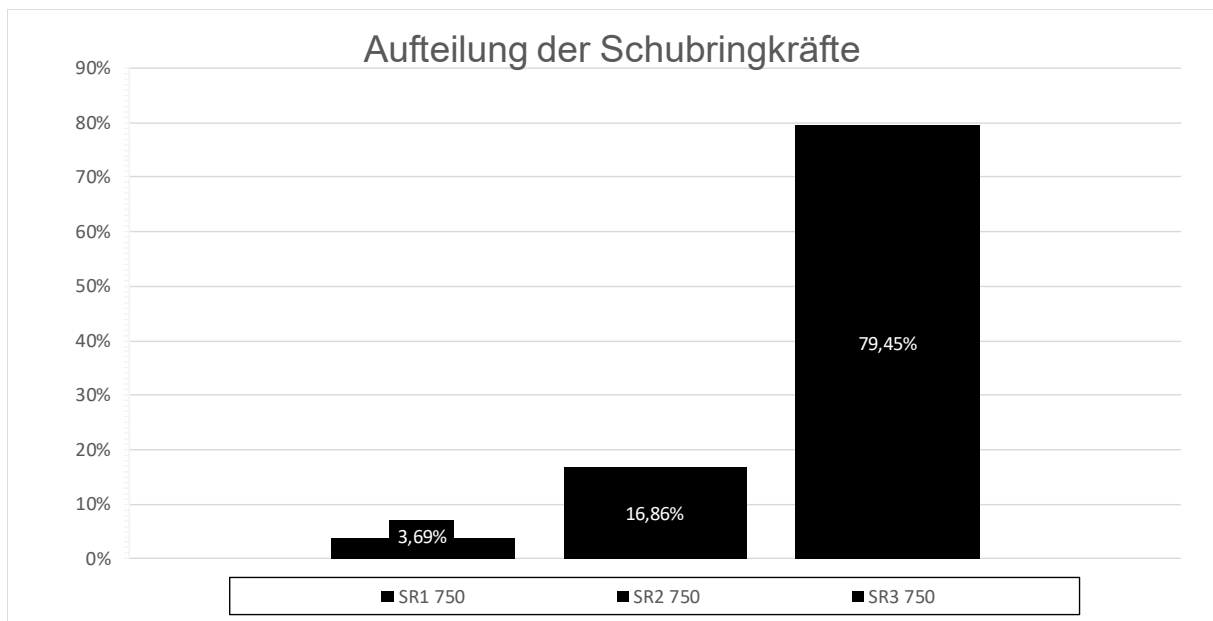


Abbildung A.119: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

A.3.11 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

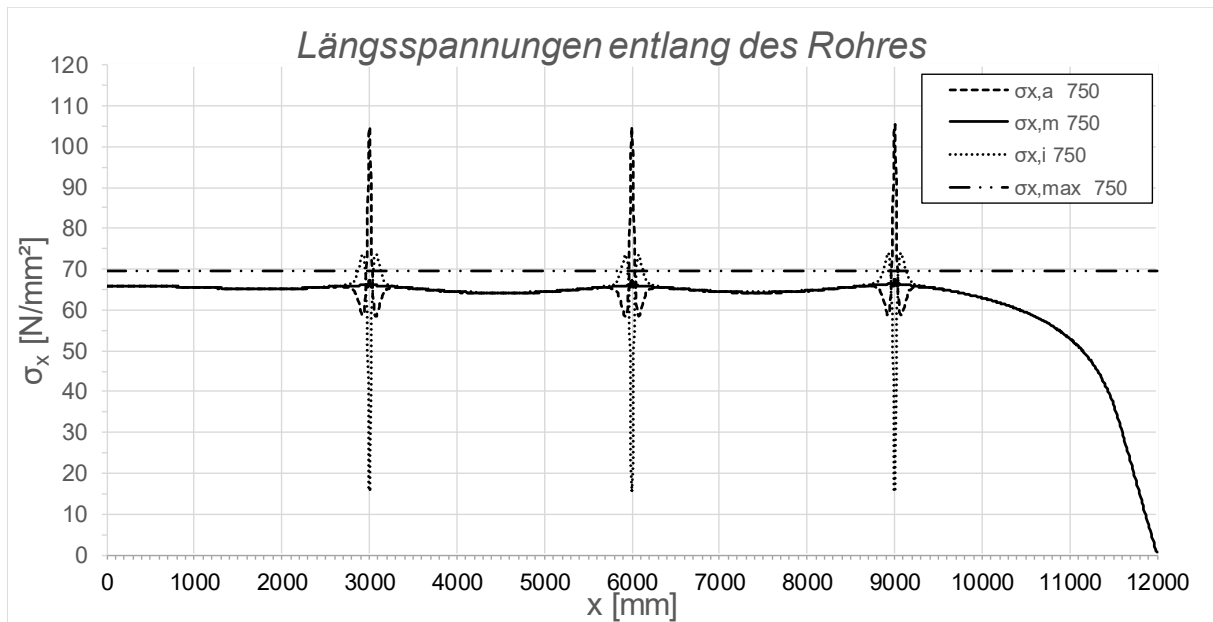


Abbildung A.120: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

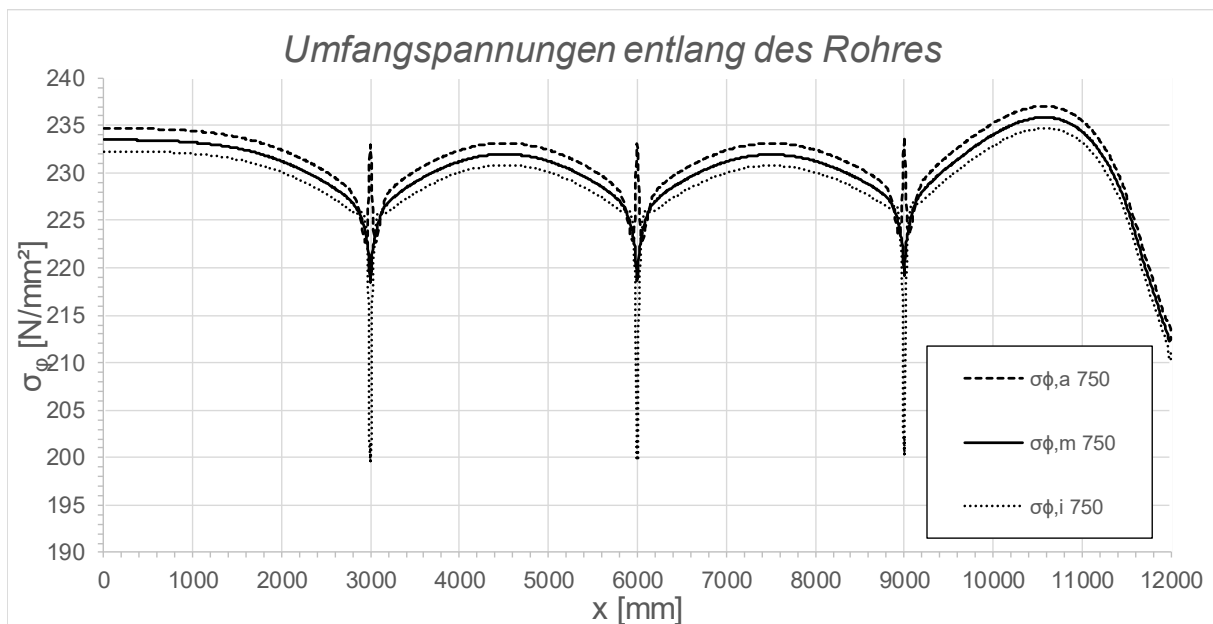


Abbildung A.121: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

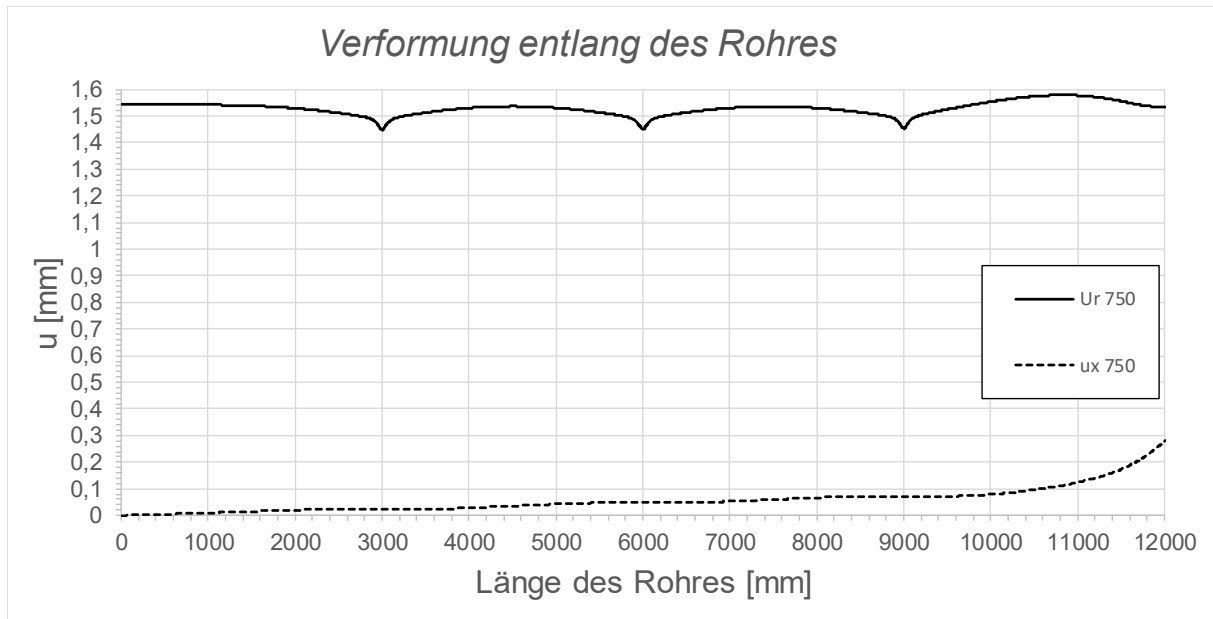


Abbildung A.122: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

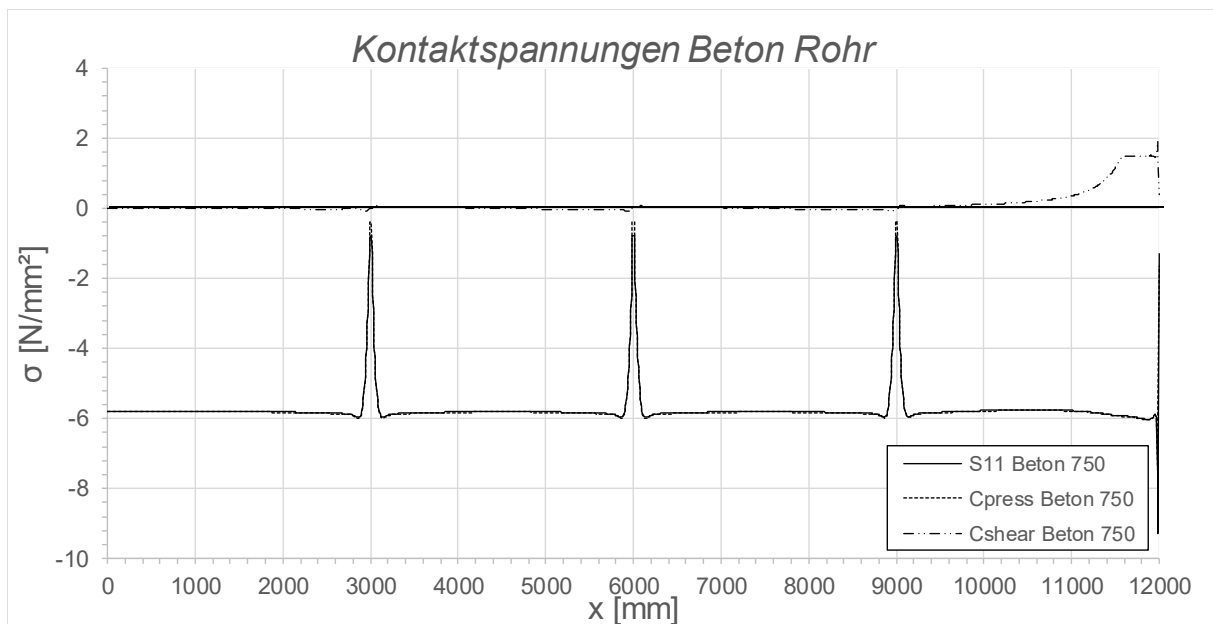


Abbildung A.123: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

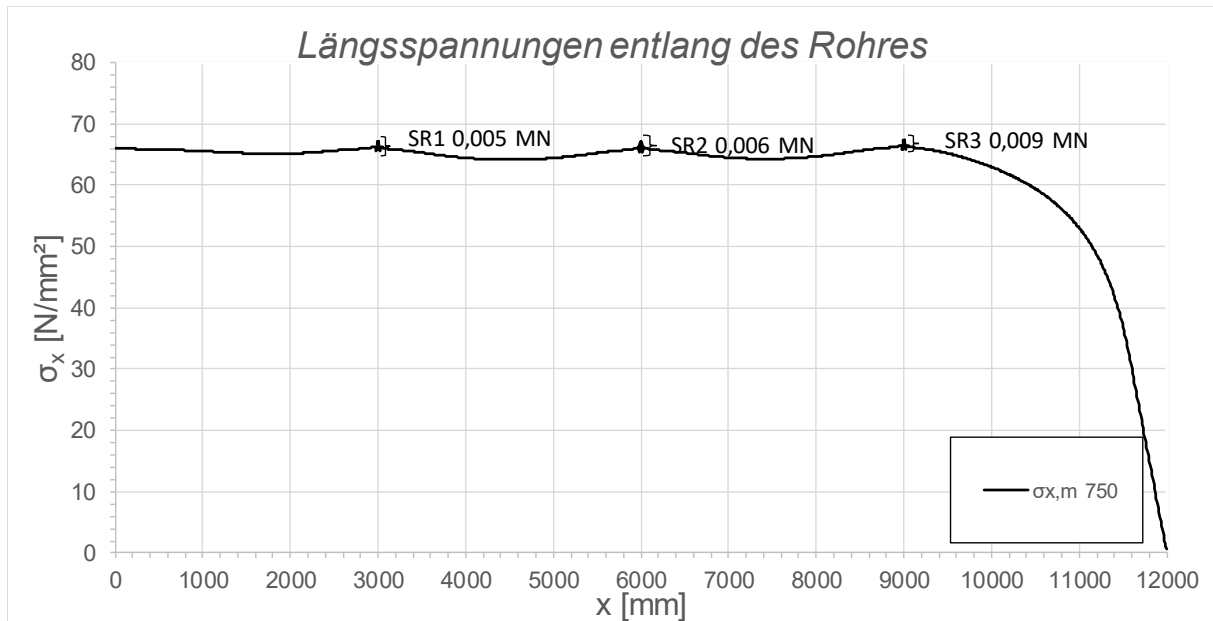


Abbildung A.124: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

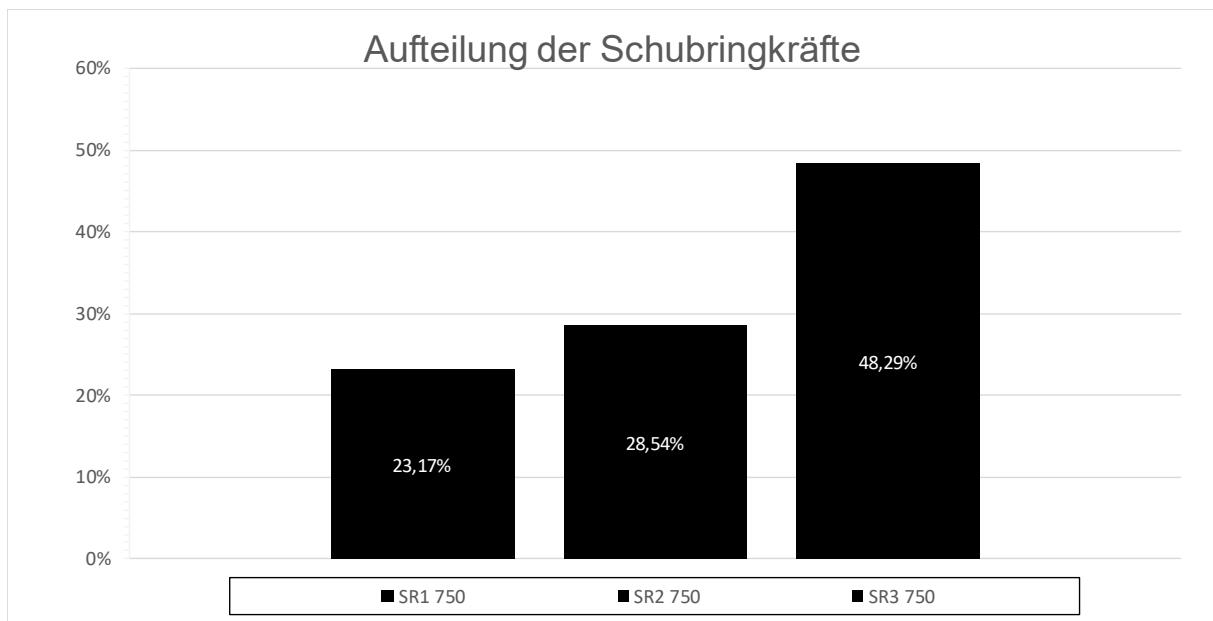
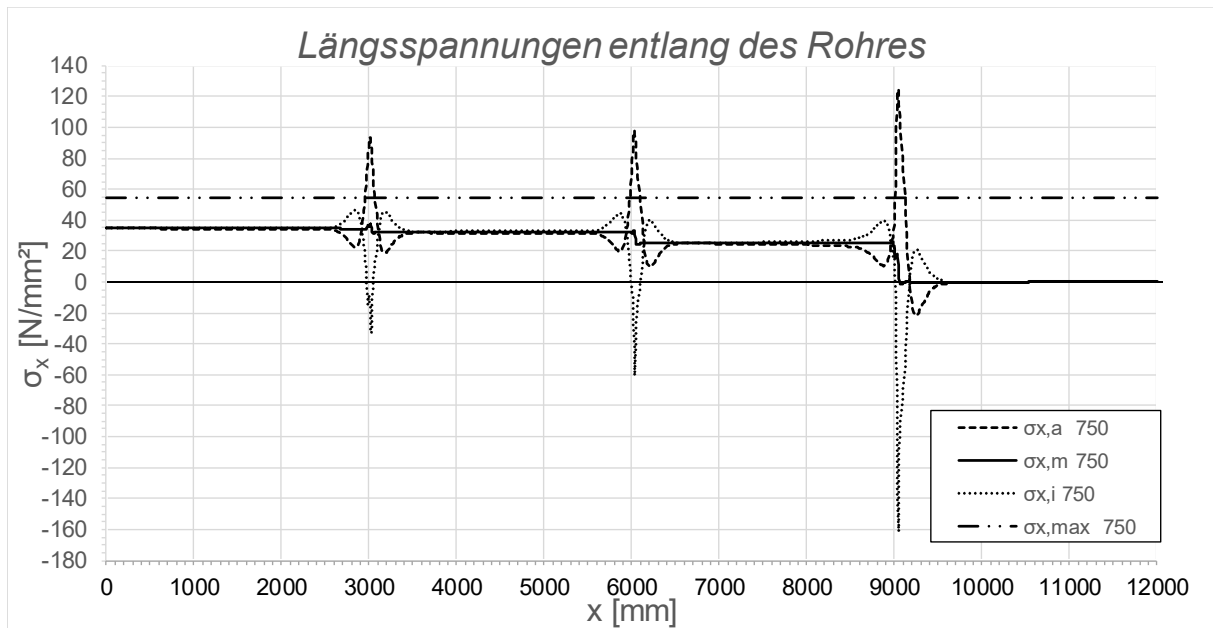
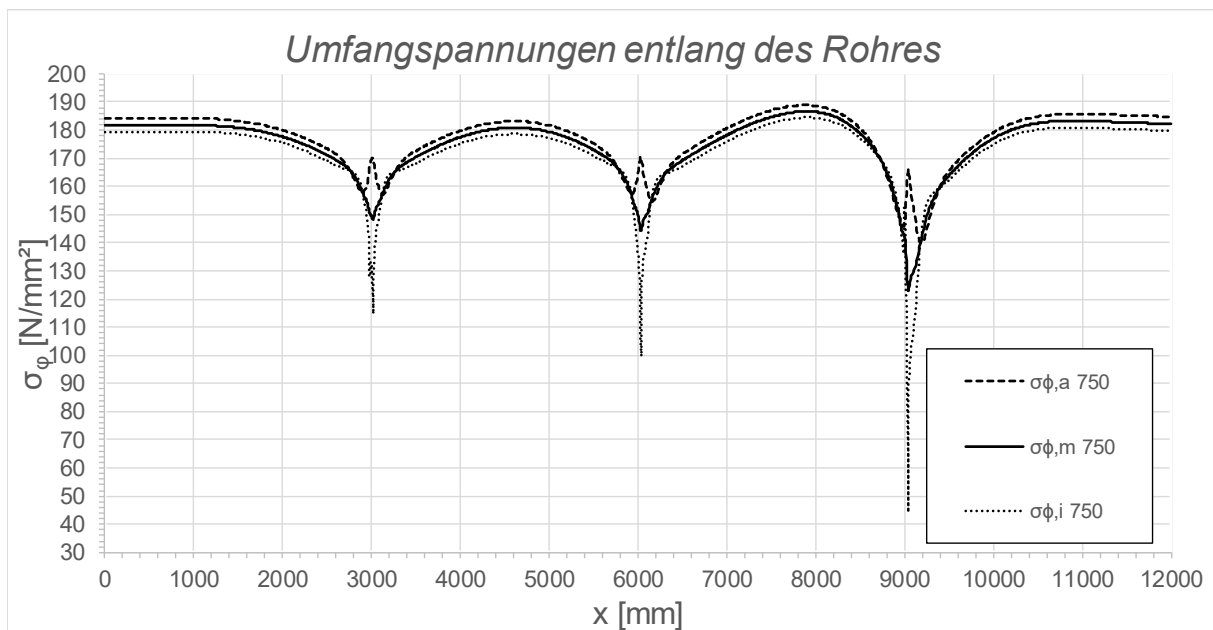


Abbildung A.125: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

A.3.12 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$ Abbildung A.126: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$ Abbildung A.127: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

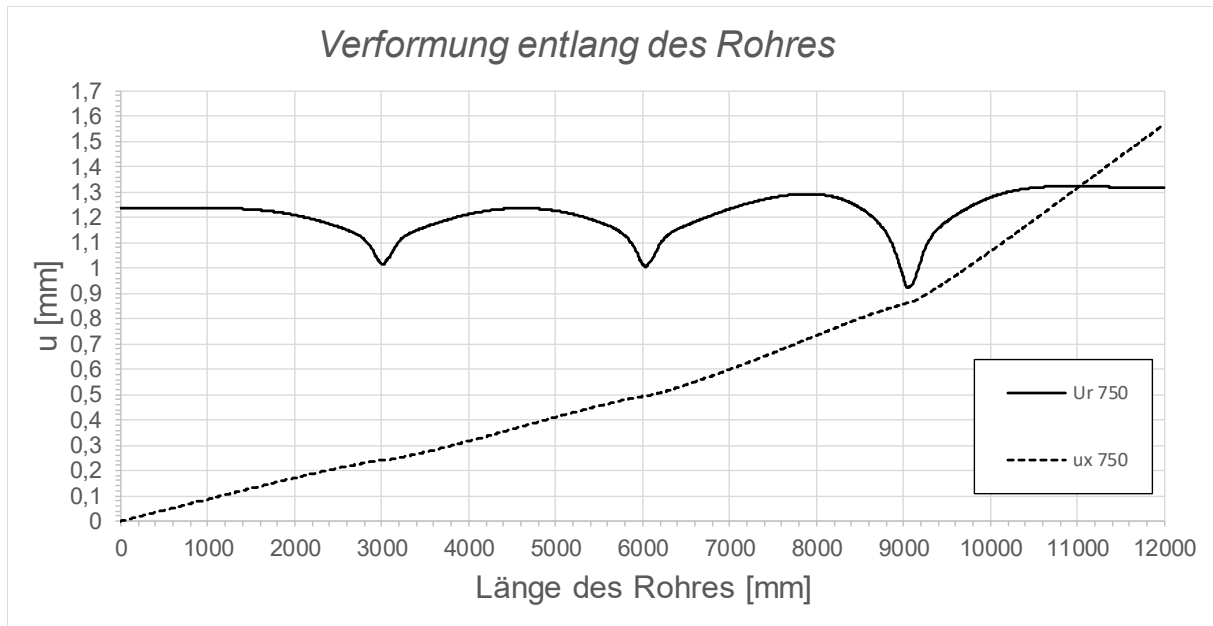


Abbildung A.128: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

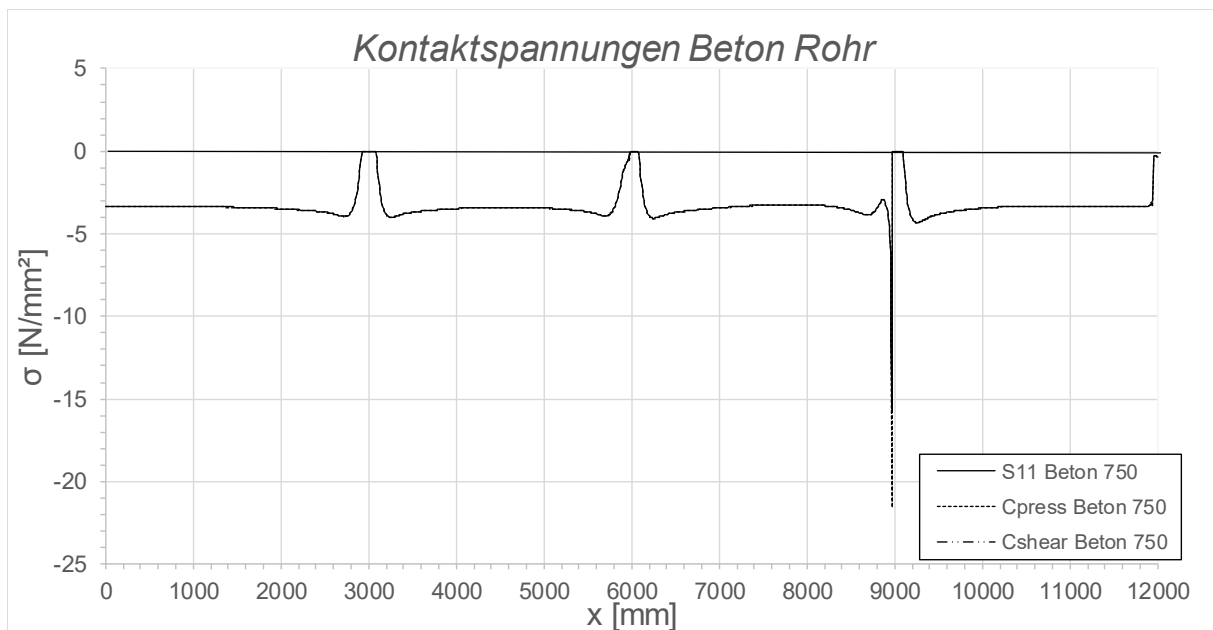


Abbildung A.129: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

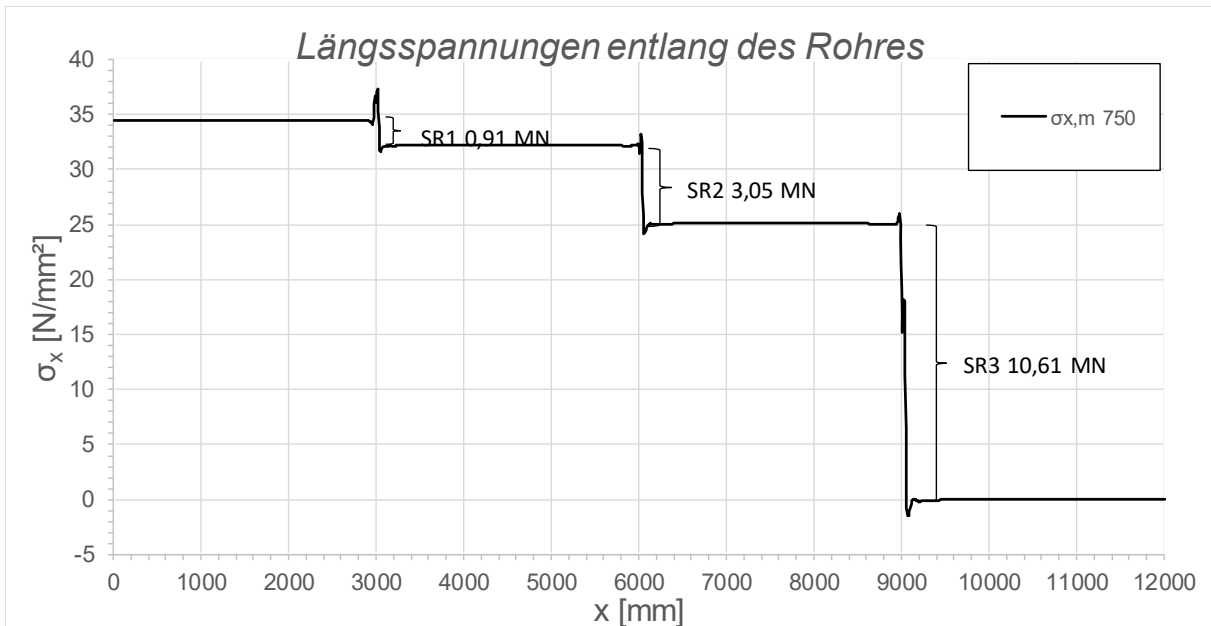


Abbildung A.130: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

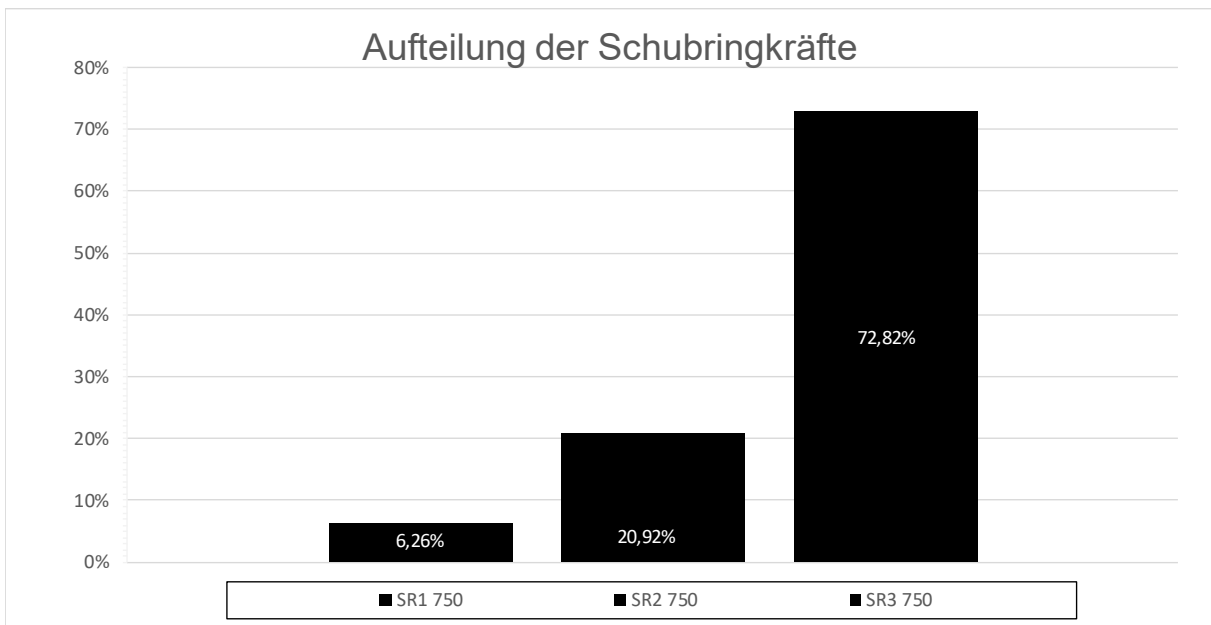


Abbildung A.131: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

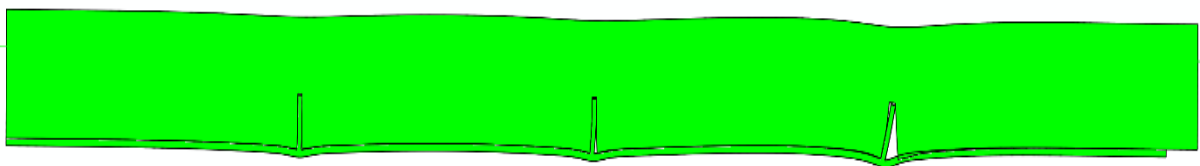


Abbildung A.132: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

A.3.13 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

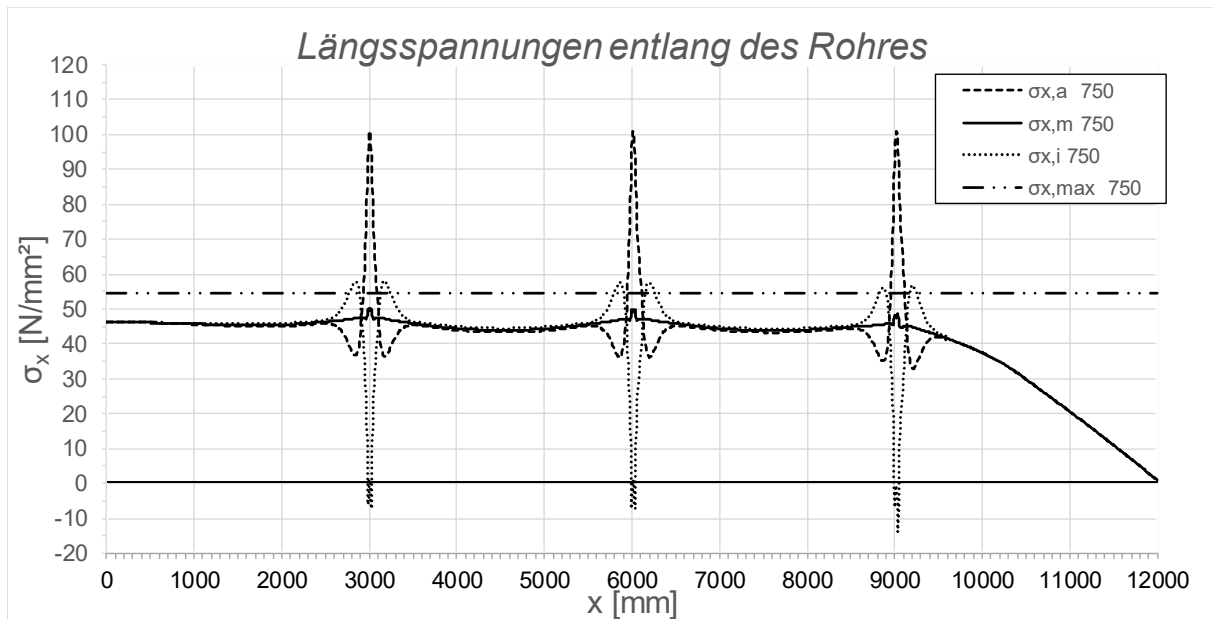


Abbildung A.133: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

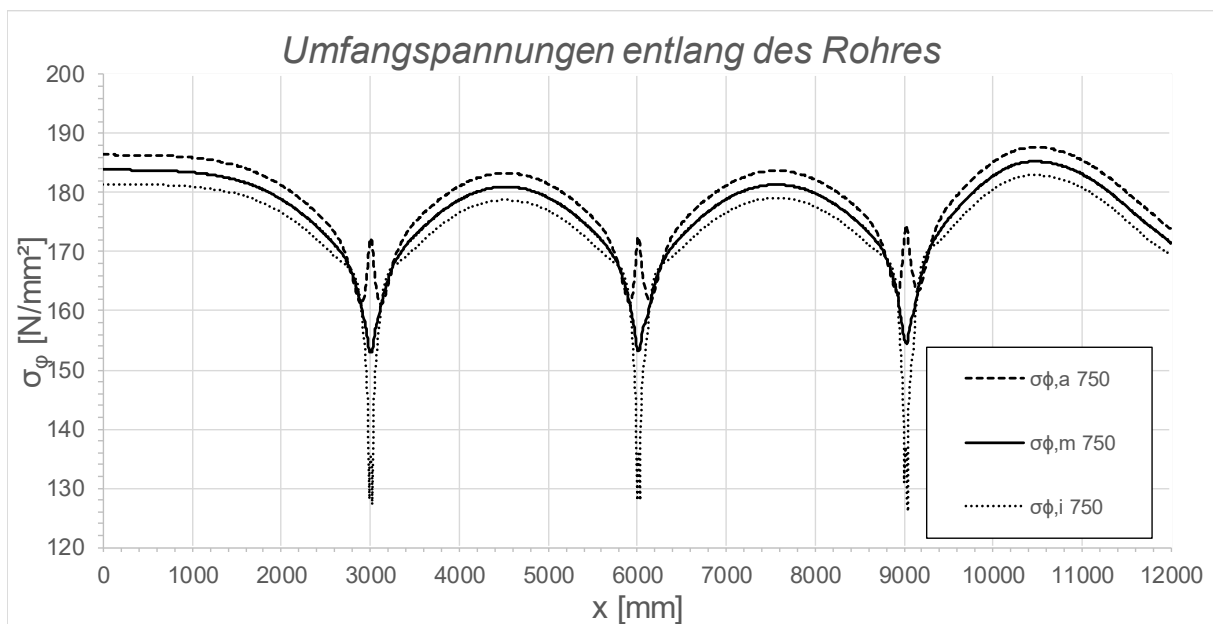


Abbildung A.134: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

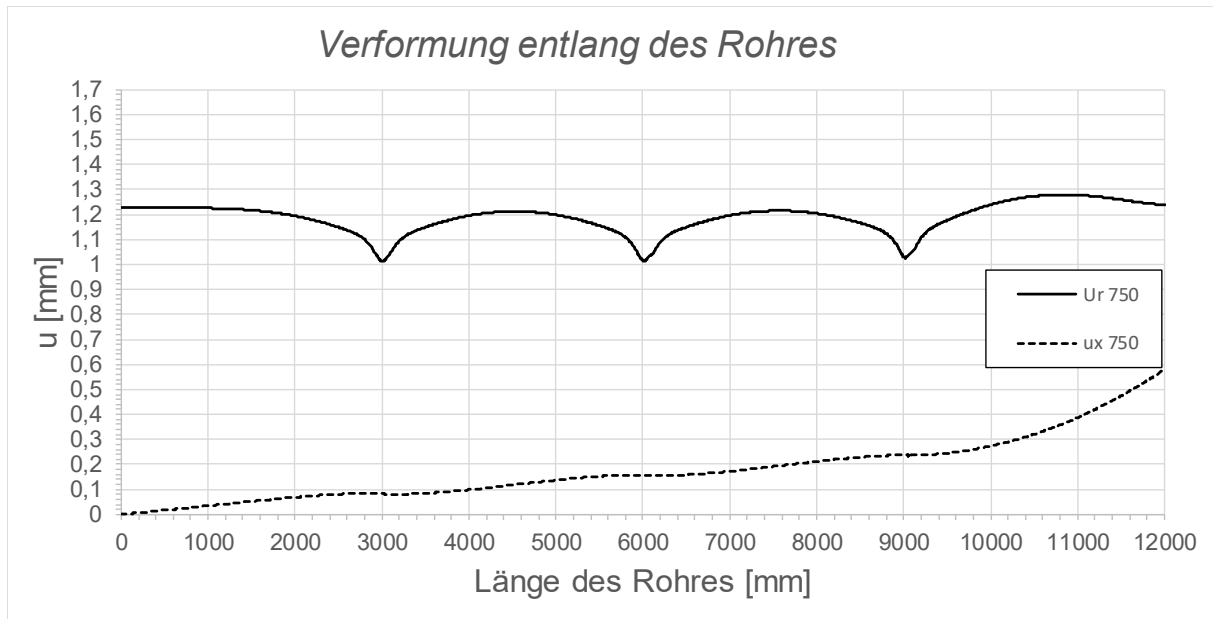


Abbildung A.135: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

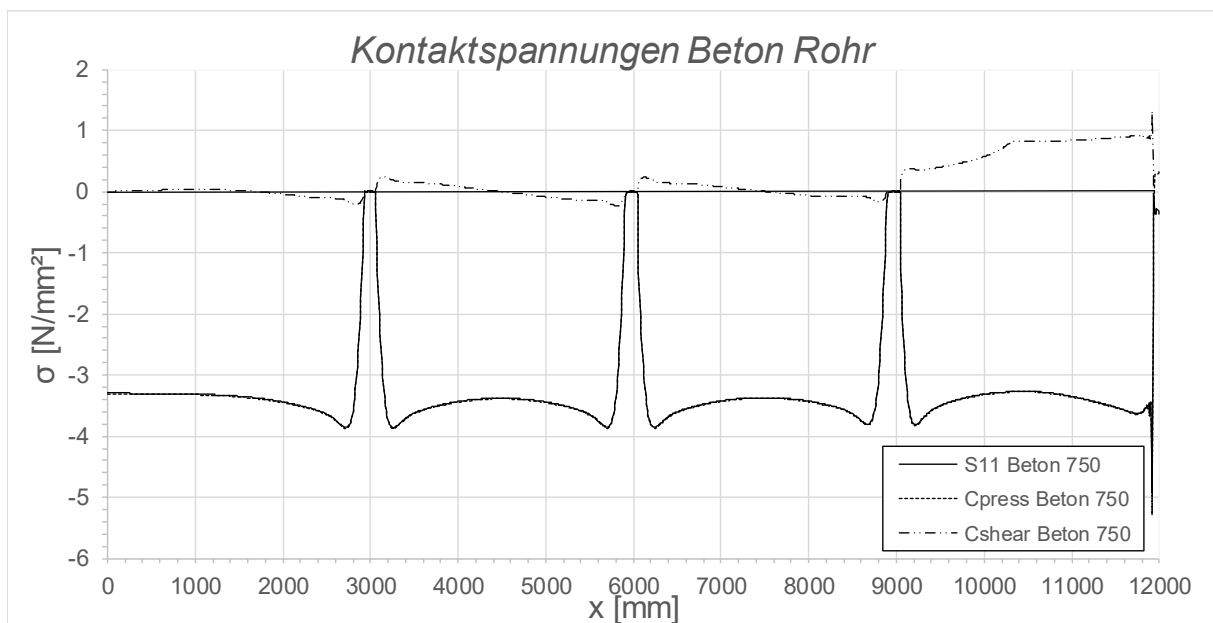


Abbildung A.136: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

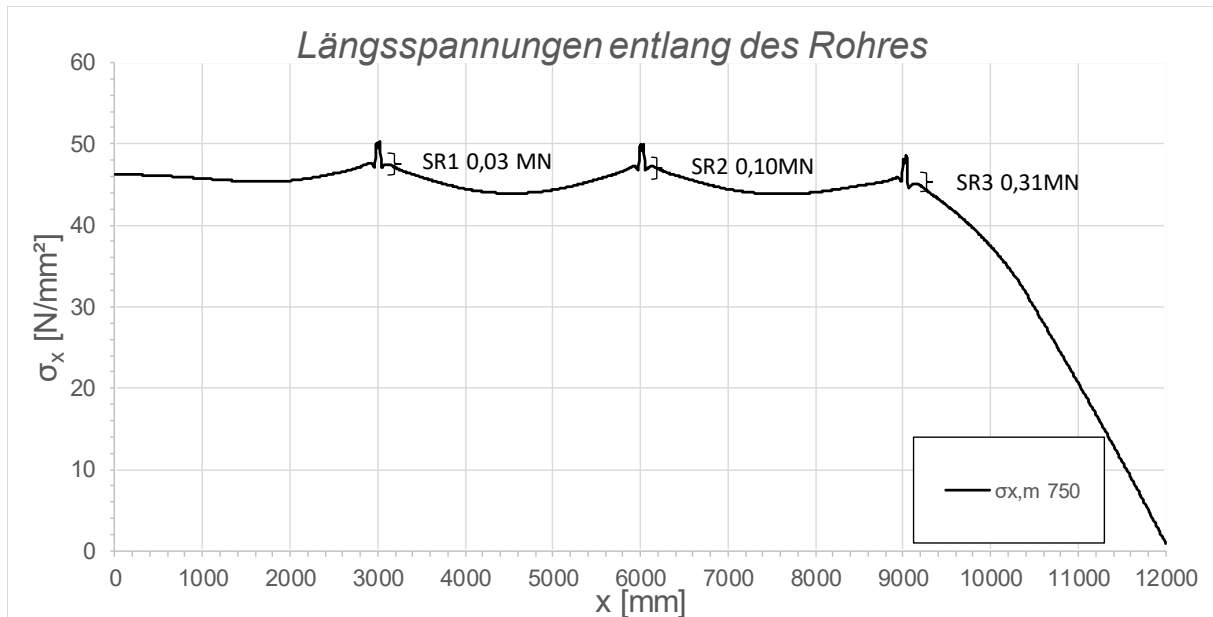


Abbildung A.137: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

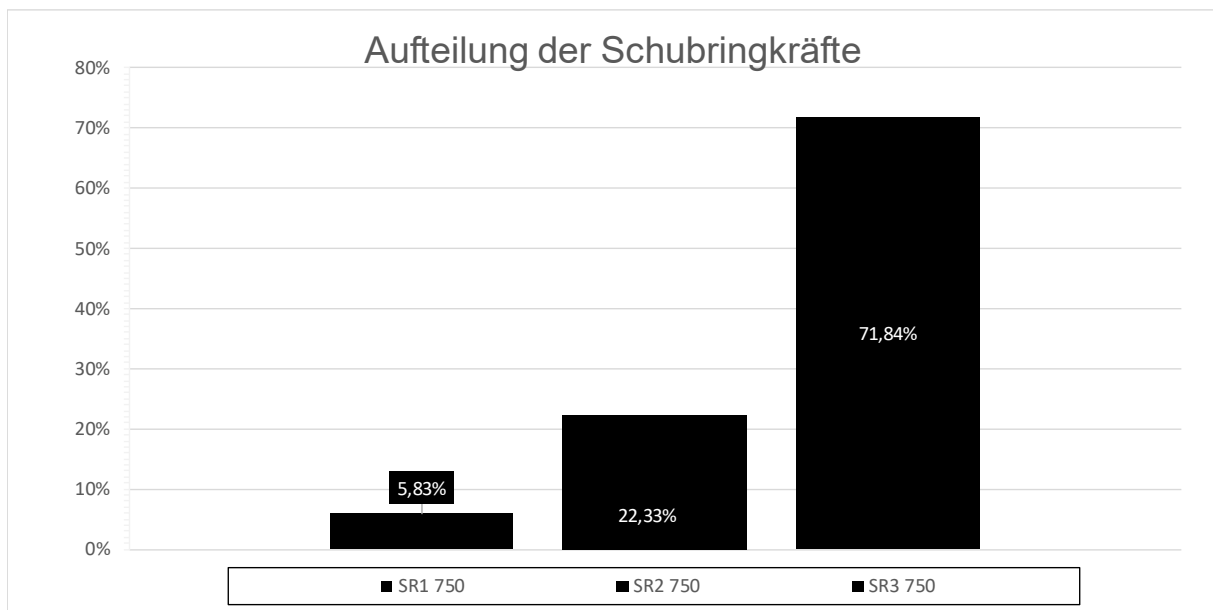


Abbildung A.138: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

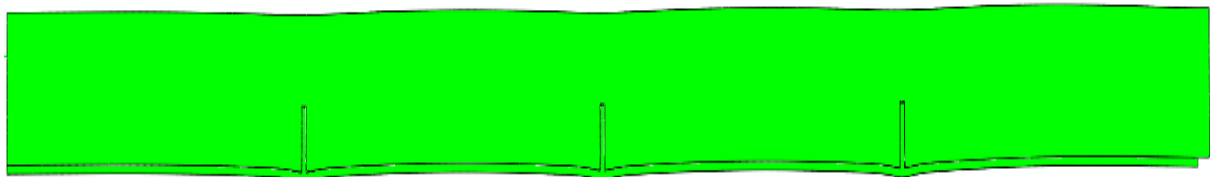


Abbildung A.139: Überhöhte Darstellung (200-fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

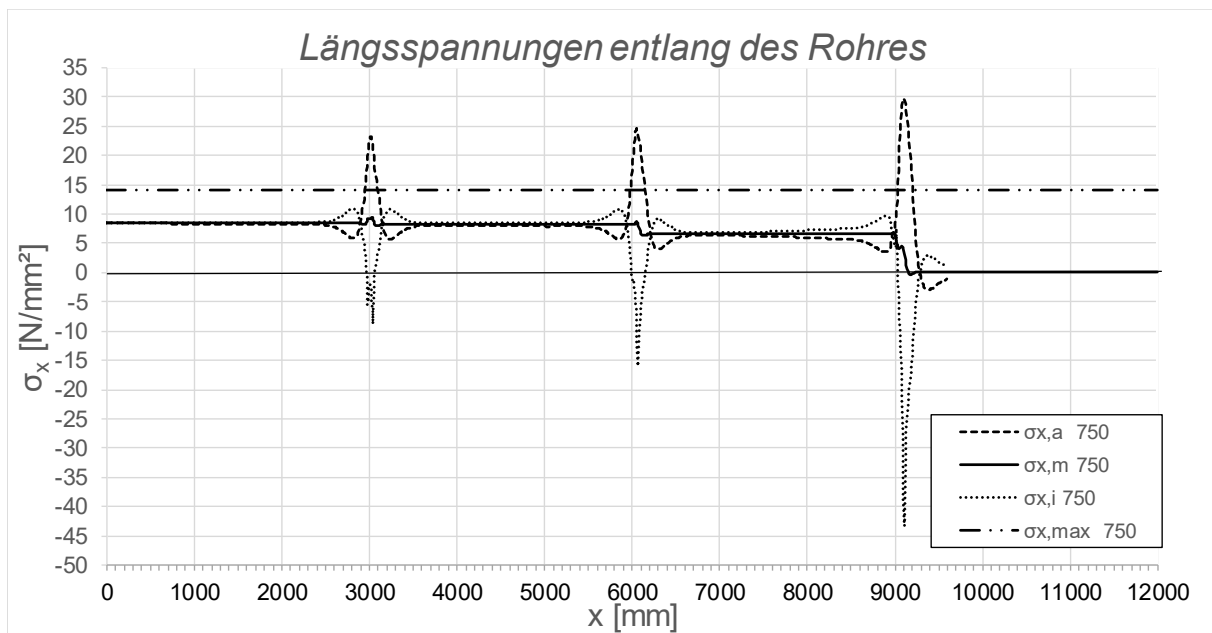
A.3.14 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$ 

Abbildung A.140: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

Die hier dargestellten Ergebnisse dieses Falles besitzen ein deutlich geringeres Spannungsniveau, da nicht der gesamte Innendruck aufgebracht werden konnte. Die Berechnung wurde bei rund 37 % des Innendrucks aufgrund eines Spaltzugrisses und der damit verbundenen Singularitätsstellen beim Schubring 3 abgebrochen. Die einwirkenden Kräfte wurden für die Vergleichsrechnung im Abschnitt 8.1 linear hochgerechnet. Dies ist möglich, da die Kraft trotz Risses weiter gesteigert werden kann (vgl. Forschungsprojekt „SR12+“ [3]).

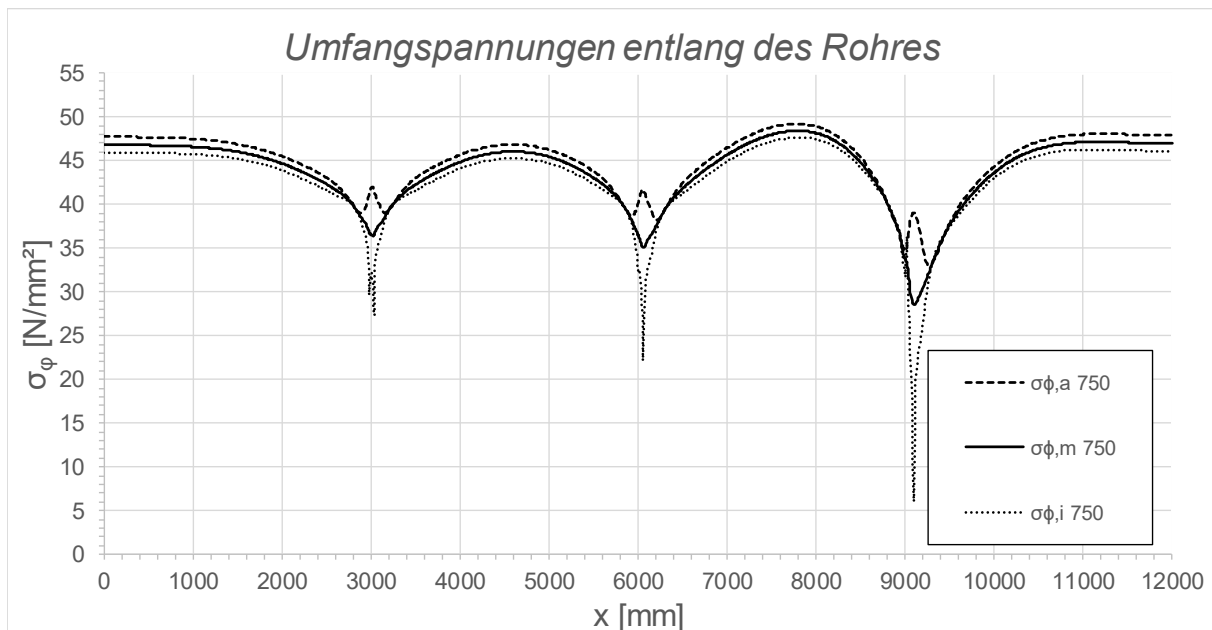


Abbildung A.141: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

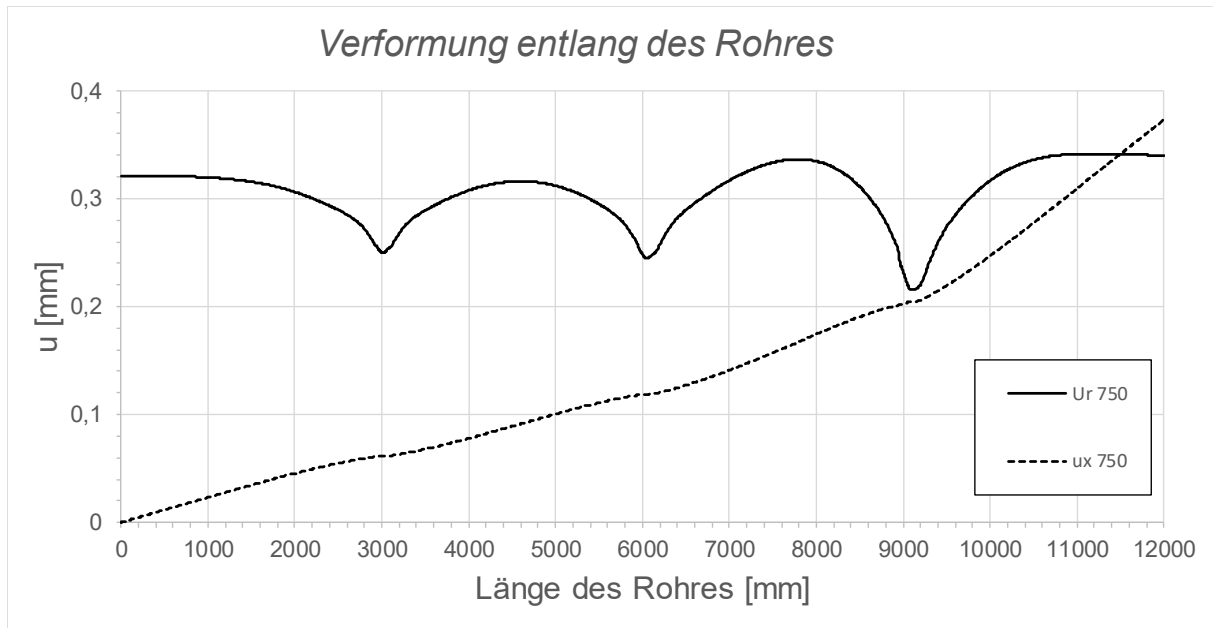


Abbildung A.142: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

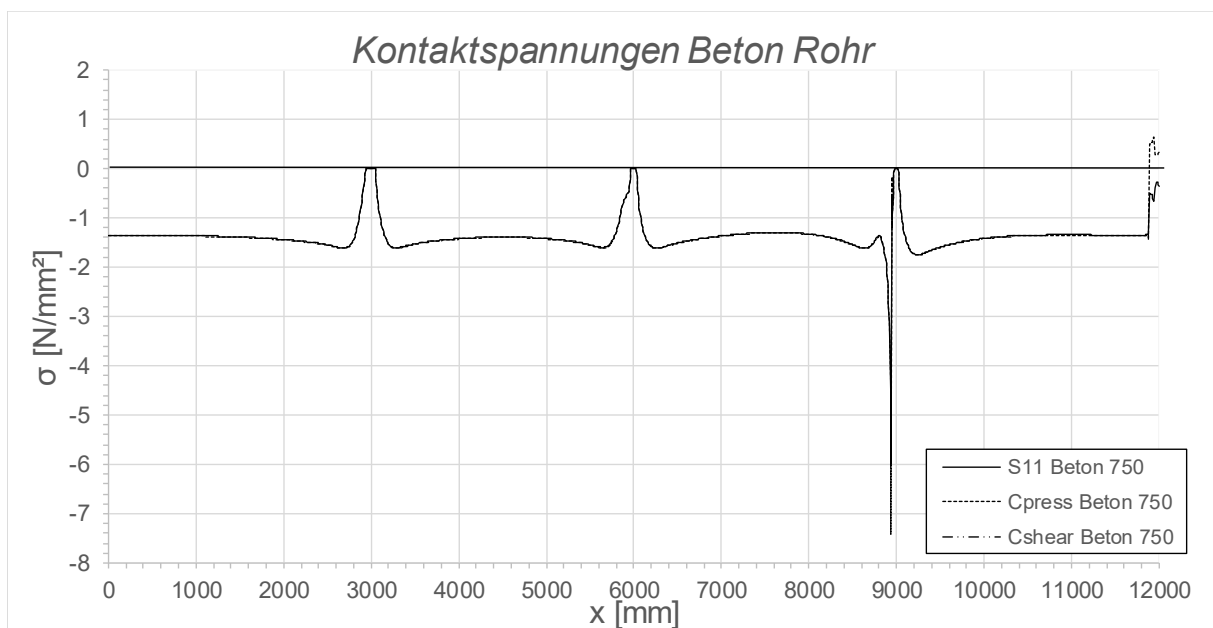


Abbildung A.143: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

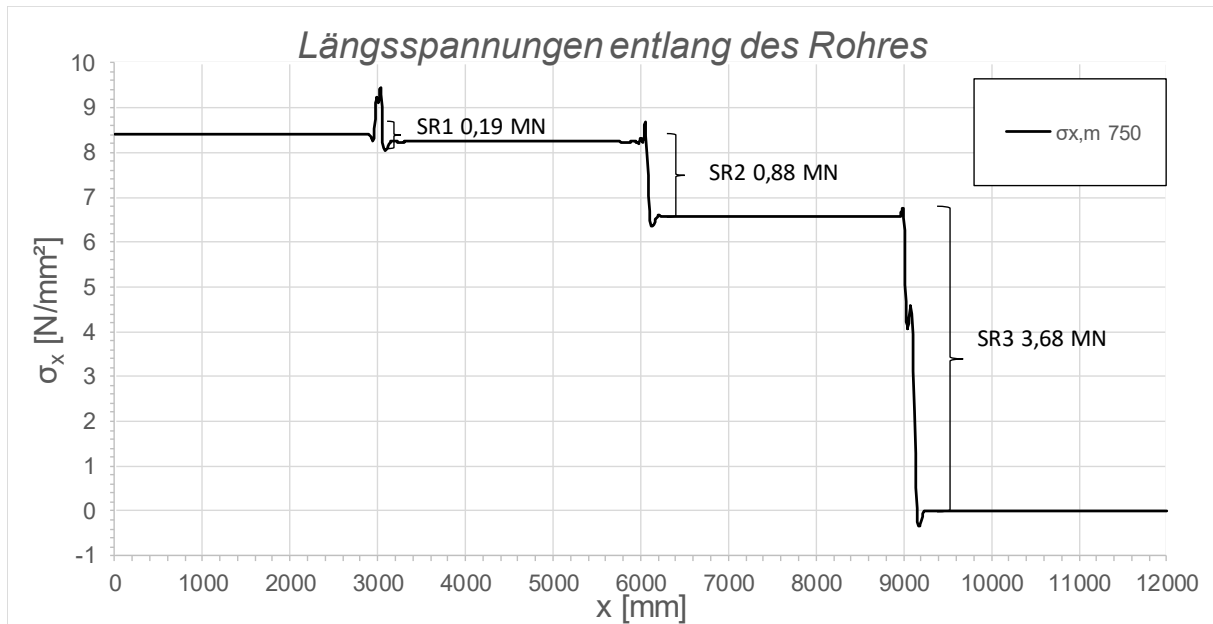


Abbildung A.144: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

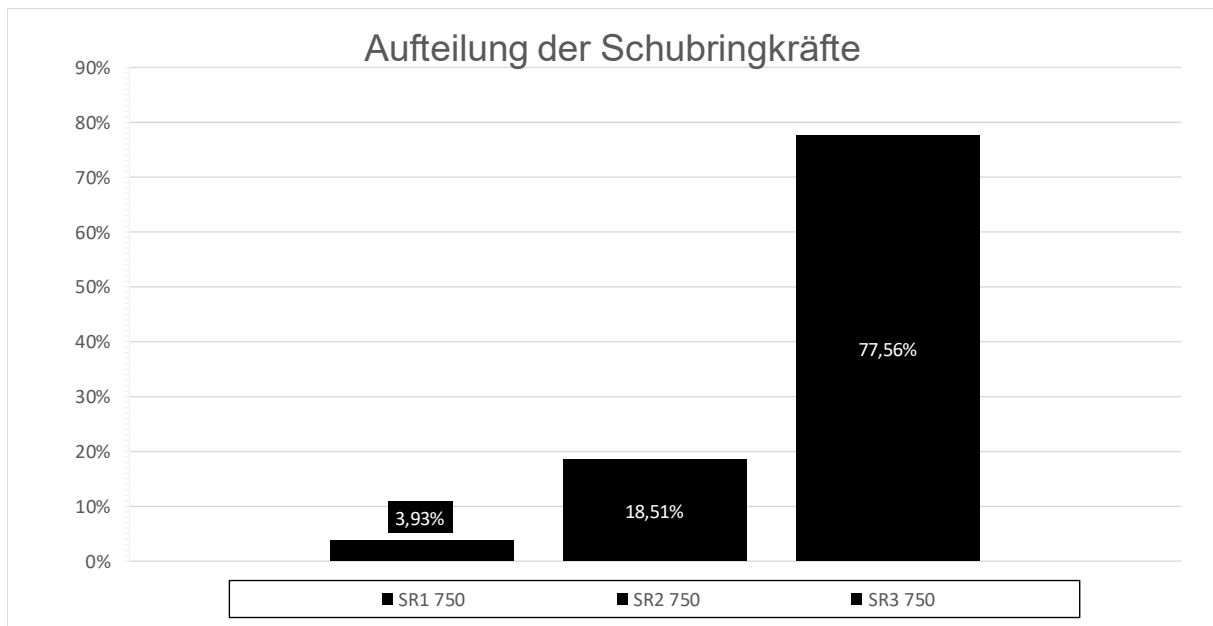


Abbildung A.145: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

A.3.15 Fall1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

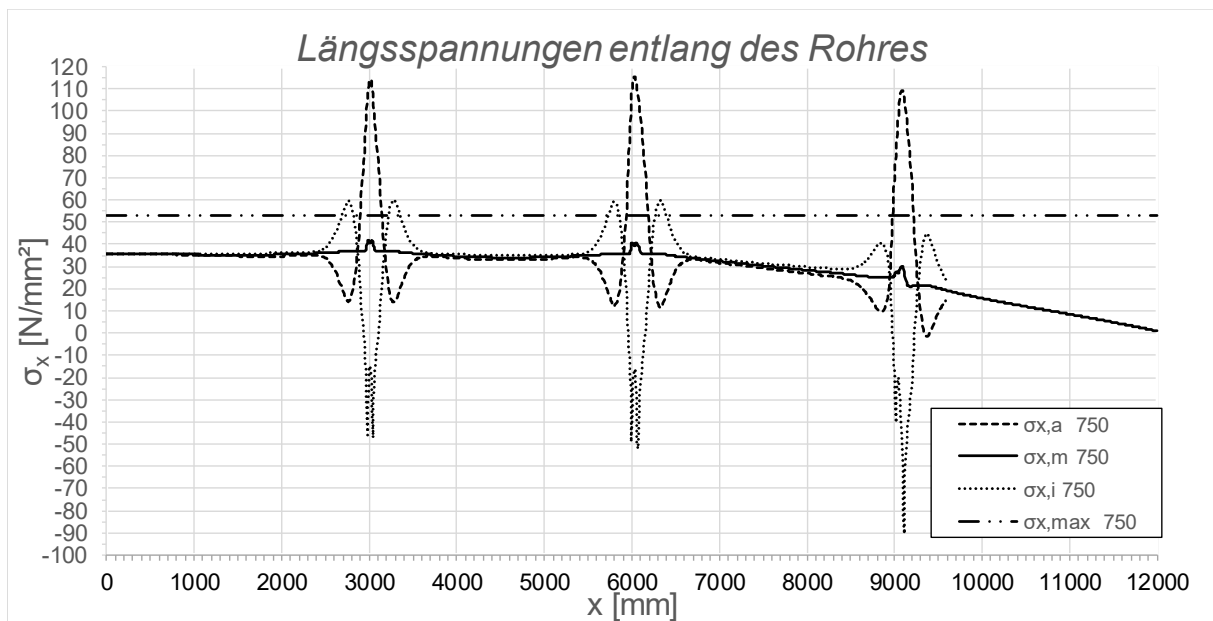


Abbildung A.146: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

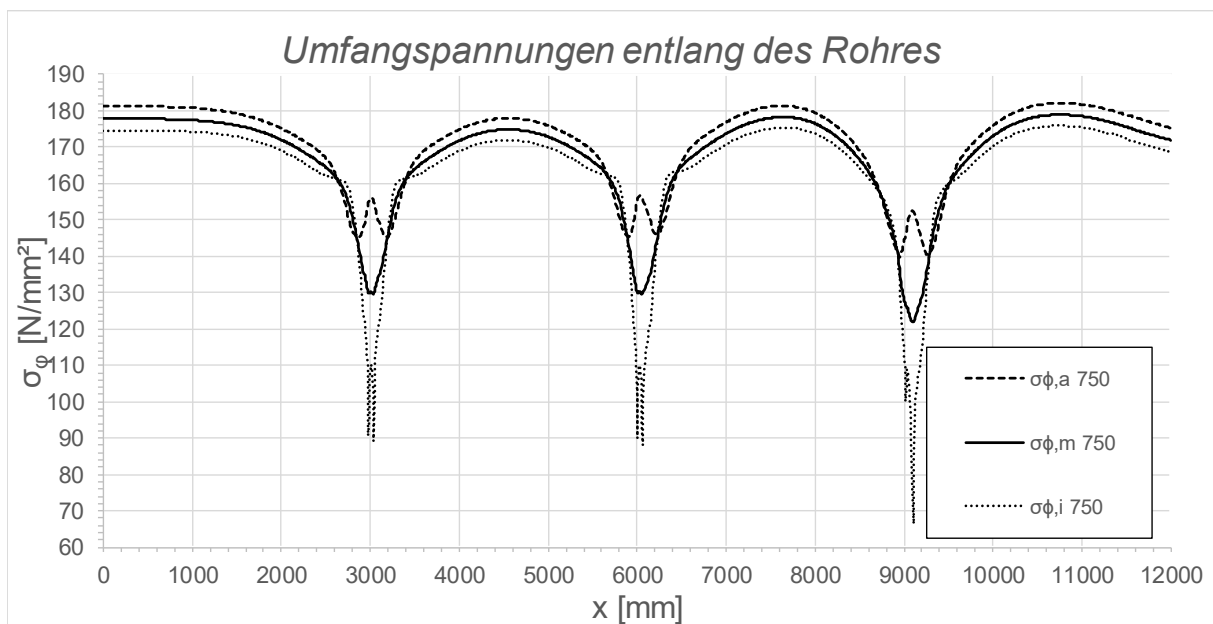


Abbildung A.147: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

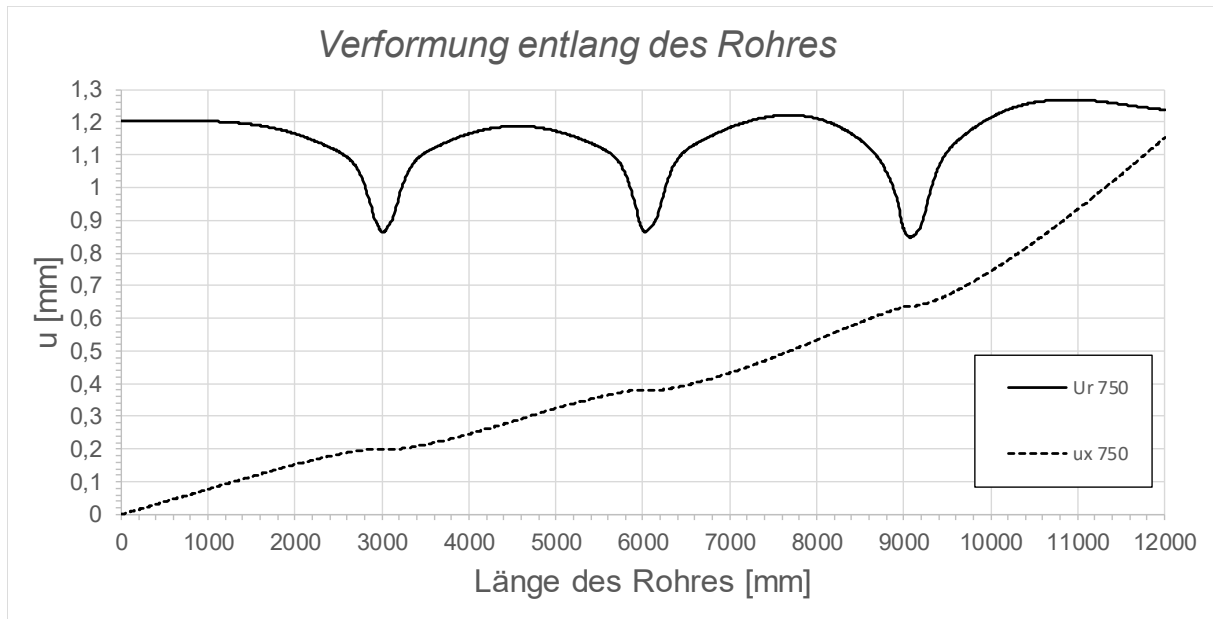


Abbildung A.148: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

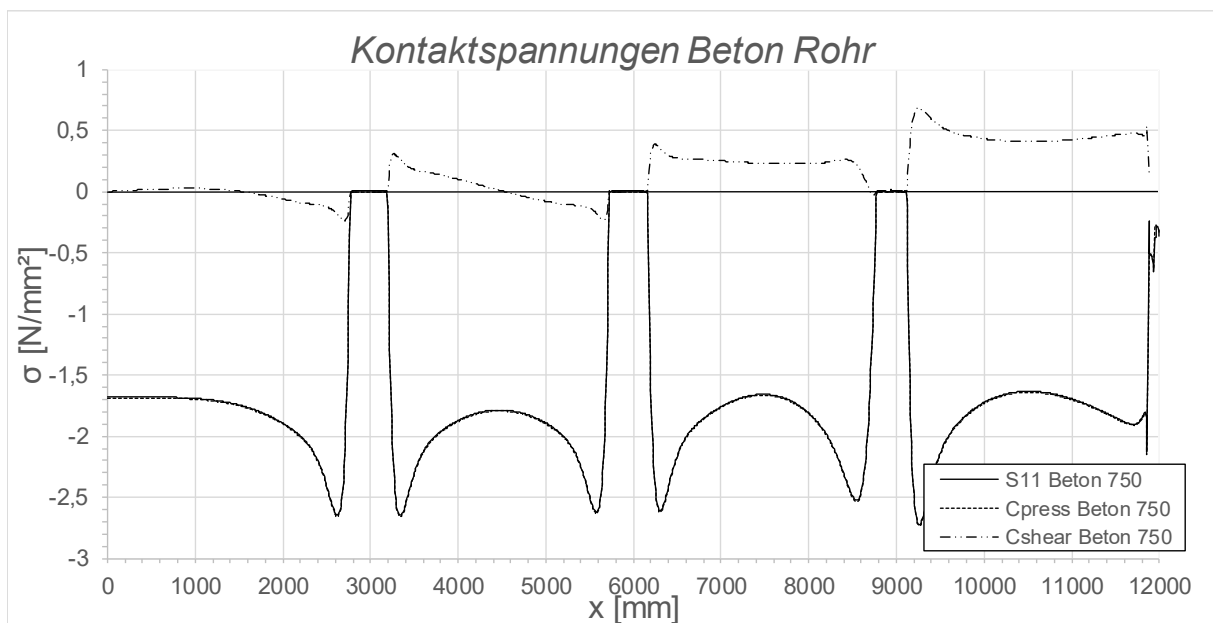


Abbildung A.149: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

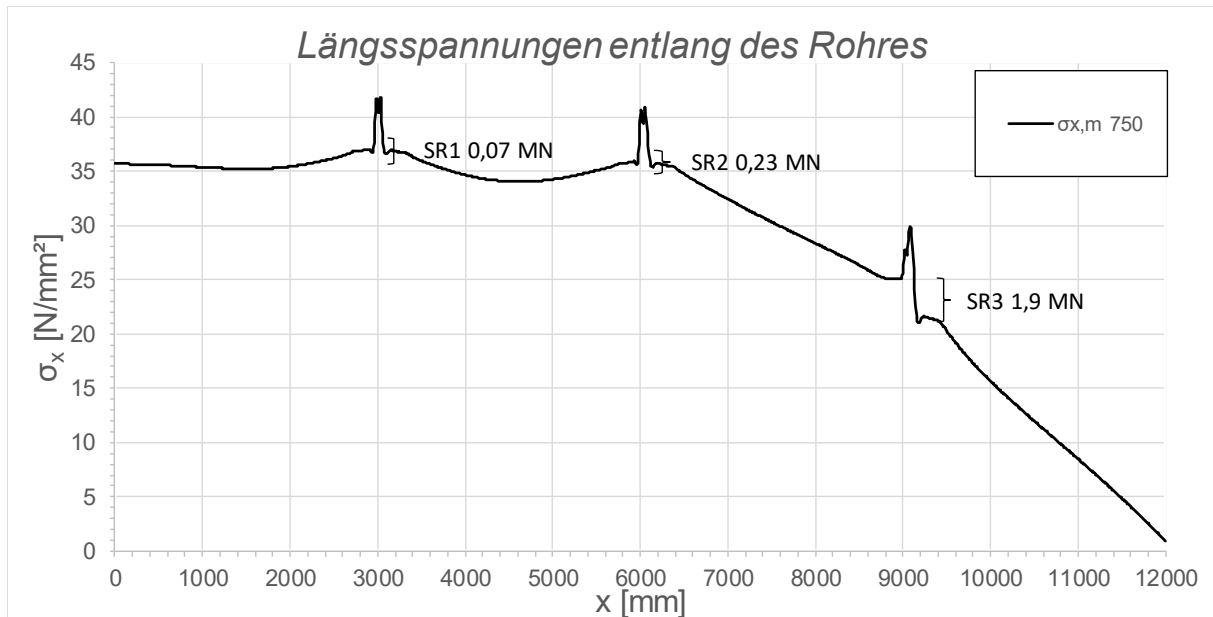


Abbildung A.150: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

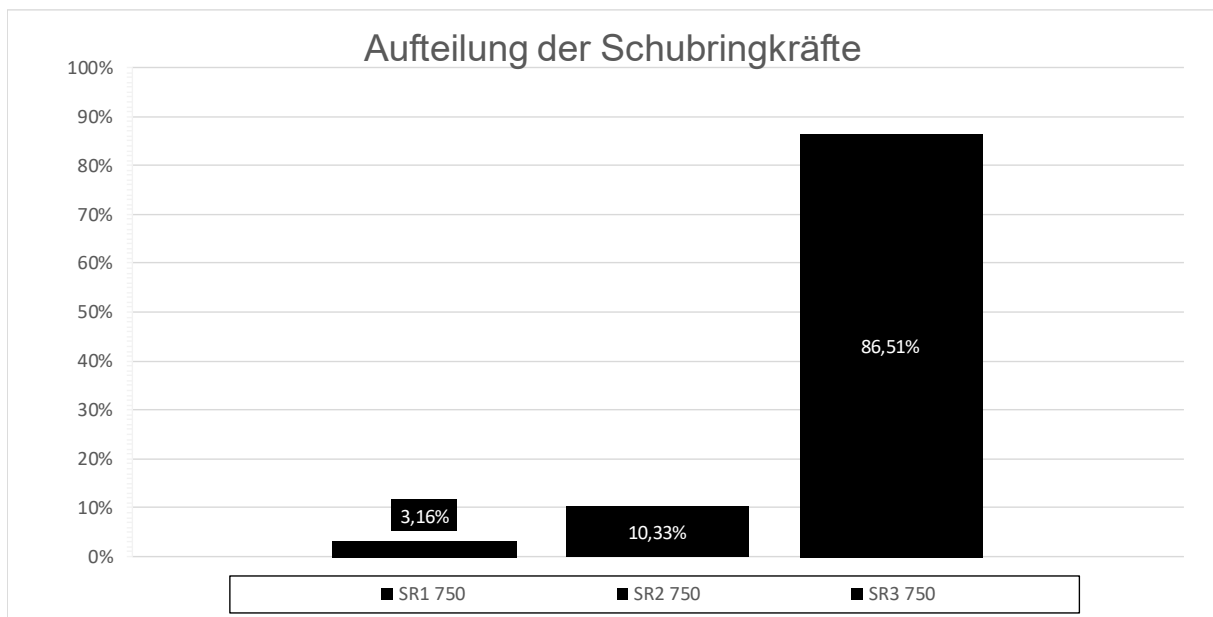


Abbildung A.151: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

A.4 Fall 1 bei Lastfall Temperatur

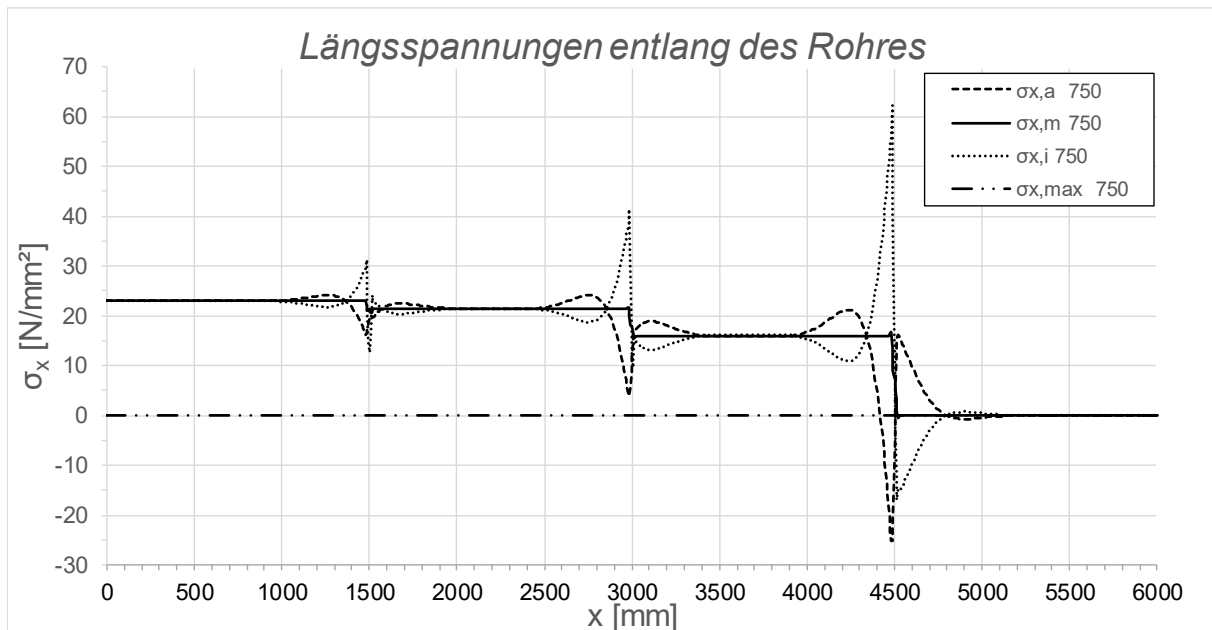
A.4.1 Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$ 

Abbildung A.152: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

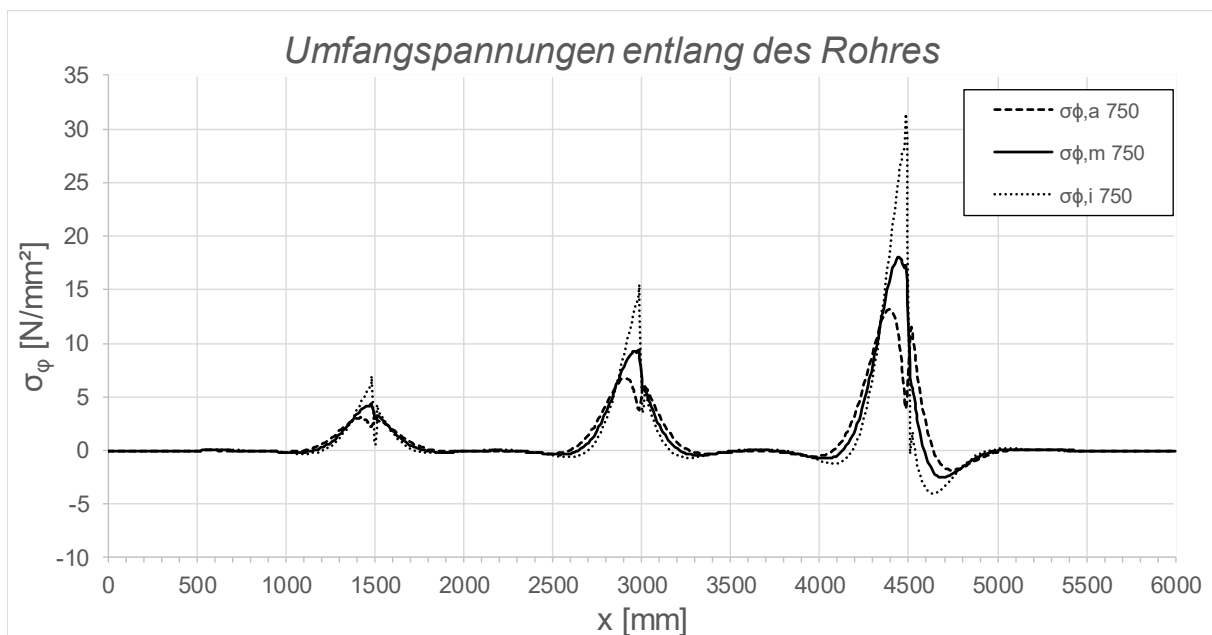


Abbildung A.153: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

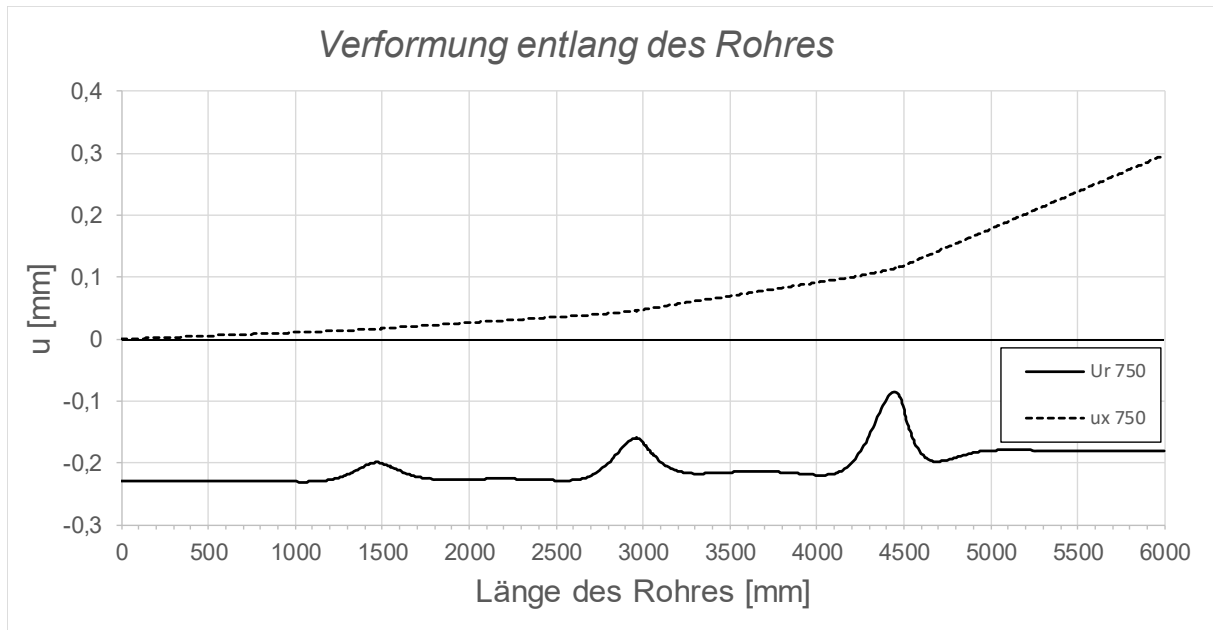


Abbildung A.154: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

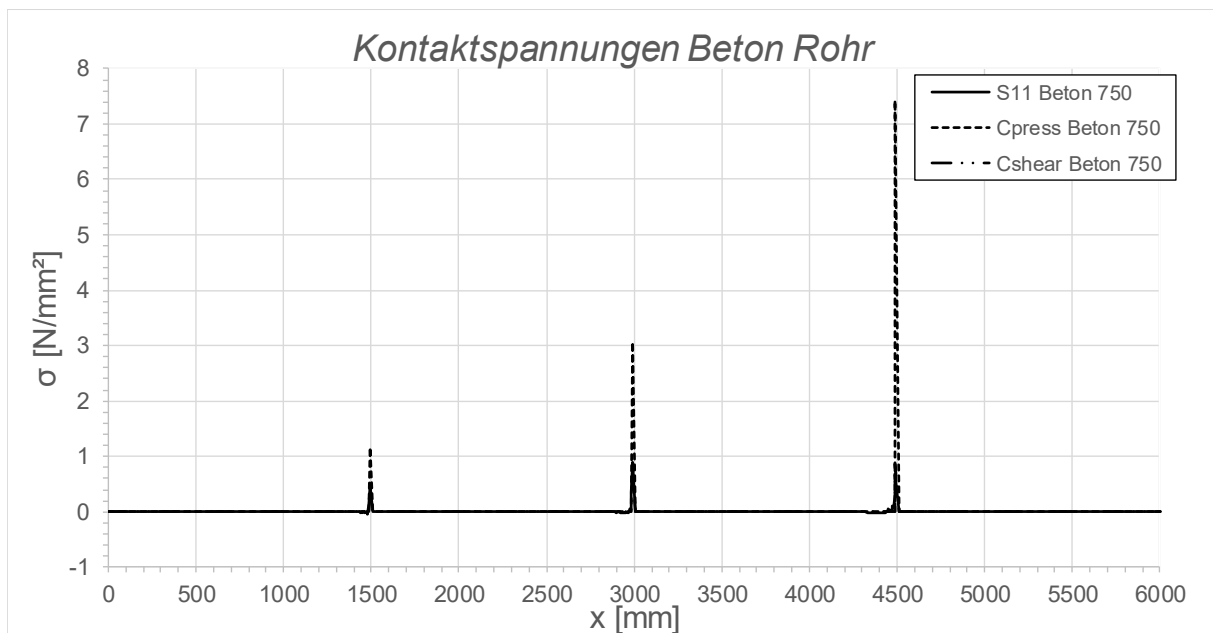


Abbildung A.155: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

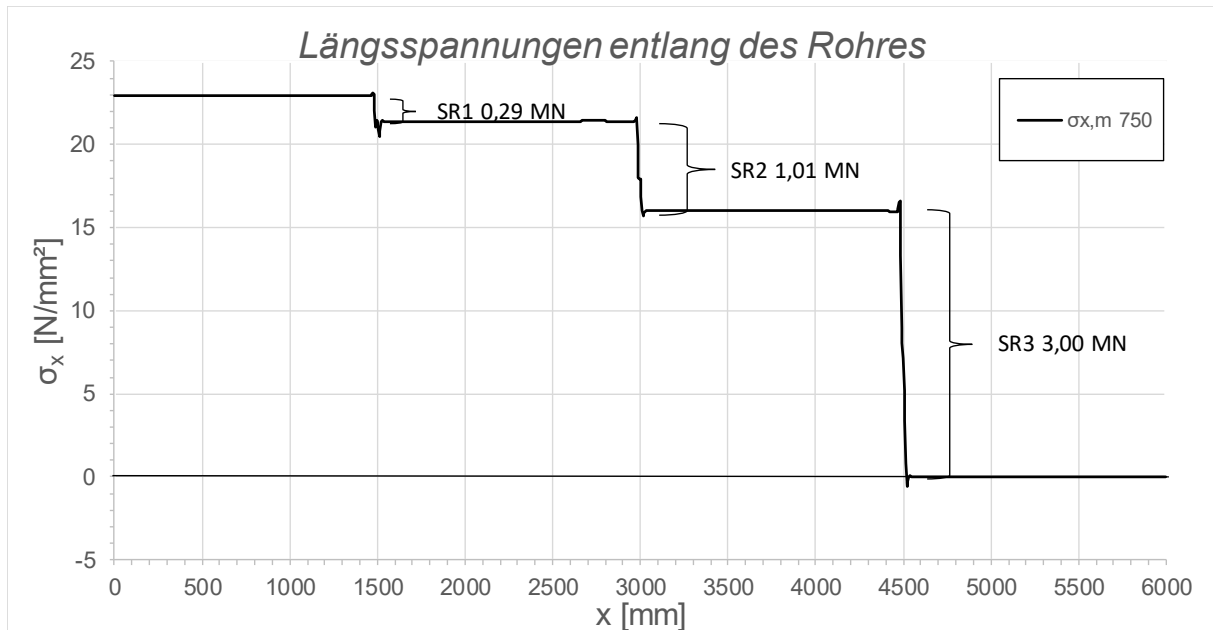


Abbildung A.156: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

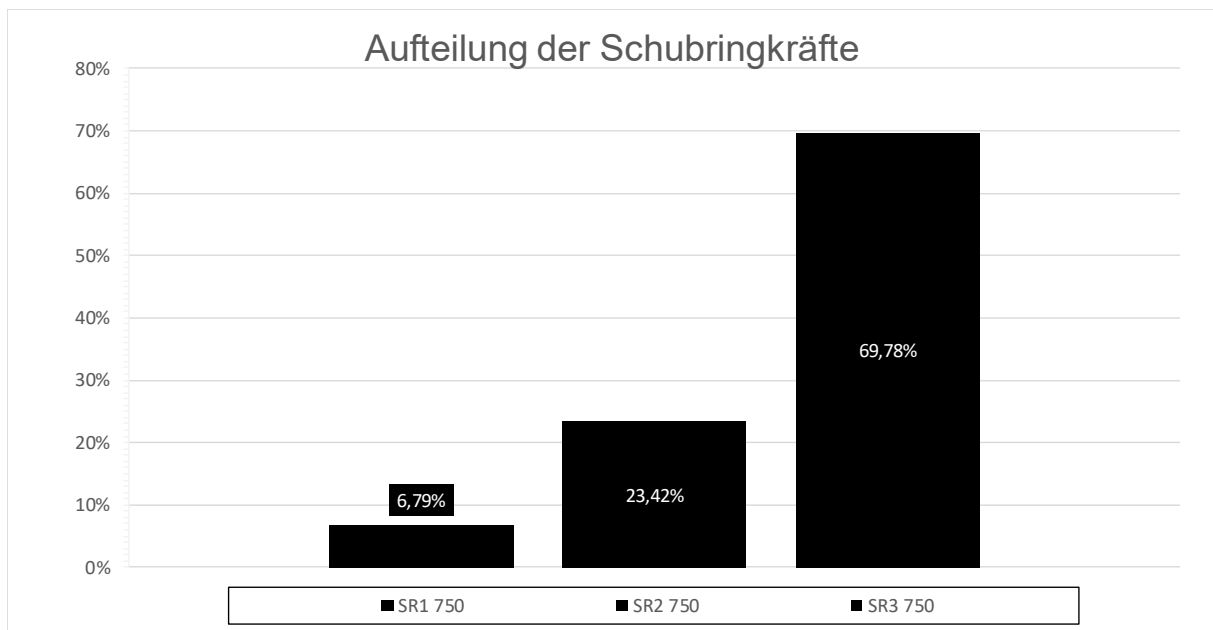


Abbildung A.157: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

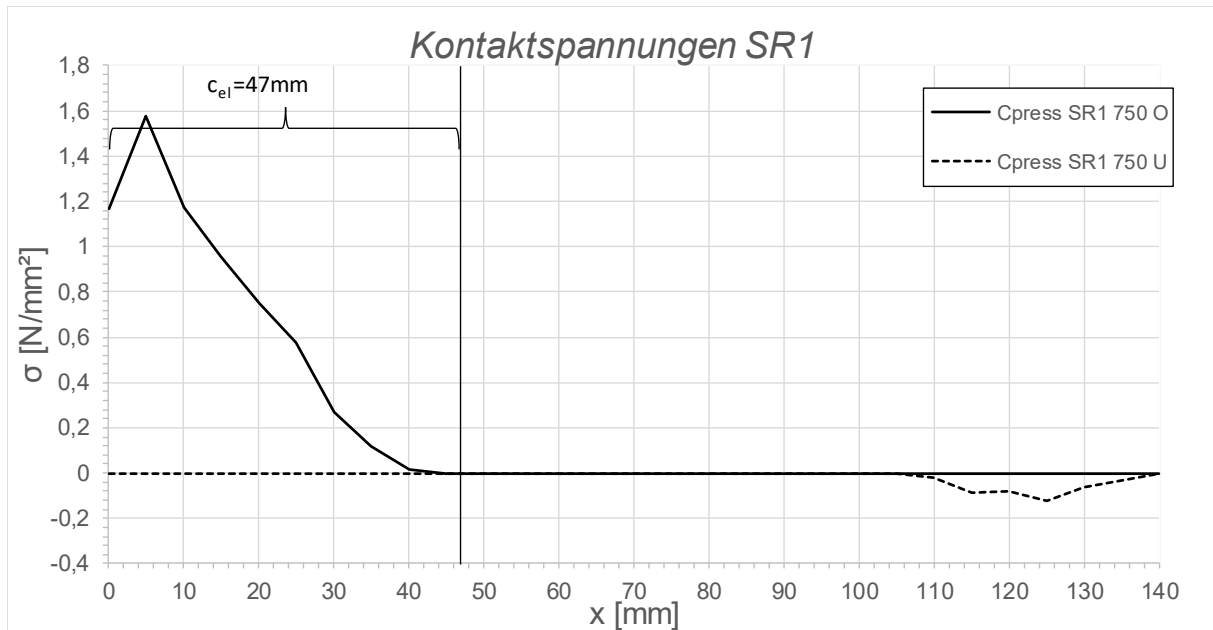


Abbildung A.158: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

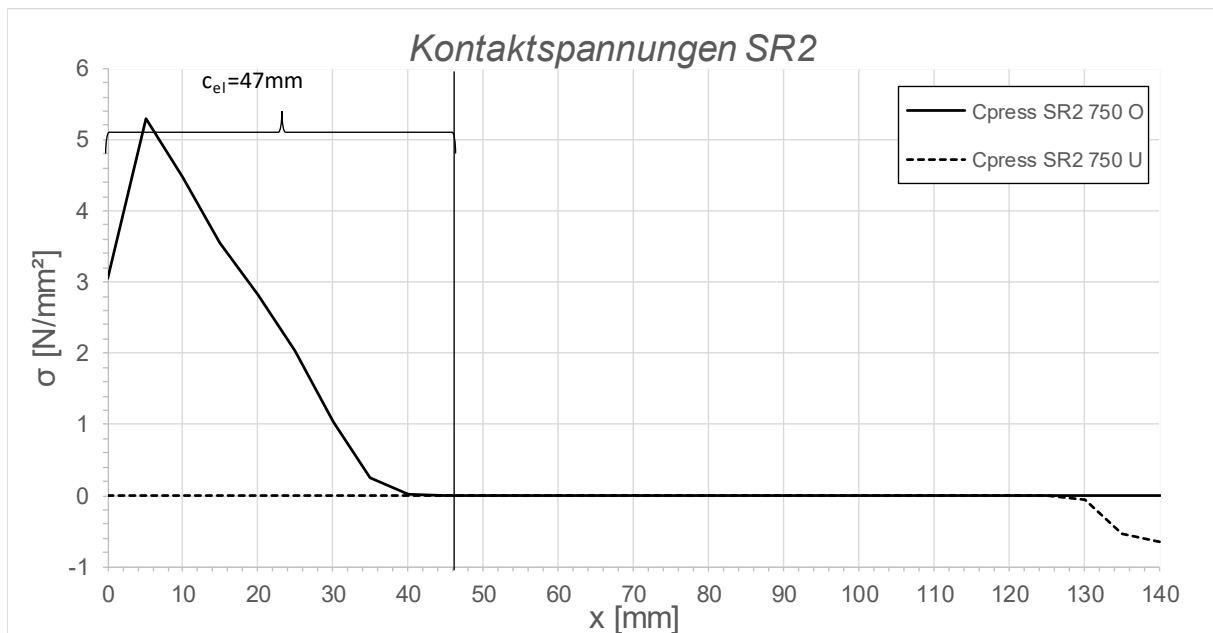


Abbildung A.159: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober- / Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

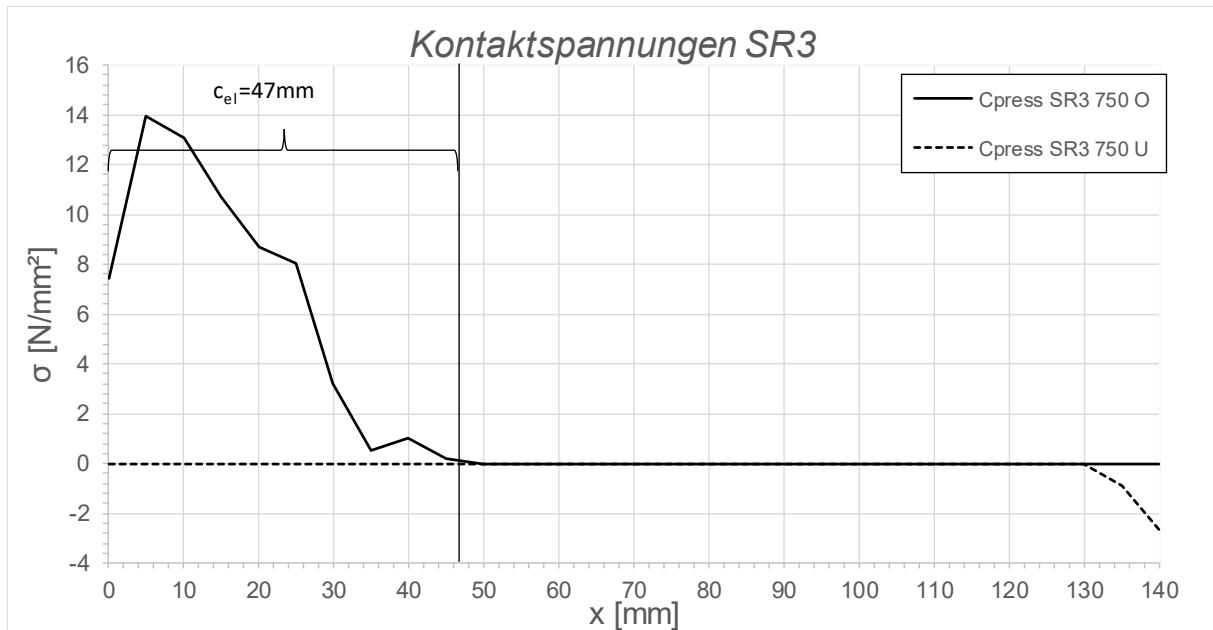


Abbildung A.160: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

A.4.2 Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$

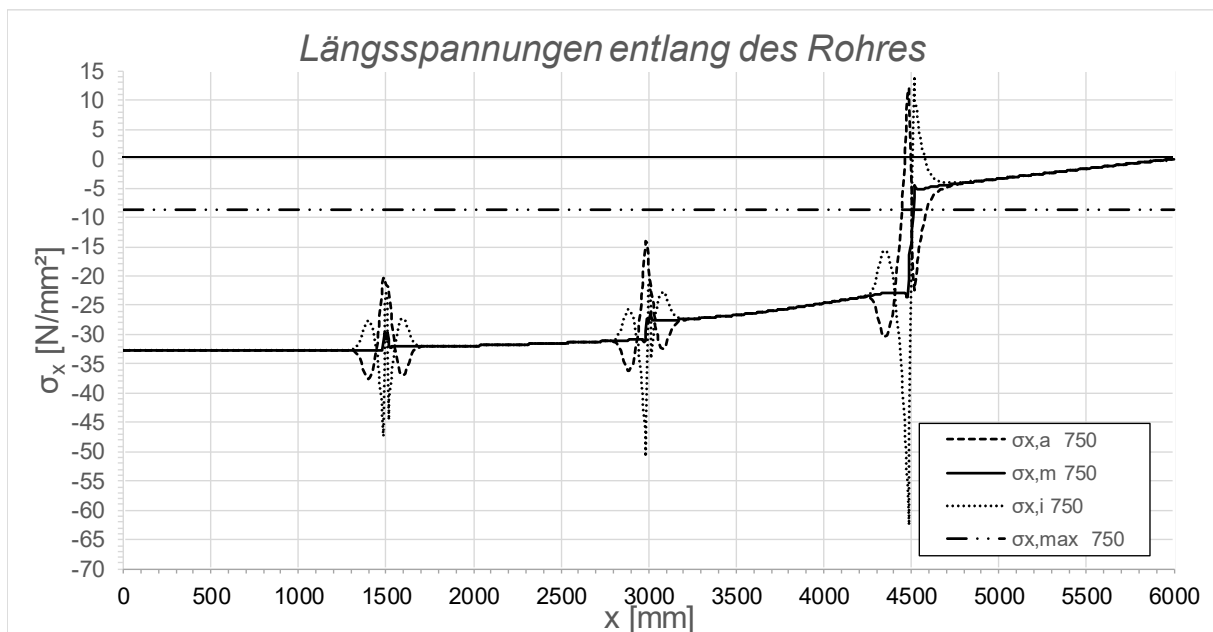


Abbildung A.161: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

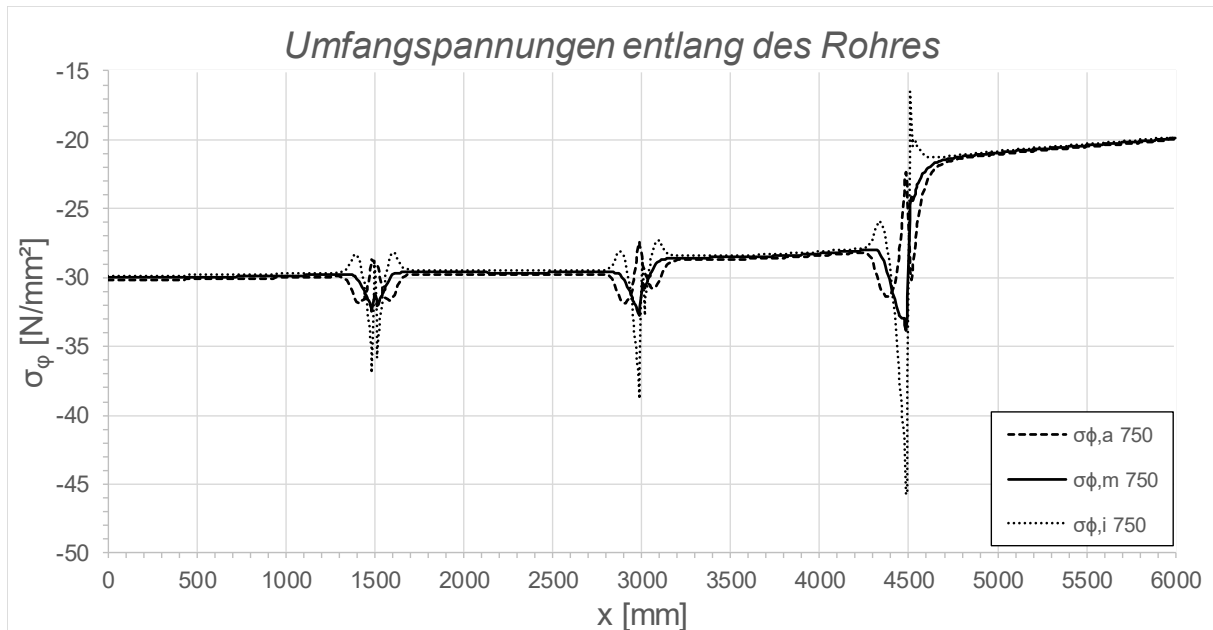


Abbildung A.162: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; Fall1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

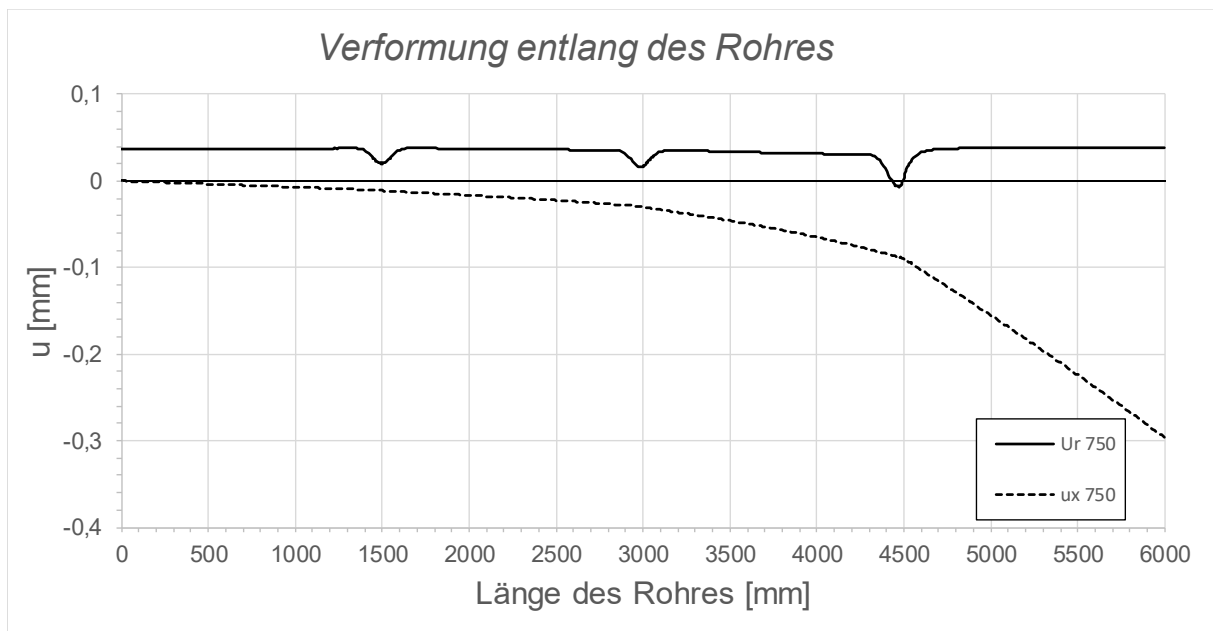


Abbildung A.163: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

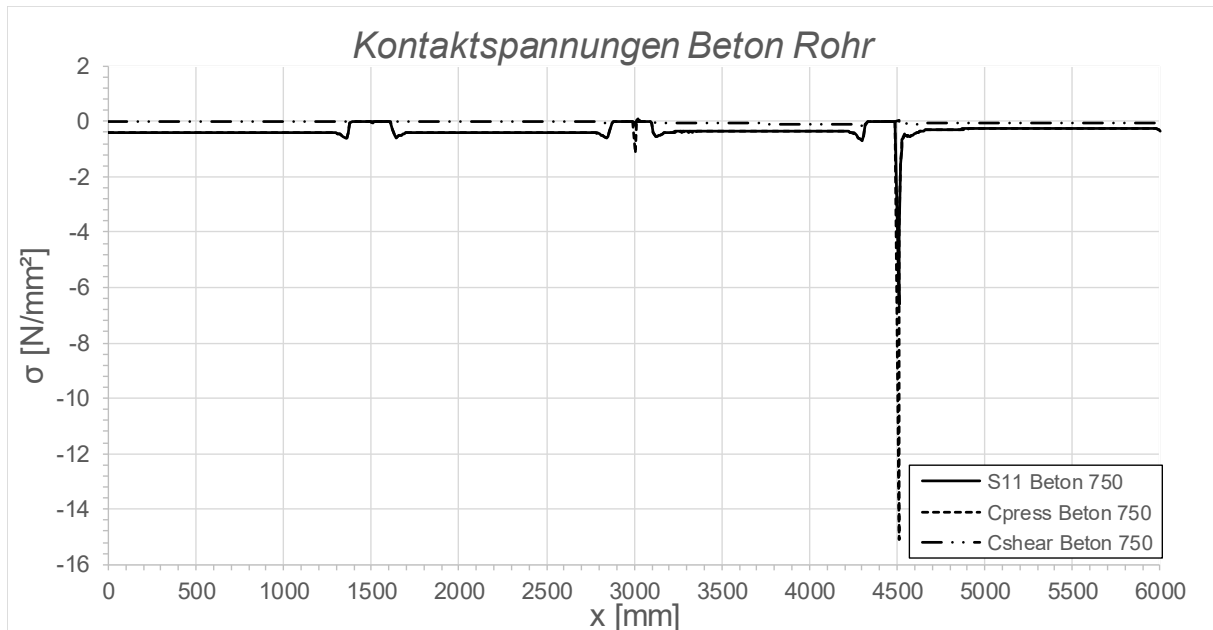


Abbildung A.164: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

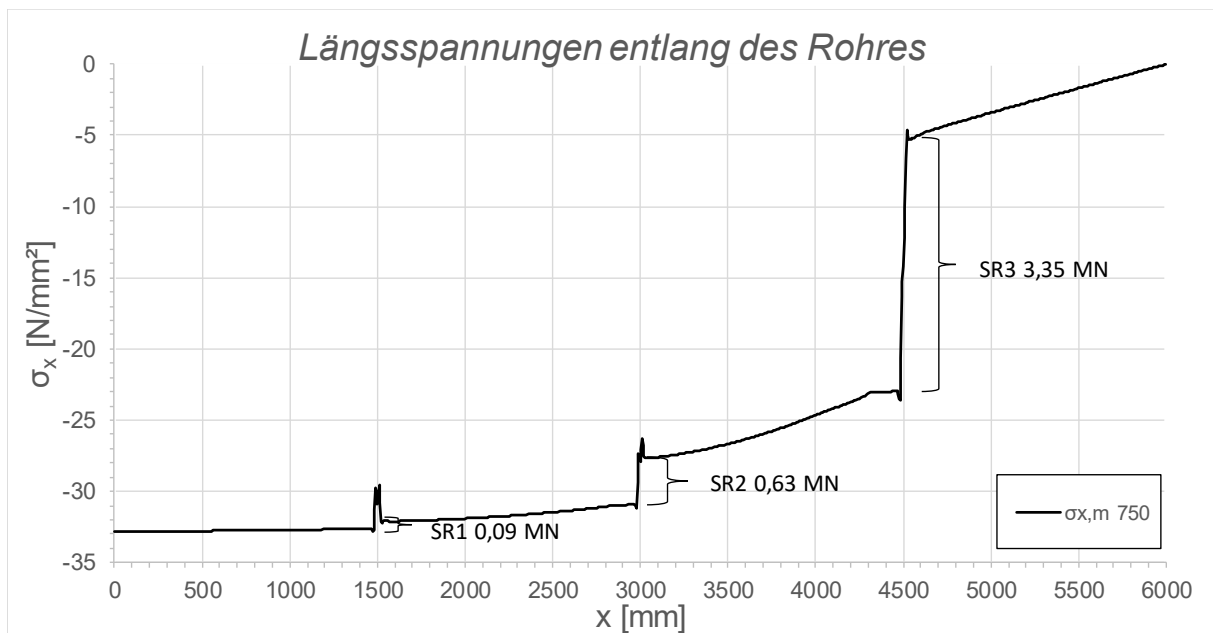


Abbildung A.165: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

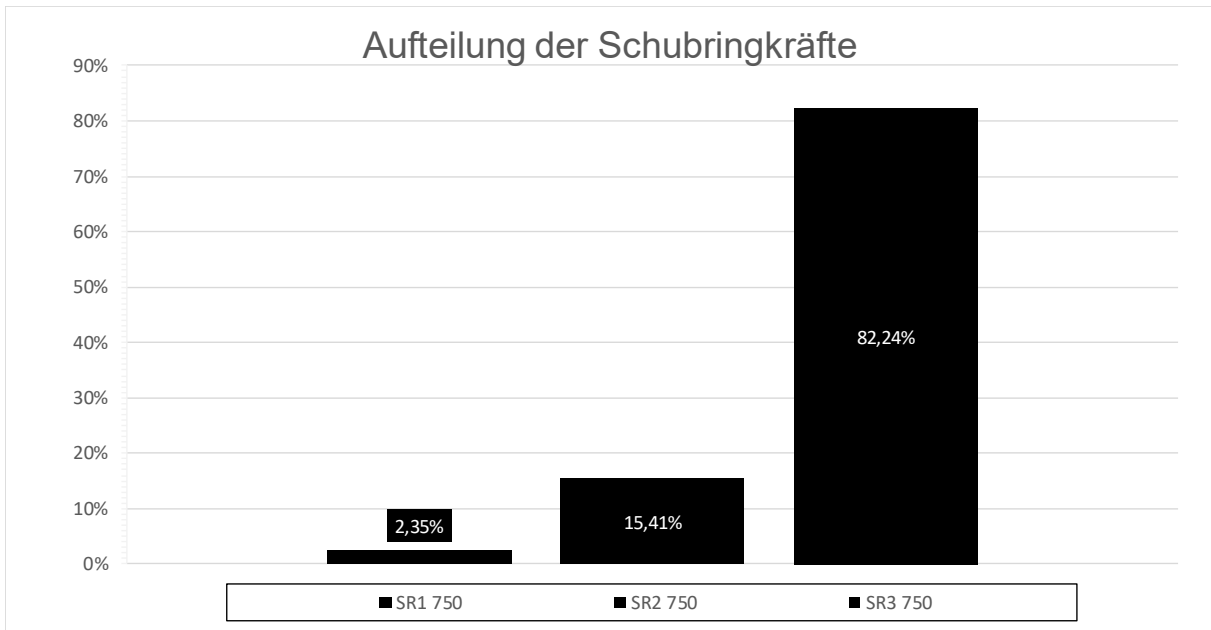


Abbildung A.166: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

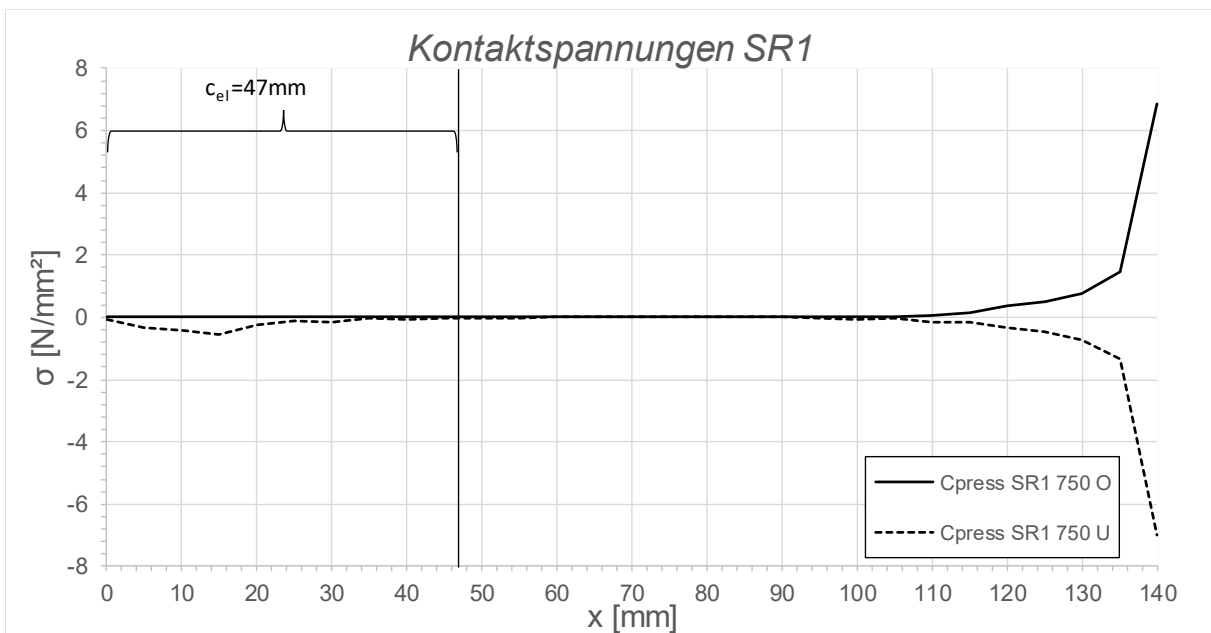


Abbildung A.167: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

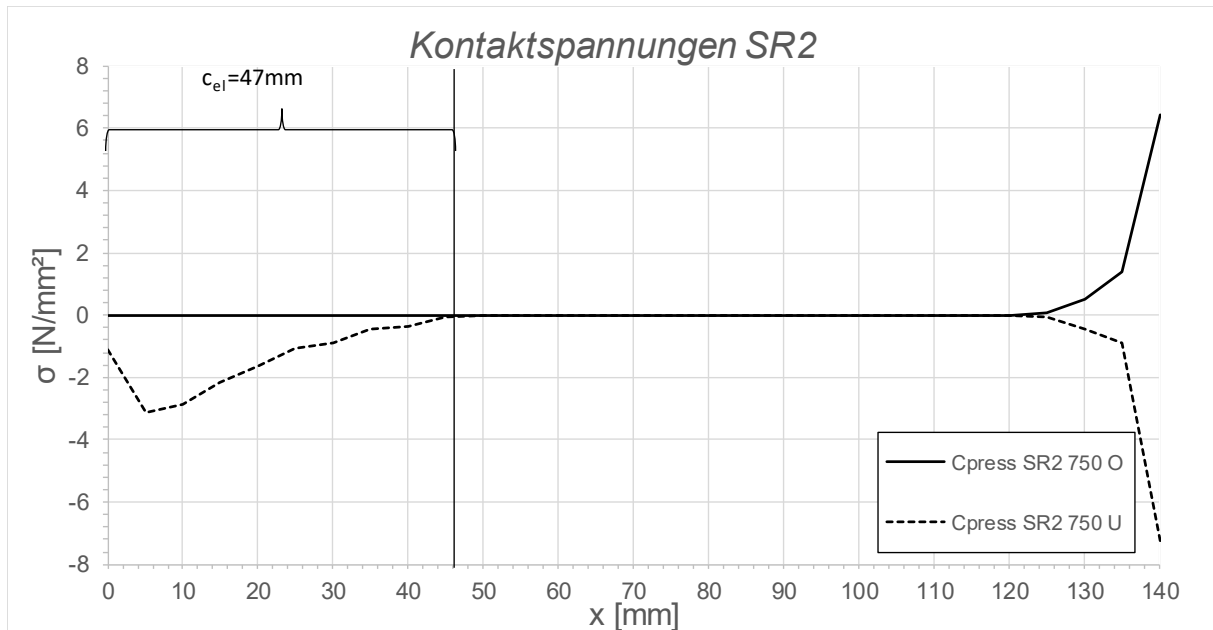


Abbildung A.168: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

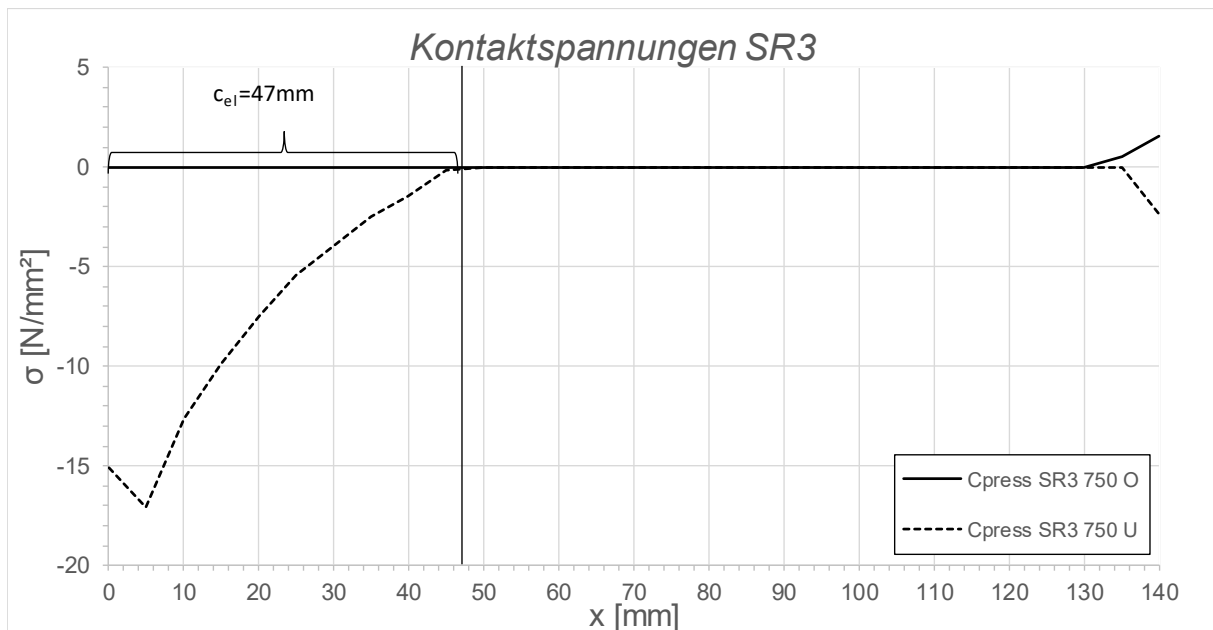


Abbildung A.169: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

A.4.3 Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

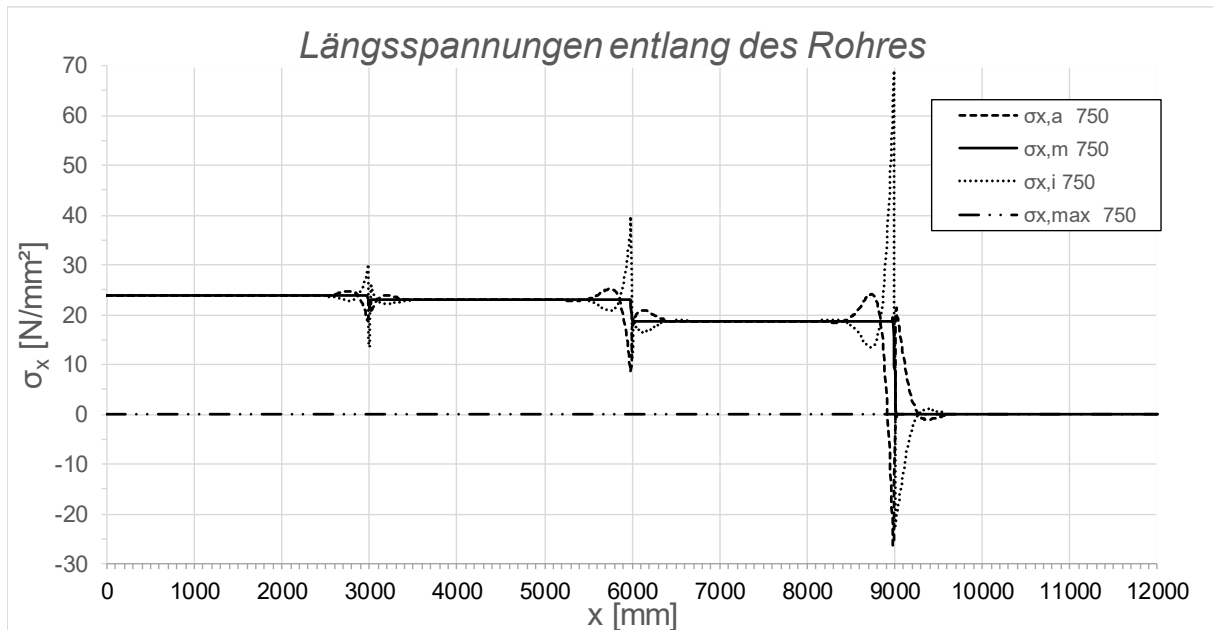


Abbildung A.170: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

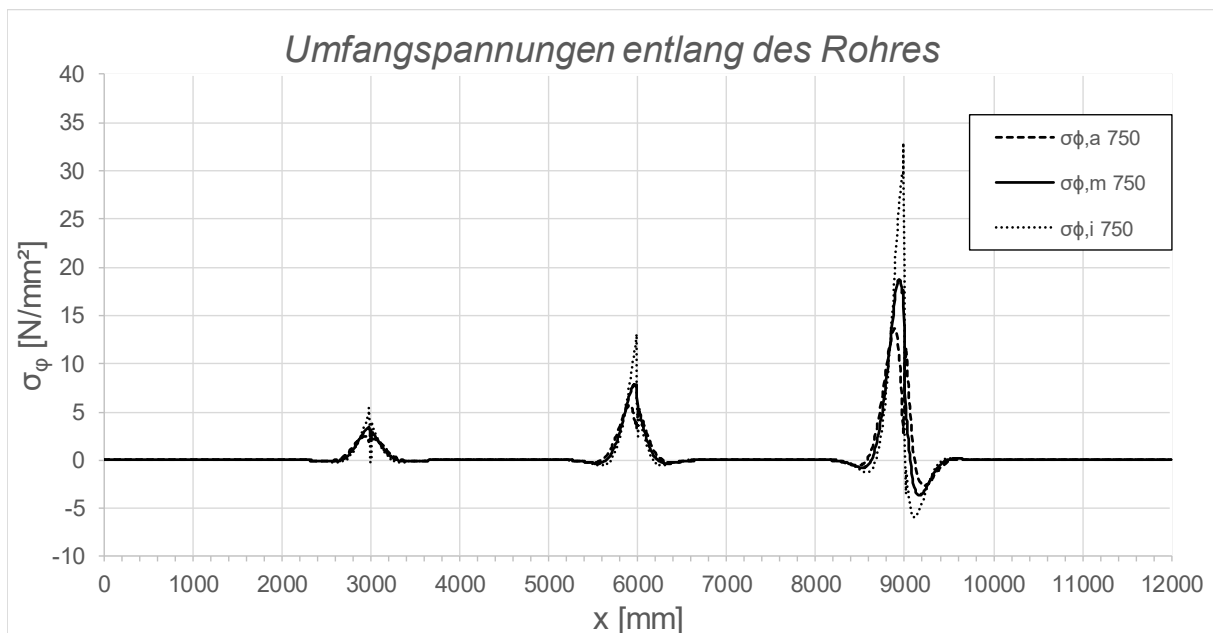


Abbildung A.171: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2, -10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

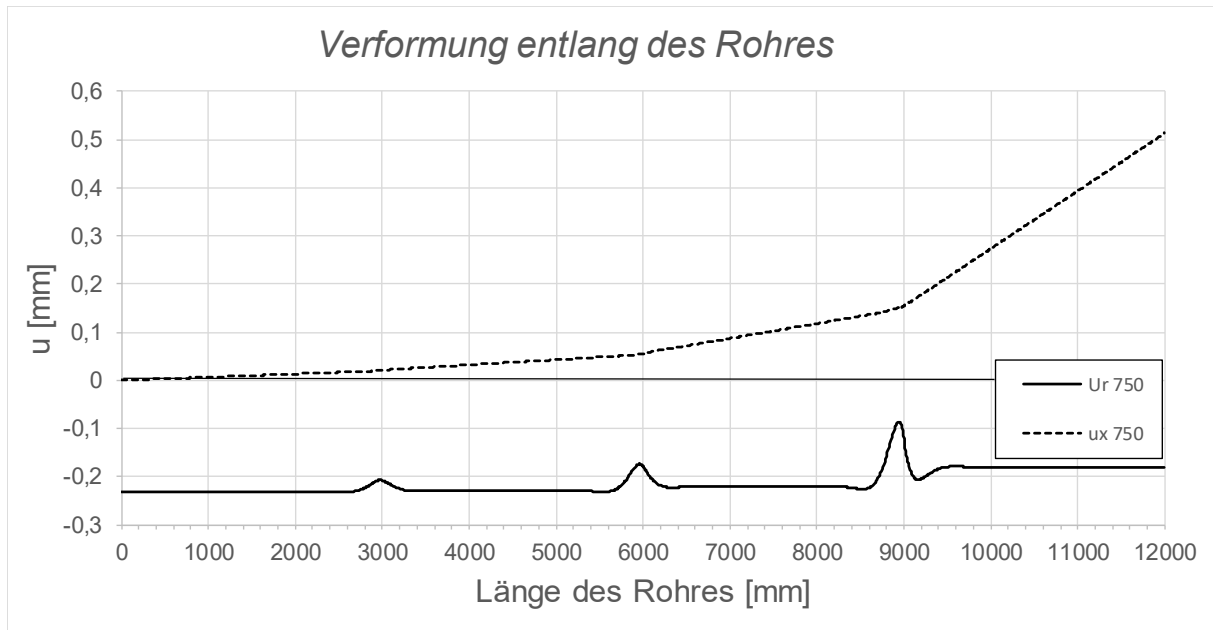


Abbildung A.172: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

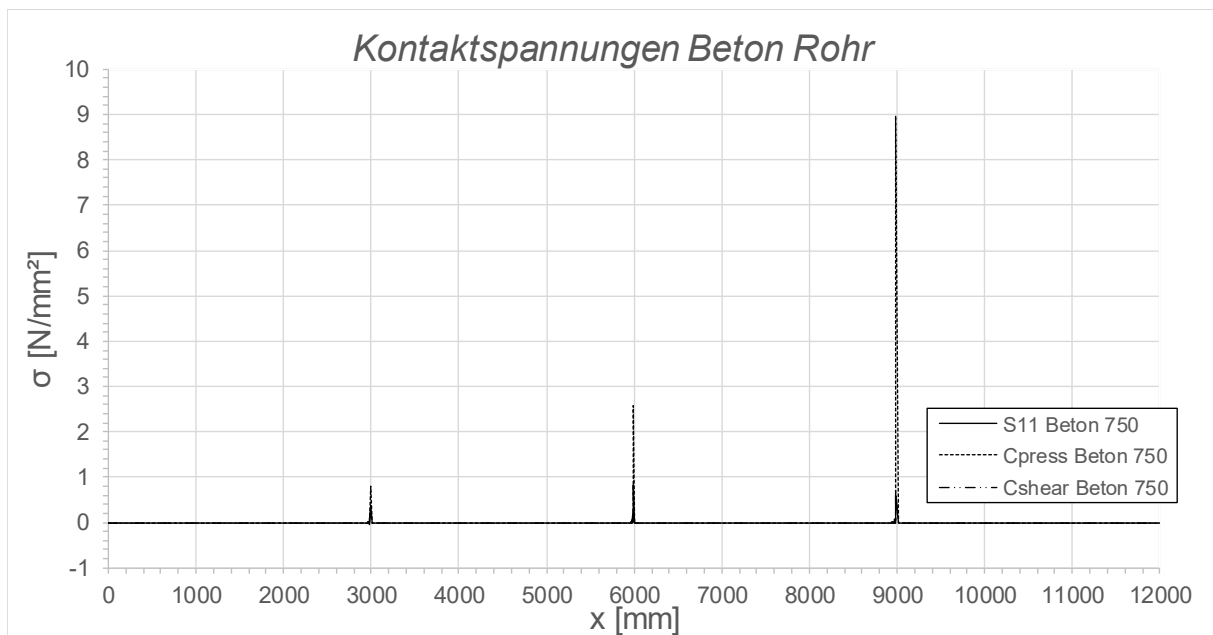


Abbildung A.173: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

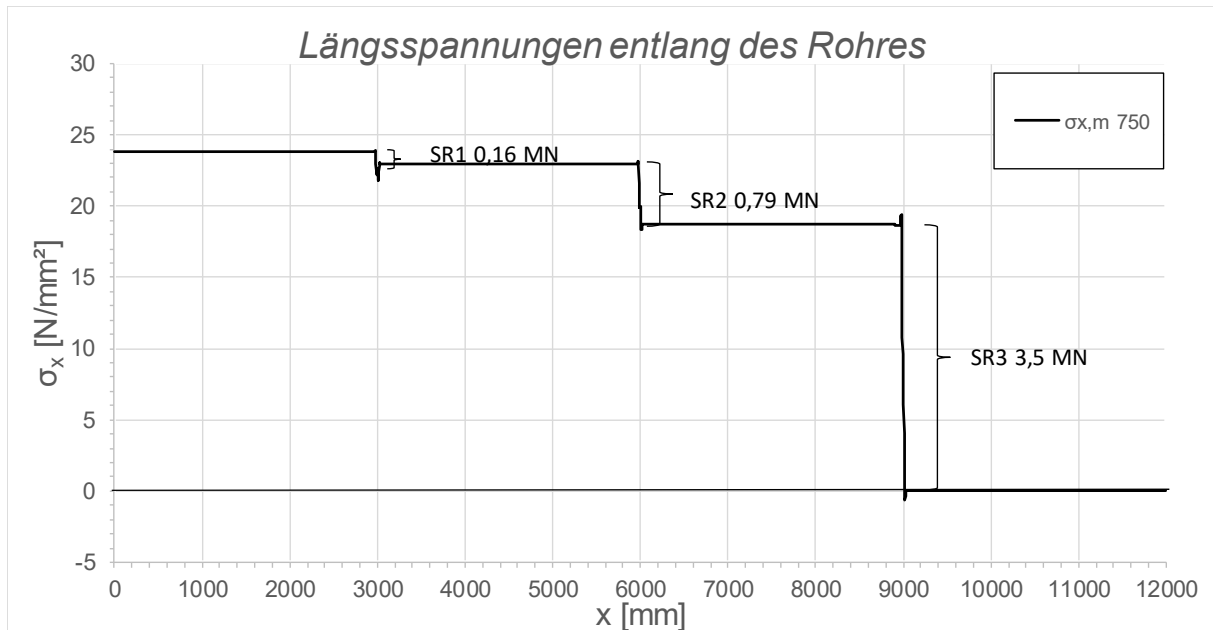


Abbildung A.174: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

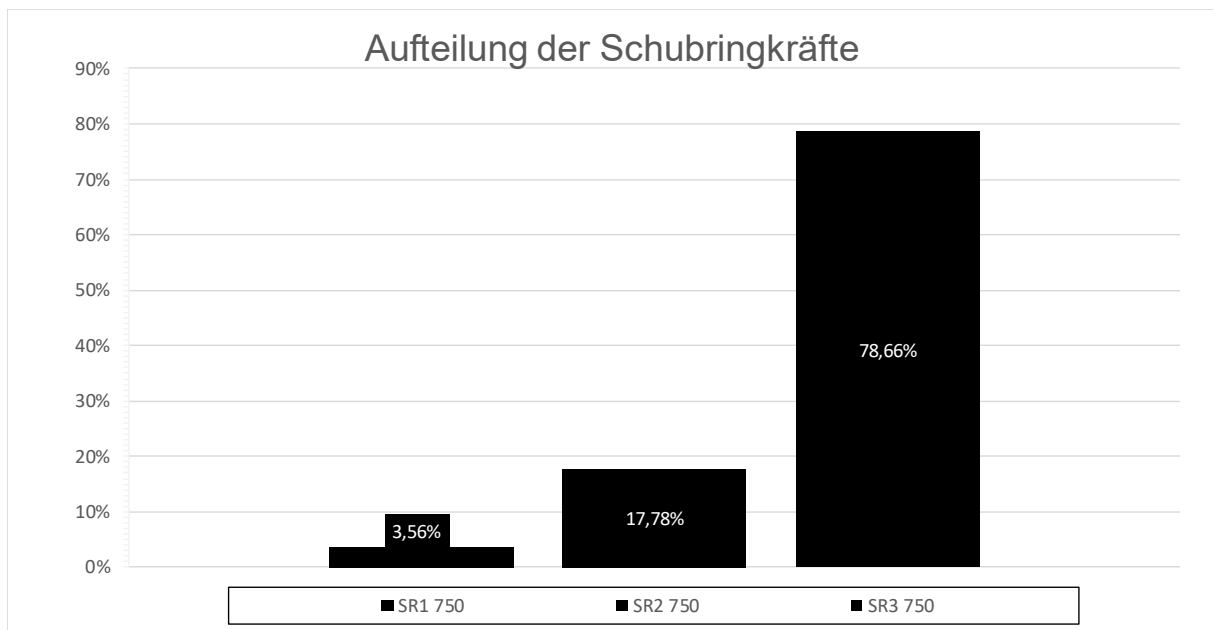


Abbildung A.175: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

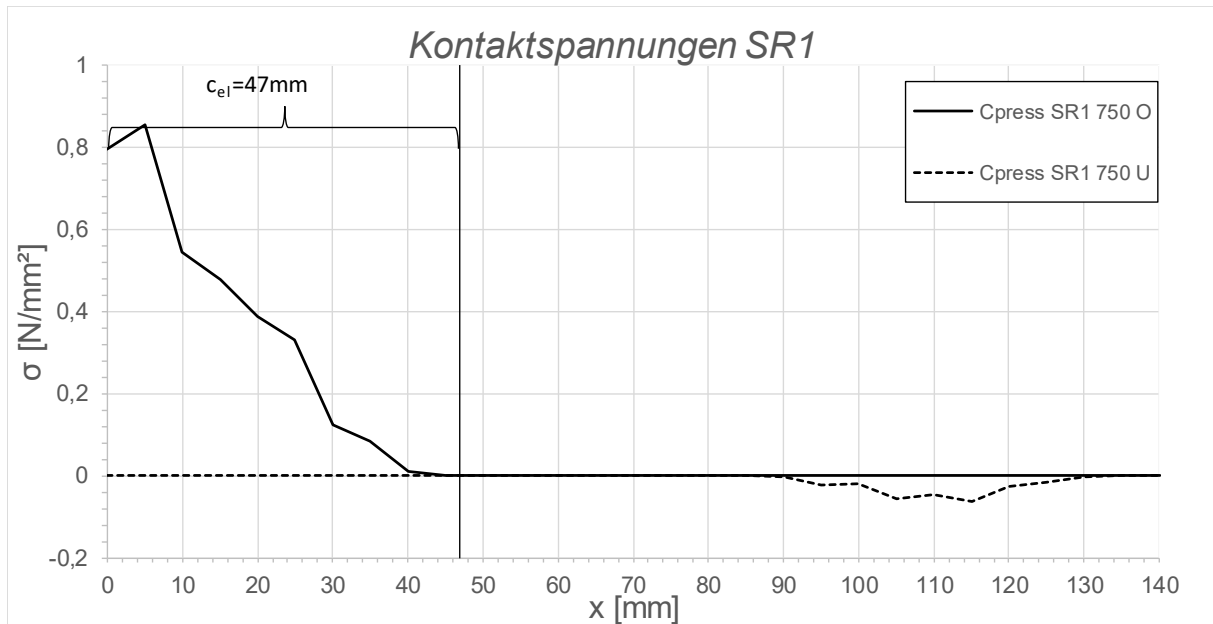


Abbildung A.176: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

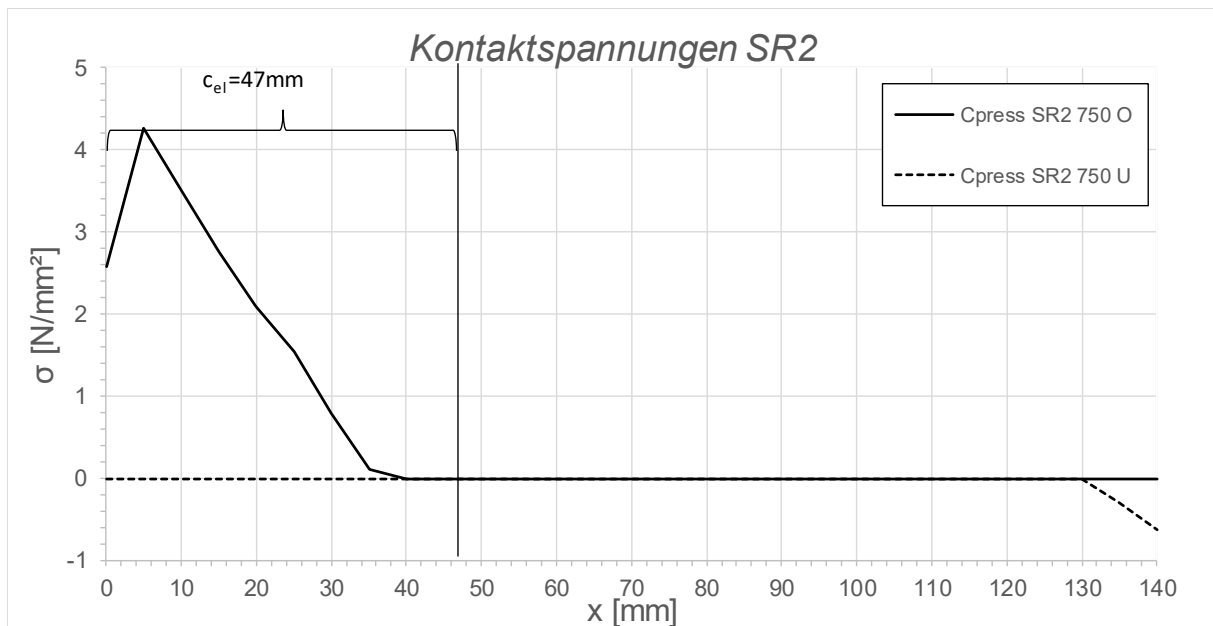


Abbildung A.177: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

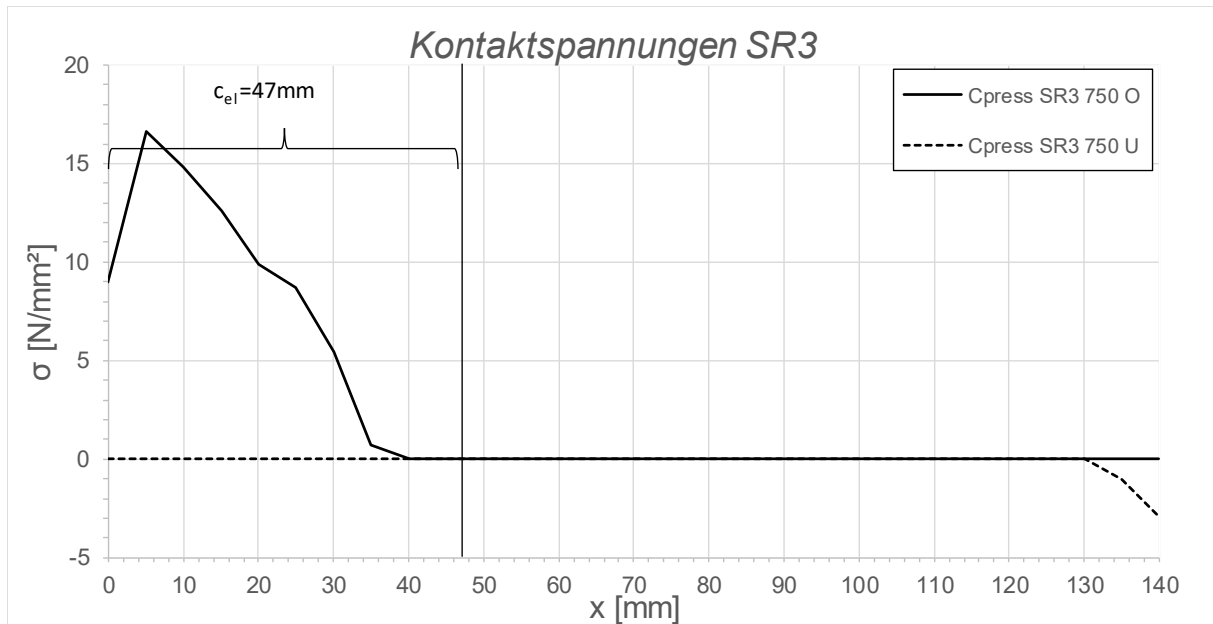


Abbildung A.178: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

A.4.4 Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

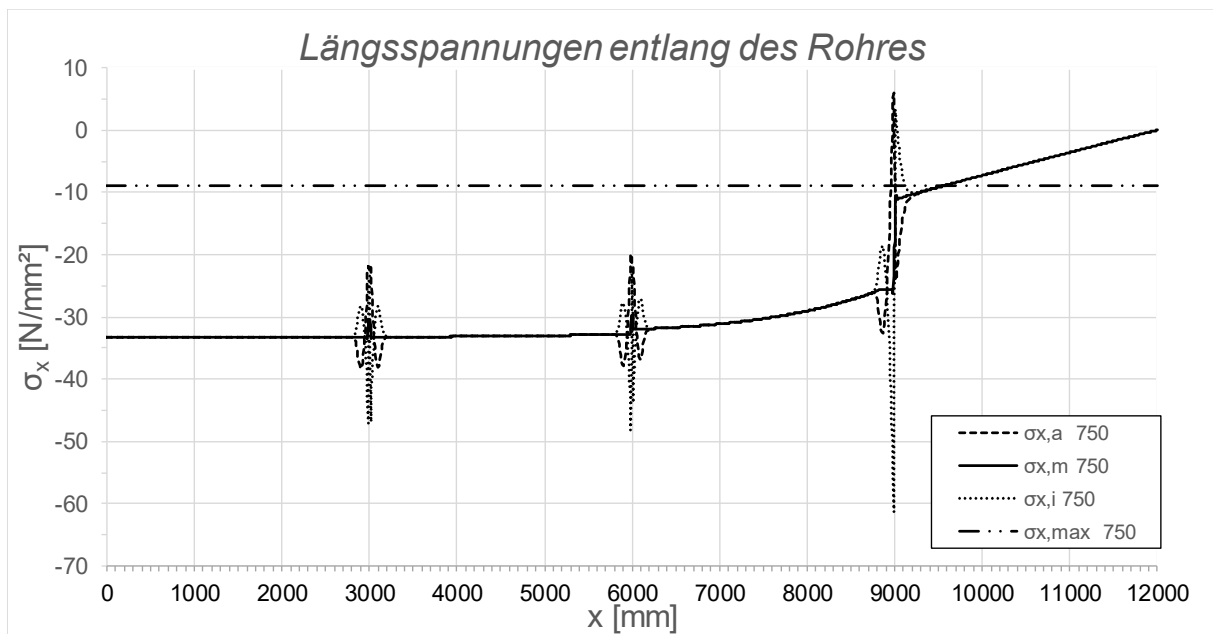


Abbildung A.179: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$,
 $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

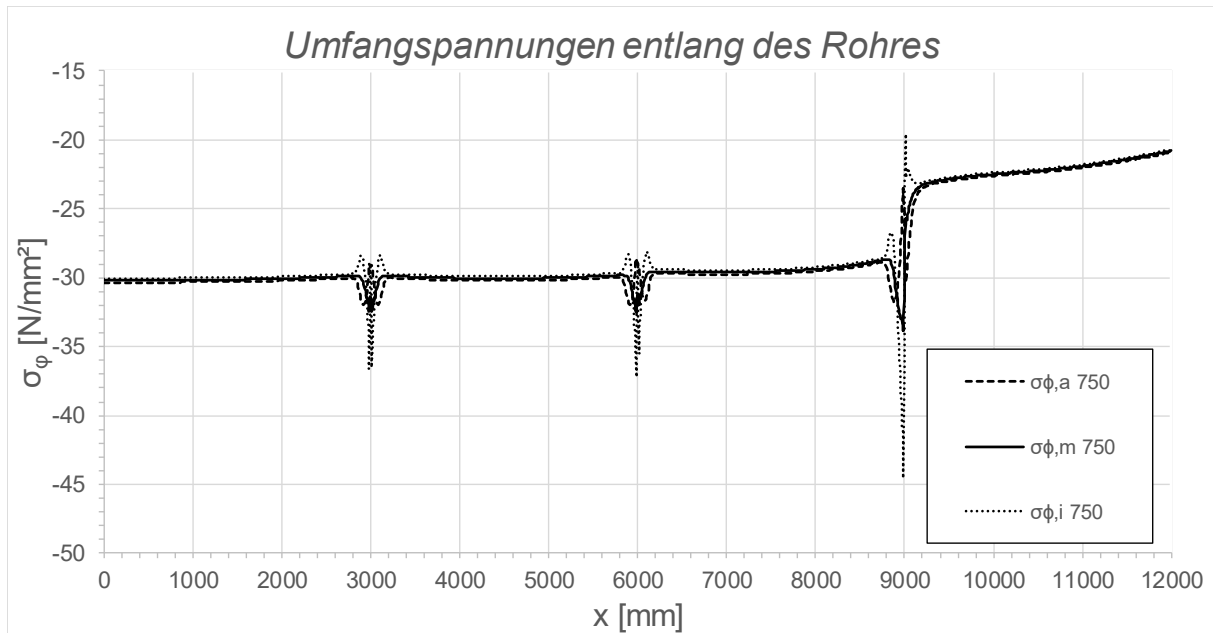


Abbildung A.180: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

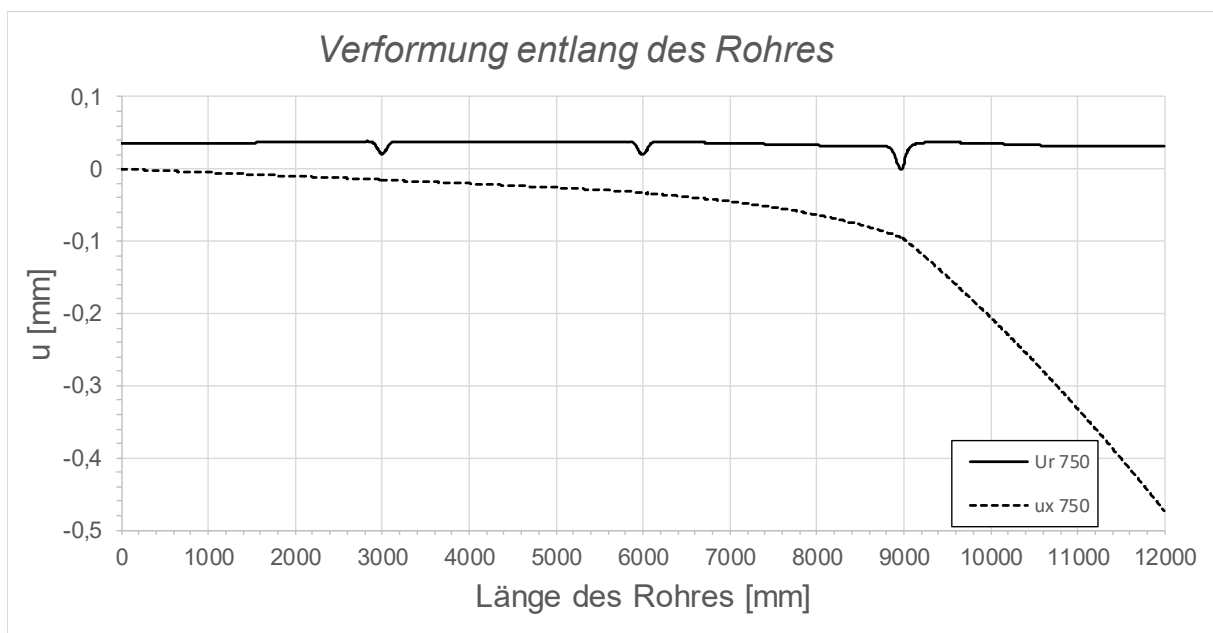


Abbildung A.181: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

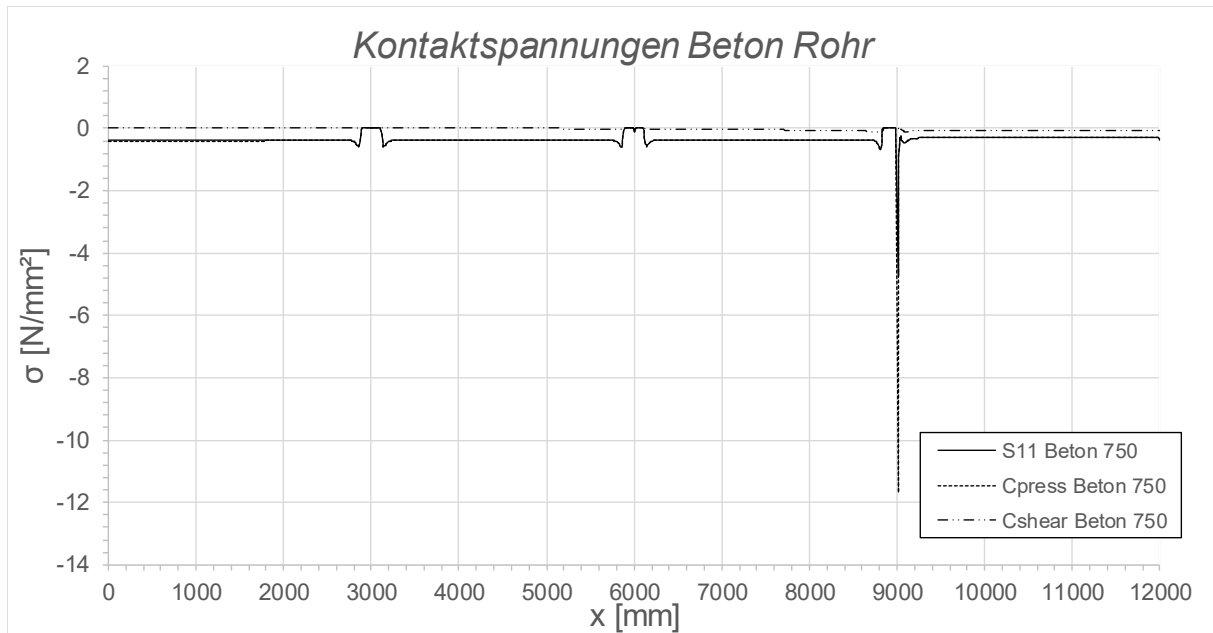


Abbildung A.182: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

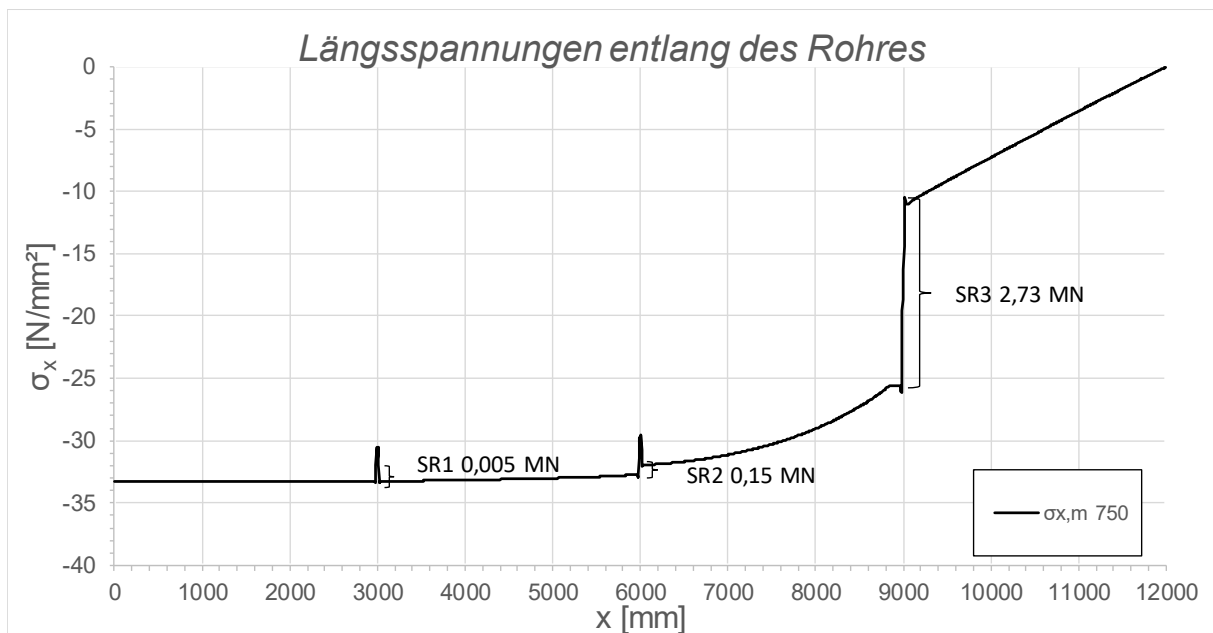


Abbildung A.183: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

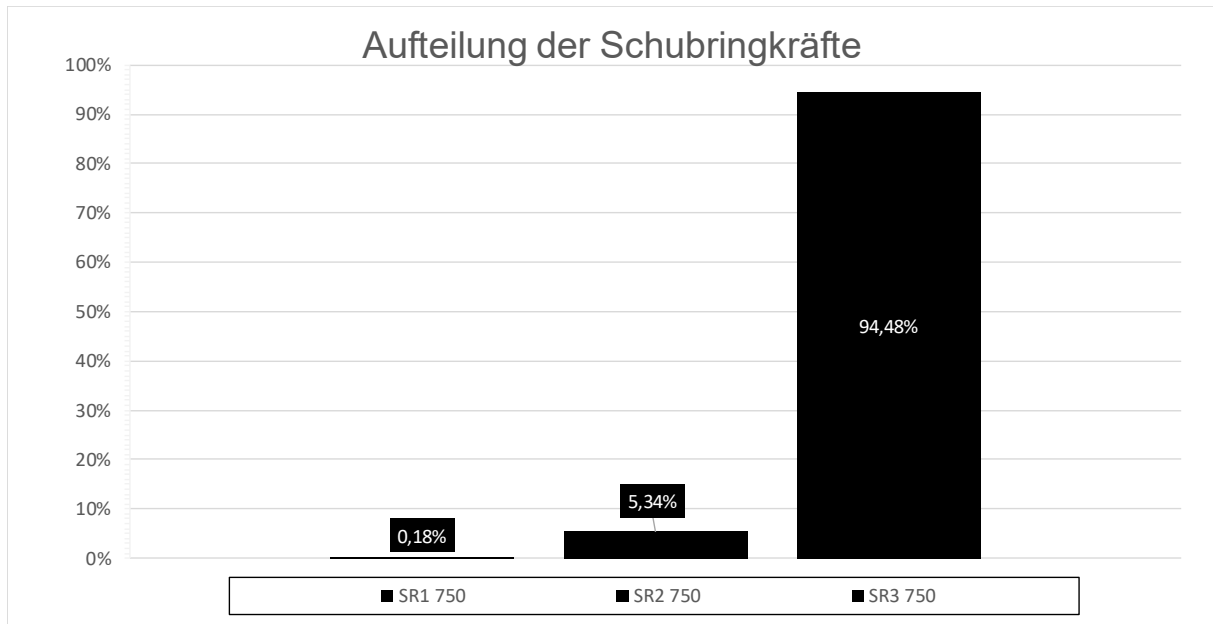


Abbildung A.184: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

A.4.5 Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

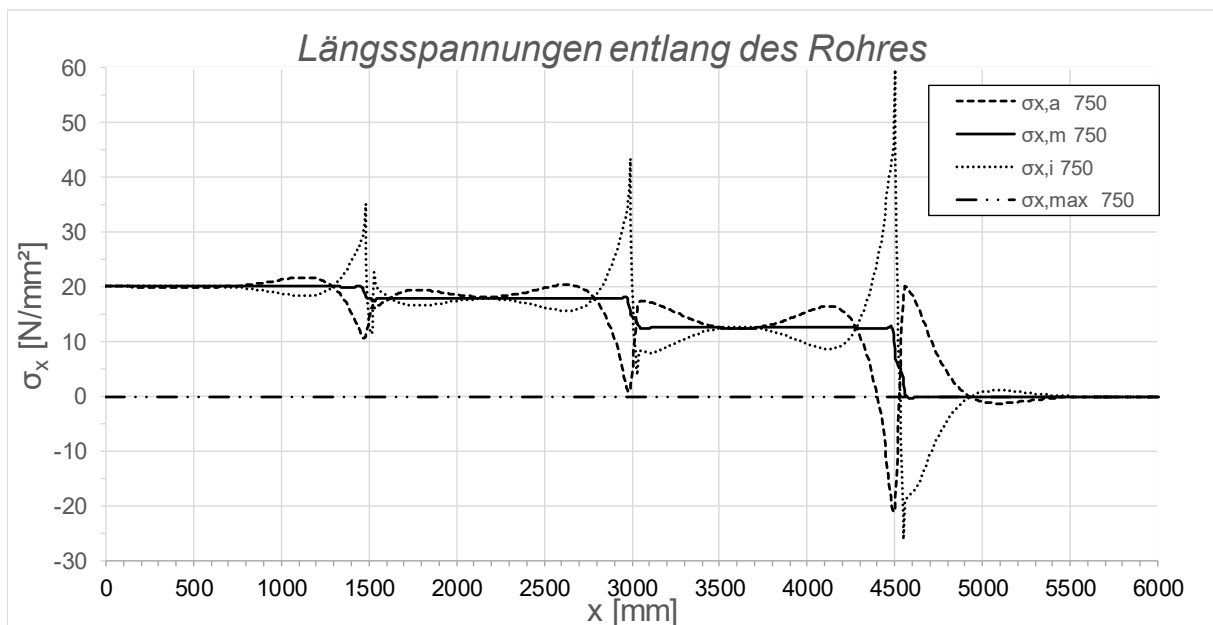


Abbildung A.185: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

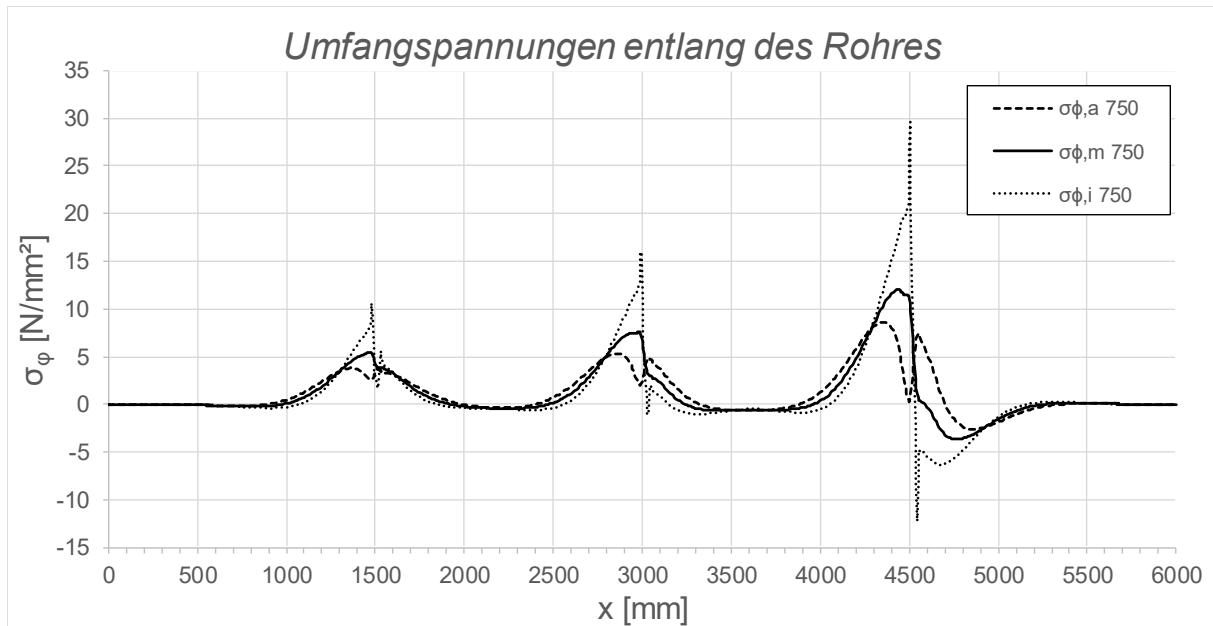


Abbildung A.186: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

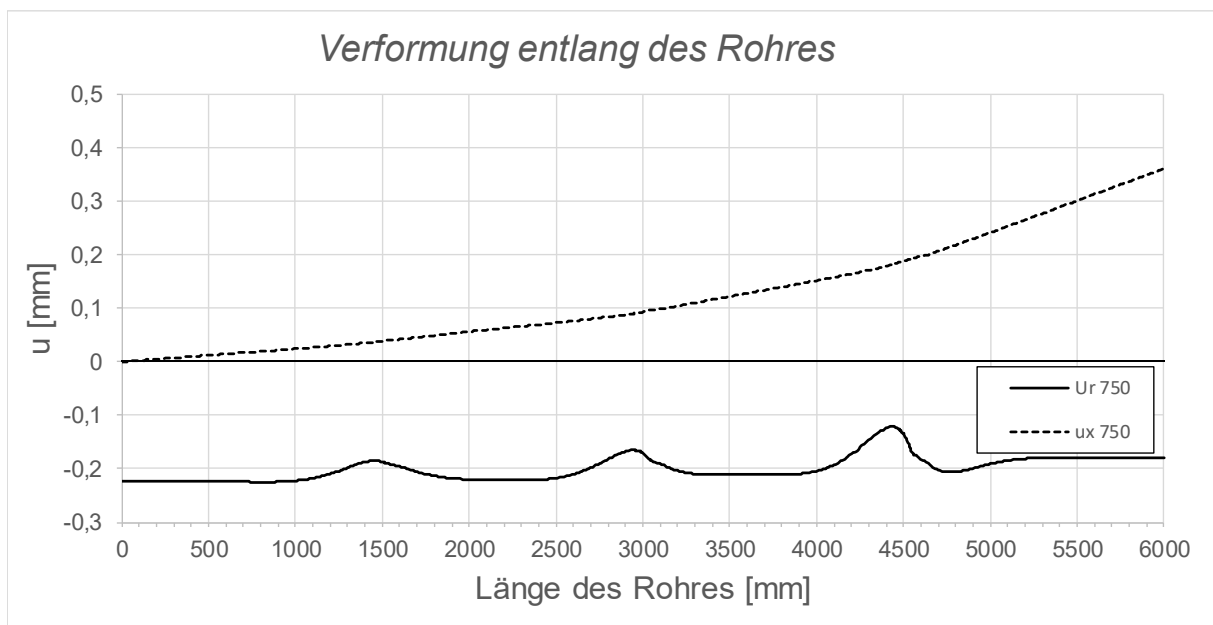


Abbildung A.187: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

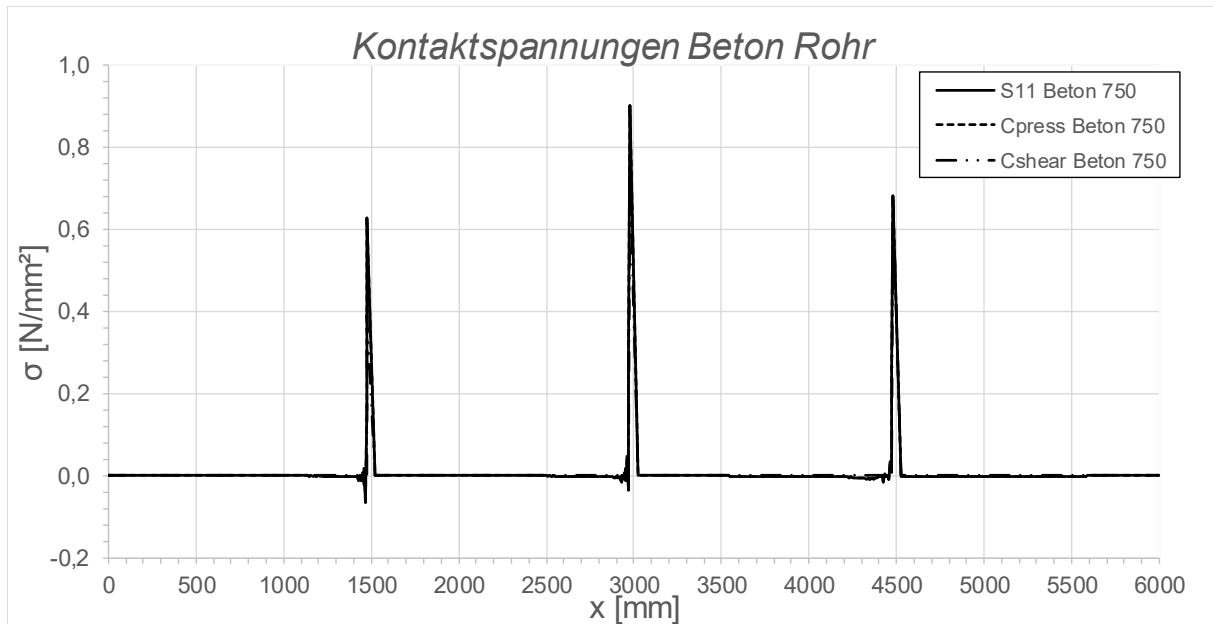


Abbildung A.188: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

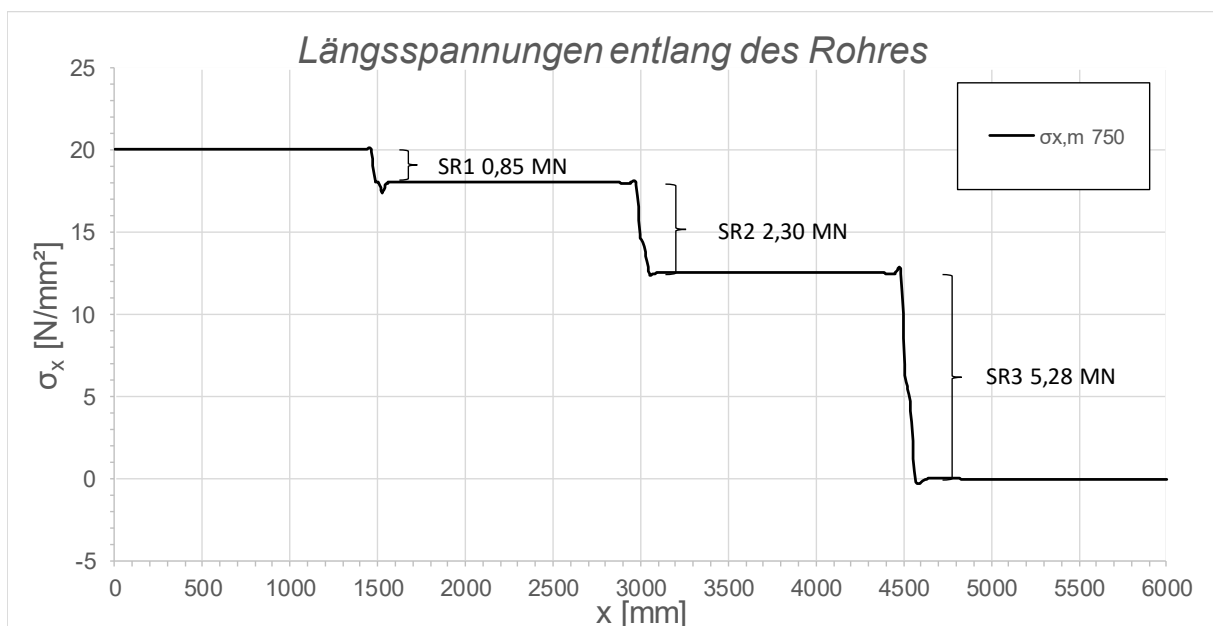


Abbildung A.189: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

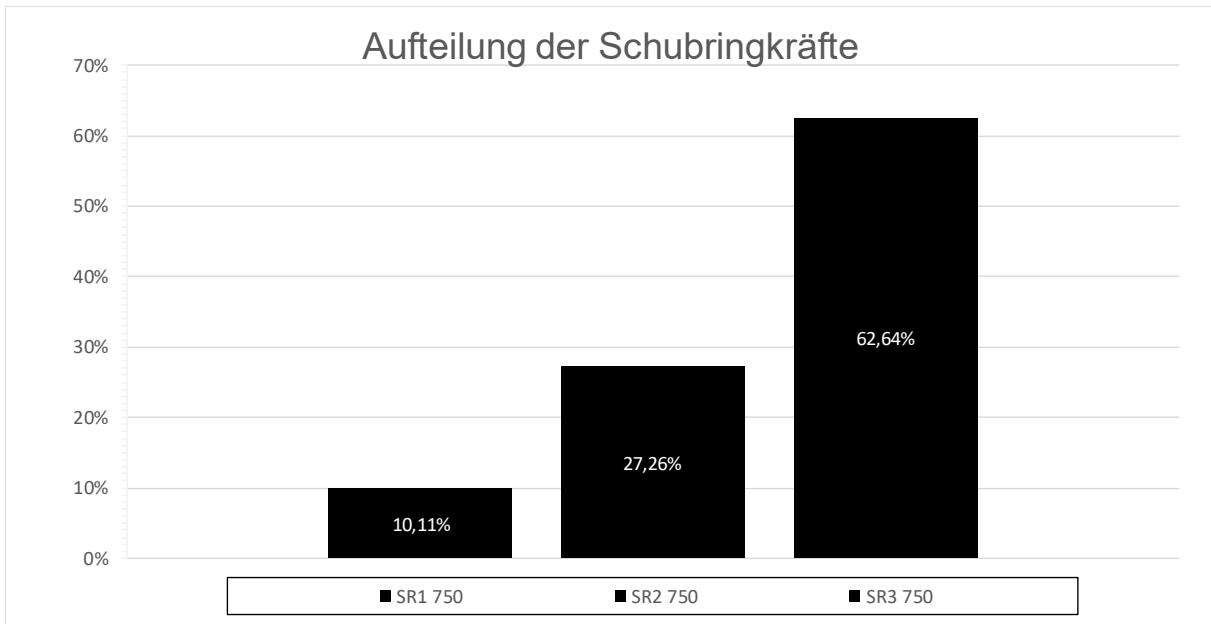


Abbildung A.190: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

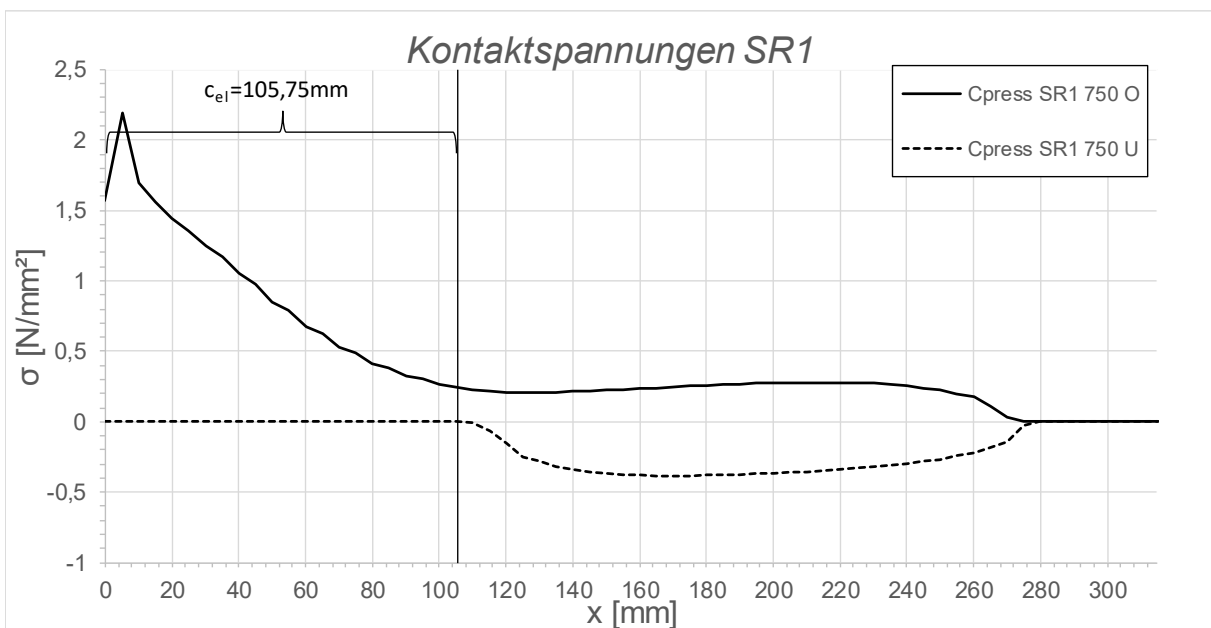


Abbildung A.191: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

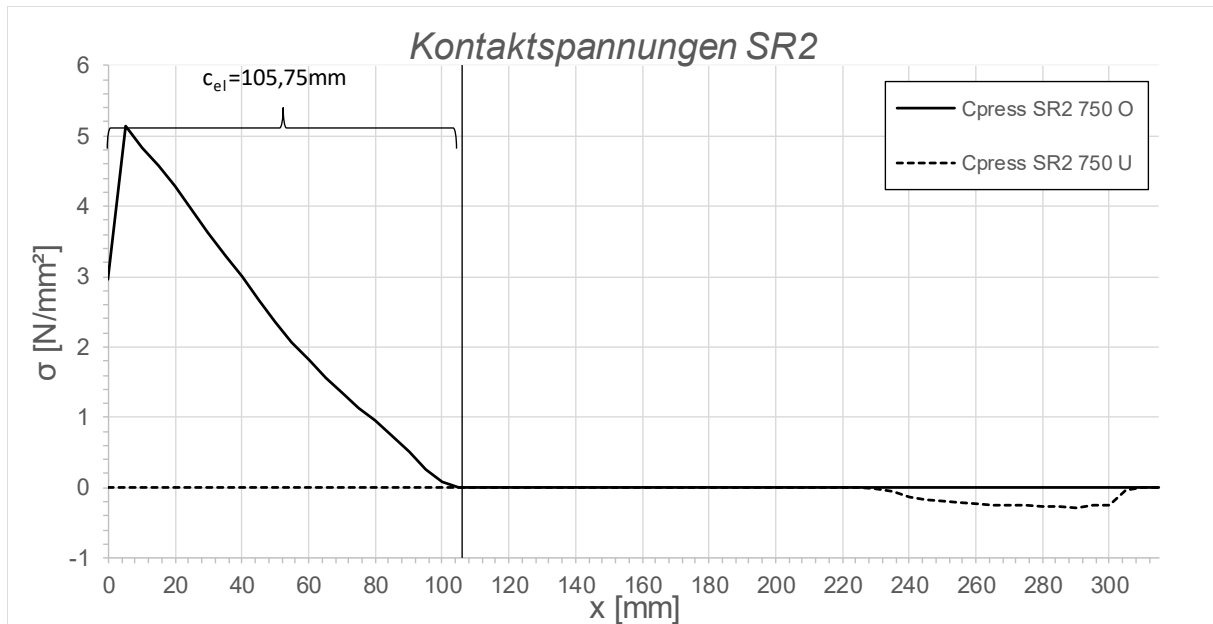


Abbildung A.192: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

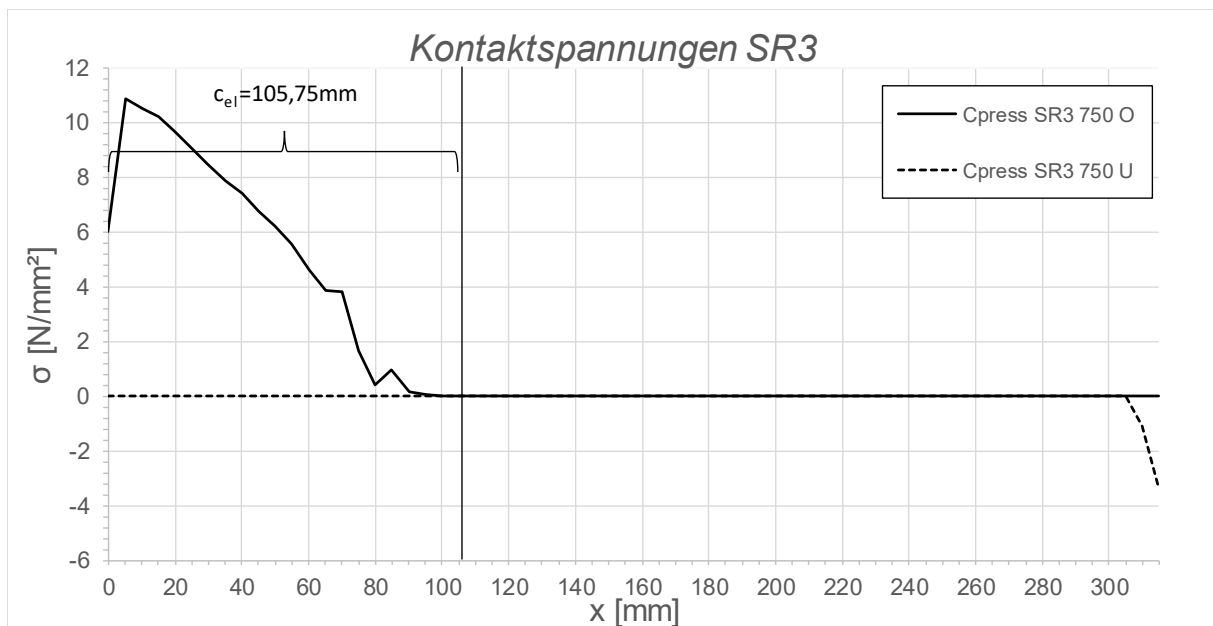


Abbildung A.193: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

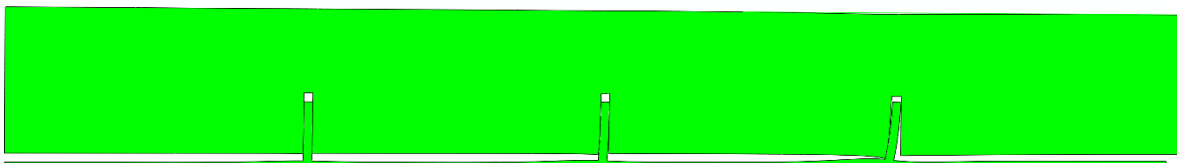


Abbildung A.194: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

A.4.6 Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

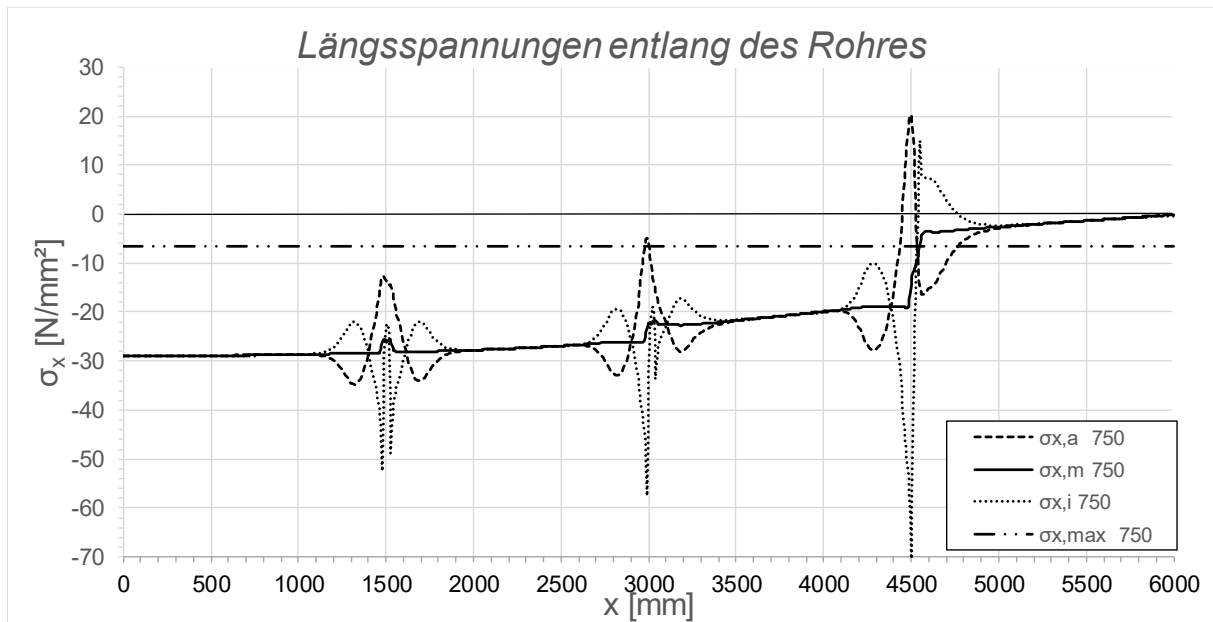


Abbildung A.195: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

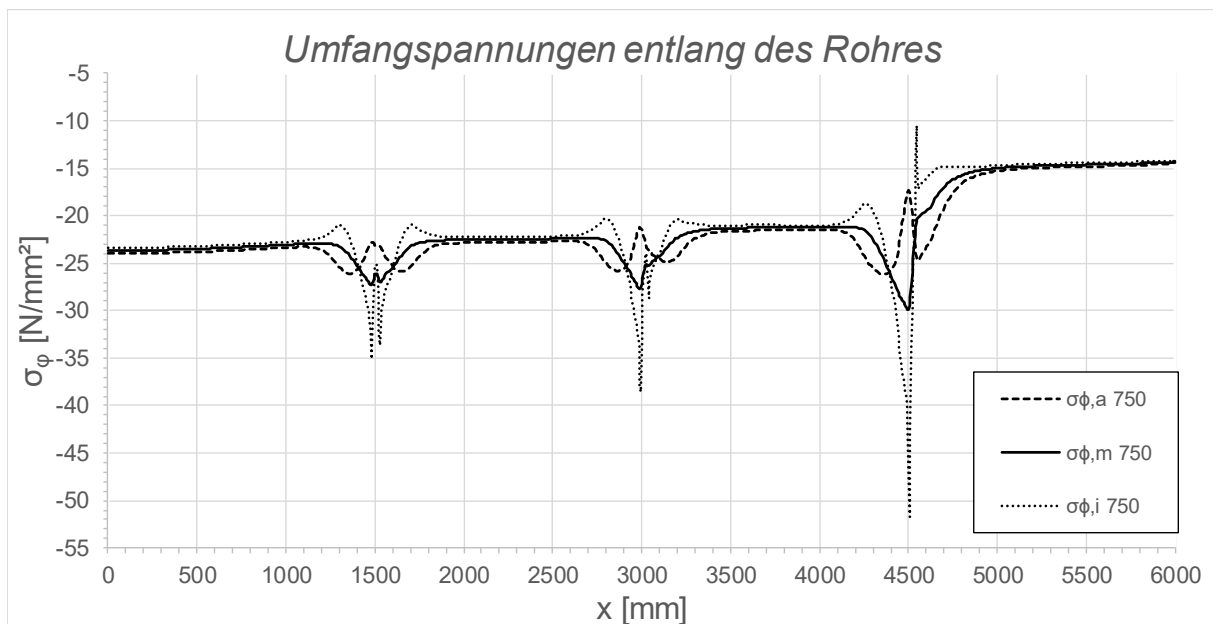


Abbildung A.196: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

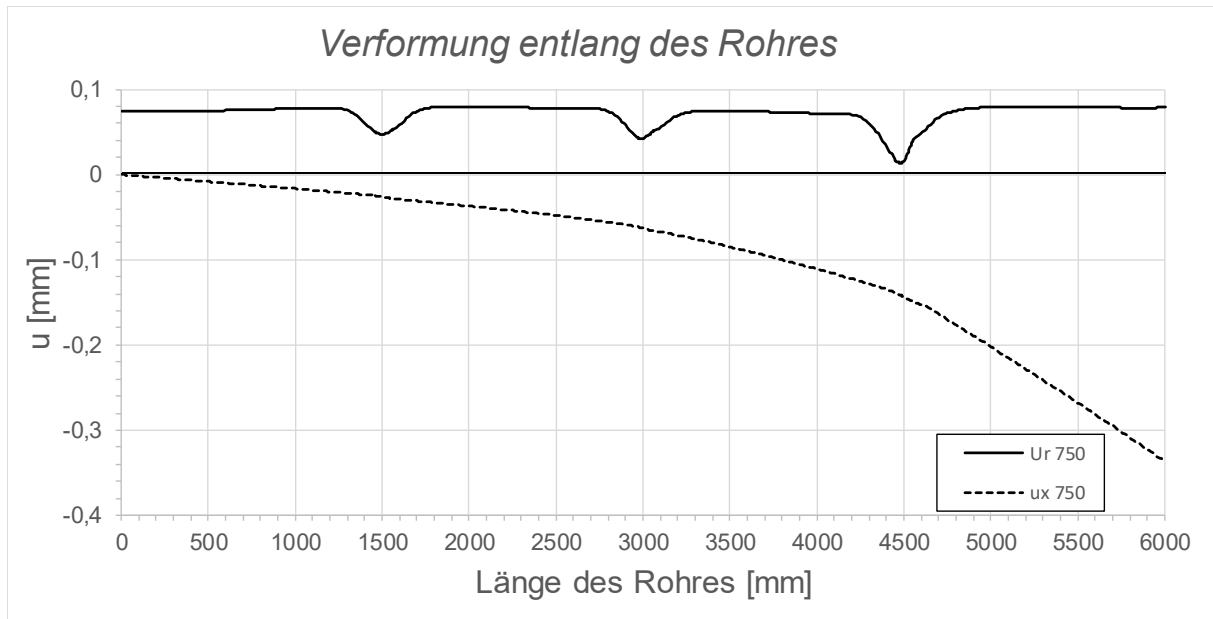


Abbildung A.197: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

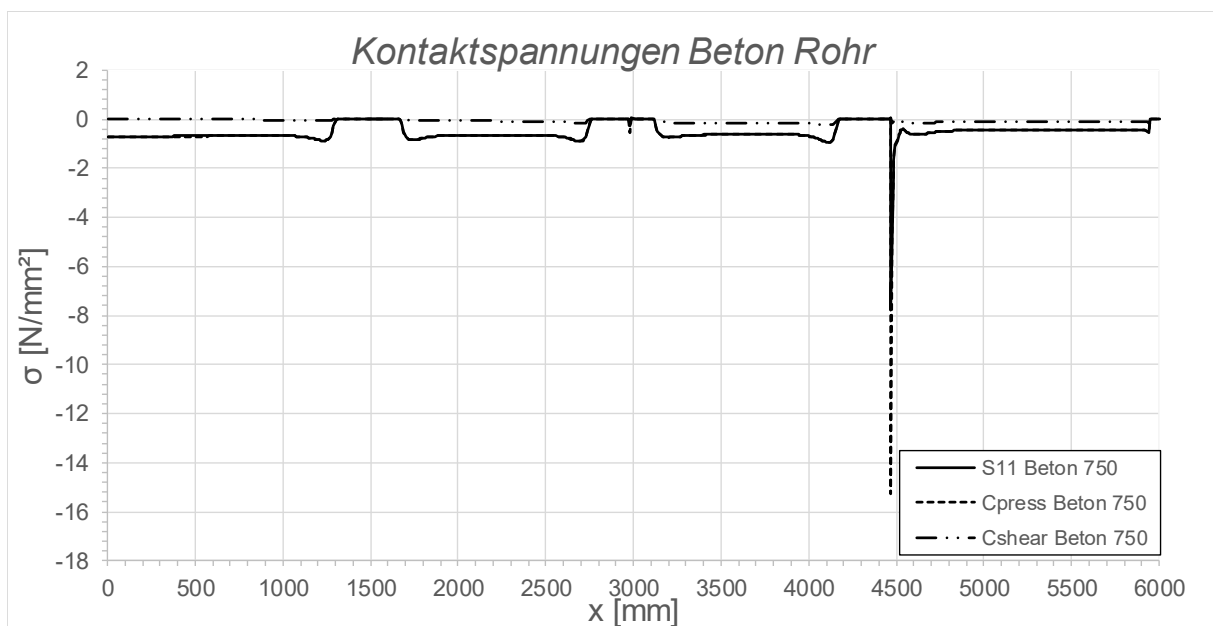


Abbildung A.198: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

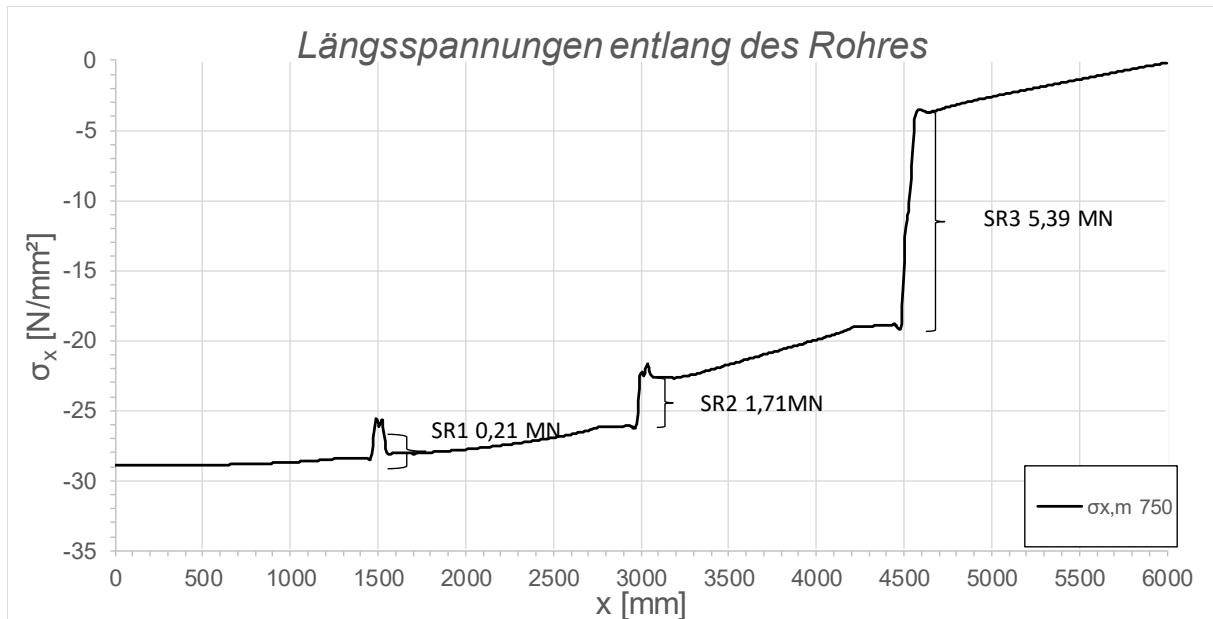


Abbildung A.199: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

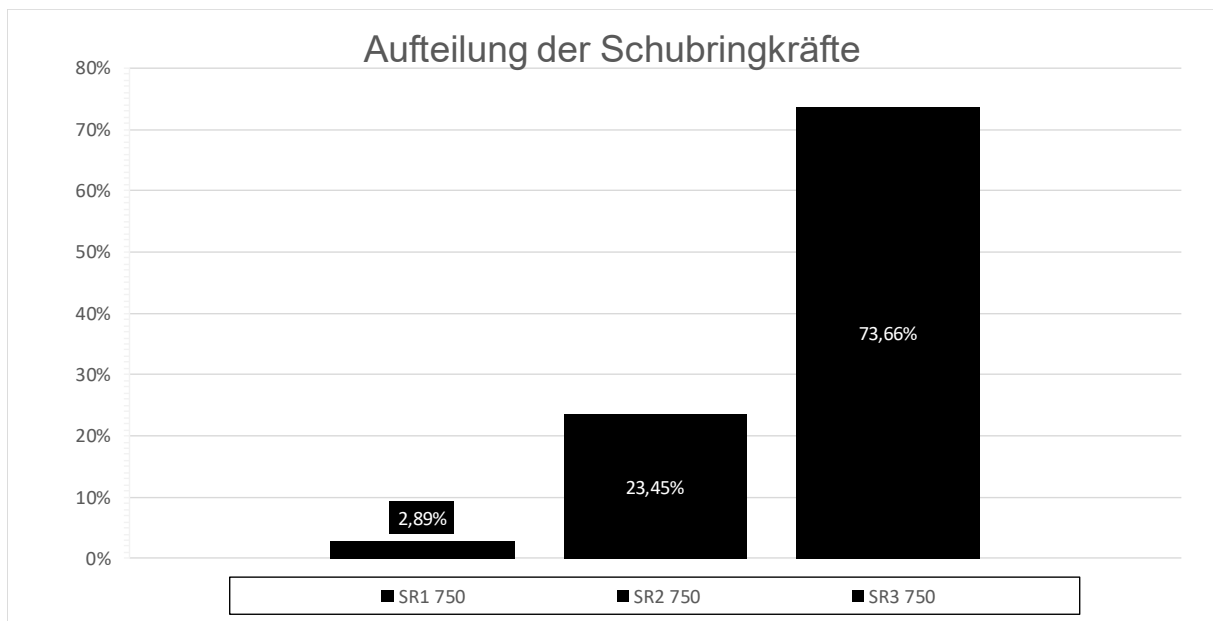


Abbildung A.200: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

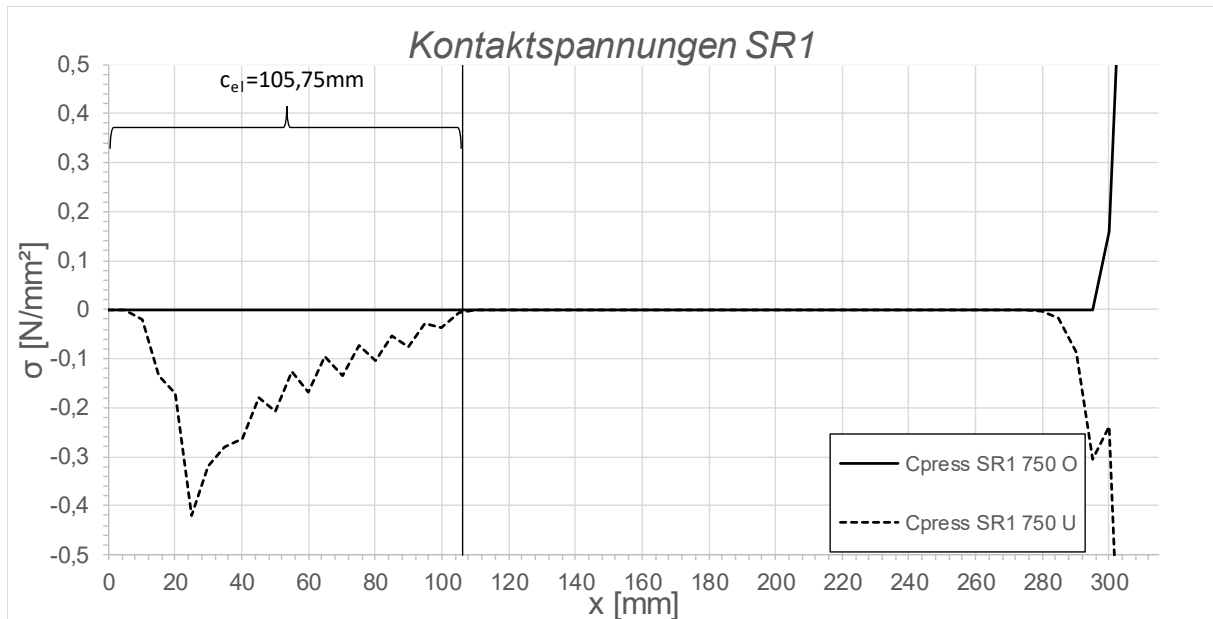


Abbildung A.201: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

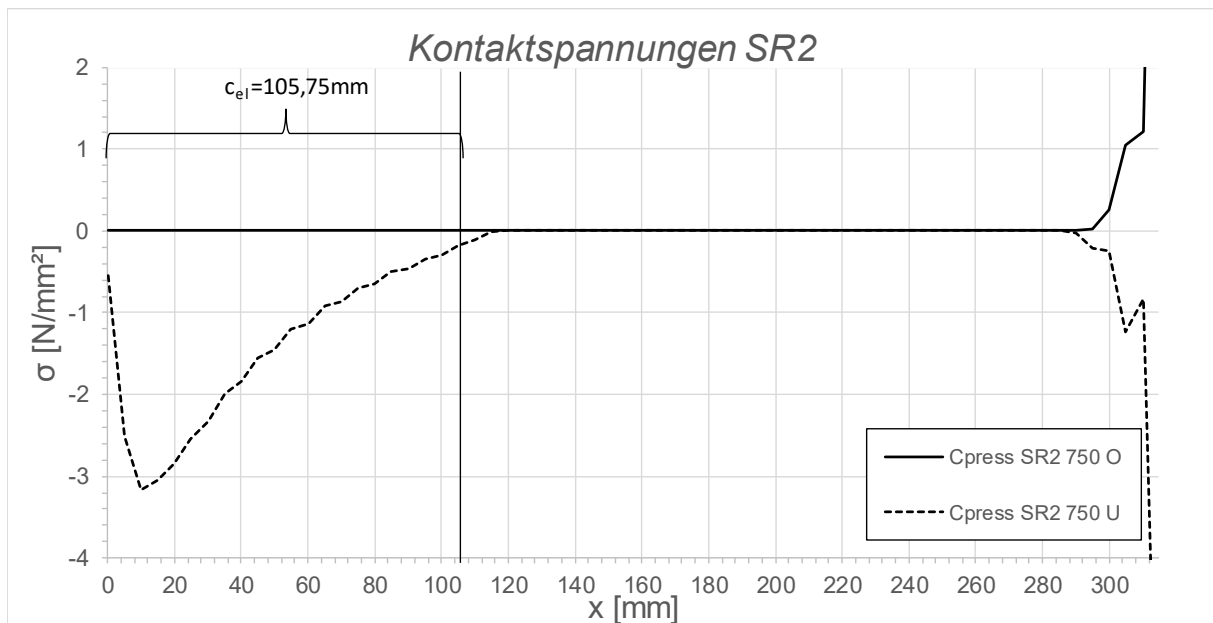


Abbildung A.202: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

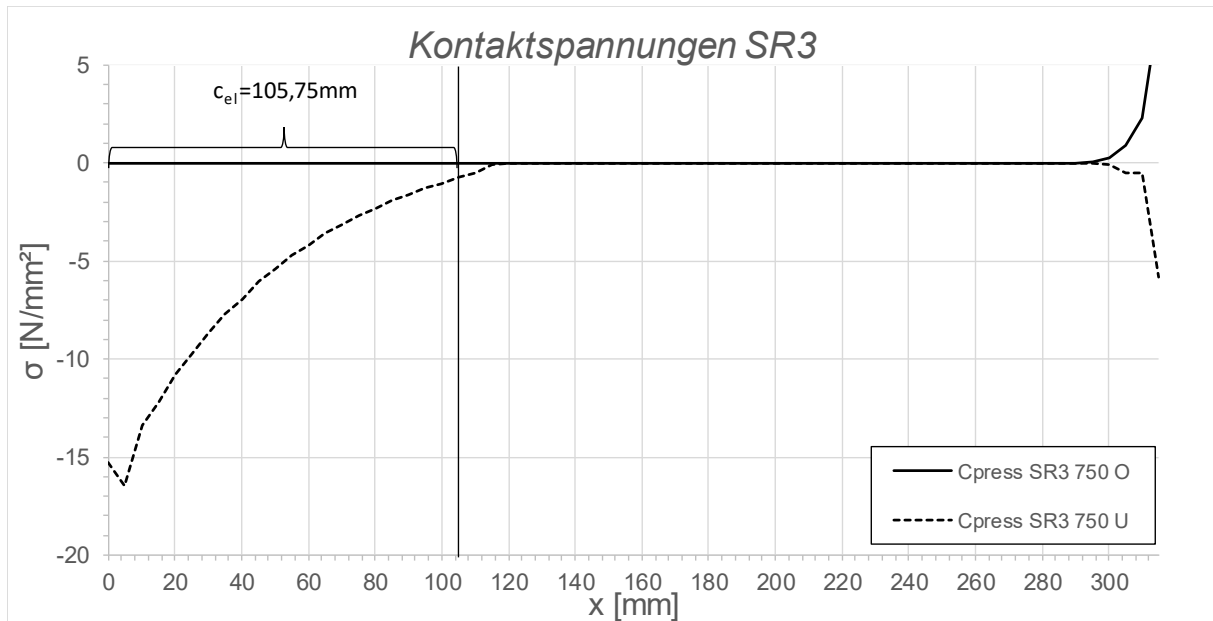


Abbildung A.203: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

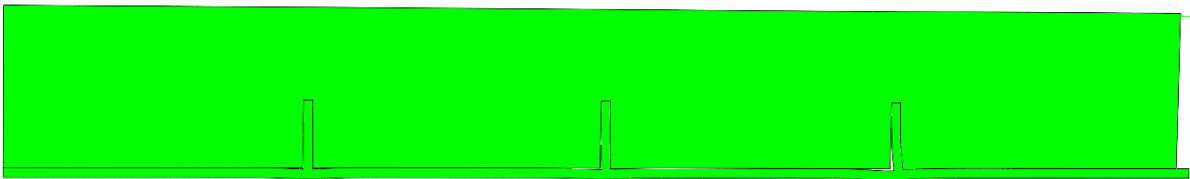


Abbildung A.204: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

A.4.7 Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

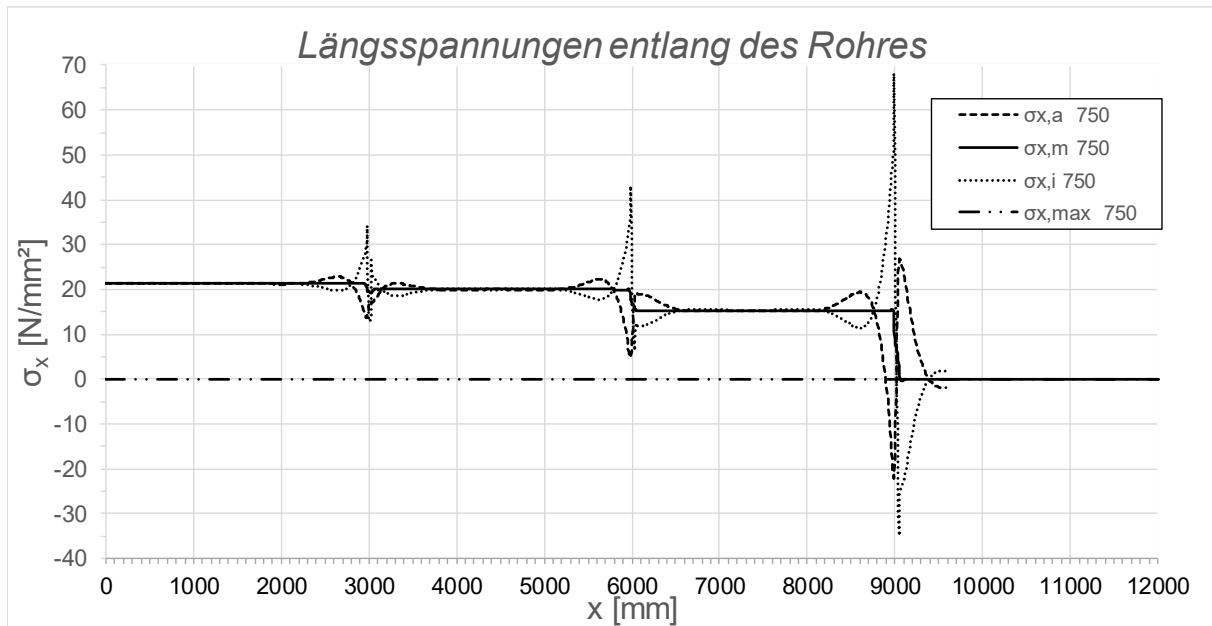


Abbildung A.205: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

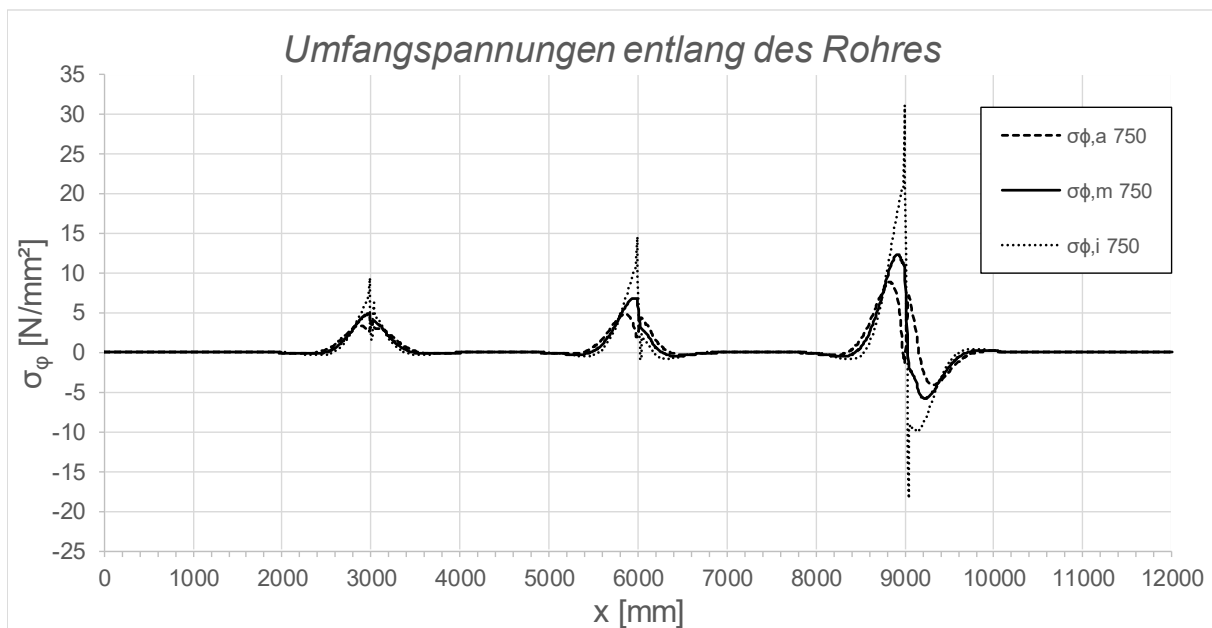


Abbildung A.206: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

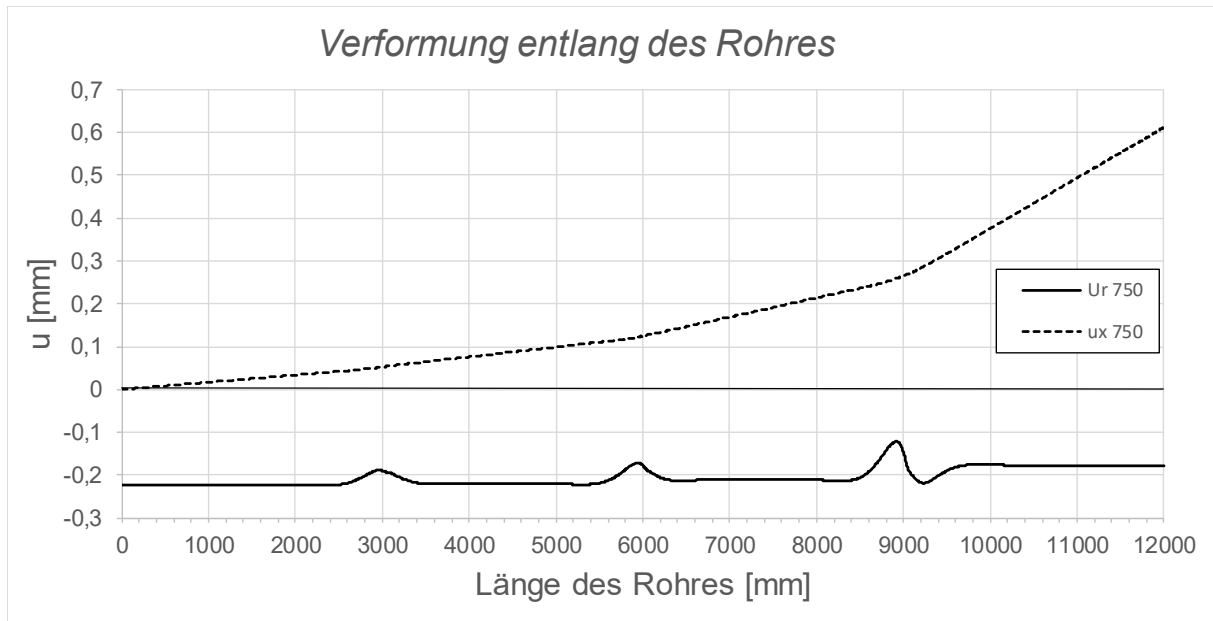


Abbildung A.207: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

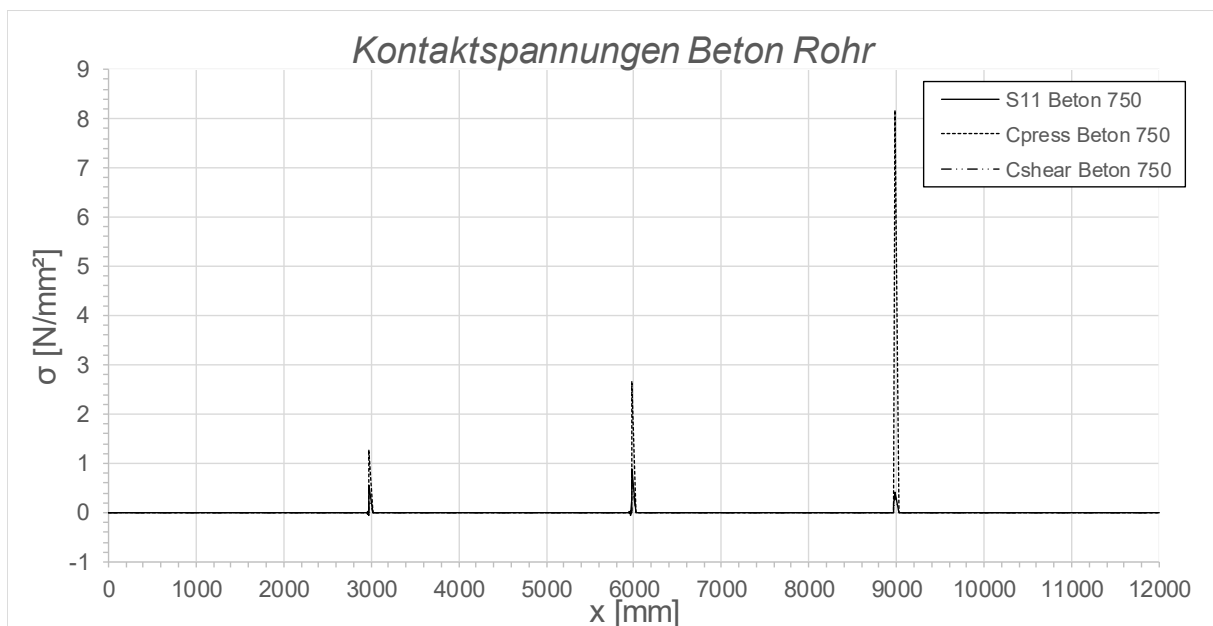


Abbildung A.208: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

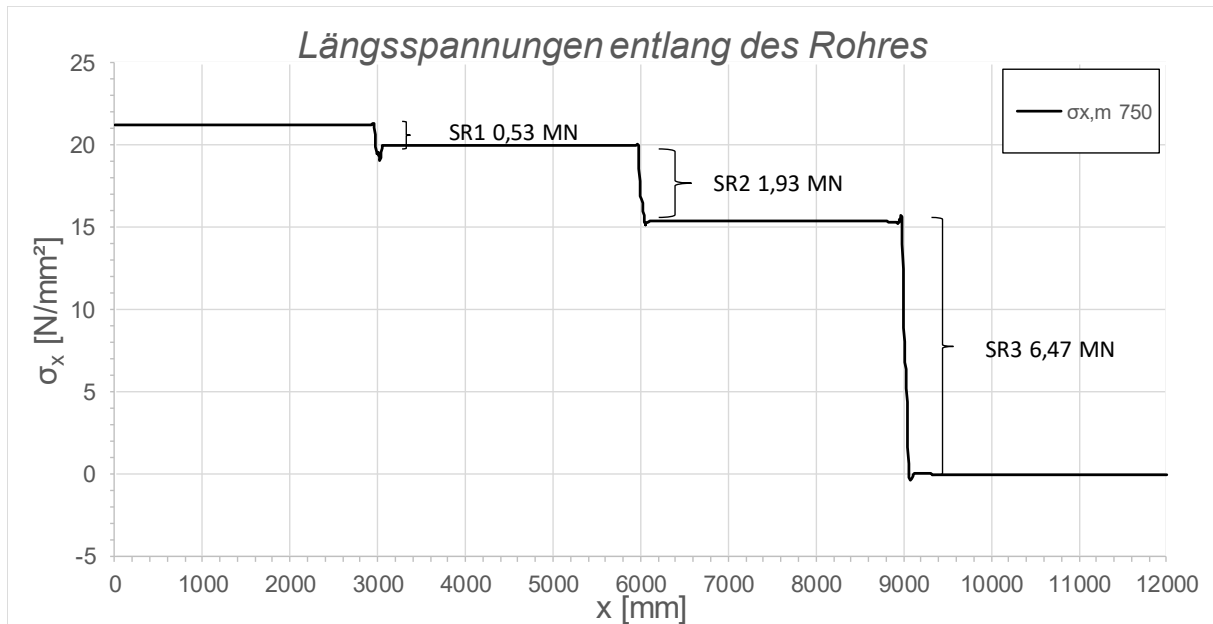


Abbildung A.209: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

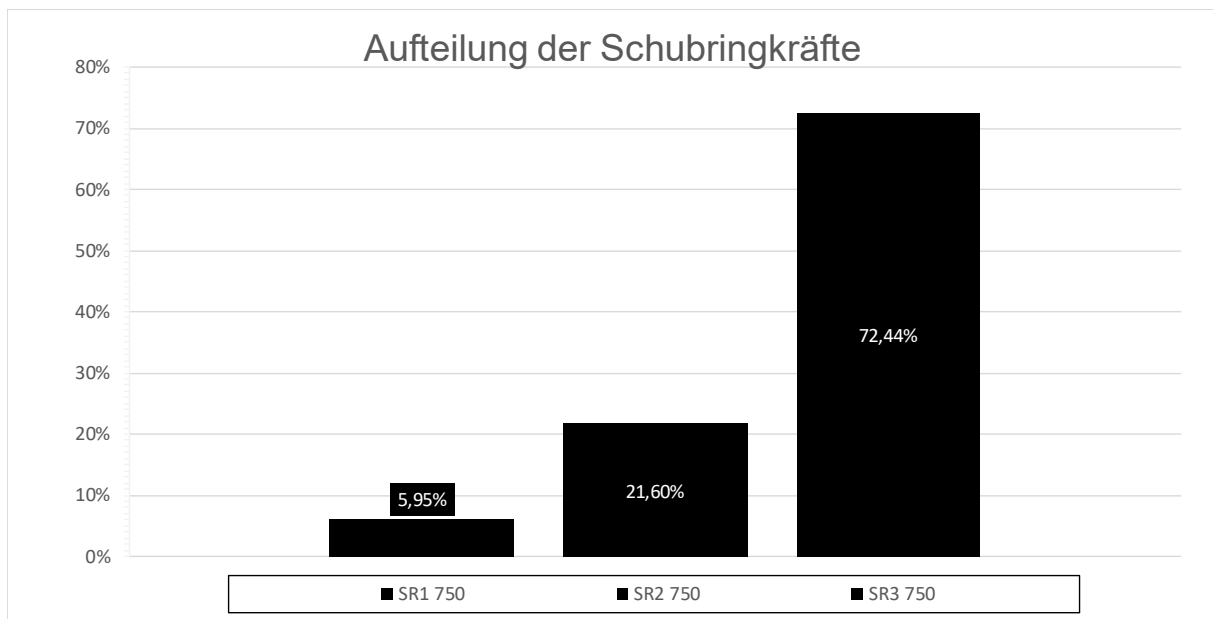


Abbildung A.210: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

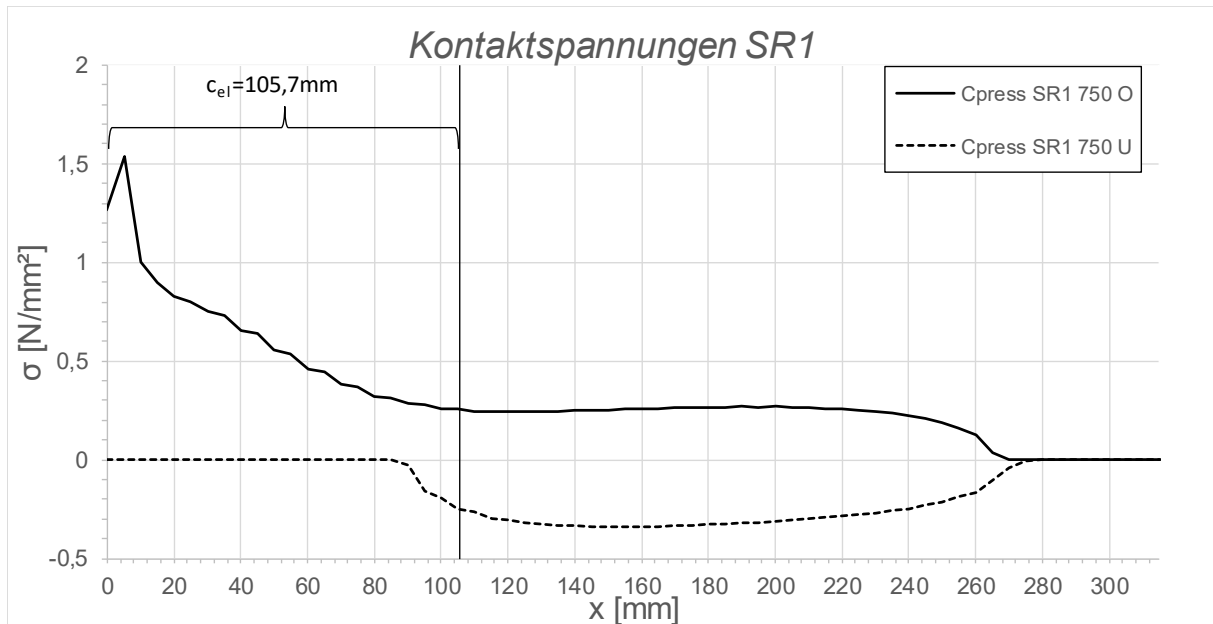


Abbildung A.211: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

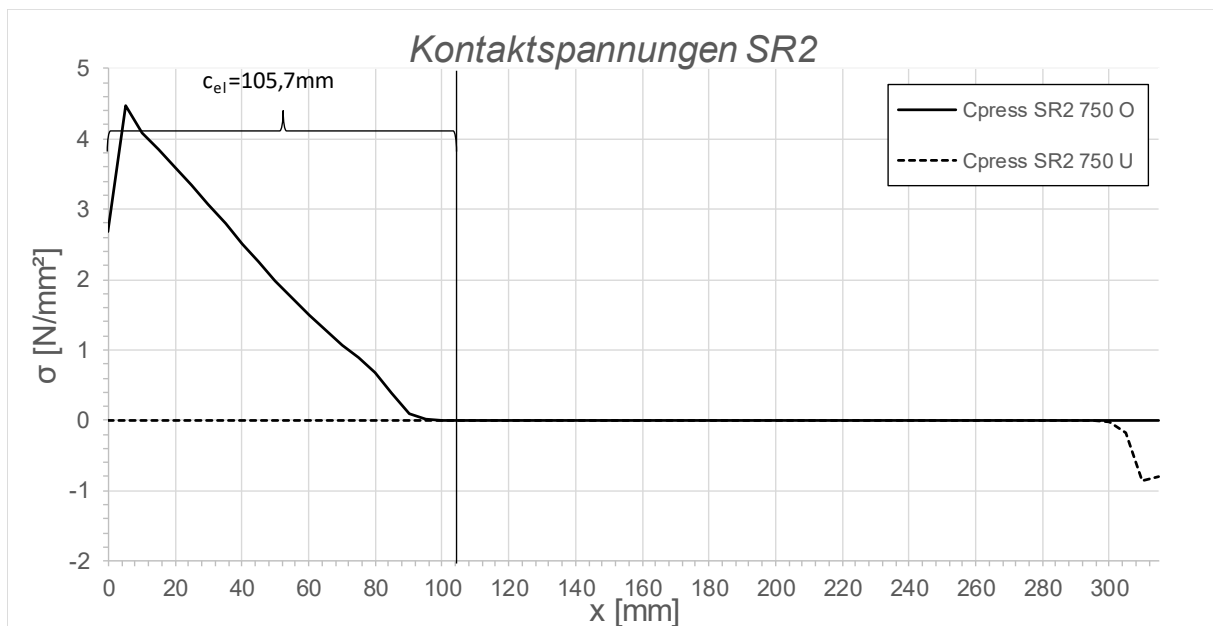


Abbildung A.212: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

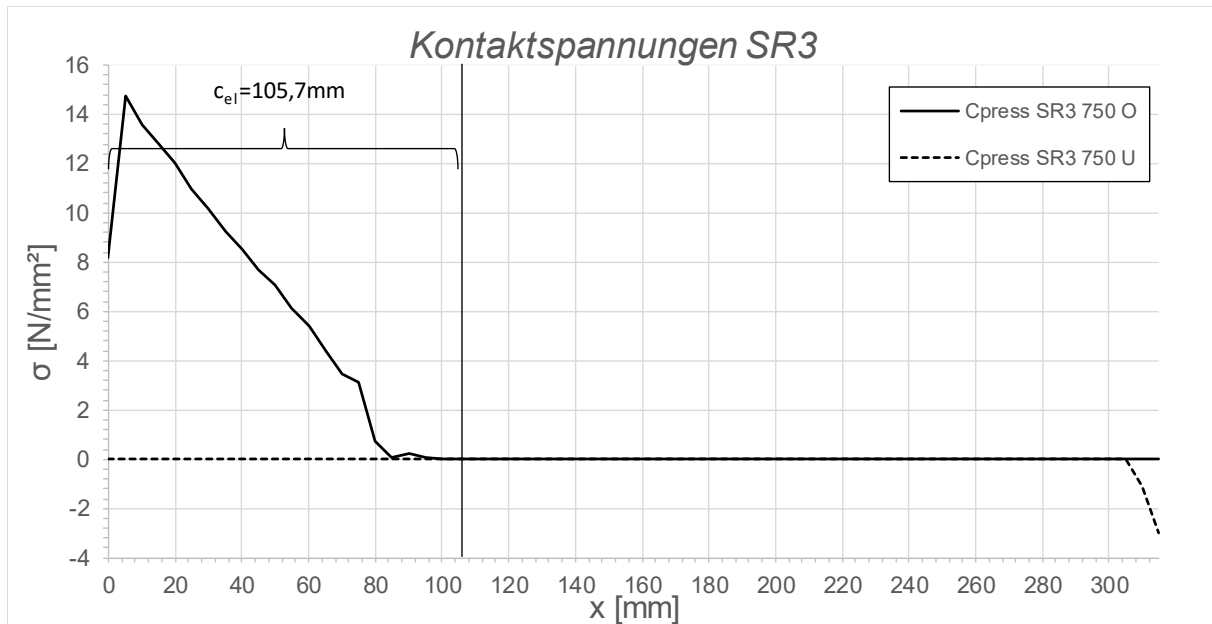


Abbildung A.213: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

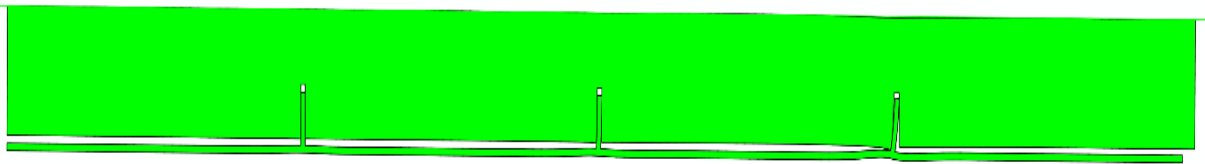


Abbildung A.214: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

A.4.8 Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

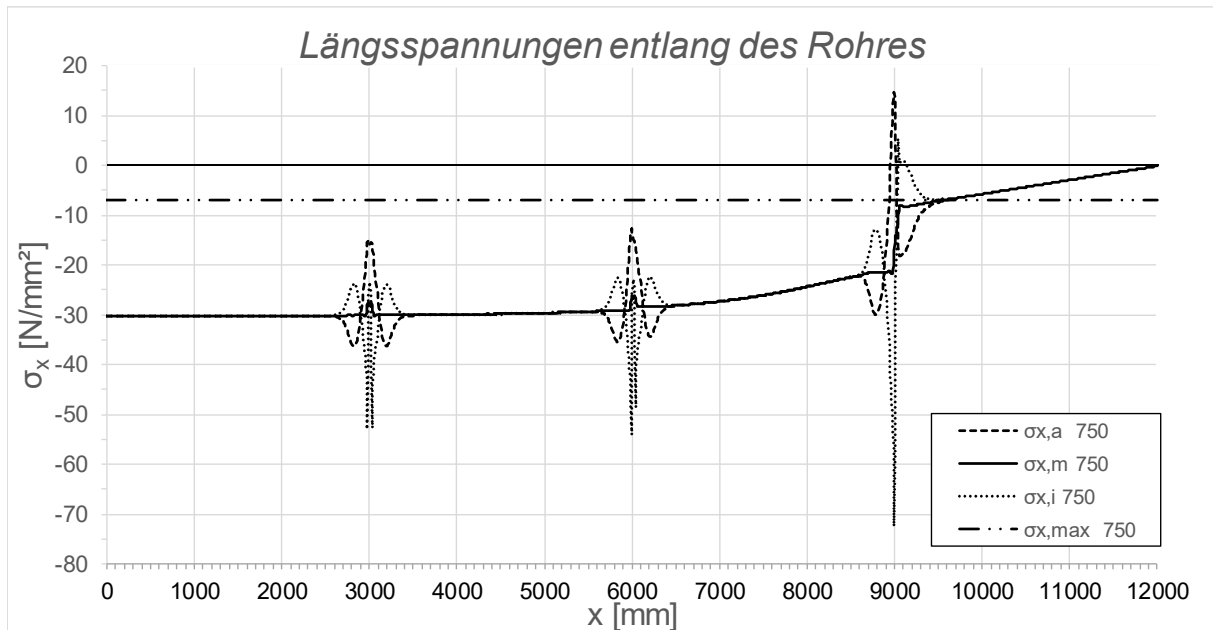


Abbildung A.215: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

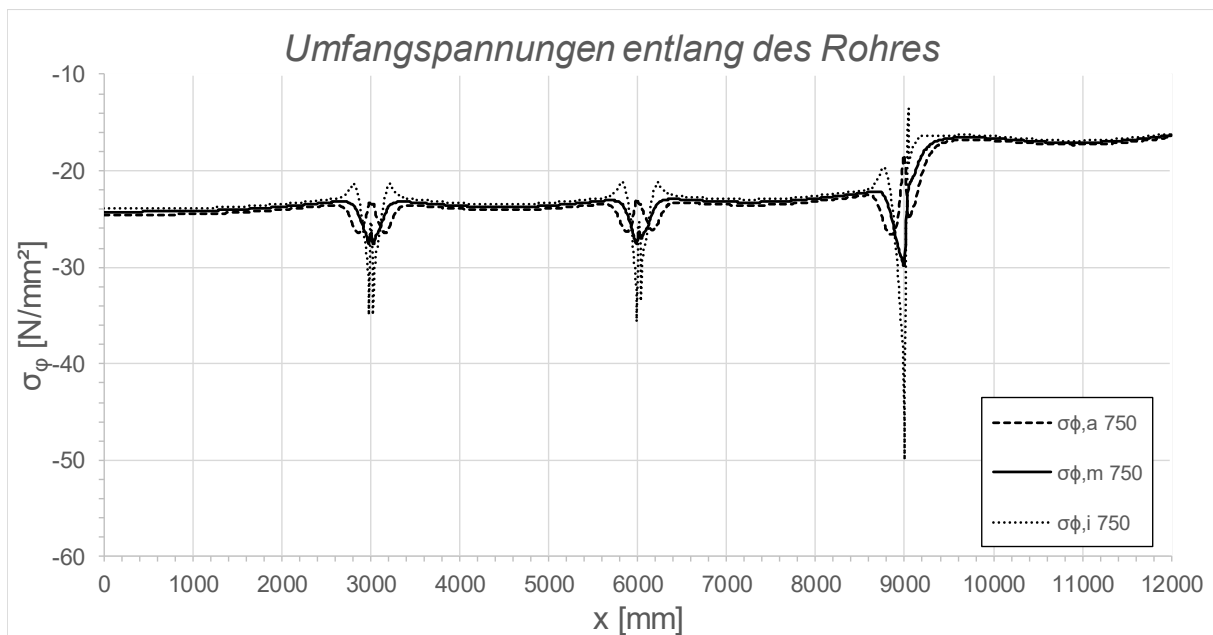


Abbildung A.216: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres, Fall 1; LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

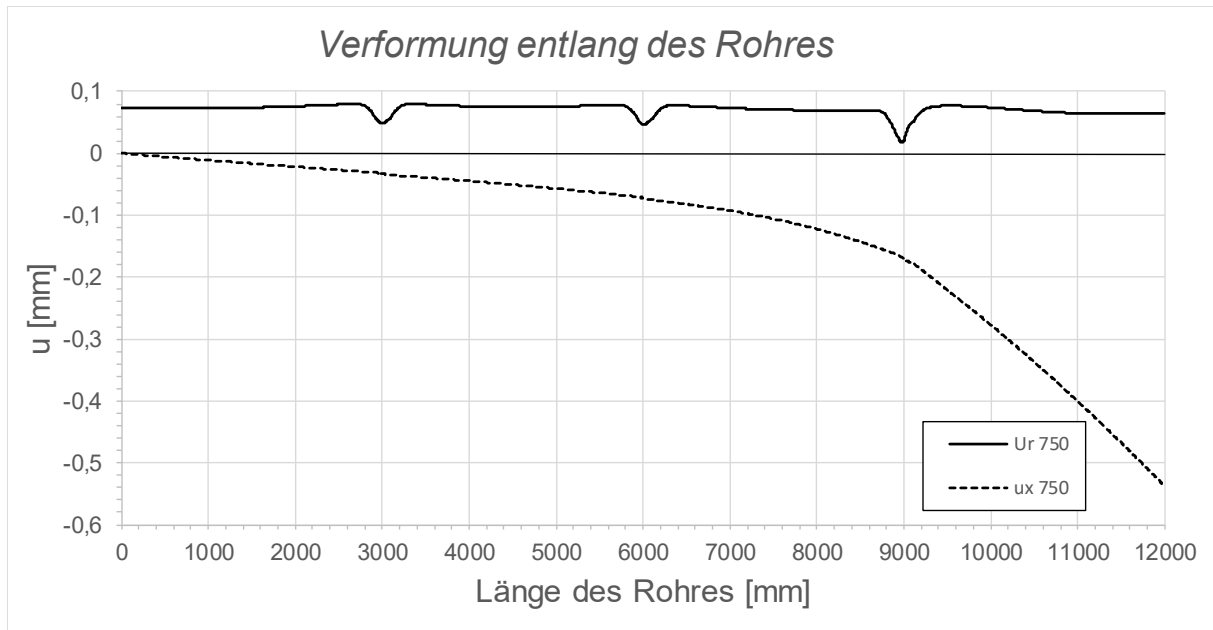


Abbildung A.217: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

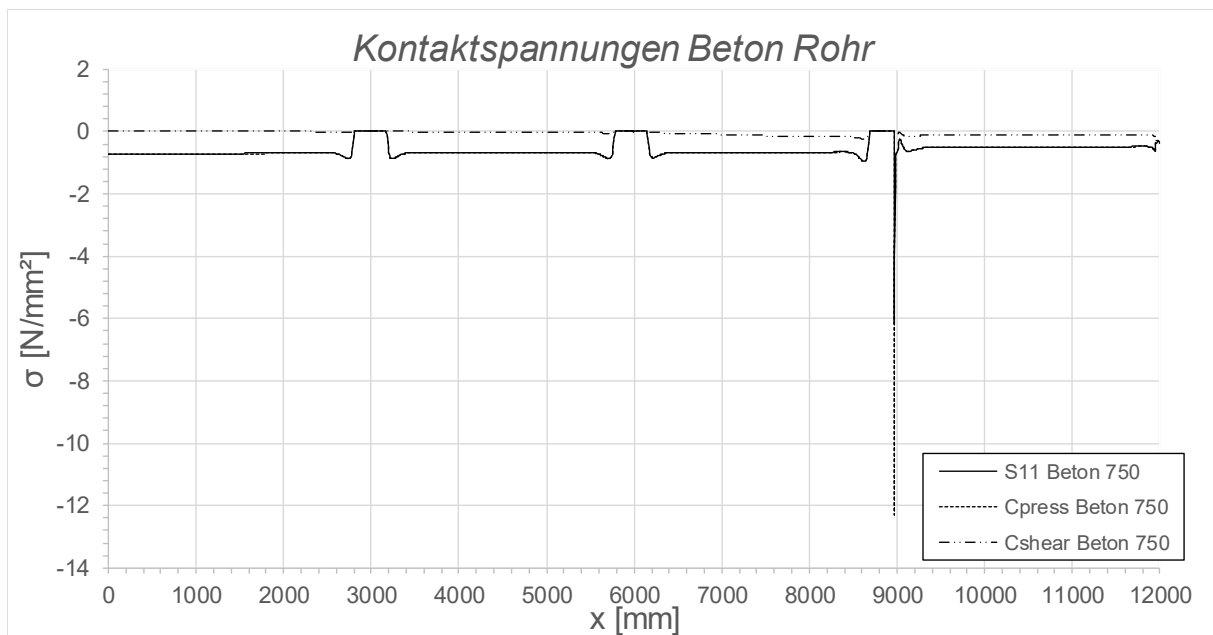


Abbildung A.218: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

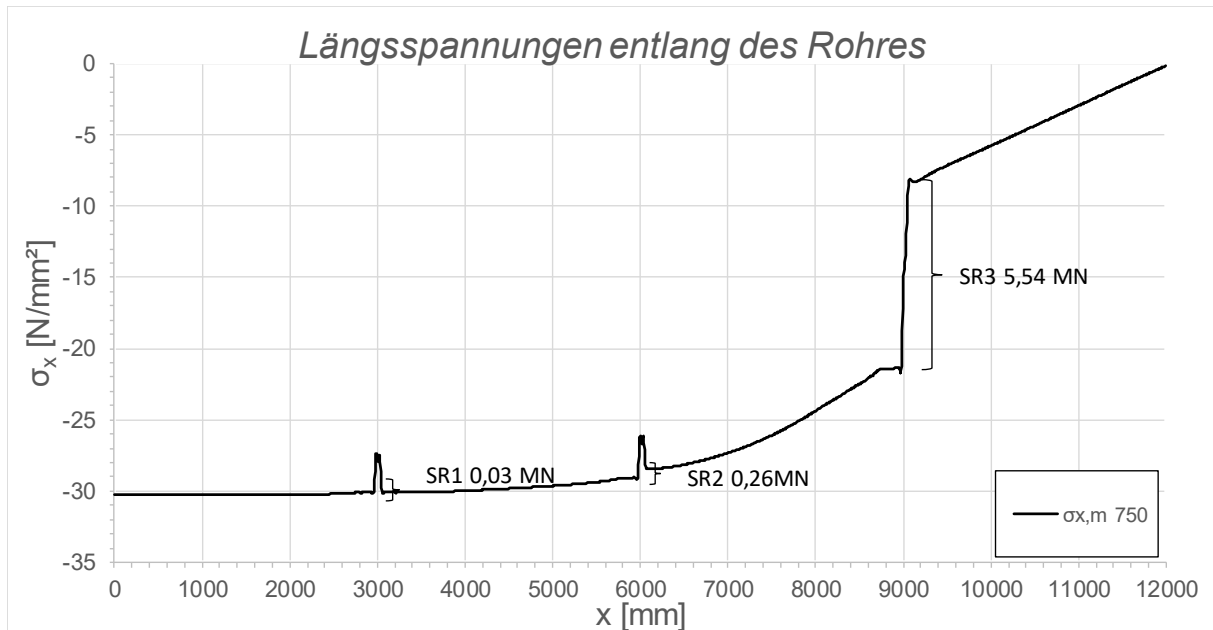


Abbildung A.219: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

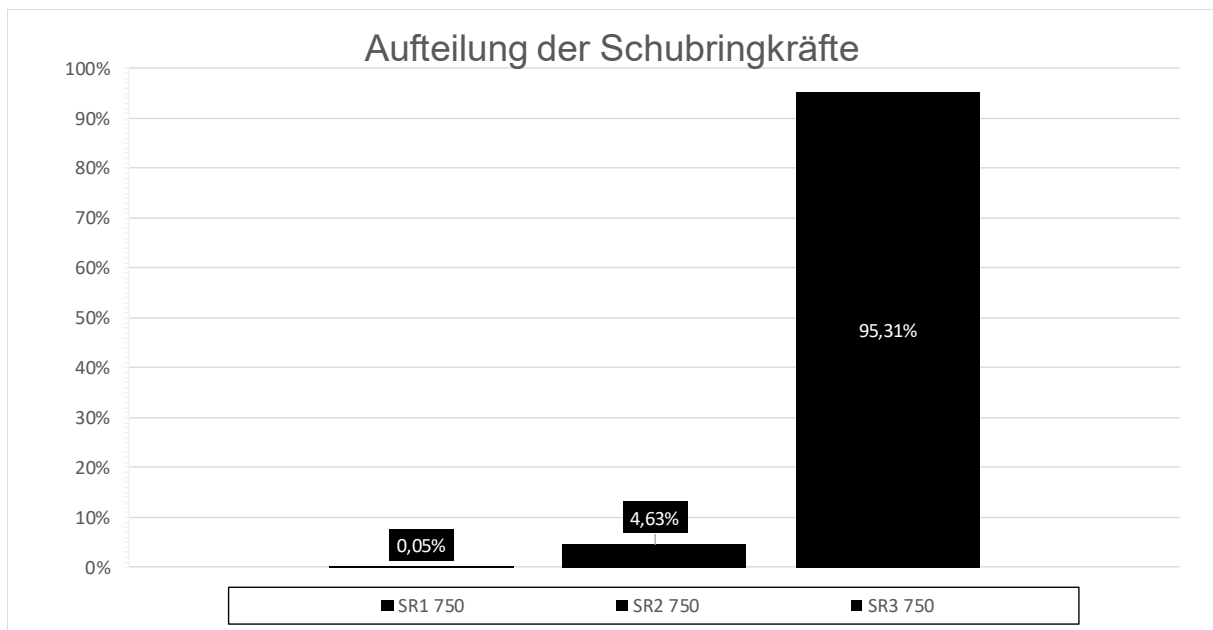


Abbildung A.220: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

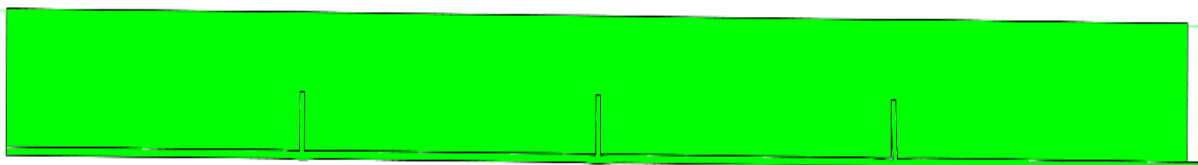


Abbildung A.221: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

A.4.9 Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

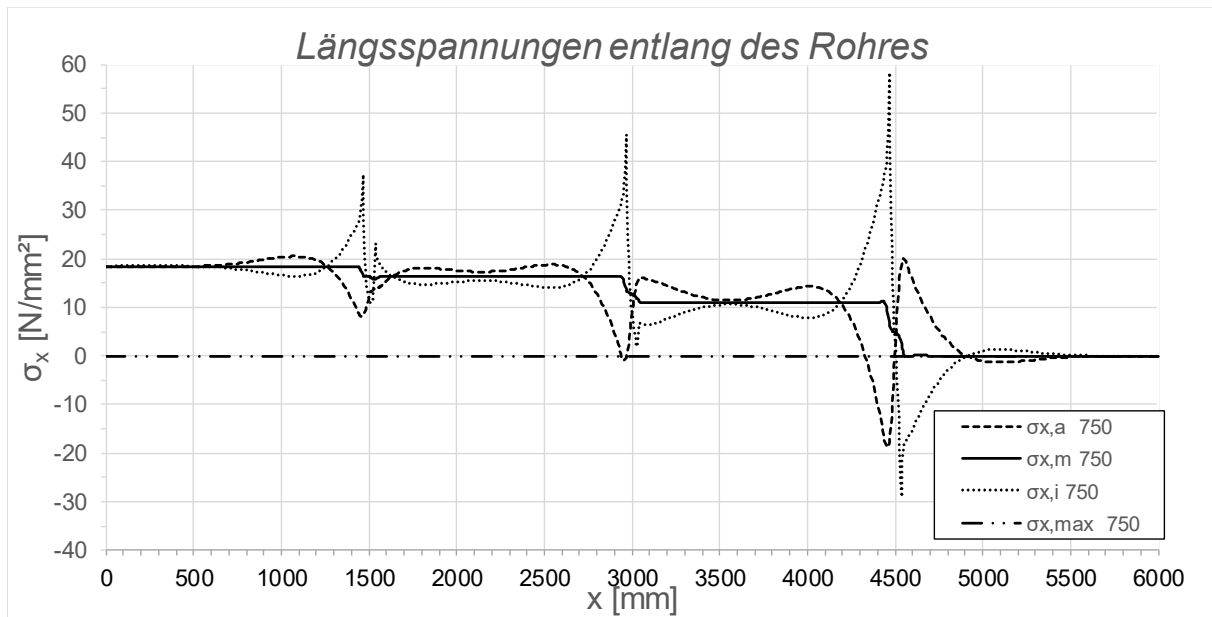


Abbildung A.222: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

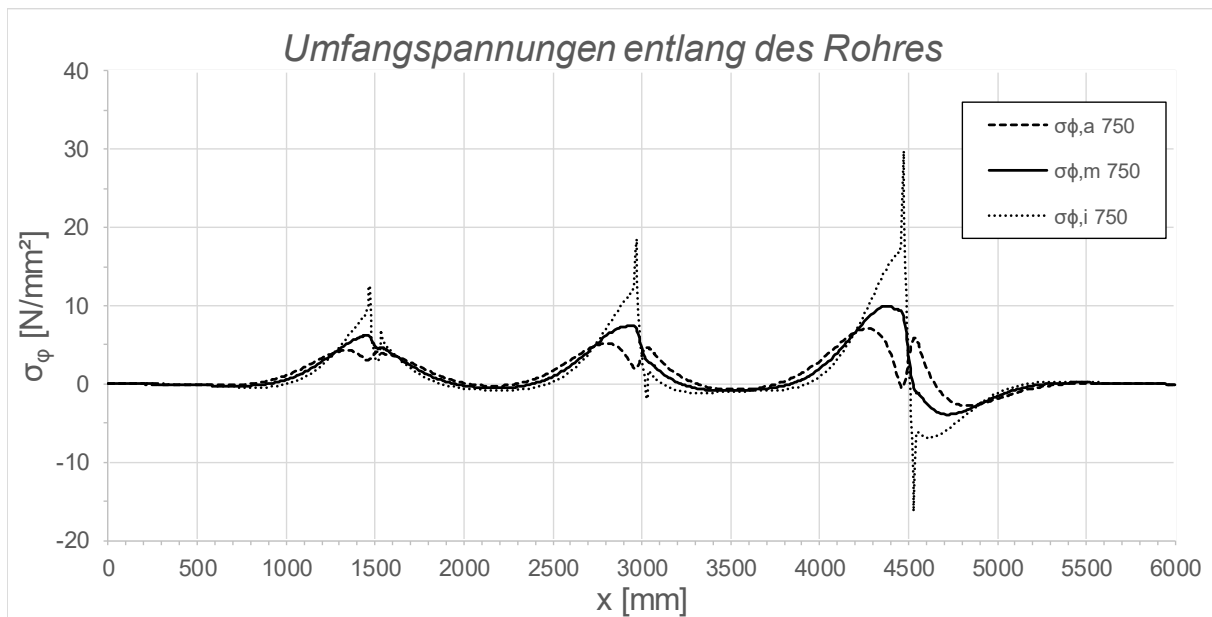


Abbildung A.223: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

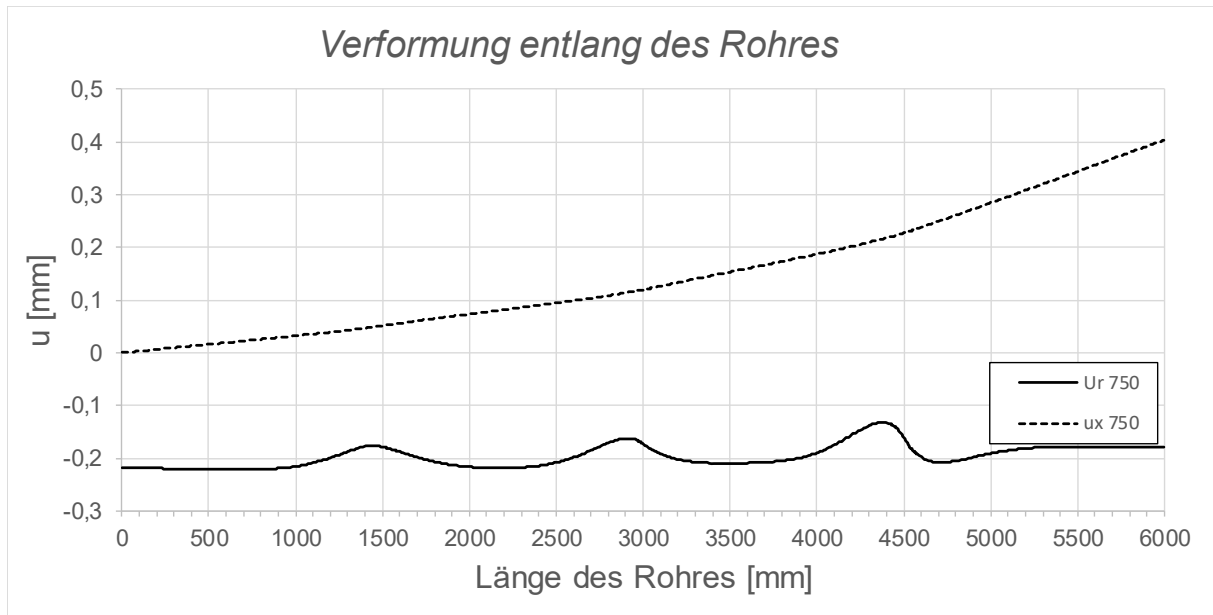


Abbildung A.224: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

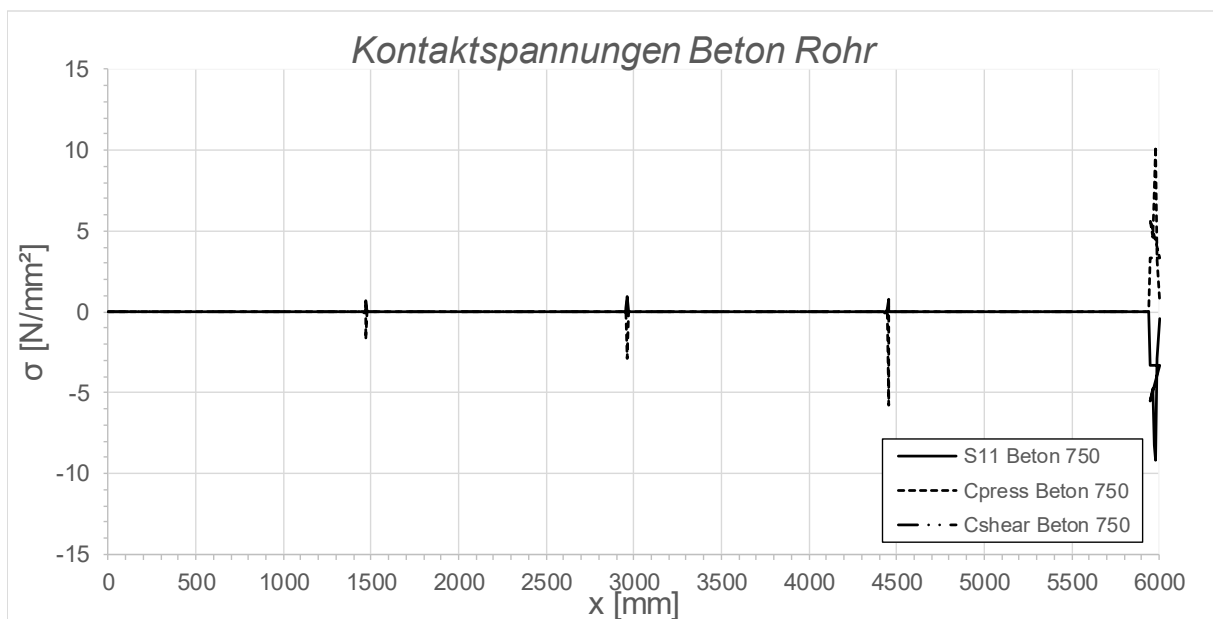


Abbildung A.225: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

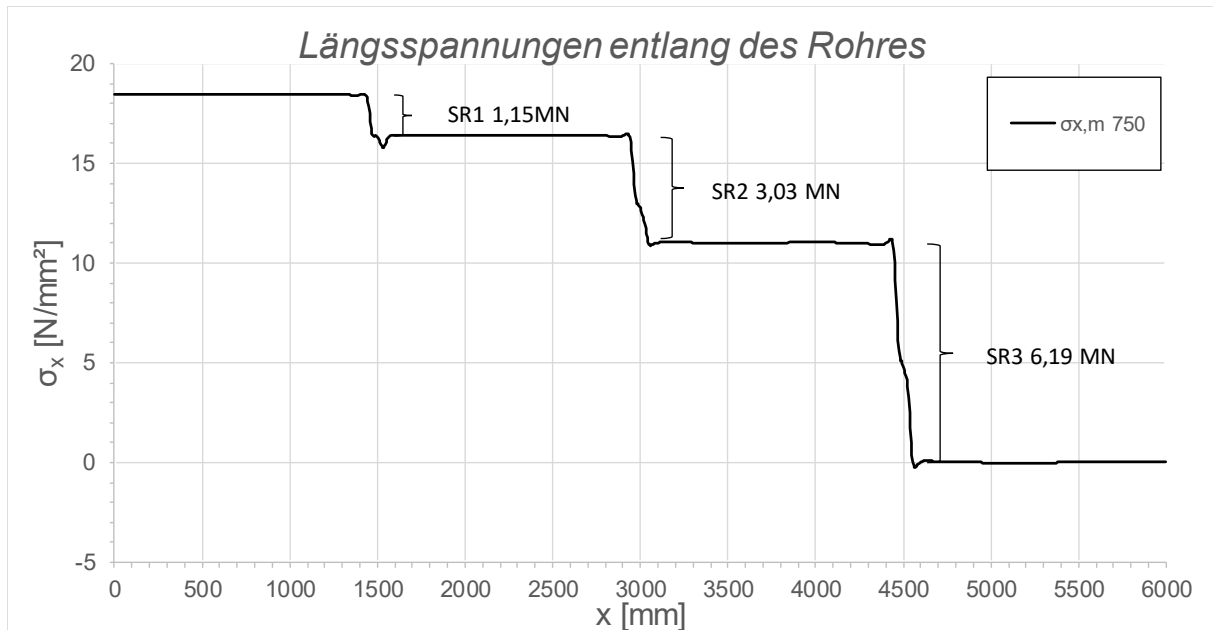


Abbildung A.226: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

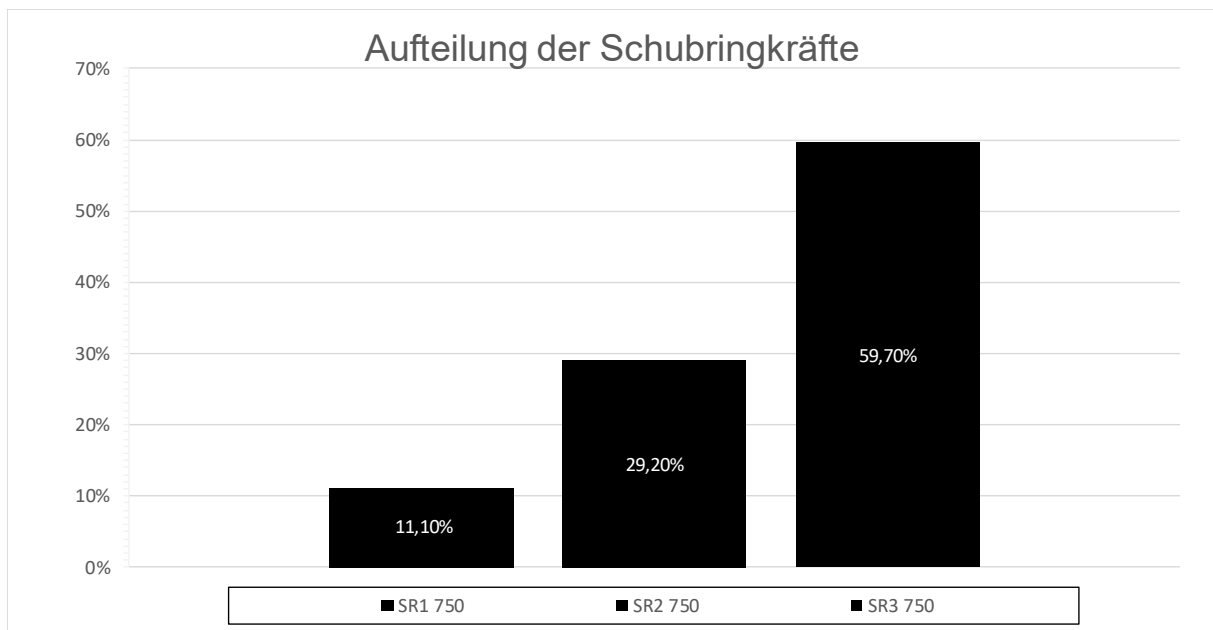


Abbildung A.227: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

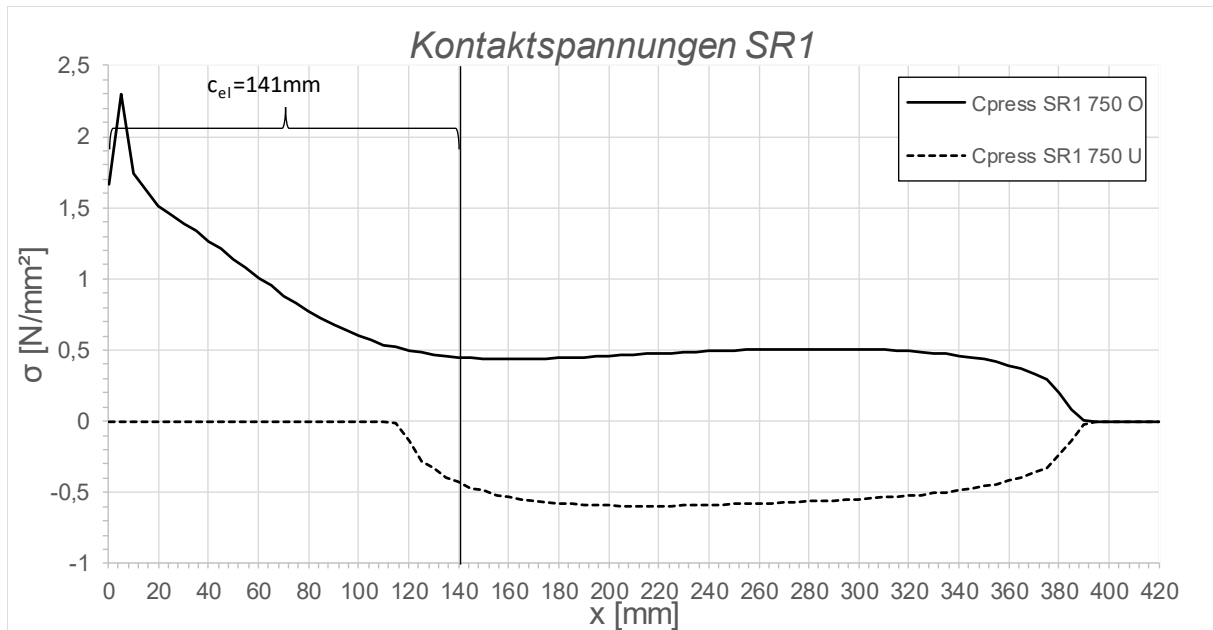


Abbildung A.228: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

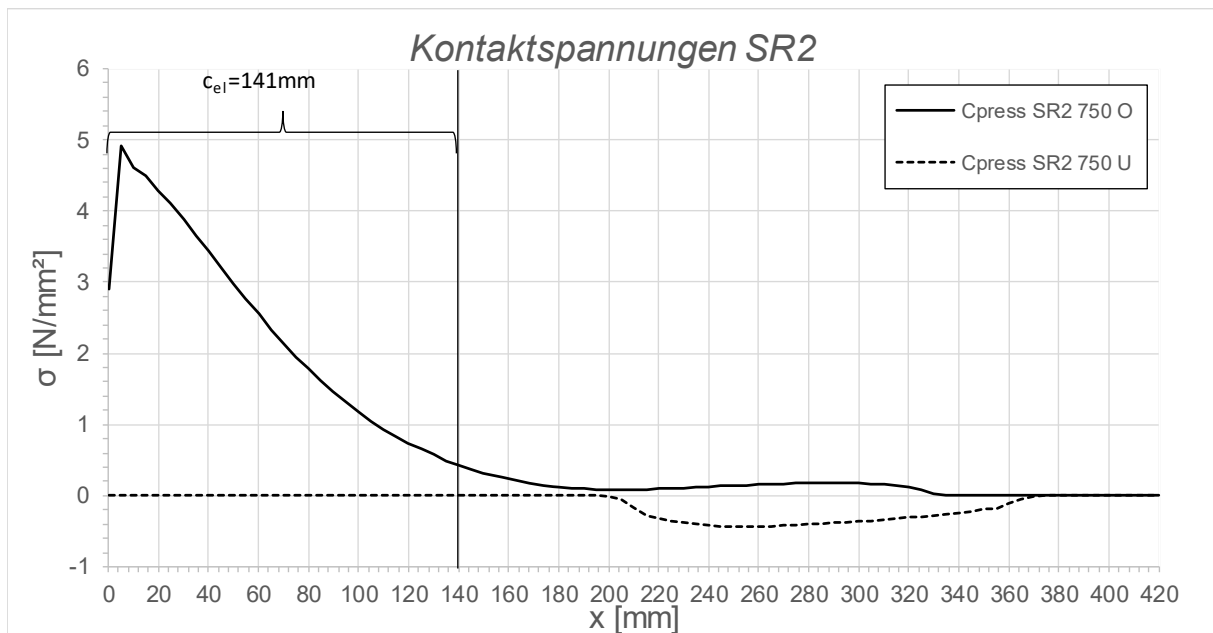


Abbildung A.229: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

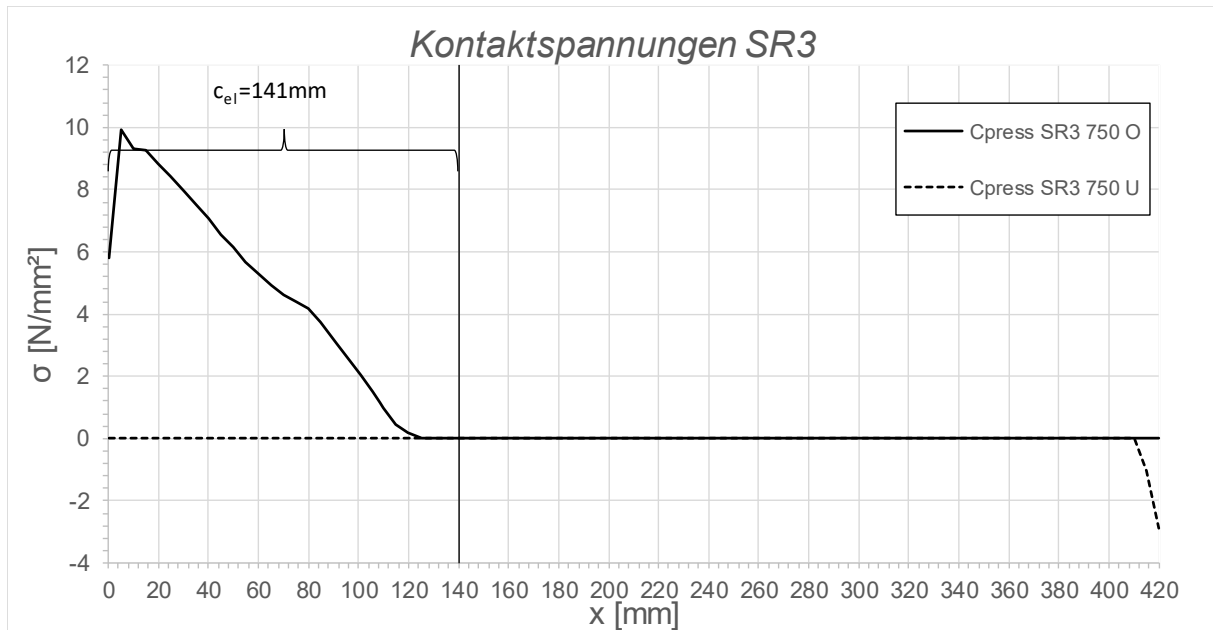


Abbildung A.230: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

A.4.10 Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

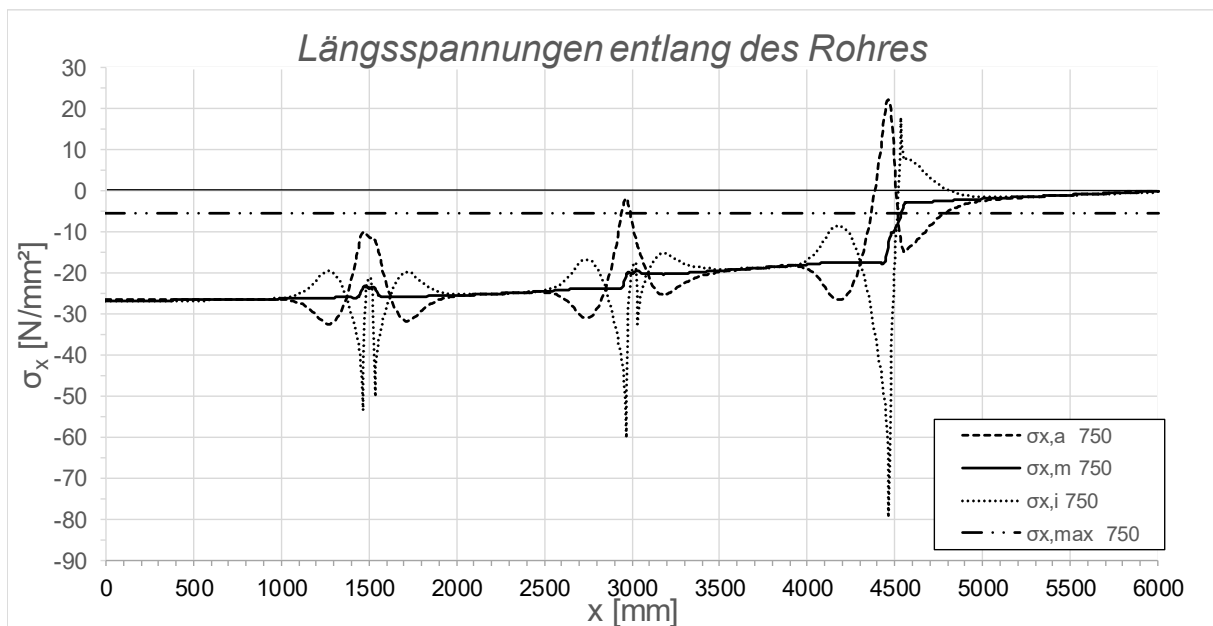


Abbildung A.231: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$,
 $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

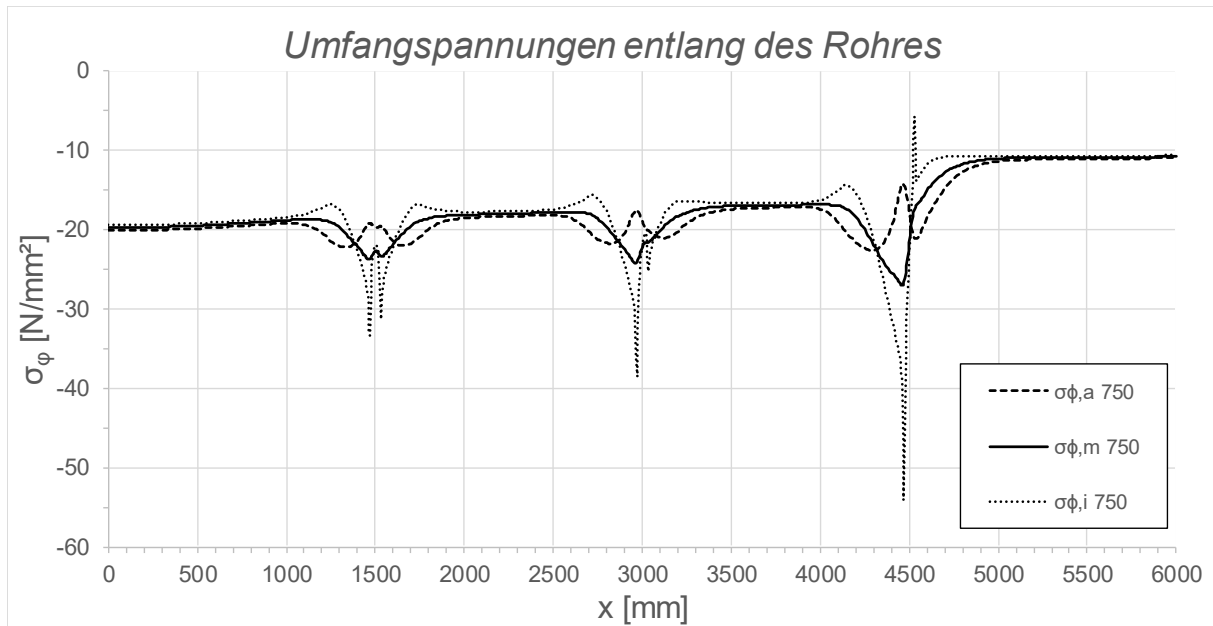


Abbildung A.232: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

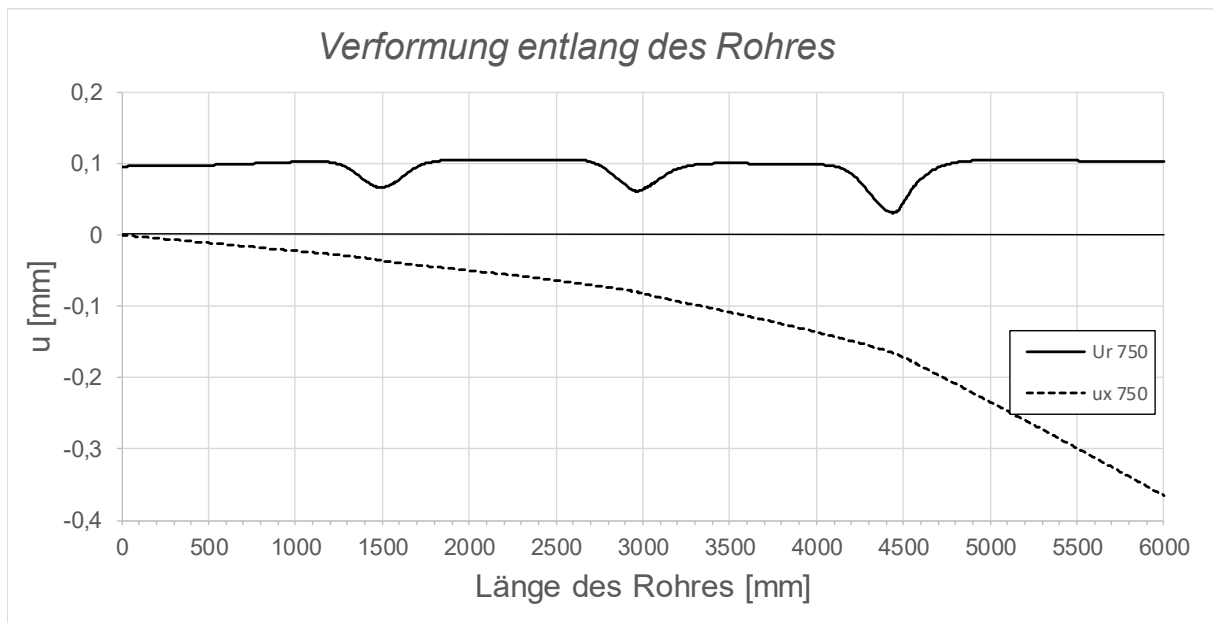


Abbildung A.233: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

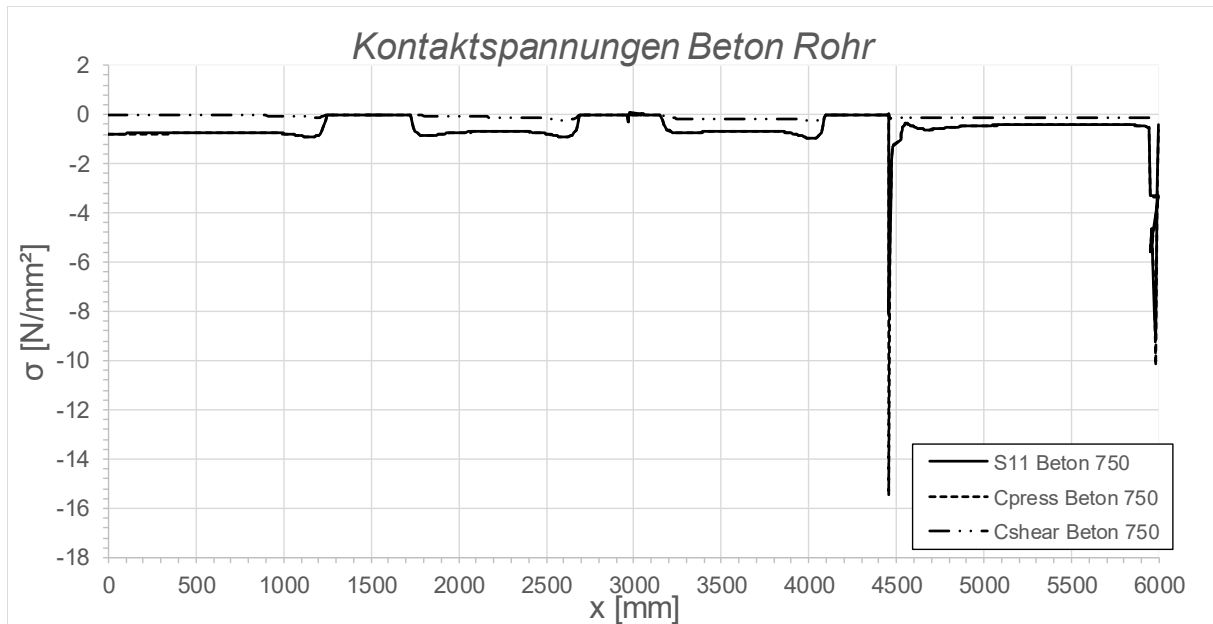


Abbildung A.234: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

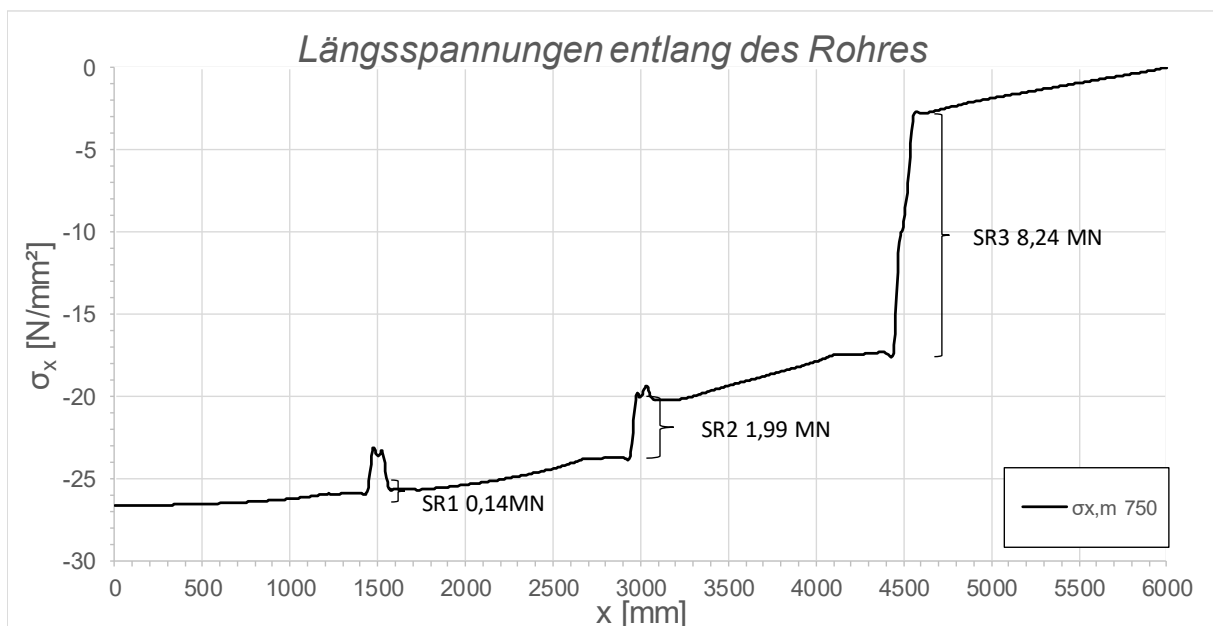


Abbildung A.235: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

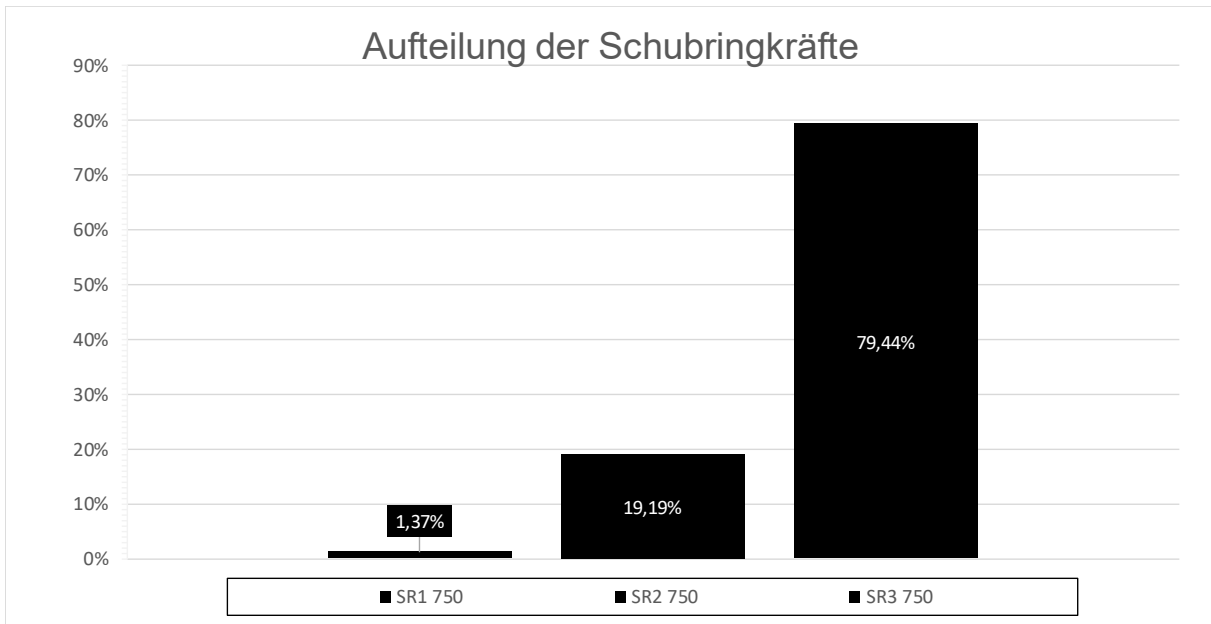


Abbildung A.236: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

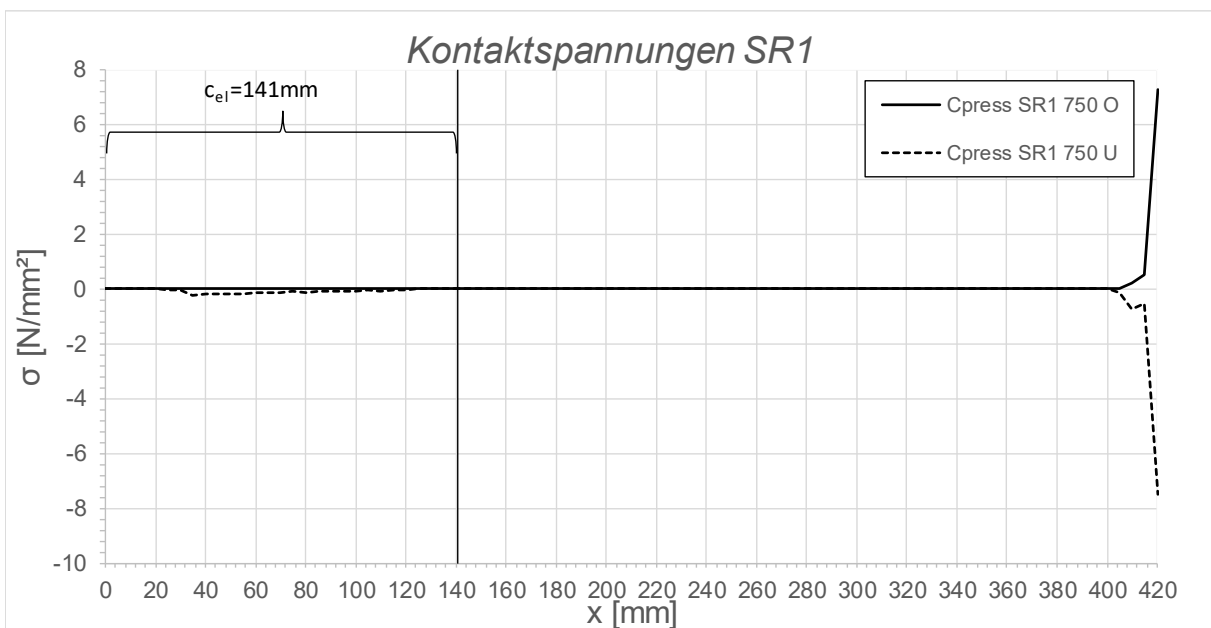


Abbildung A.237: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

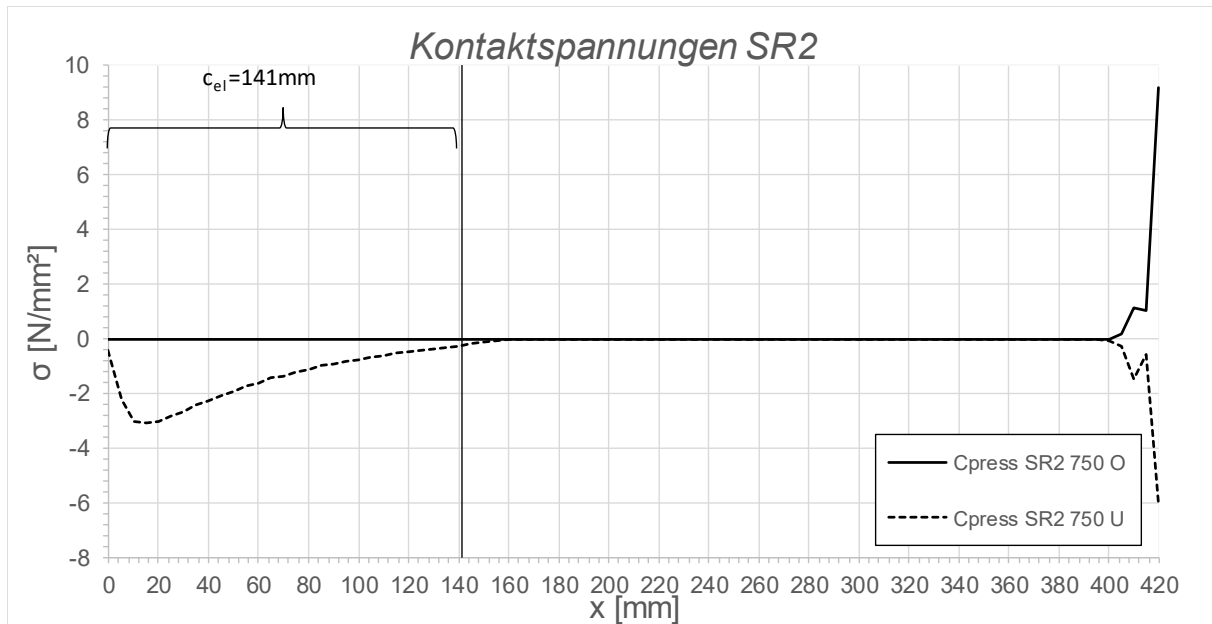


Abbildung A.238: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

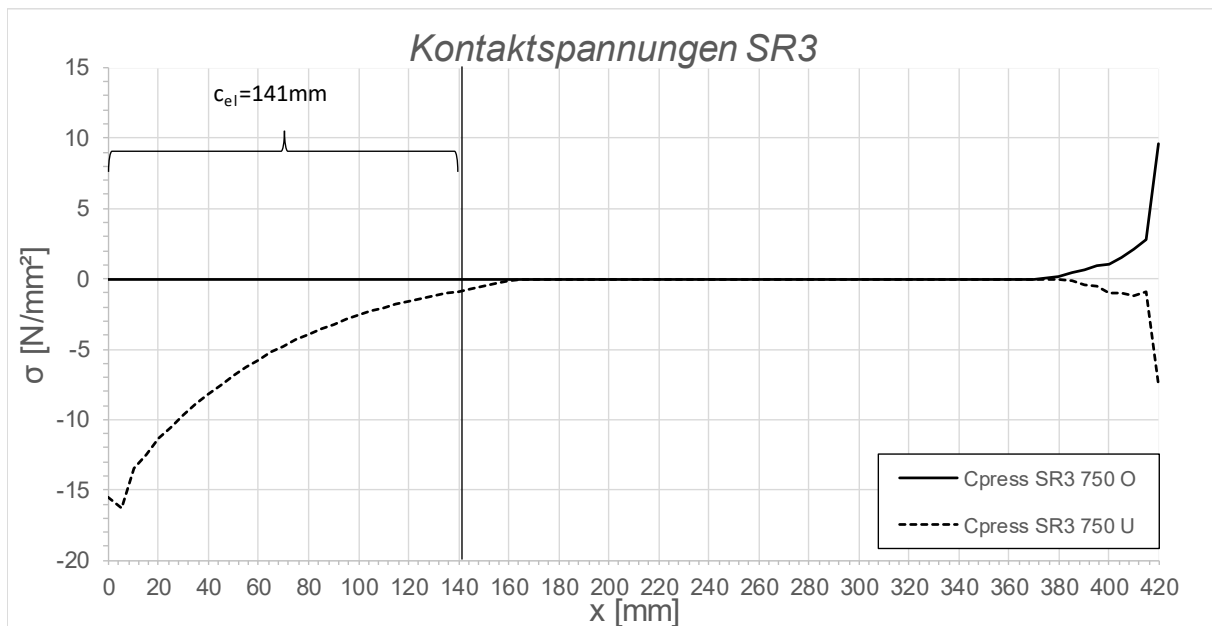


Abbildung A.239: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

A.4.11 Fall 1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

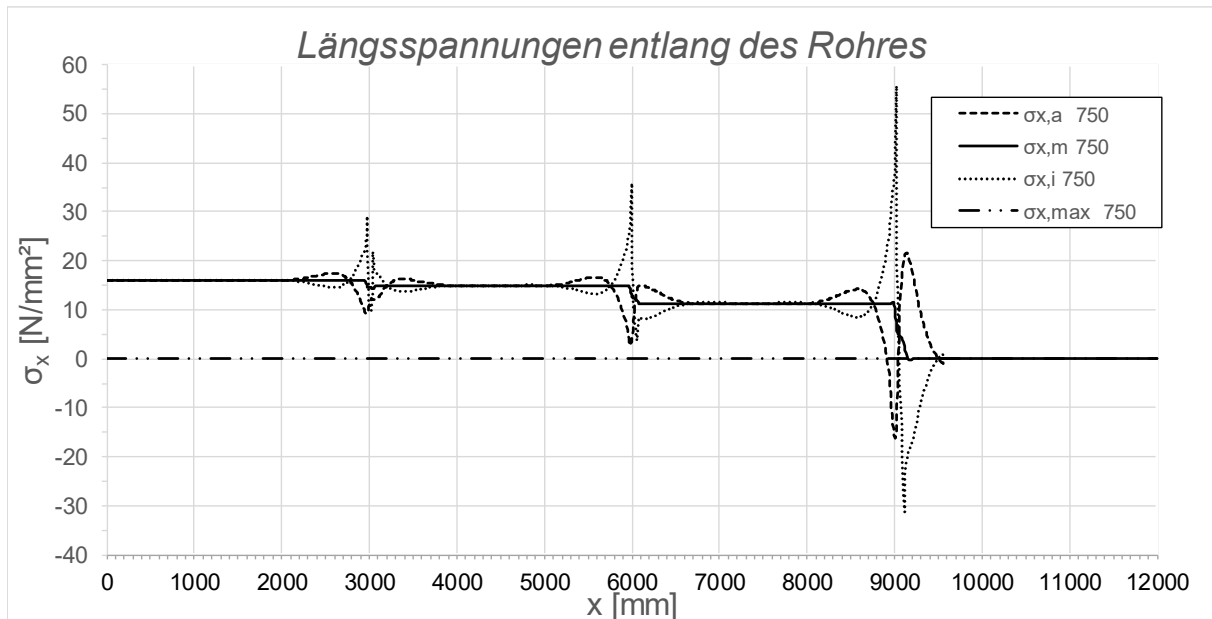


Abbildung A.240: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

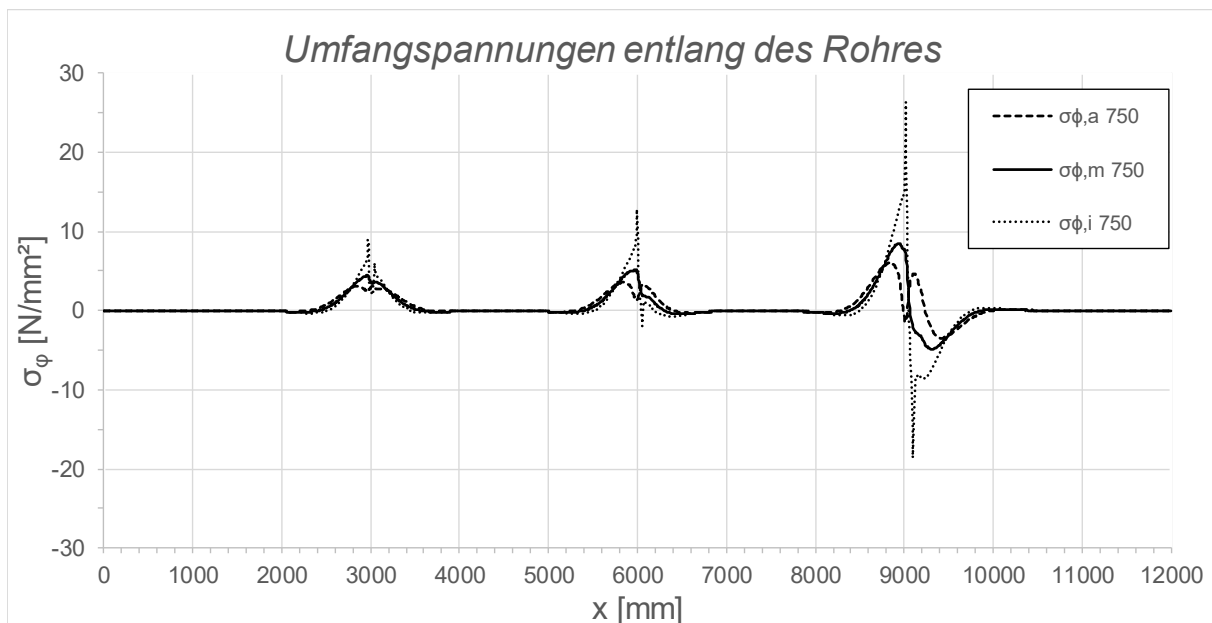


Abbildung A.241: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

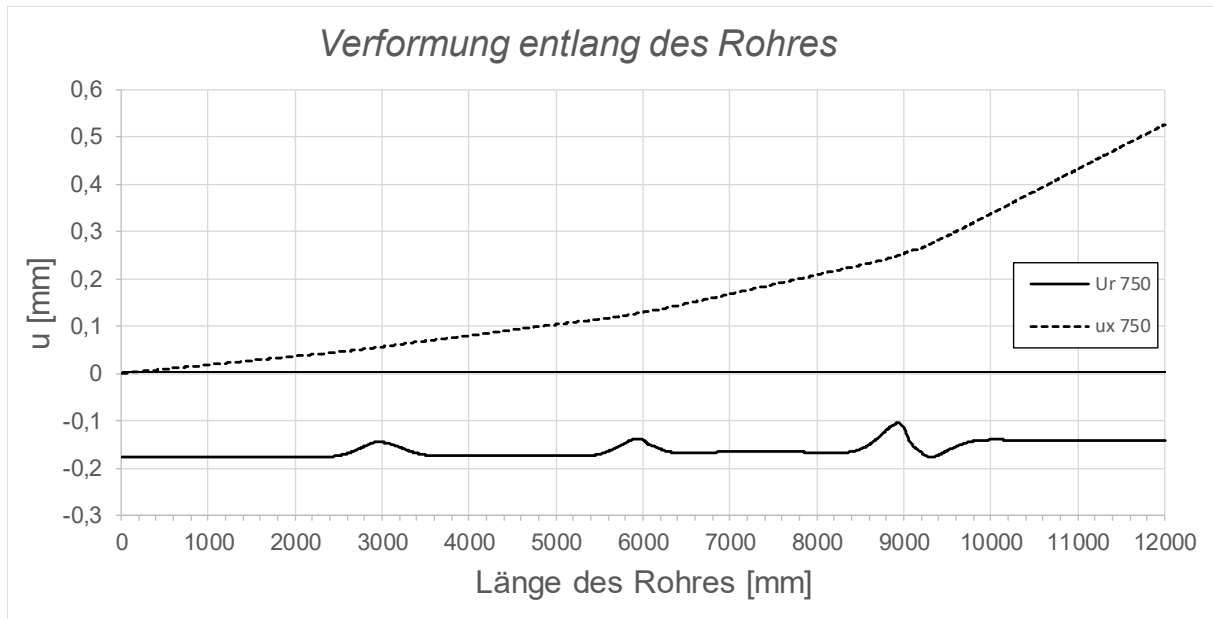


Abbildung A.242: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

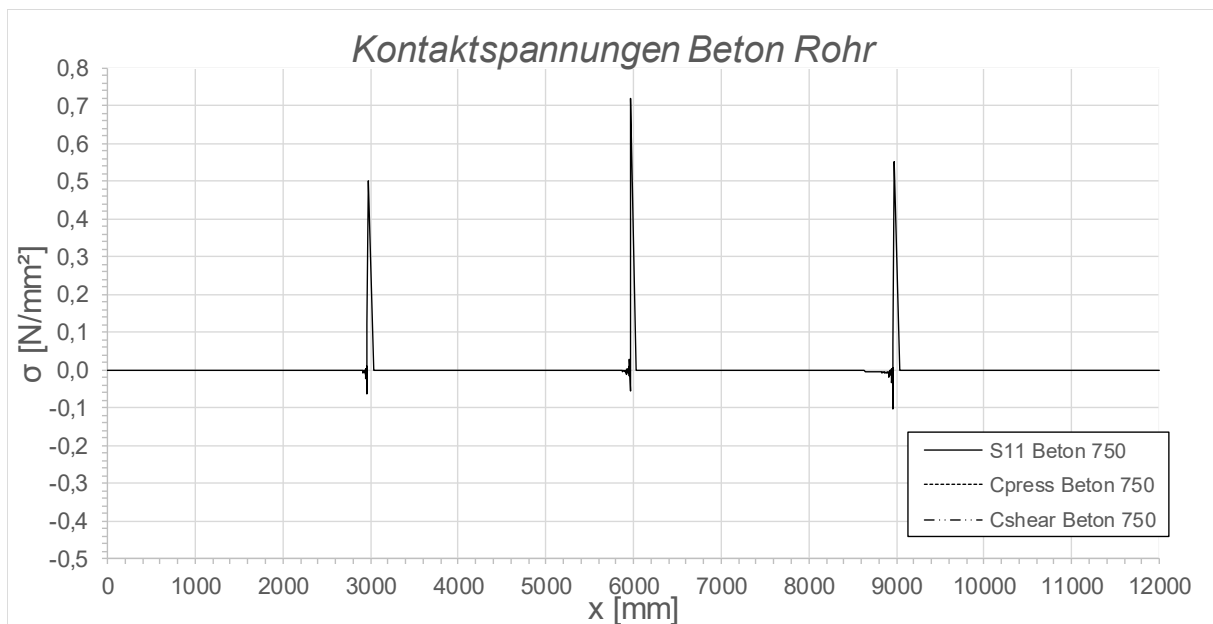


Abbildung A.243: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

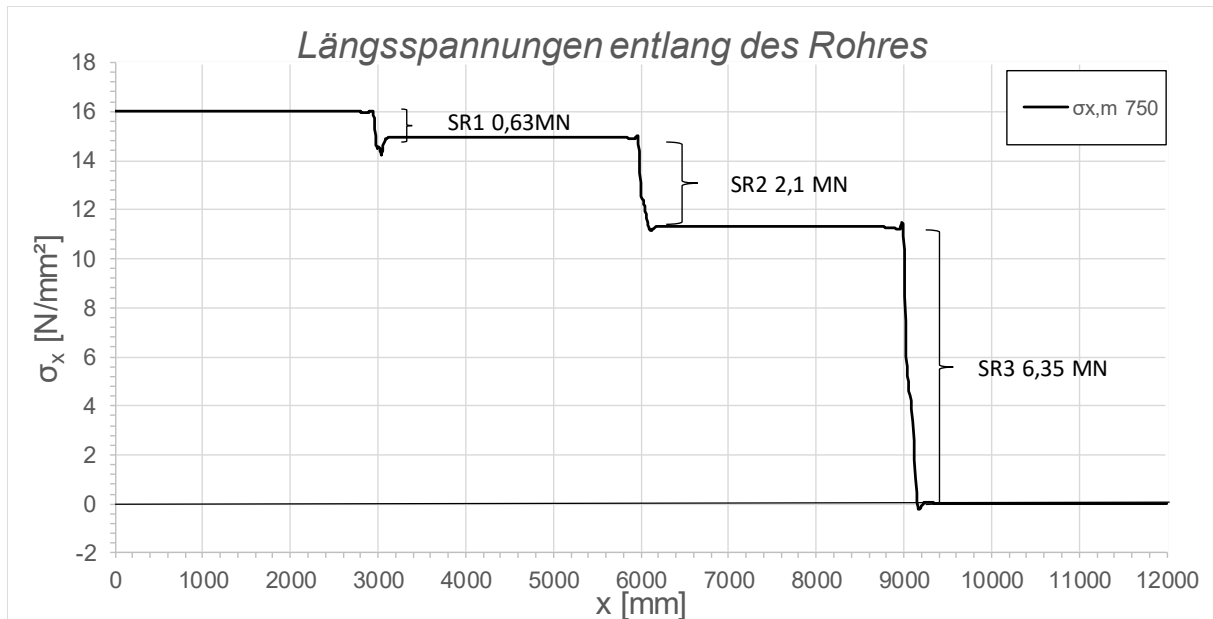


Abbildung A.244: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

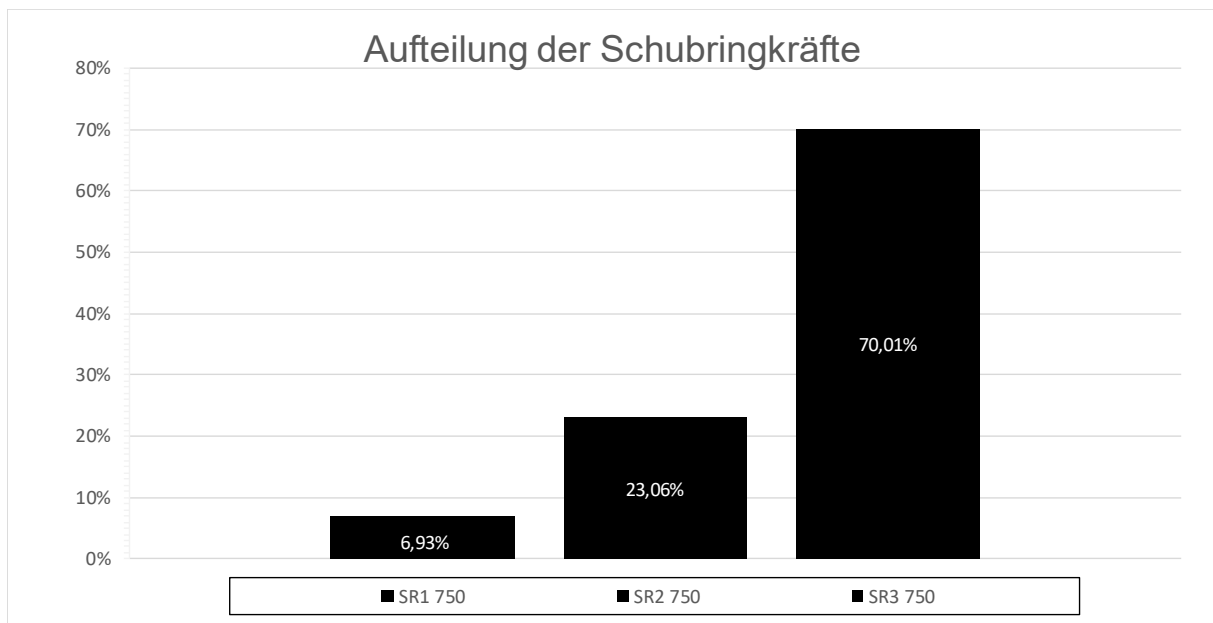


Abbildung A.245: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

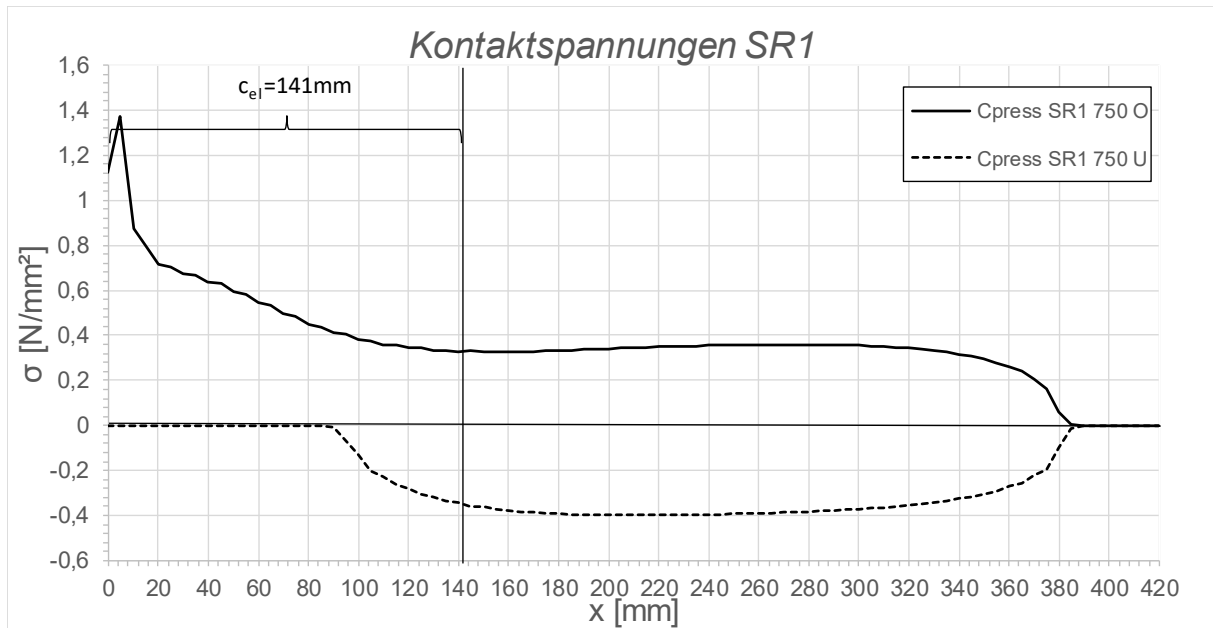


Abbildung A.246: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

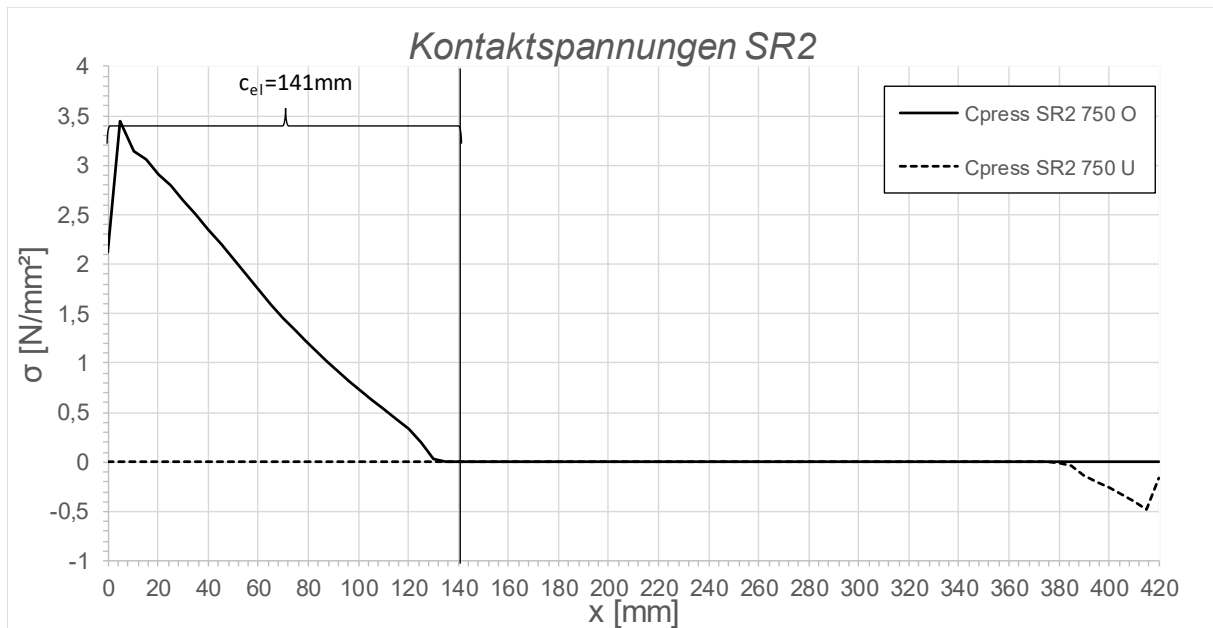


Abbildung A.247: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

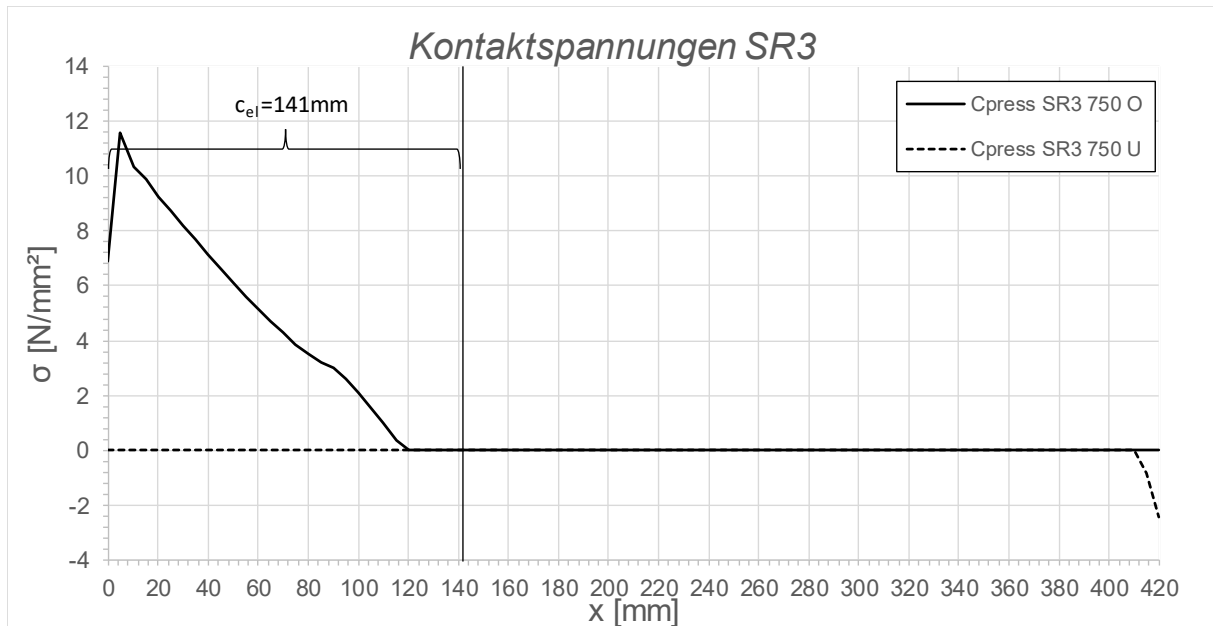


Abbildung A.248: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; Fall 1, LF2 - 10°
 C , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

A.4.12 Fall 1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

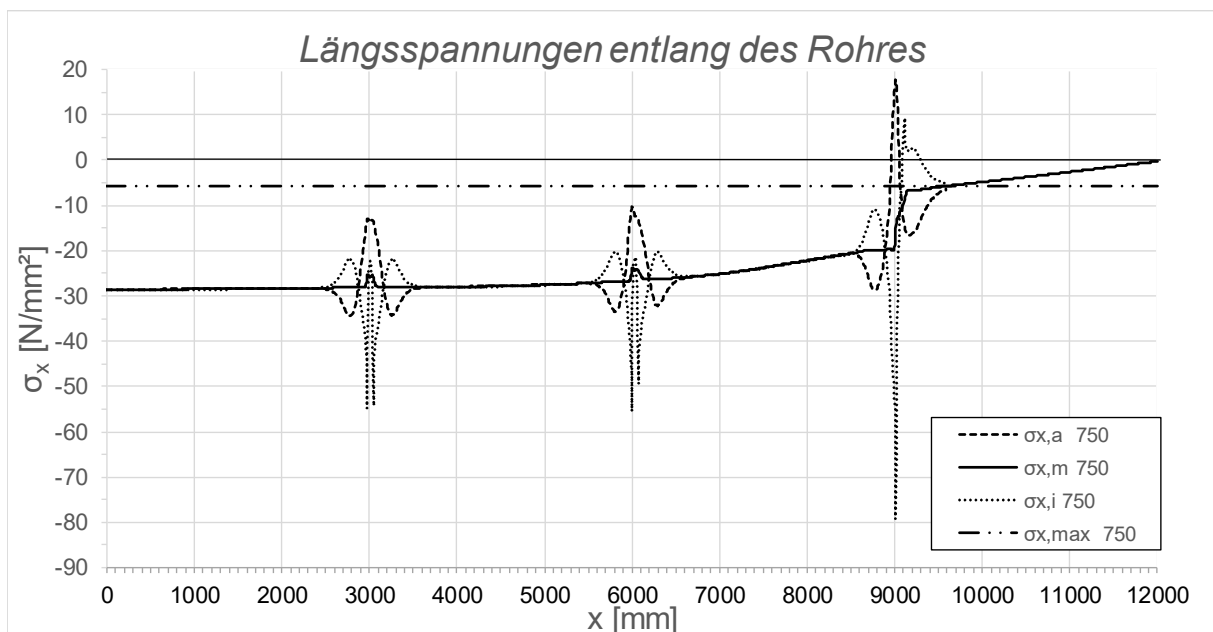


Abbildung A.249: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

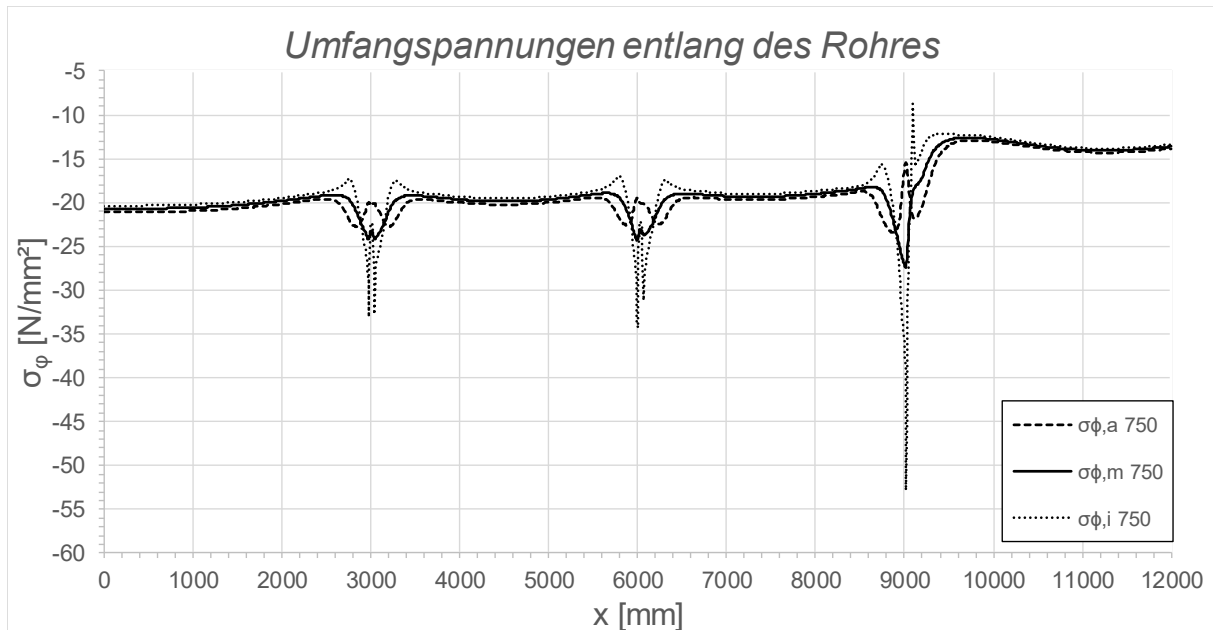


Abbildung A.250: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

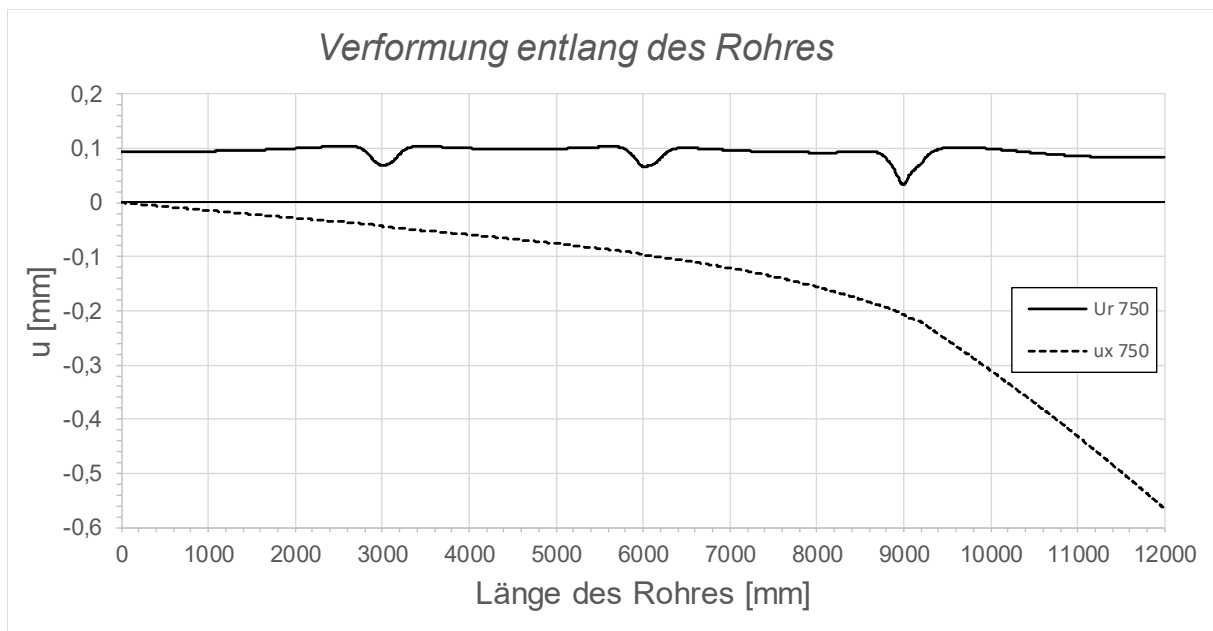


Abbildung A.251: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

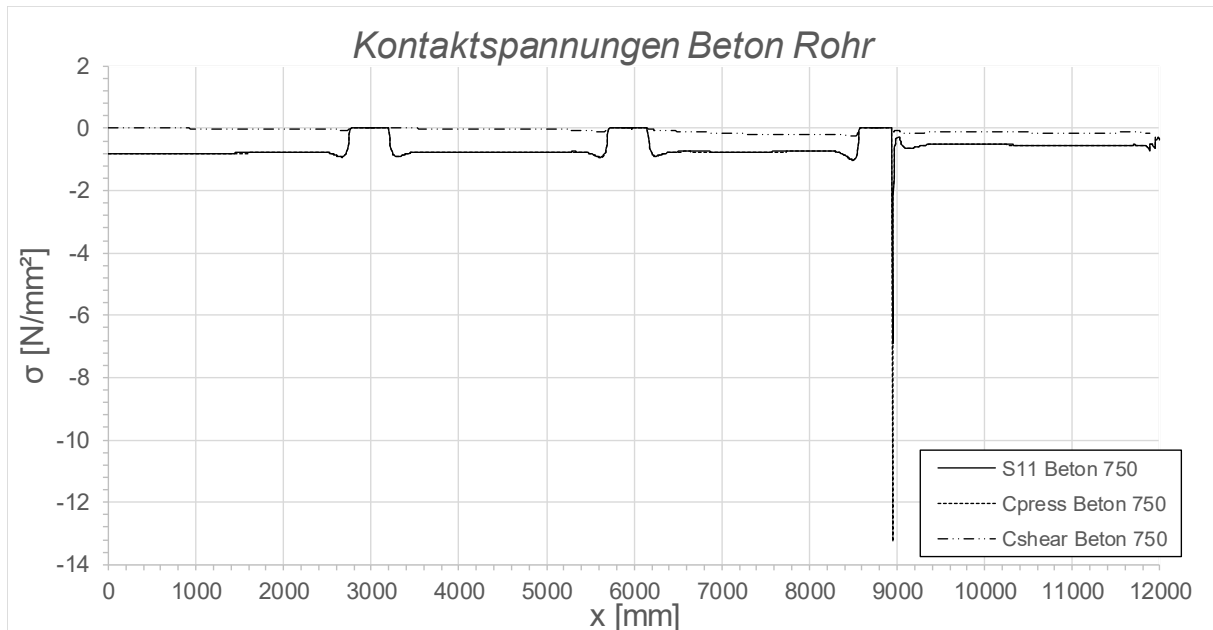


Abbildung A.252: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

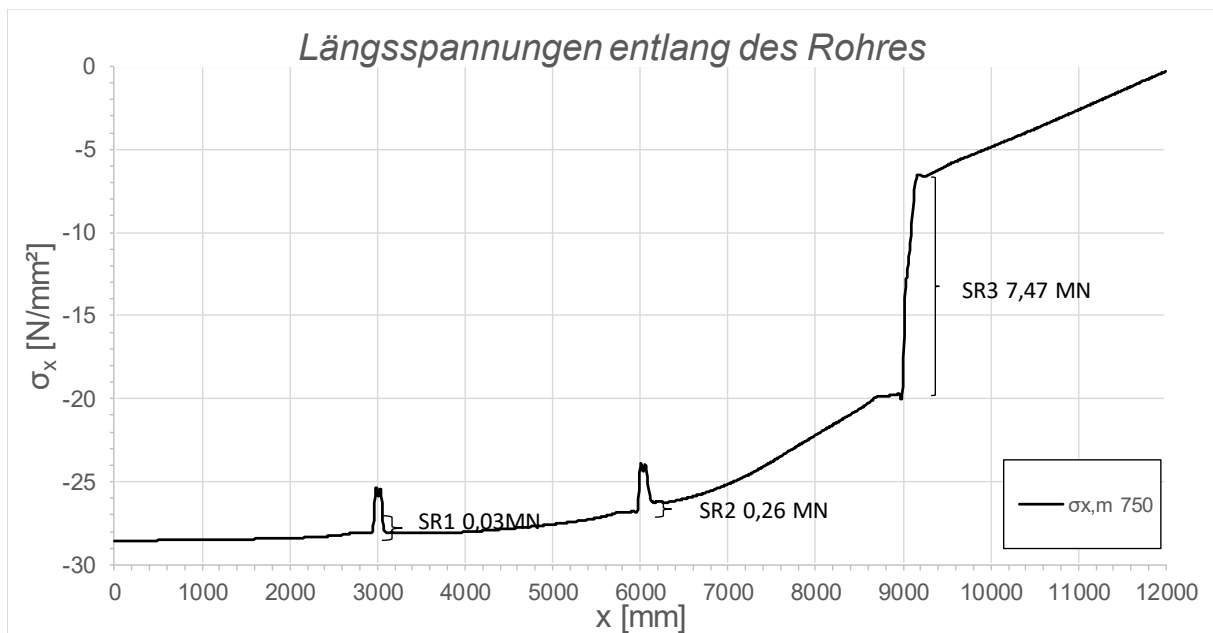


Abbildung A.253: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

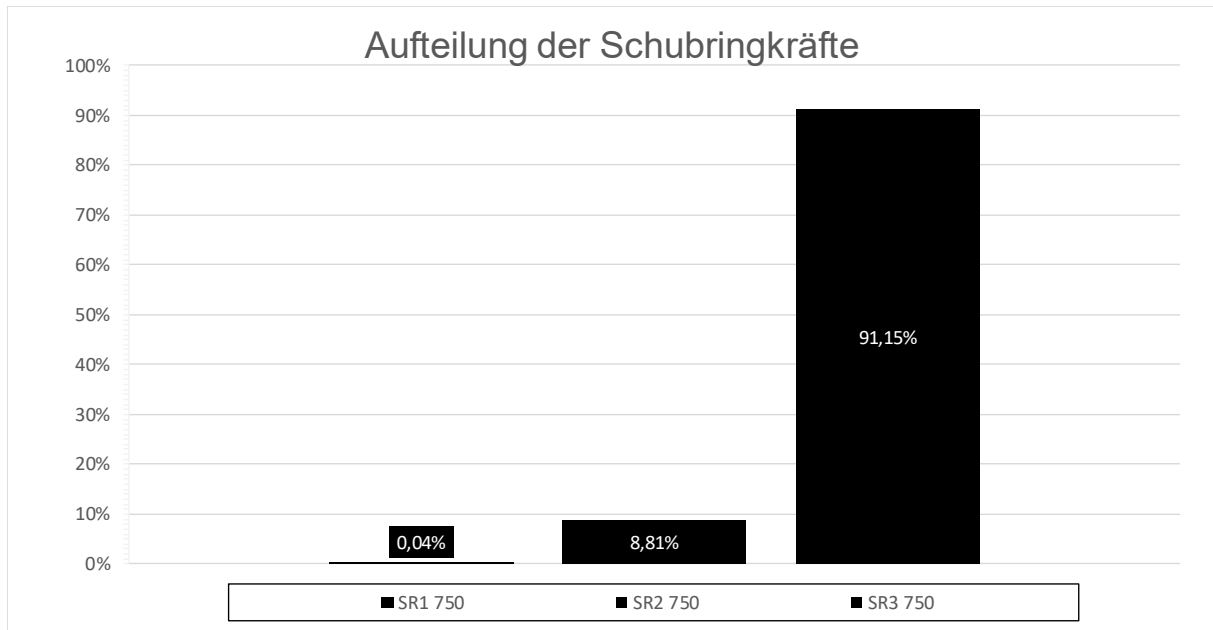


Abbildung A.254: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; Fall 1, LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}$

B Anhang B: SF1 Innendruck und Temperatur

B.1 Statisches System SF1

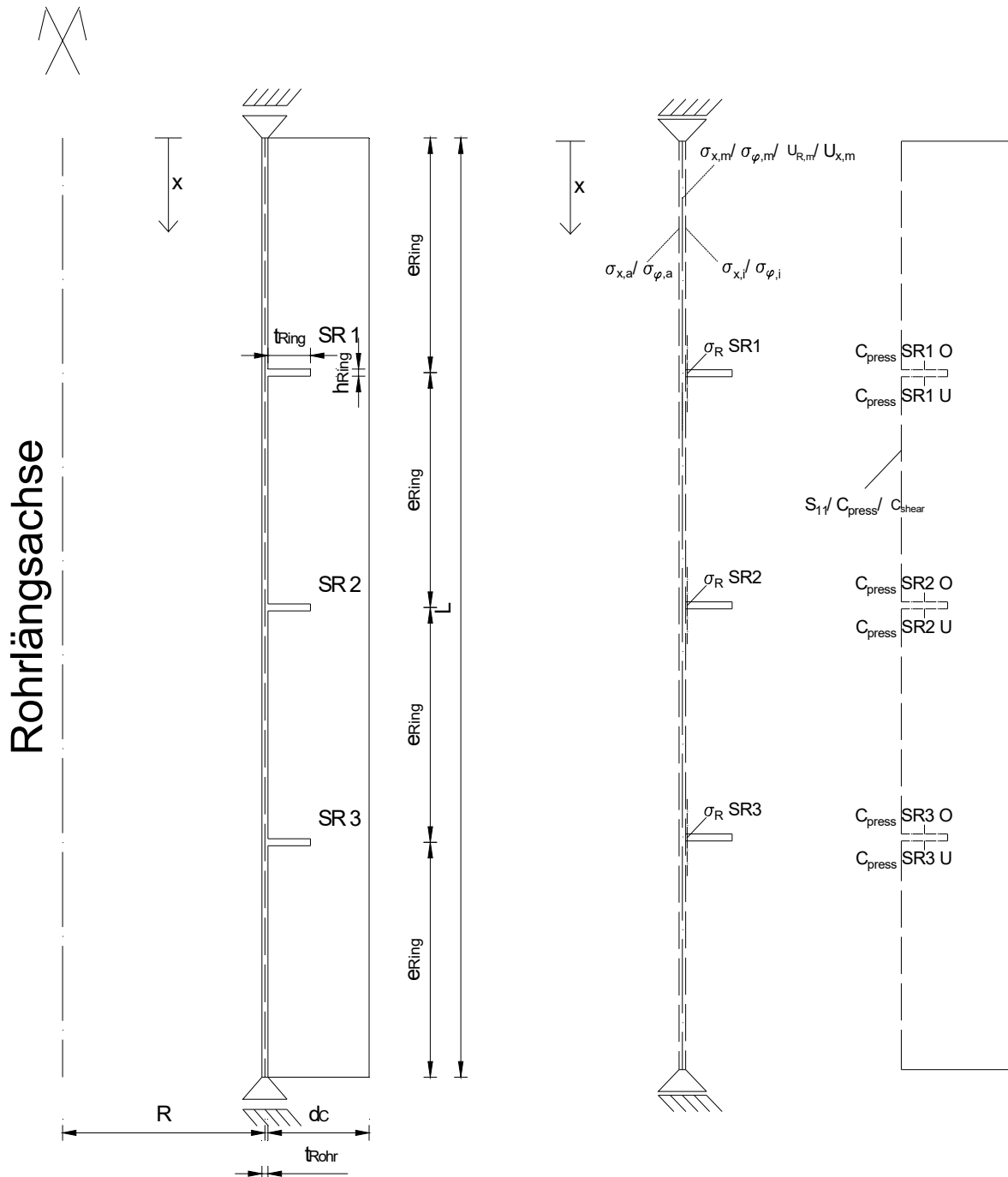


Abbildung B.1: Darstellung des statischen Systems sowie der Schnittführungen mit den zugehörigen Kenngrößen zur Ergebnisdarstellung für den SF1

Abbildung B.1 zeigt das Statische System des SF1. Für dieses System des radial gebetteten Rohres gibt es eine analytische Beziehung für die Umfangsspannungen zufolge Innendruck. Anhand dieser Beziehung wurden die Rohrwanddicken unter der Berücksichtigung der Bedingung $\sigma_u \leq 0,6 \cdot f_y$ abgeleitet.

Untersuchte Lastfälle:

- LF1: Innendruck p_i alleine
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$
- LF2: -10° C ; Abkühlung im Stahlrohr und den Schubringen um -10° C
- LF2: $+10^\circ \text{ C}$; Erwärmung im Stahlrohr und den Schubringen um $+10^\circ \text{ C}$

B.2 System SF1 bei Lastfall Innendruck

B.2.1 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$

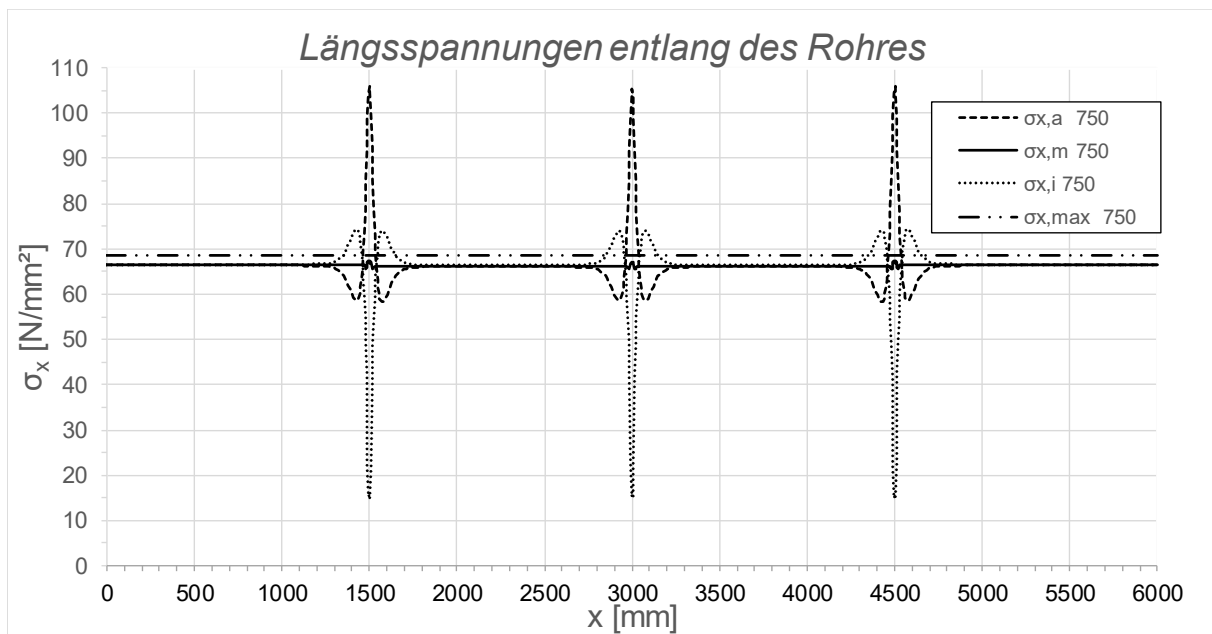


Abbildung B.2: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

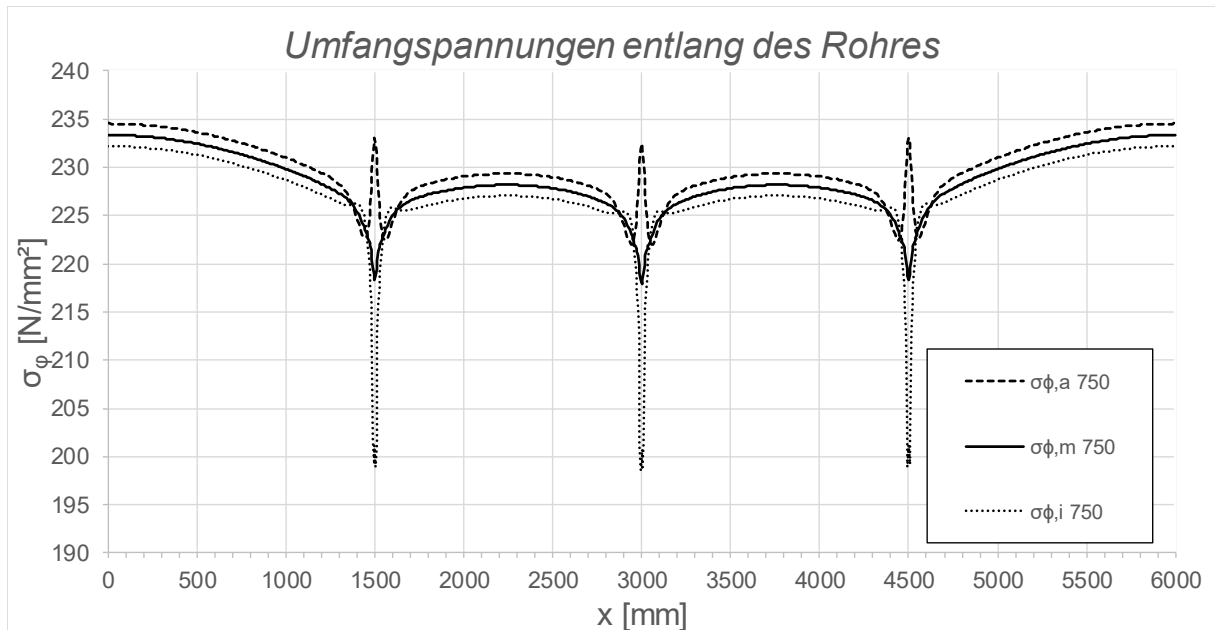


Abbildung B.3: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

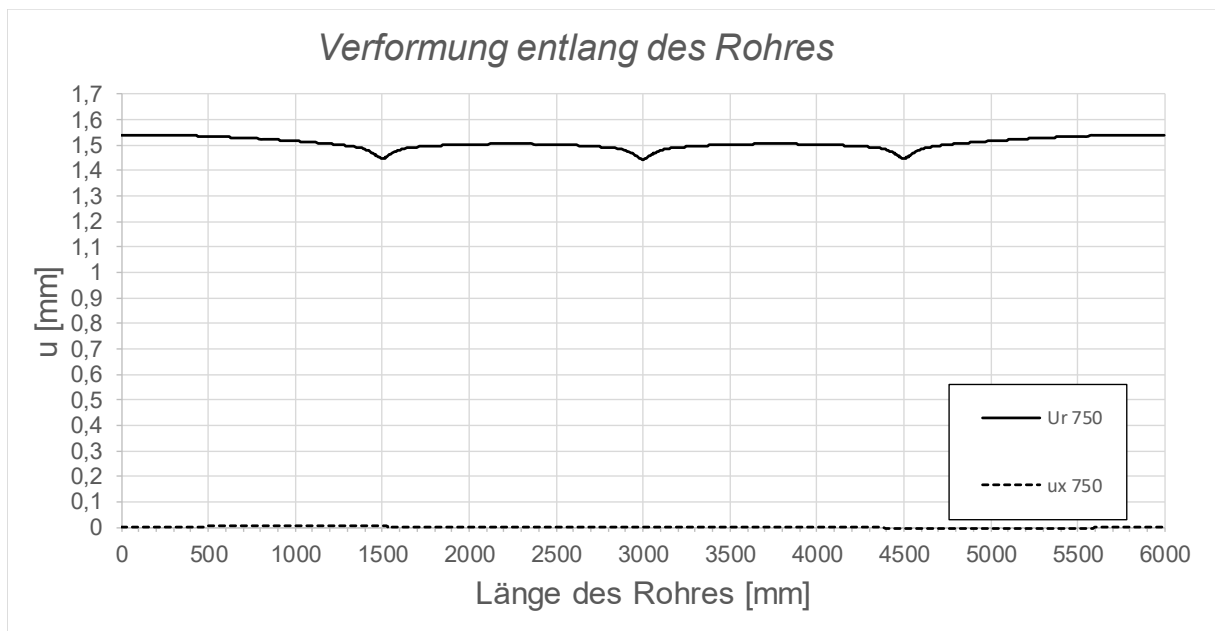


Abbildung B.4: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

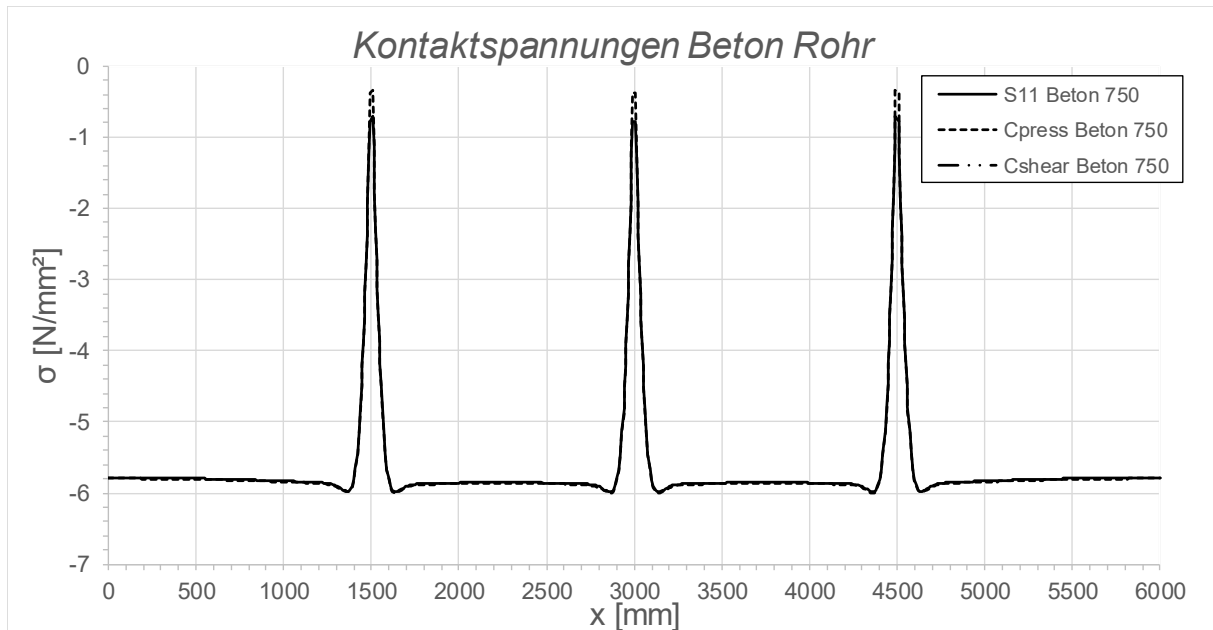


Abbildung B.5: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

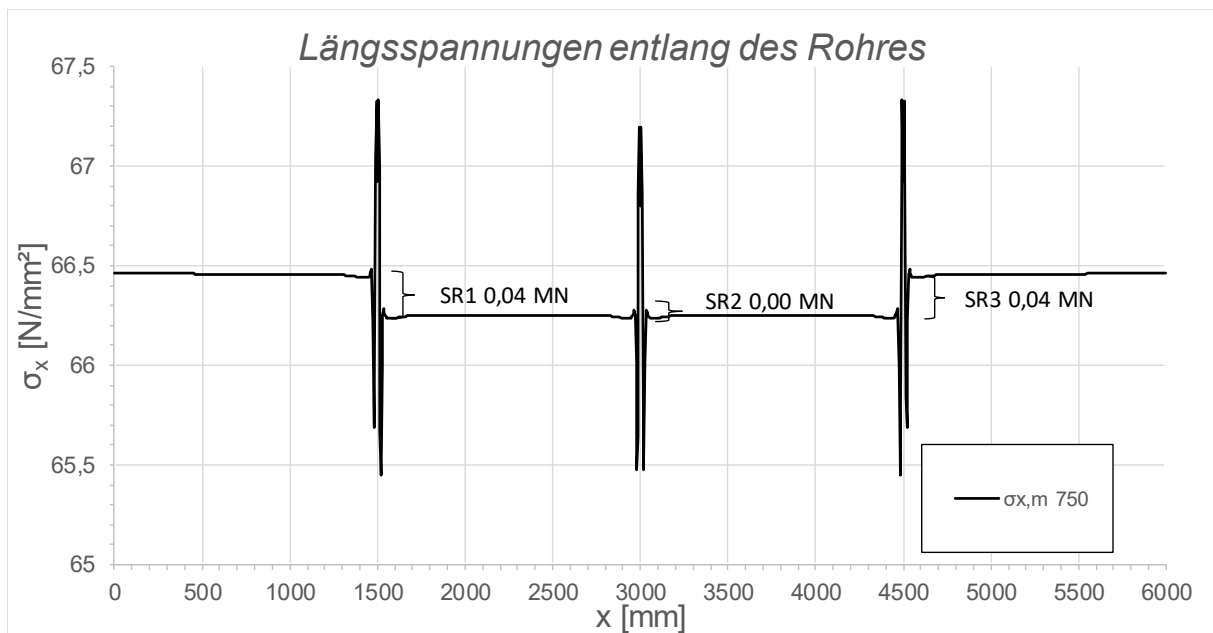


Abbildung B.6: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

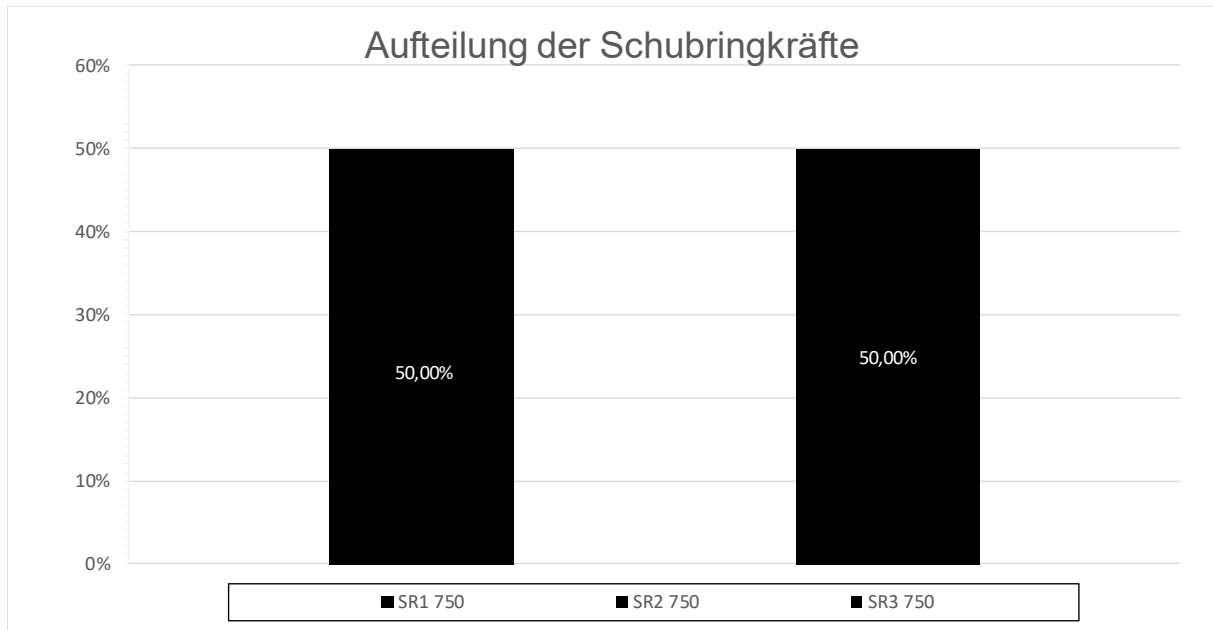


Abbildung B.7: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

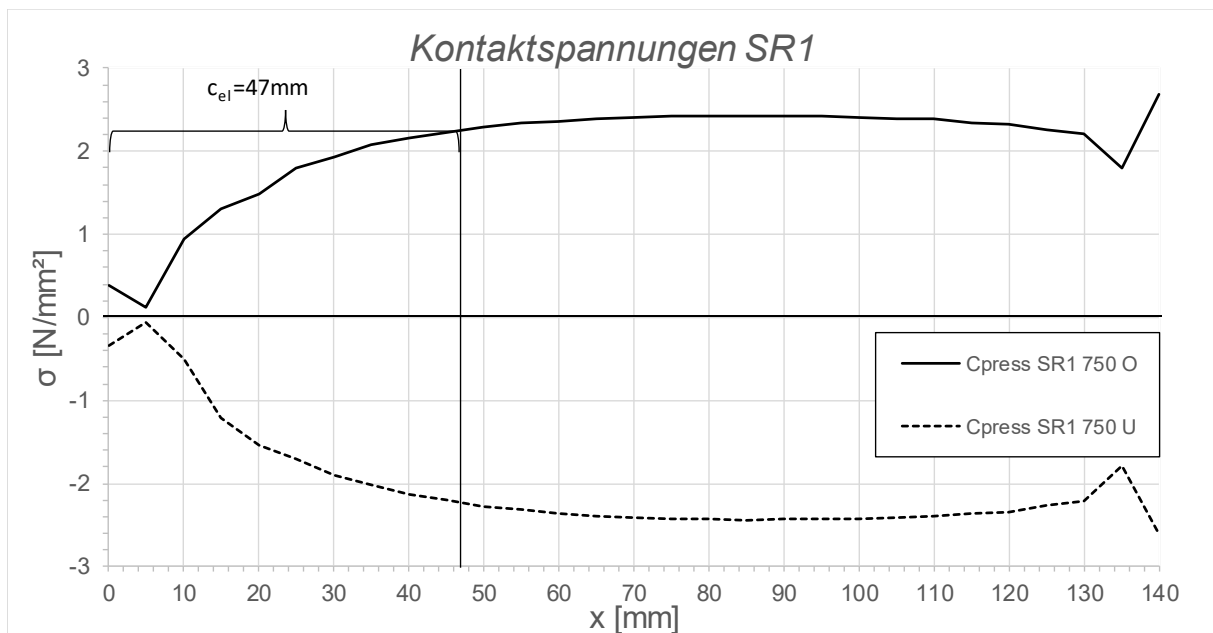


Abbildung B.8: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

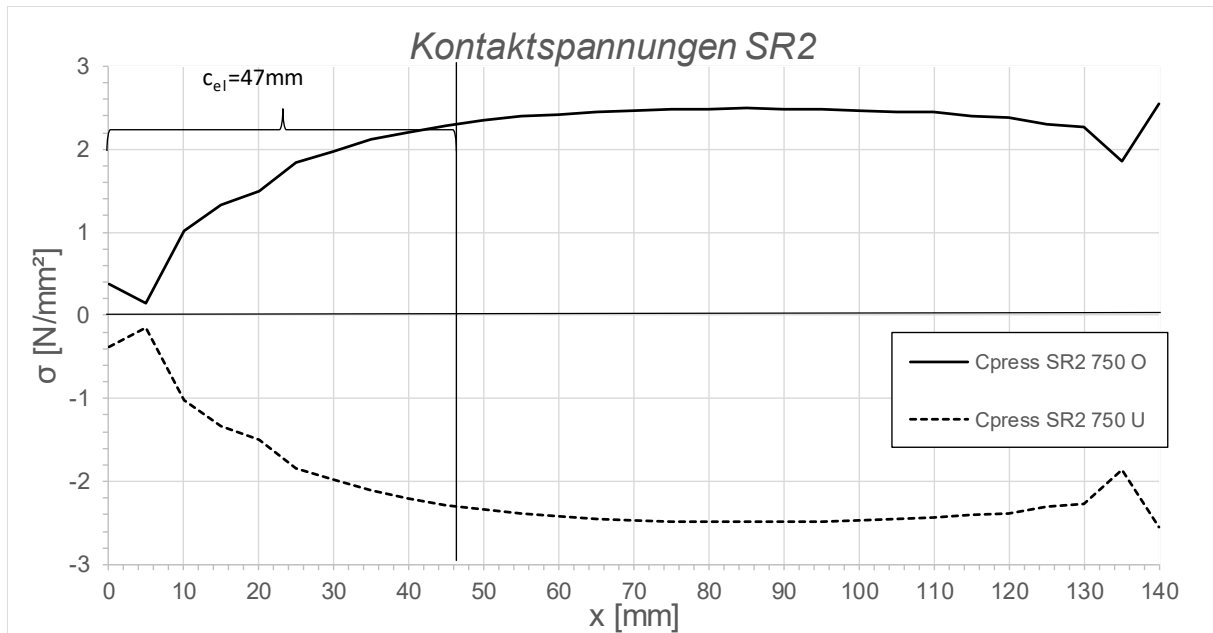


Abbildung B.9: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20$ mm, $h_{Ring} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{Ring} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

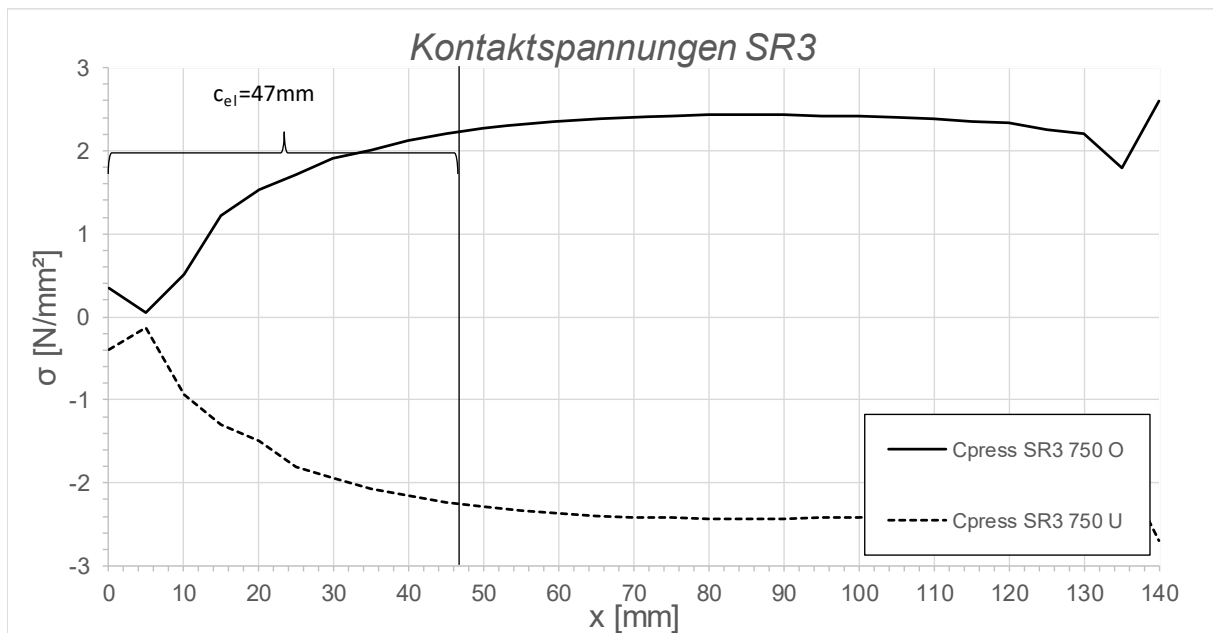


Abbildung B.10: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{Ring} = t_{Rohr} = 20$ mm, $h_{Ring} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{Ring} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

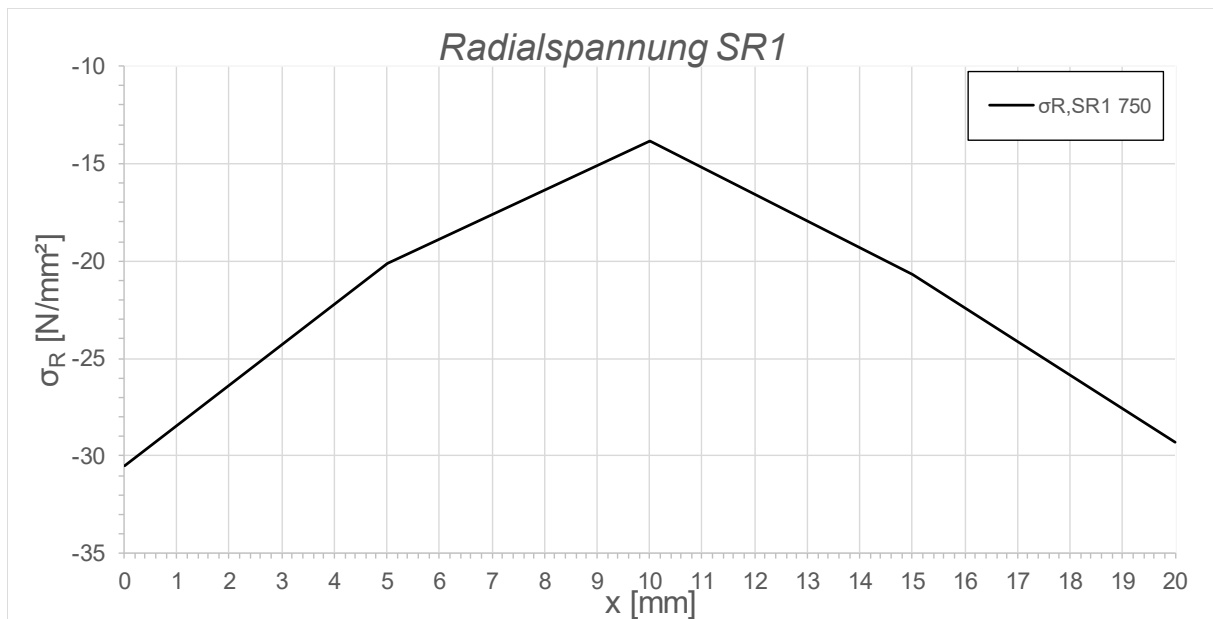


Abbildung B.11: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

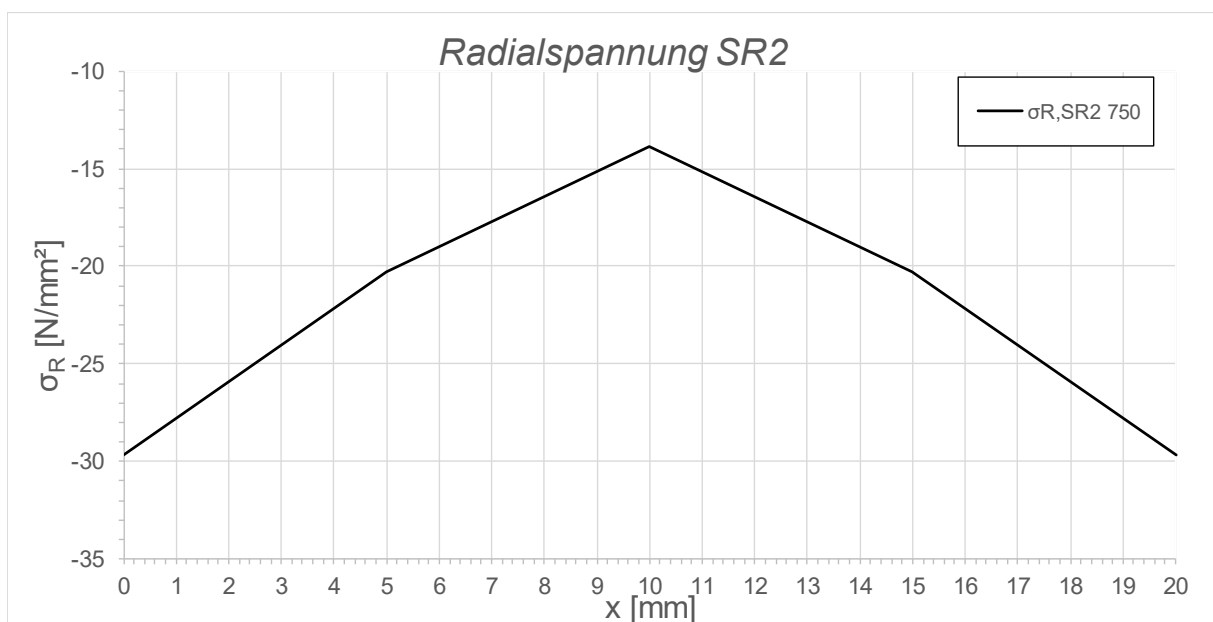


Abbildung B.12: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; System SF1; LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

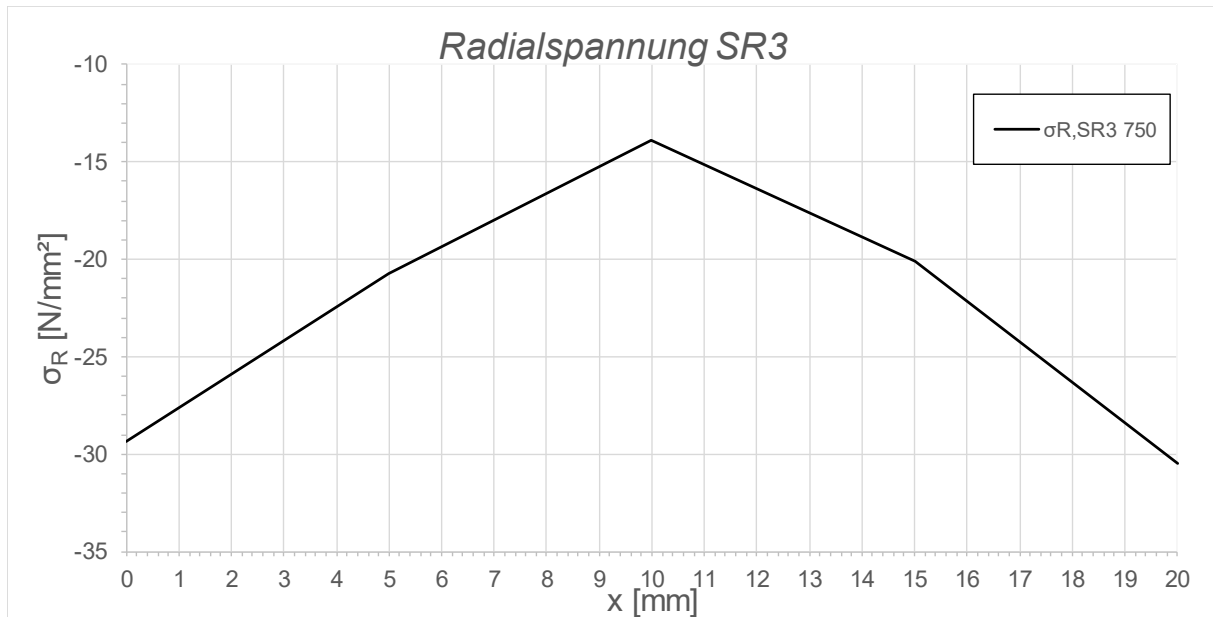


Abbildung B.13: Darstellung der Spannungen über die Dicke des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.2.2 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

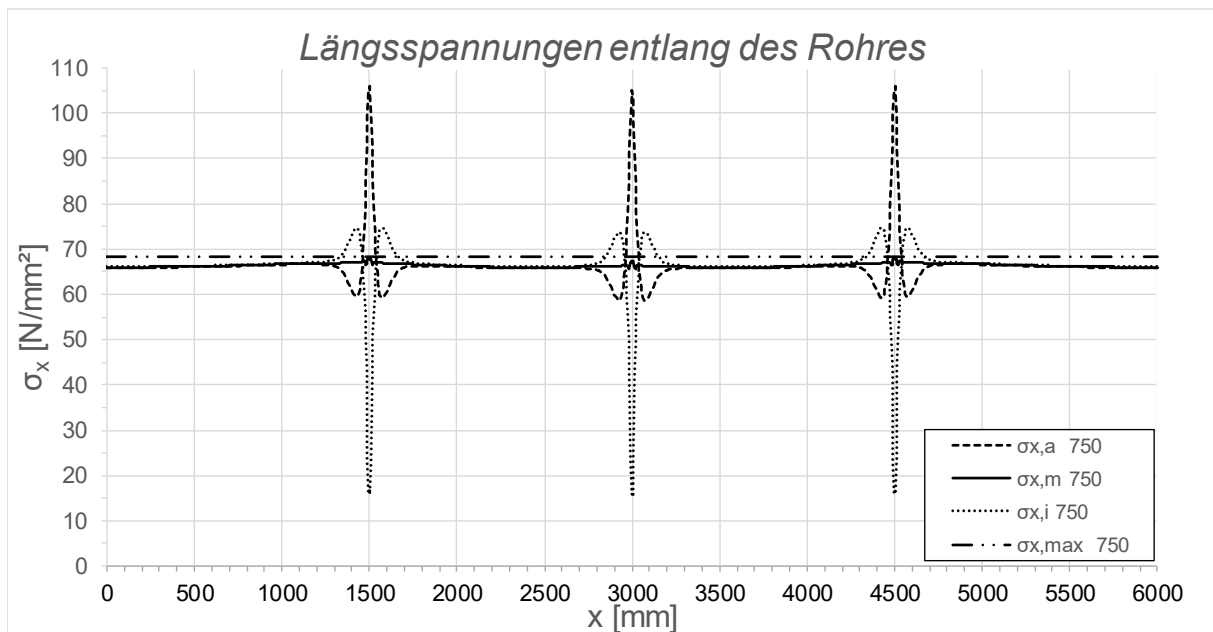


Abbildung B.14: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

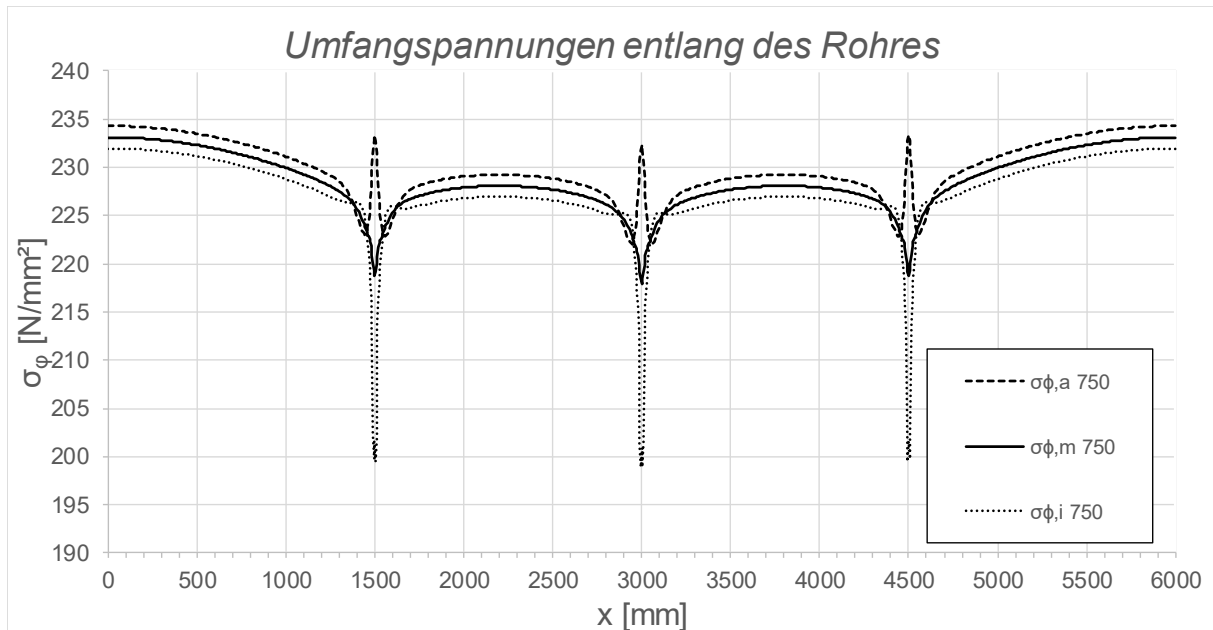


Abbildung B.15: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

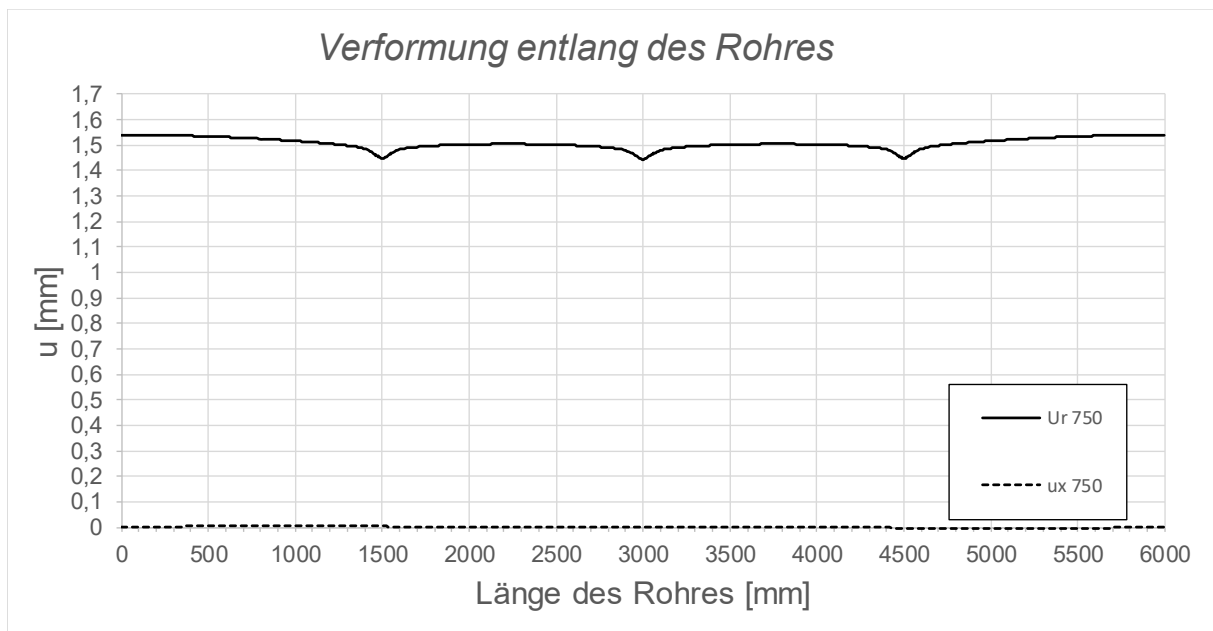


Abbildung B.16: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

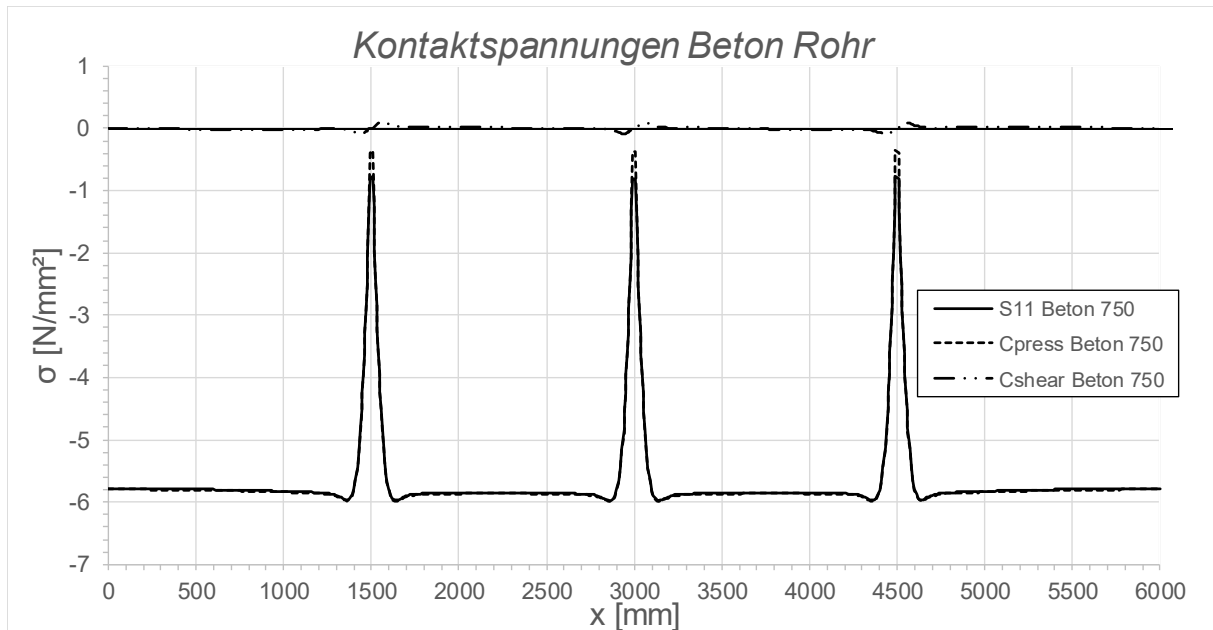


Abbildung B.17: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

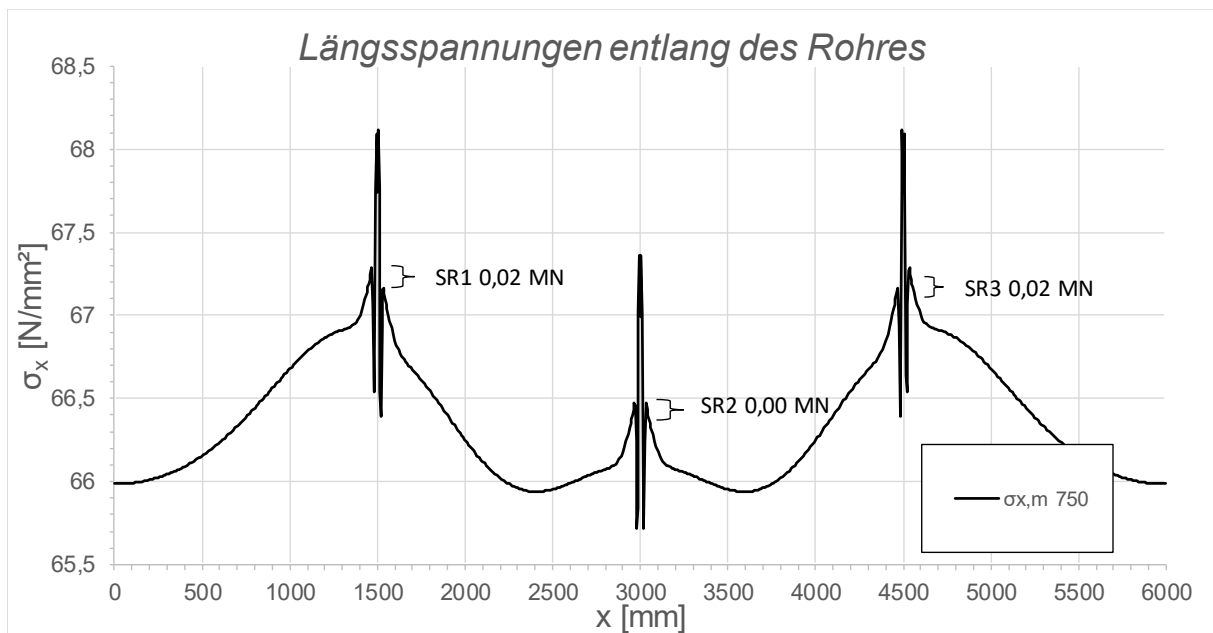


Abbildung B.18: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

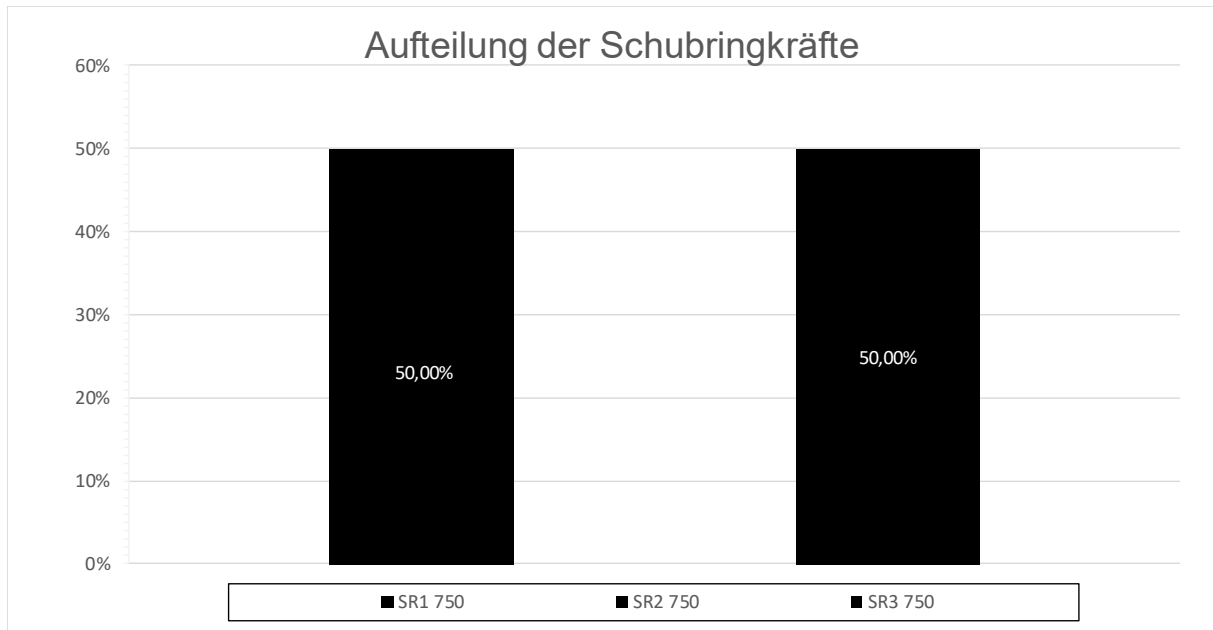


Abbildung B.19: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

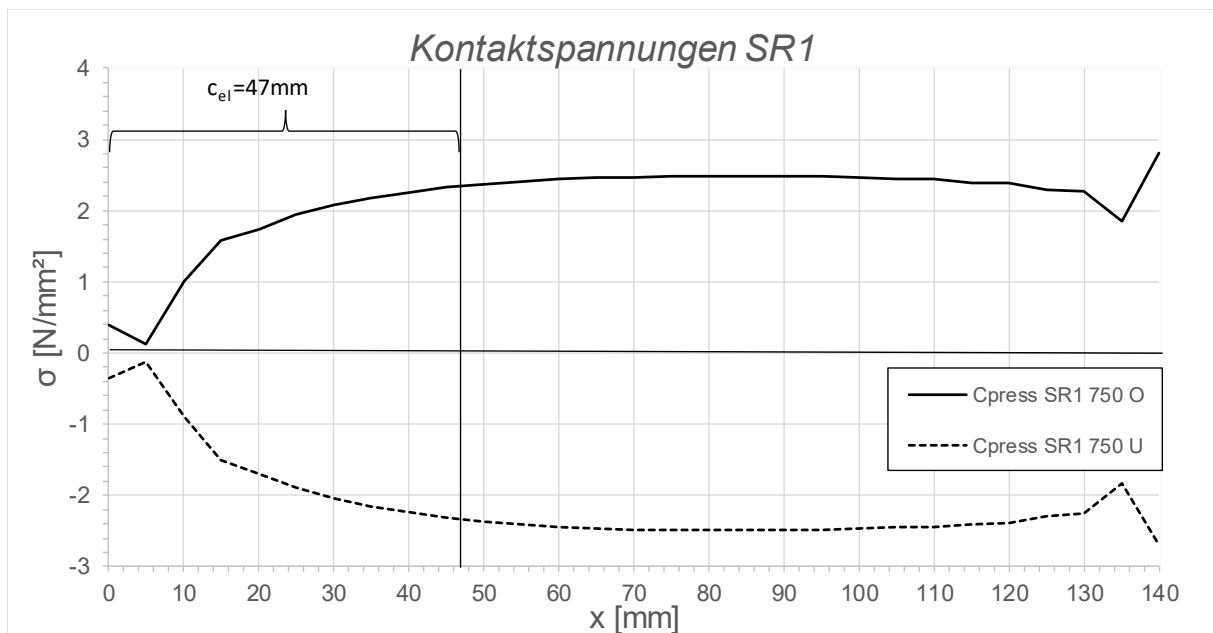


Abbildung B.20: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

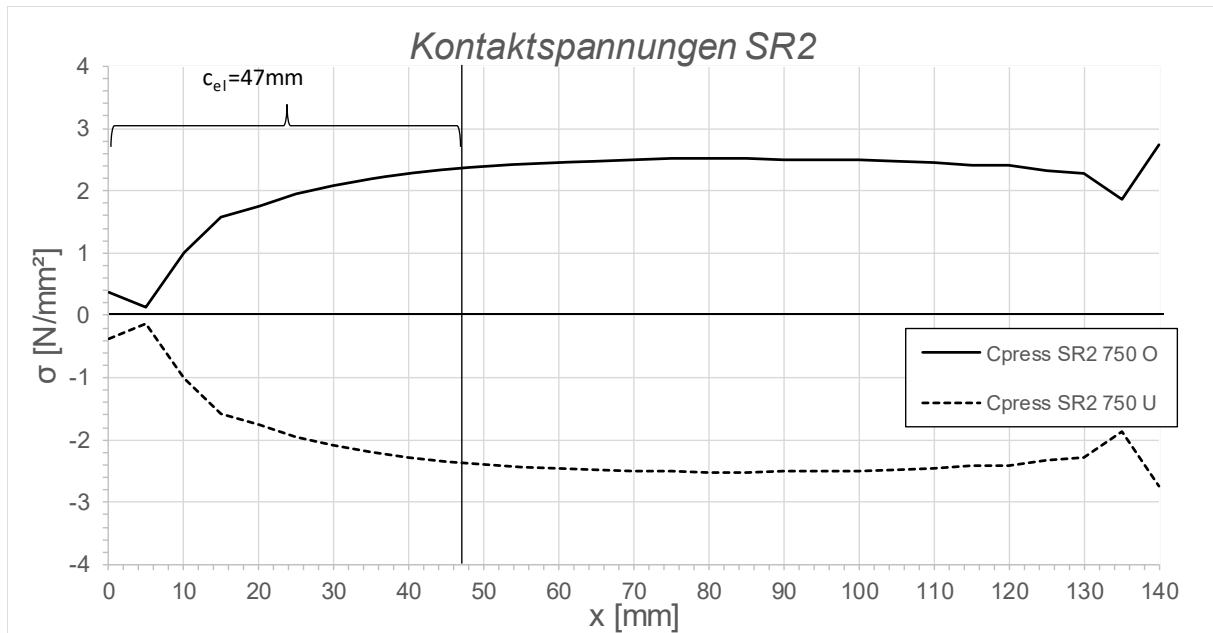


Abbildung B.21: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

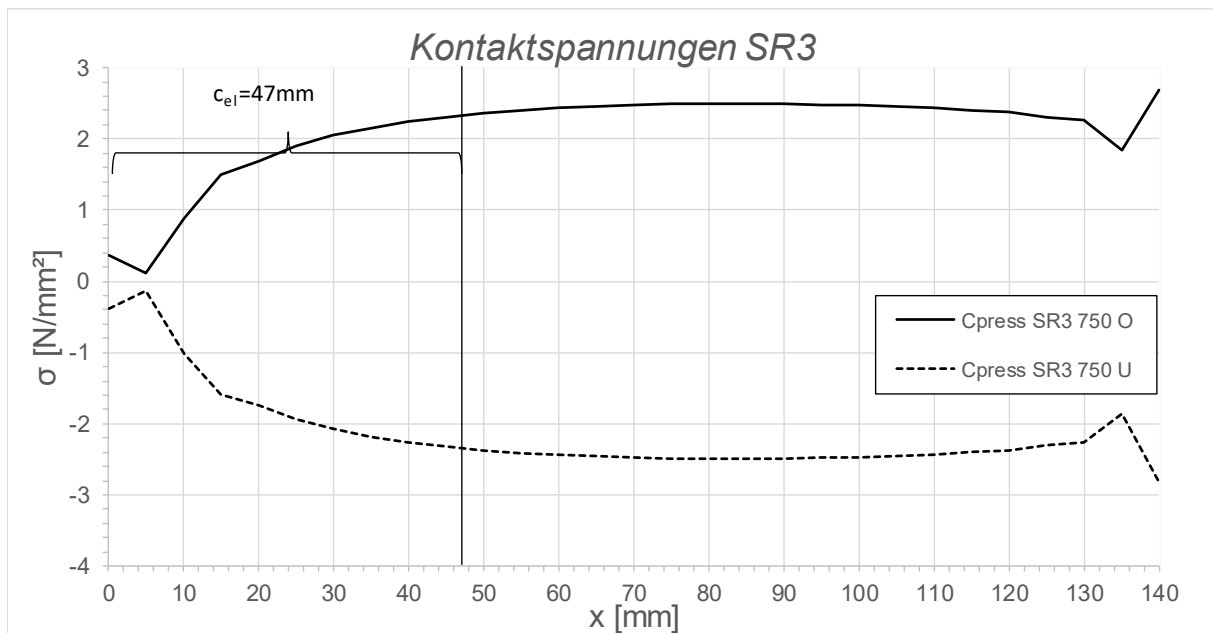


Abbildung B.22: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

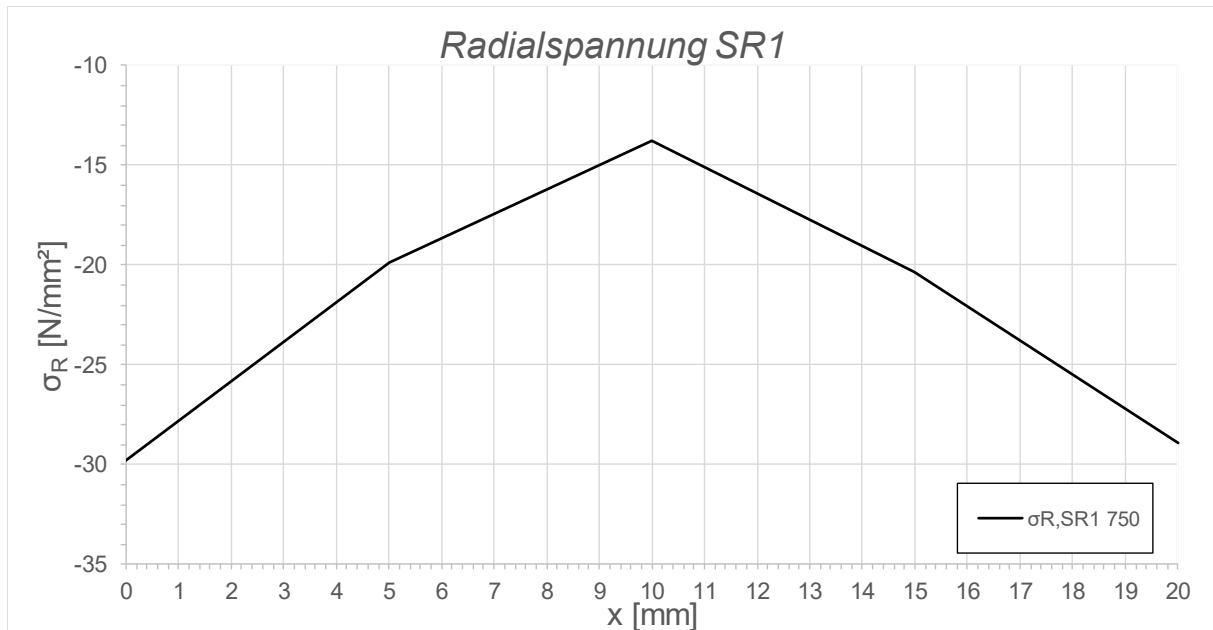


Abbildung B.23: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

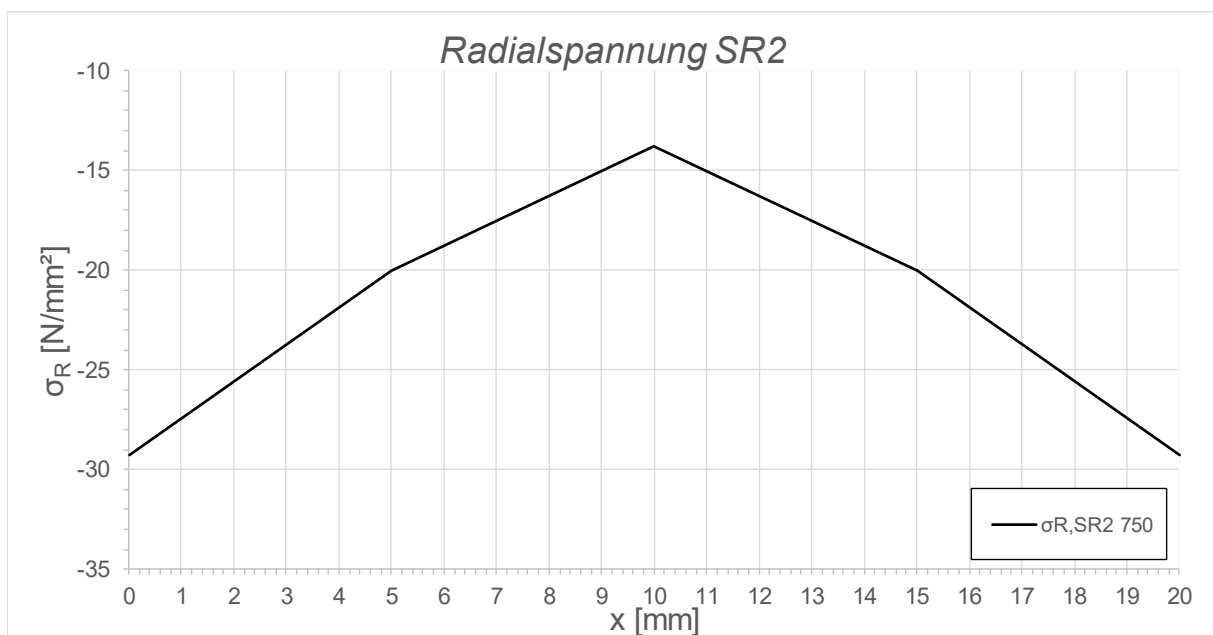


Abbildung B.24: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

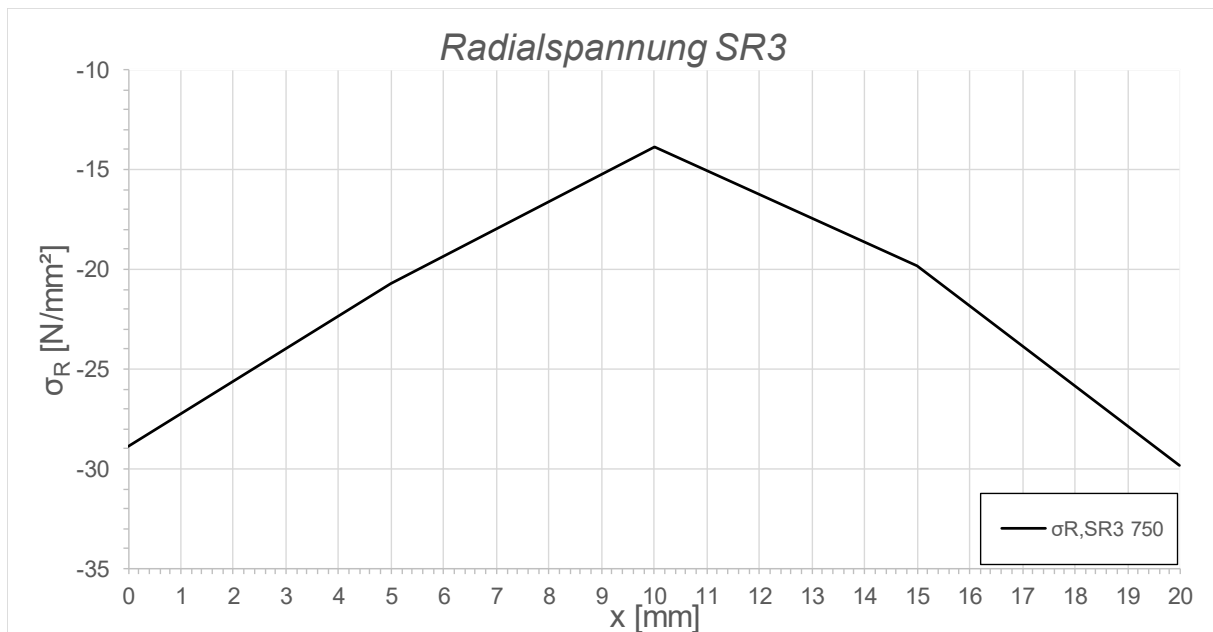


Abbildung B.25: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; System F1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

B.2.3 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$

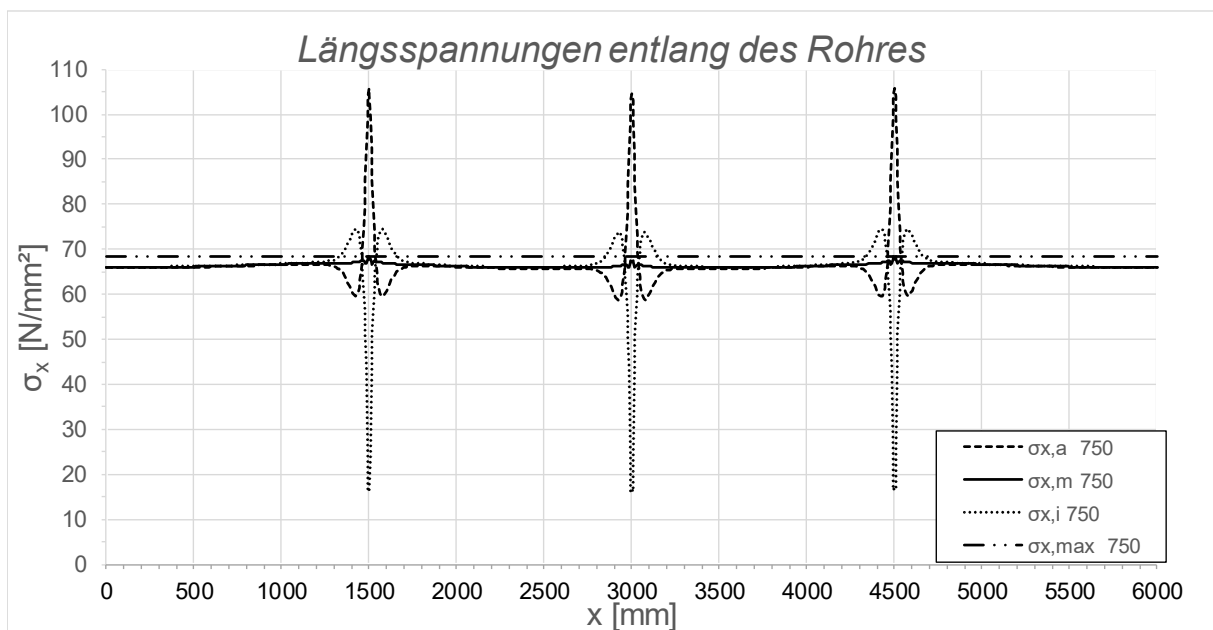


Abbildung B.26: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

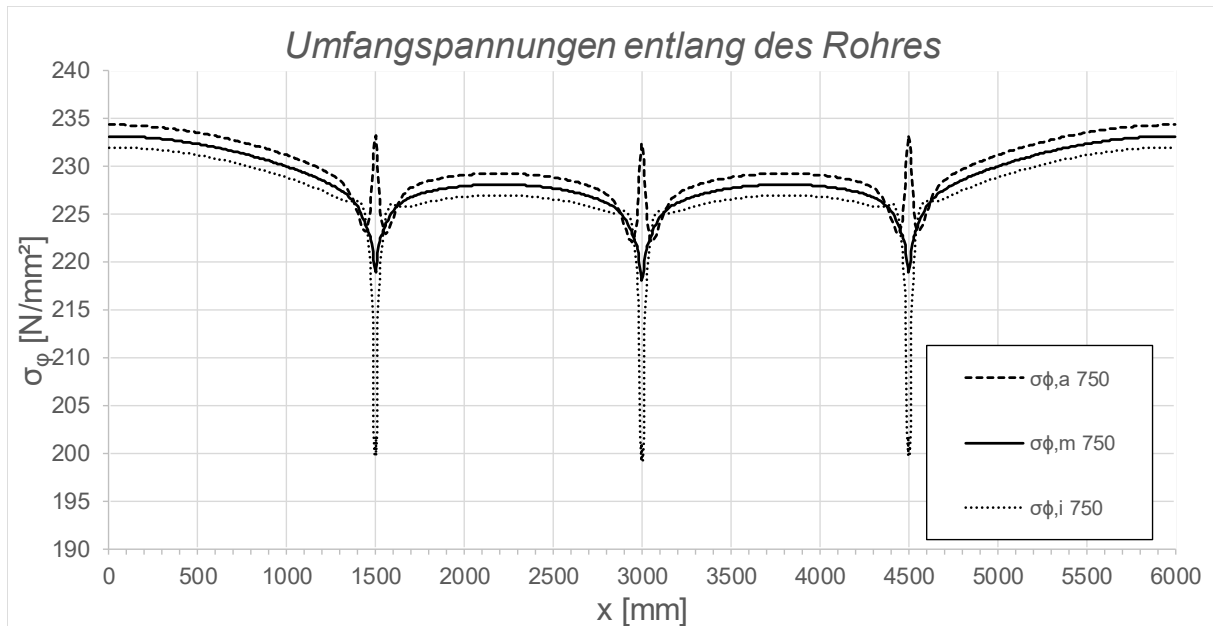


Abbildung B.27: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

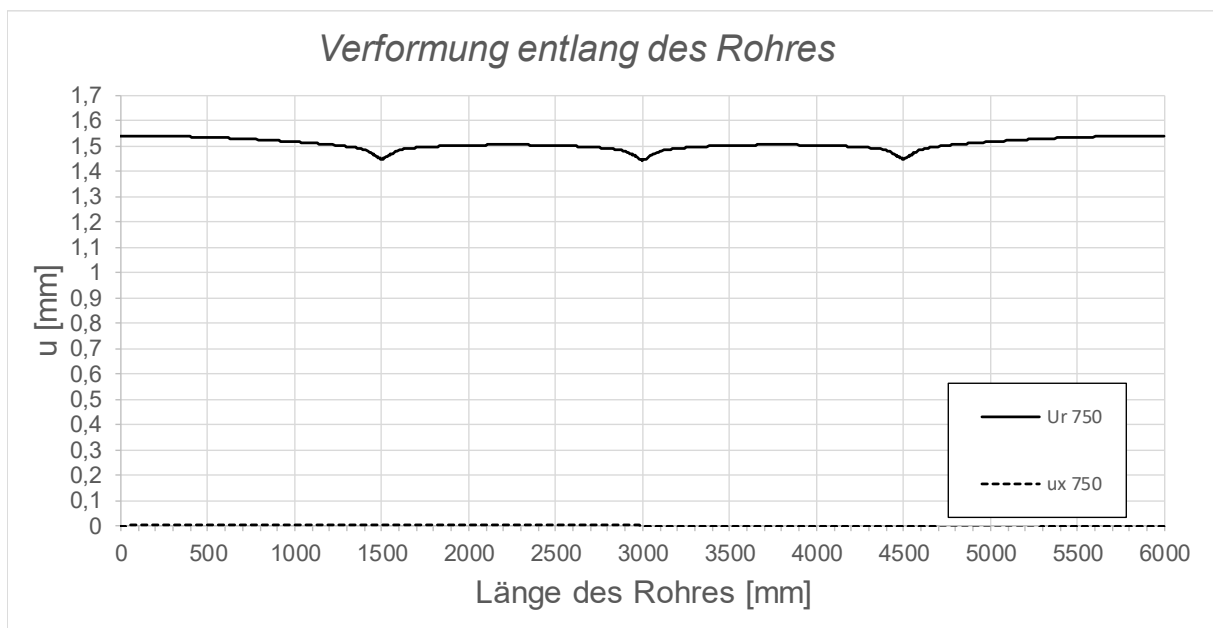


Abbildung B.28: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

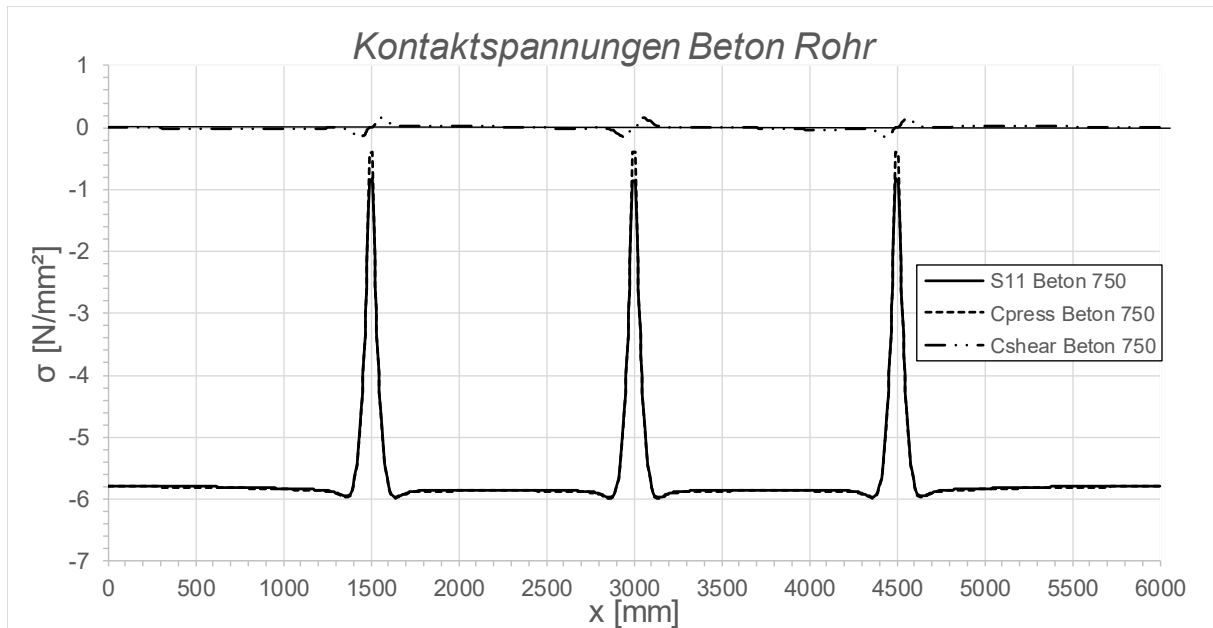


Abbildung B.29: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

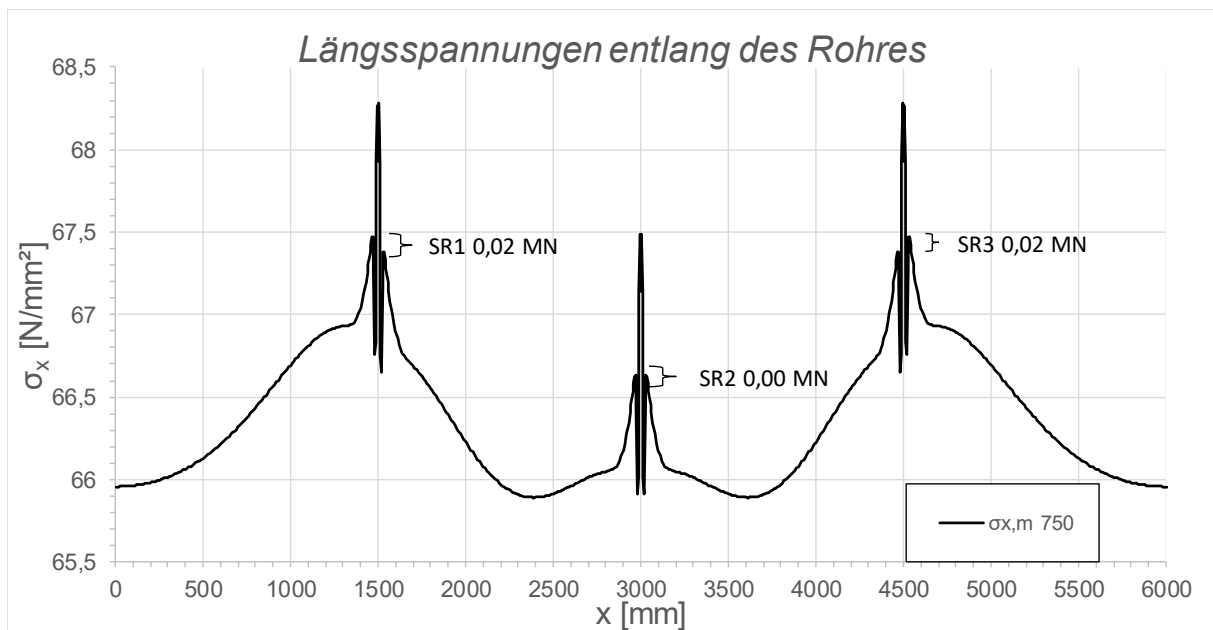


Abbildung B.30: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

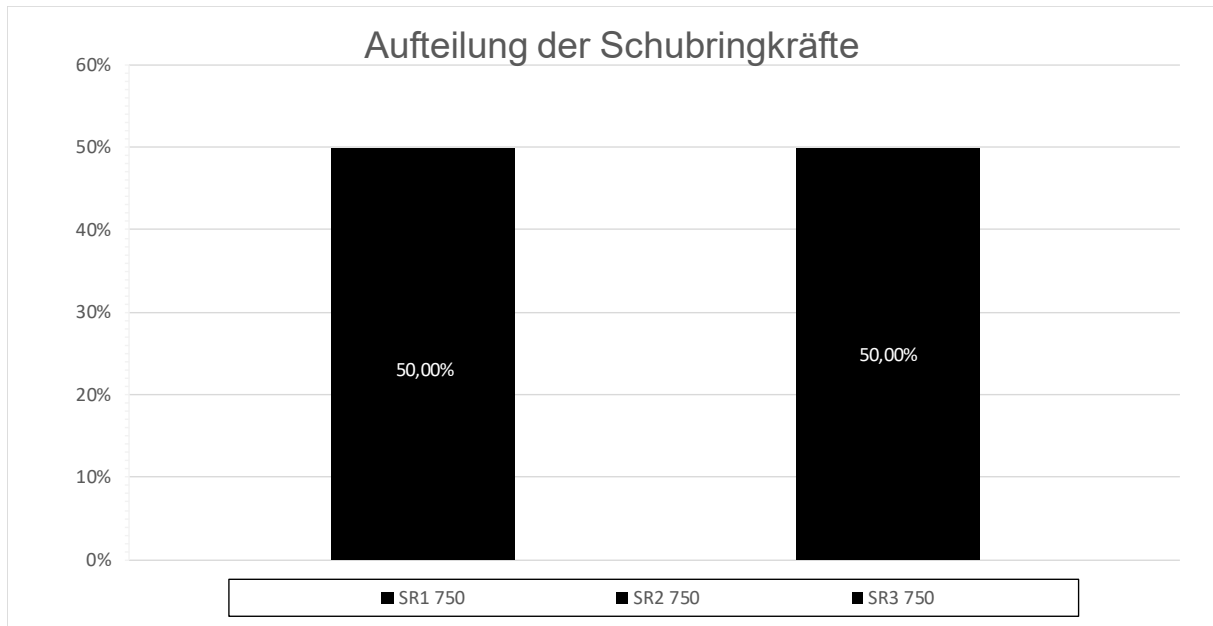


Abbildung B.31: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

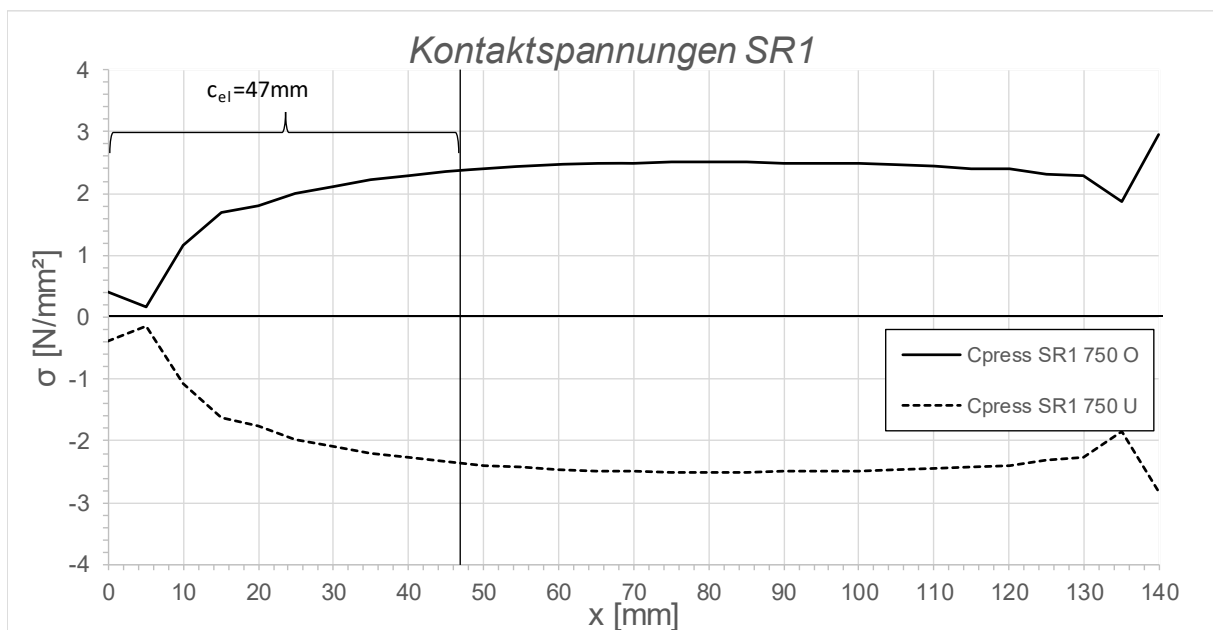


Abbildung B.32: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

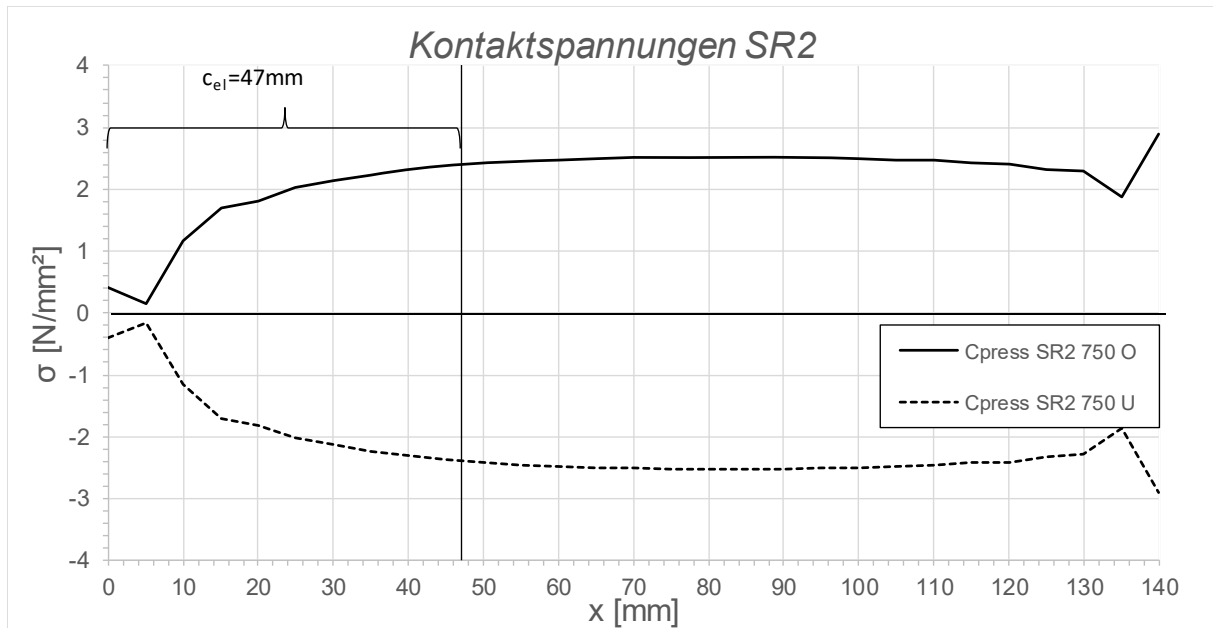


Abbildung B.33: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

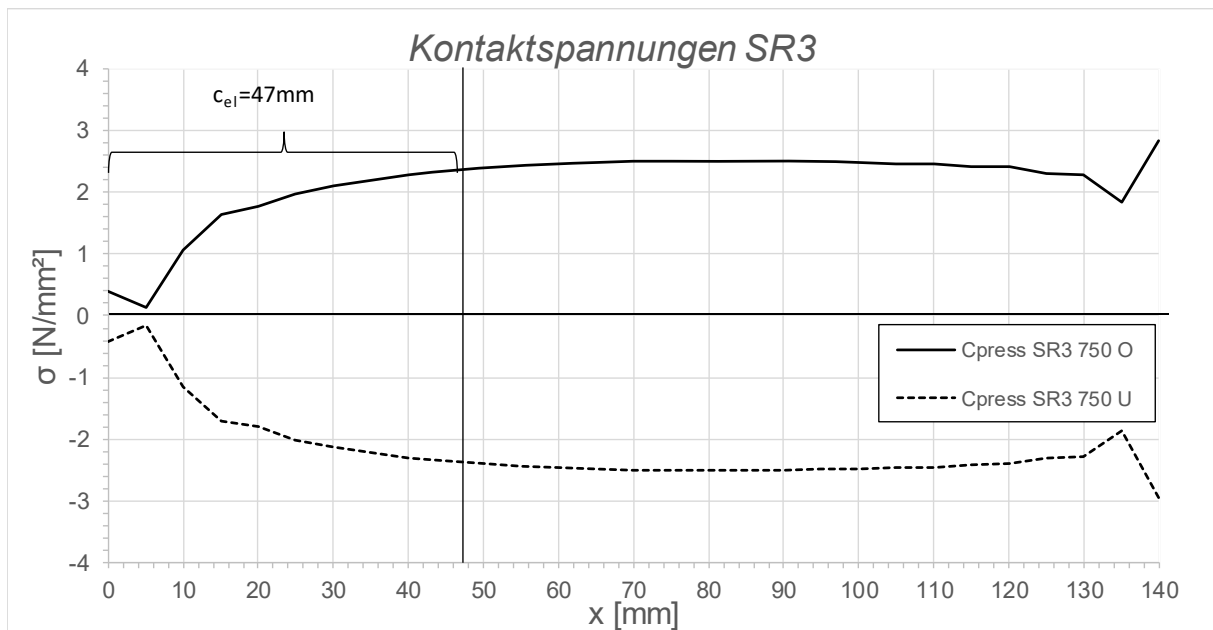


Abbildung B.34: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

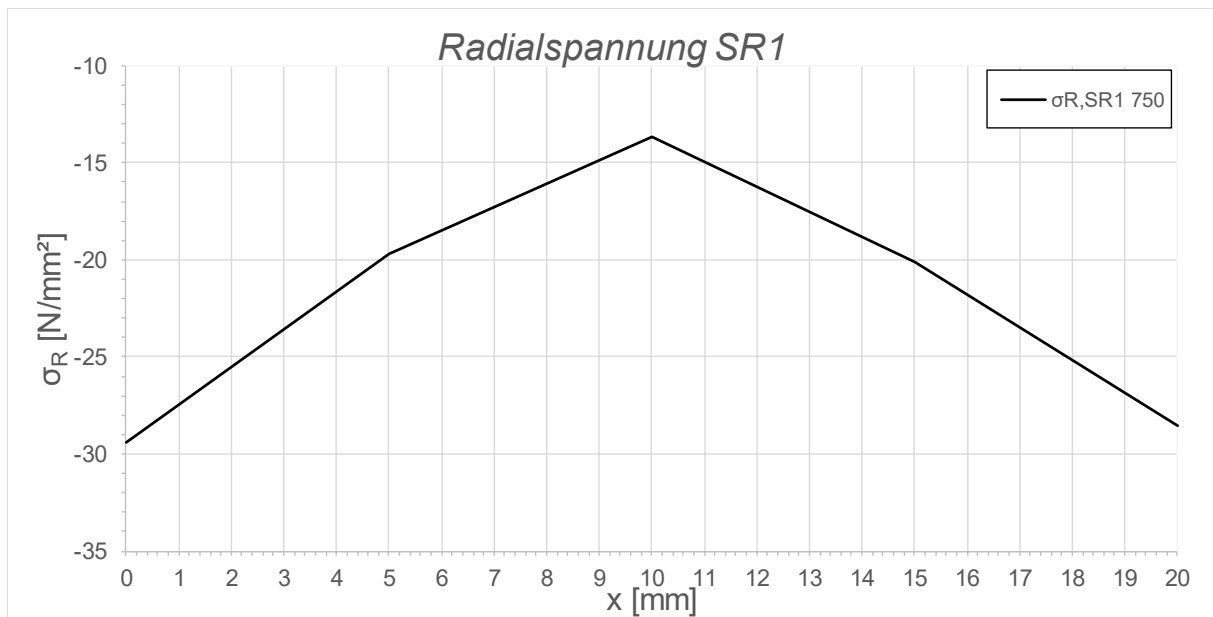


Abbildung B.35: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

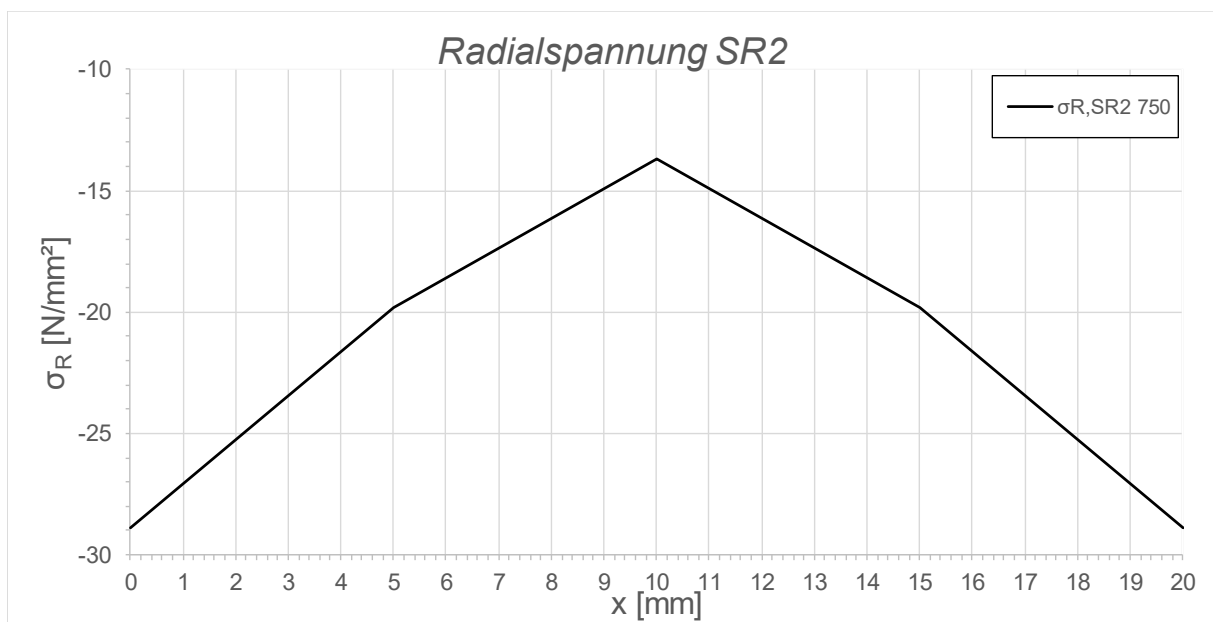


Abbildung B.36: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

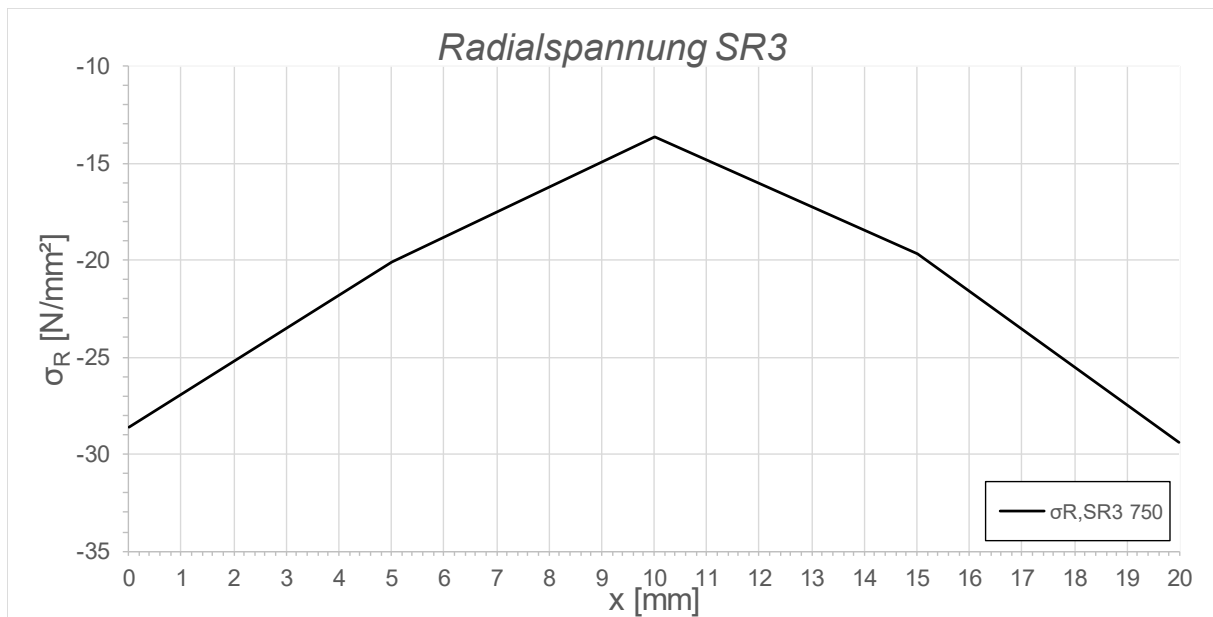


Abbildung B.37: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.2.4 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$

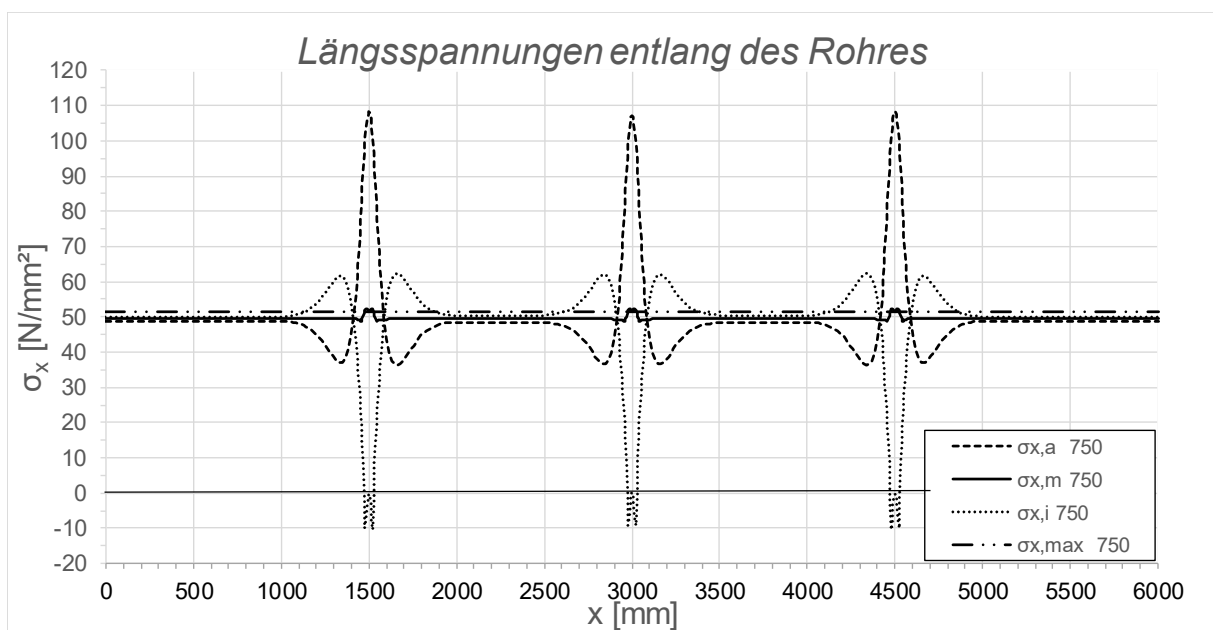


Abbildung B.38: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

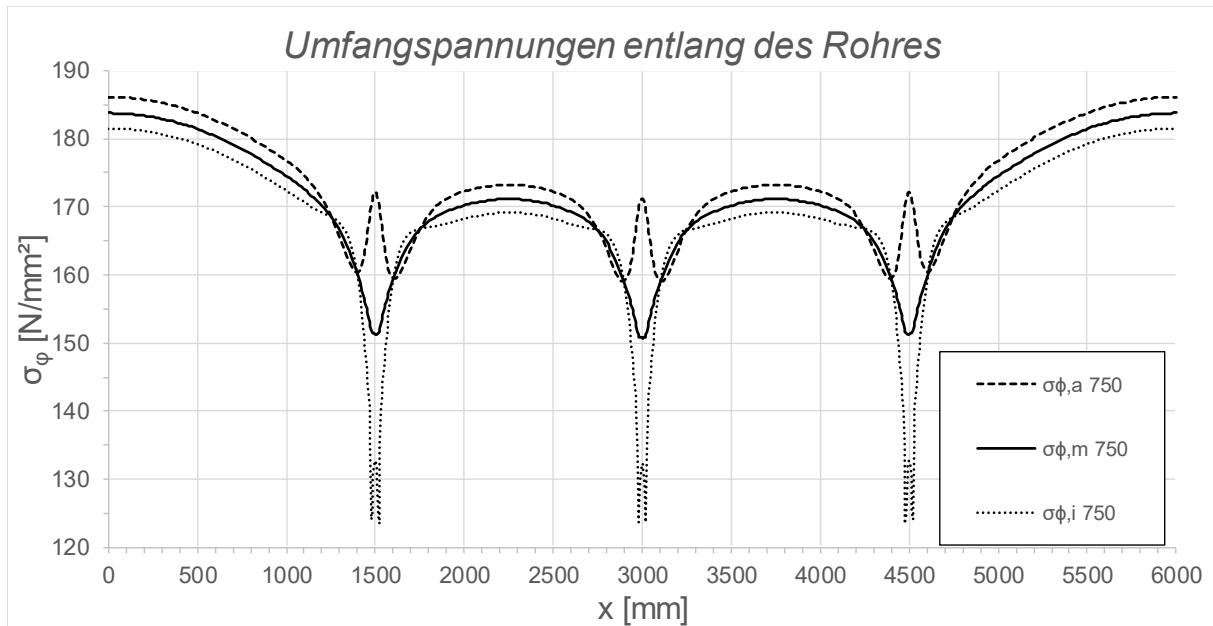


Abbildung B.39: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

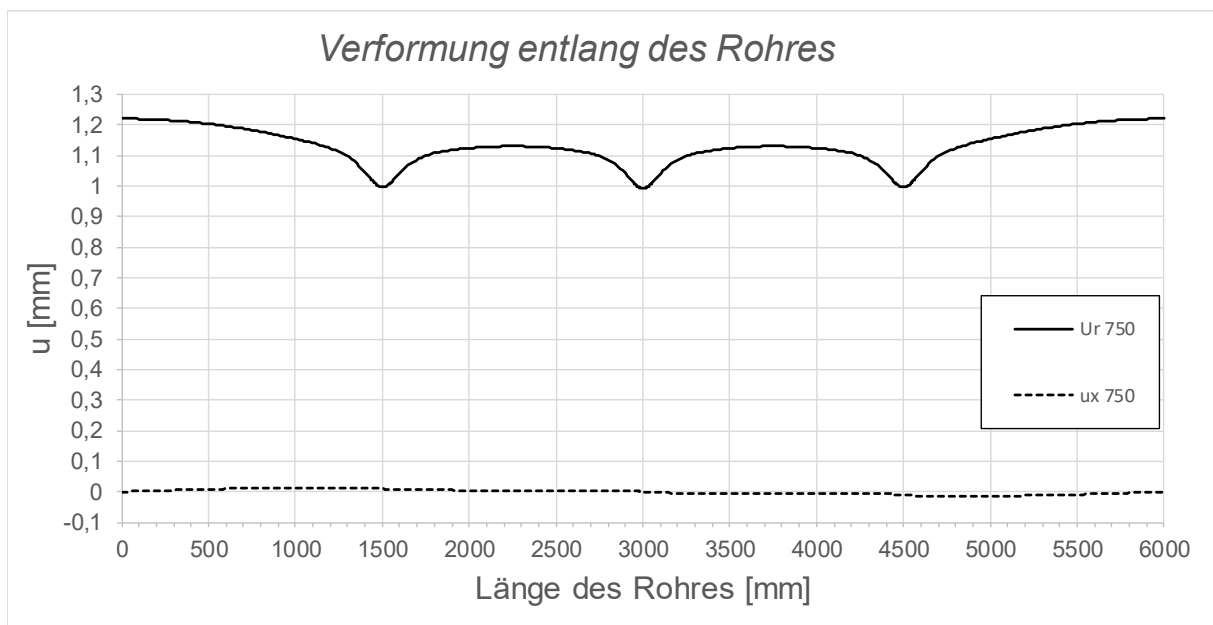


Abbildung B.40: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

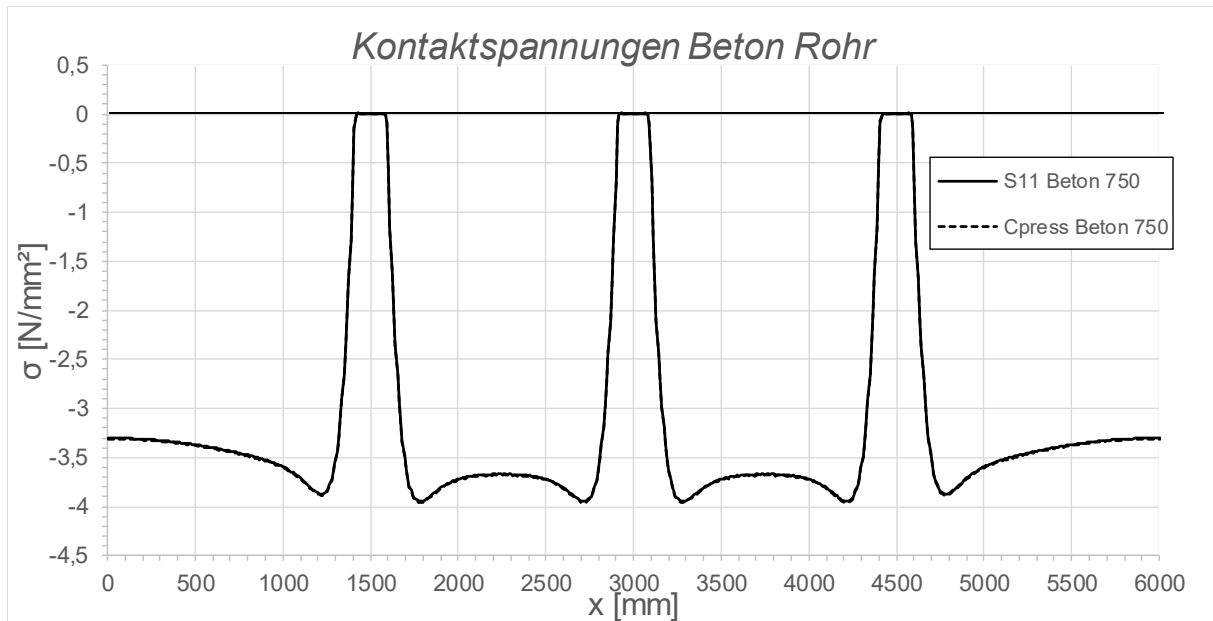


Abbildung B.41: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

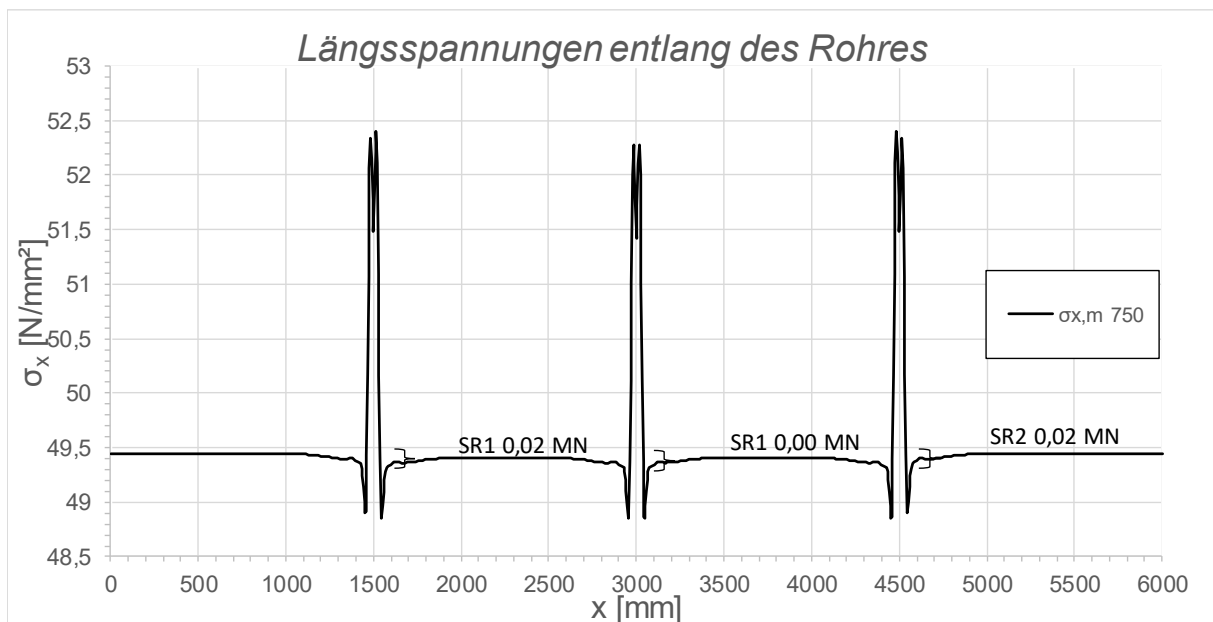


Abbildung B.42: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

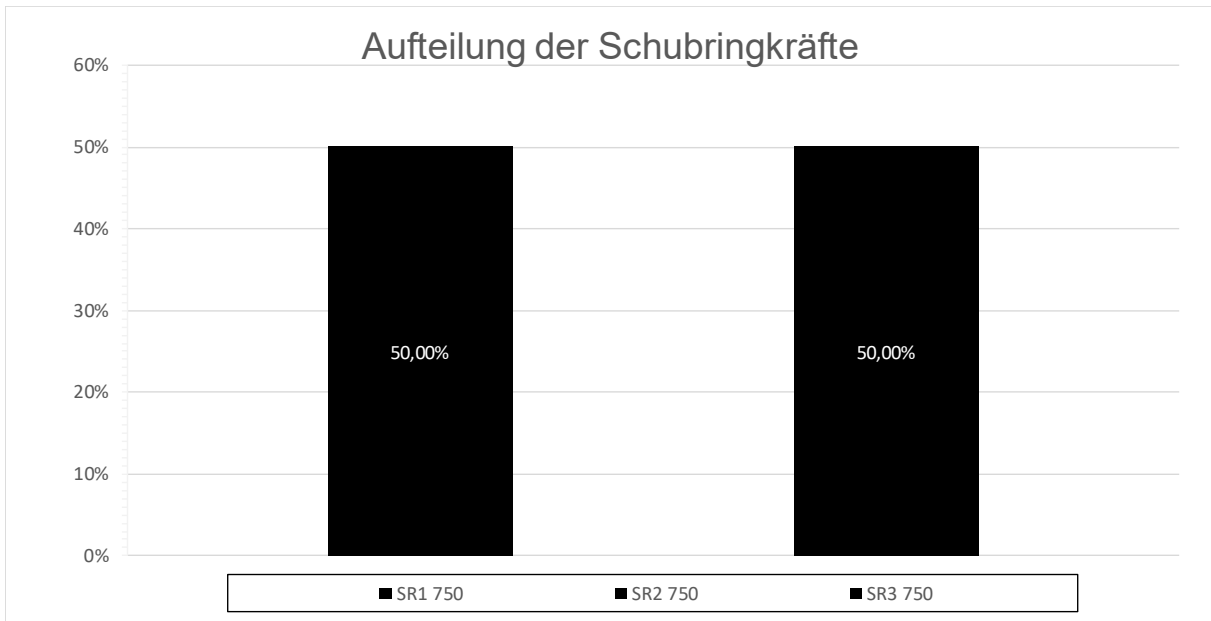


Abbildung B.43: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

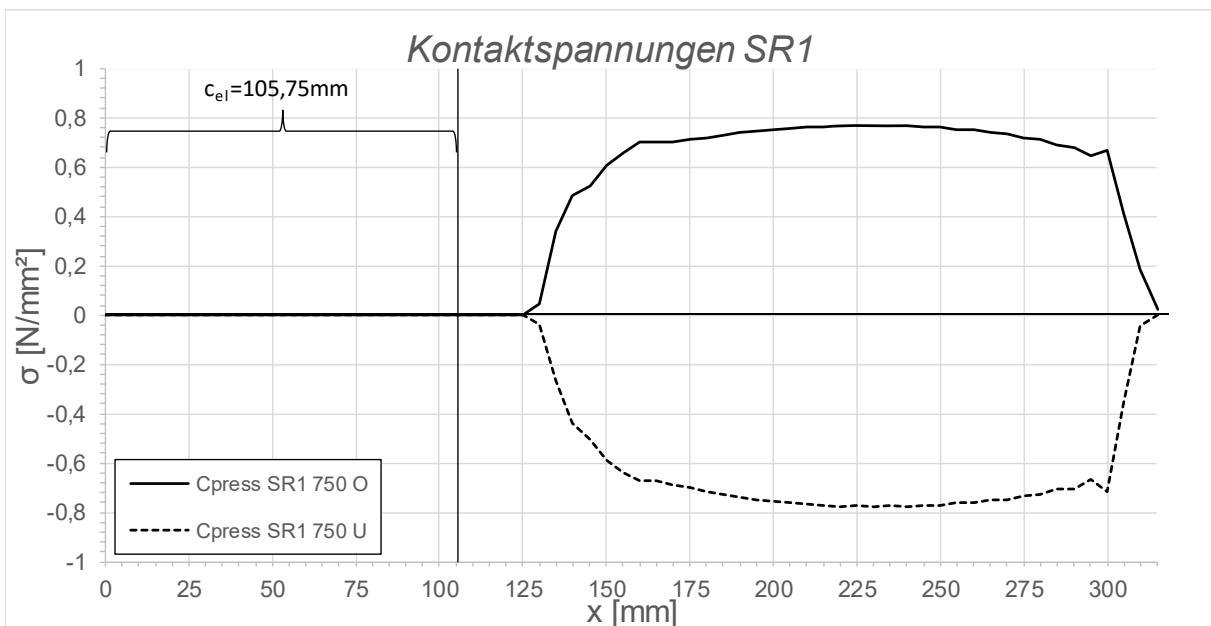


Abbildung B.44: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

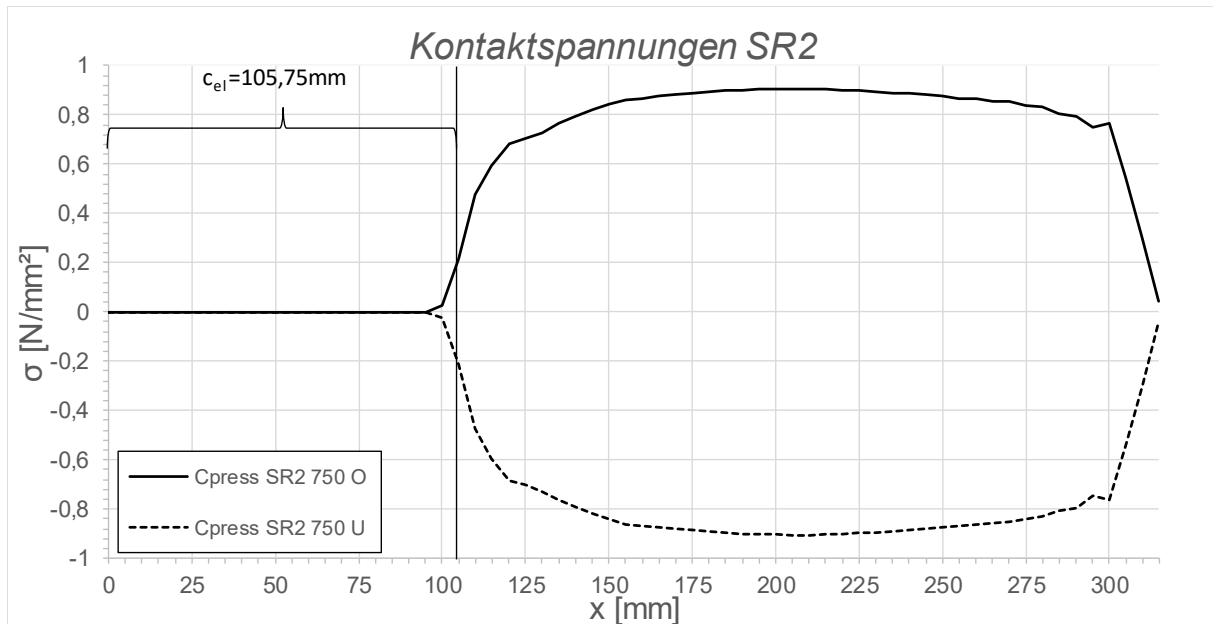


Abbildung B.45: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

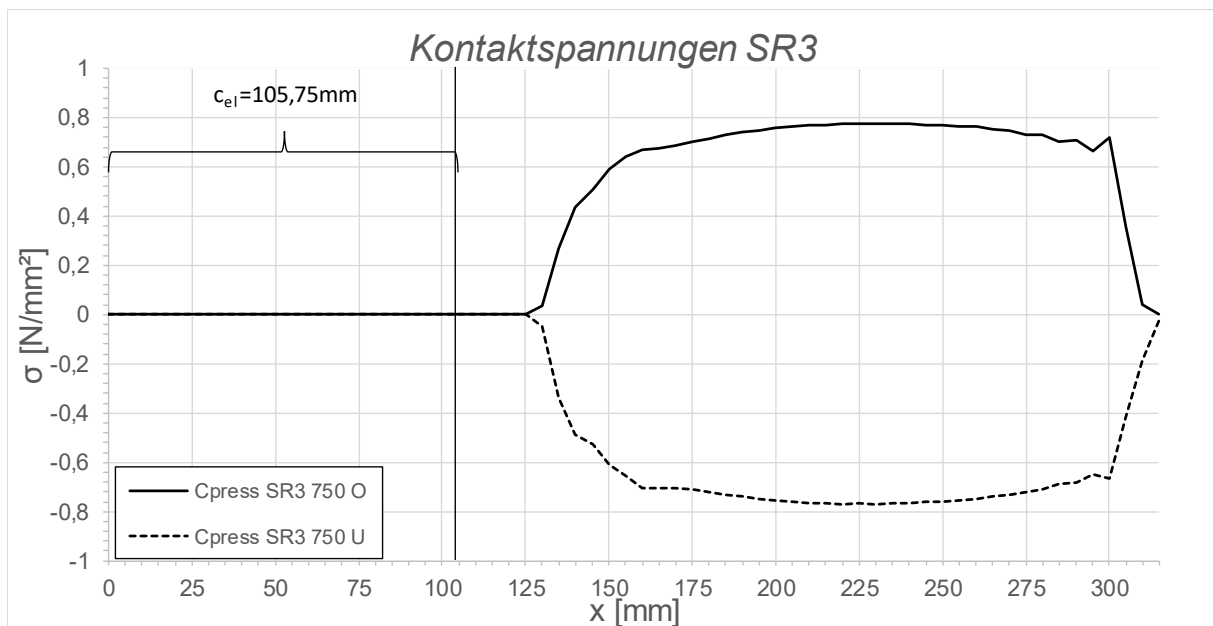


Abbildung B.46: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

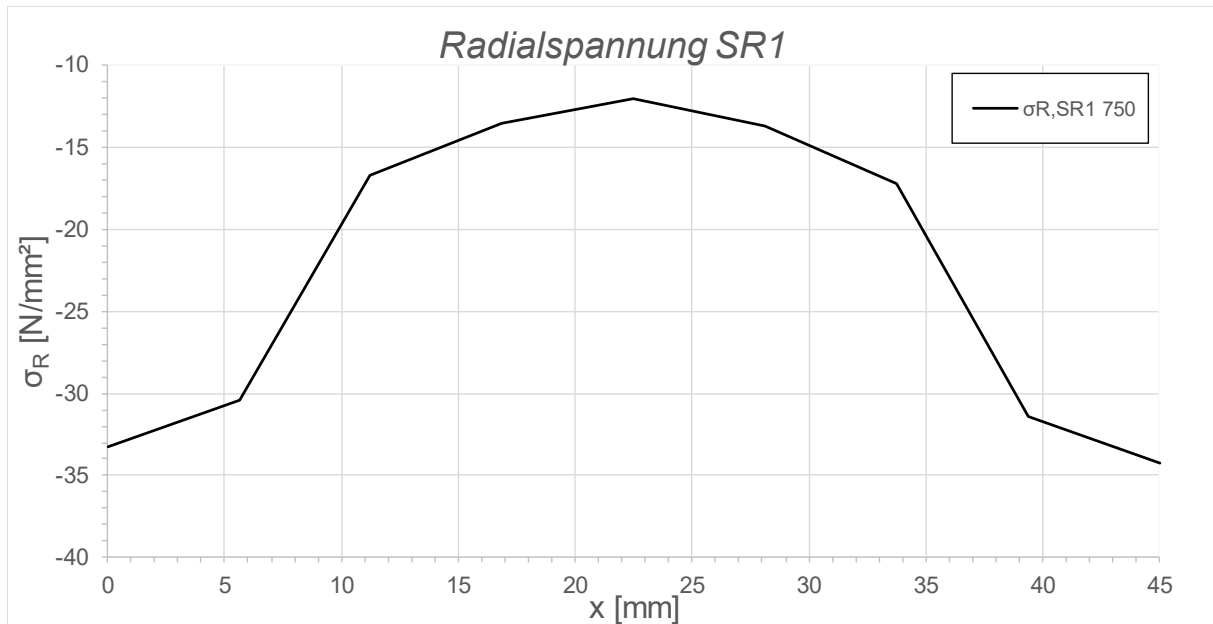


Abbildung B.47: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

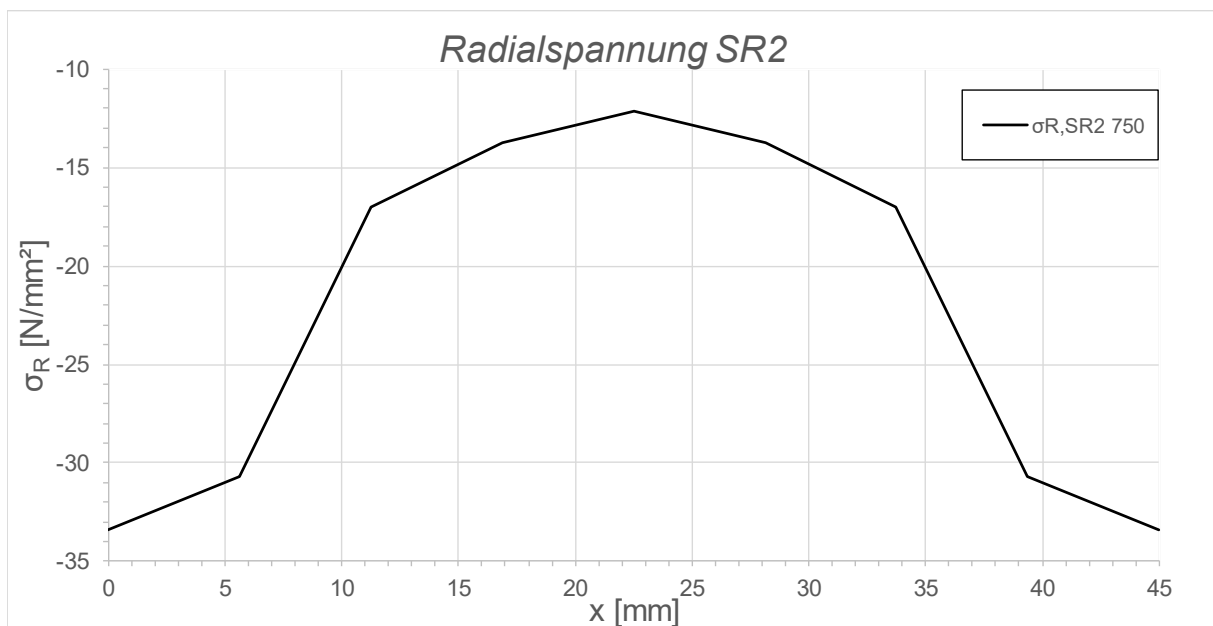


Abbildung B.48: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

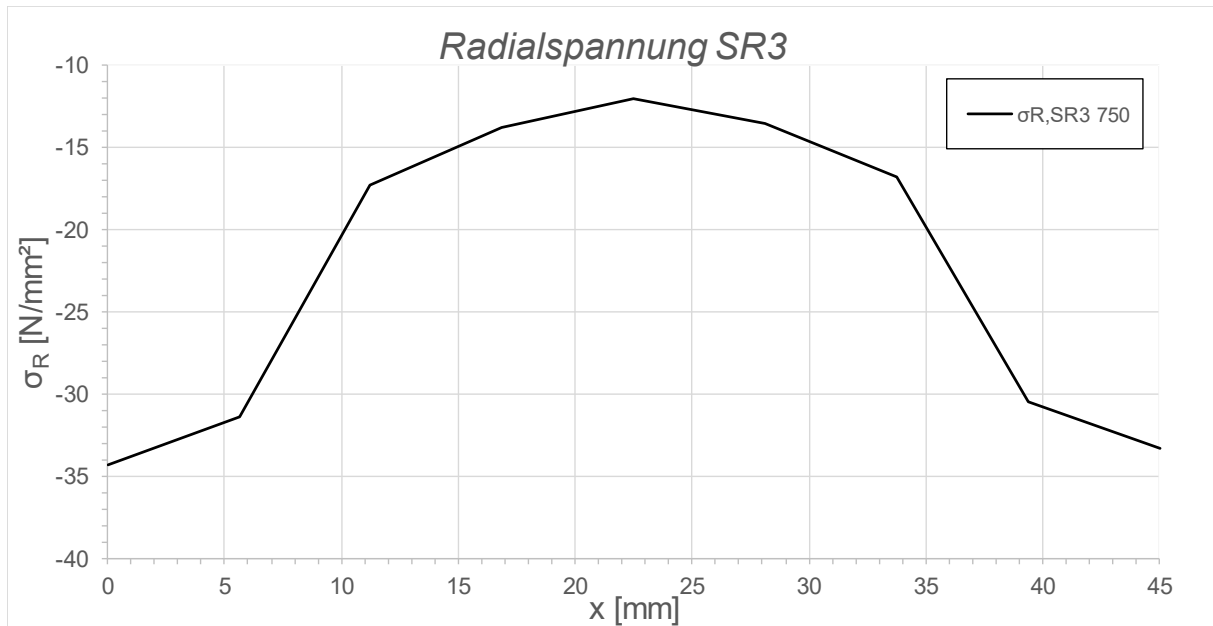


Abbildung B.49: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

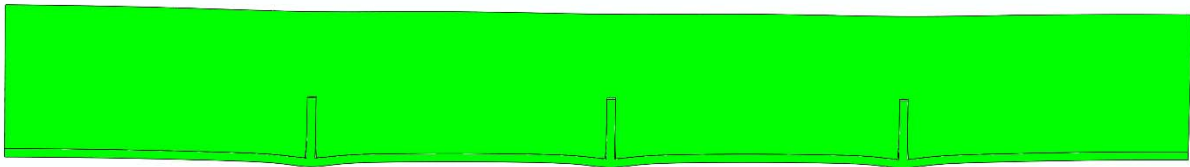


Abbildung B.50: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.2.5 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

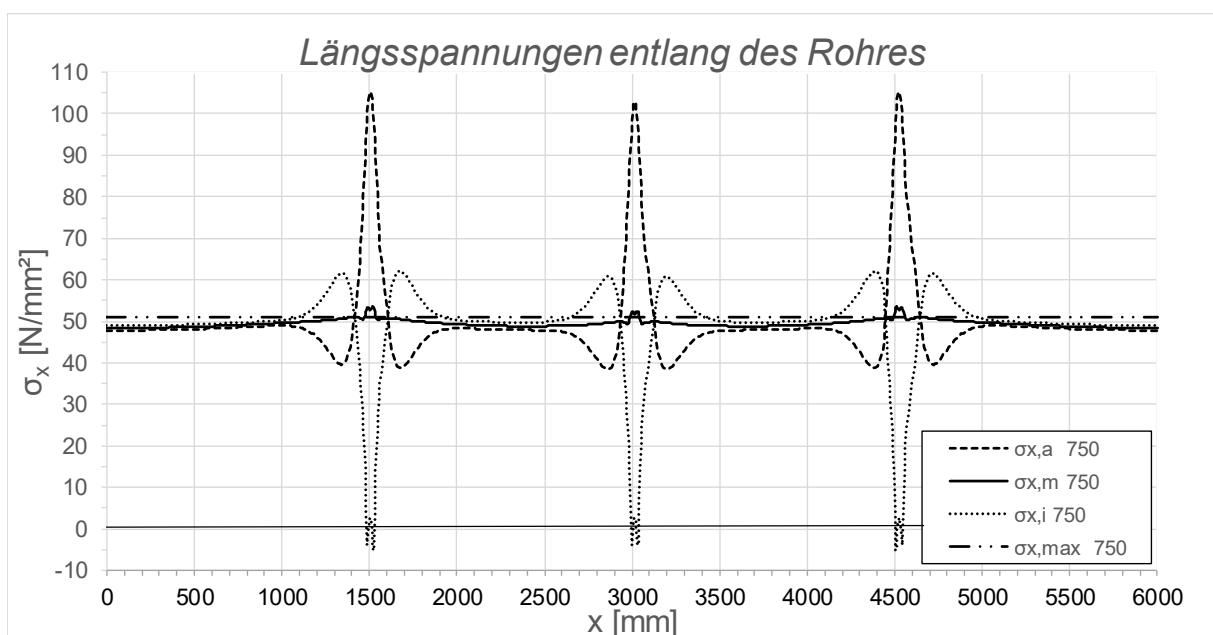


Abbildung B.51: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

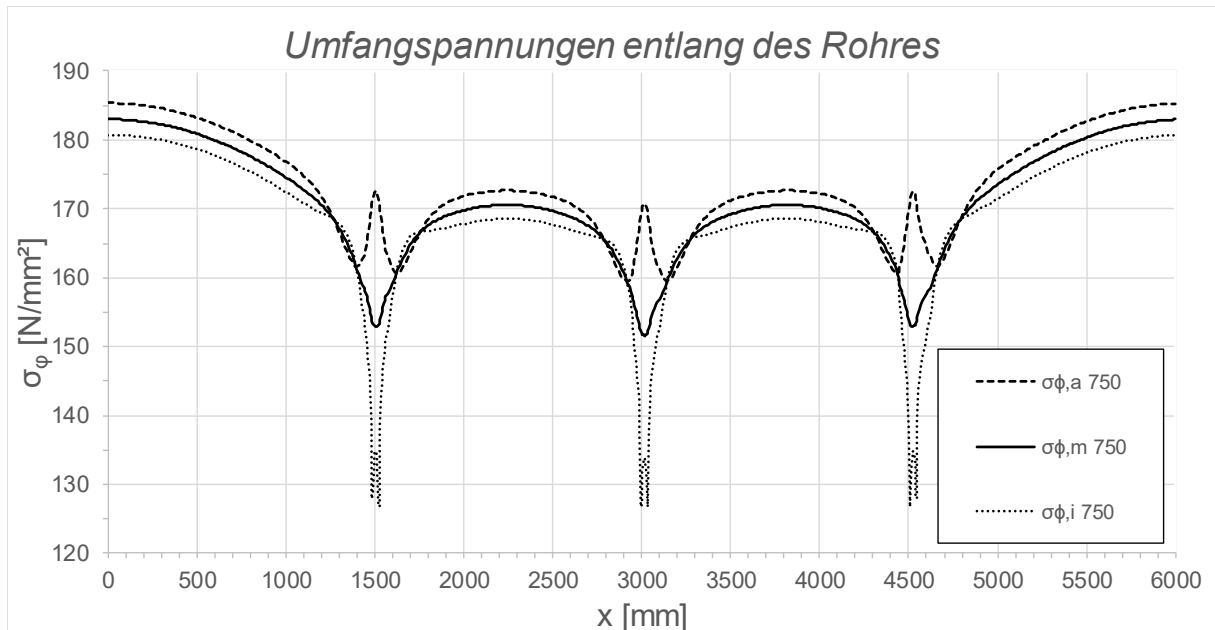


Abbildung B.52: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

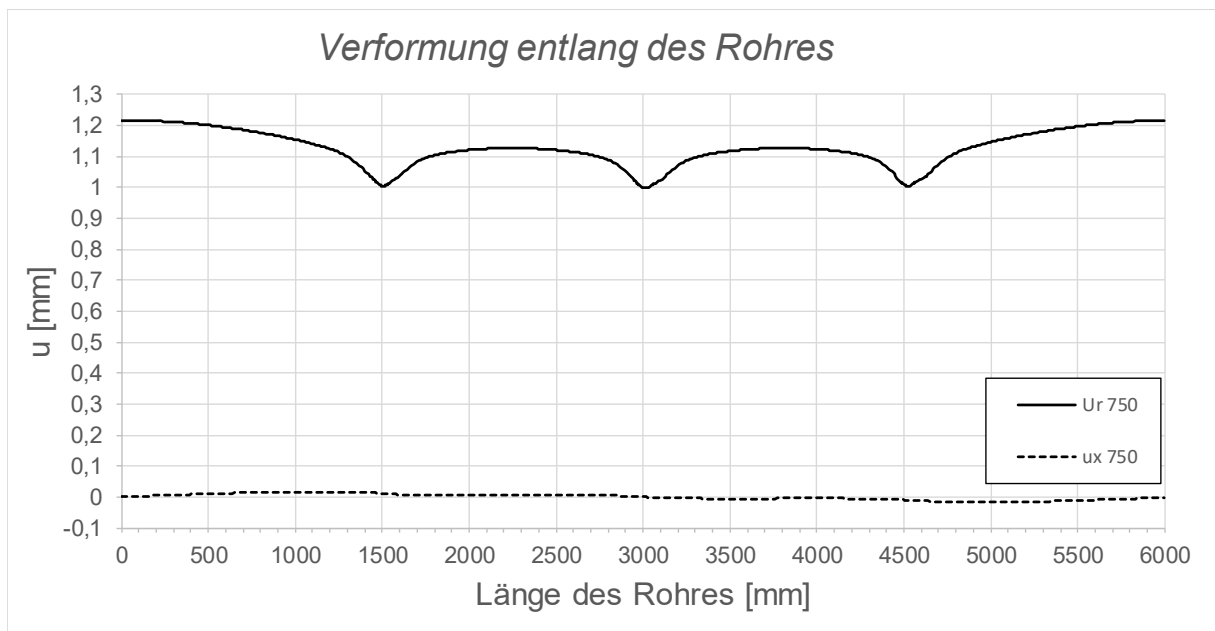


Abbildung B.53: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

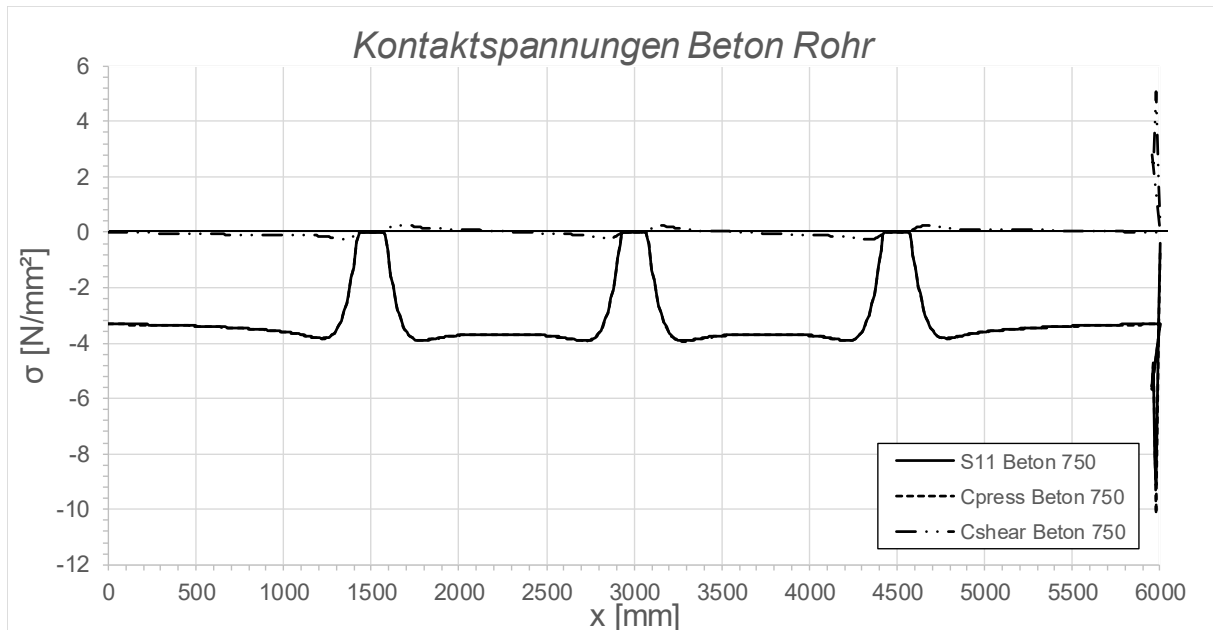


Abbildung B.54: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

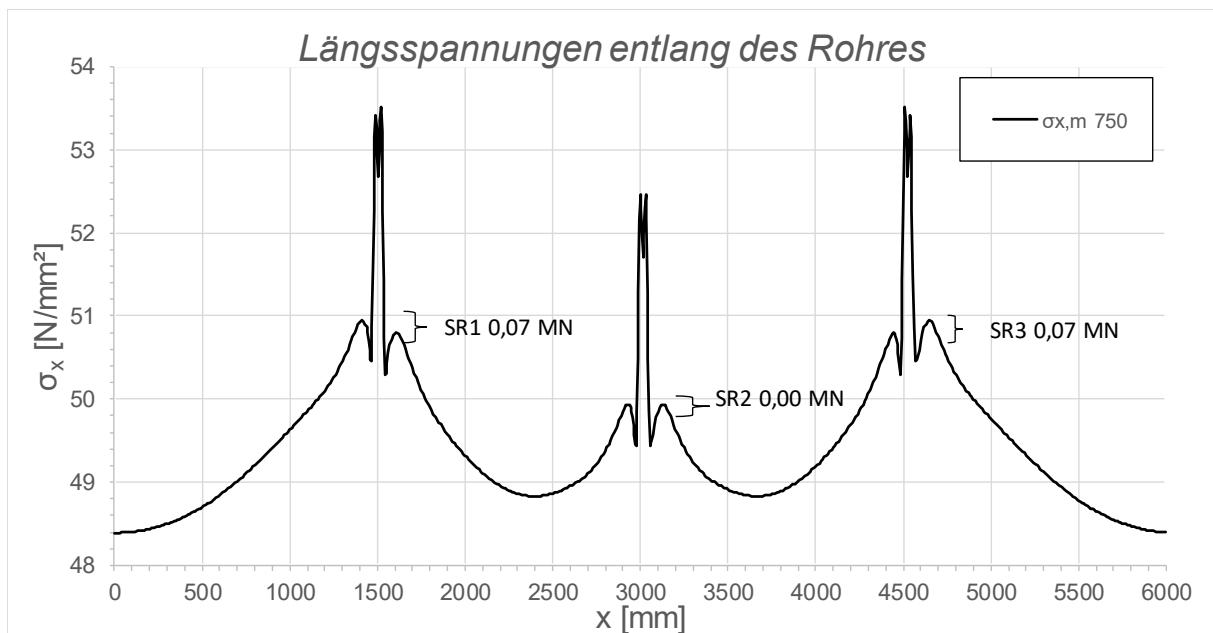


Abbildung B.55: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

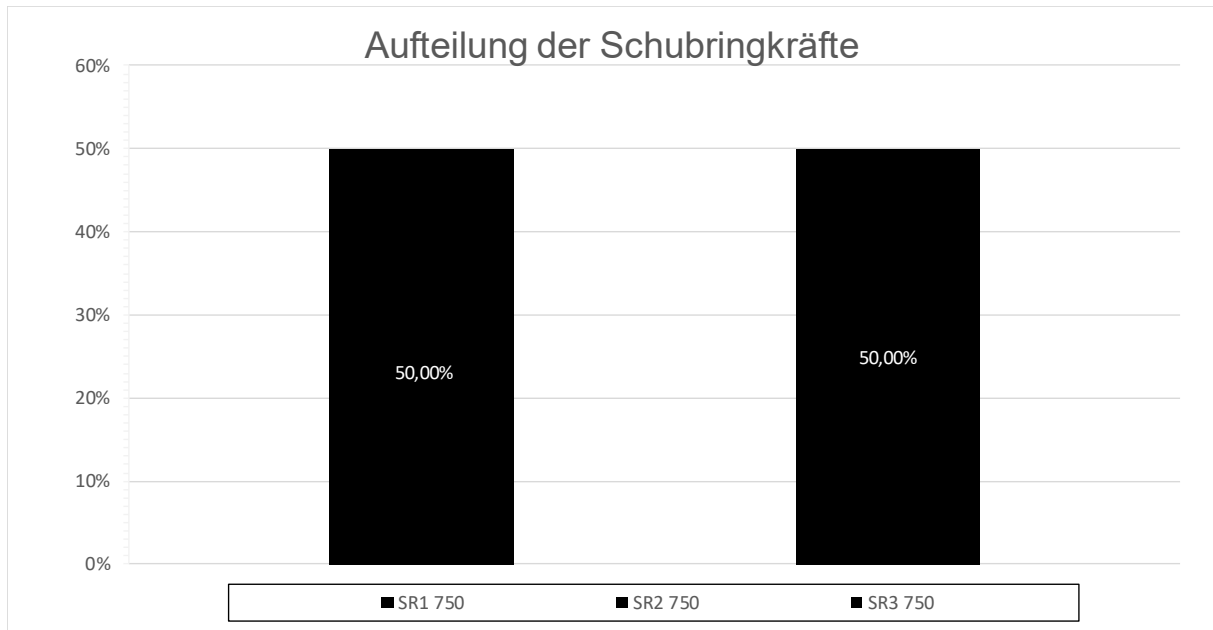


Abbildung B.56: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte; System SF1, LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

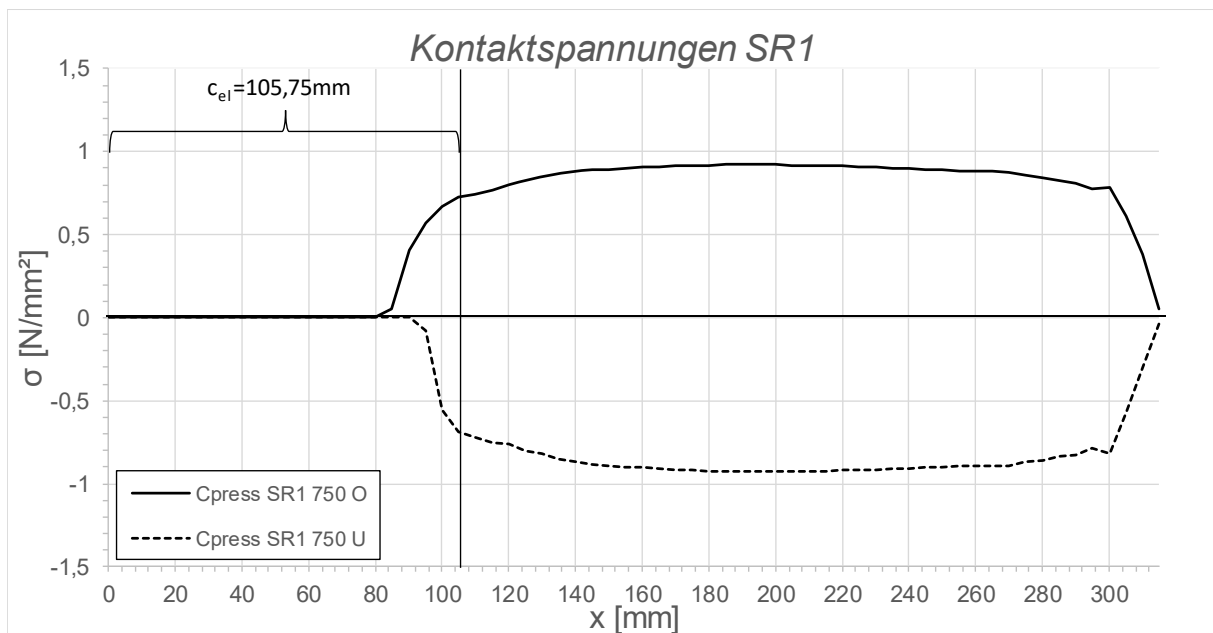


Abbildung B.57: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober-/Unterseite des Schubringes 1; SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

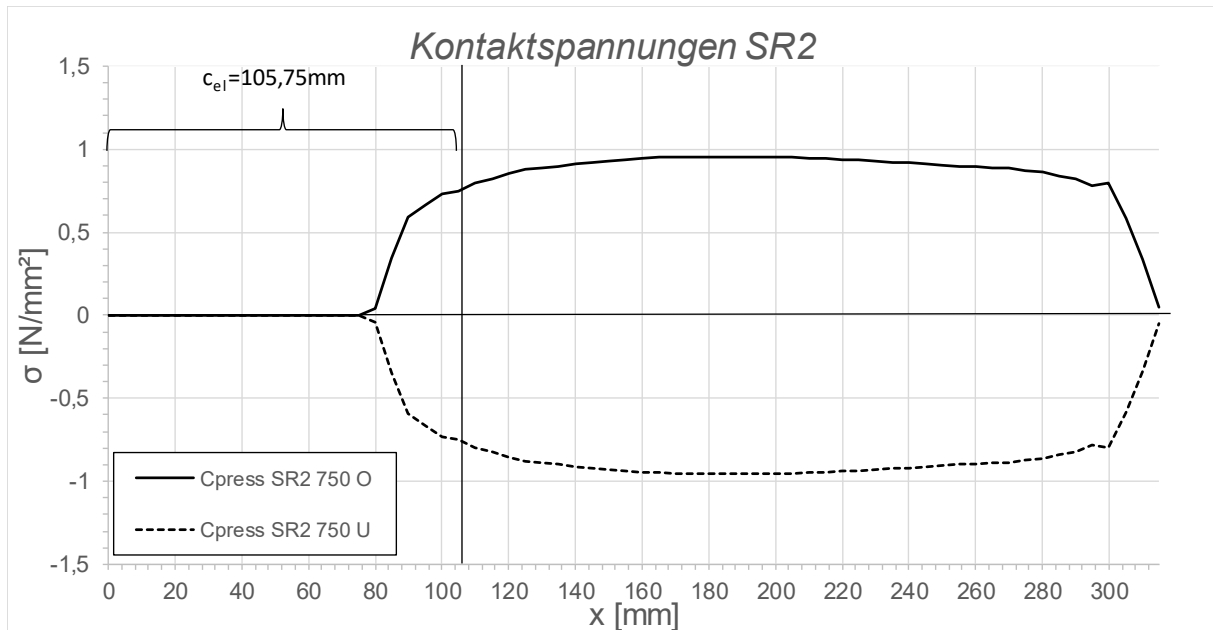


Abbildung B.58: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

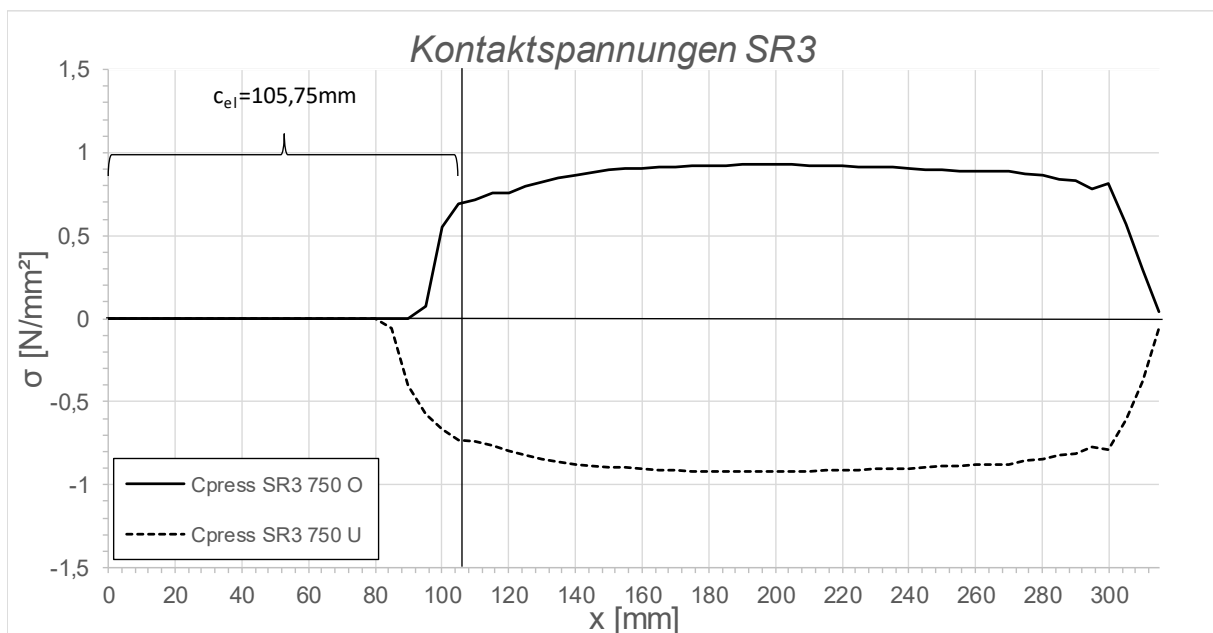


Abbildung B.59: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

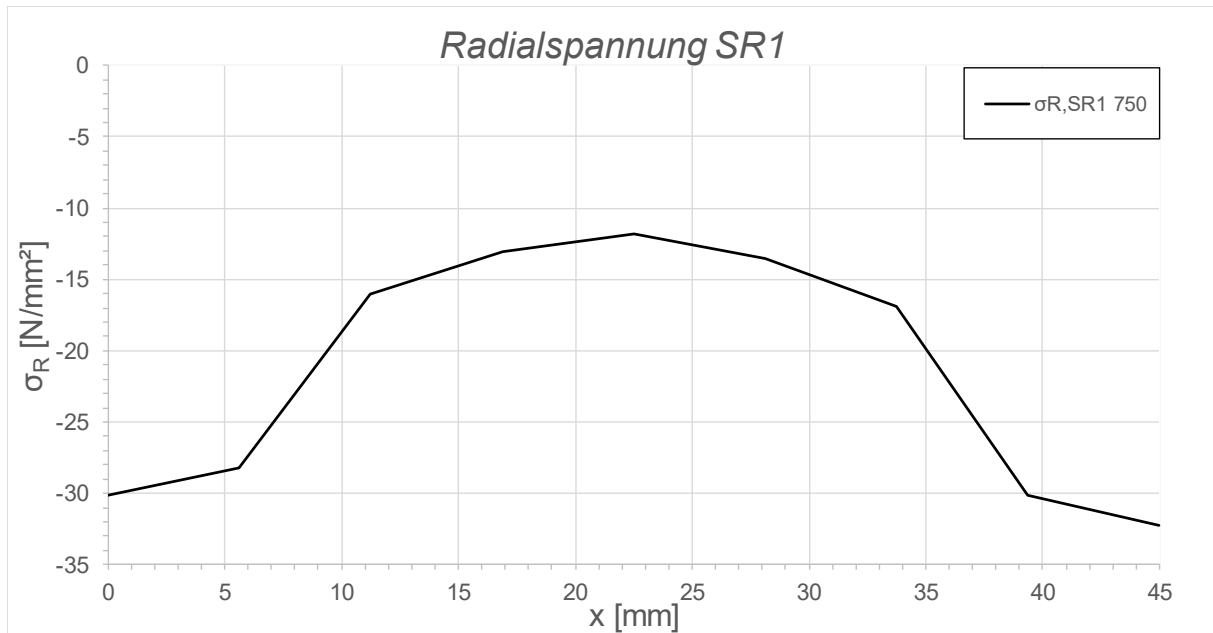


Abbildung B.60: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

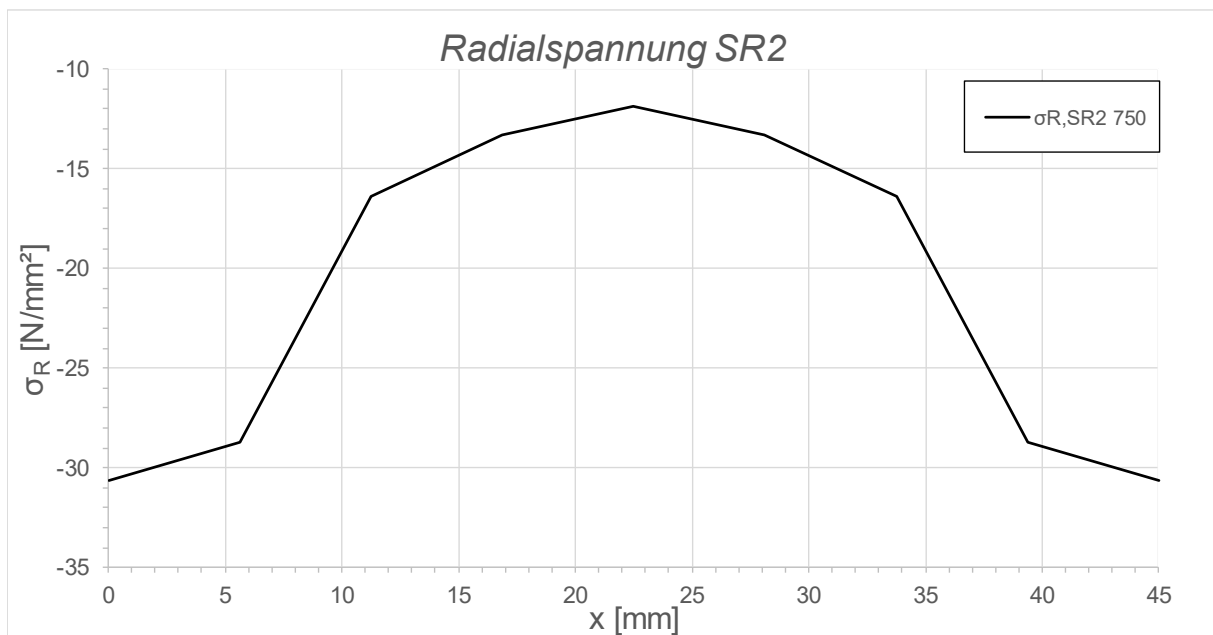


Abbildung B.61: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

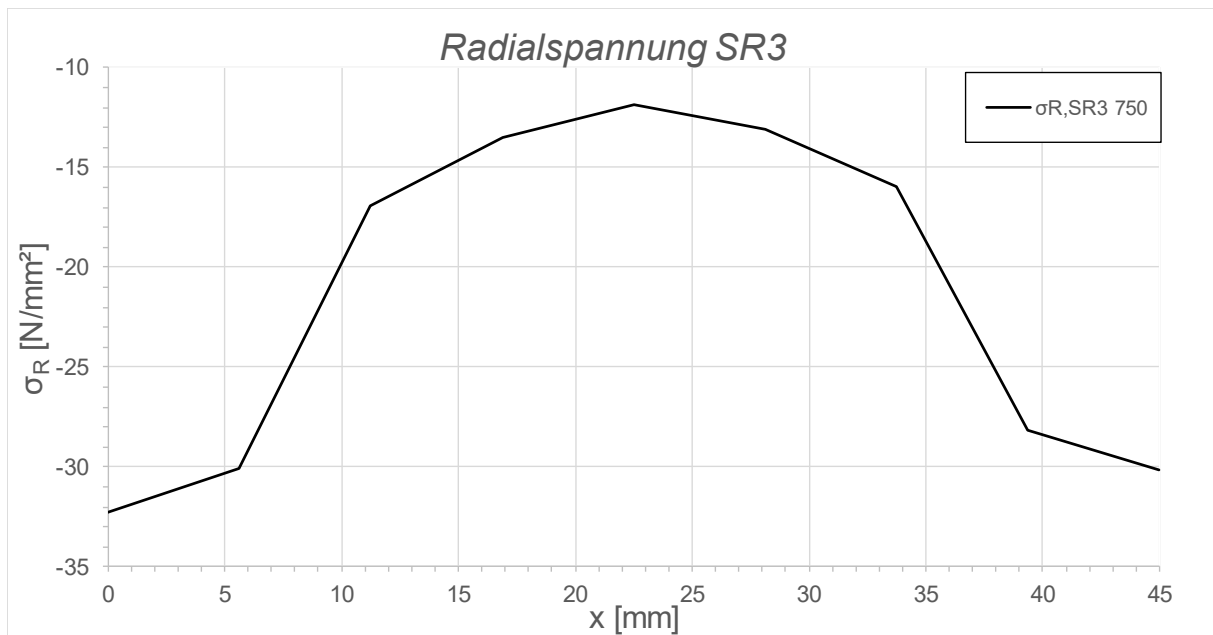


Abbildung B.62: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

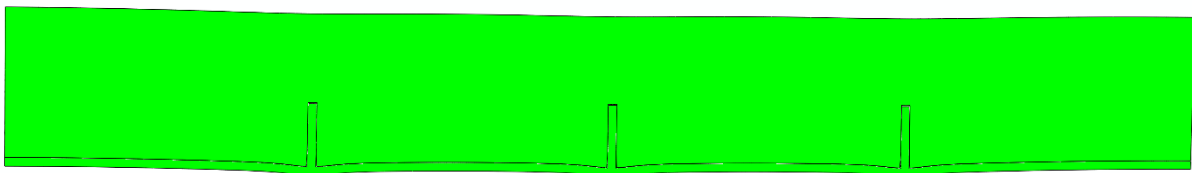


Abbildung B.63: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.2.6 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$

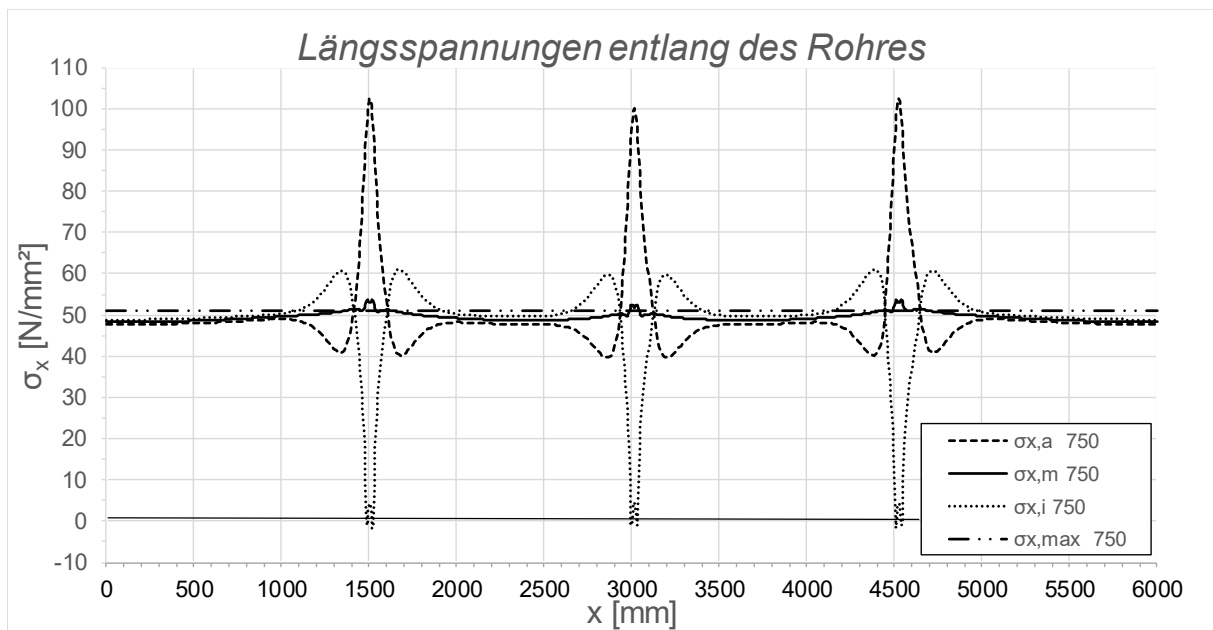


Abbildung B.64: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

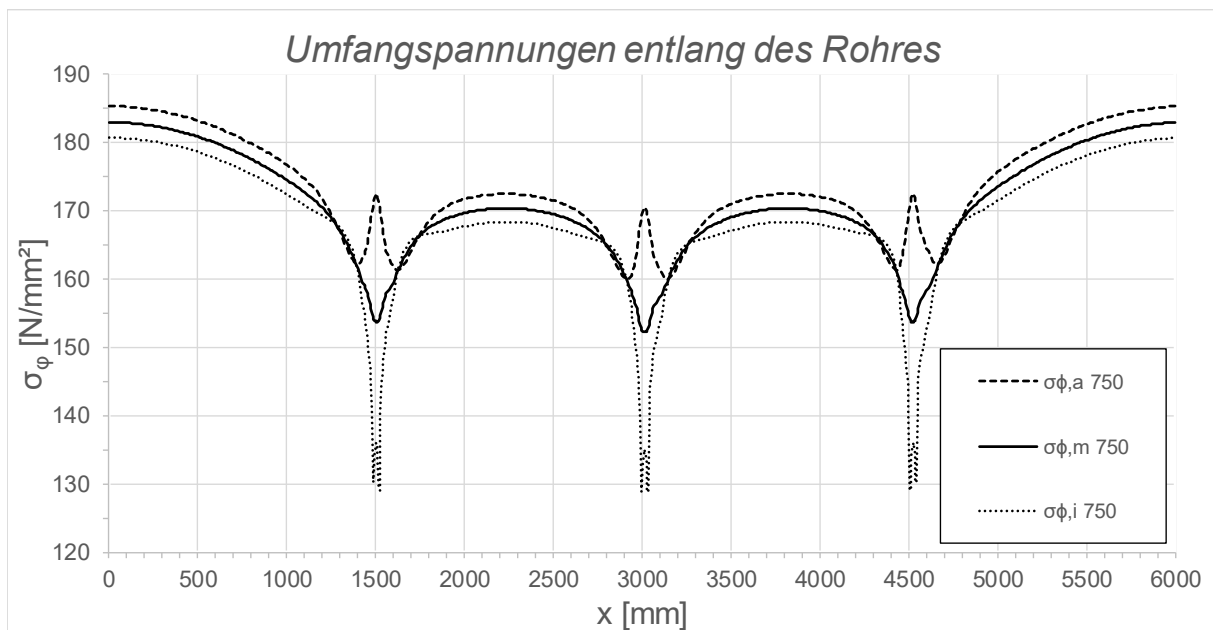


Abbildung B.65: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

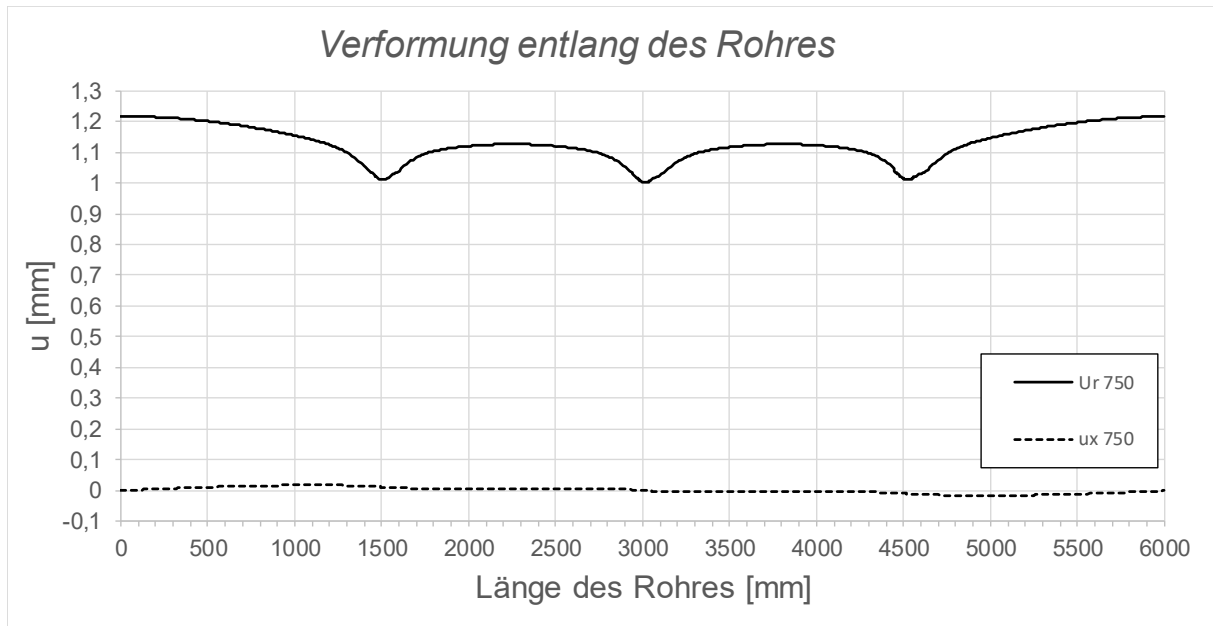


Abbildung B.66: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

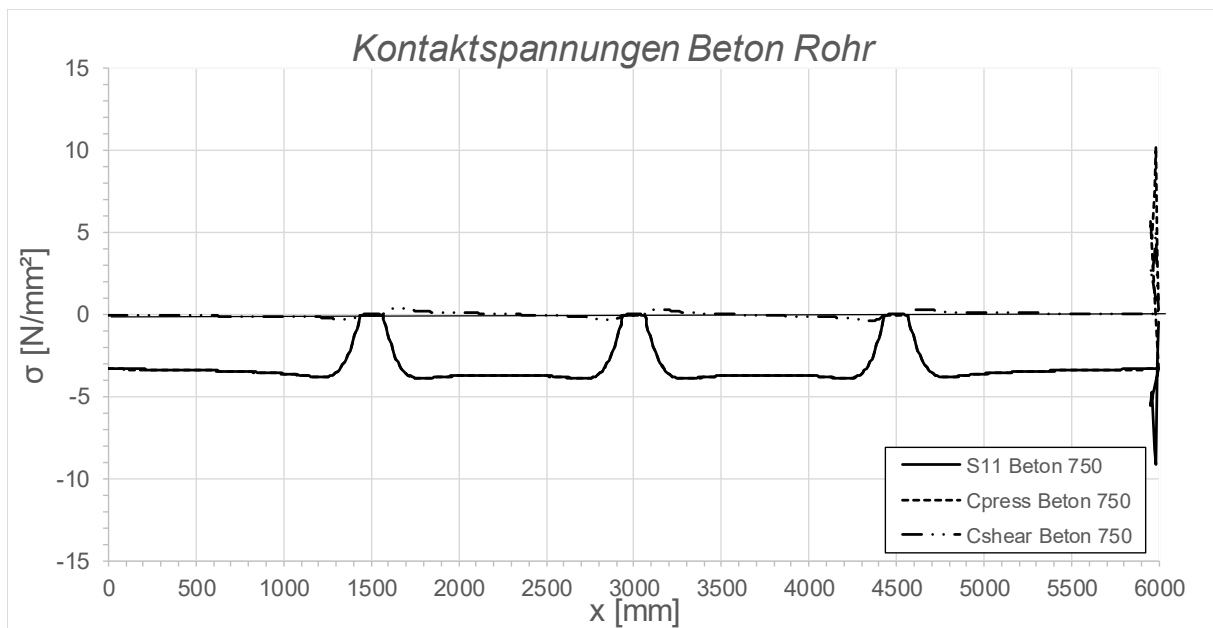


Abbildung B.67: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

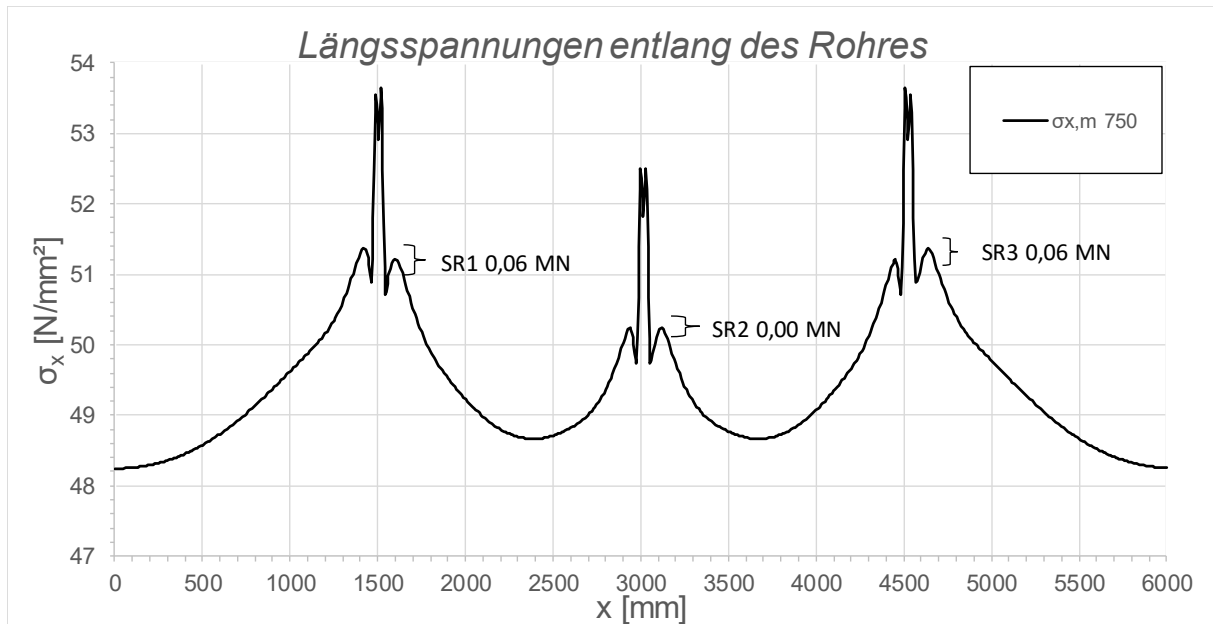


Abbildung B.68: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

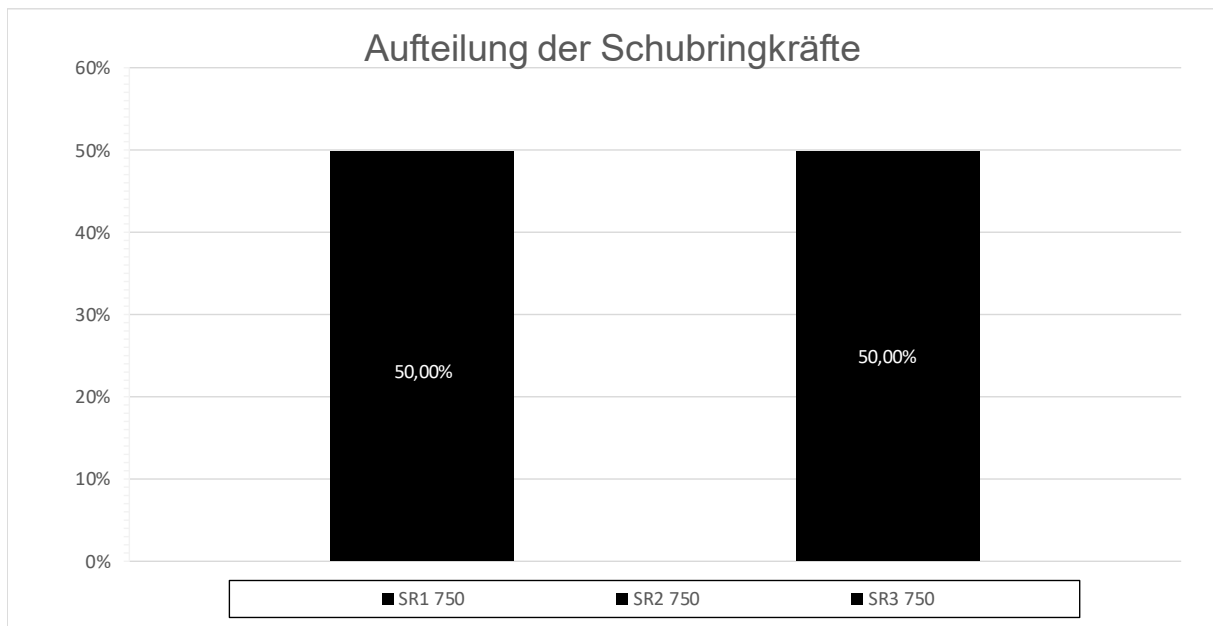


Abbildung B.69: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

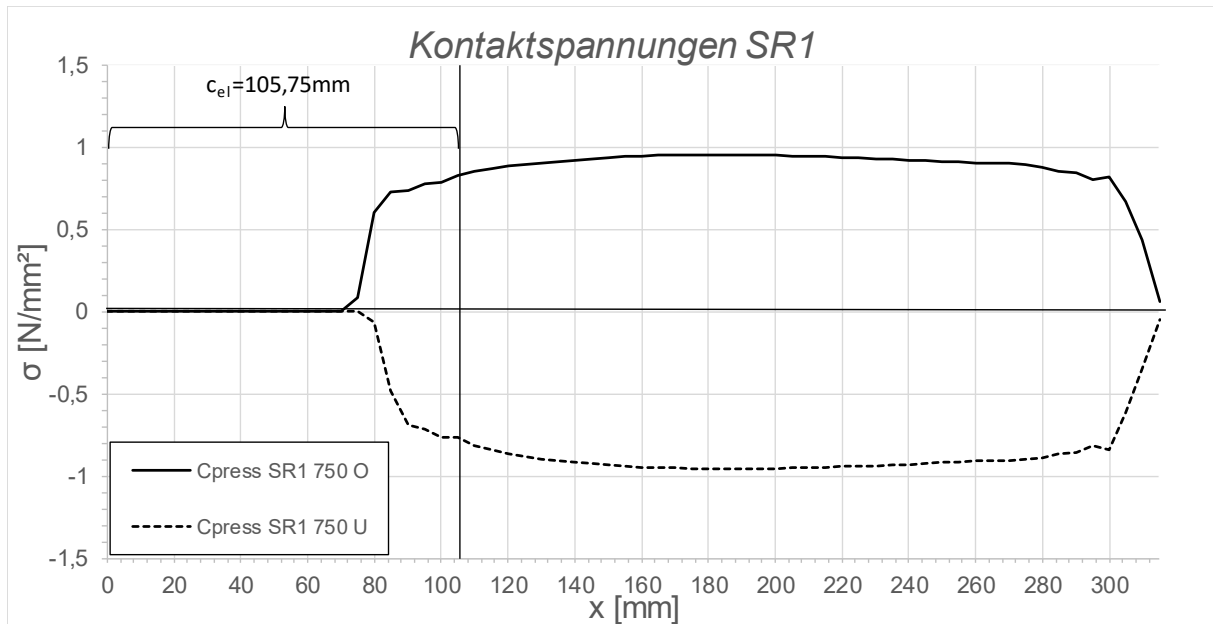


Abbildung B.70: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

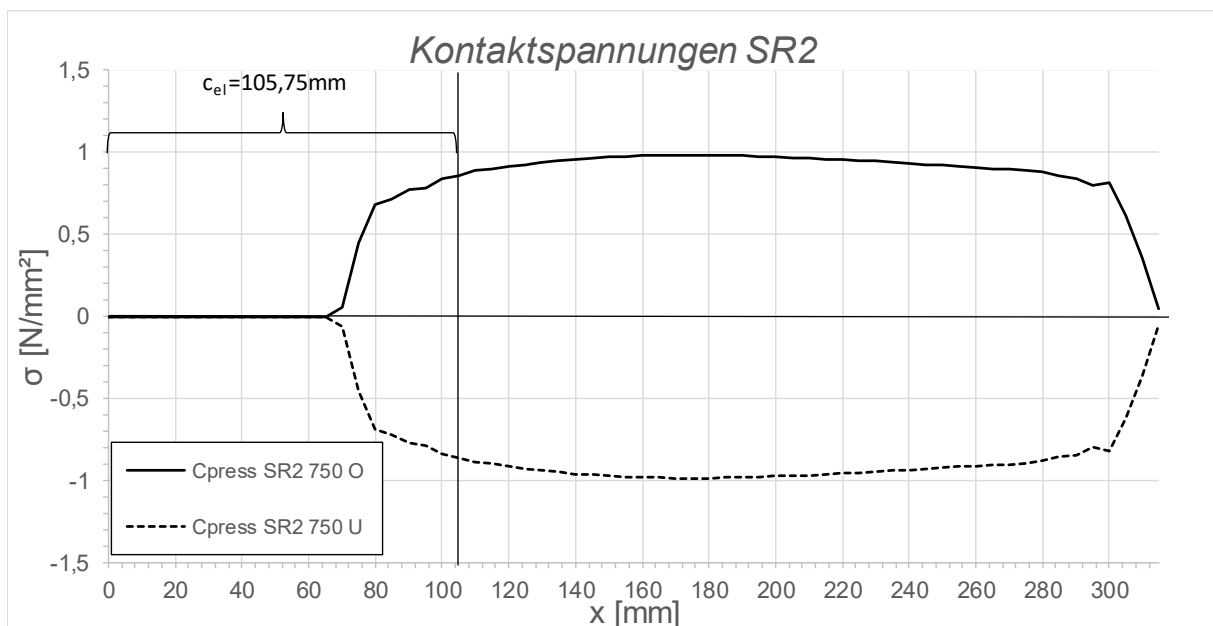


Abbildung B.71: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

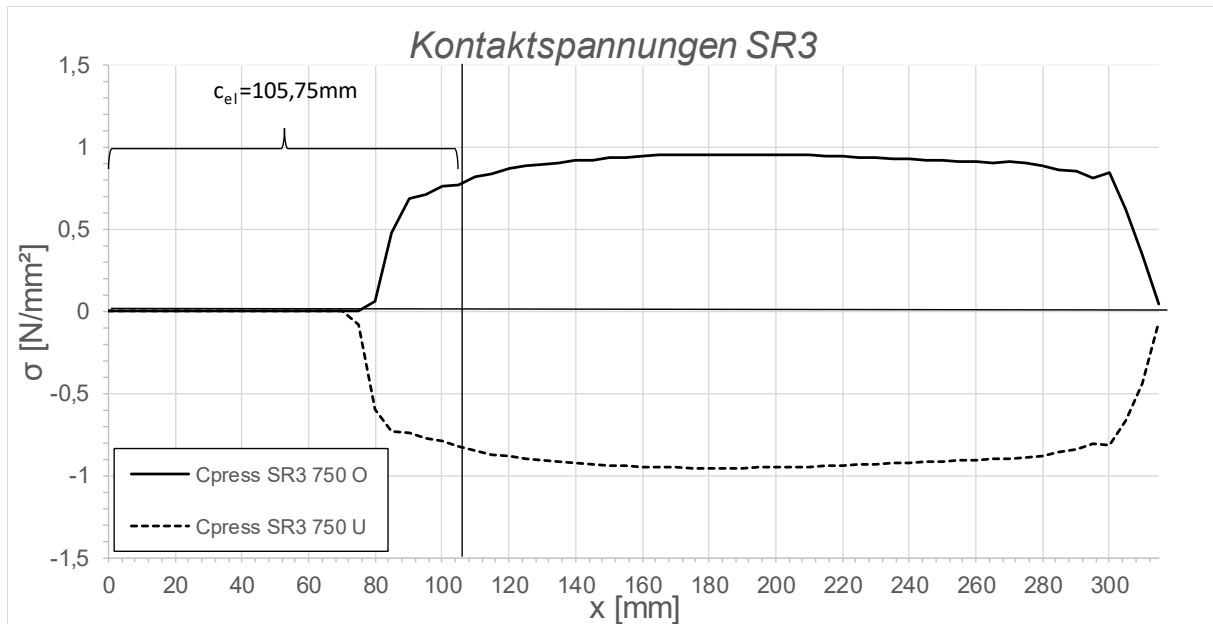


Abbildung B.72: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

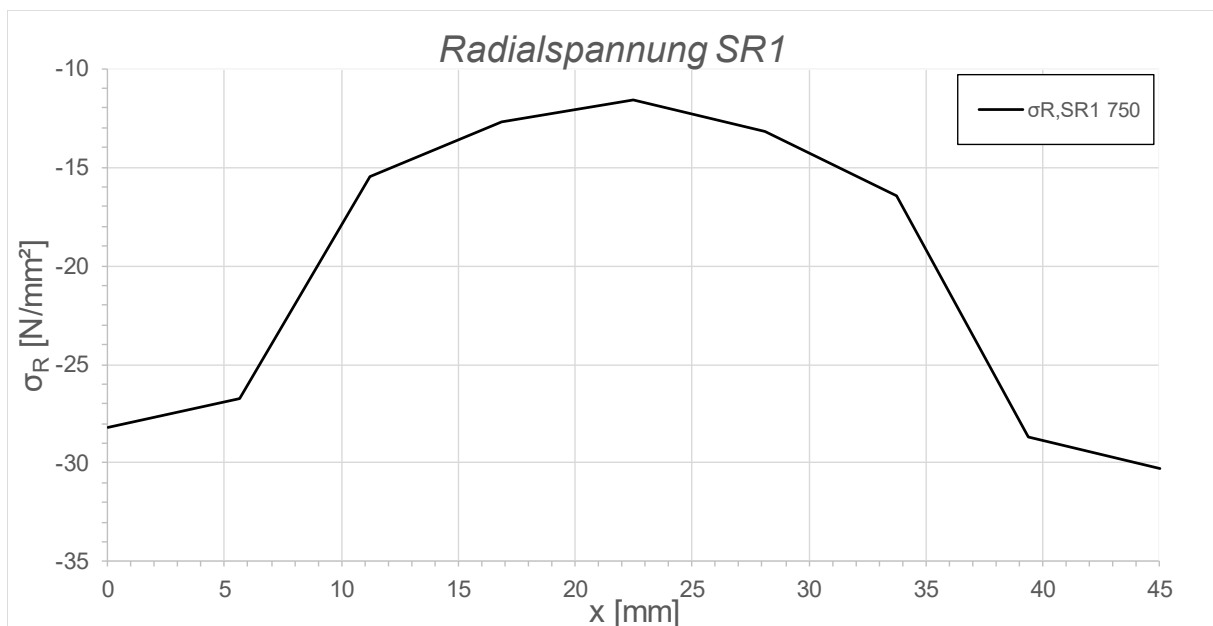


Abbildung B.73: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

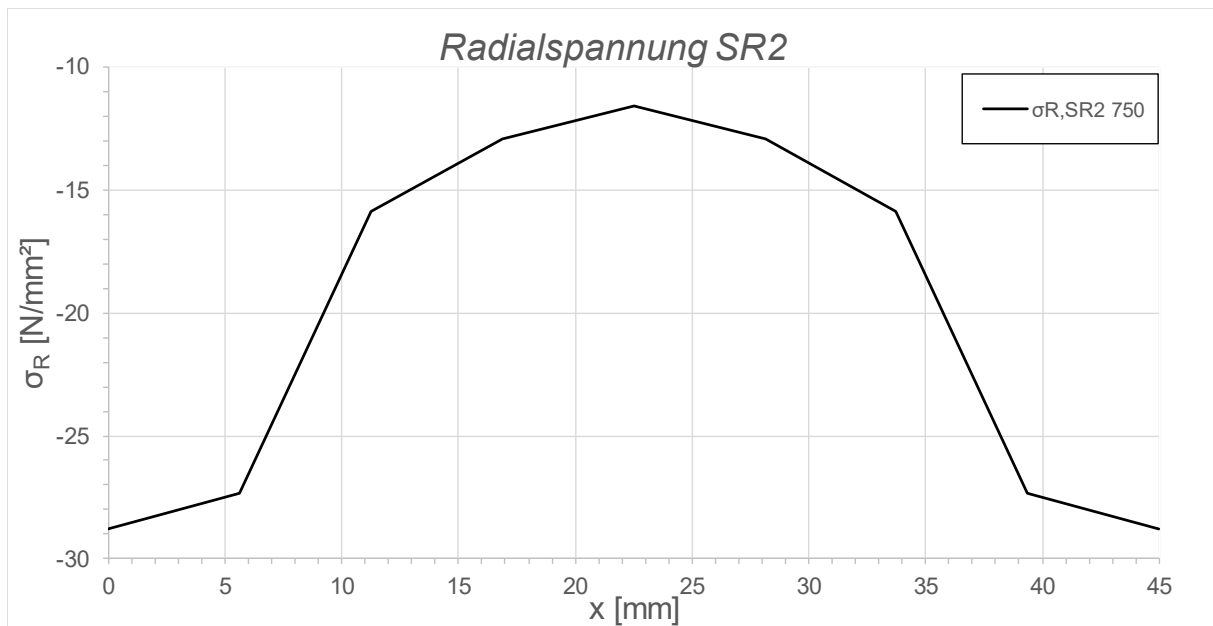


Abbildung B.74: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

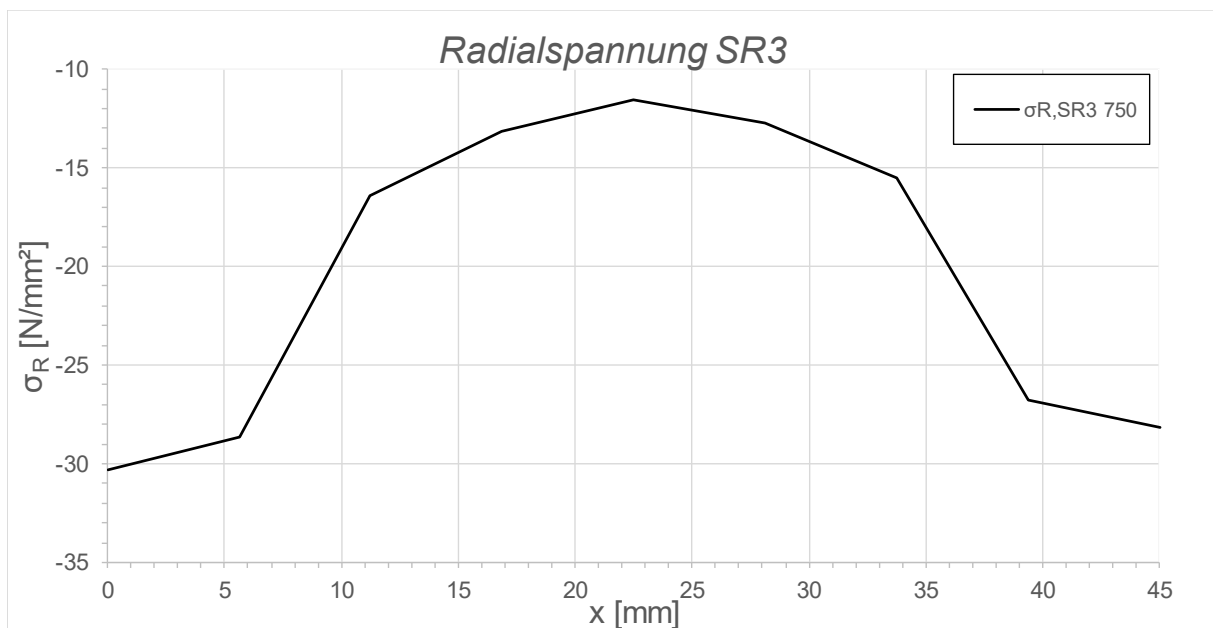


Abbildung B.75: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

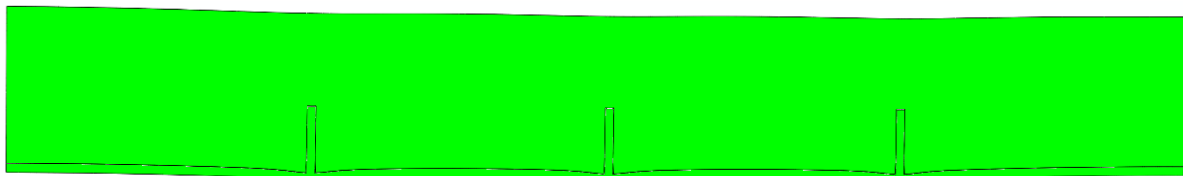


Abbildung B.76: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.2.7 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$

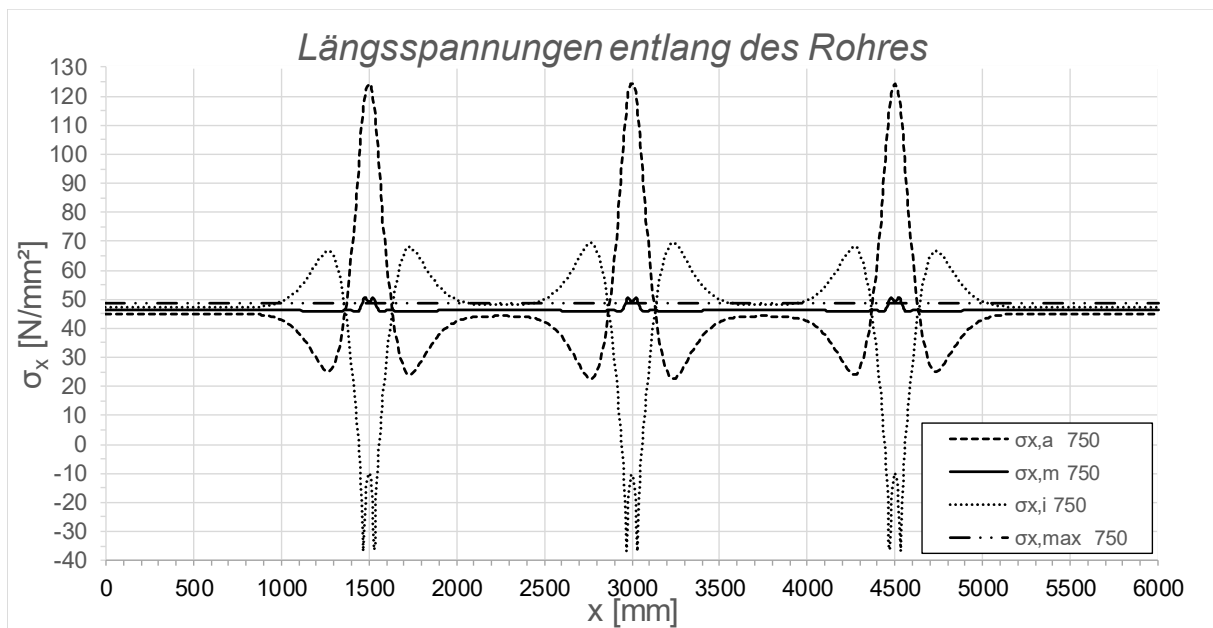


Abbildung B.77: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

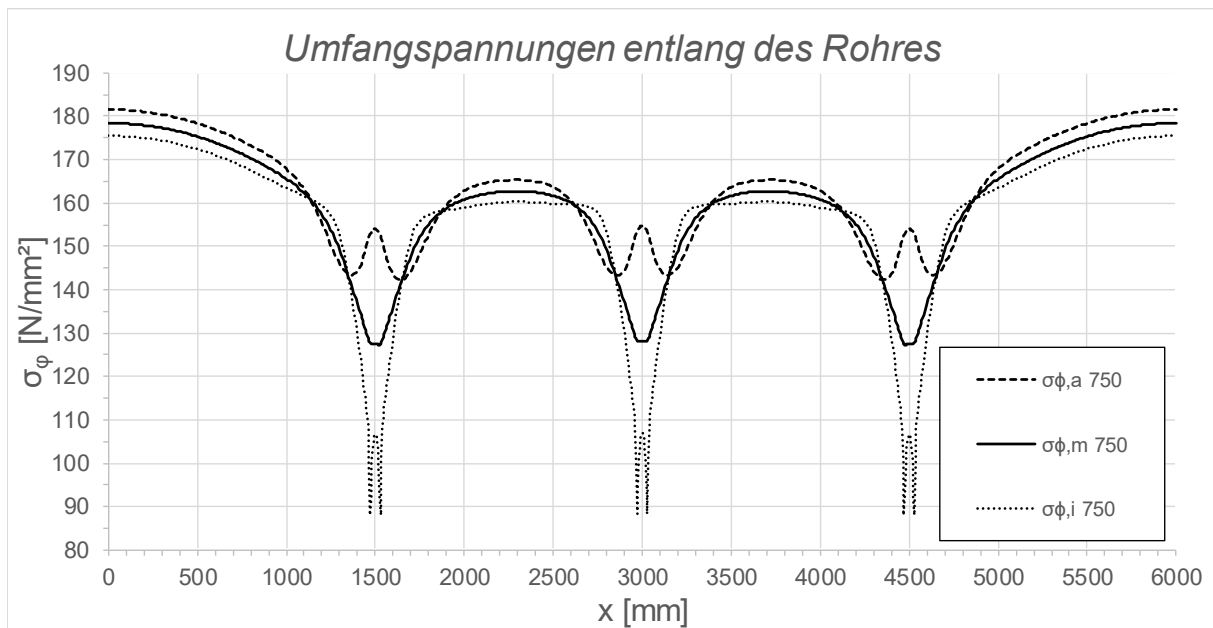


Abbildung B.78: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

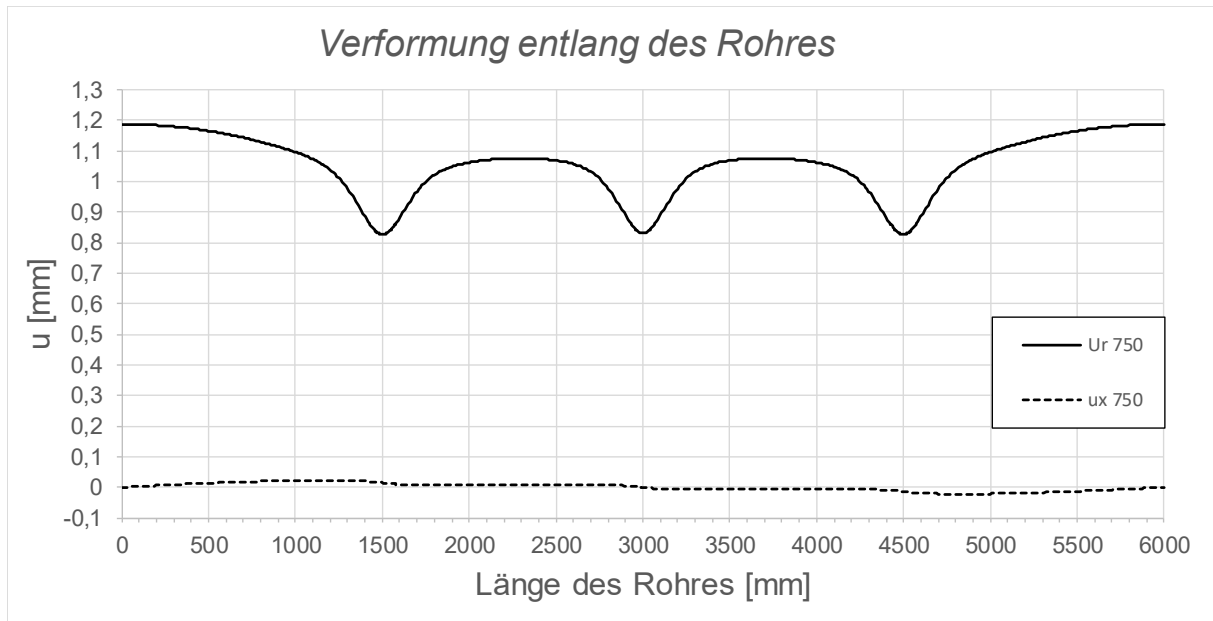


Abbildung B.79: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

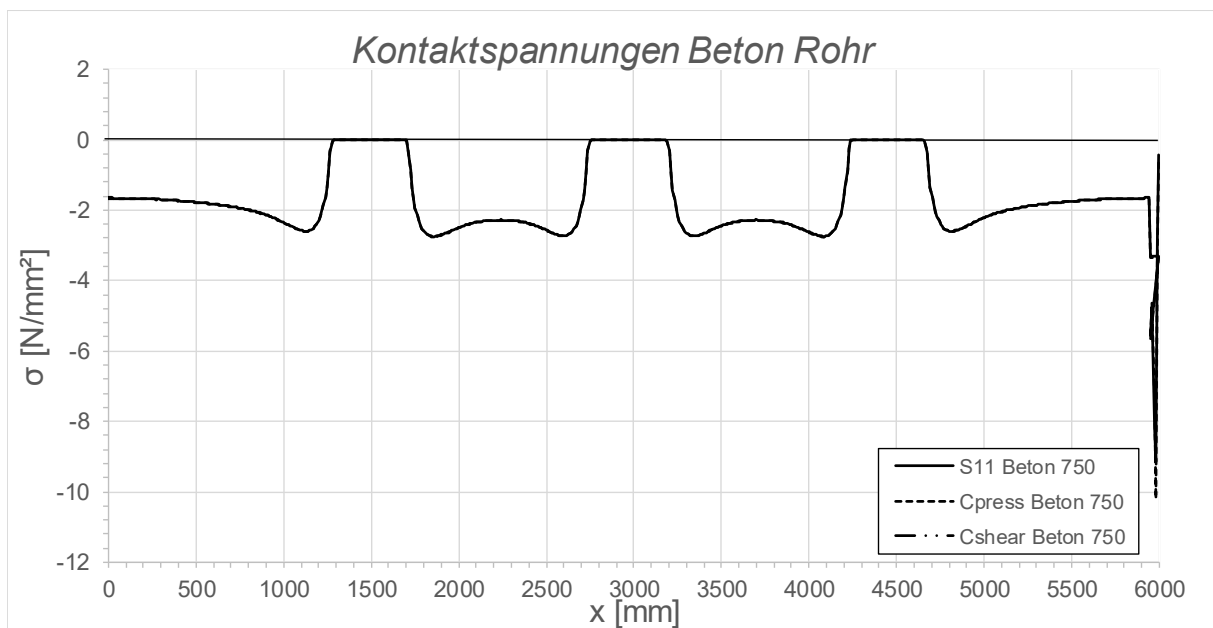


Abbildung B.80: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

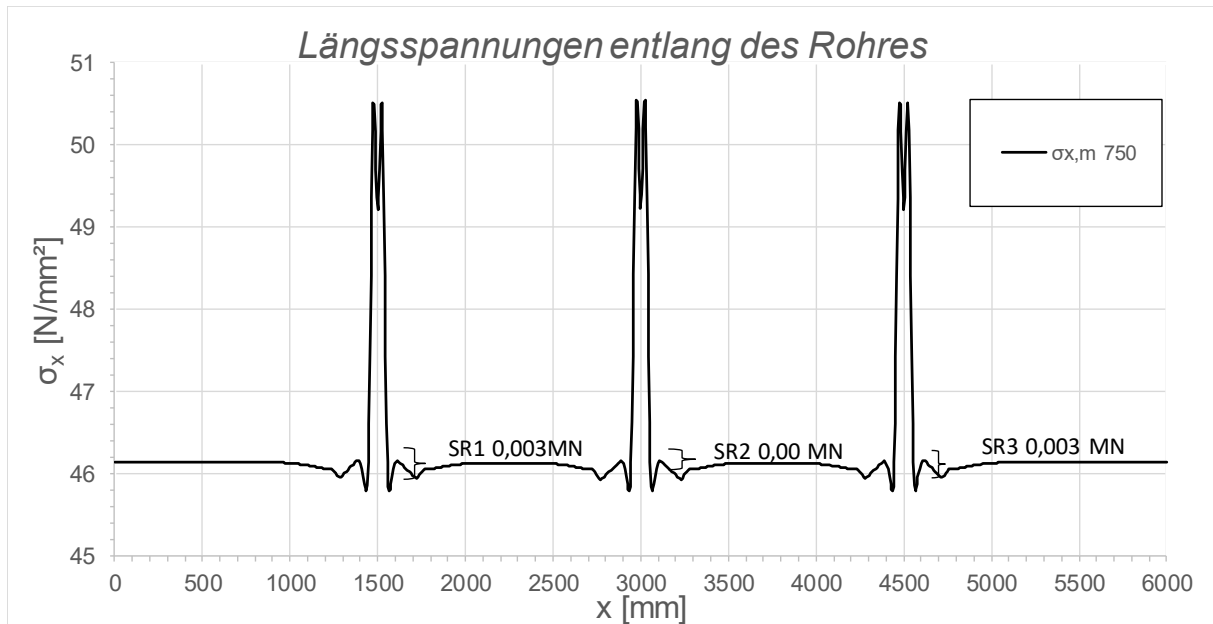


Abbildung B.81: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

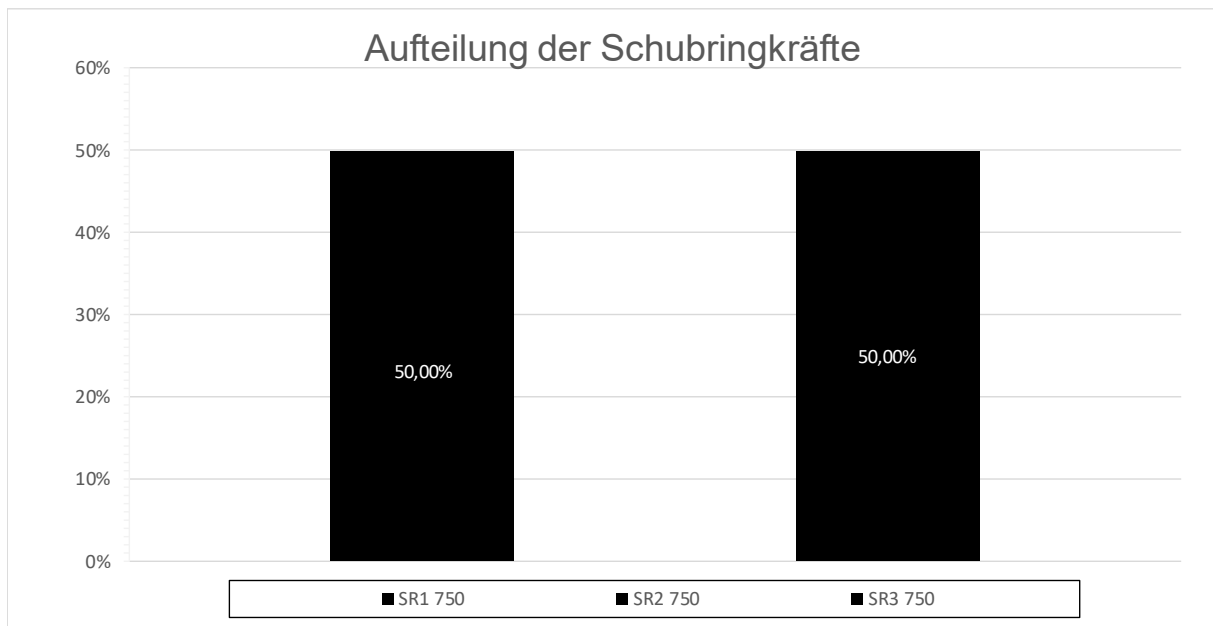


Abbildung B.82: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

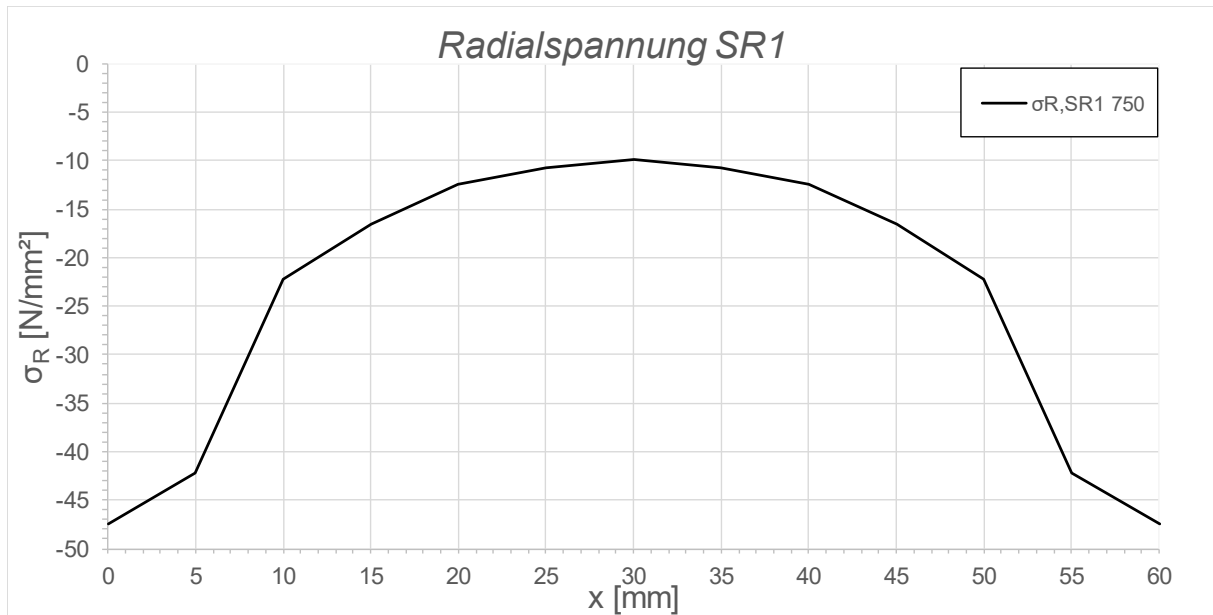


Abbildung B.83: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

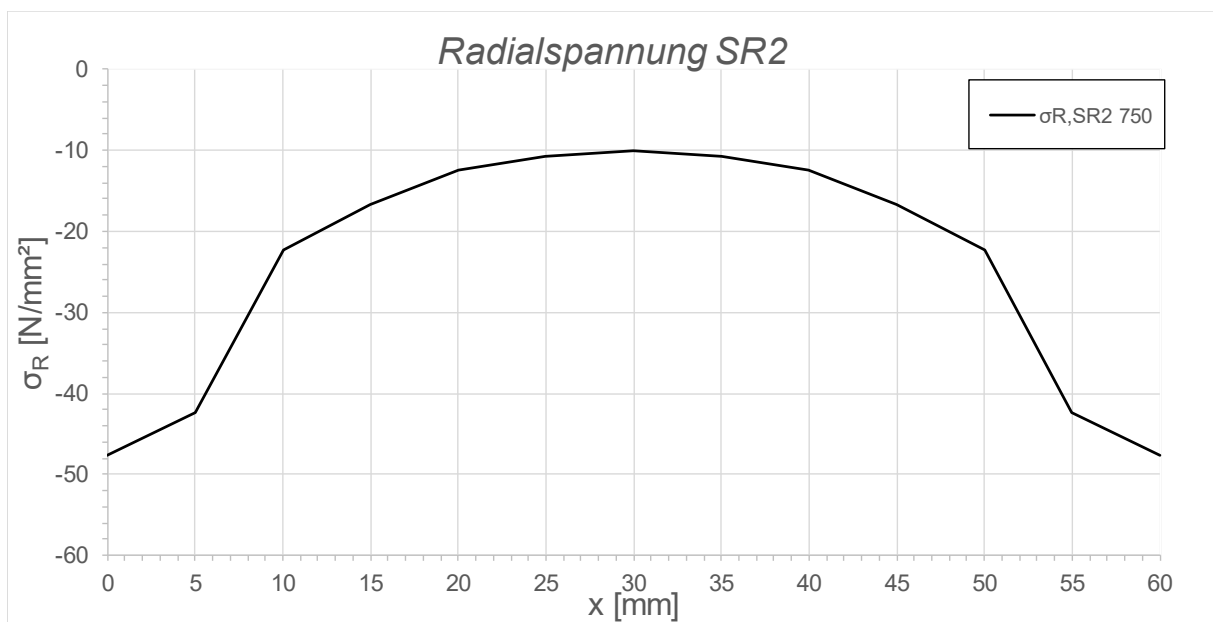


Abbildung B.84: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

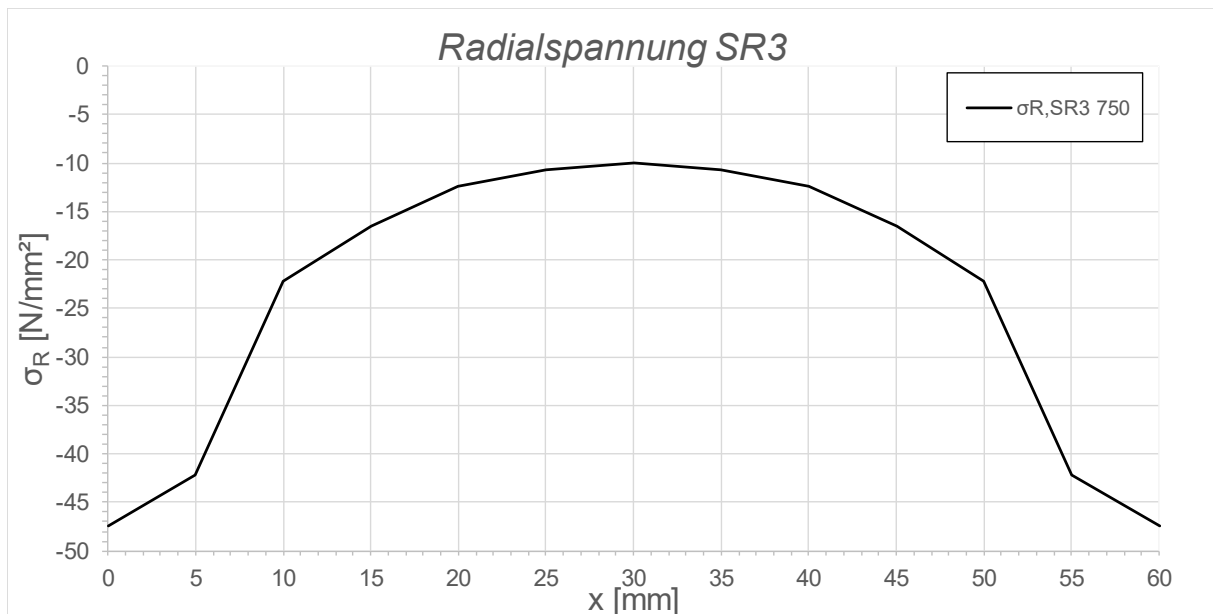


Abbildung B.85: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

B.2.8 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$

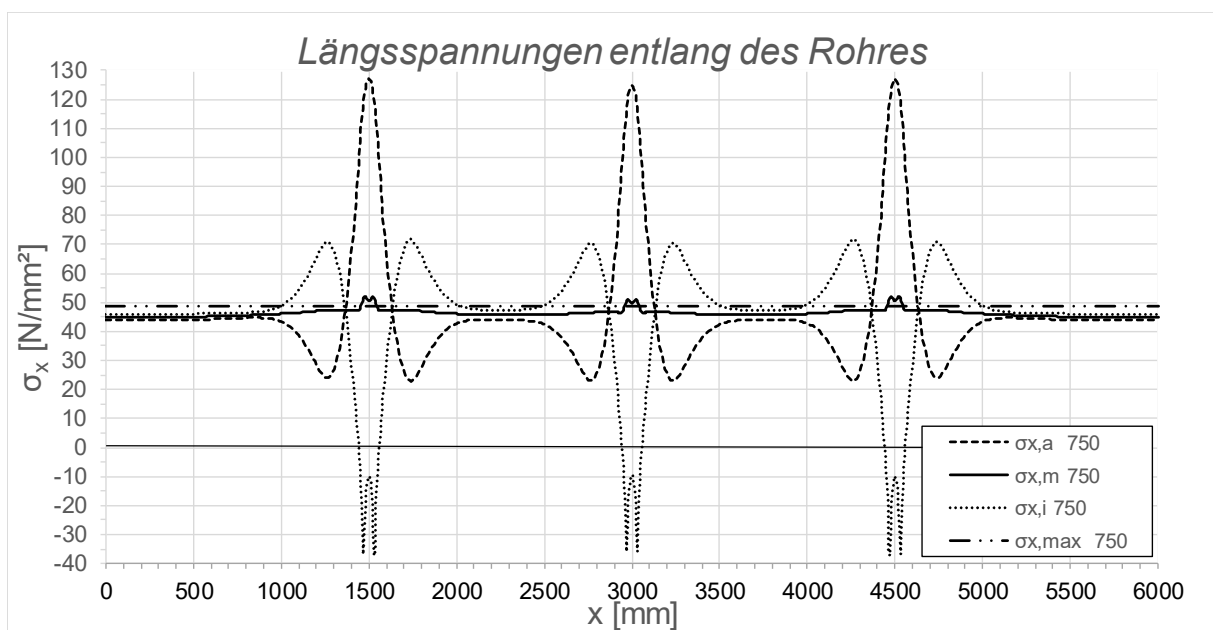


Abbildung B.86: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

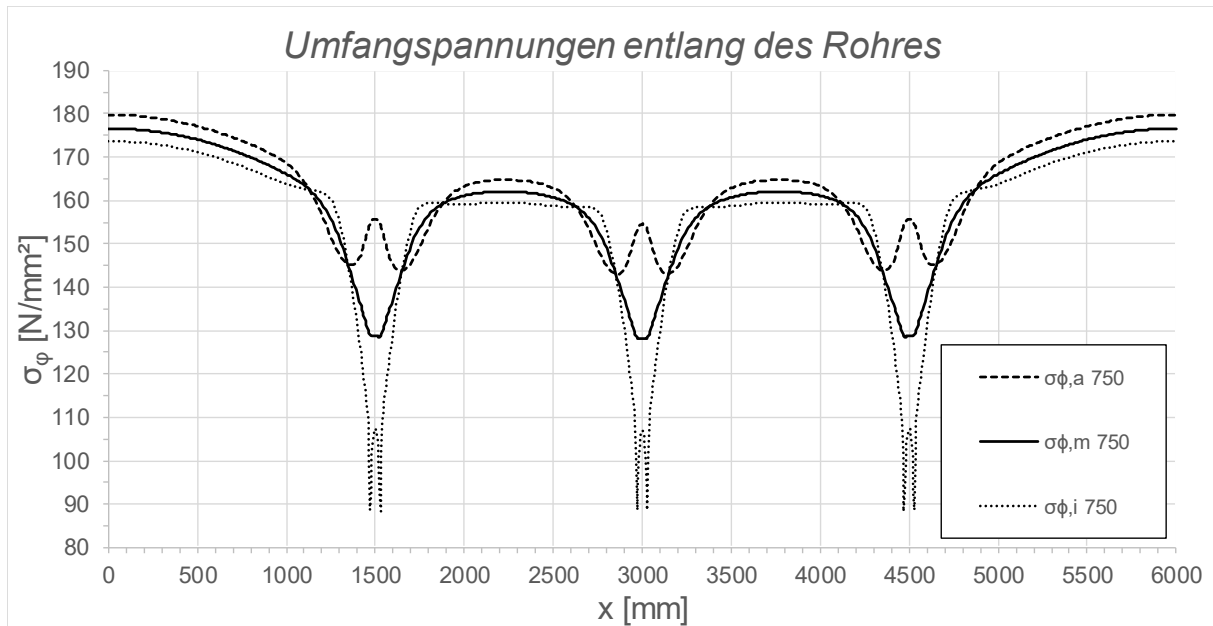


Abbildung B.87: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,24$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

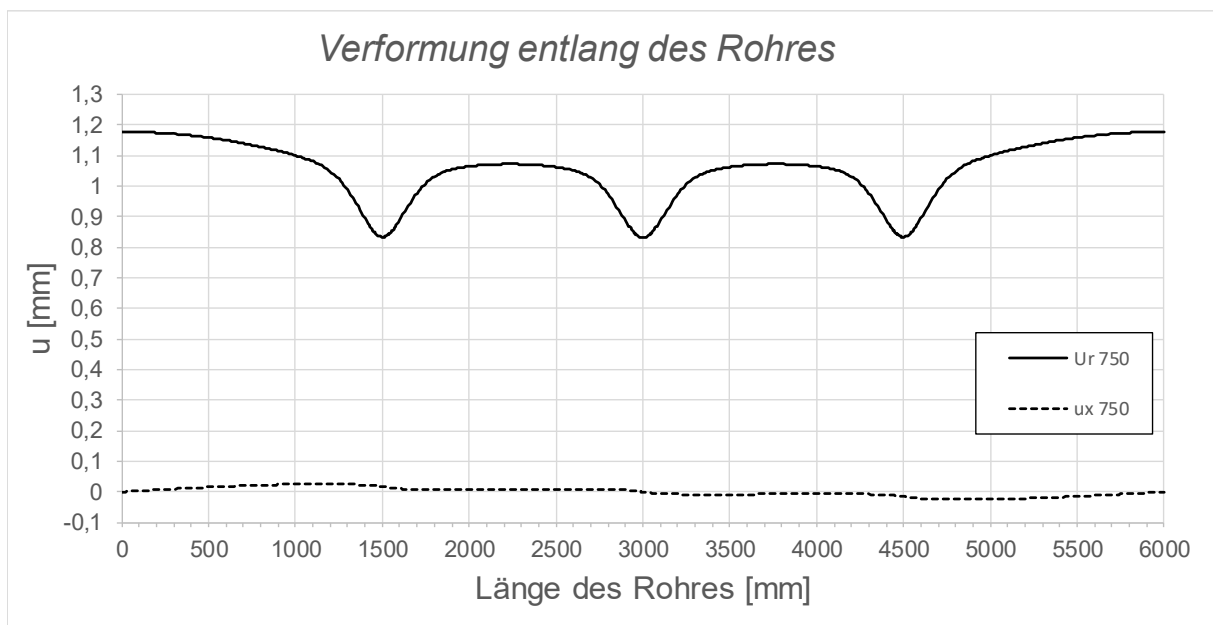


Abbildung B.88: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

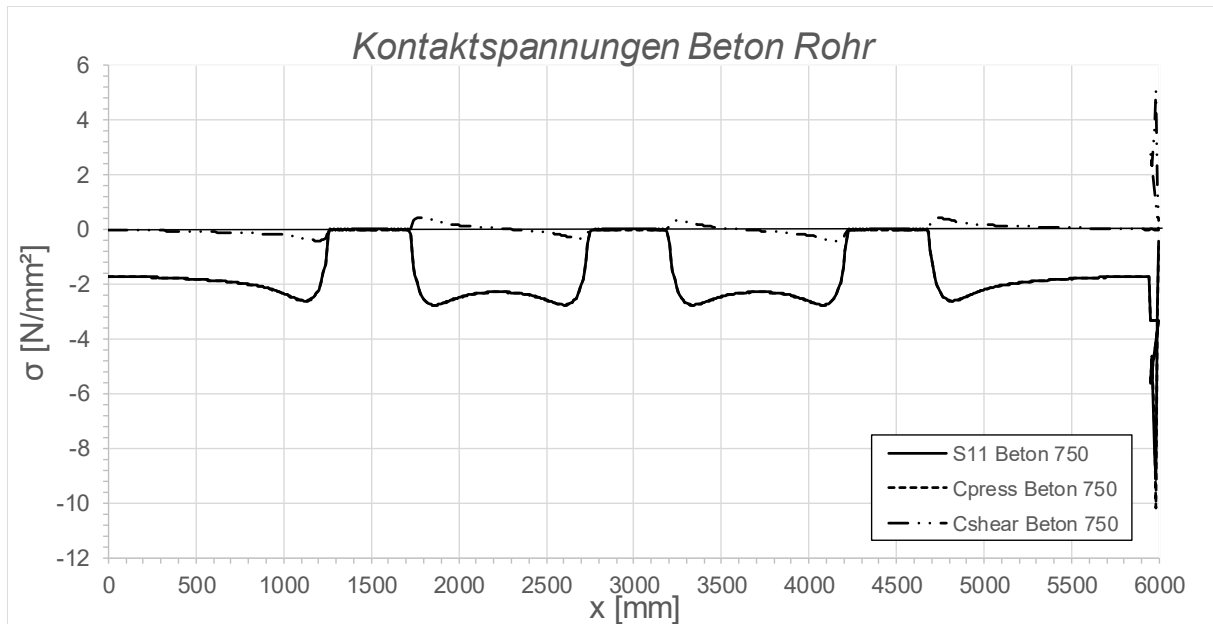


Abbildung B.89: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

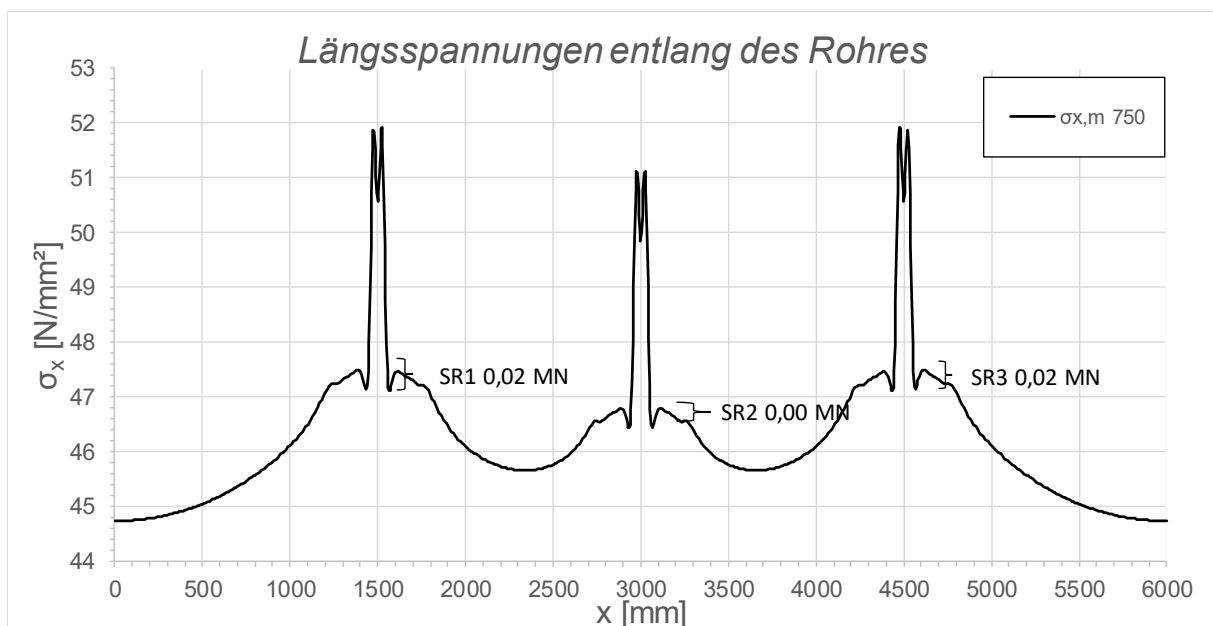


Abbildung B.90: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

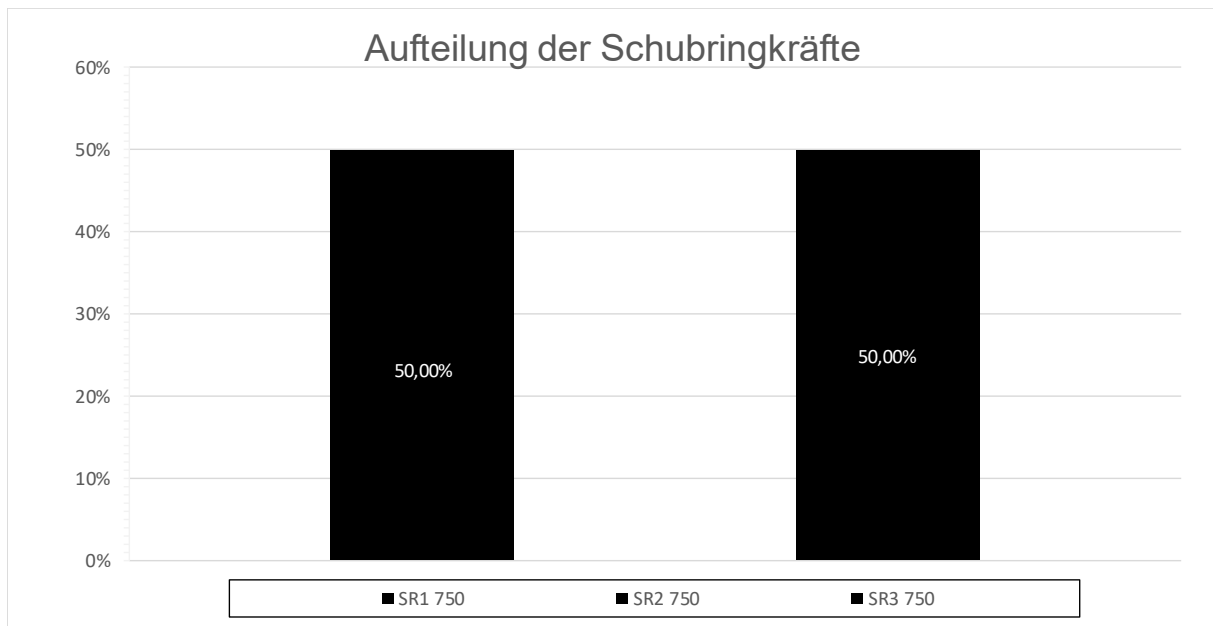


Abbildung B.91: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

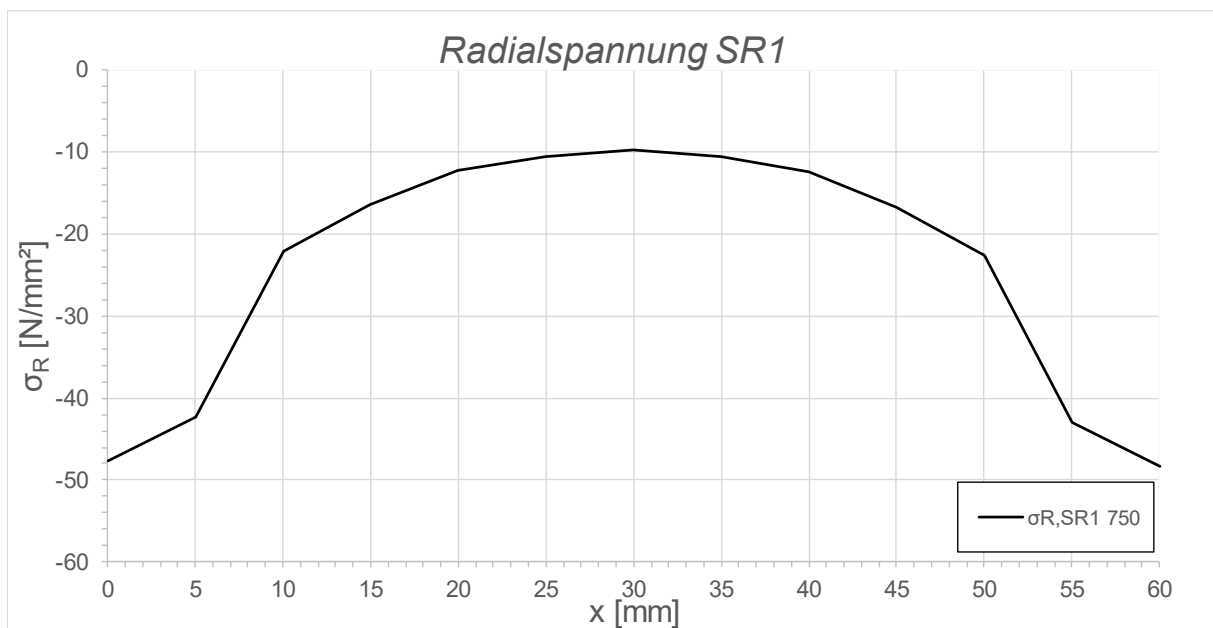


Abbildung B.92: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

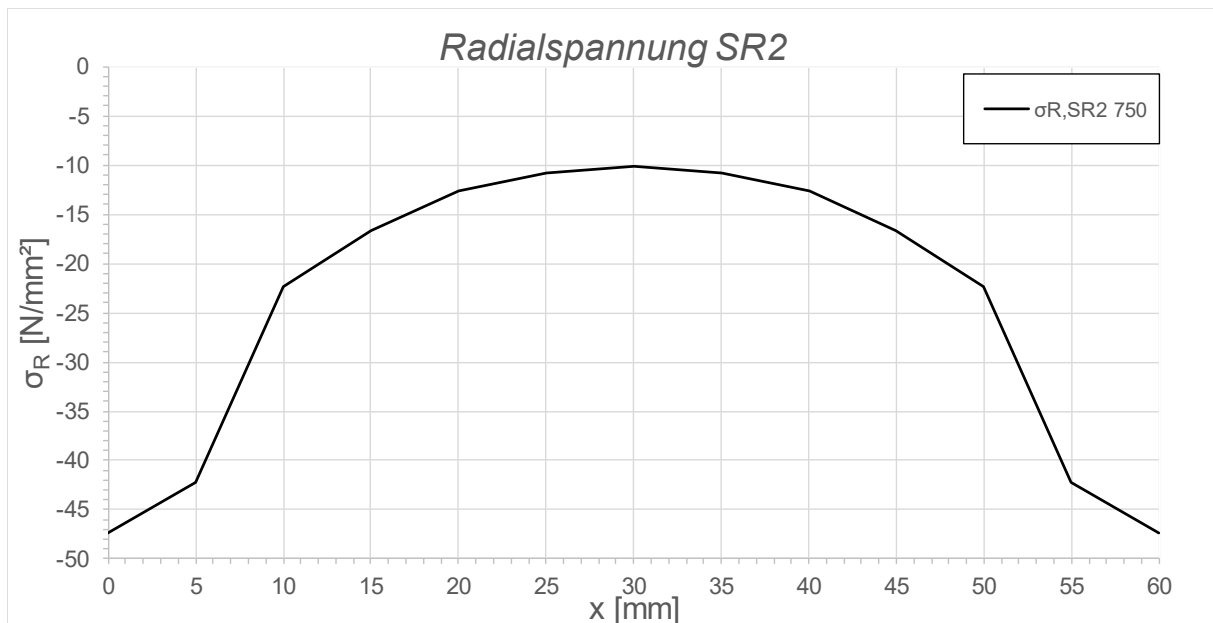


Abbildung B.93: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

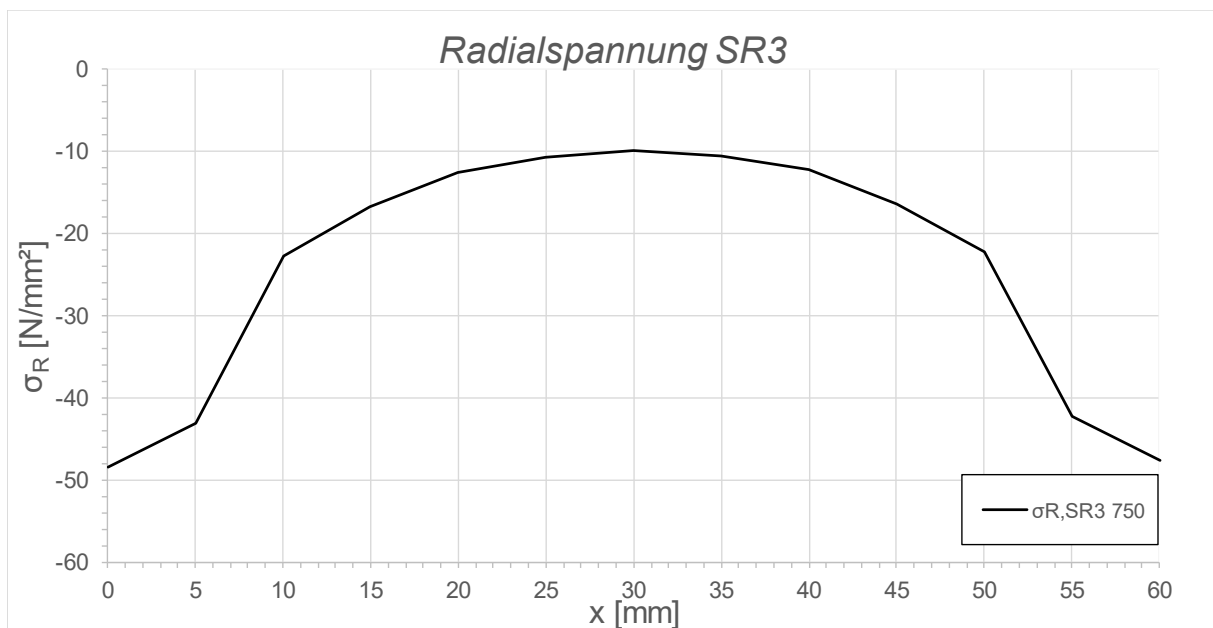


Abbildung B.94: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

B.2.9 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$

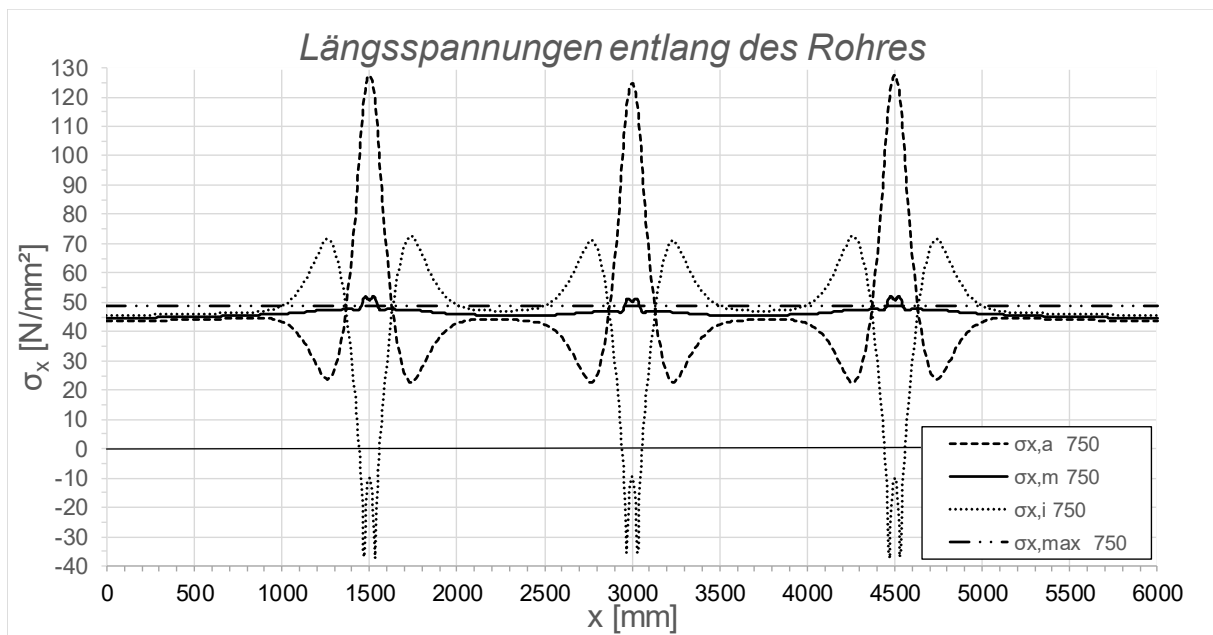


Abbildung B.95: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

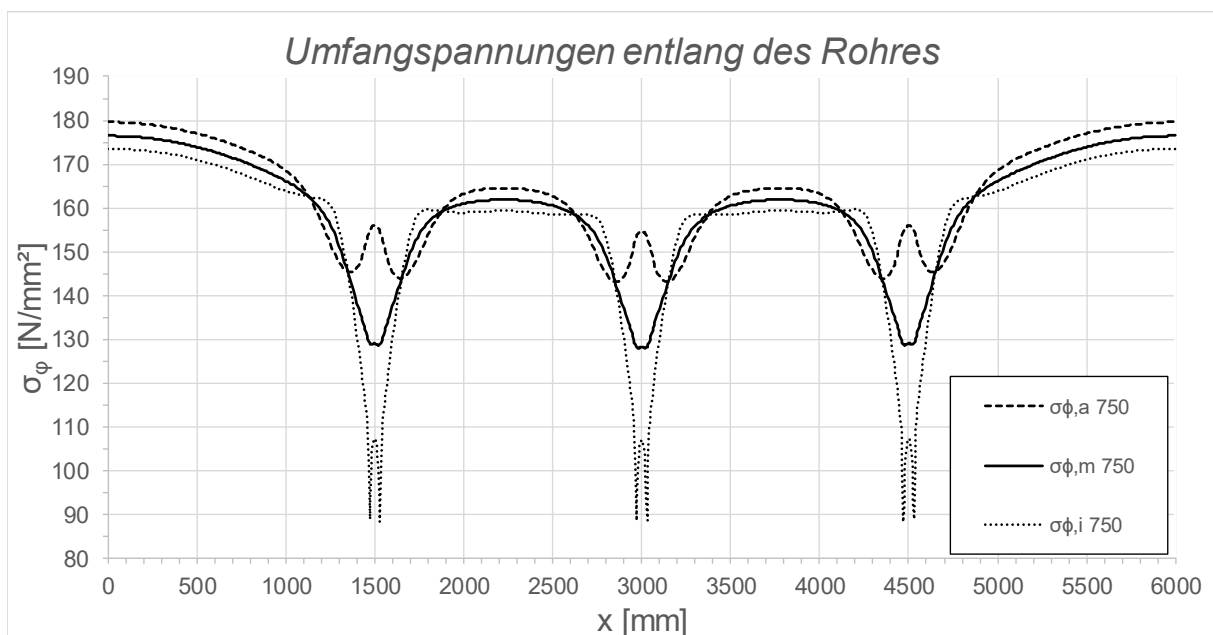


Abbildung B.96: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

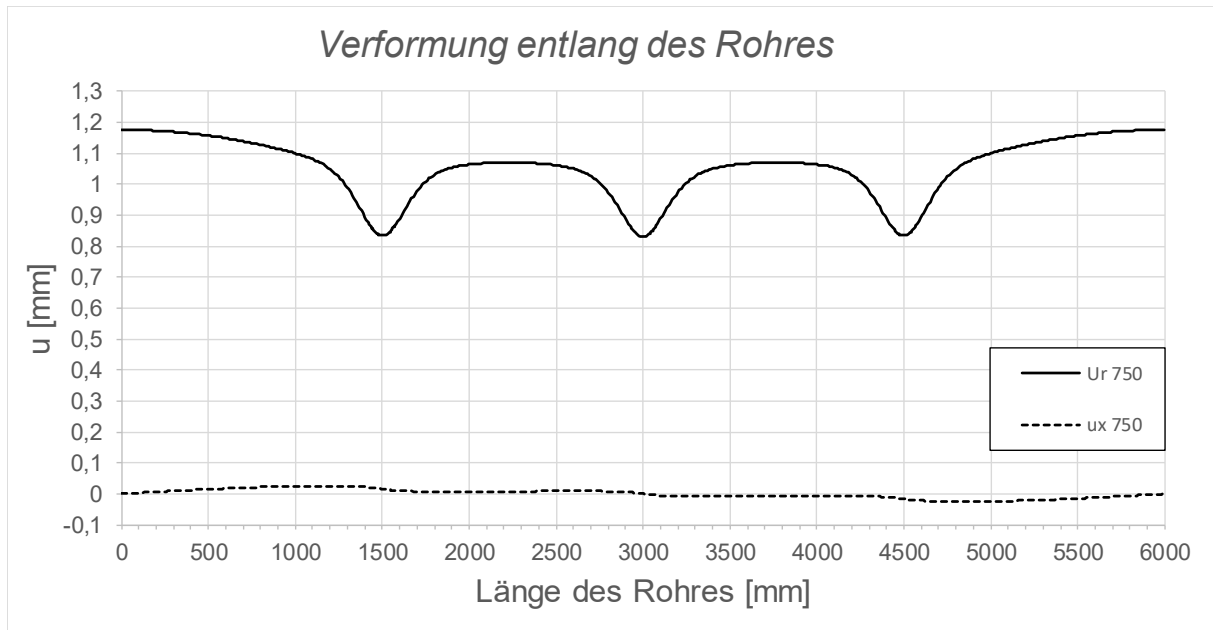


Abbildung B.97: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

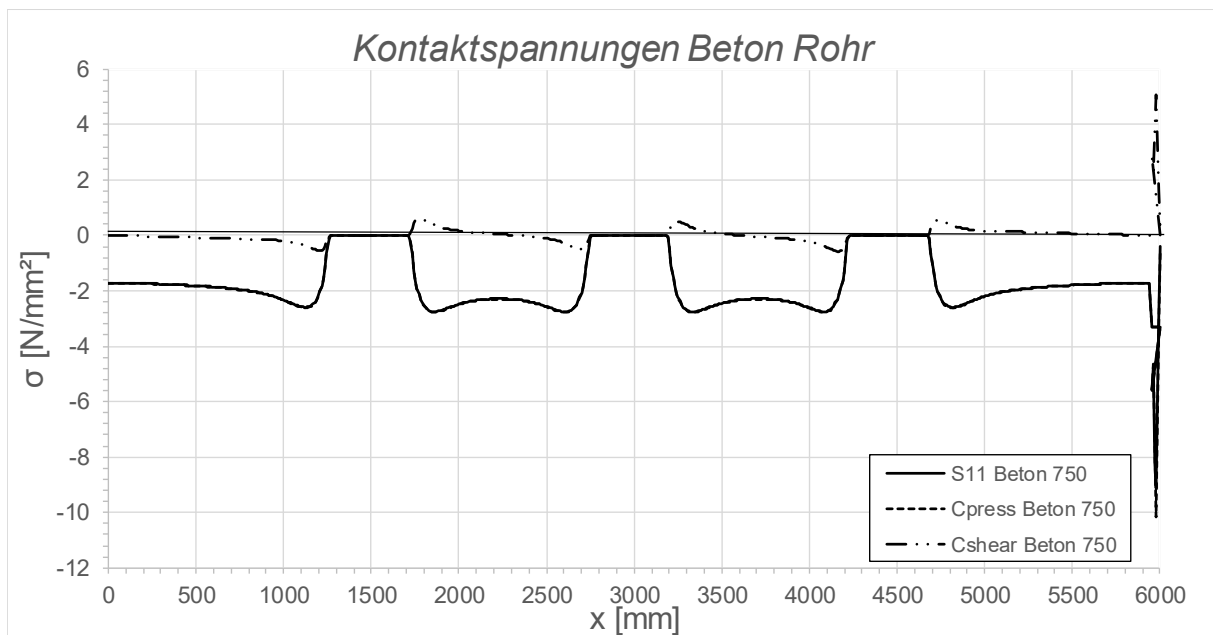


Abbildung B.98: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

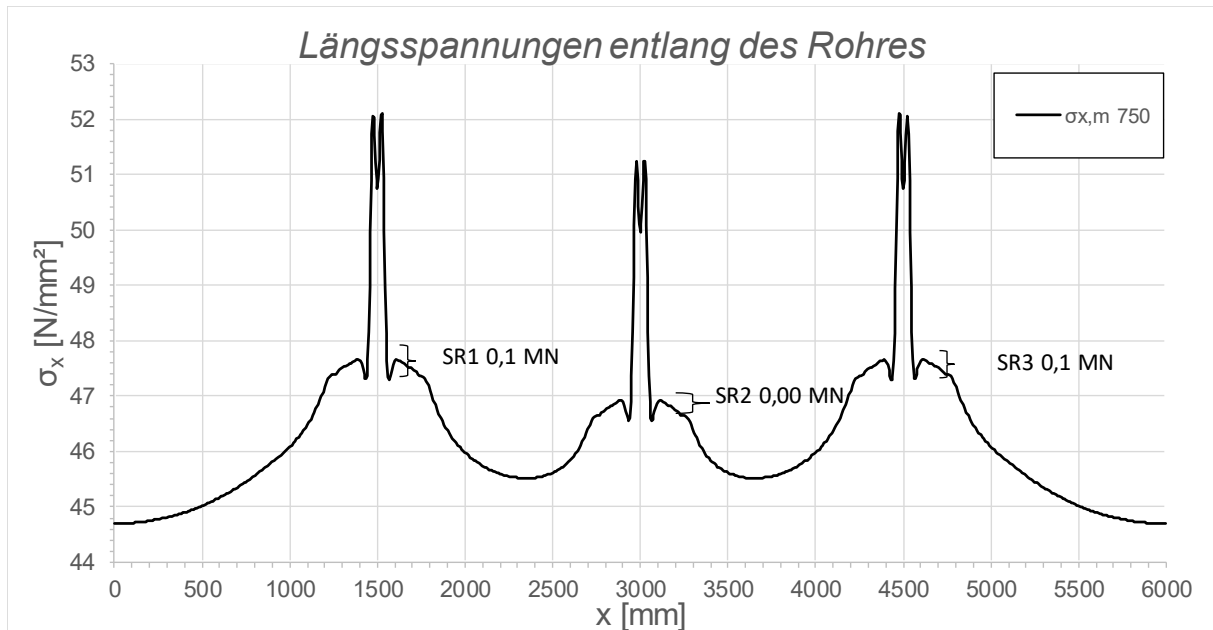


Abbildung B.99: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

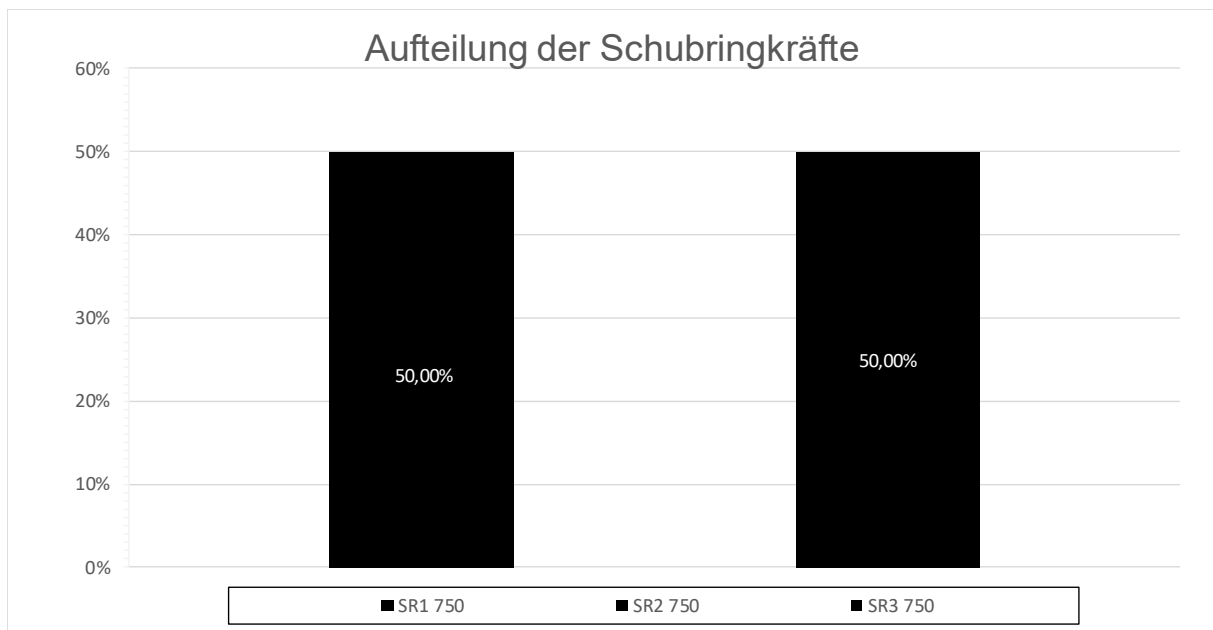


Abbildung B.100: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

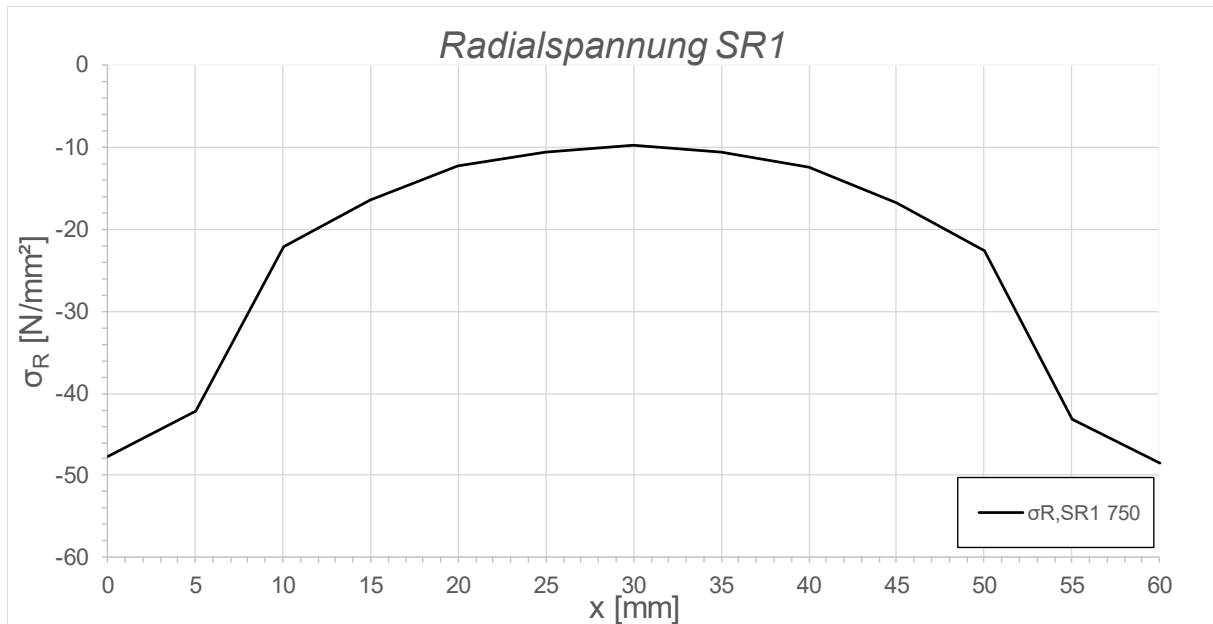


Abbildung B.101: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

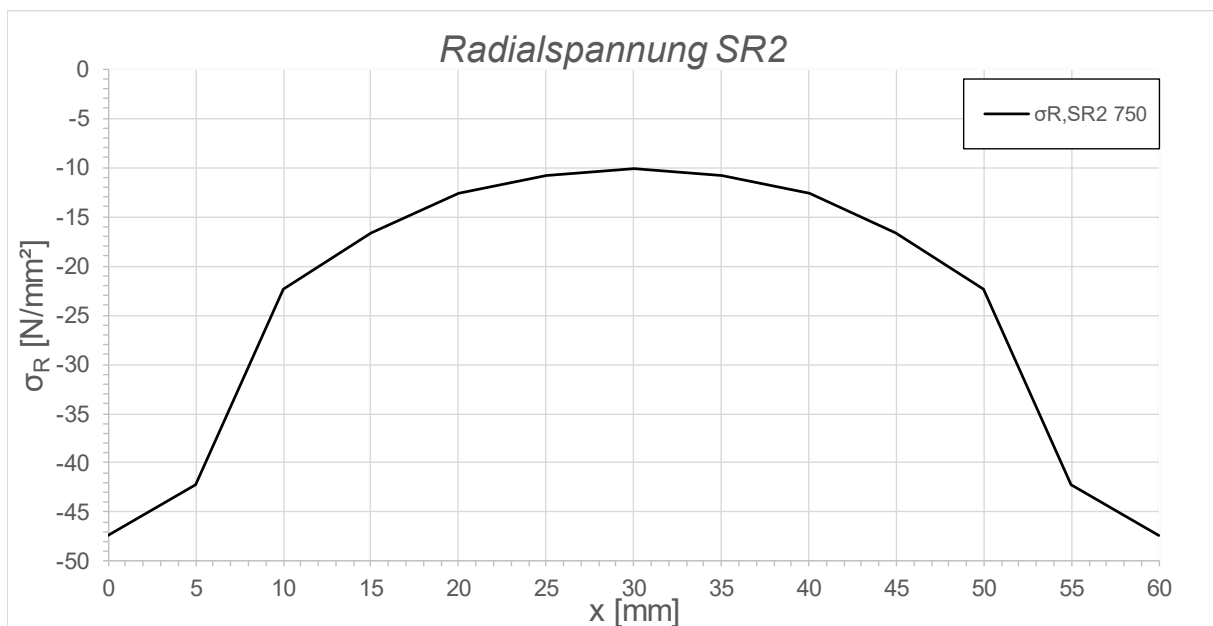


Abbildung B.102: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

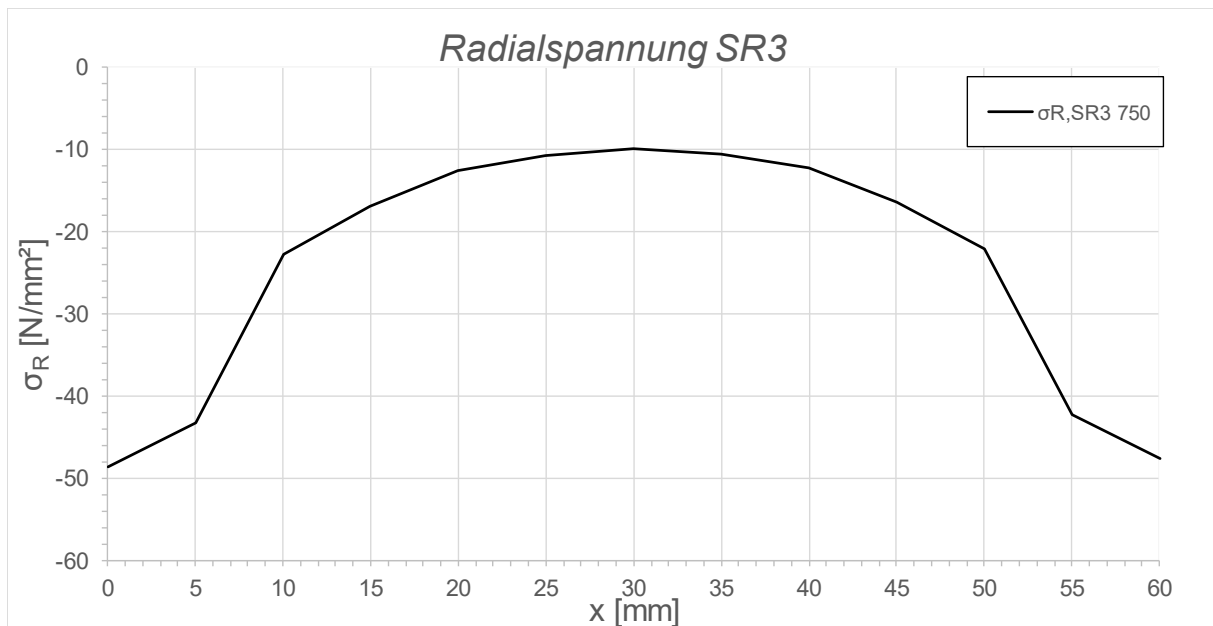


Abbildung B.103: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

B.2.10 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

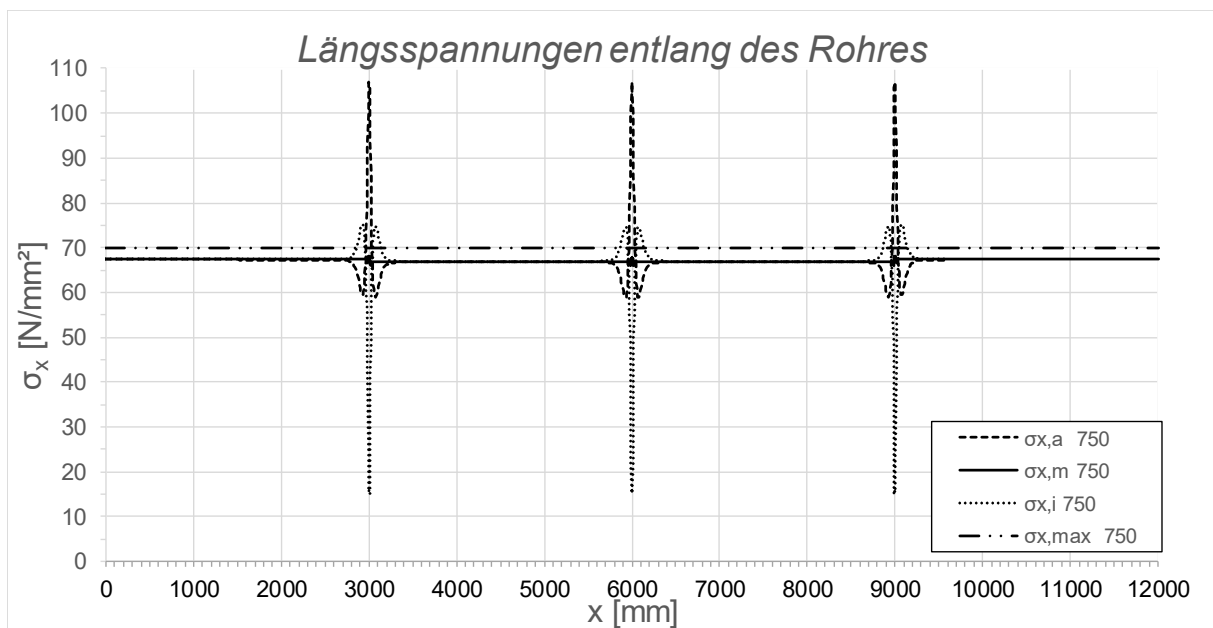


Abbildung B.104: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

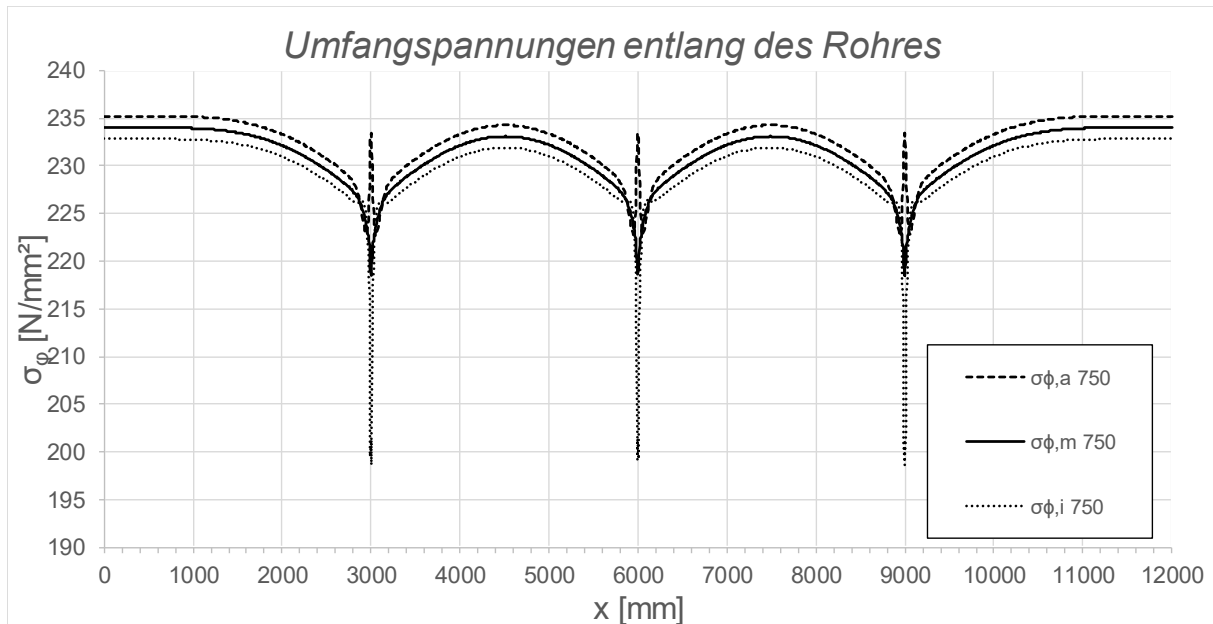


Abbildung B.105: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

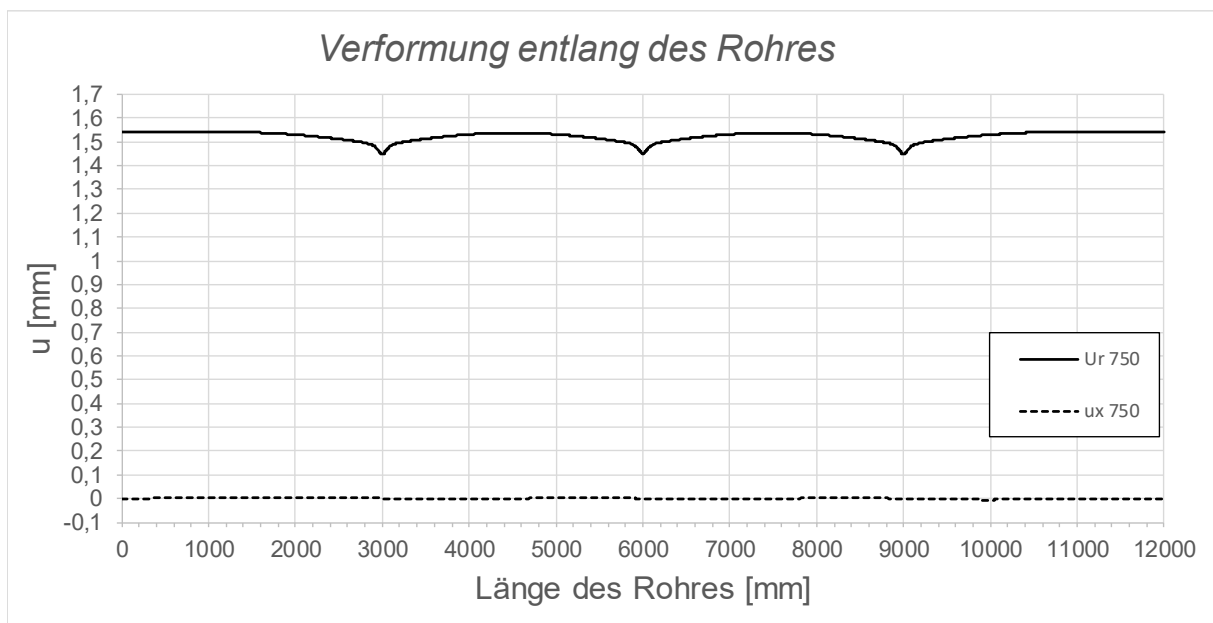


Abbildung B.106: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

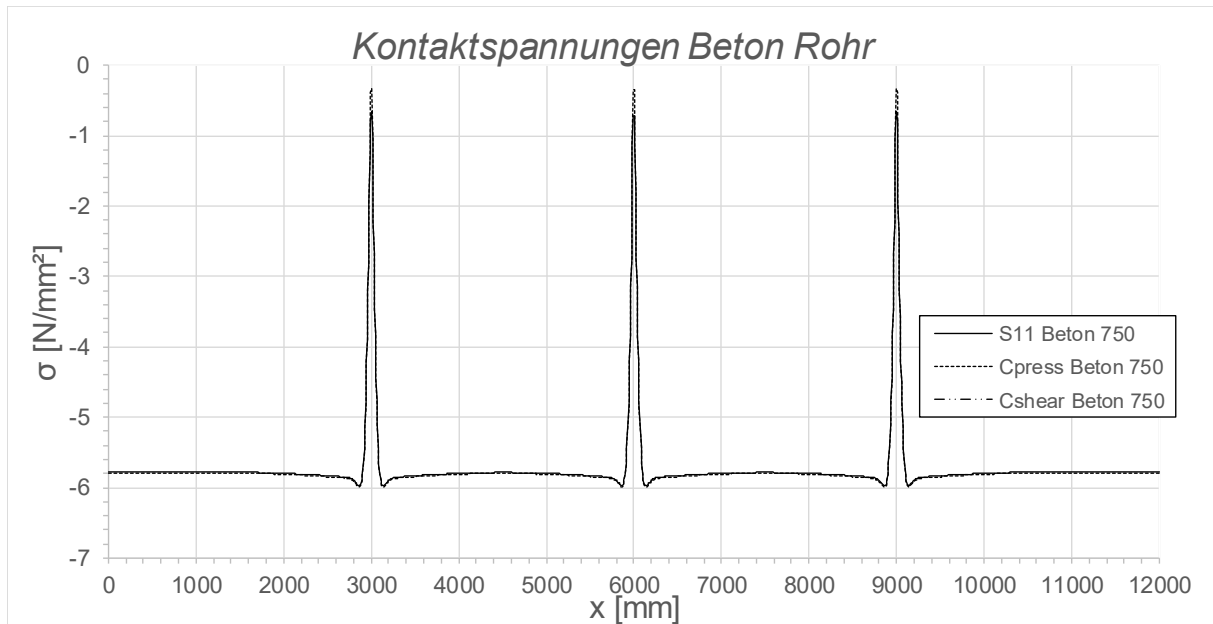


Abbildung B.107: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

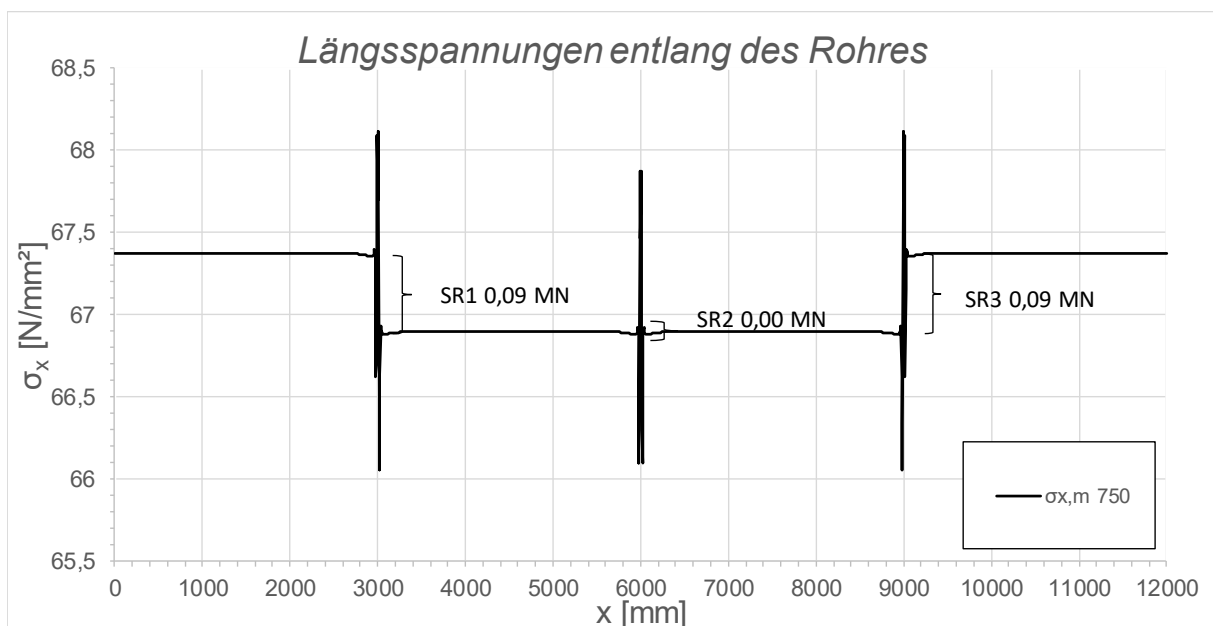


Abbildung B.108: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

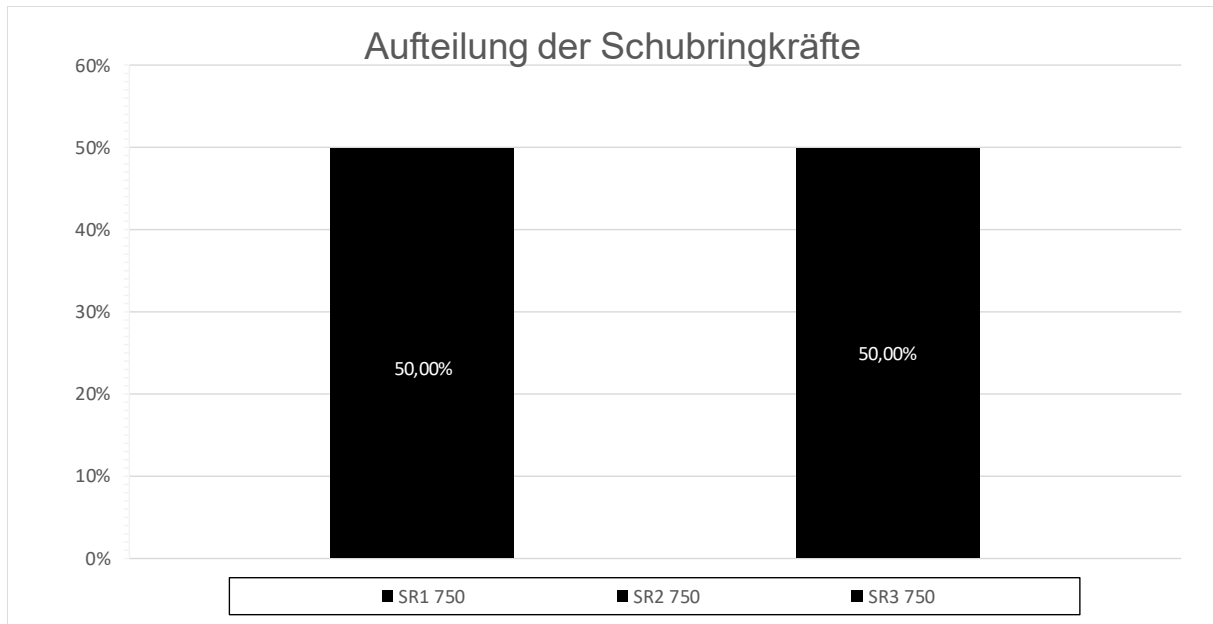


Abbildung B.109: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.2.11 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

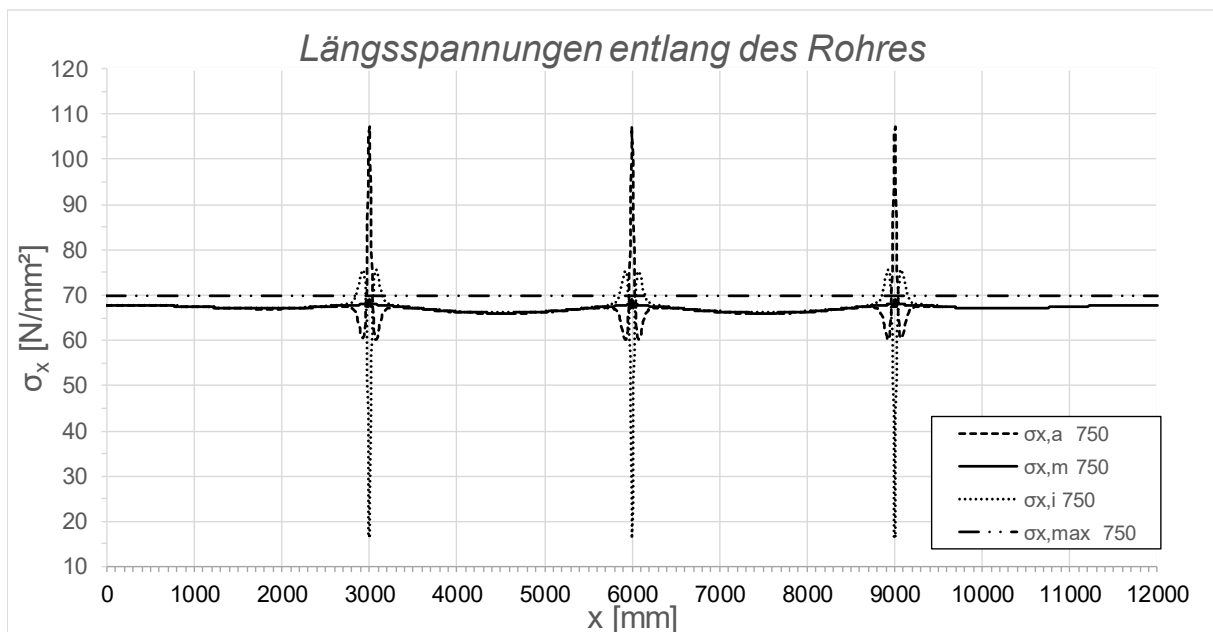


Abbildung B.110: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

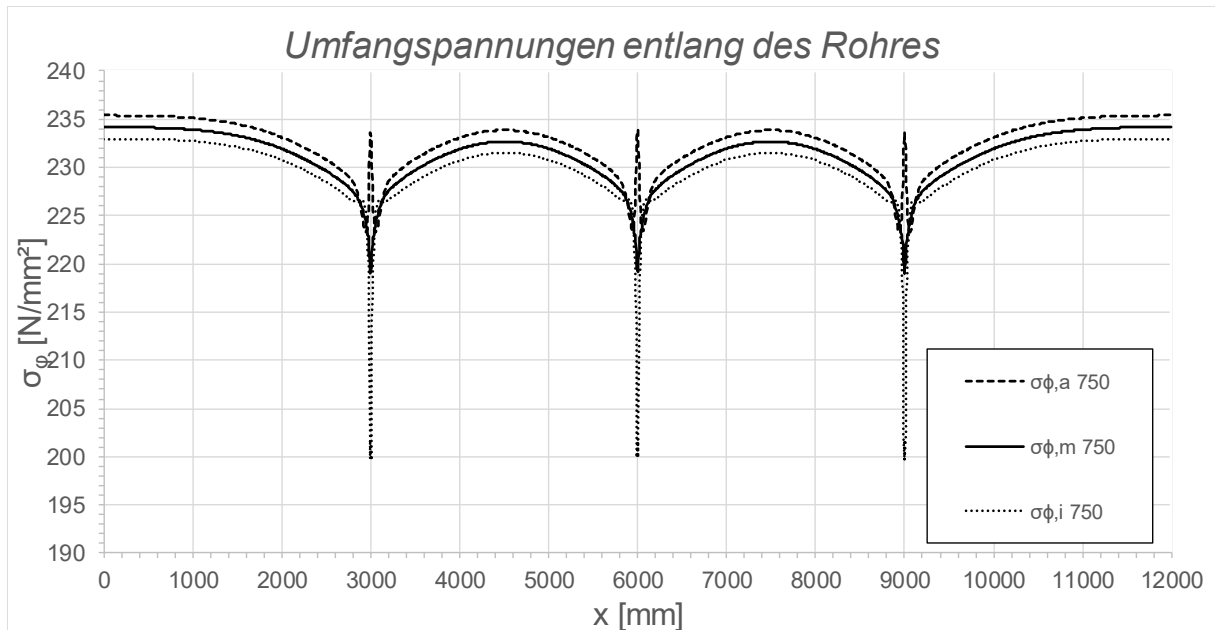


Abbildung B.111: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

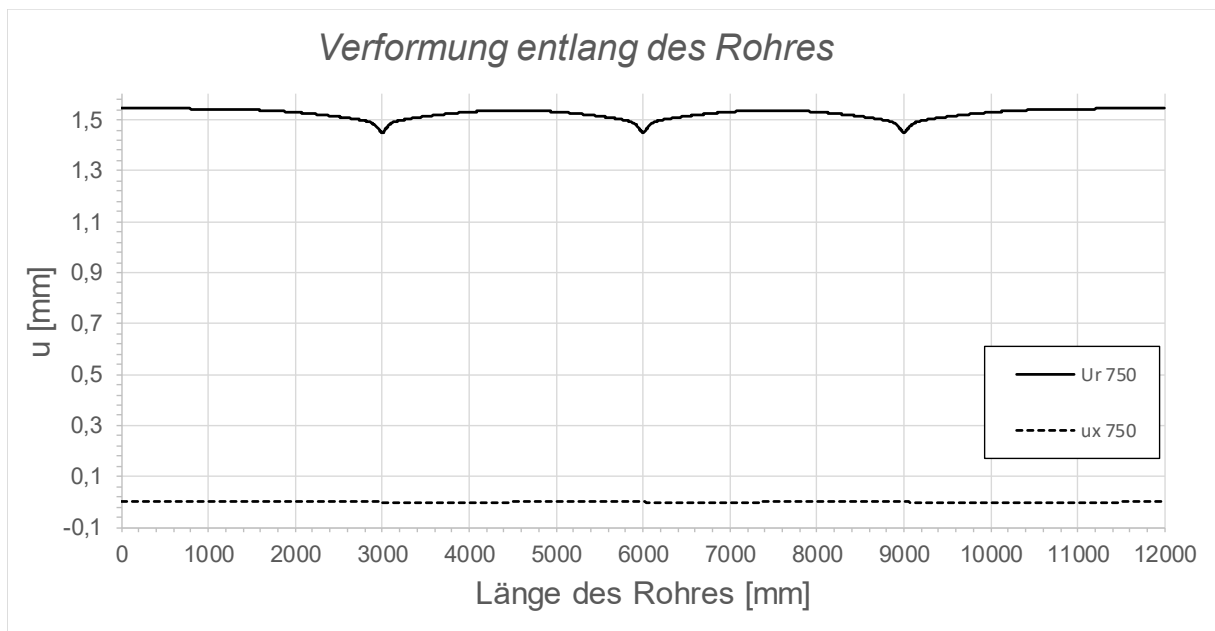


Abbildung B.112: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

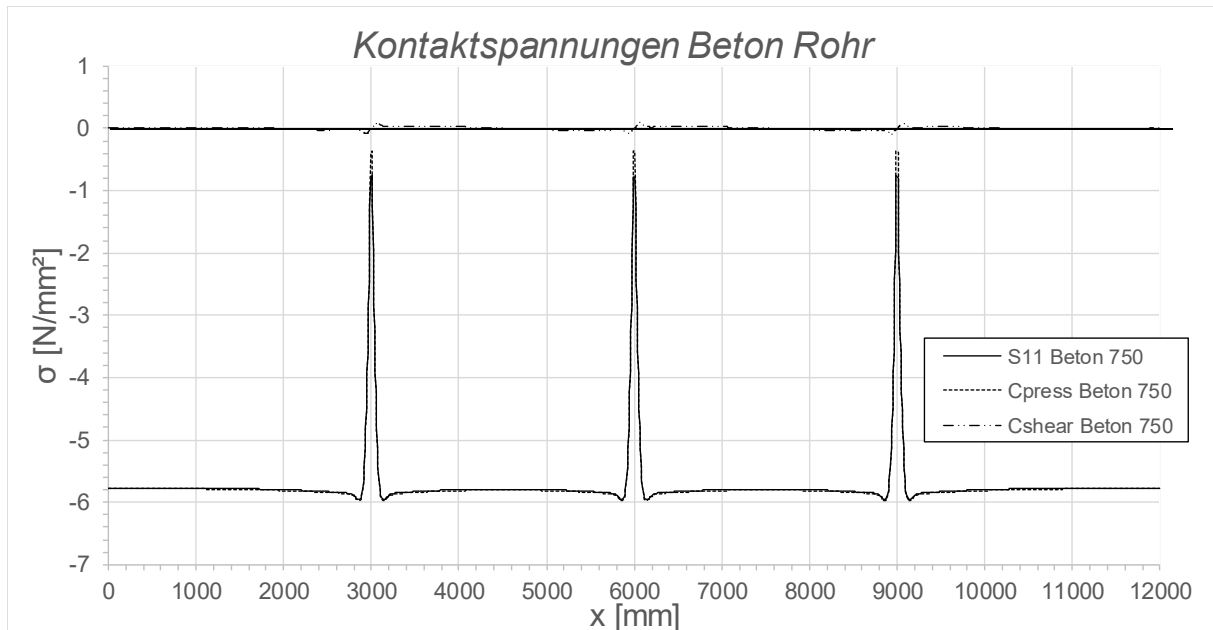


Abbildung B.113: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

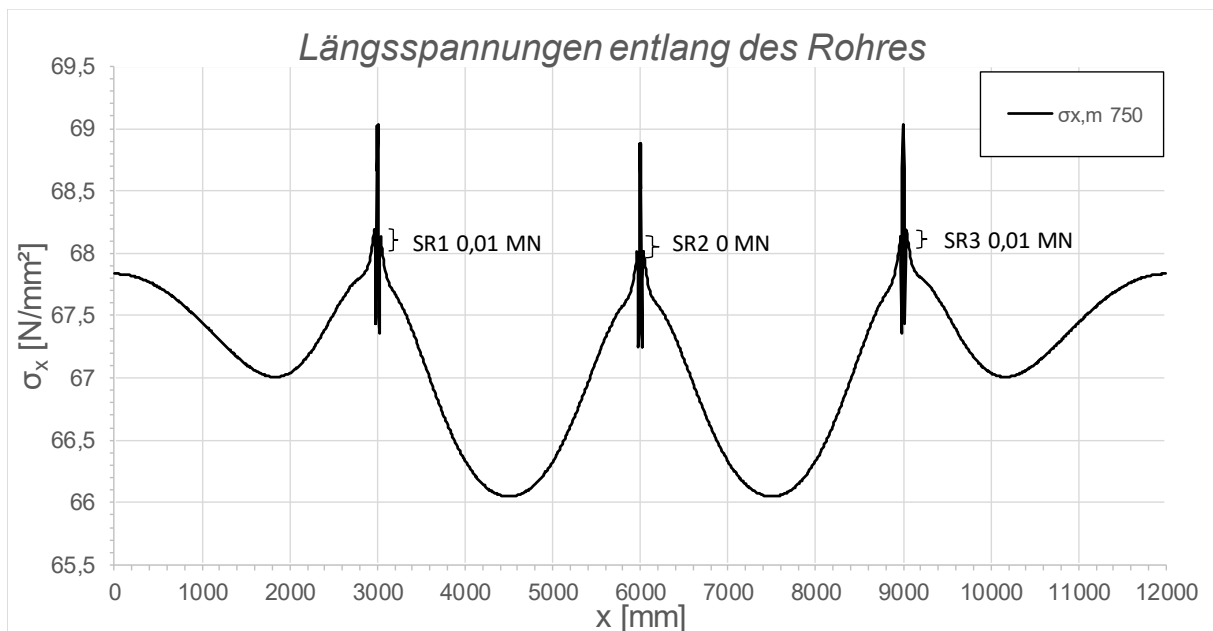


Abbildung B.114: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

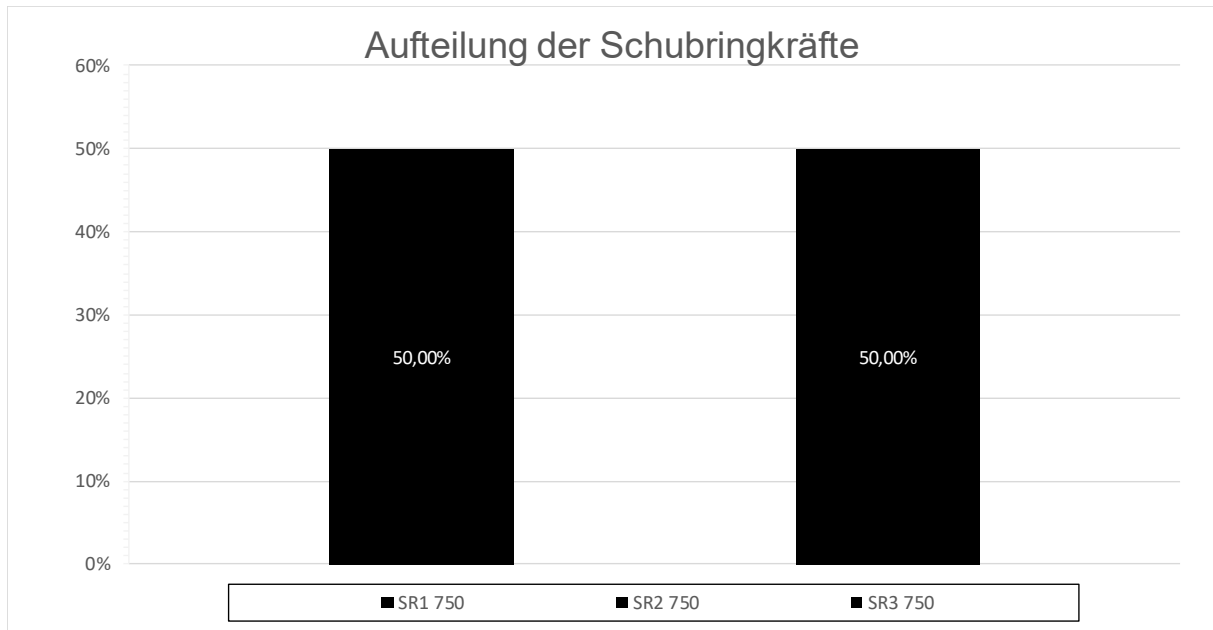


Abbildung B.115: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.2.12 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

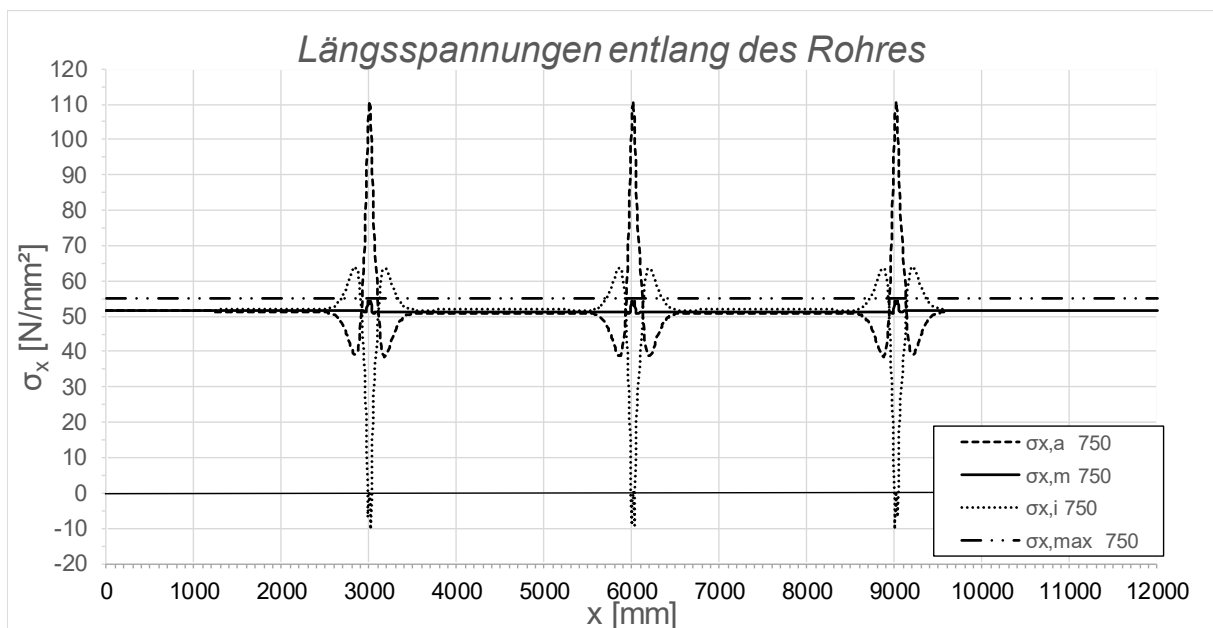


Abbildung B.116: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

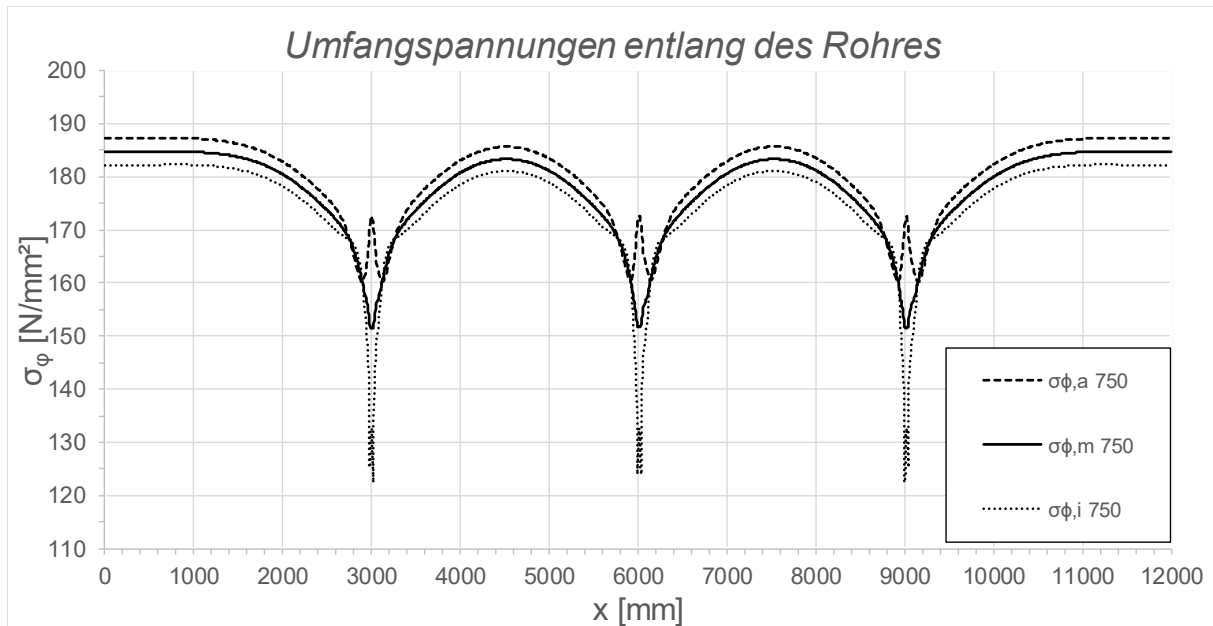


Abbildung B.117: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

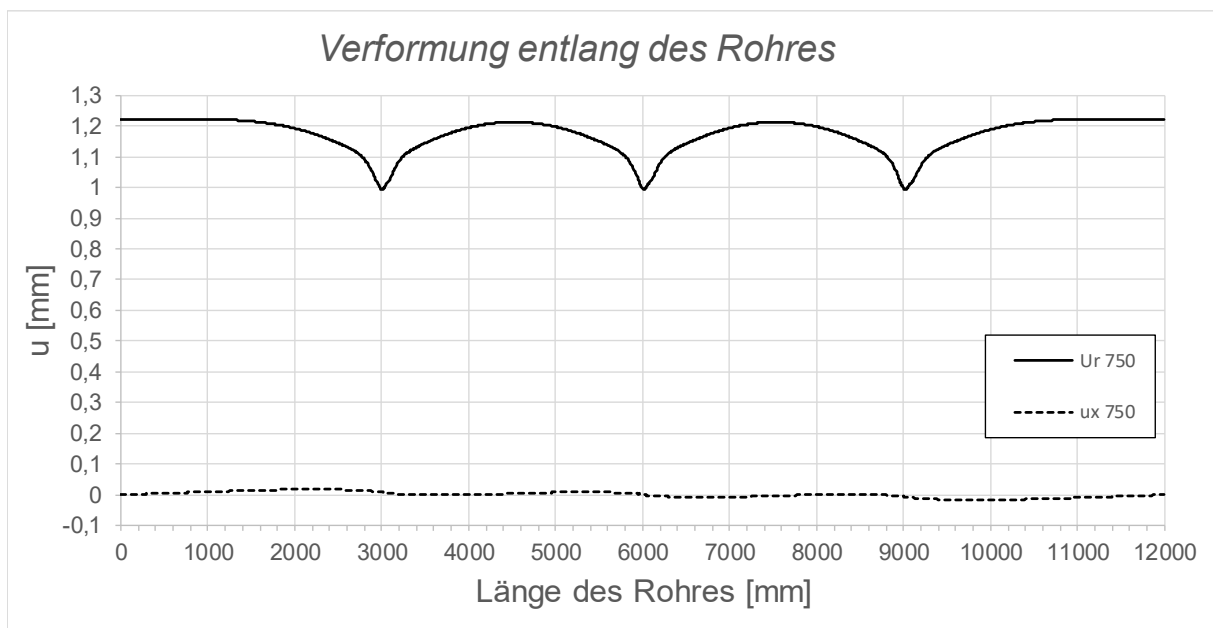


Abbildung B.118: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

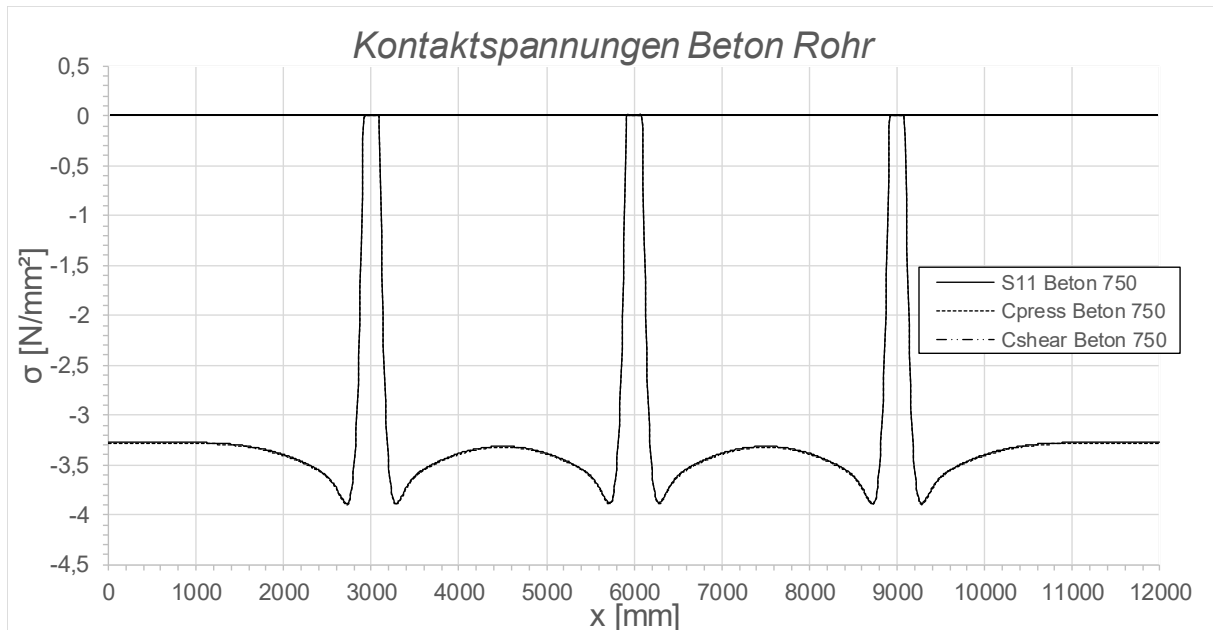


Abbildung B.119: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

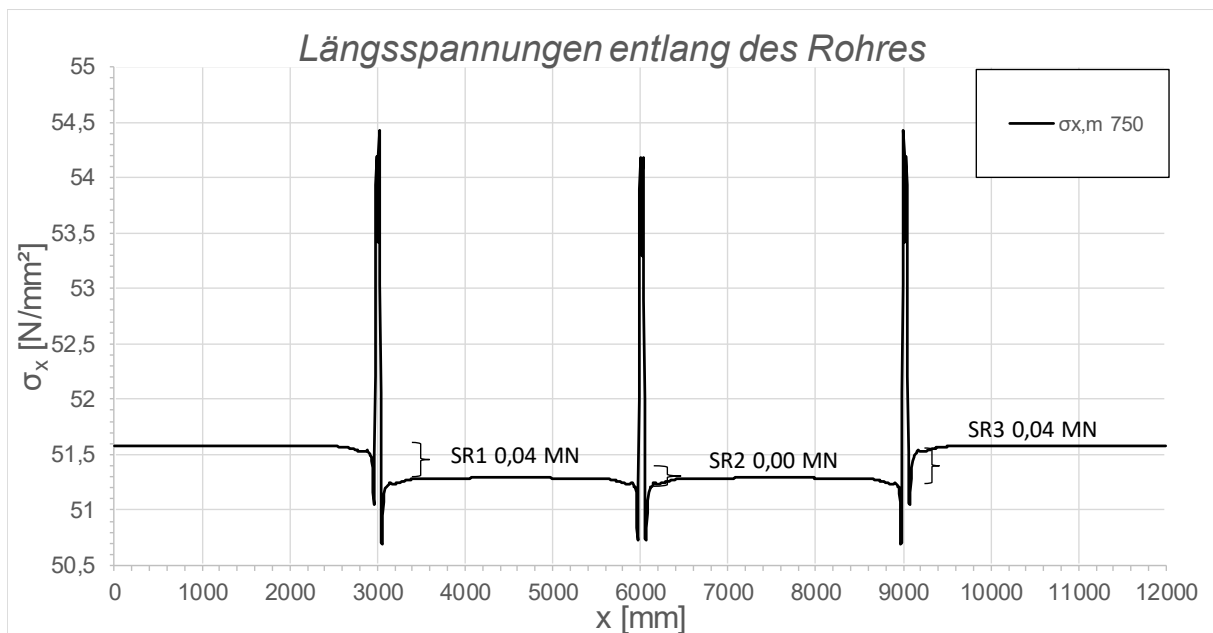


Abbildung B.120: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

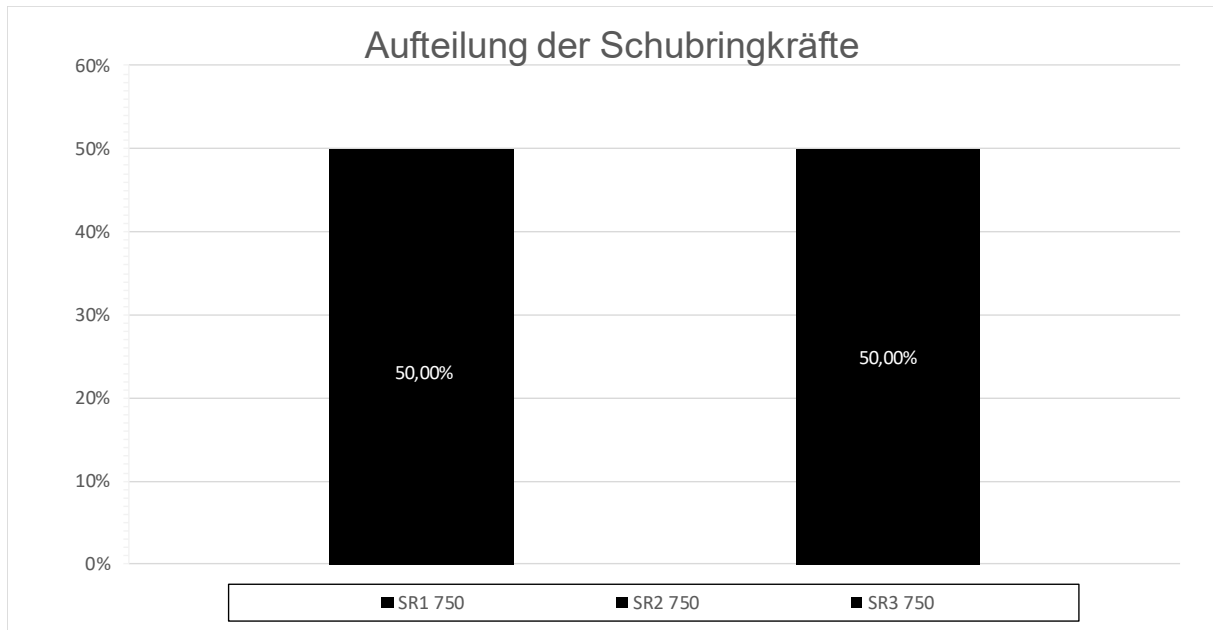


Abbildung B.121: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

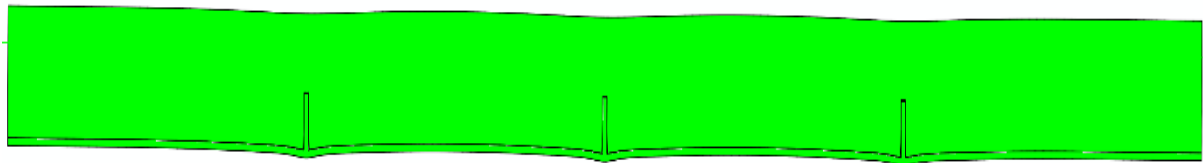


Abbildung B.122: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.2.13 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

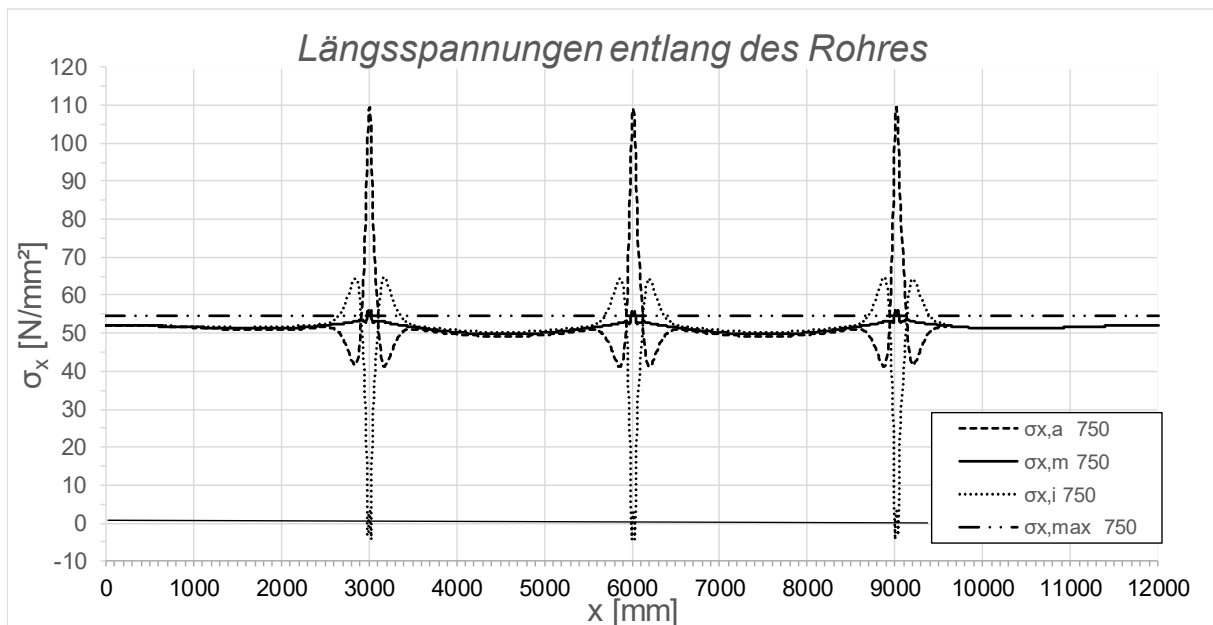


Abbildung B.123: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

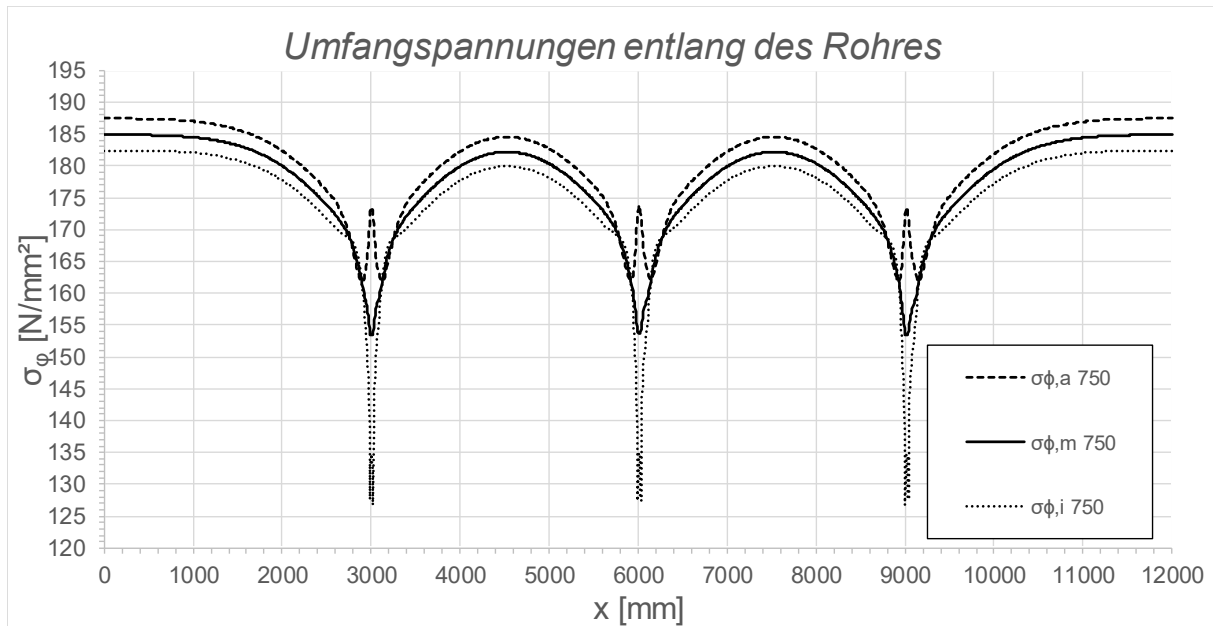


Abbildung B.124: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

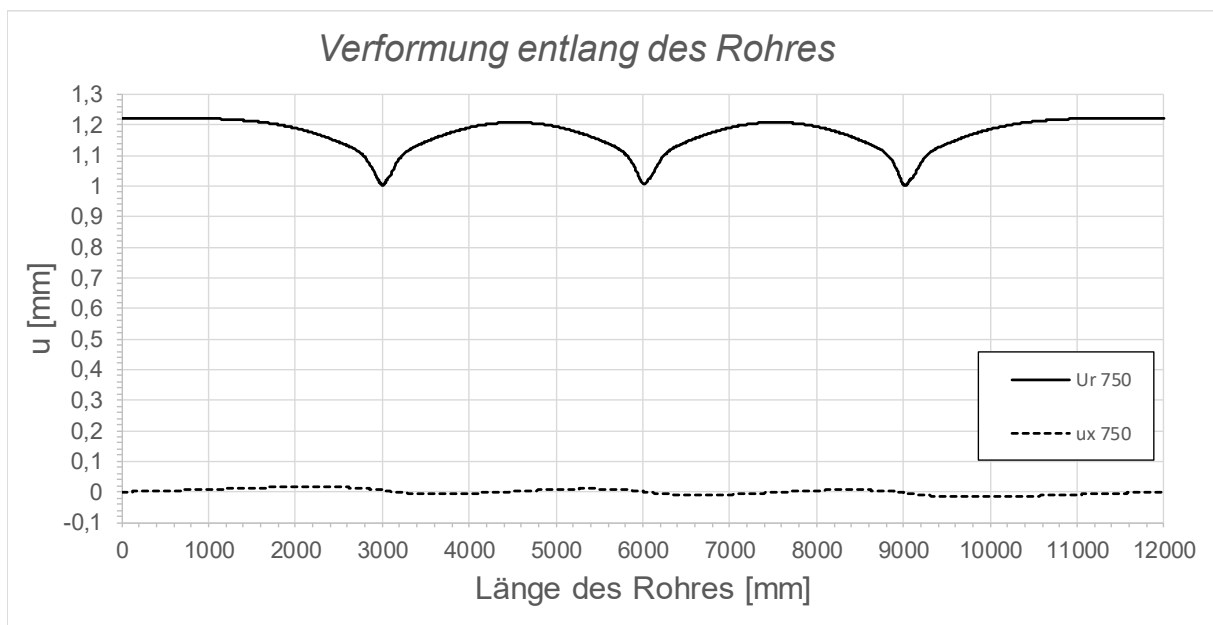


Abbildung B.125: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

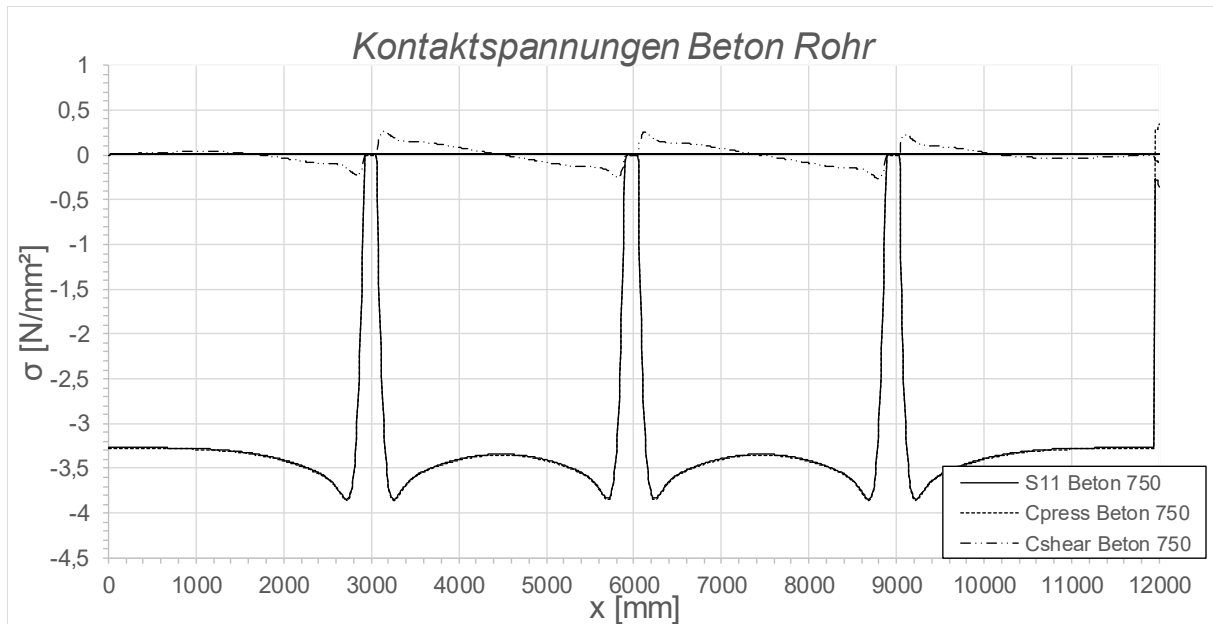


Abbildung B.126: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

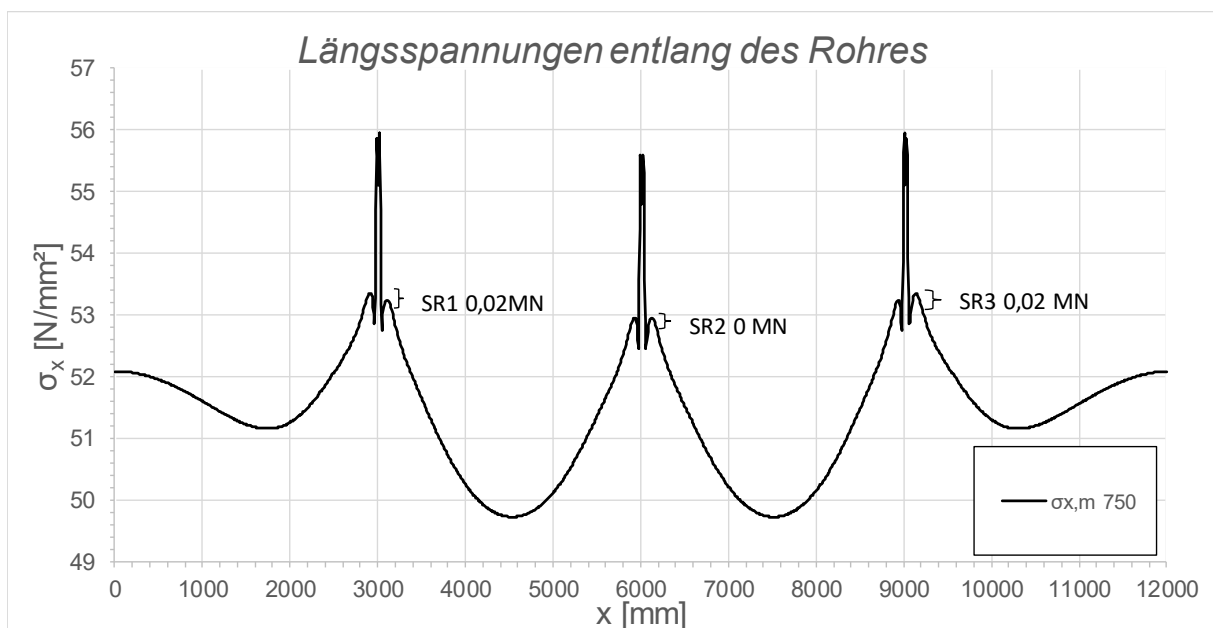


Abbildung B.127: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

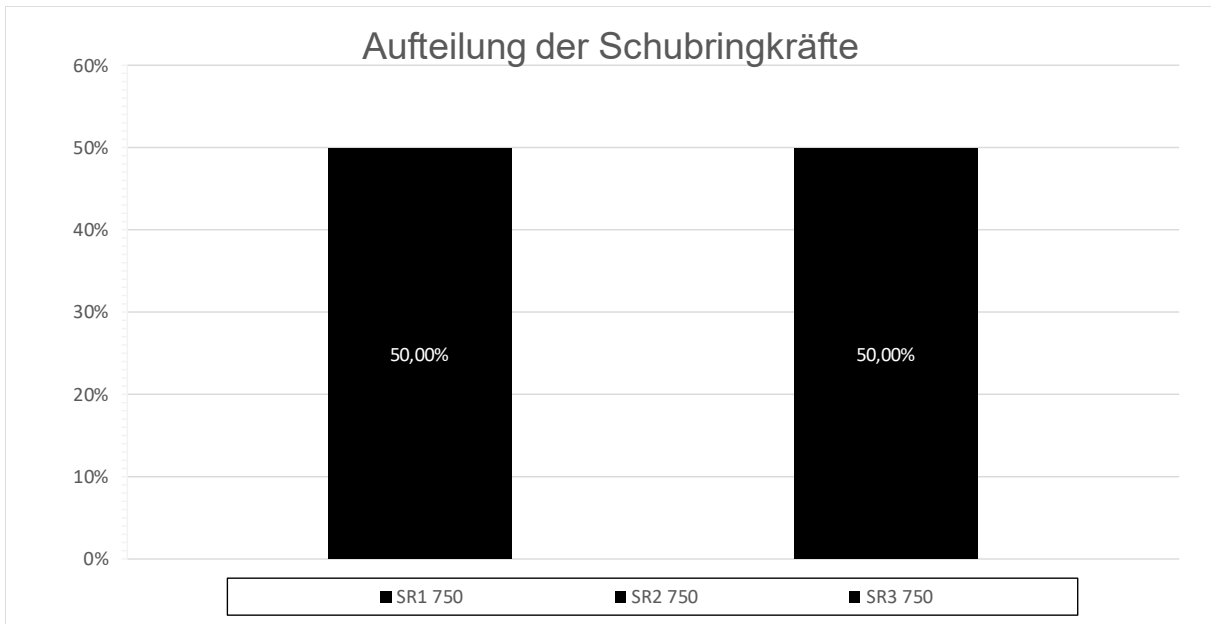


Abbildung B.128: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

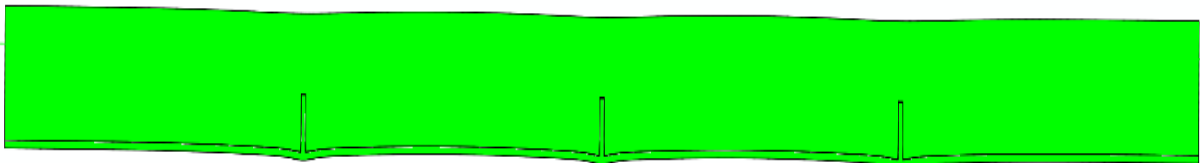


Abbildung B.129: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.2.14 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

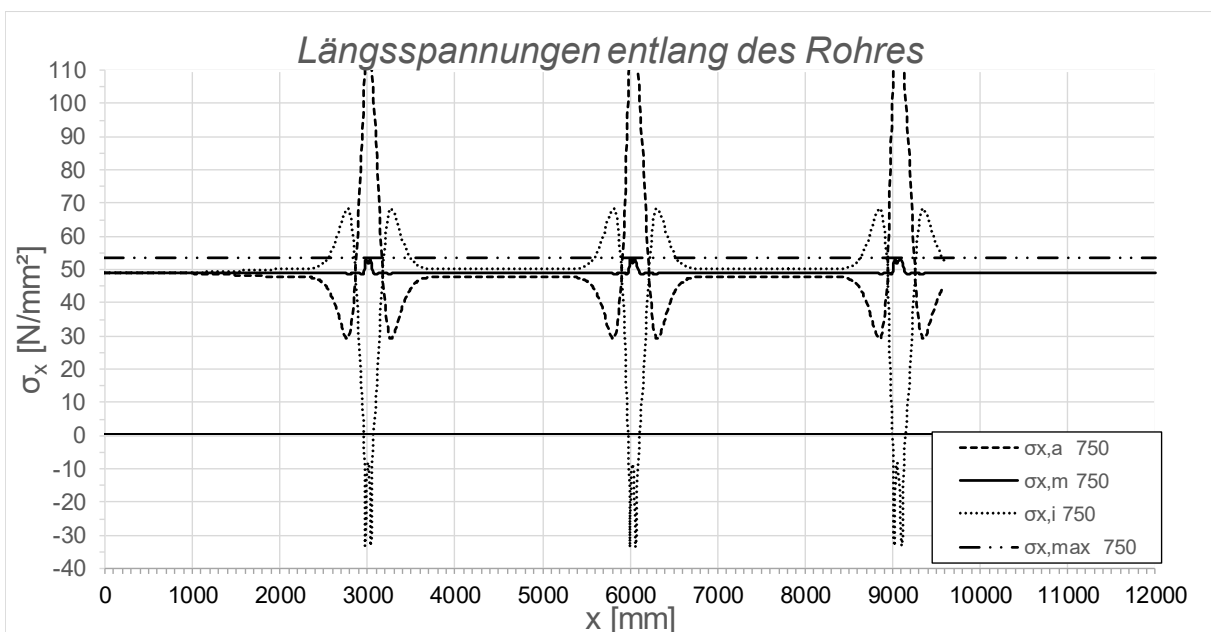


Abbildung B.130: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

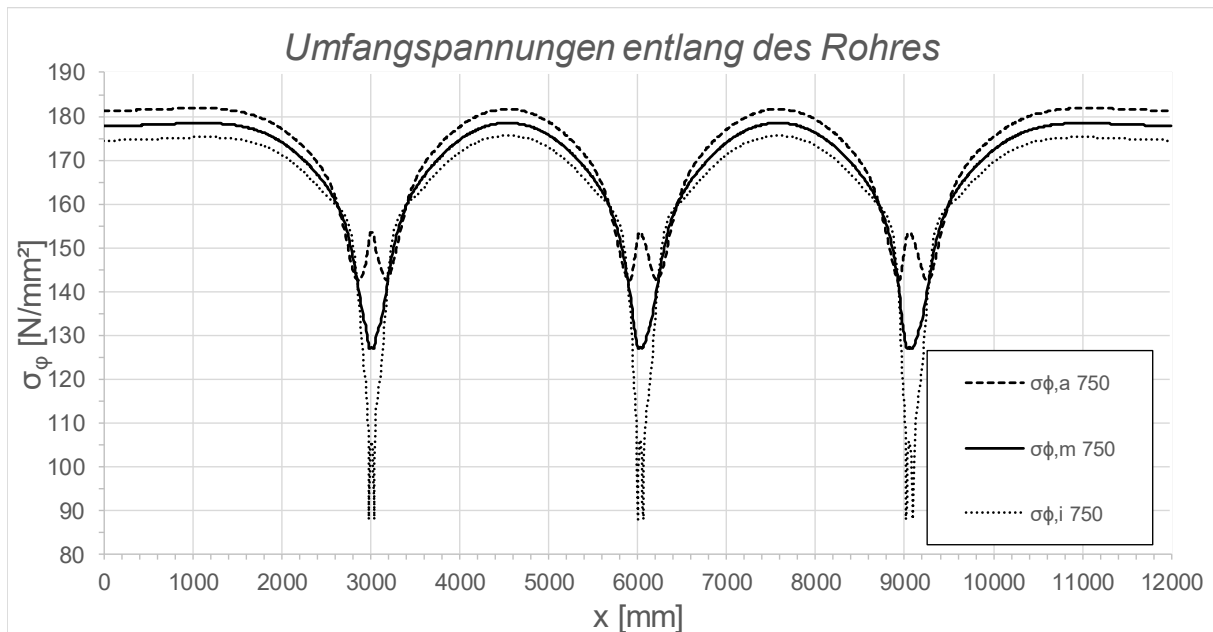


Abbildung B.131: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

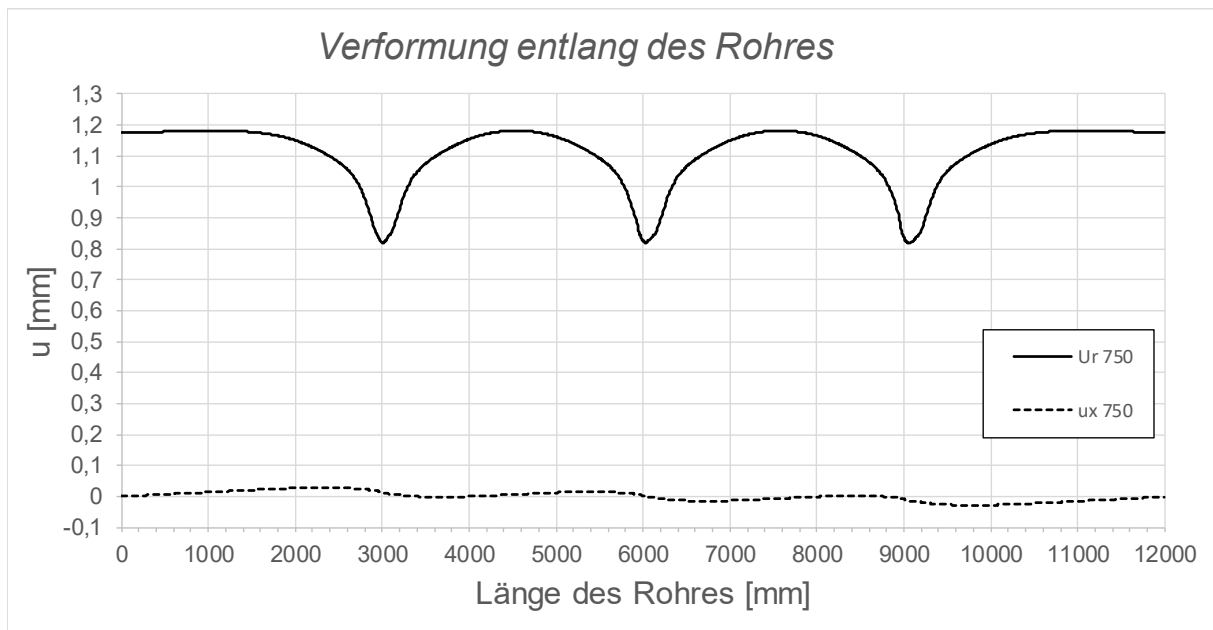


Abbildung B.132: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

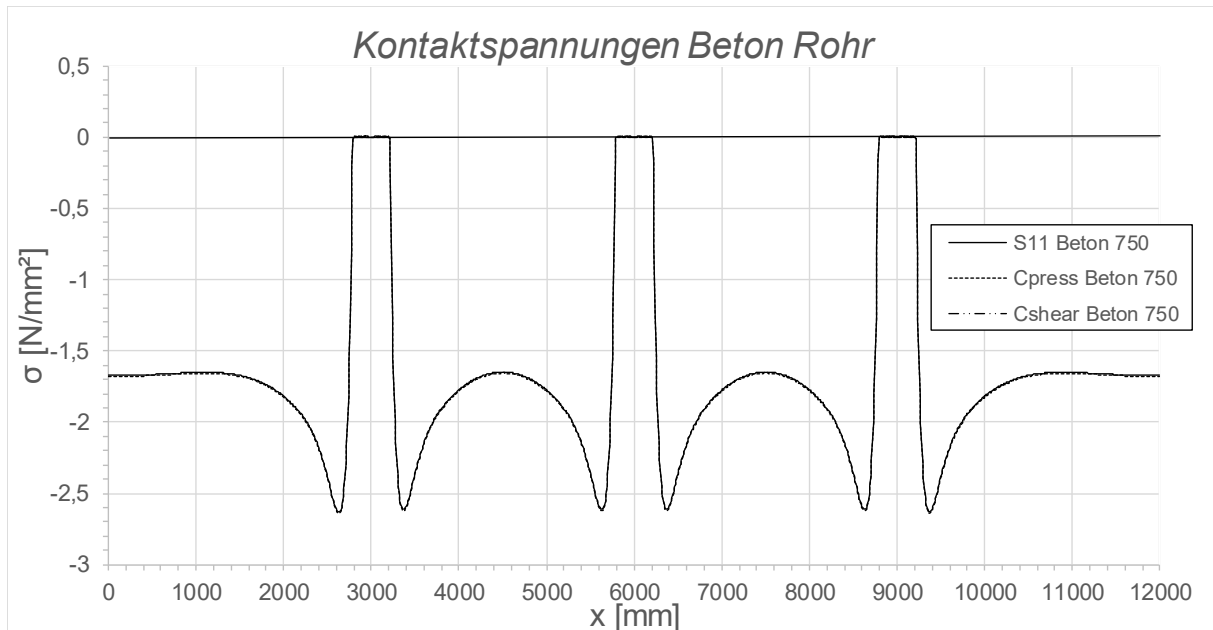


Abbildung B.133: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

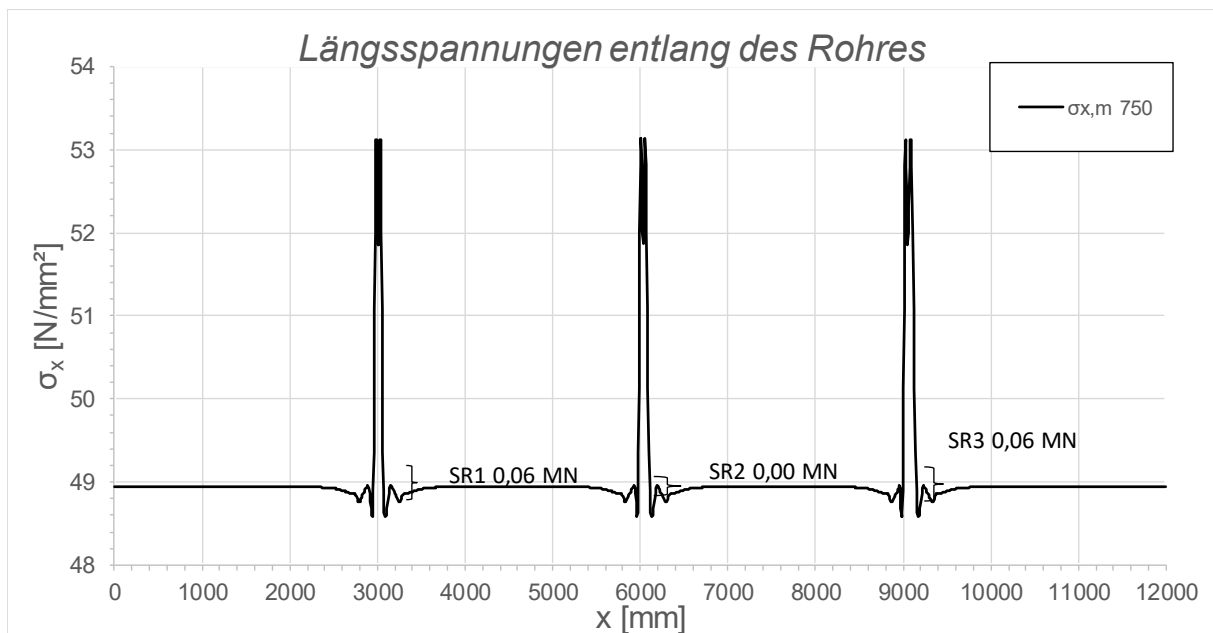


Abbildung B.134: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

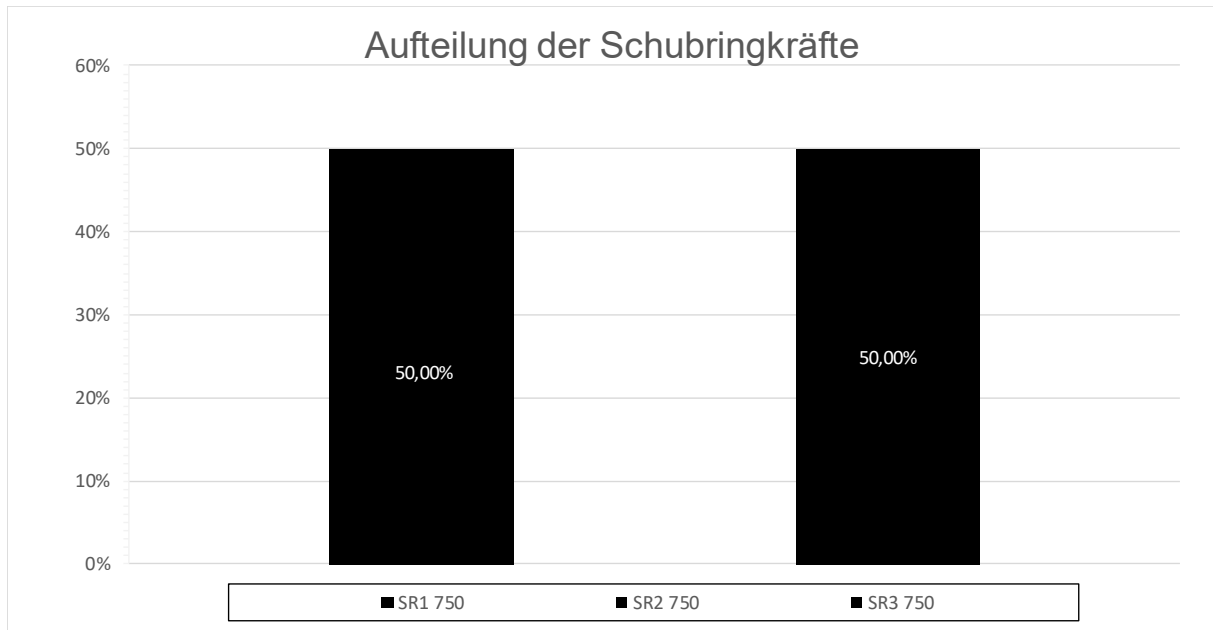


Abbildung B.135: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

B.2.15 SF1 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

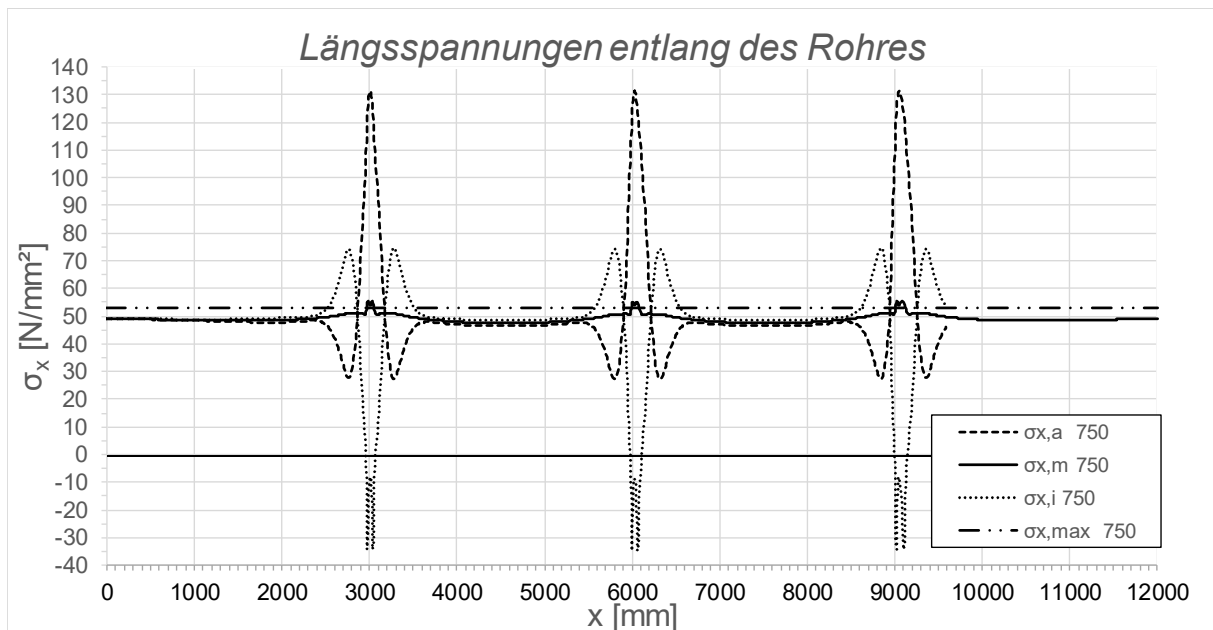


Abbildung B.136: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

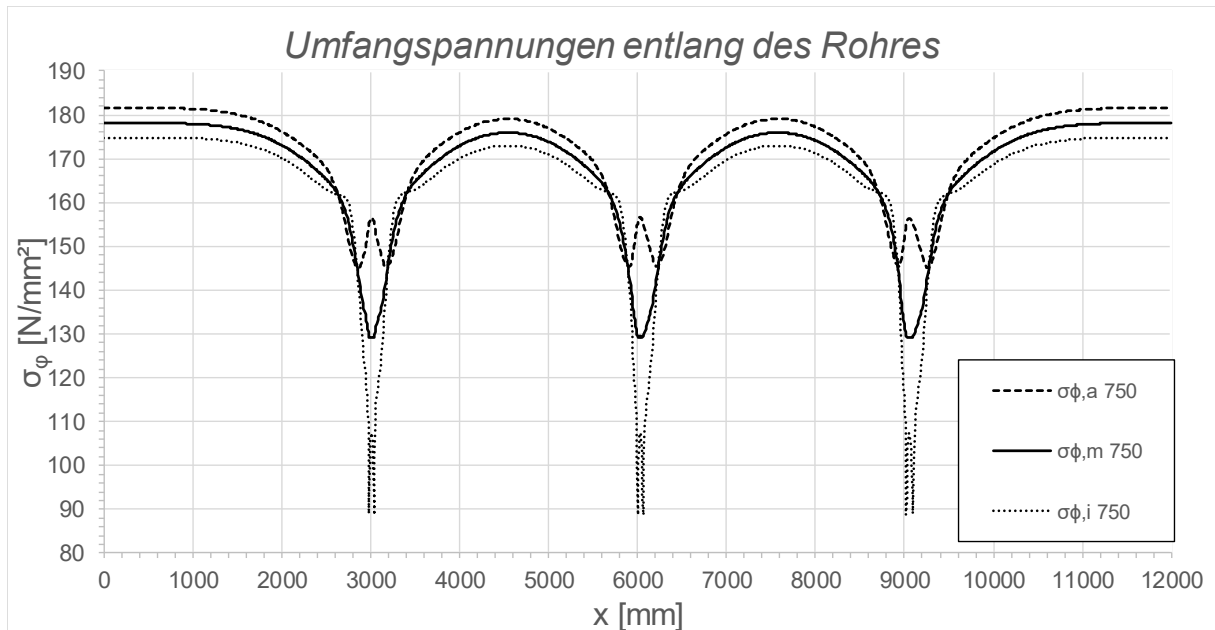


Abbildung B.137: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

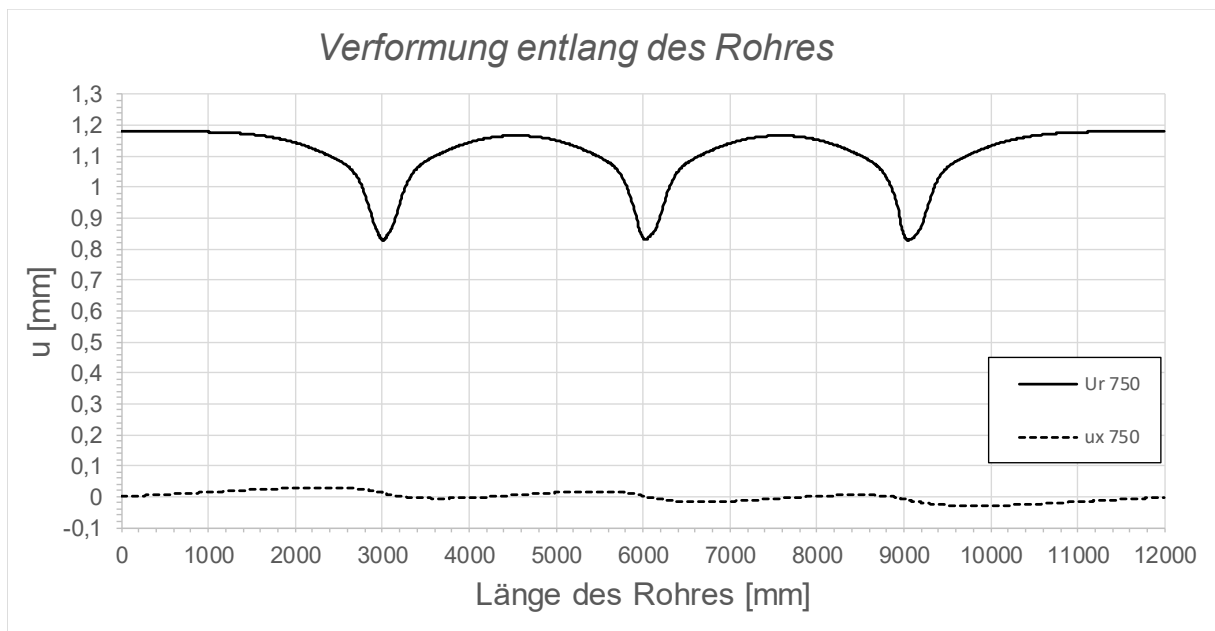


Abbildung B.138: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

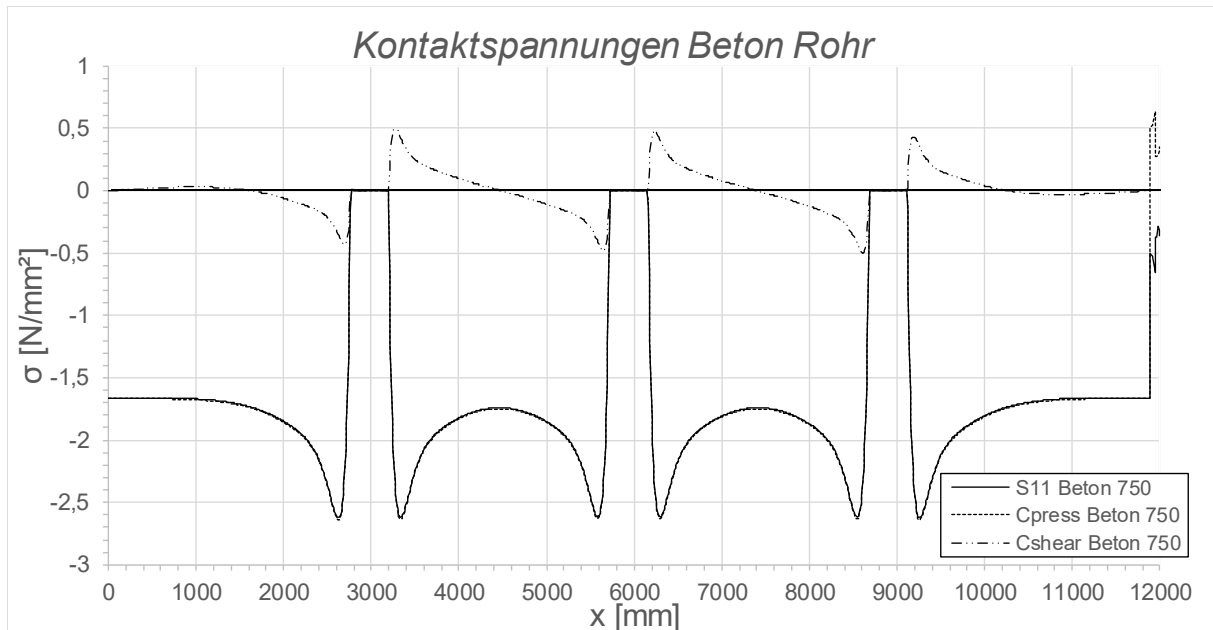


Abbildung B.139: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

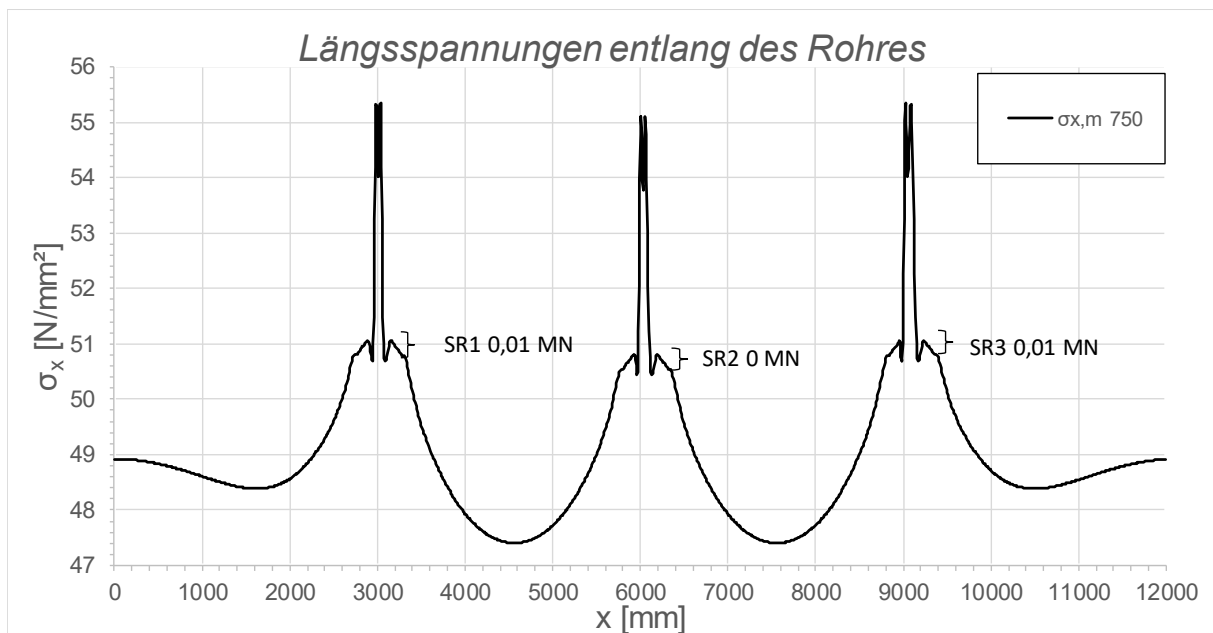


Abbildung B.140: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

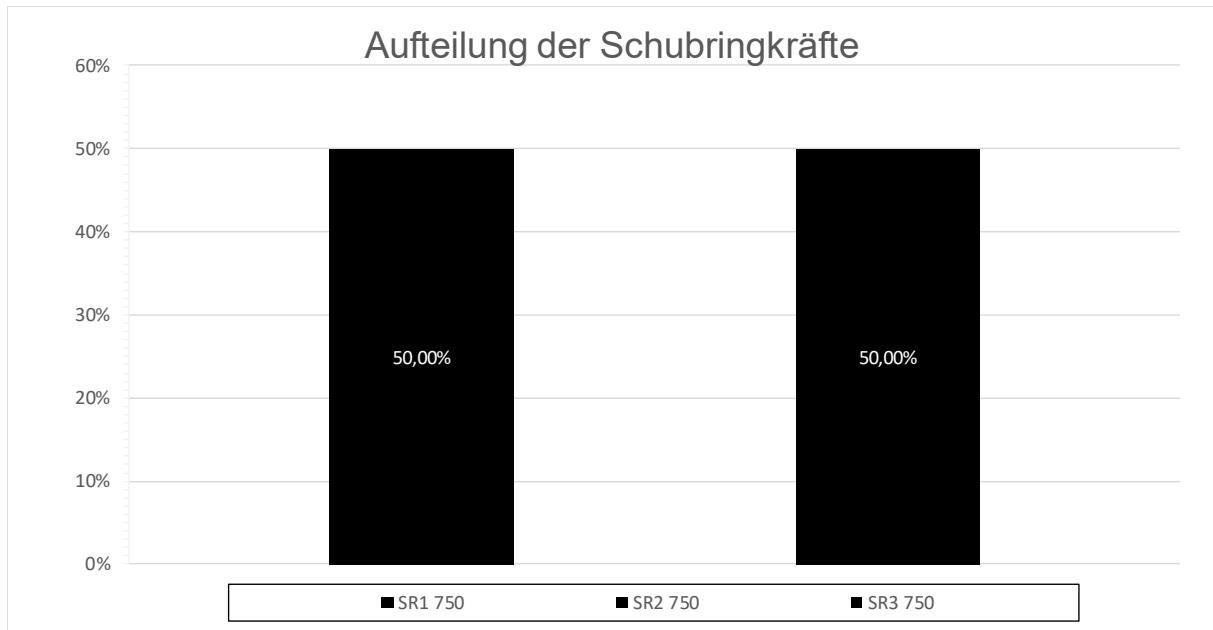


Abbildung B.141: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

B.3 System SF1 bei Lastfall Temperatur

B.3.1 SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

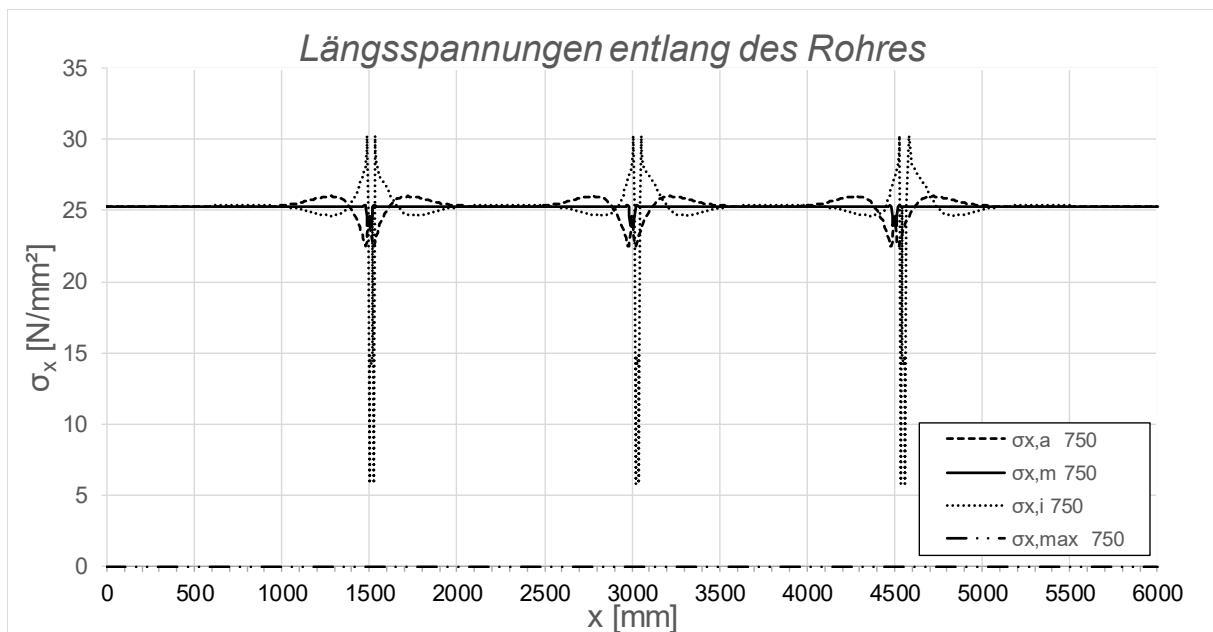


Abbildung B.142: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

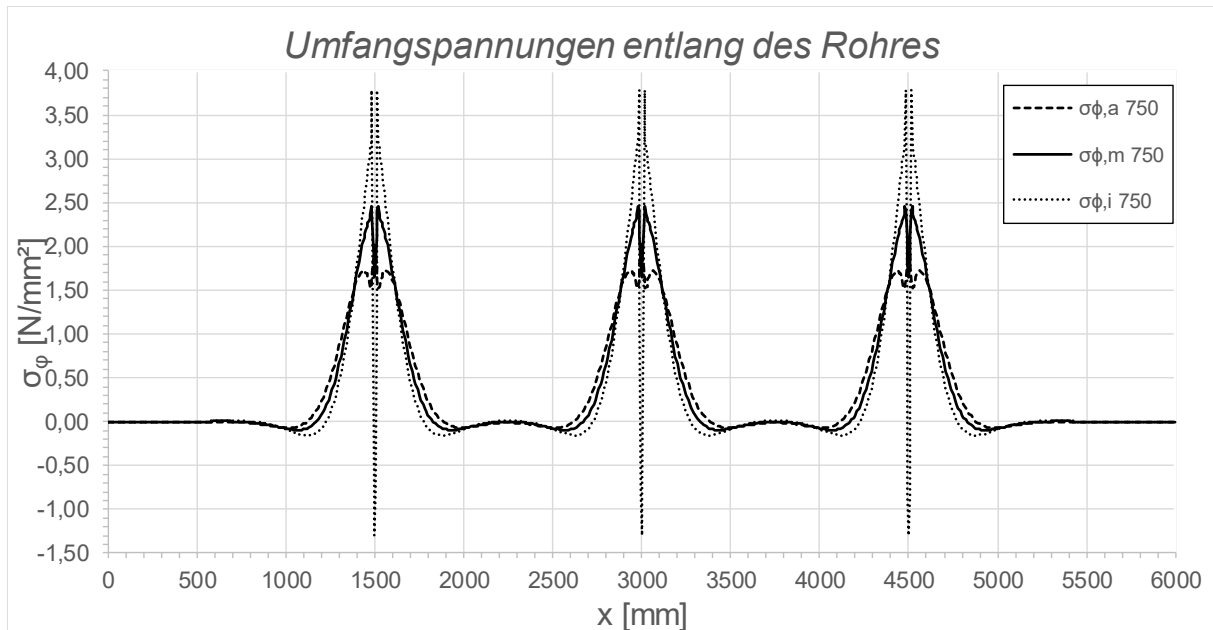


Abbildung B.143: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

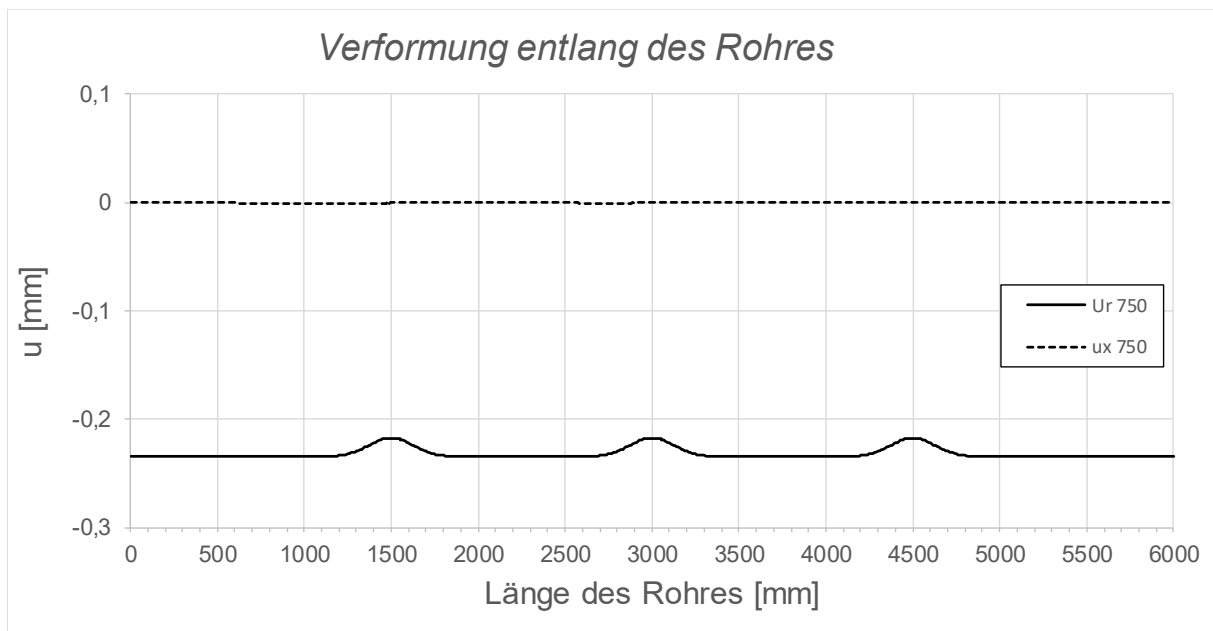


Abbildung B.144: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

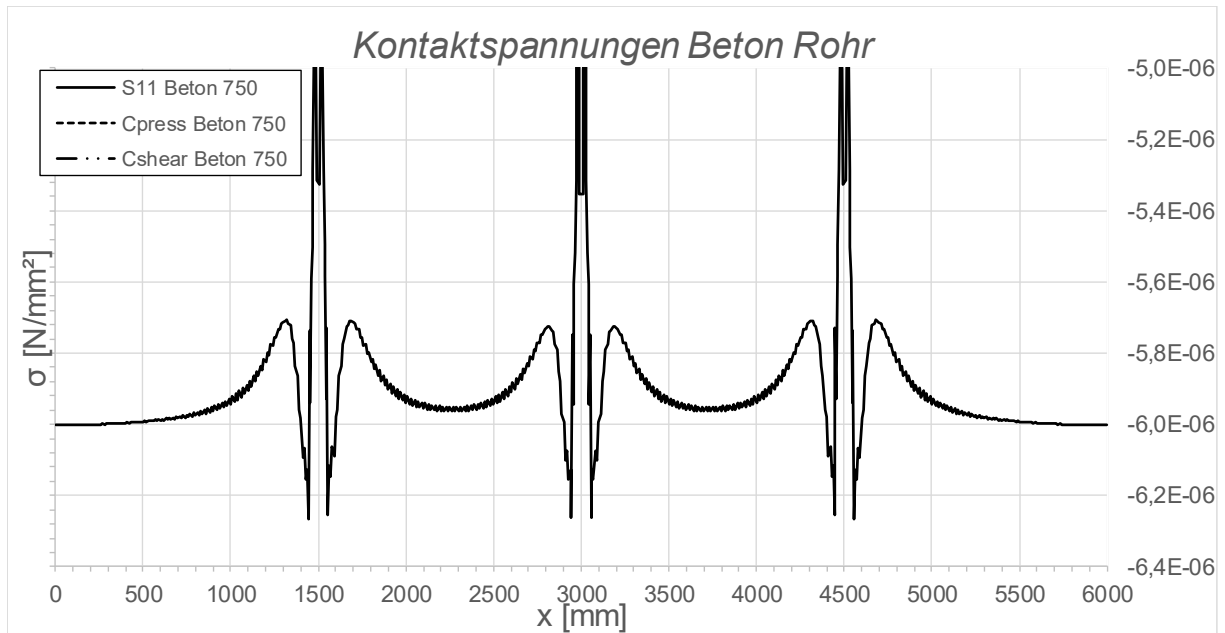


Abbildung B.145: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

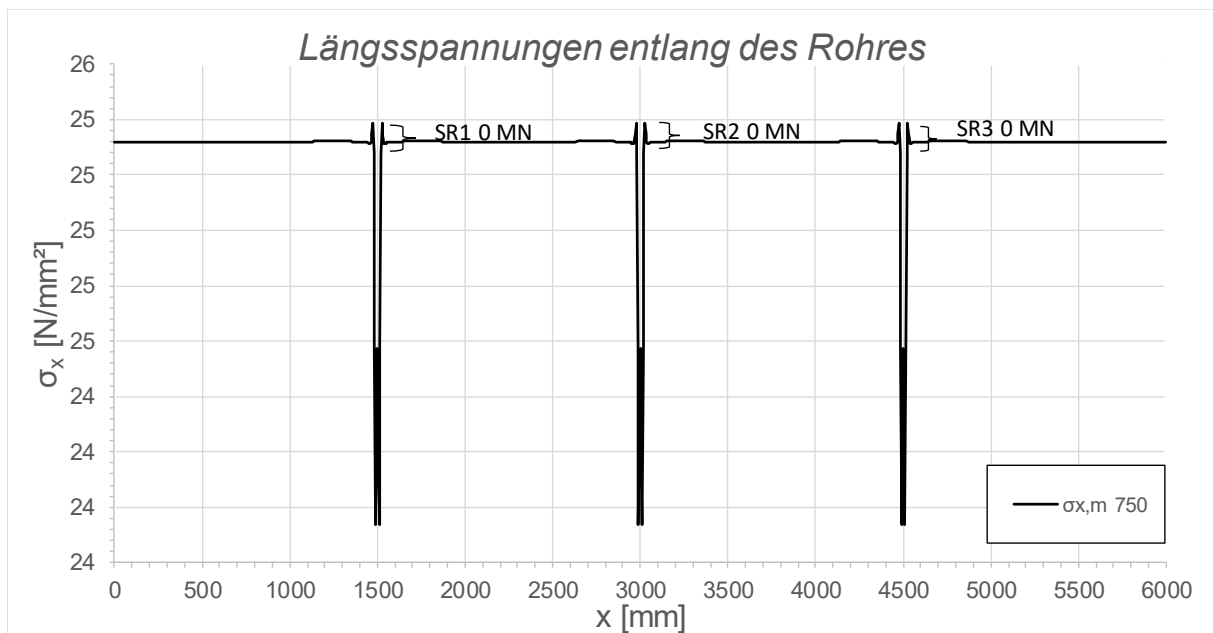


Abbildung B.146: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.3.2 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

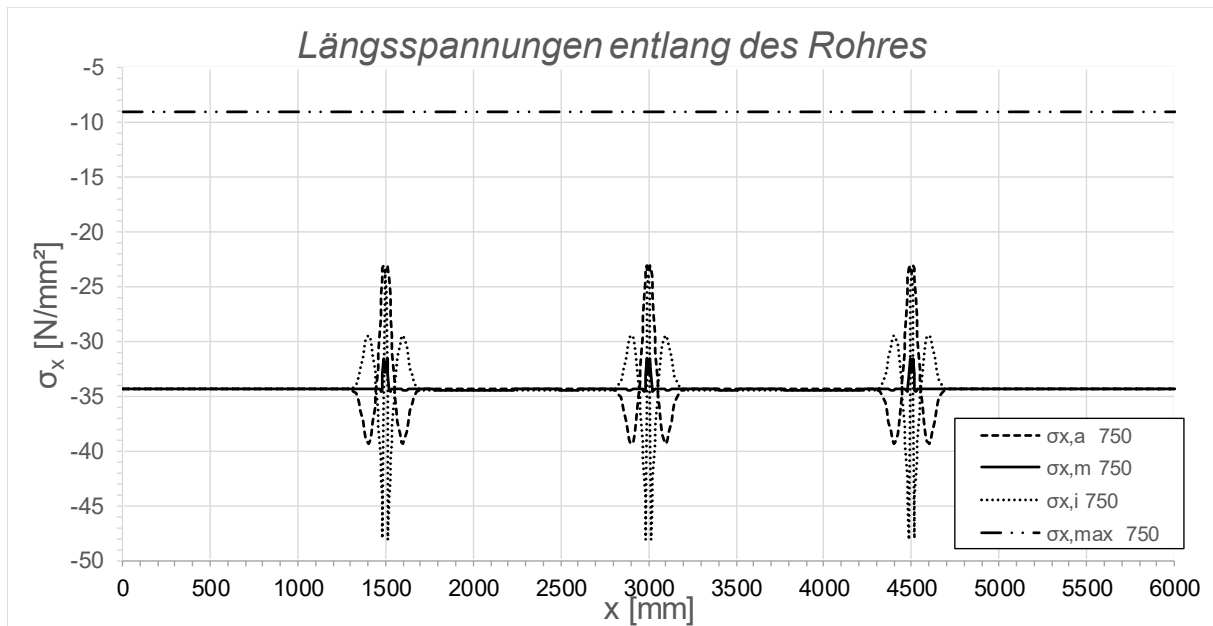


Abbildung B.147: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

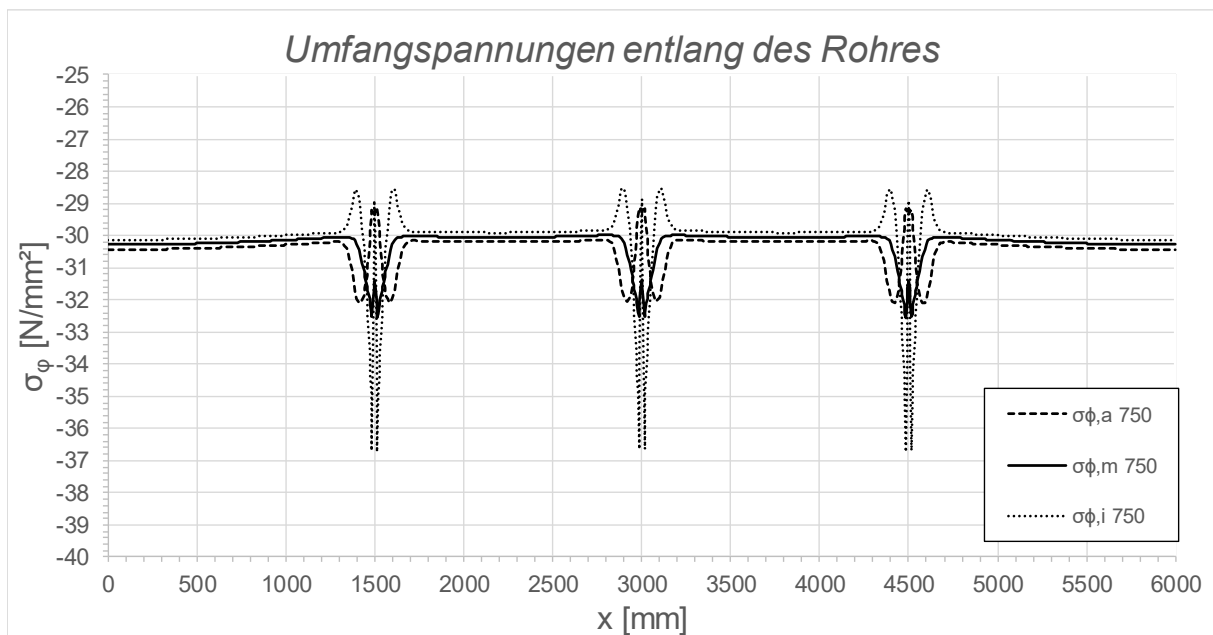


Abbildung B.148: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

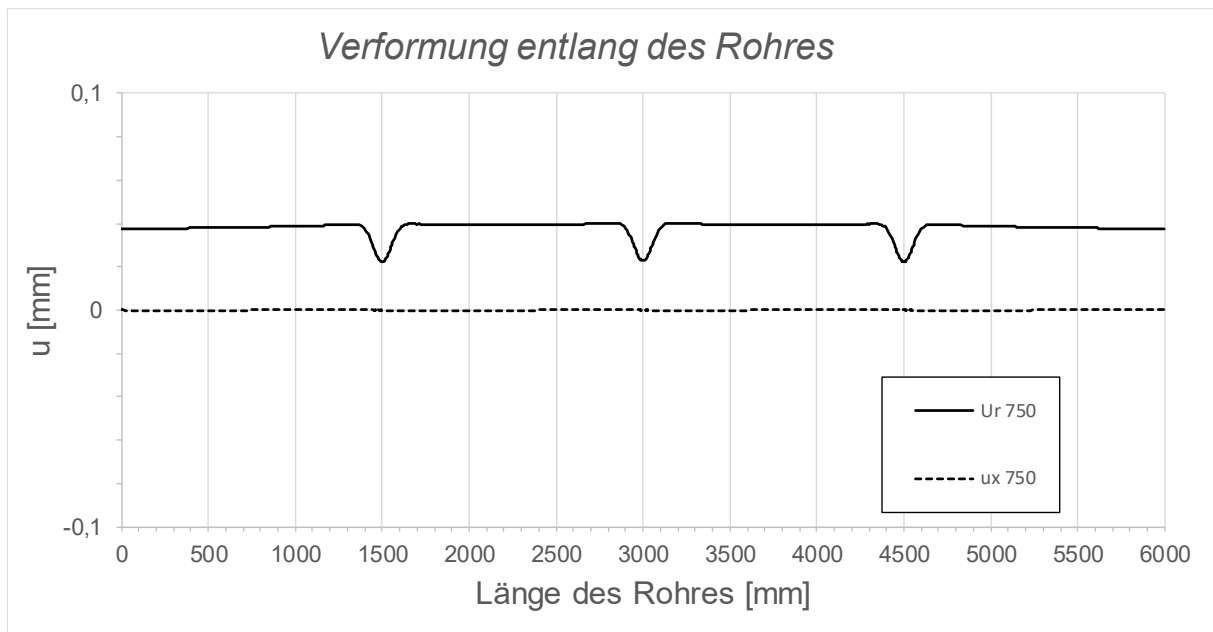


Abbildung B.149: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

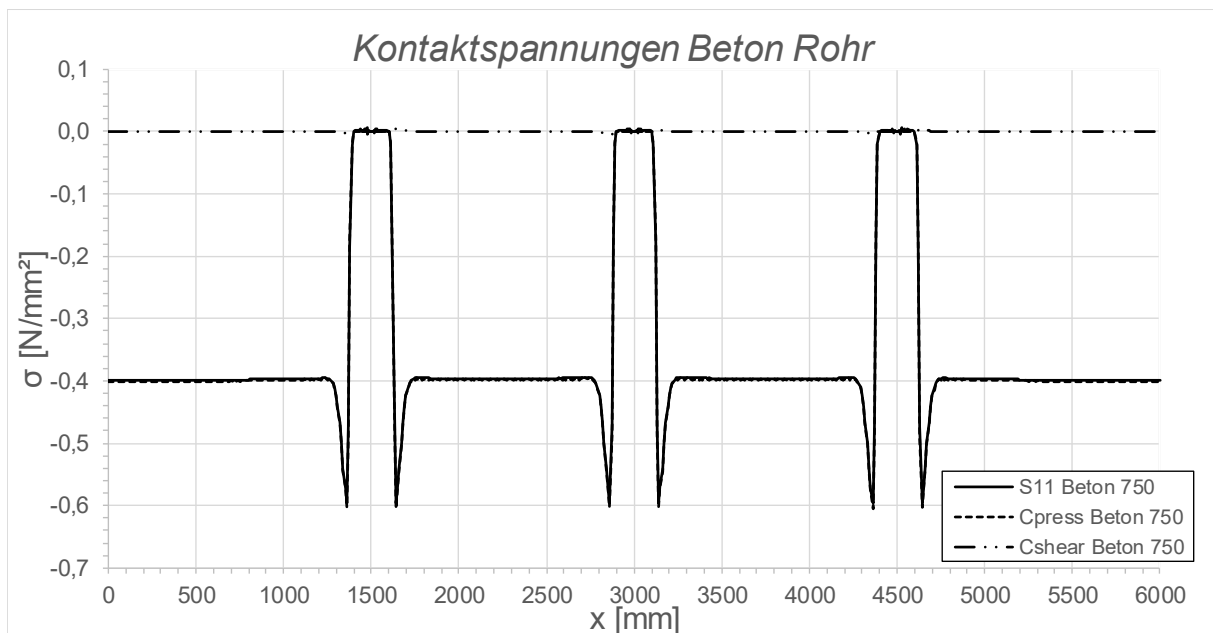


Abbildung B.150: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

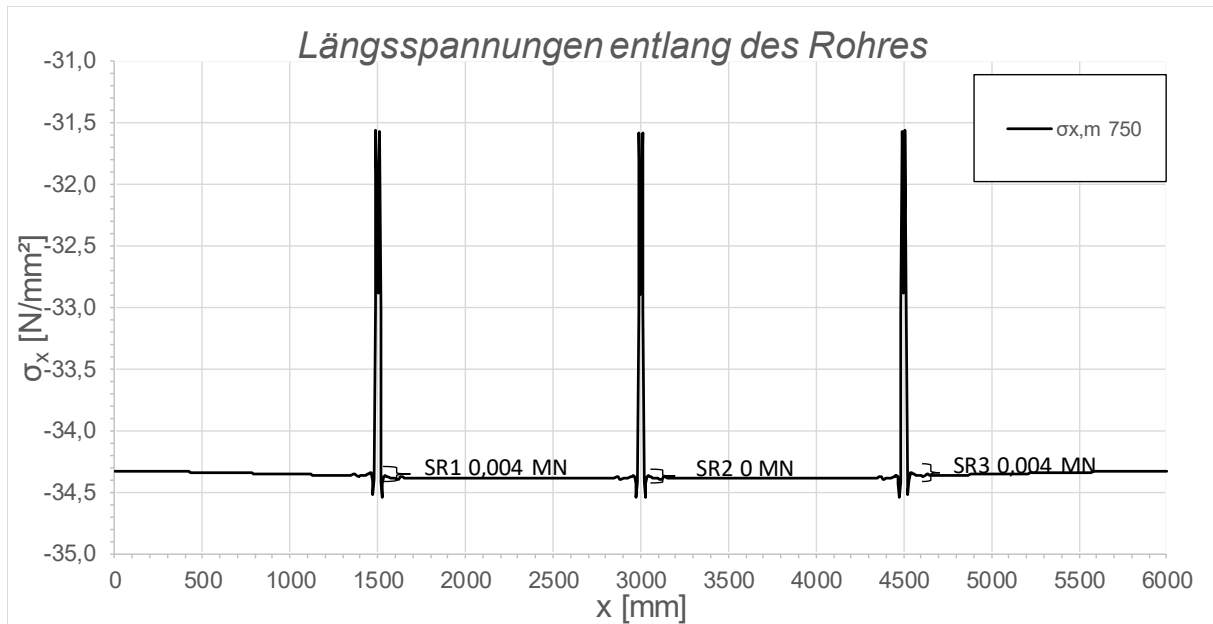


Abbildung B.151: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

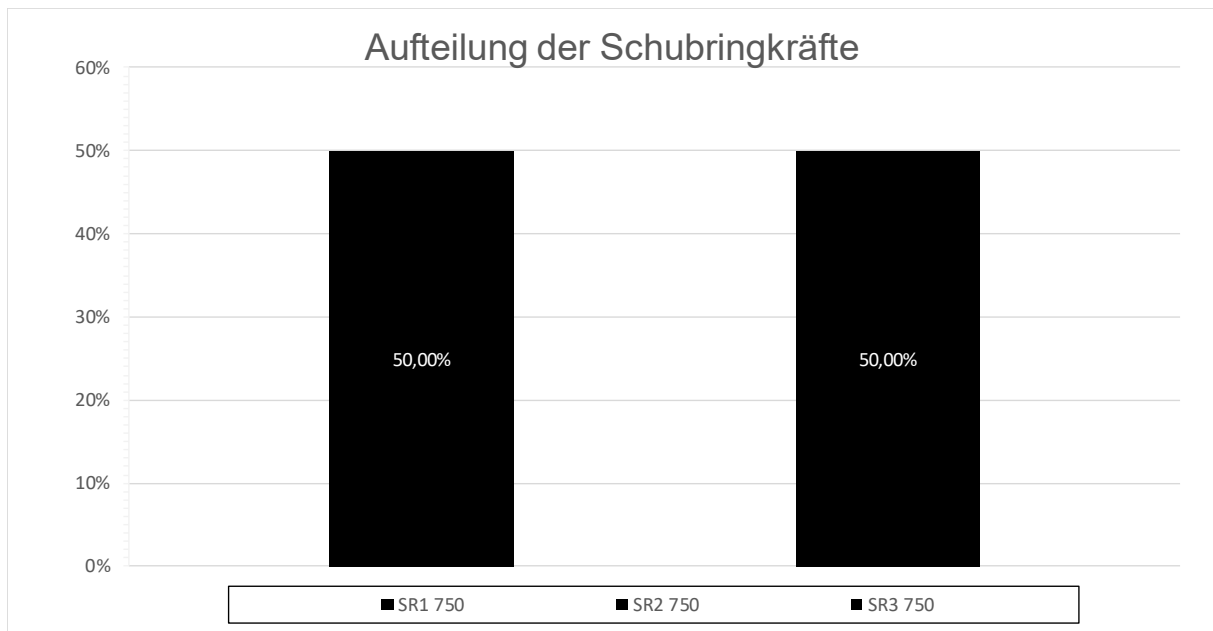


Abbildung B.152: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

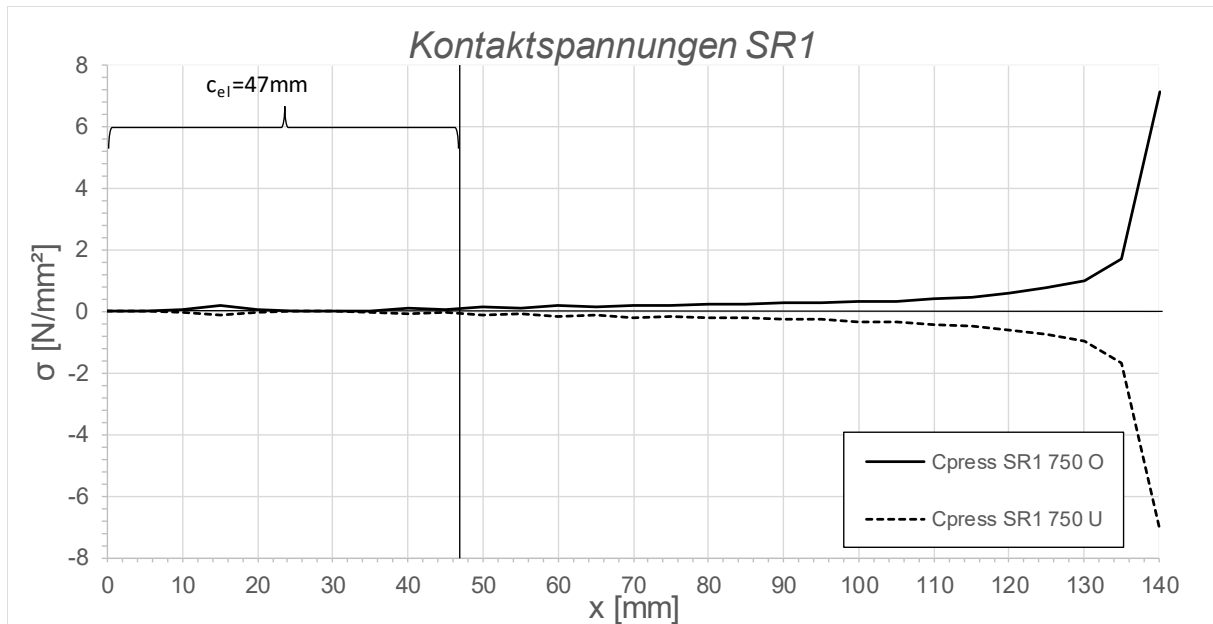


Abbildung B.153: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

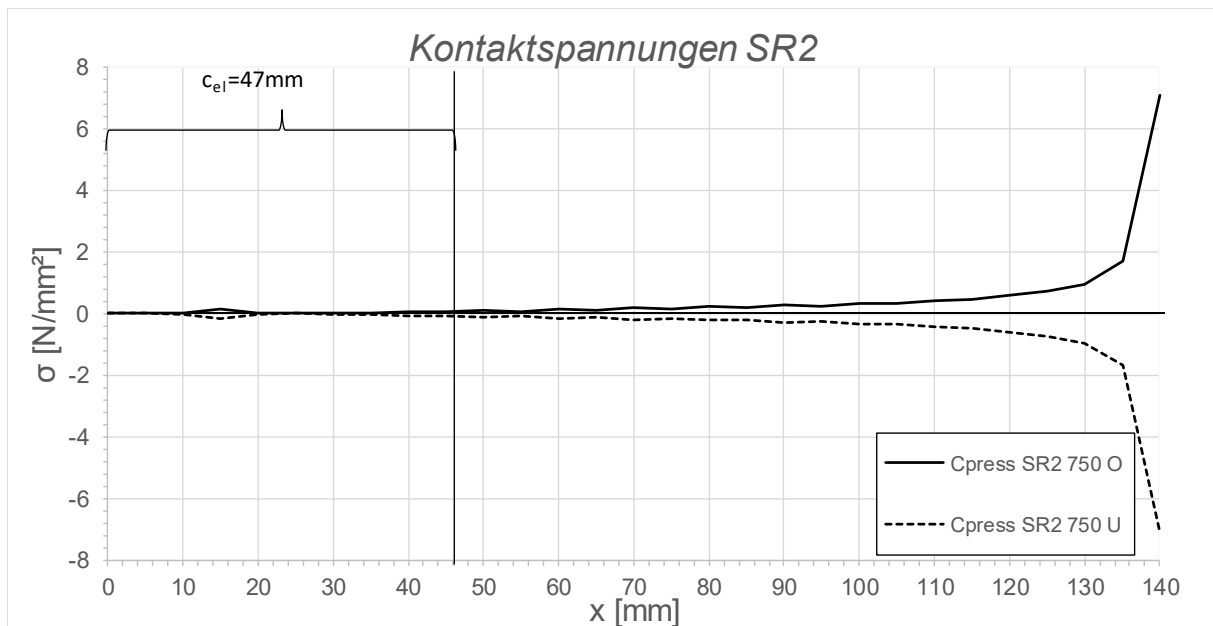


Abbildung B.154: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

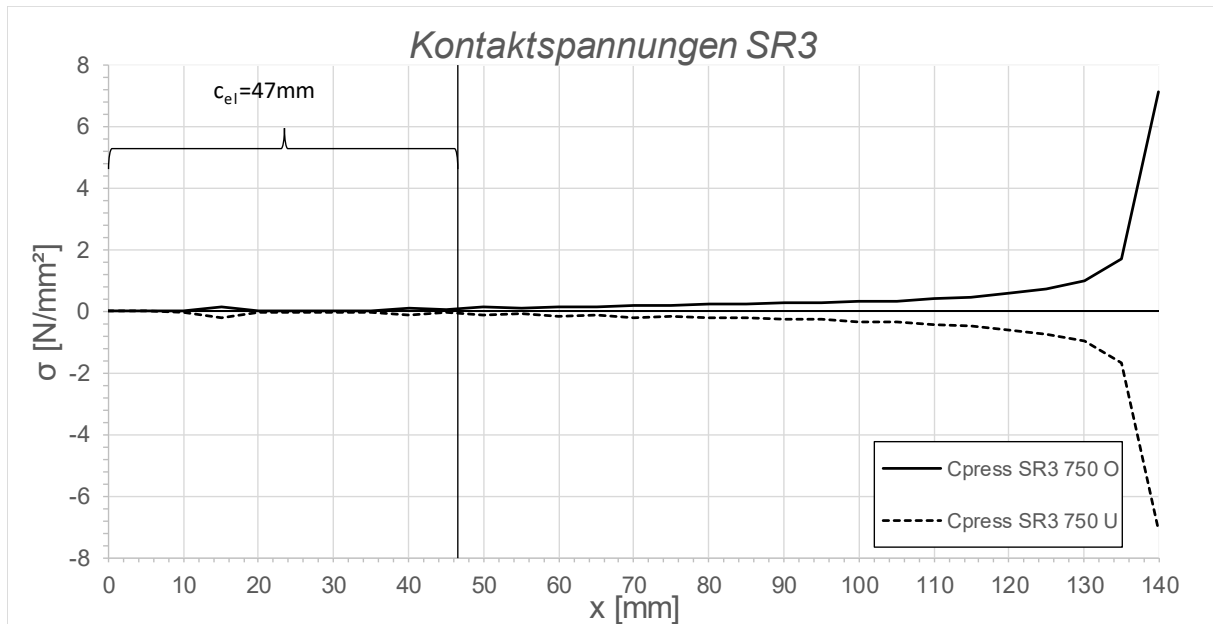


Abbildung B.155: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.3.3 SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

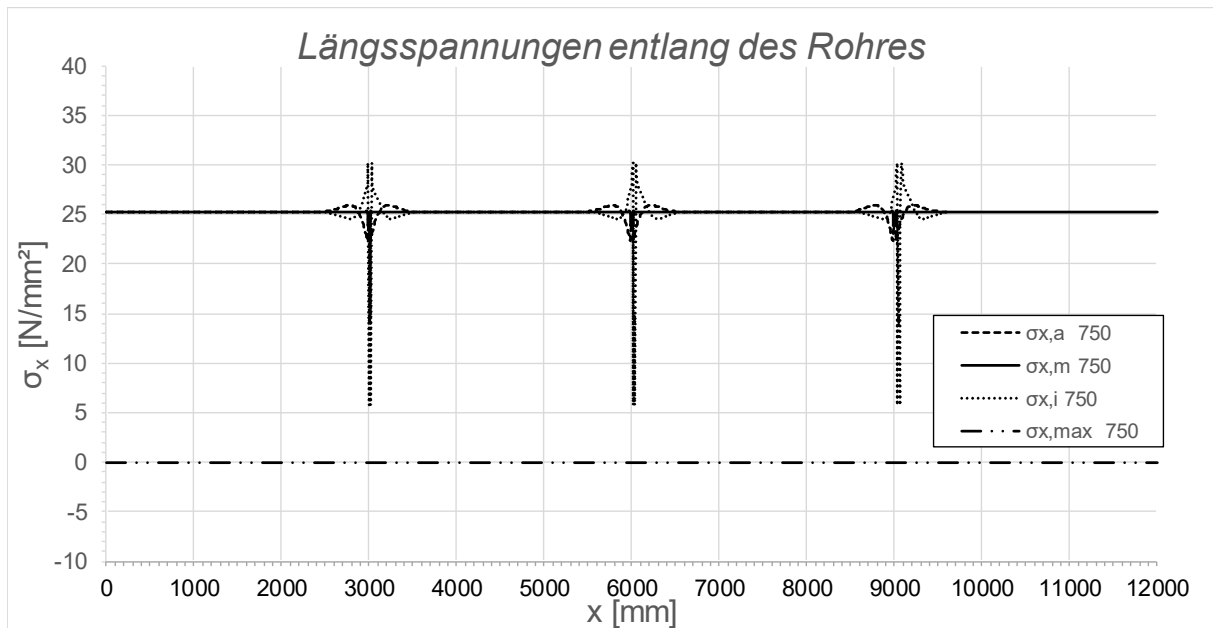


Abbildung B.156: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

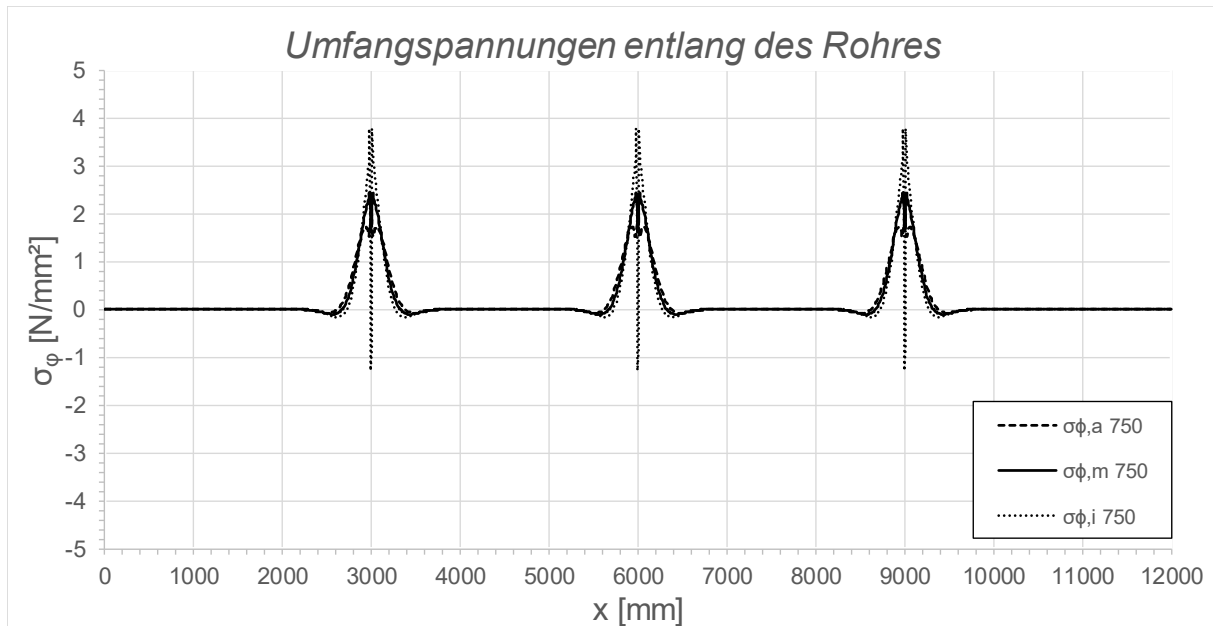


Abbildung B.157: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

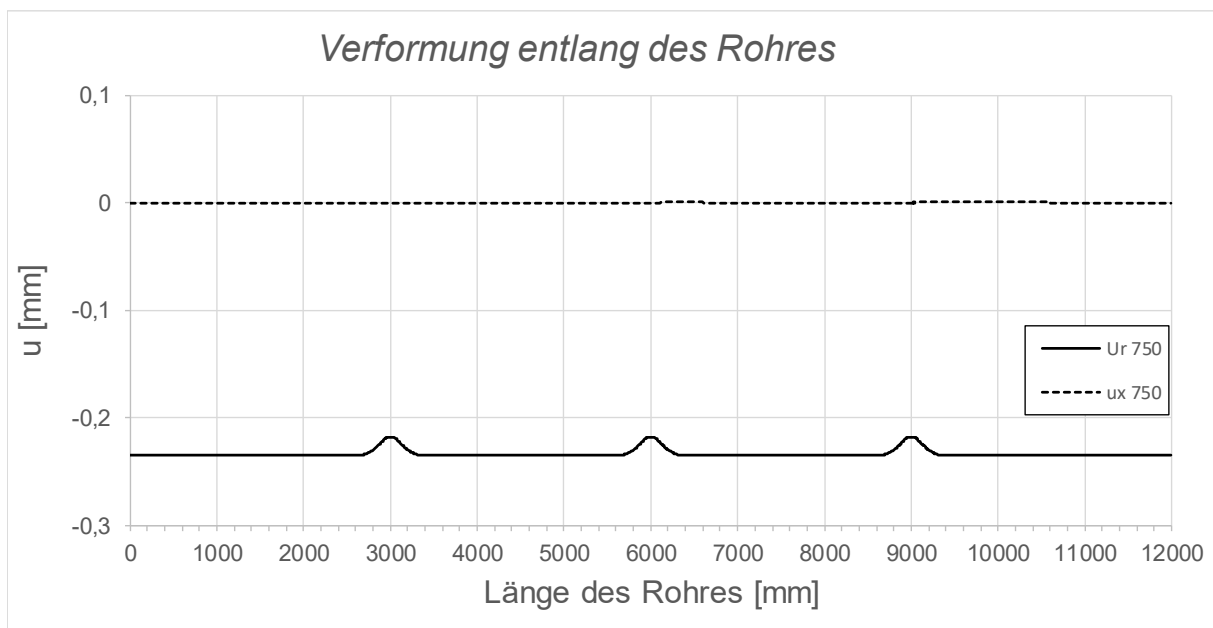


Abbildung B.158: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

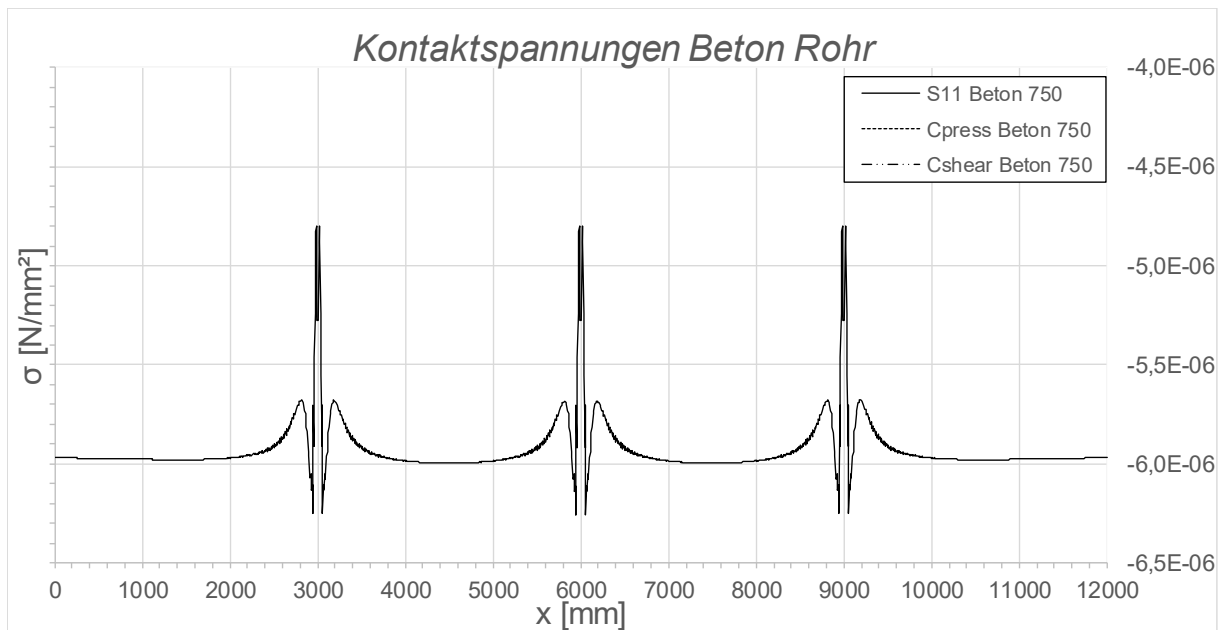


Abbildung B.159: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

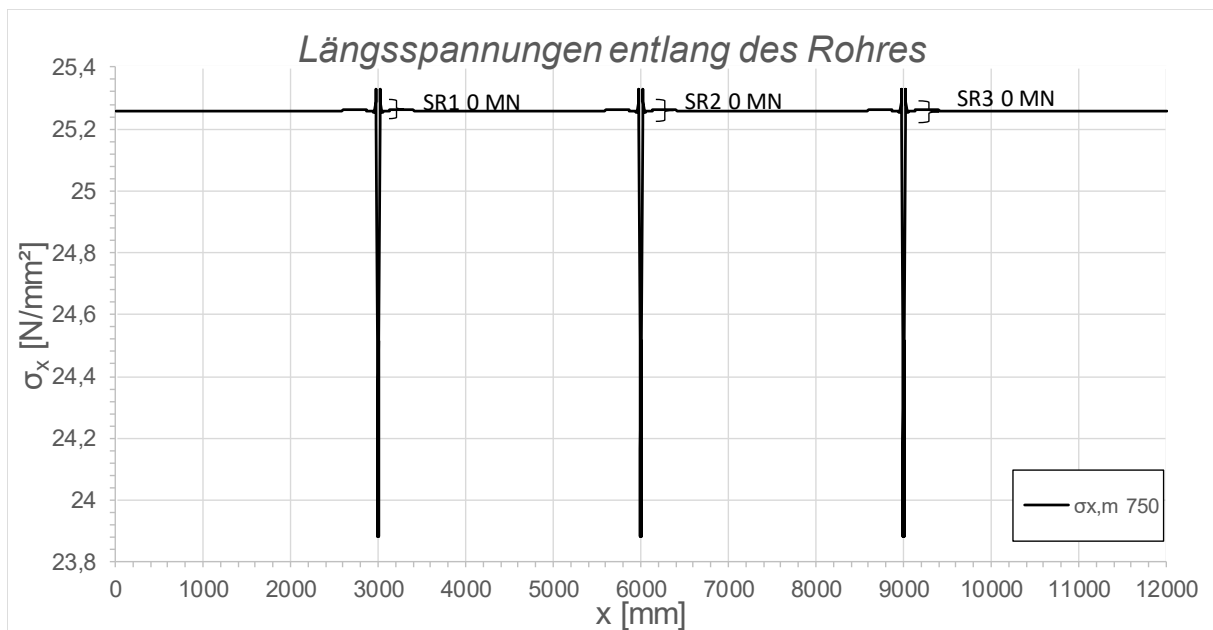


Abbildung B.160: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.3.4 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

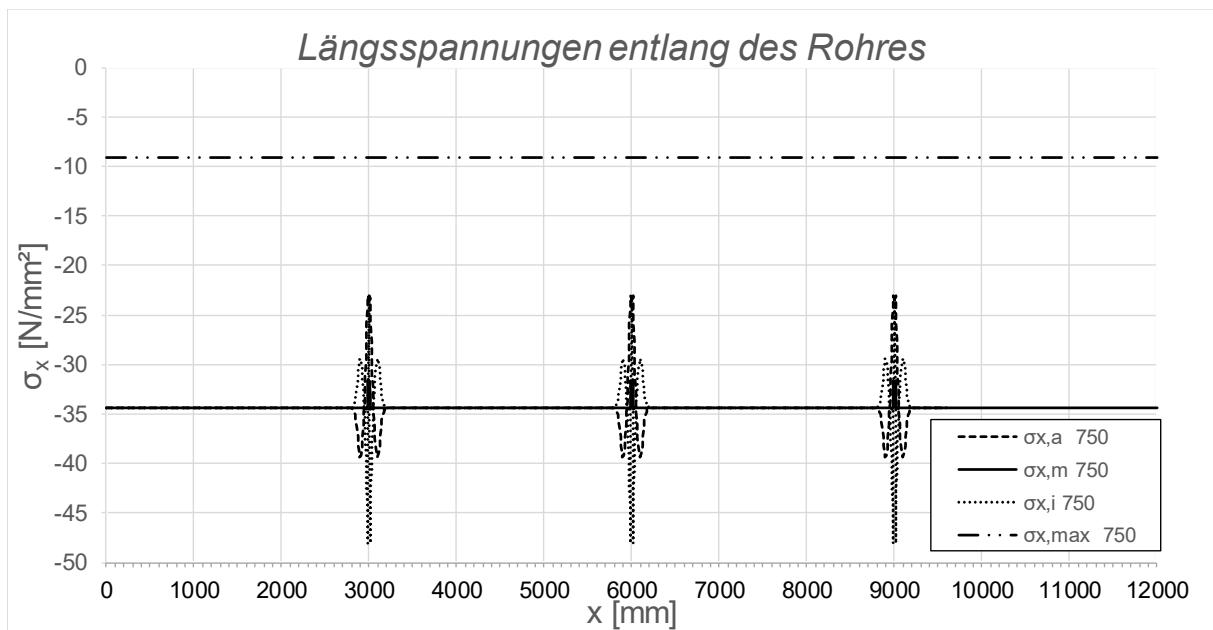


Abbildung B.161: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

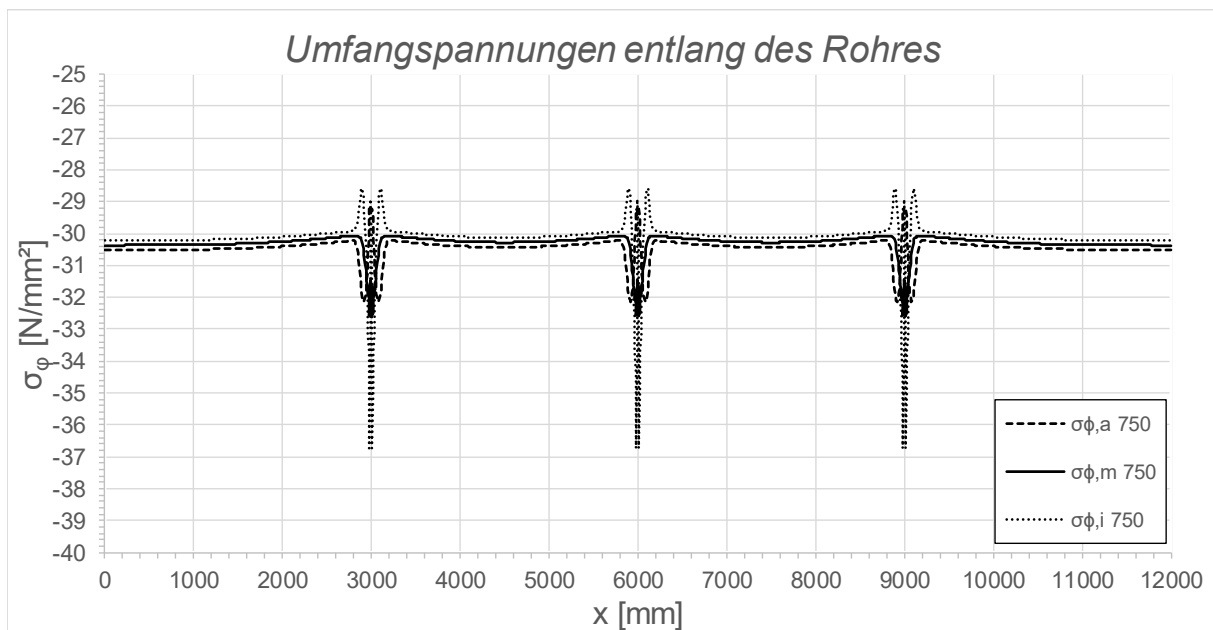


Abbildung B.162: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

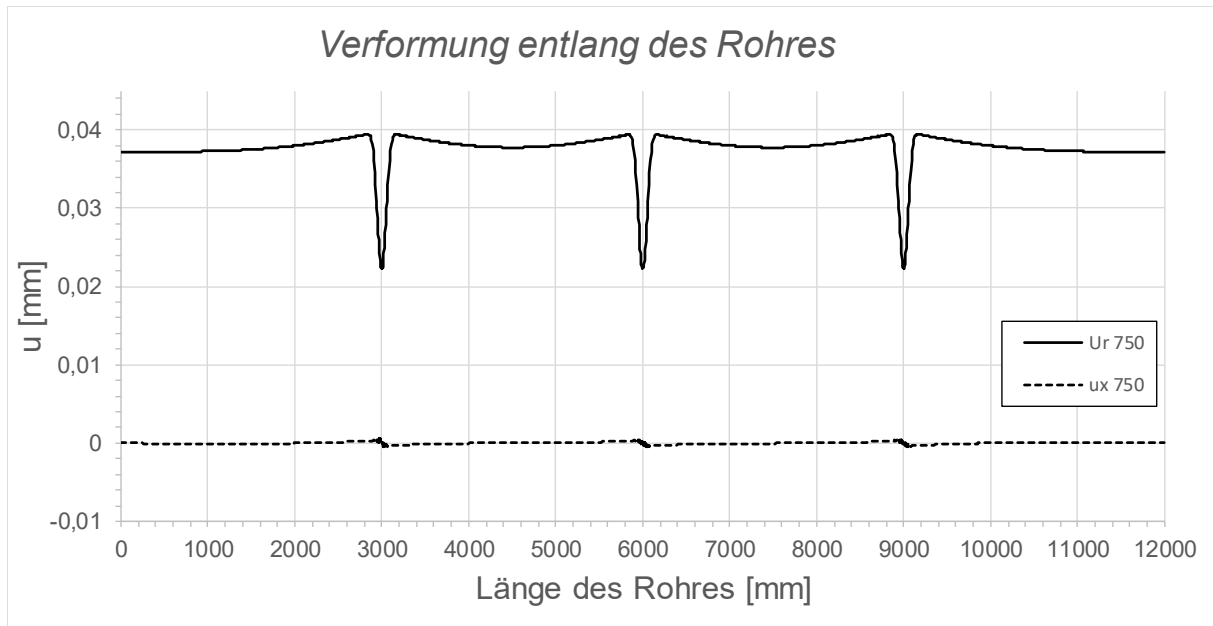


Abbildung B.163: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

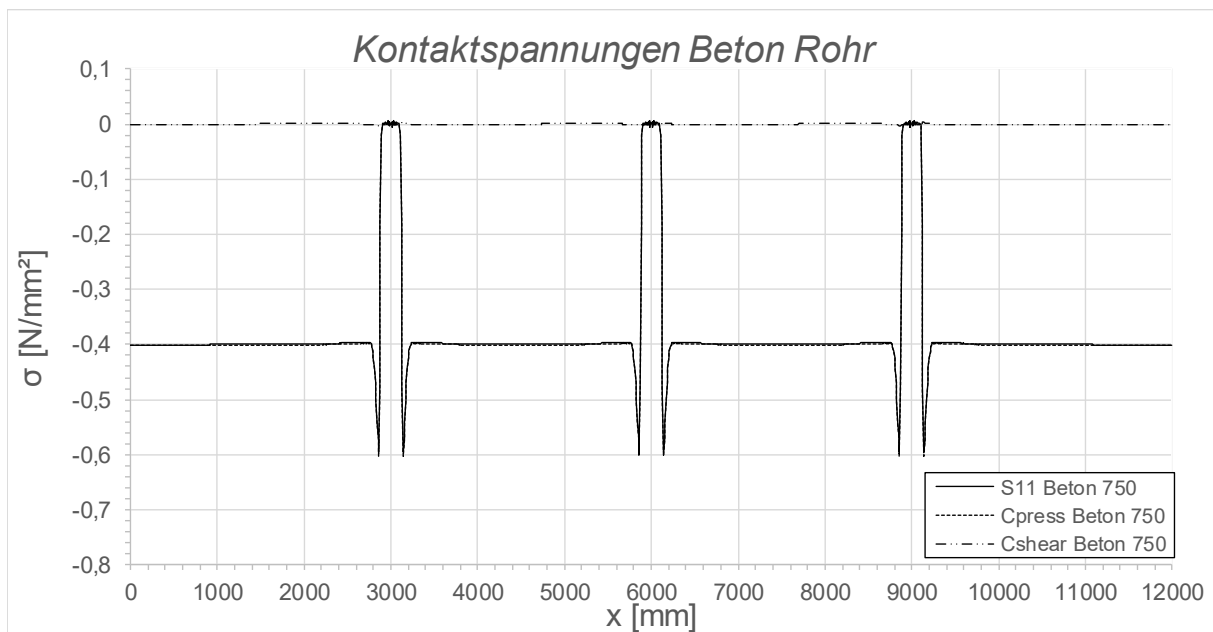


Abbildung B.164: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

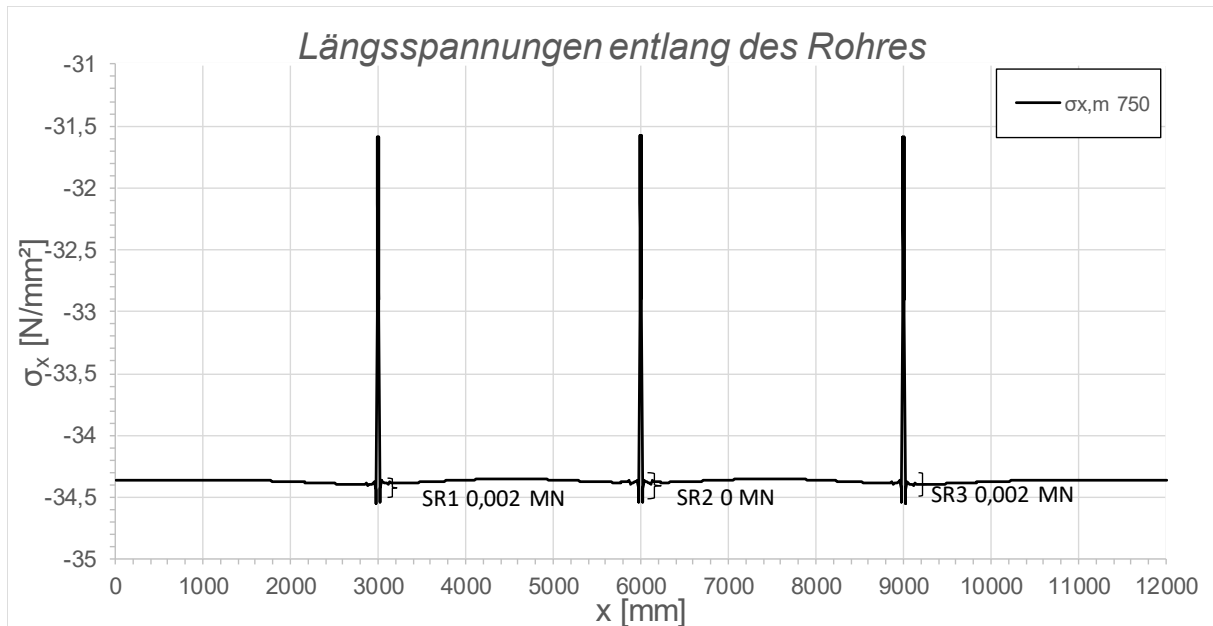


Abbildung B.165: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

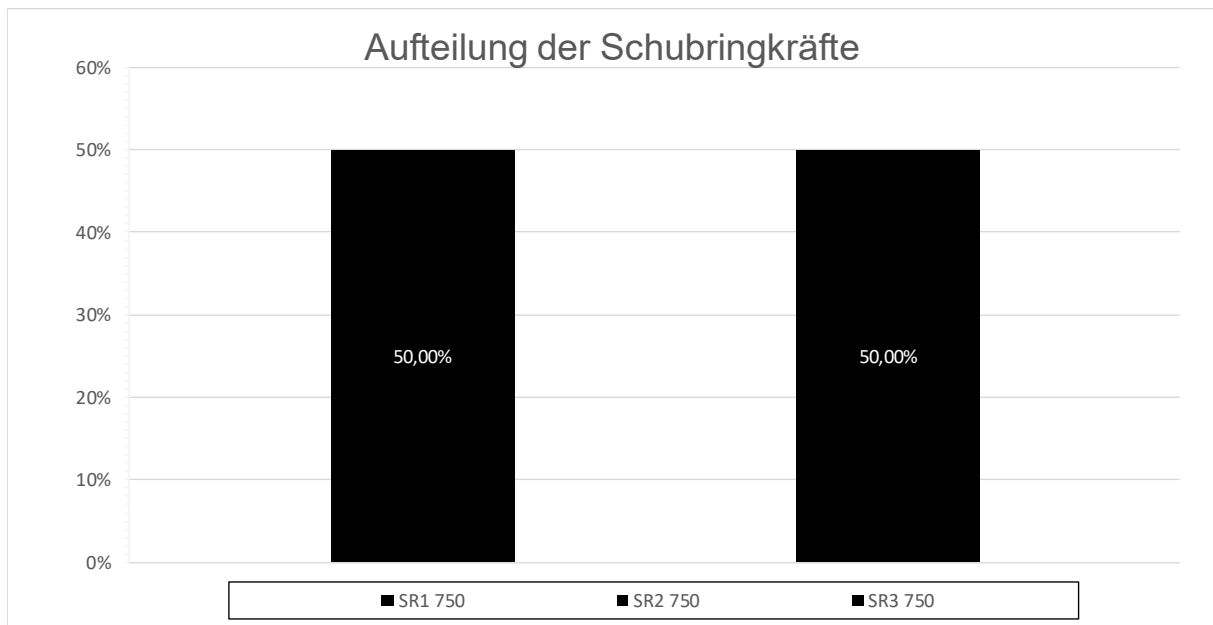


Abbildung B.166: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

B.3.5 SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

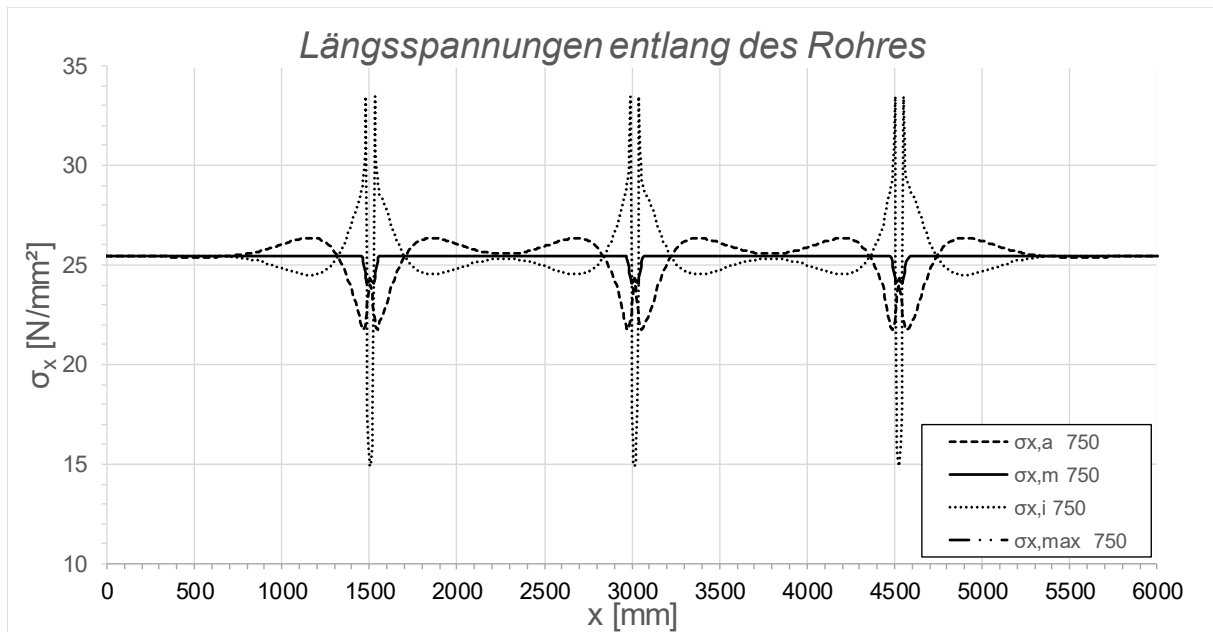


Abbildung B.167: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_f = 4000 \text{ N/mm}^2$

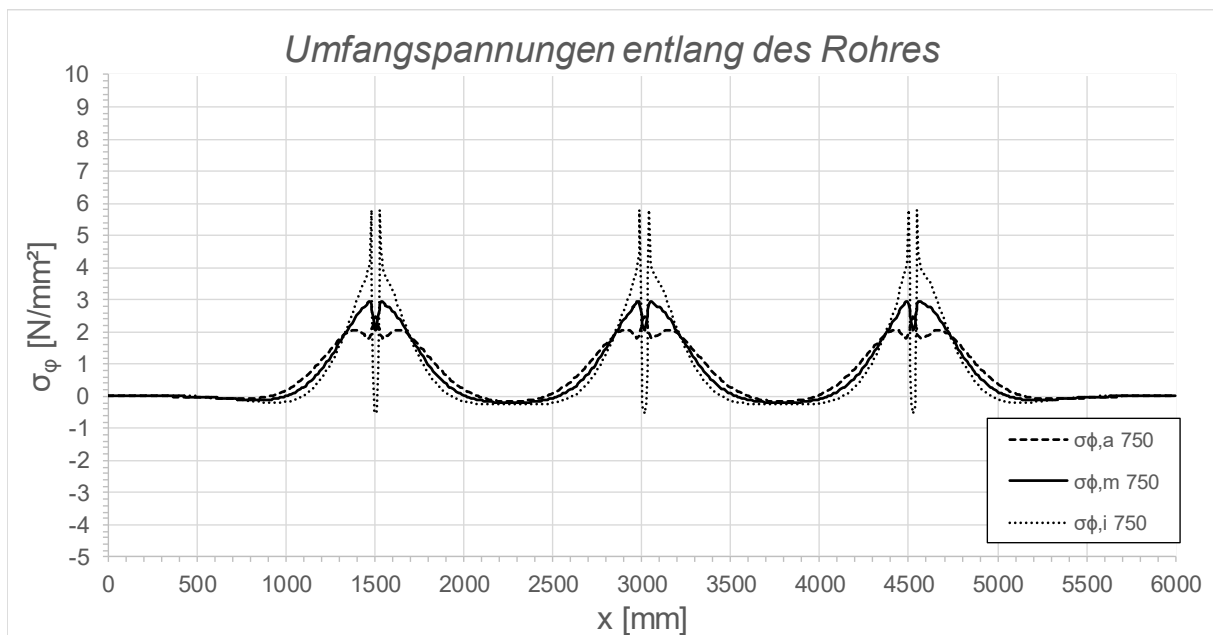


Abbildung B.168: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_f = 4000 \text{ N/mm}^2$

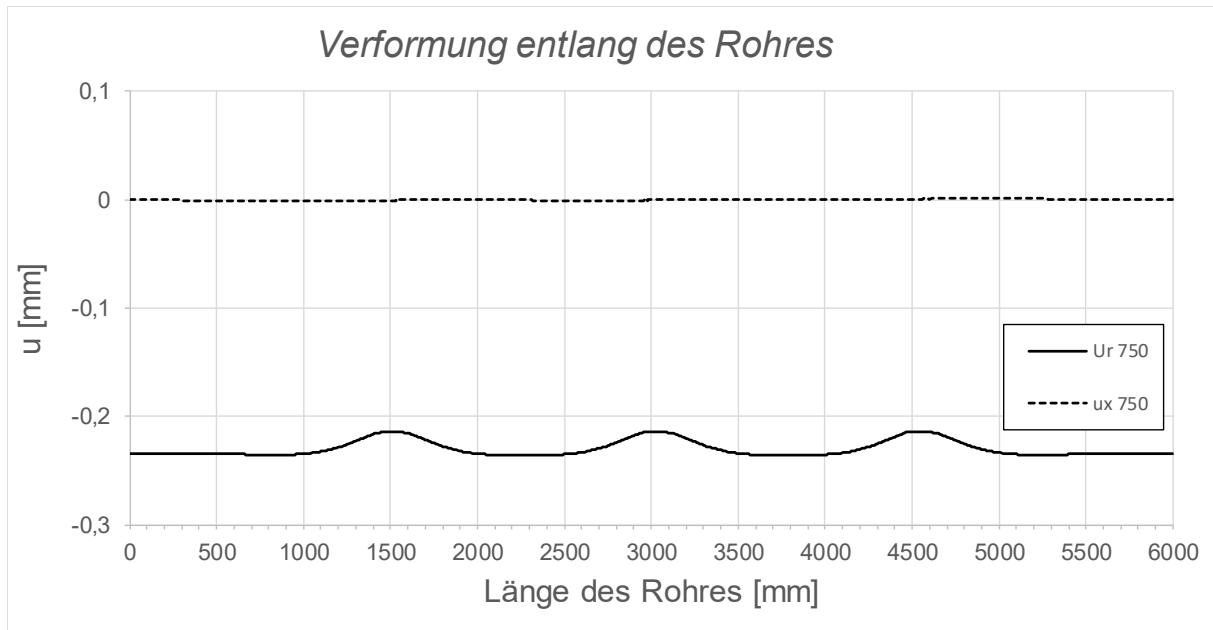


Abbildung B.169: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

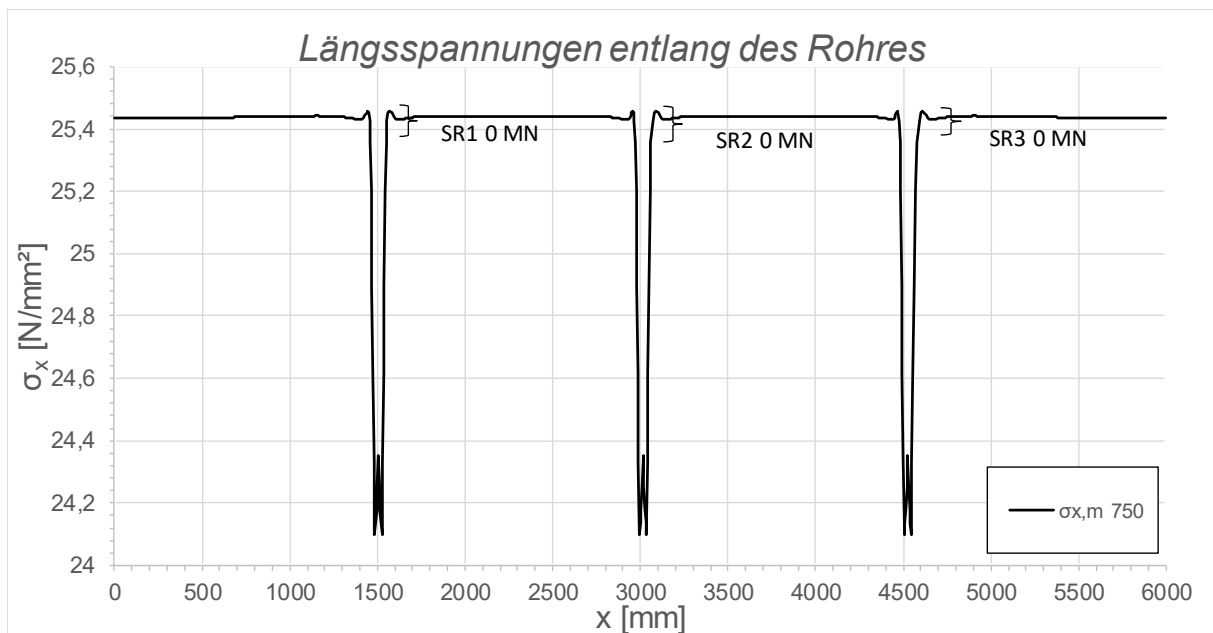


Abbildung B.170: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

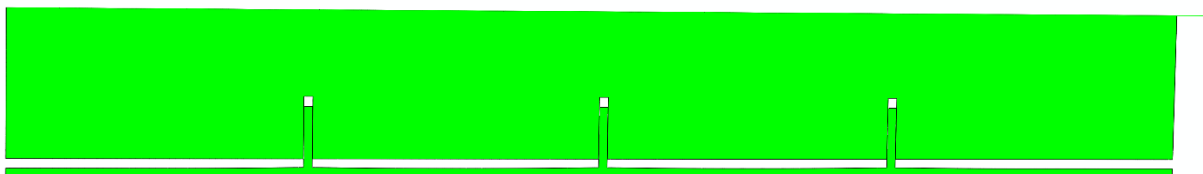


Abbildung B.171: Überhöhte Darstellung (200-fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.3.6 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

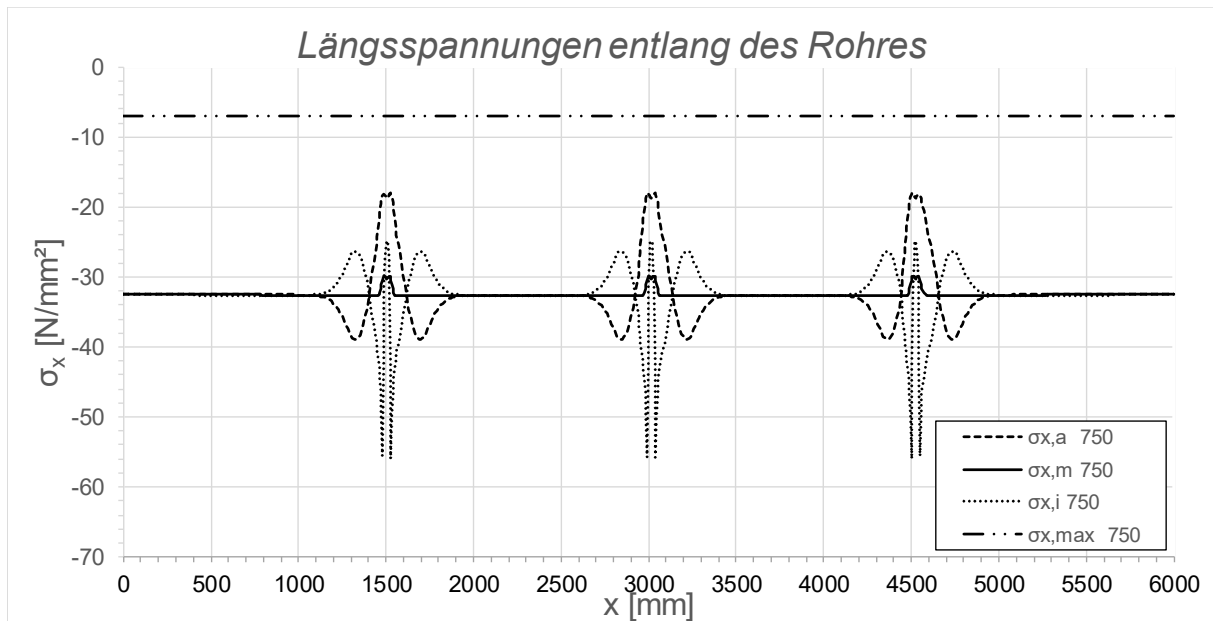


Abbildung B.172: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

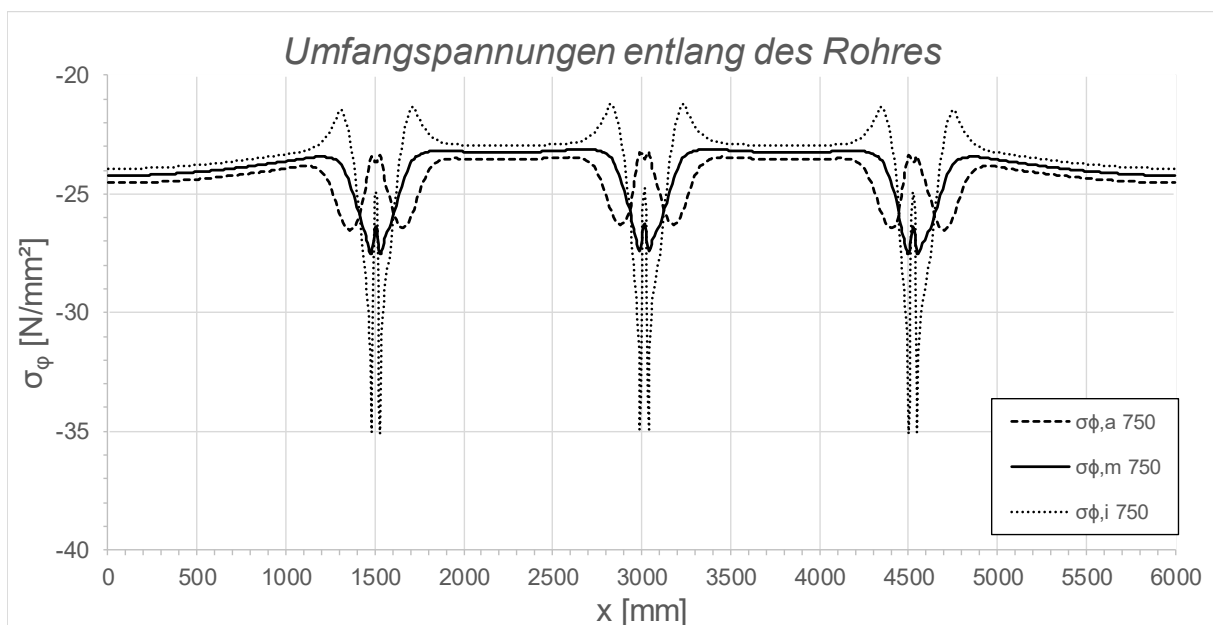


Abbildung B.173: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

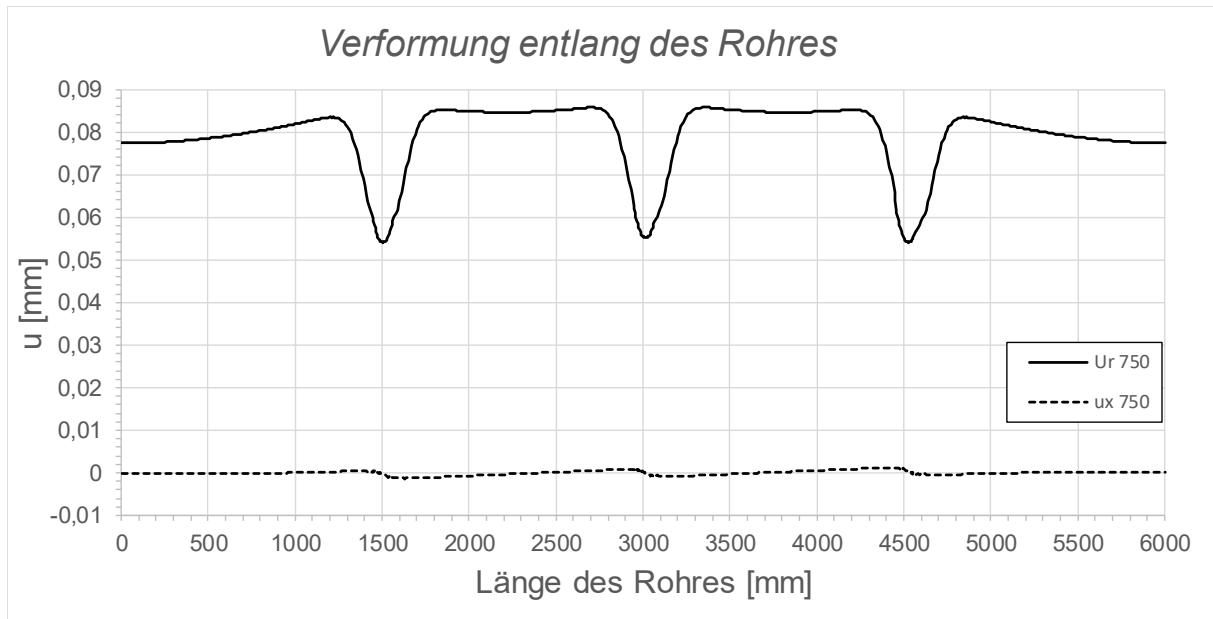


Abbildung B.174: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

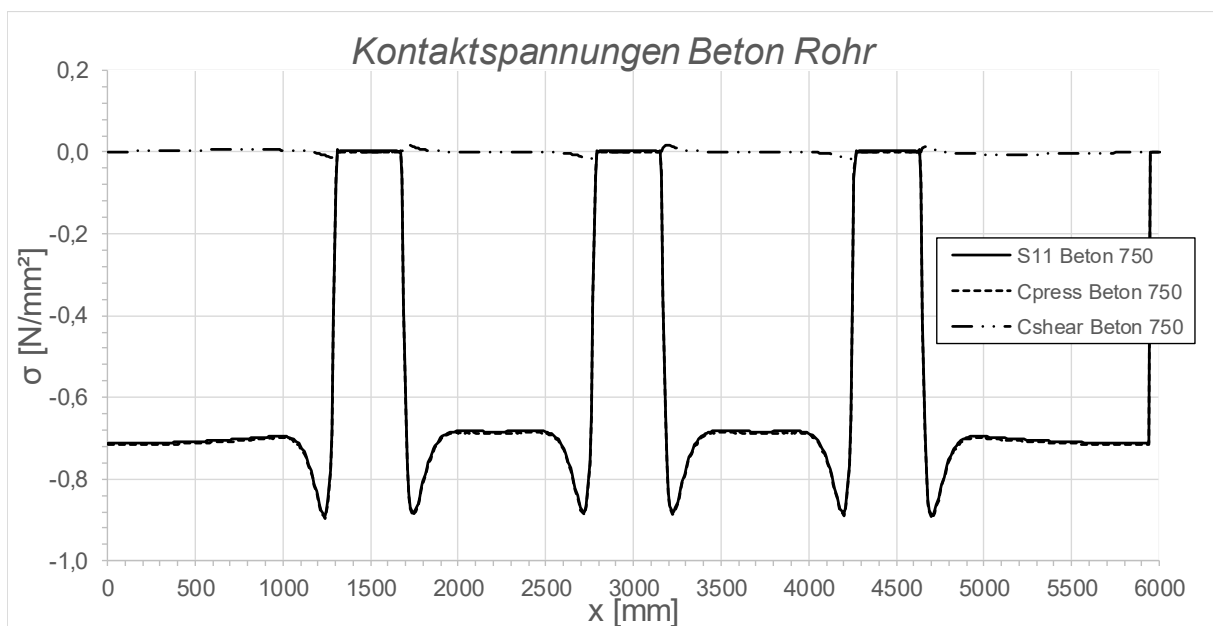


Abbildung B.175: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

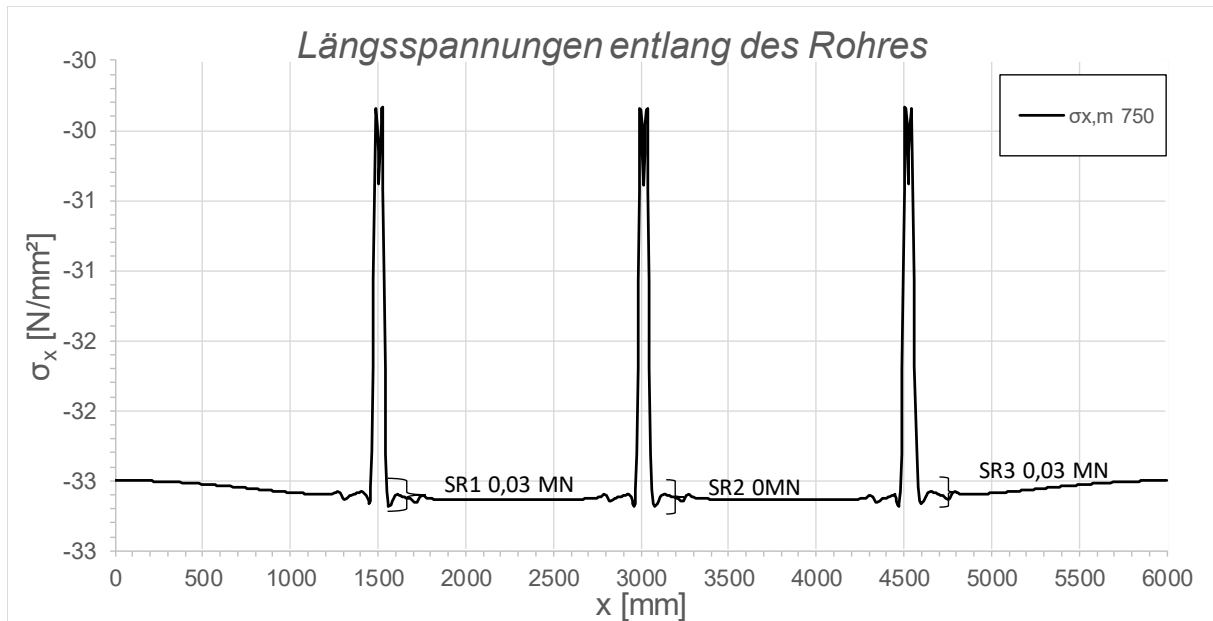


Abbildung B.176: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

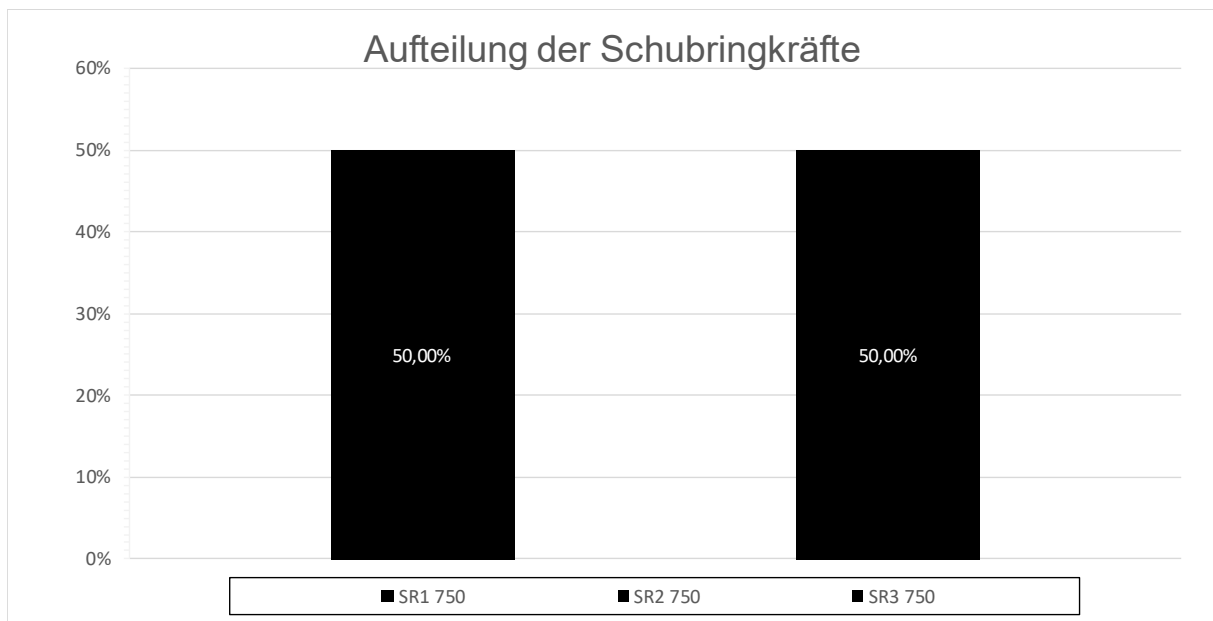


Abbildung B.177: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

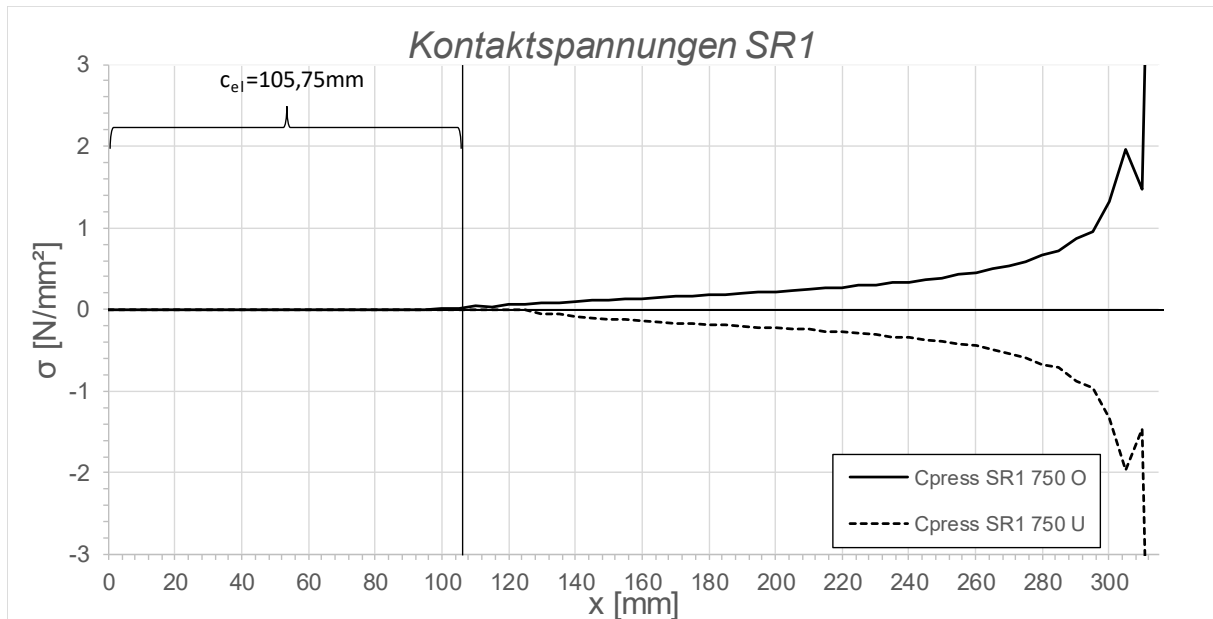


Abbildung B.178: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

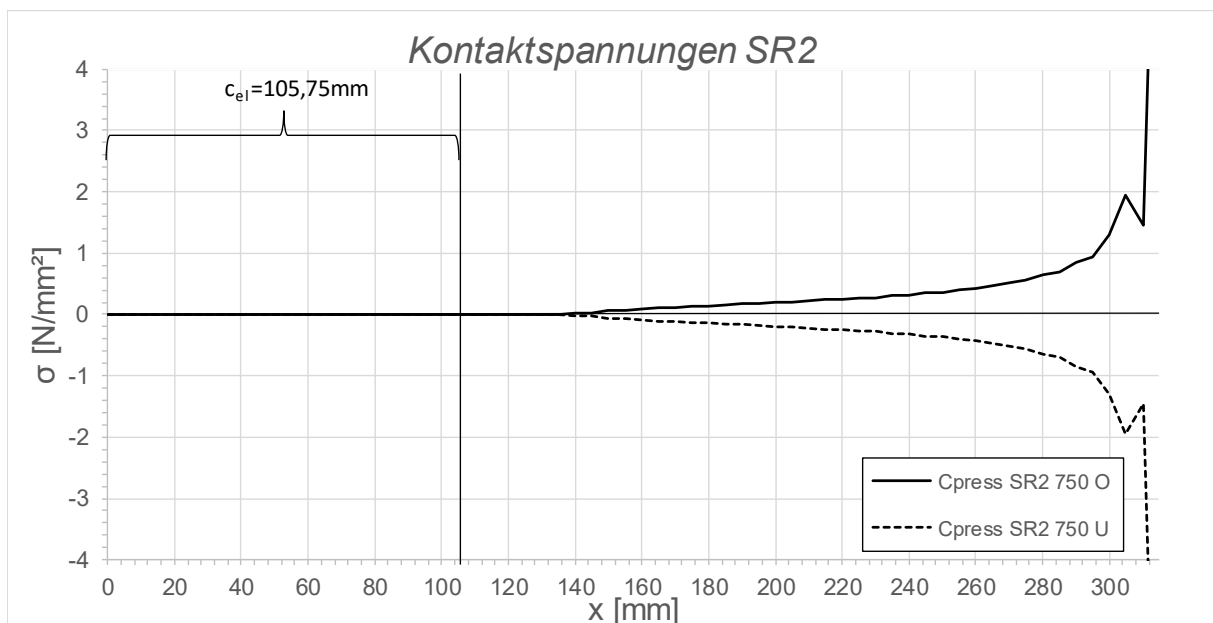


Abbildung B.179: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

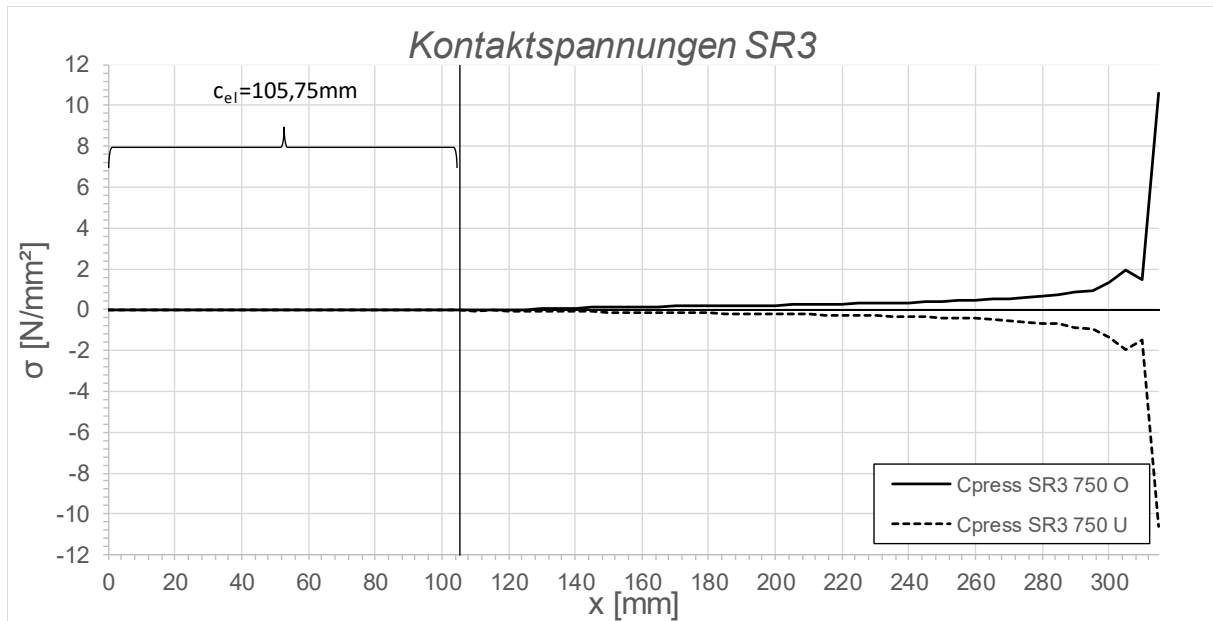


Abbildung B.180: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

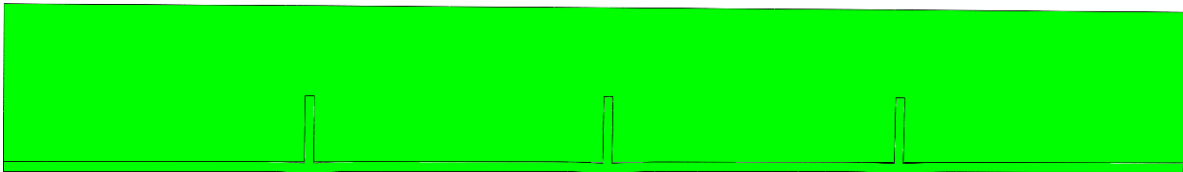


Abbildung B.181: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.3.7 SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

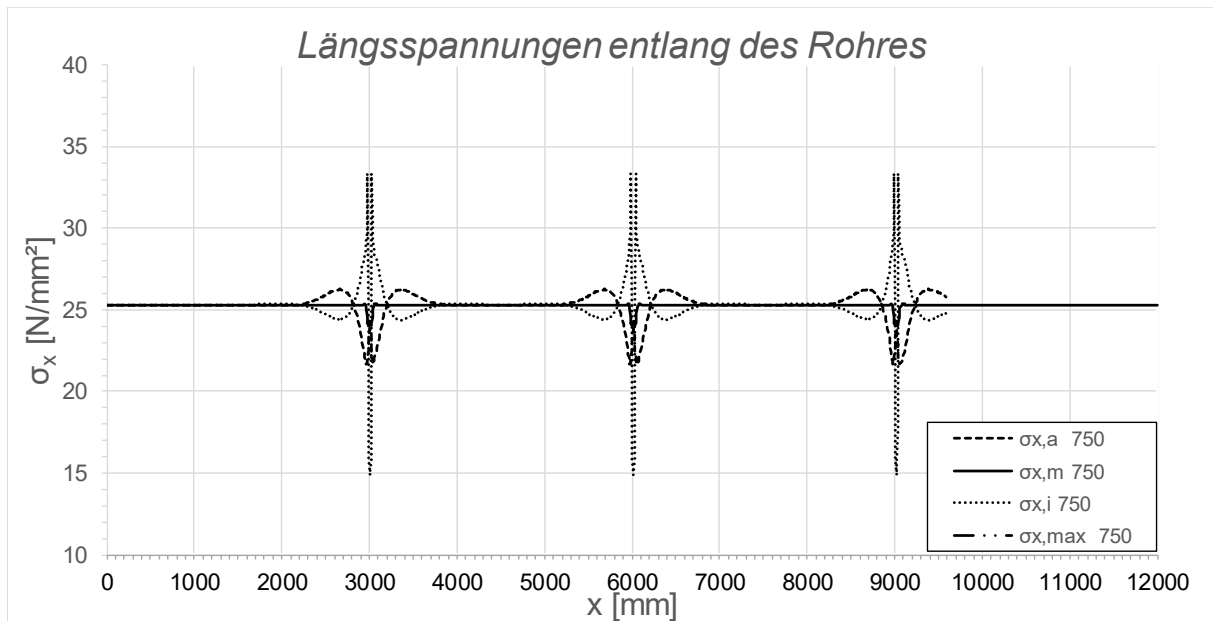


Abbildung B.182: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

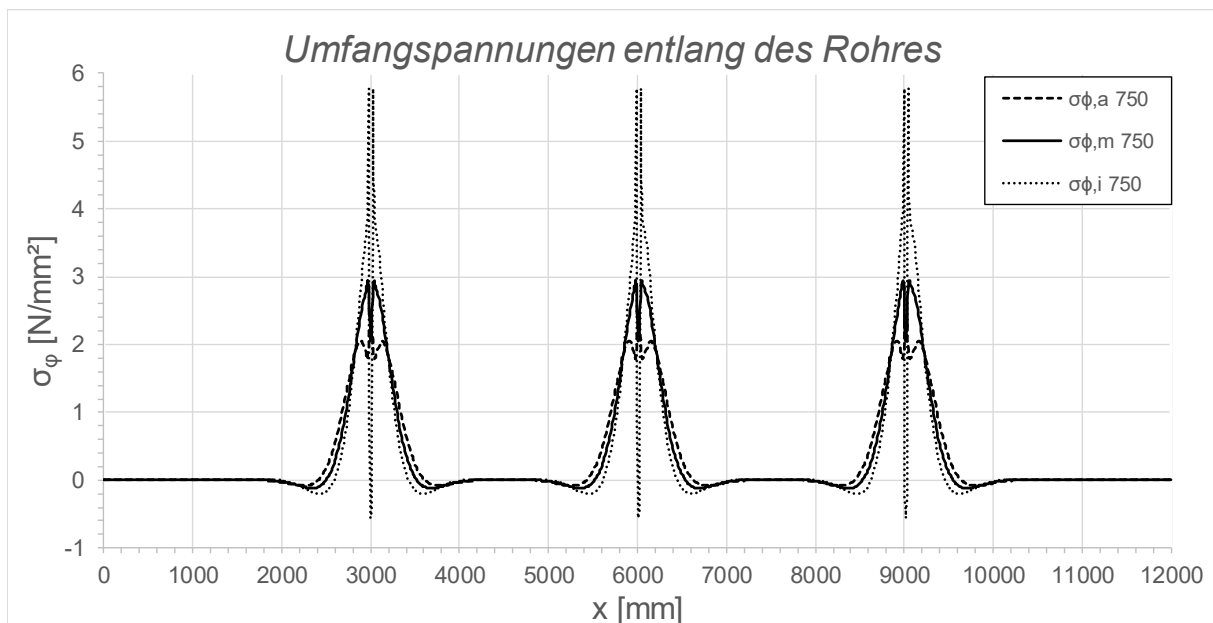


Abbildung B.183: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

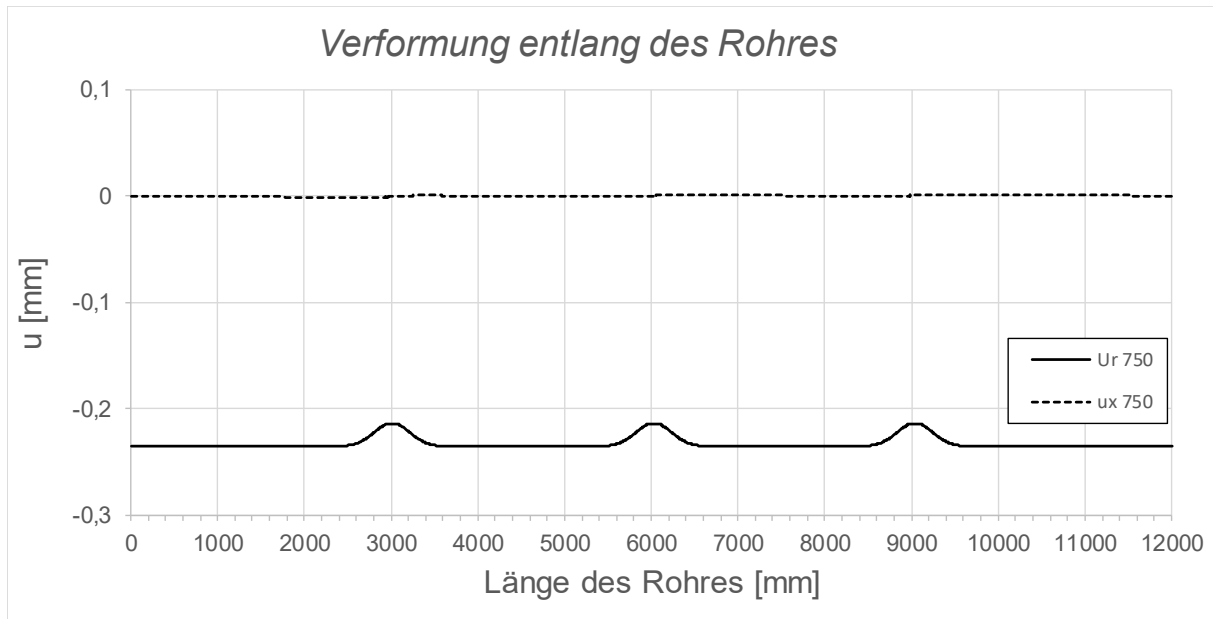


Abbildung B.184: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

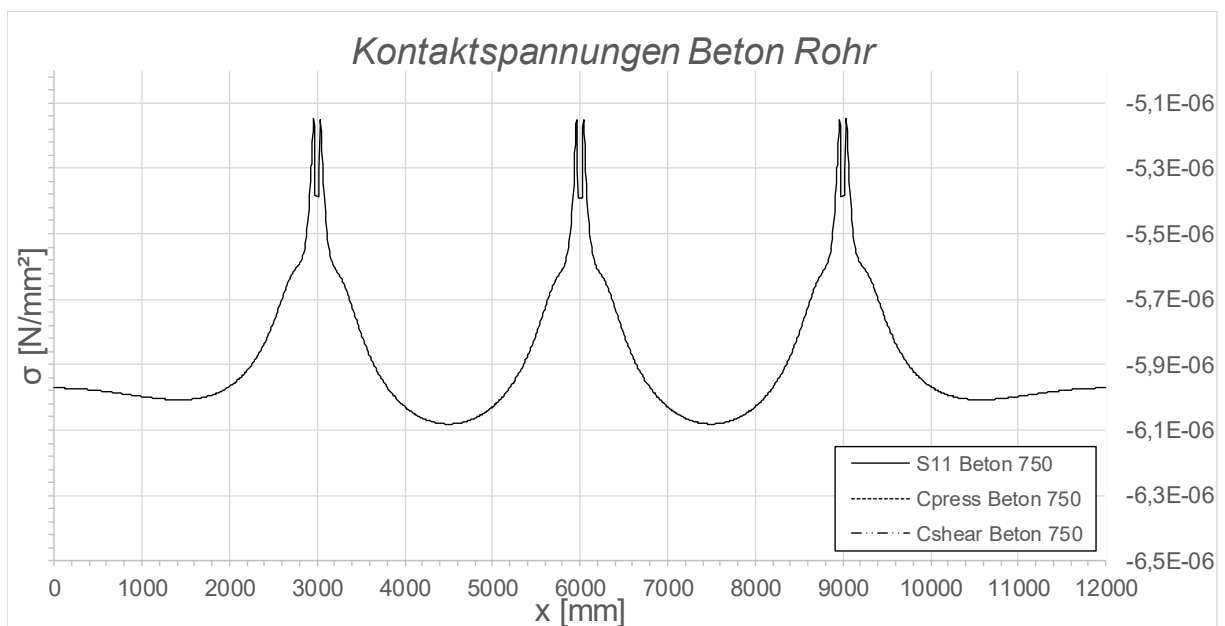


Abbildung B.185: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

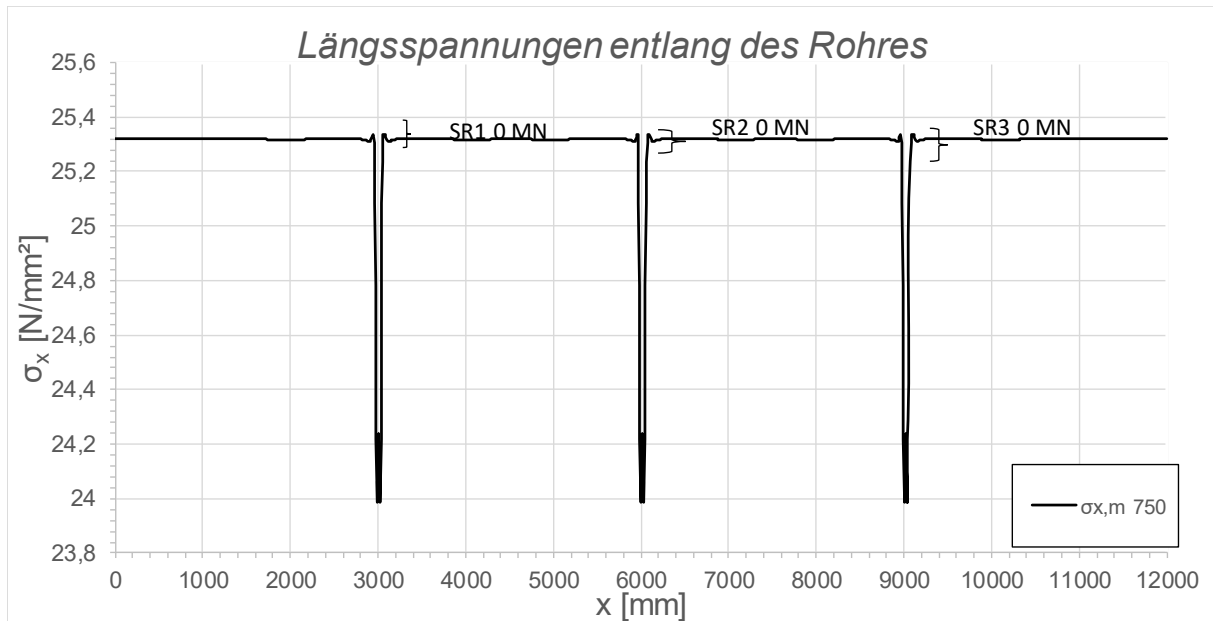


Abbildung B.186: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

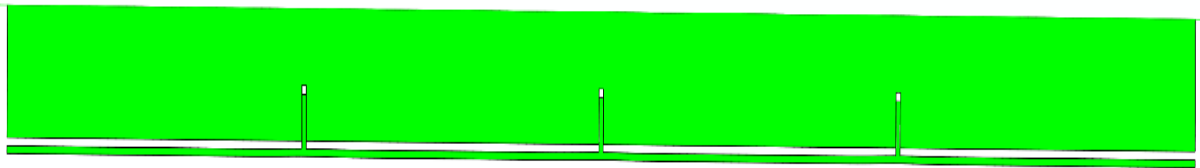


Abbildung B.187: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

B.3.8 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

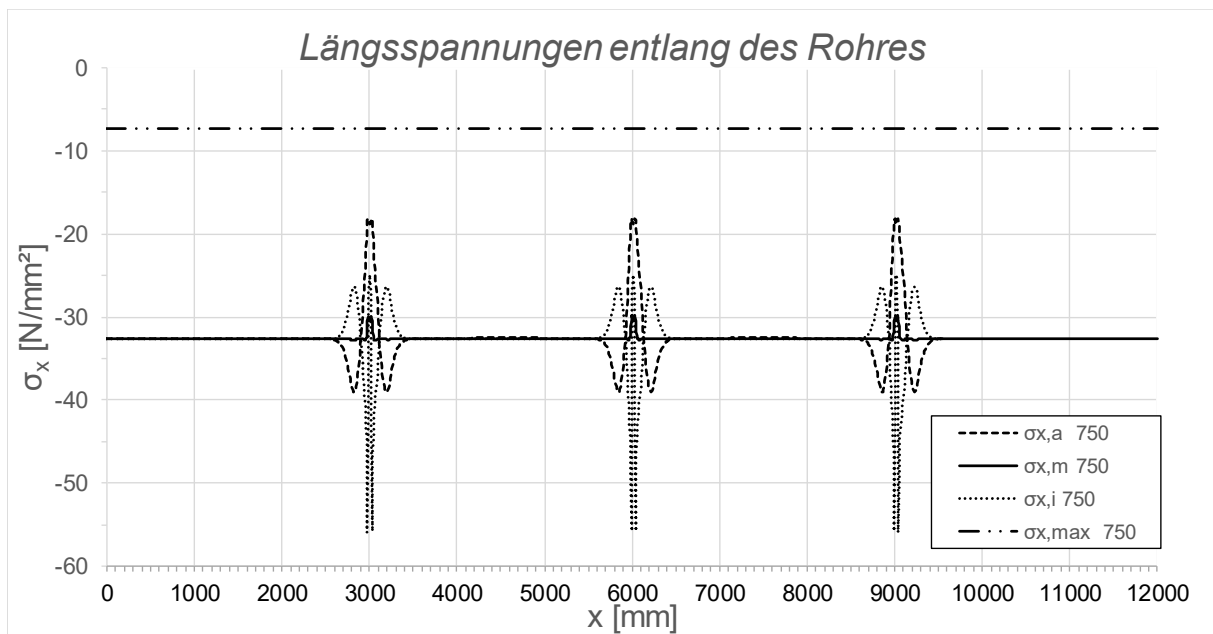


Abbildung B.188: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

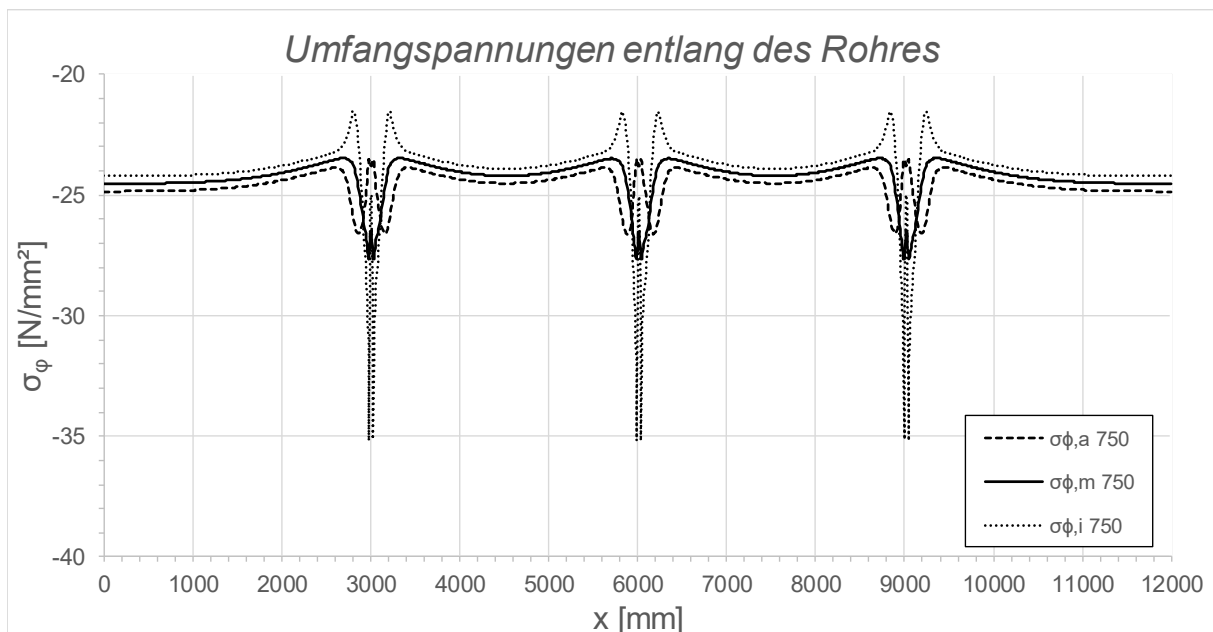


Abbildung B.189: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

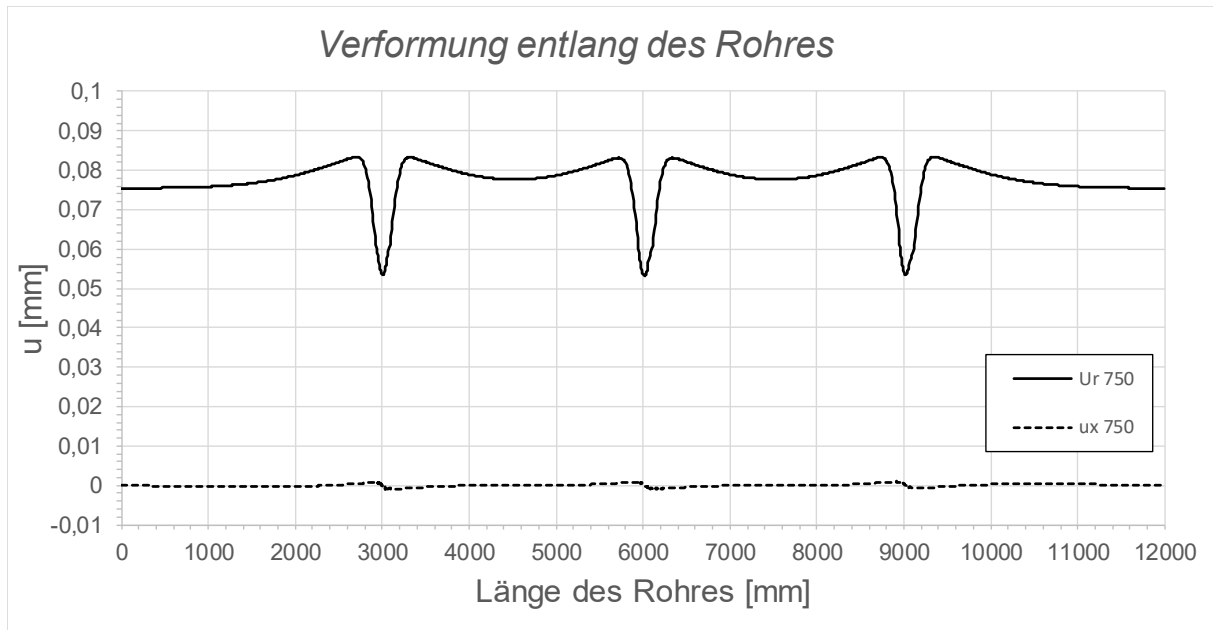


Abbildung B.190: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

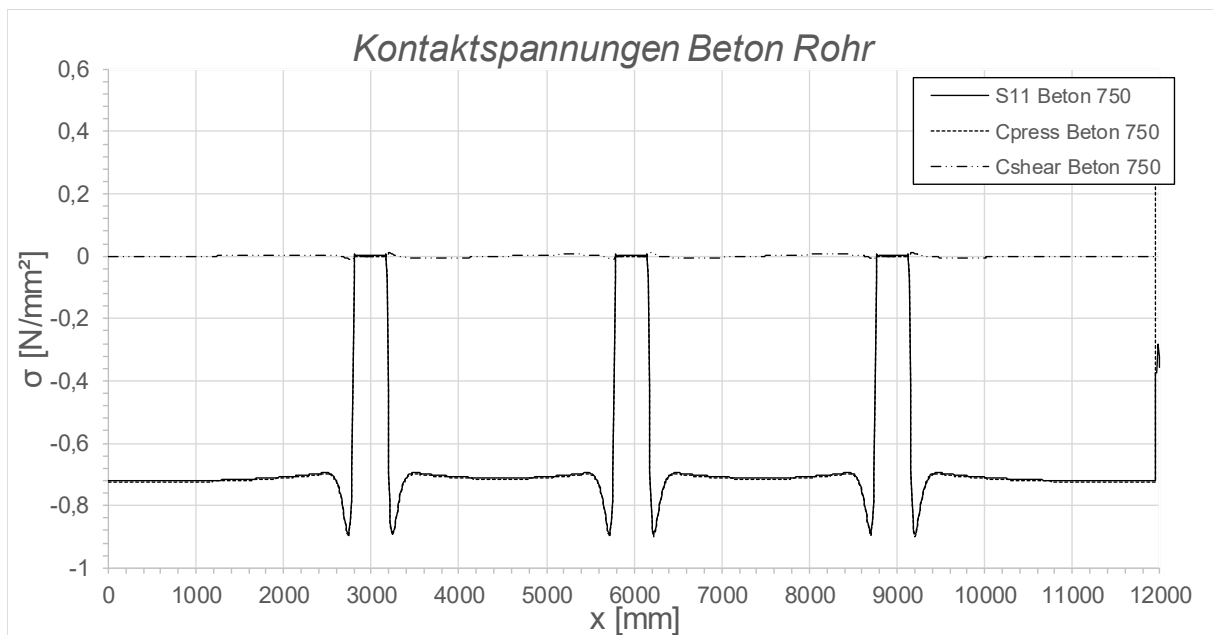


Abbildung B.191: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

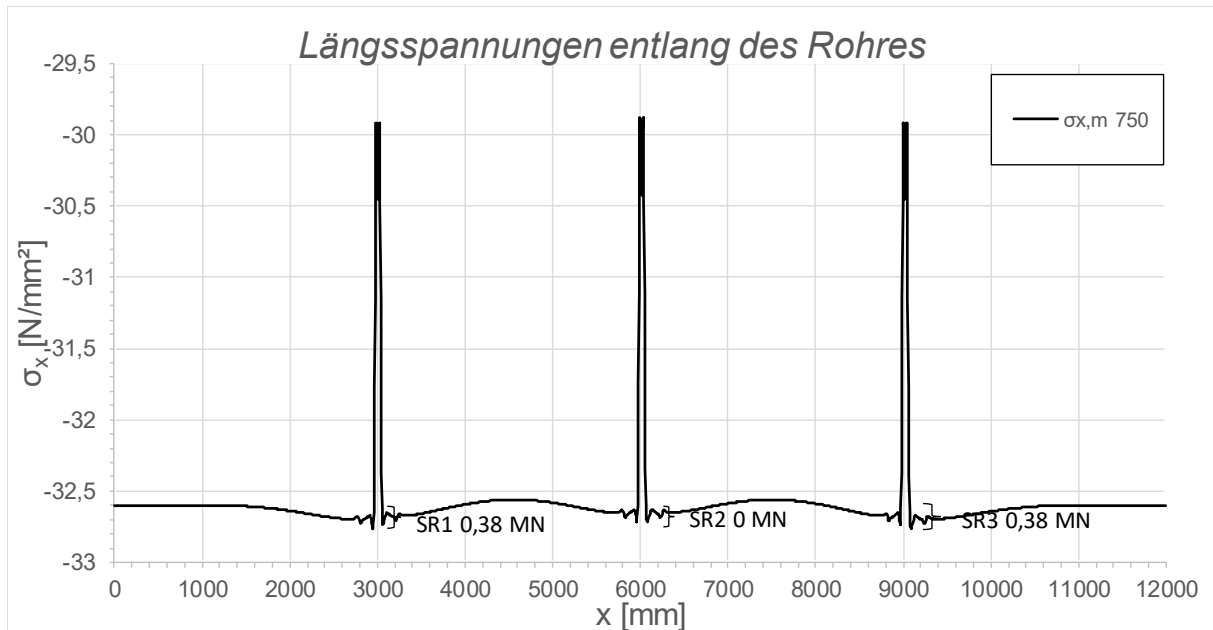


Abbildung B.192: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

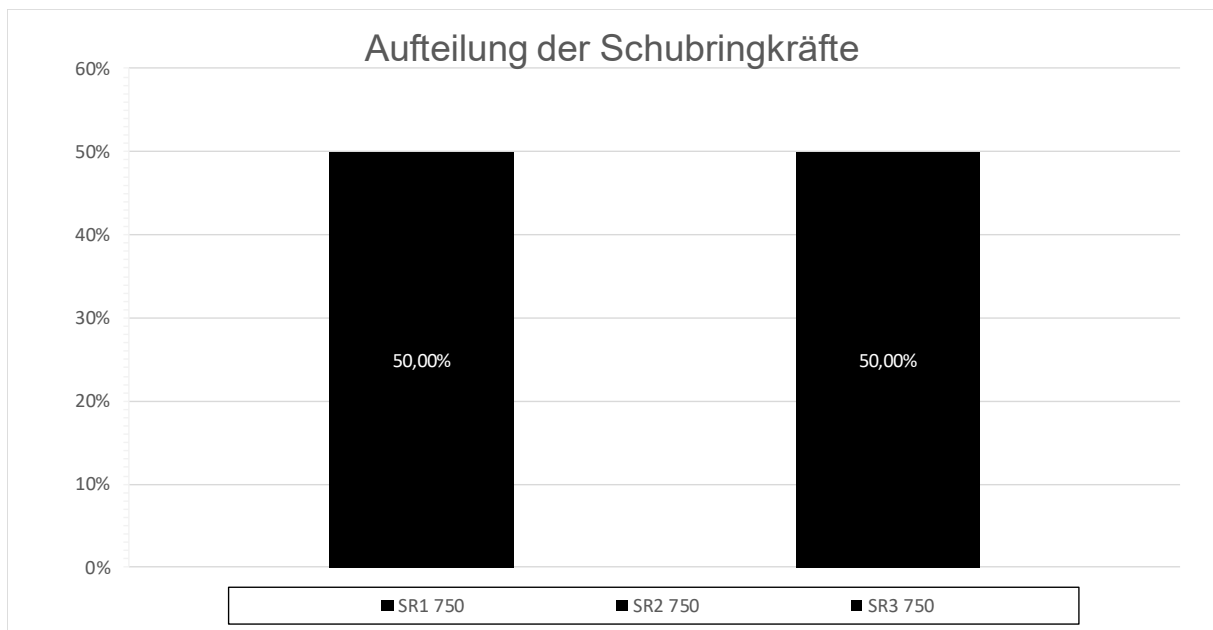


Abbildung B.193: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

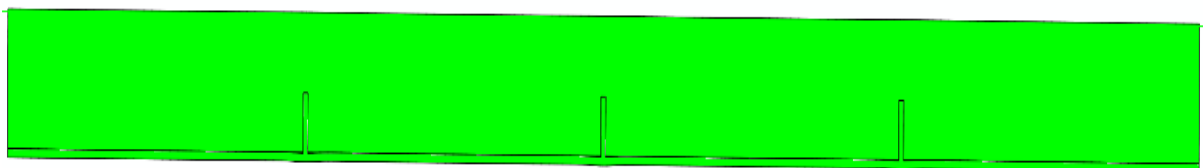


Abbildung B.194: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

B.3.9 SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

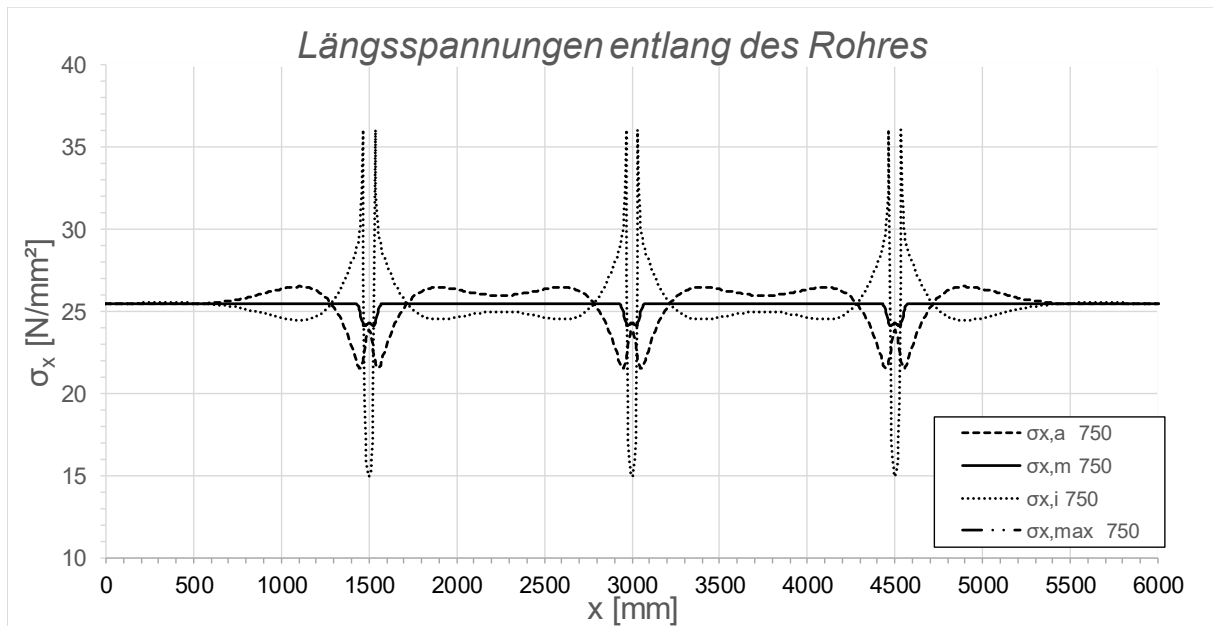


Abbildung B.195: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

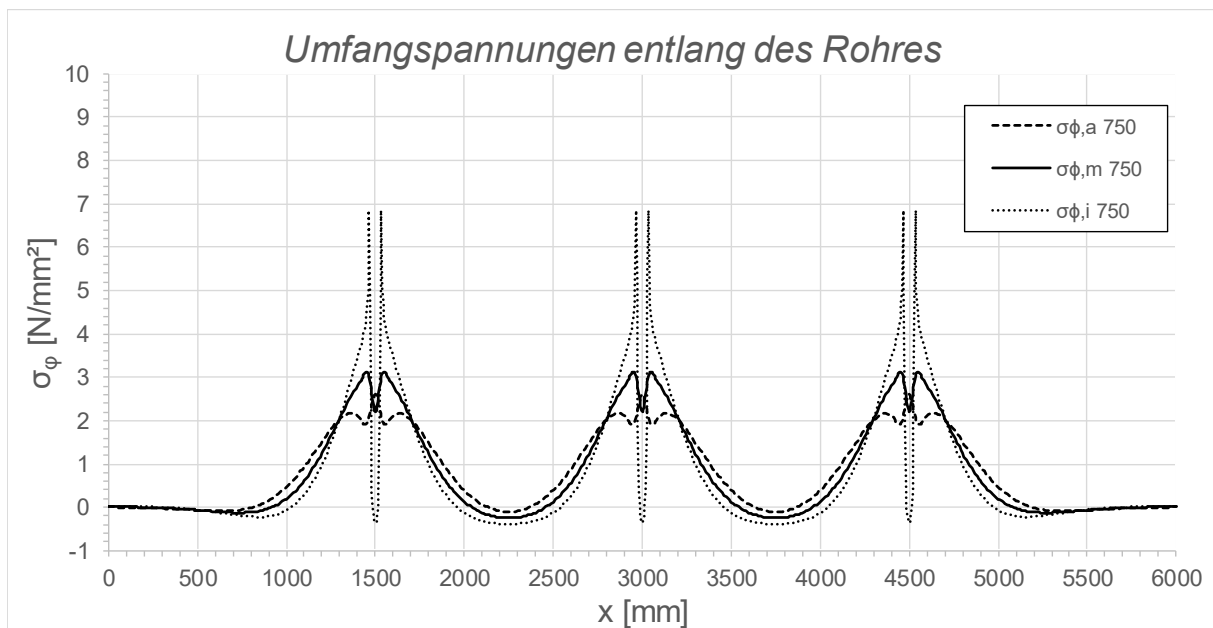


Abbildung B.196: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

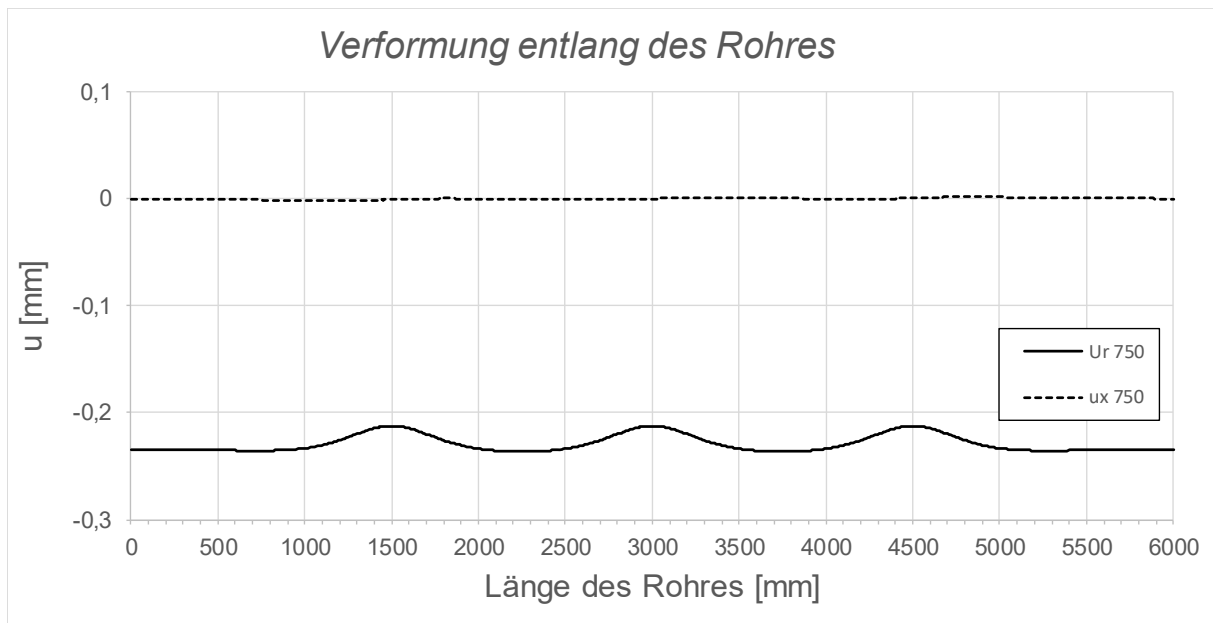


Abbildung B.197: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

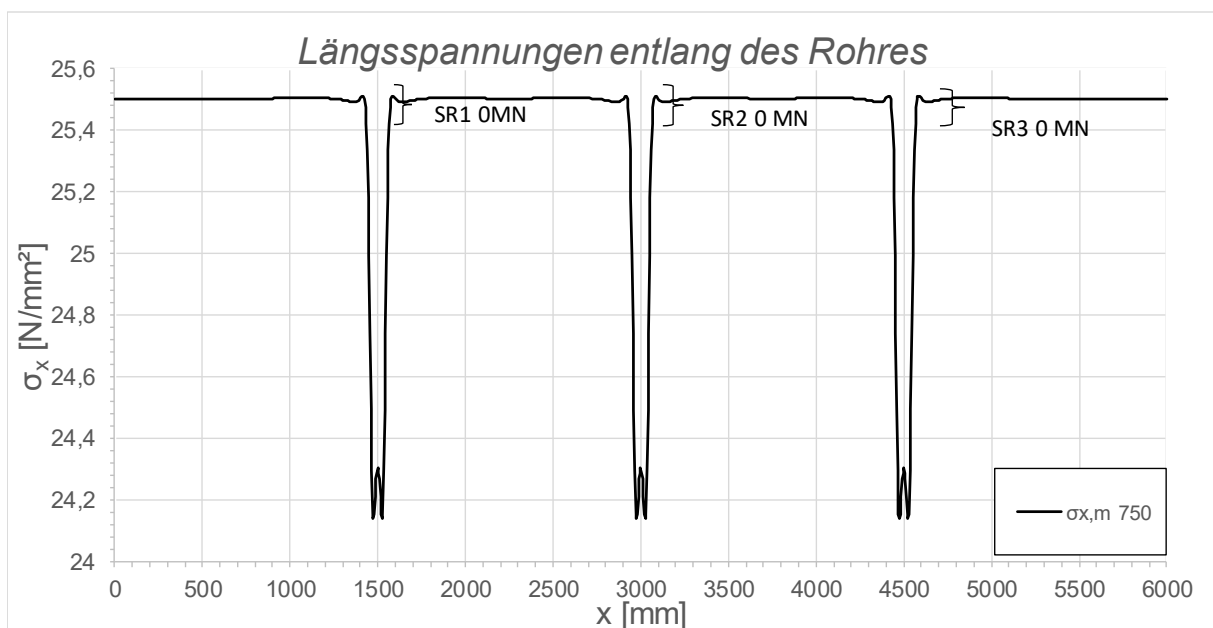


Abbildung B.198: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

B.3.10 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

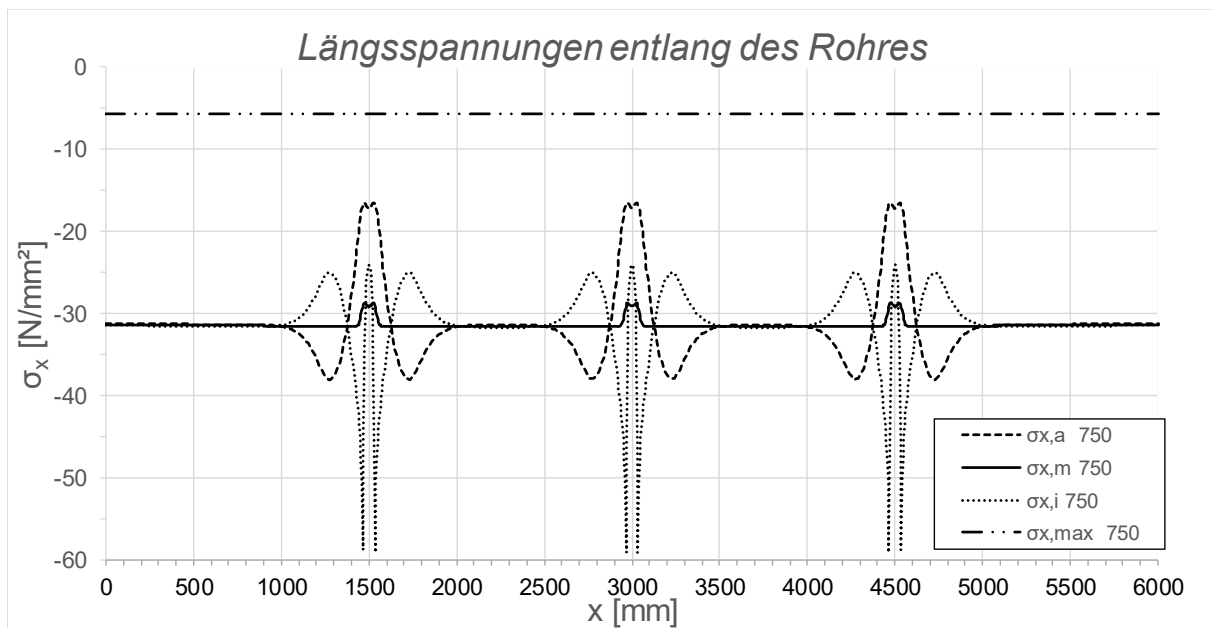


Abbildung B.199: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

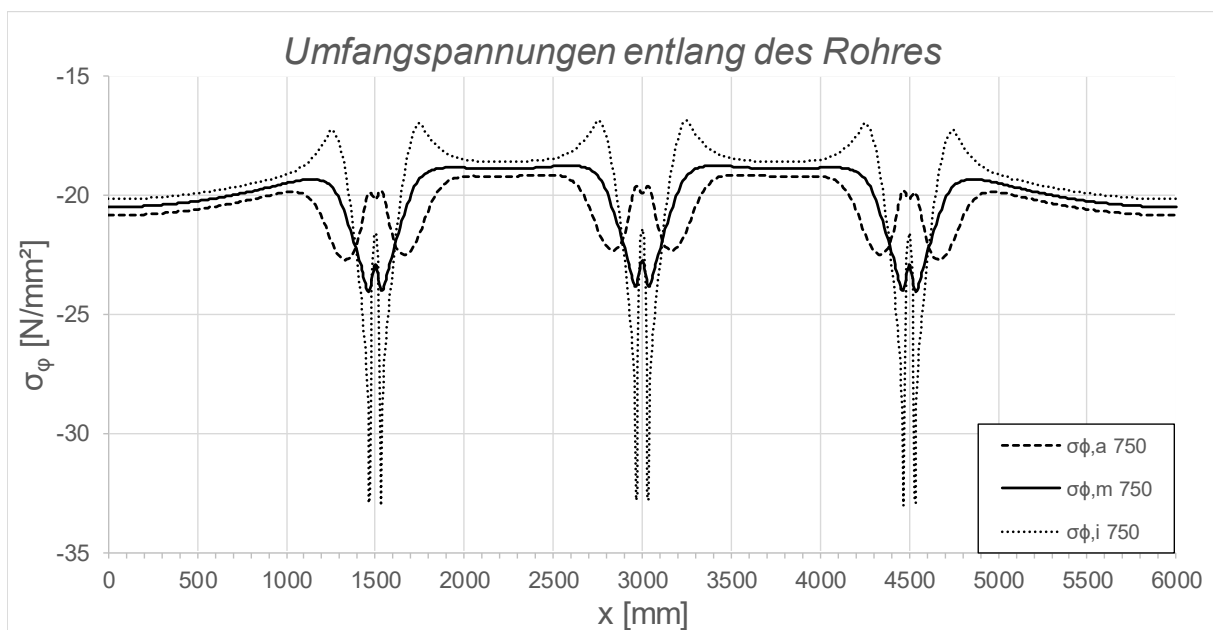


Abbildung B.200: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

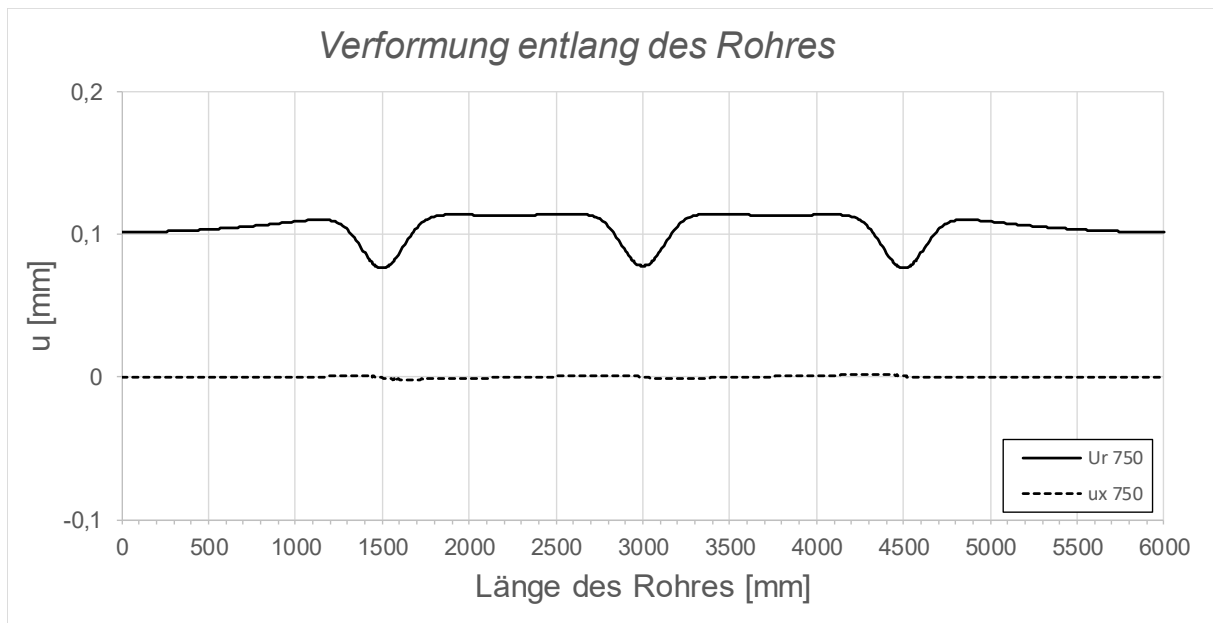


Abbildung B.201: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

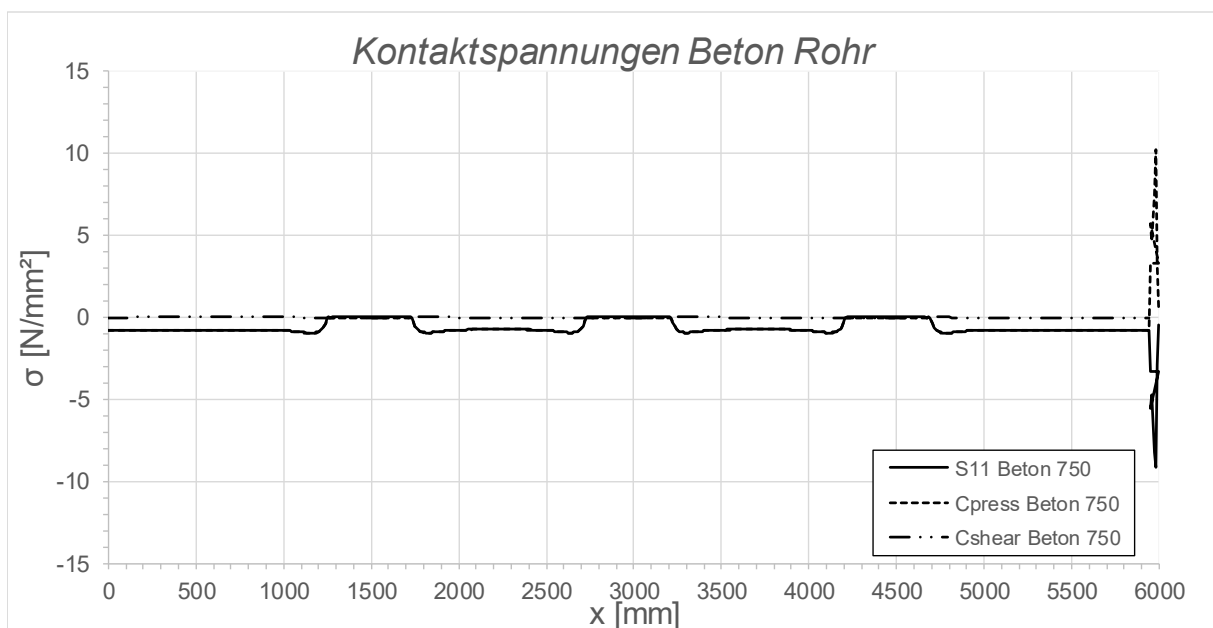


Abbildung B.202: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

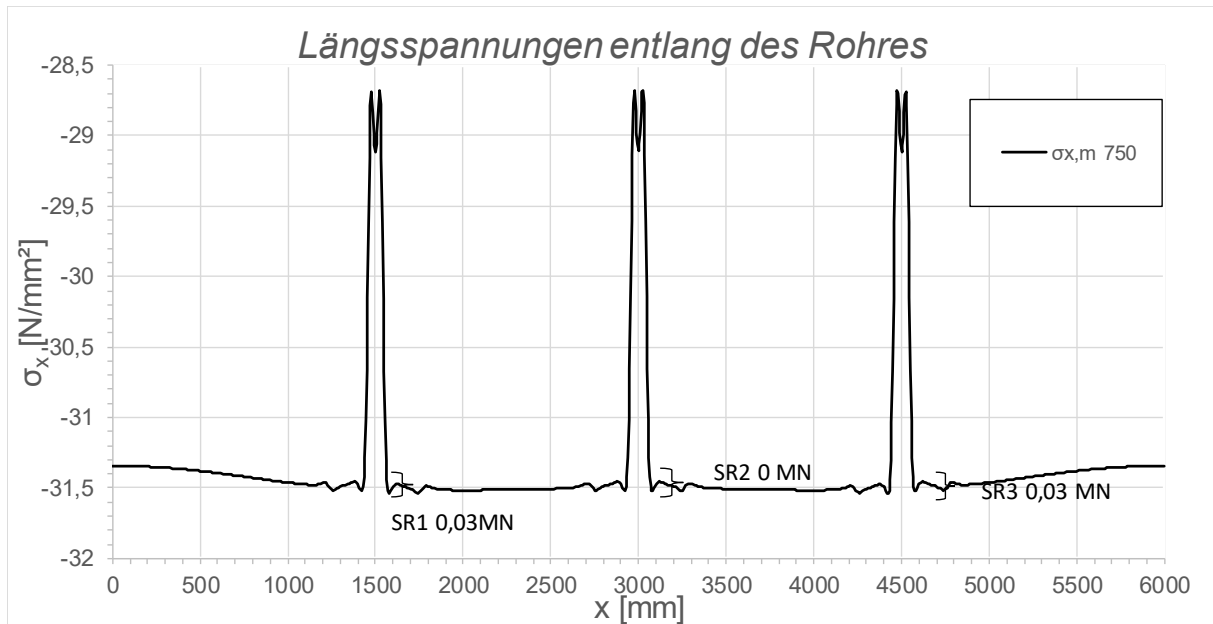


Abbildung B.203: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

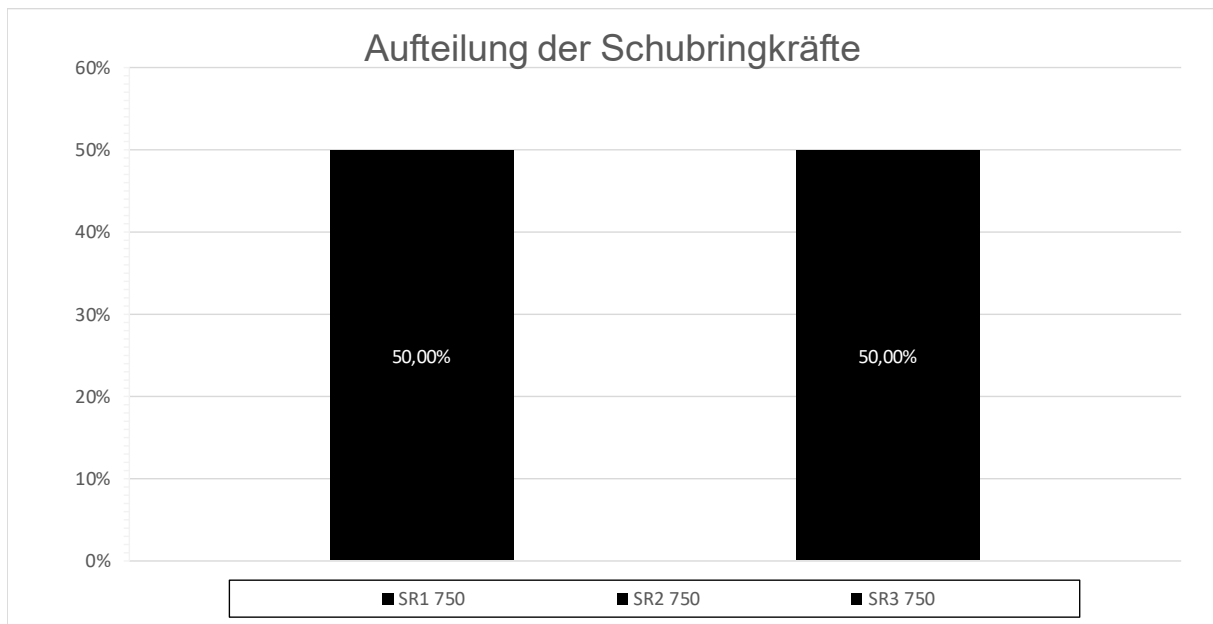


Abbildung B.204: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

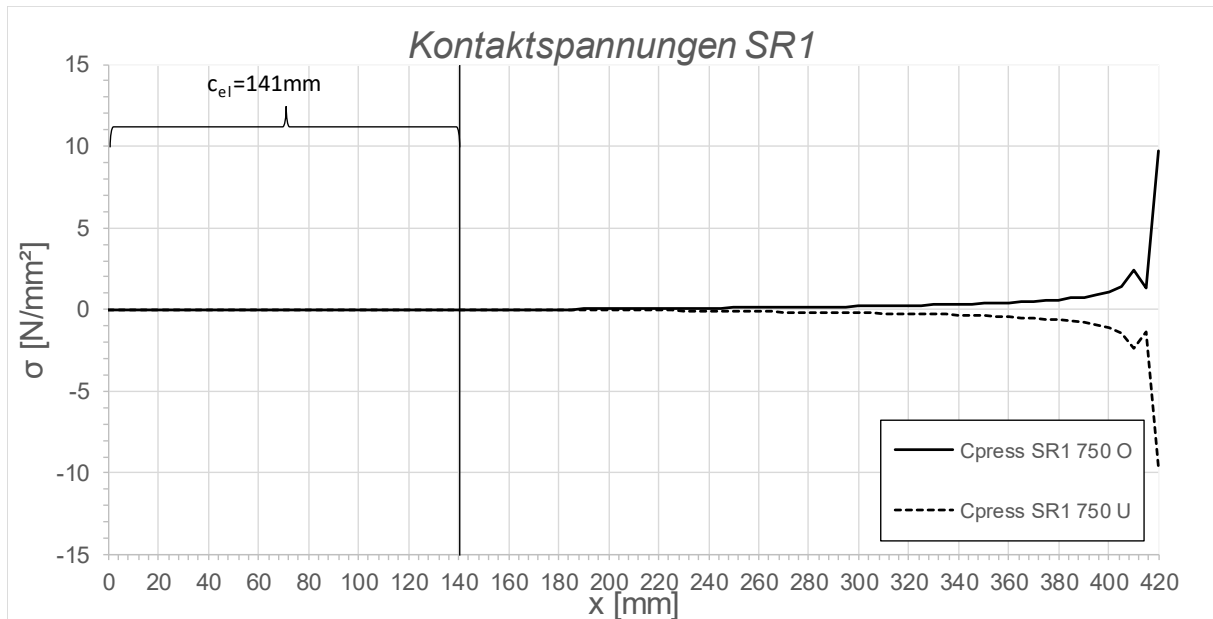


Abbildung B.205: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

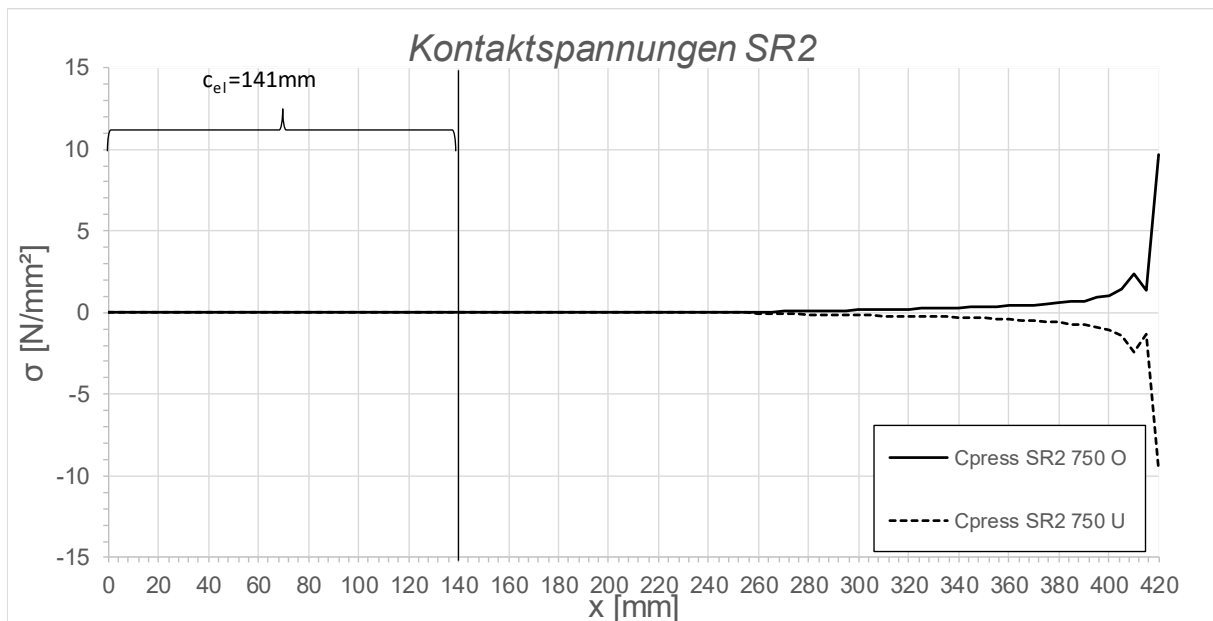


Abbildung B.206: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

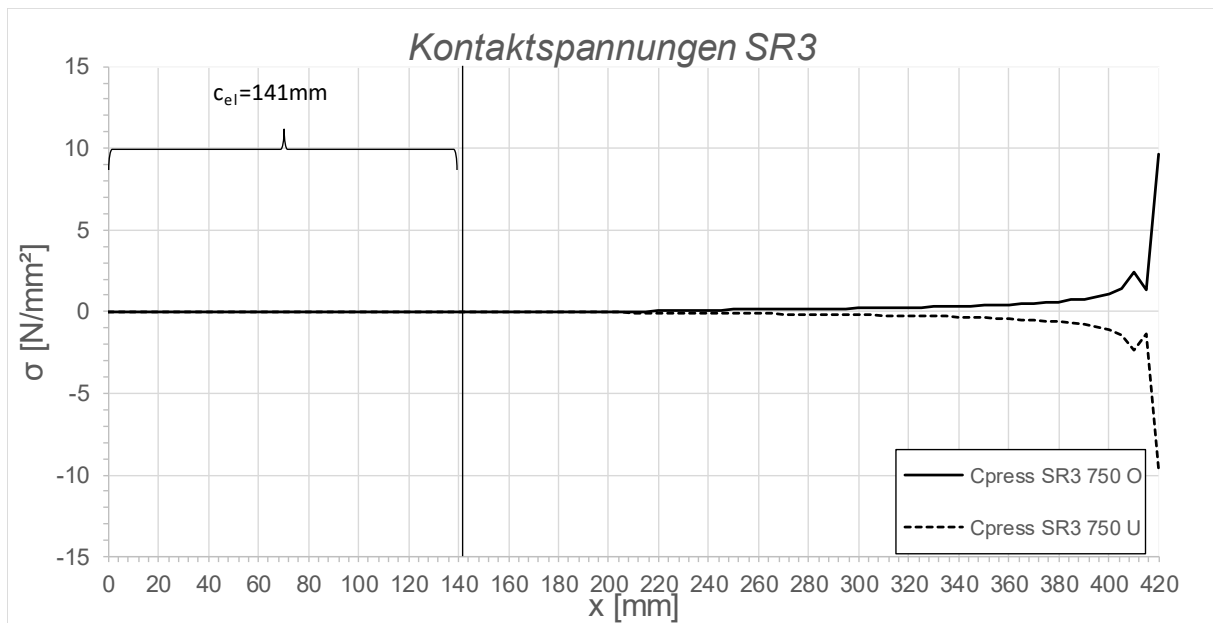


Abbildung B.207: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

B.3.11 SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

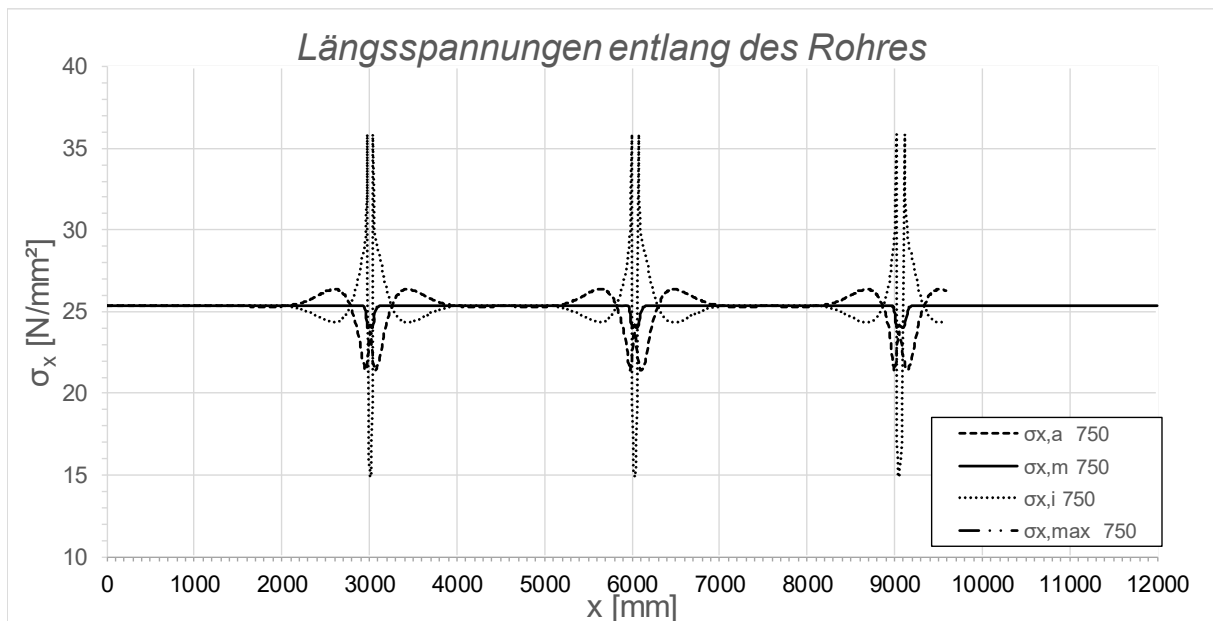


Abbildung B.208: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

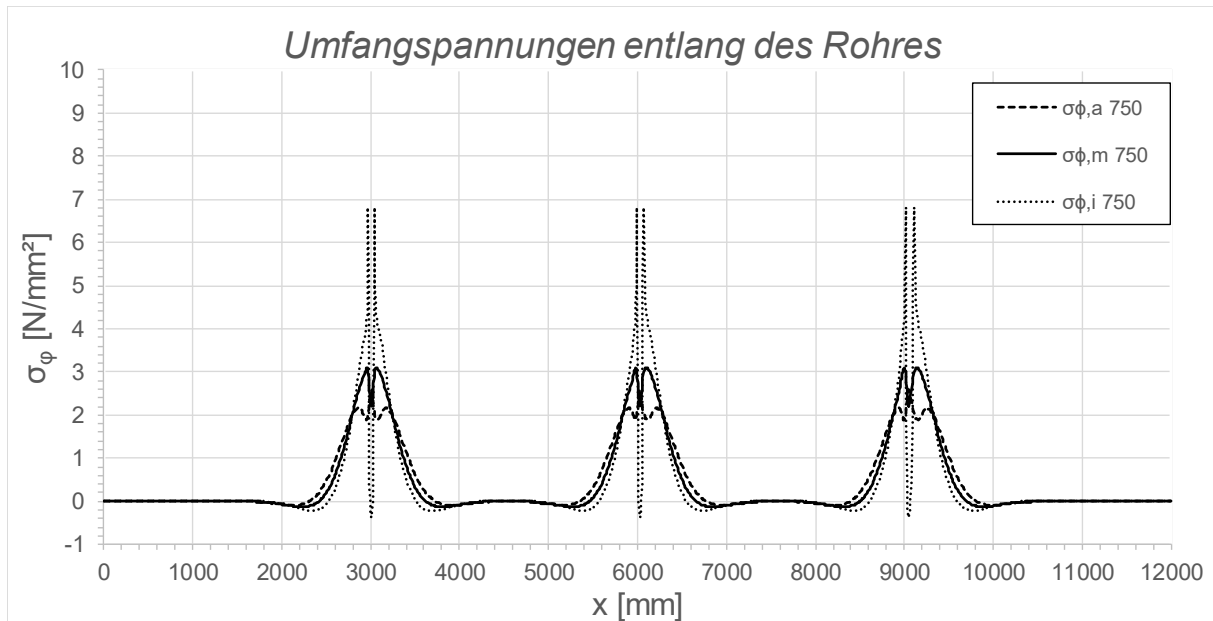


Abbildung B.209: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

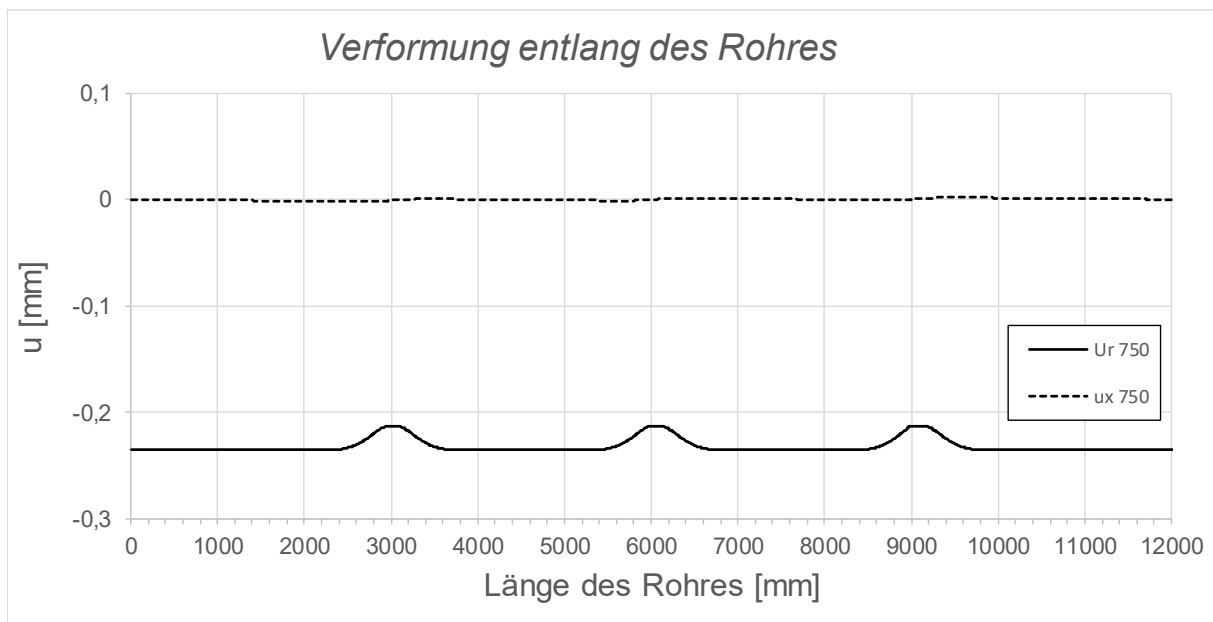


Abbildung B.210: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

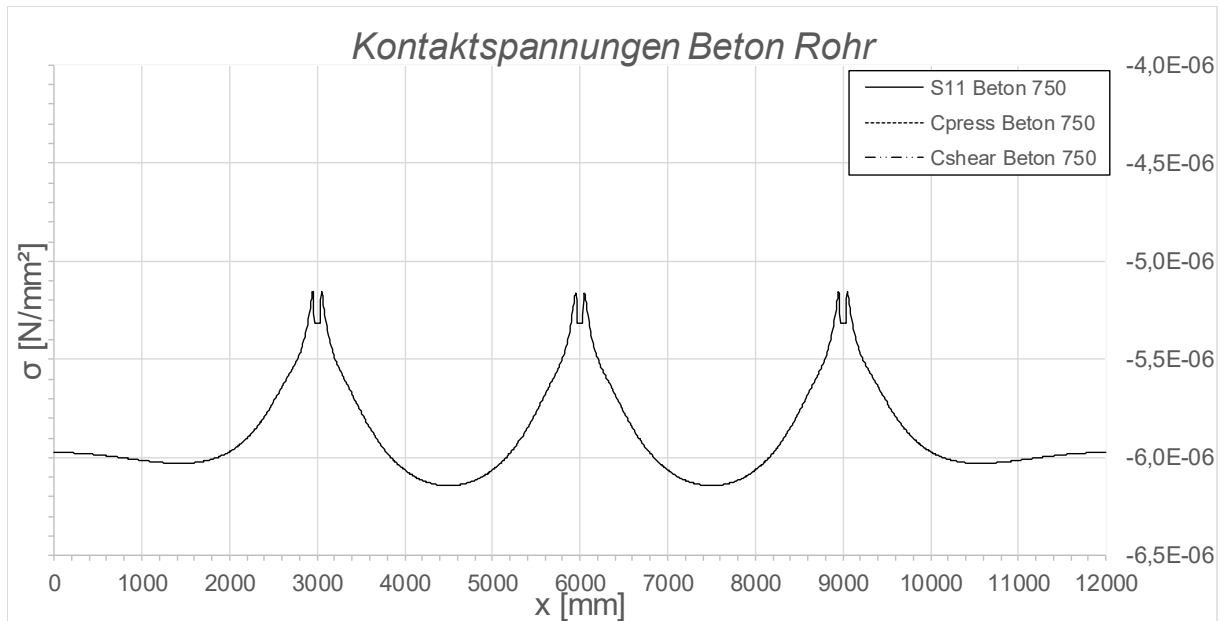


Abbildung B.211: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

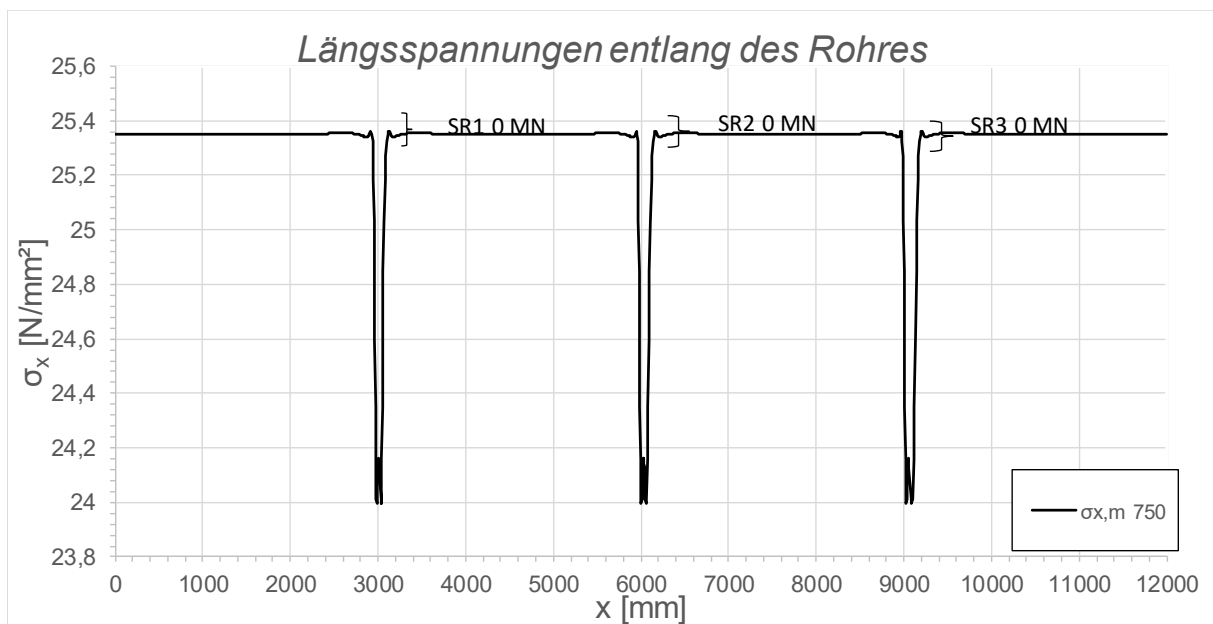


Abbildung B.212: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

B.3.12 SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

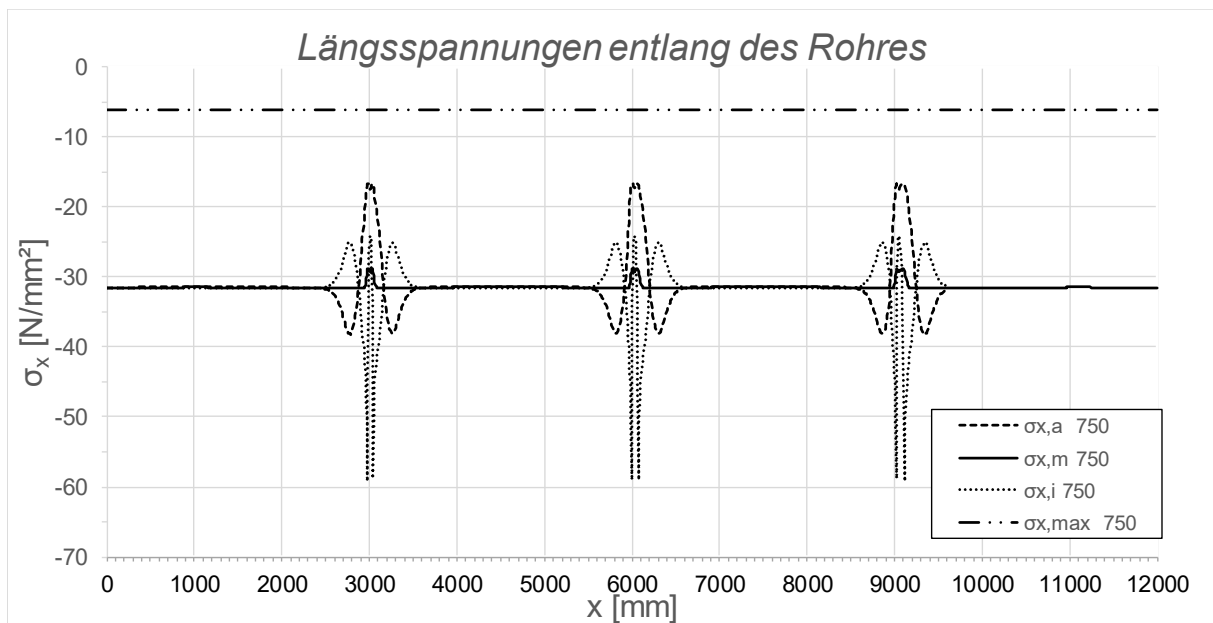


Abbildung B.213: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

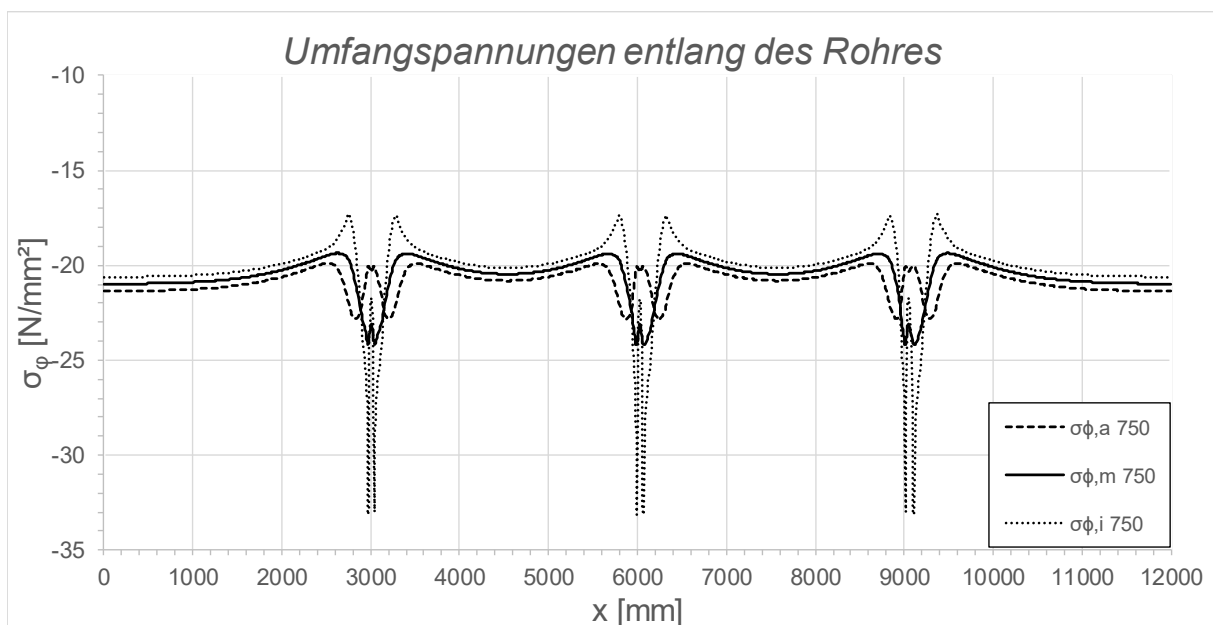


Abbildung B.214: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

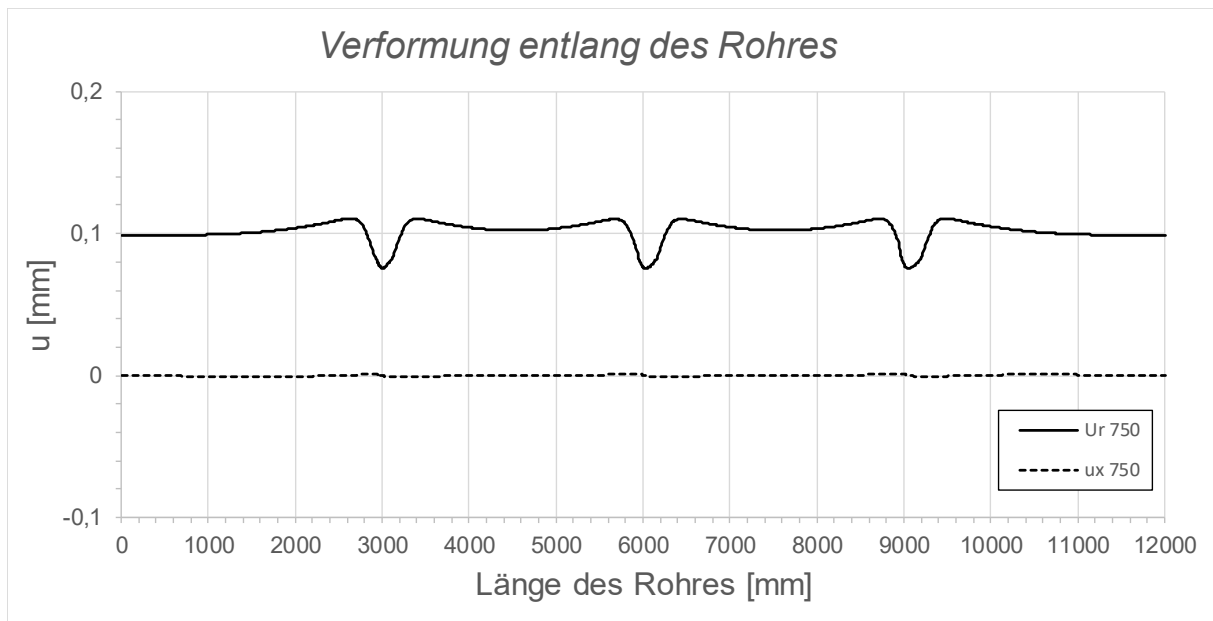


Abbildung B.215: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

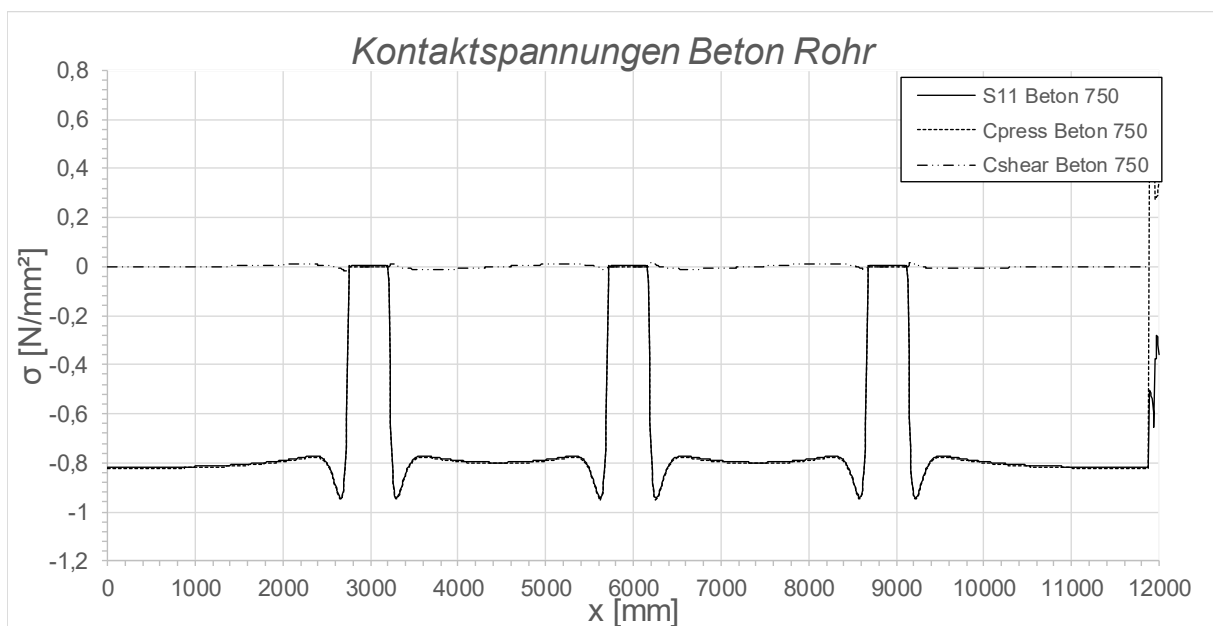


Abbildung B.216: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

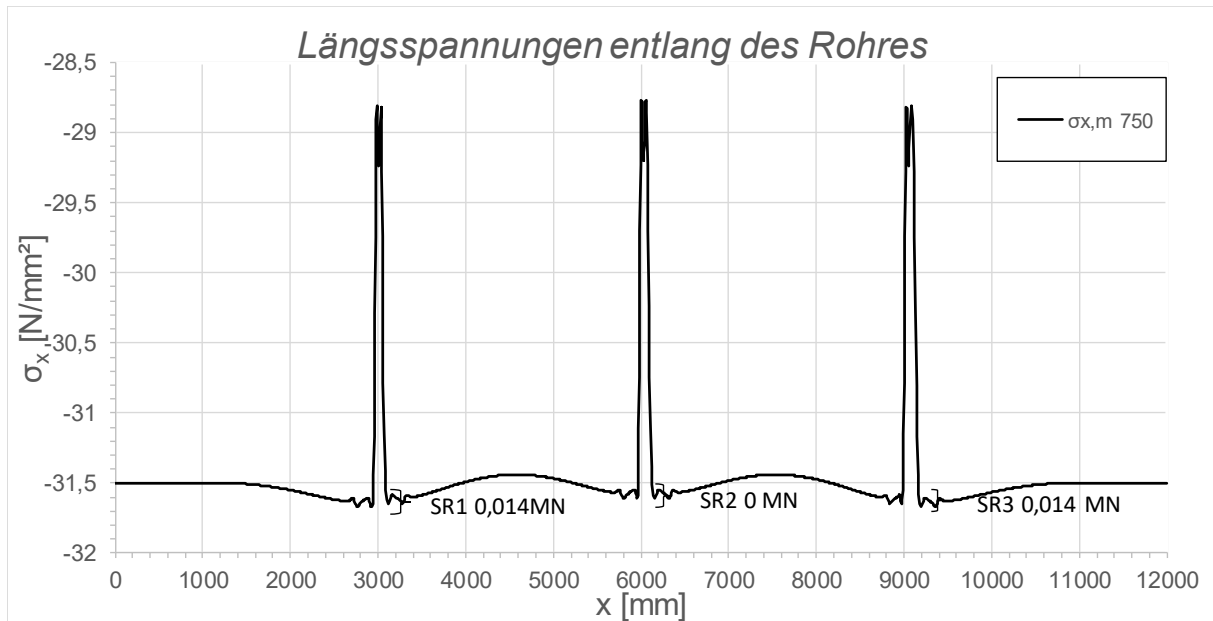


Abbildung B.217: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

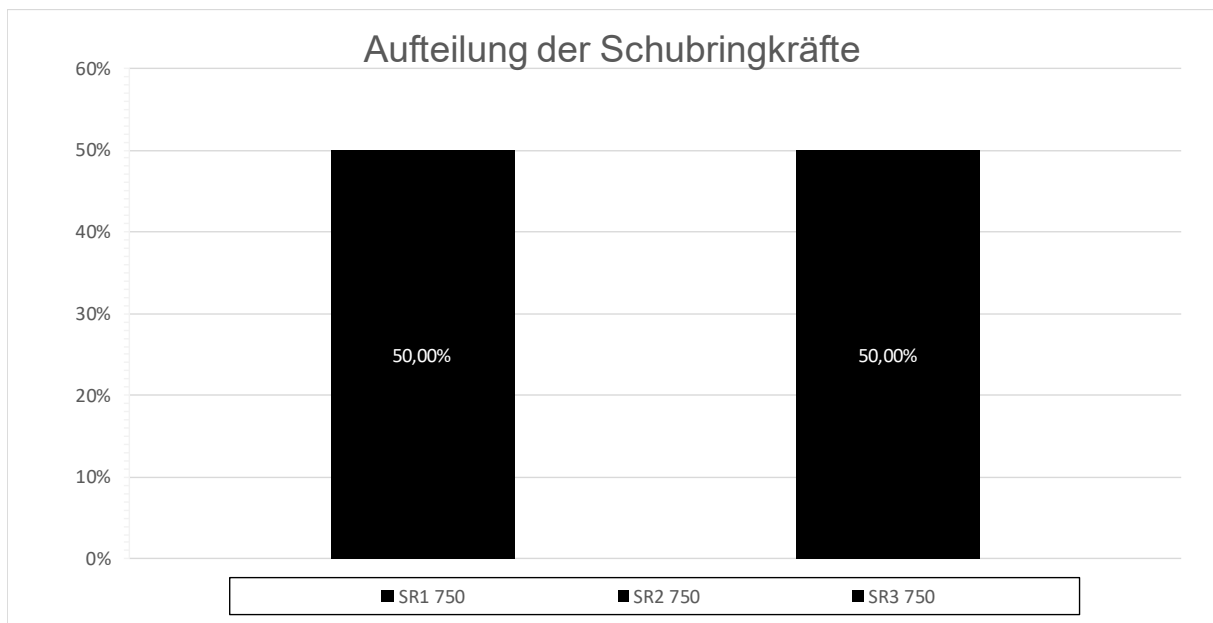


Abbildung B.218: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF1 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

C Anhang C: SF2 Innendruck und Temperatur

C.1 Statisches System SF2

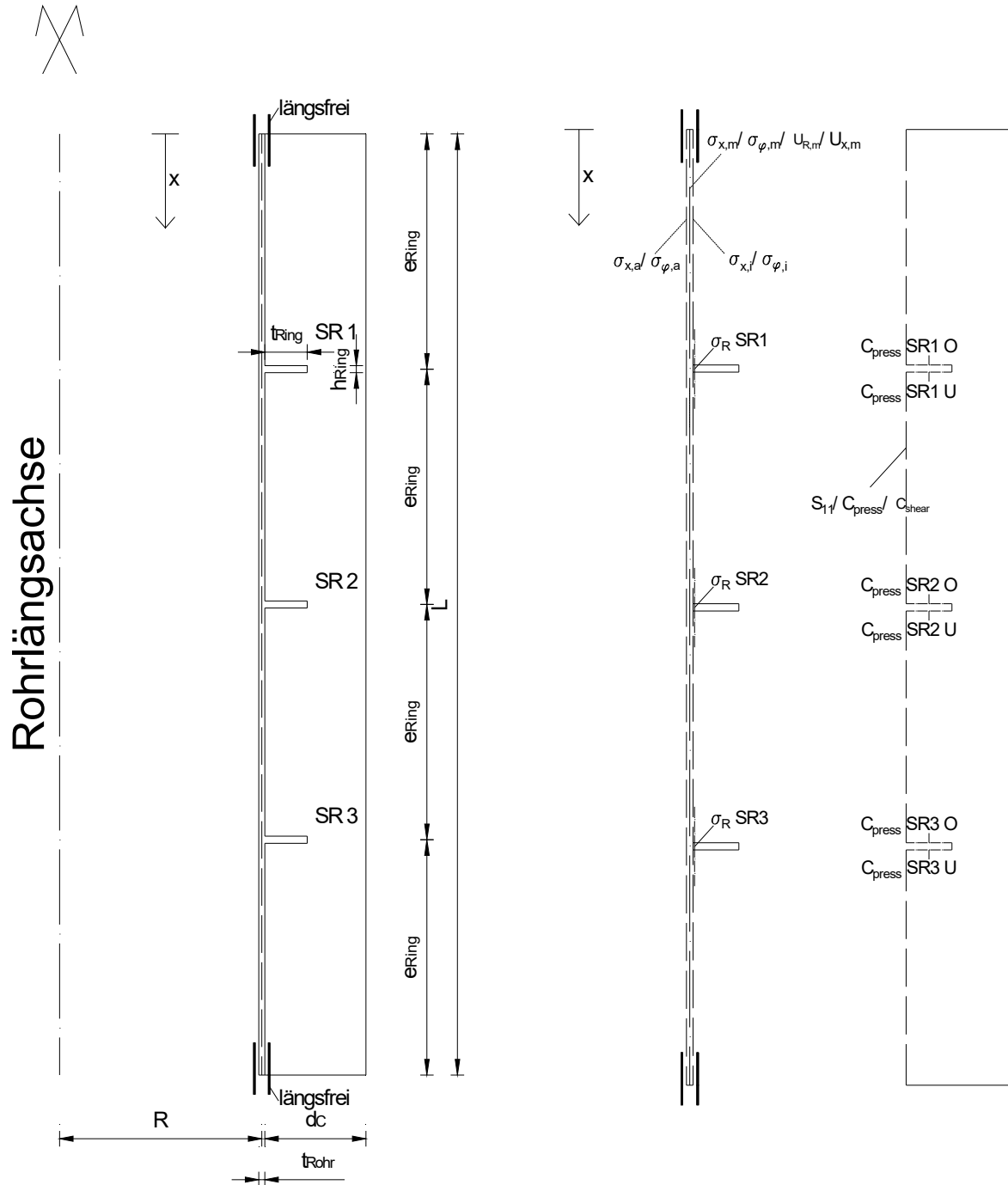


Abbildung C.1: Darstellung des statischen Systems sowie der Schnittführungen mit den zugehörigen Kenngrößen zur Ergebnisdarstellung für den SF2

Untersuchte Lastfälle:

- LF1: Innendruck p_i alleine
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$
 - $p_i = 9 \text{ N/mm}^2$ für $t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$
- LF2: -10° C ; Abkühlung im Stahlrohr und den Schubringen um -10° C
- LF2: $+10^\circ \text{ C}$; Erwärmung im Stahlrohr und den Schubringen um $+10^\circ \text{ C}$

C.2 System SF2 bei Lastfall Innendruck

C.2.1 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$

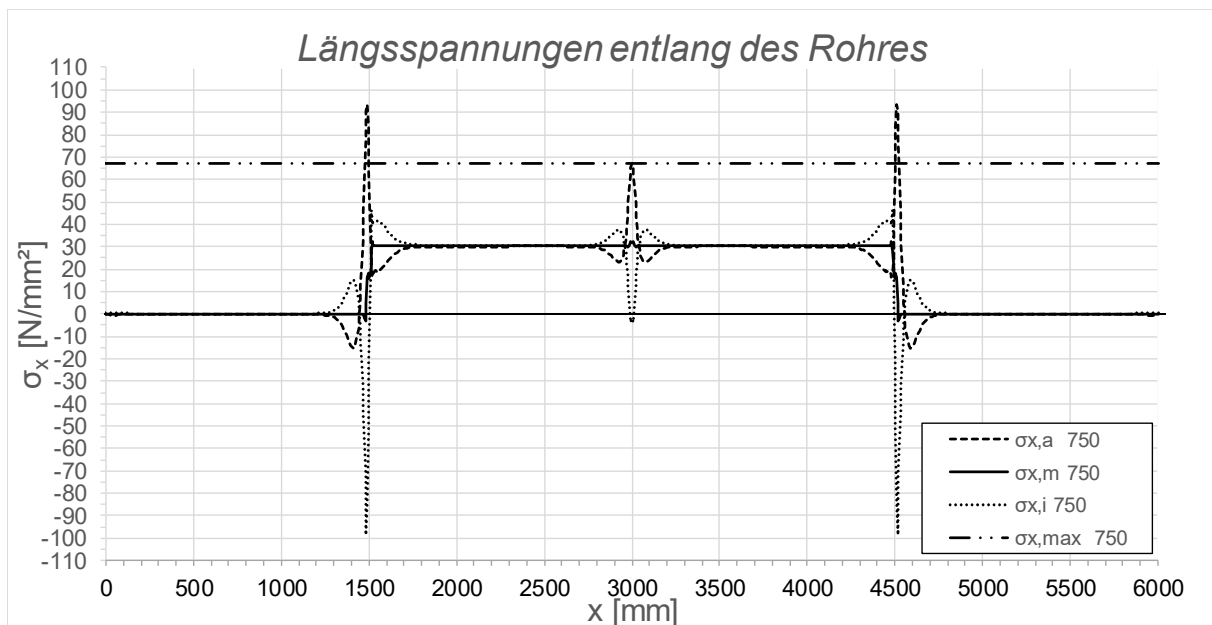


Abbildung C.2: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

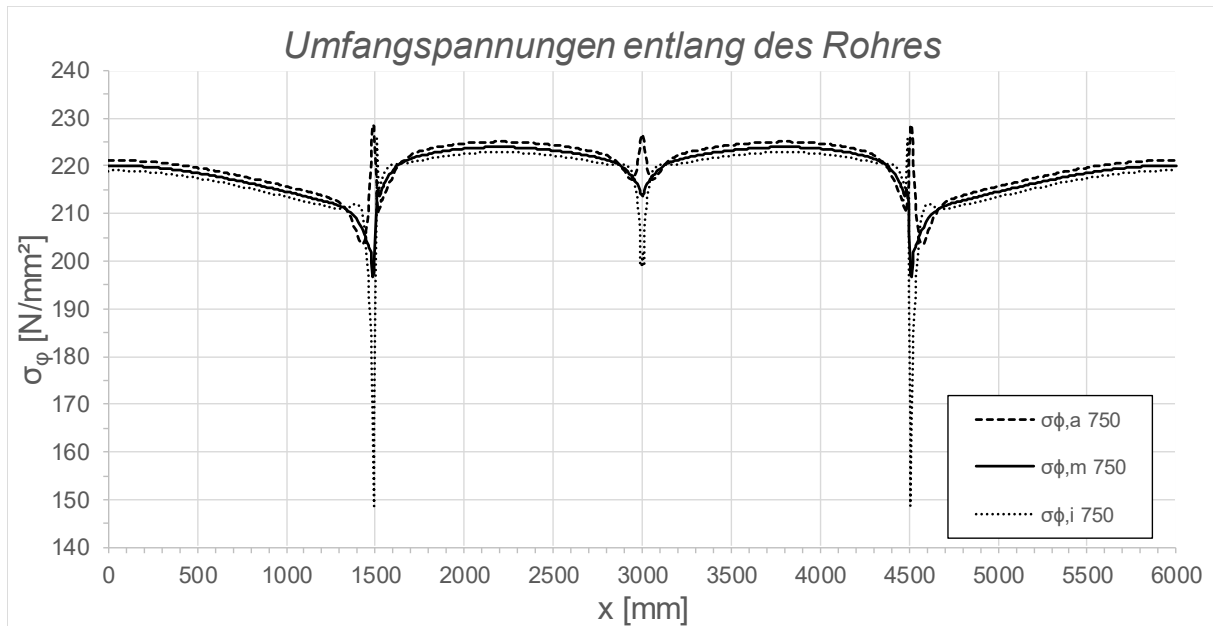


Abbildung C.3: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

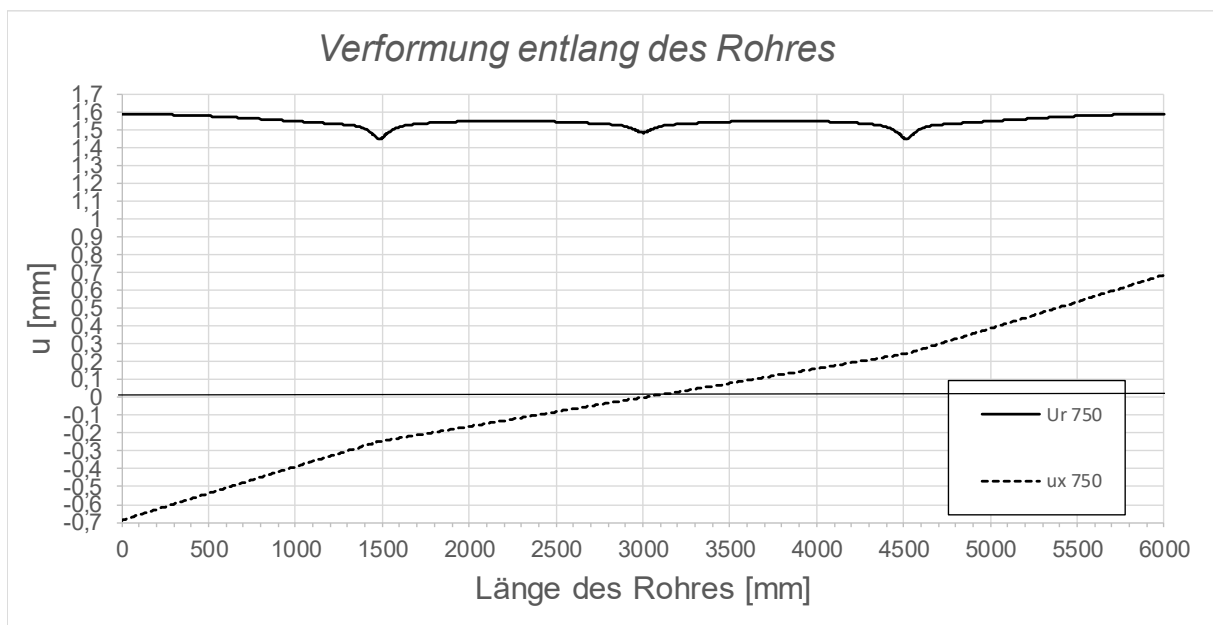


Abbildung C.4: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

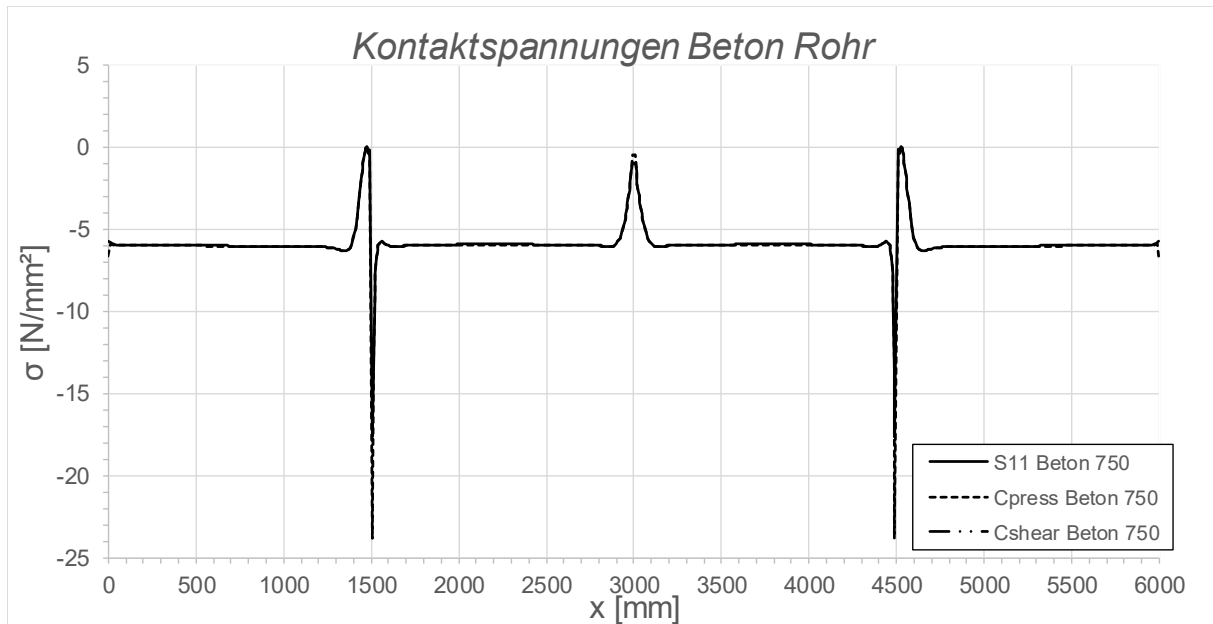


Abbildung C.5: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

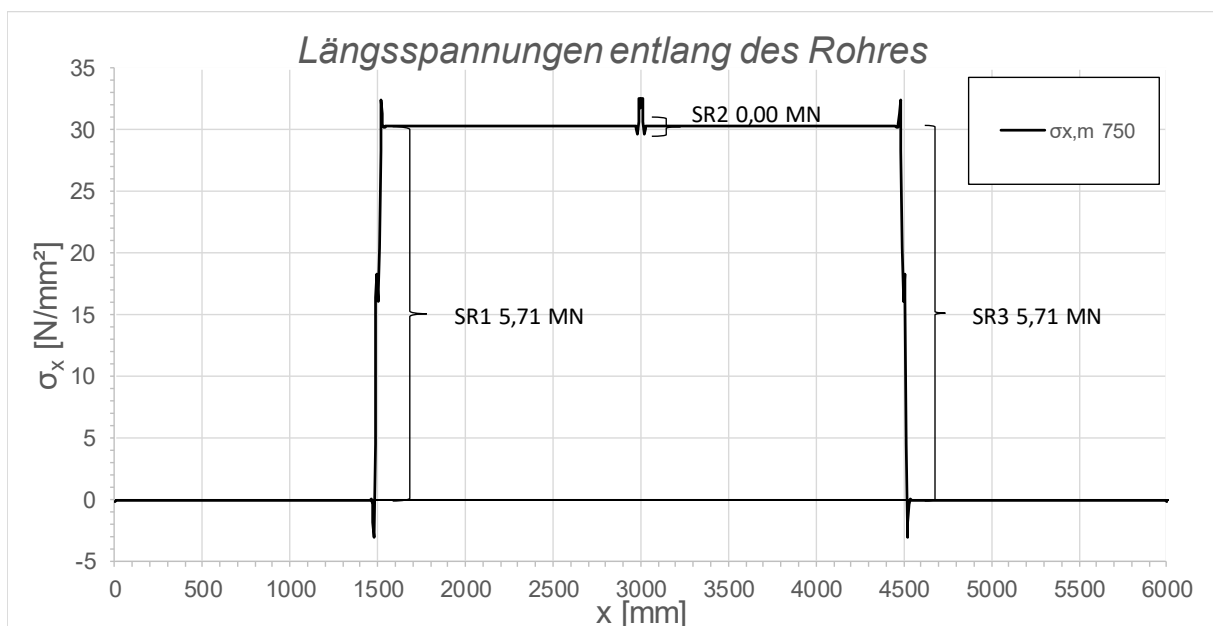


Abbildung C.6: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

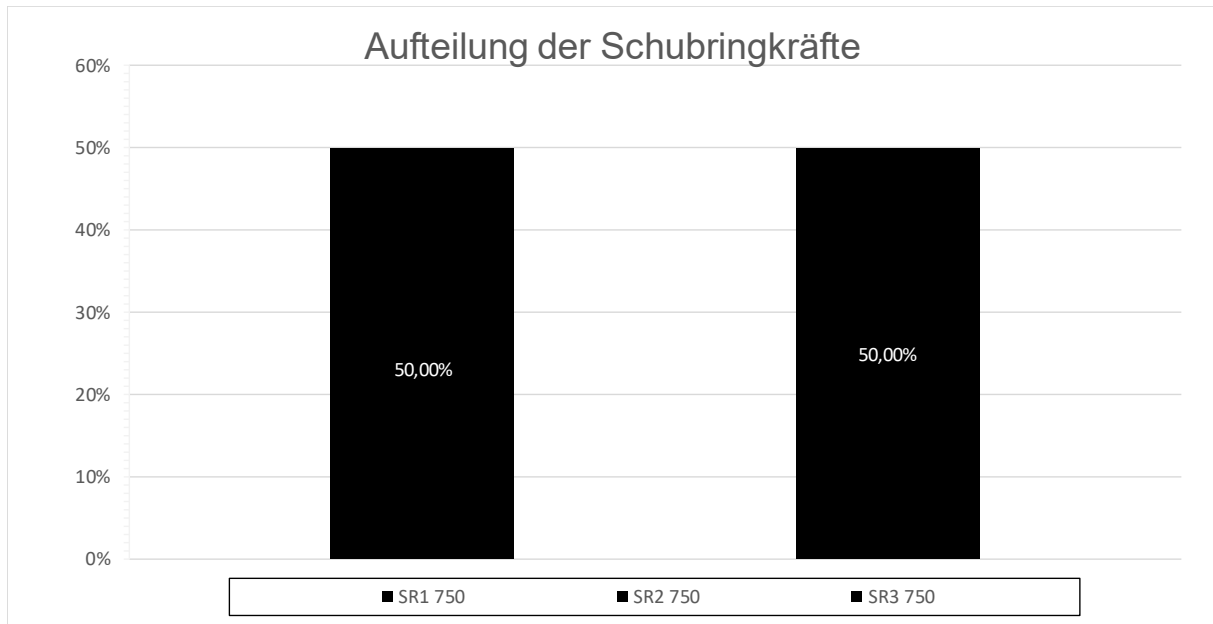


Abbildung C.7: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

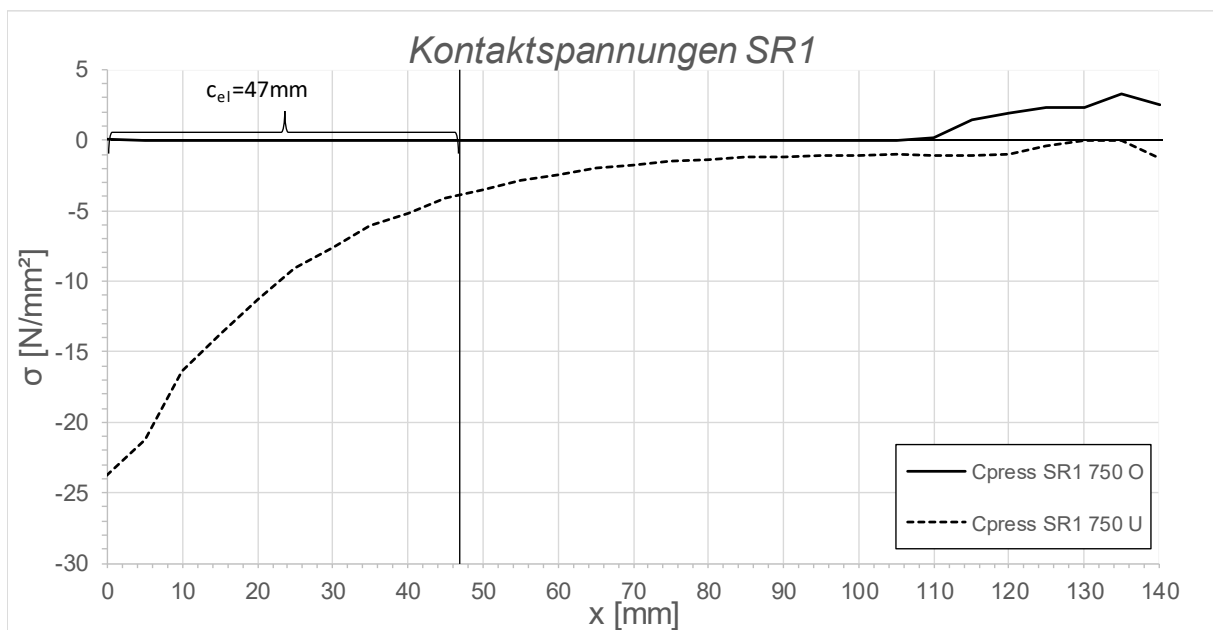


Abbildung C.8: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

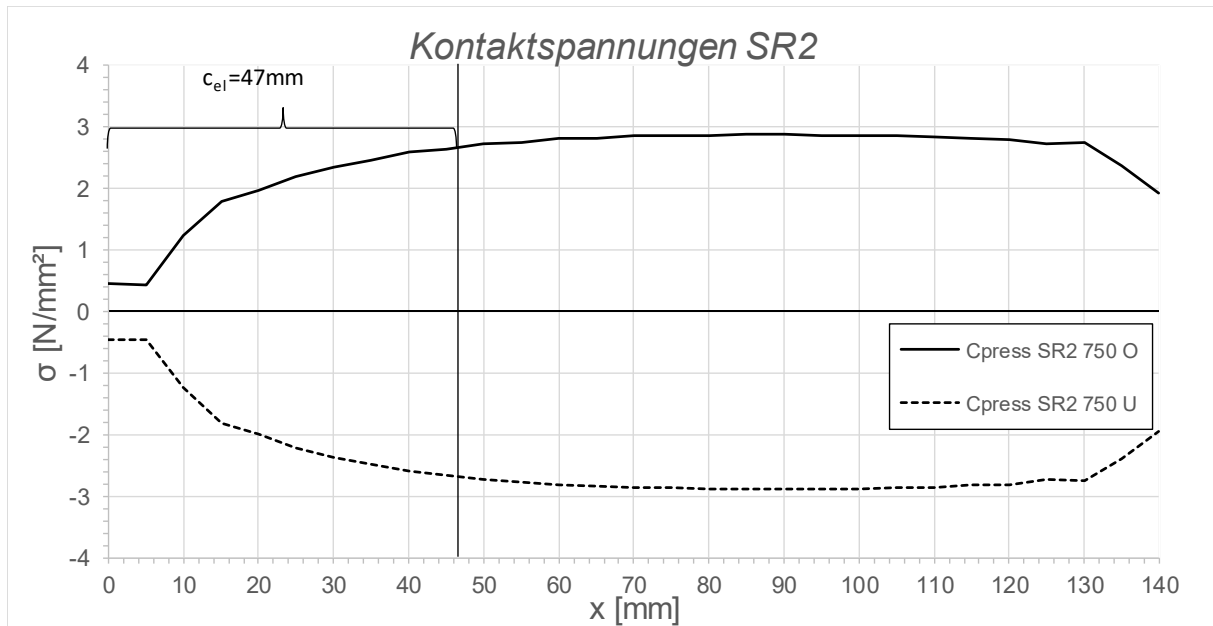


Abbildung C.9: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

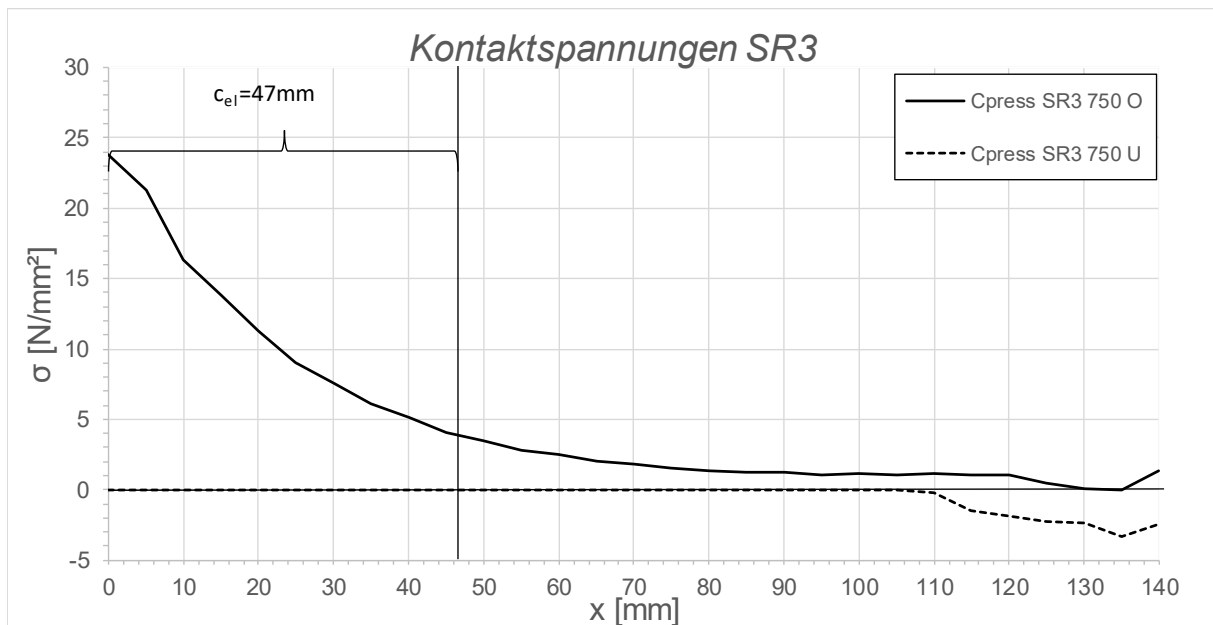


Abbildung C.10: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

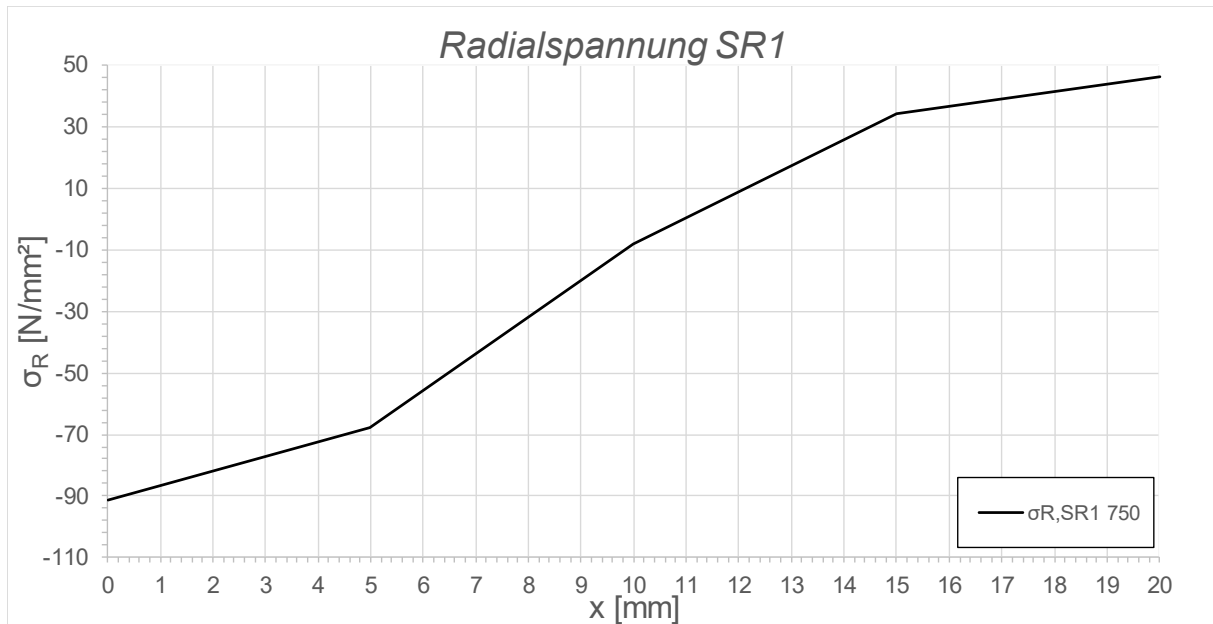


Abbildung C.11: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

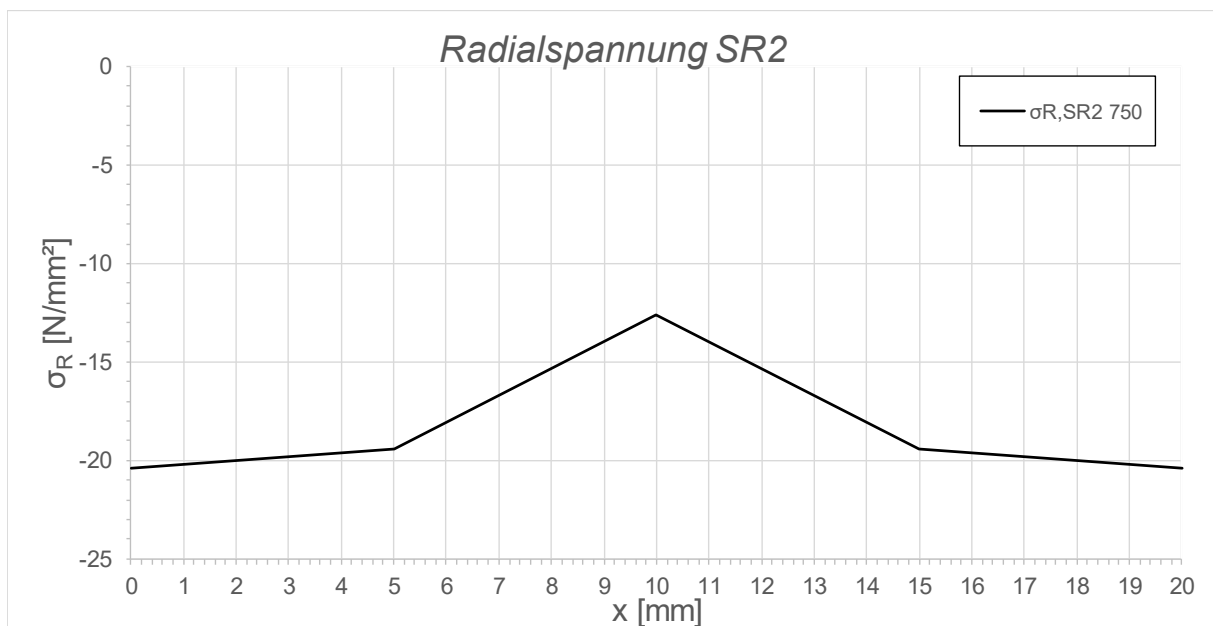


Abbildung C.12: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

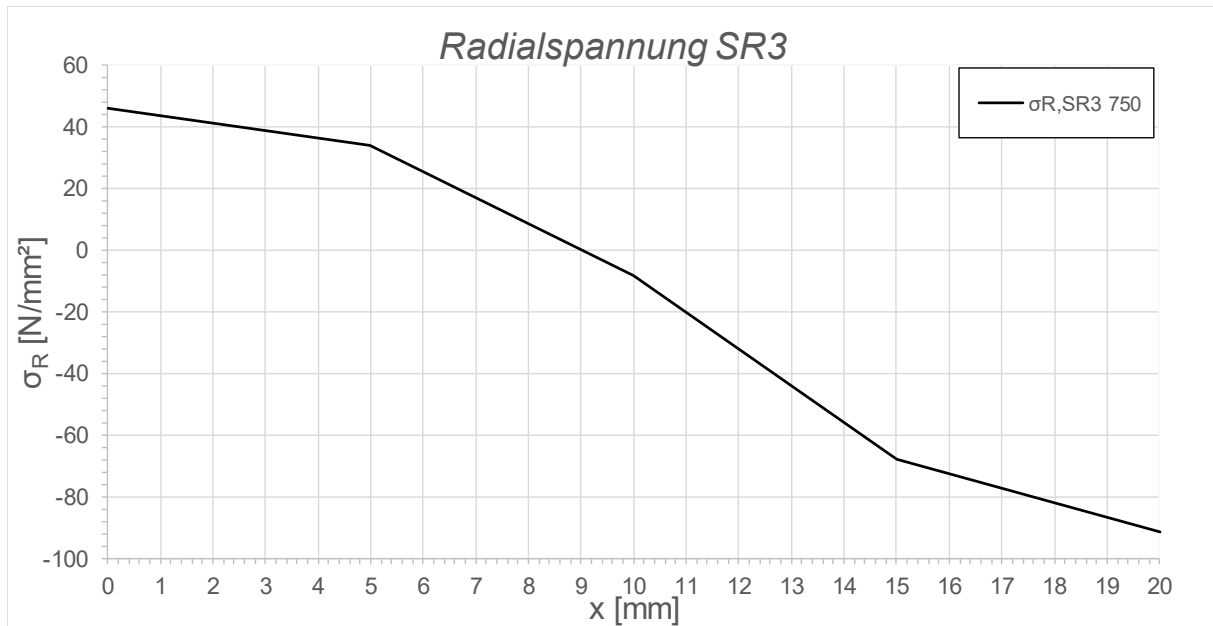


Abbildung C.13: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

C.2.2 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$

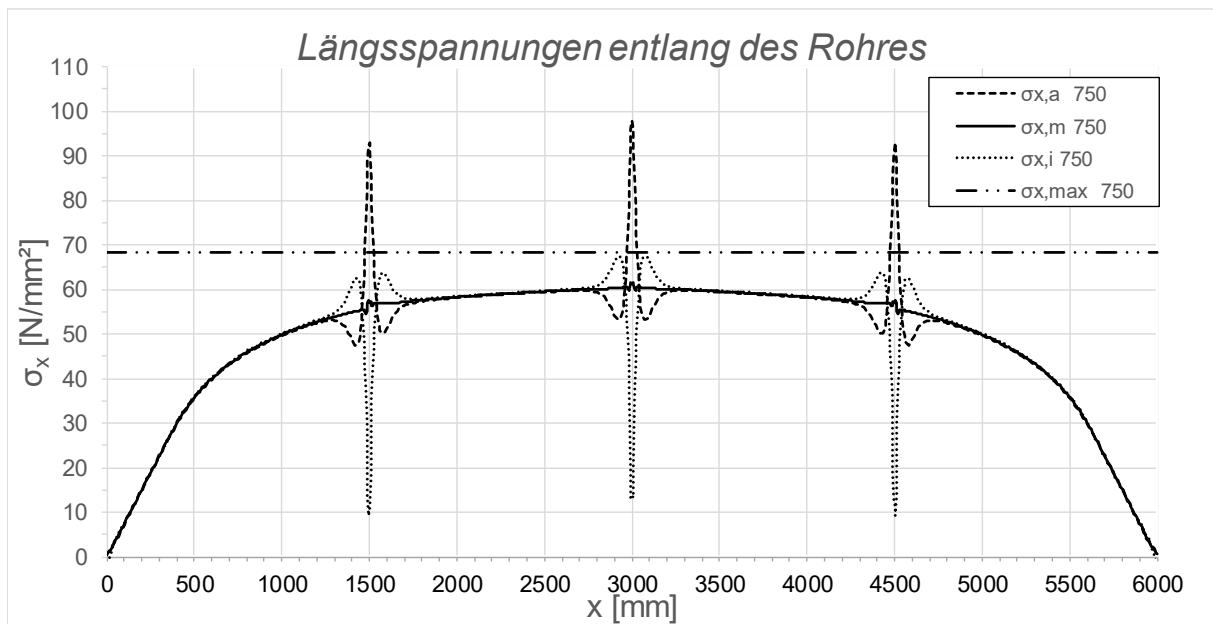


Abbildung C.14: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

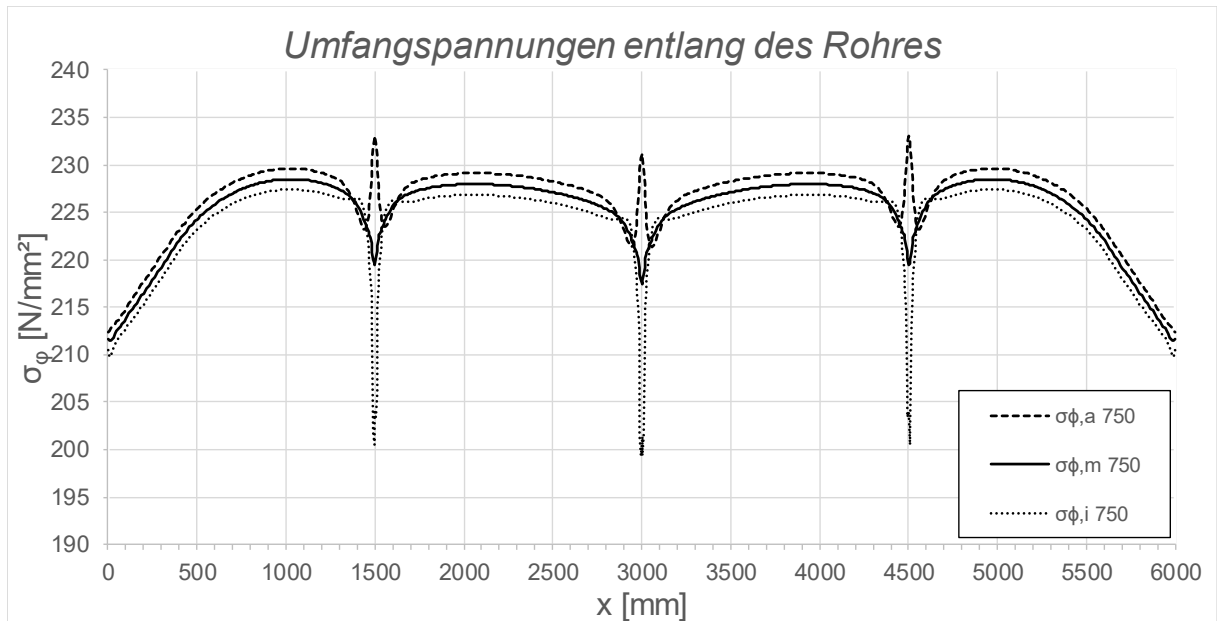


Abbildung C.15: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

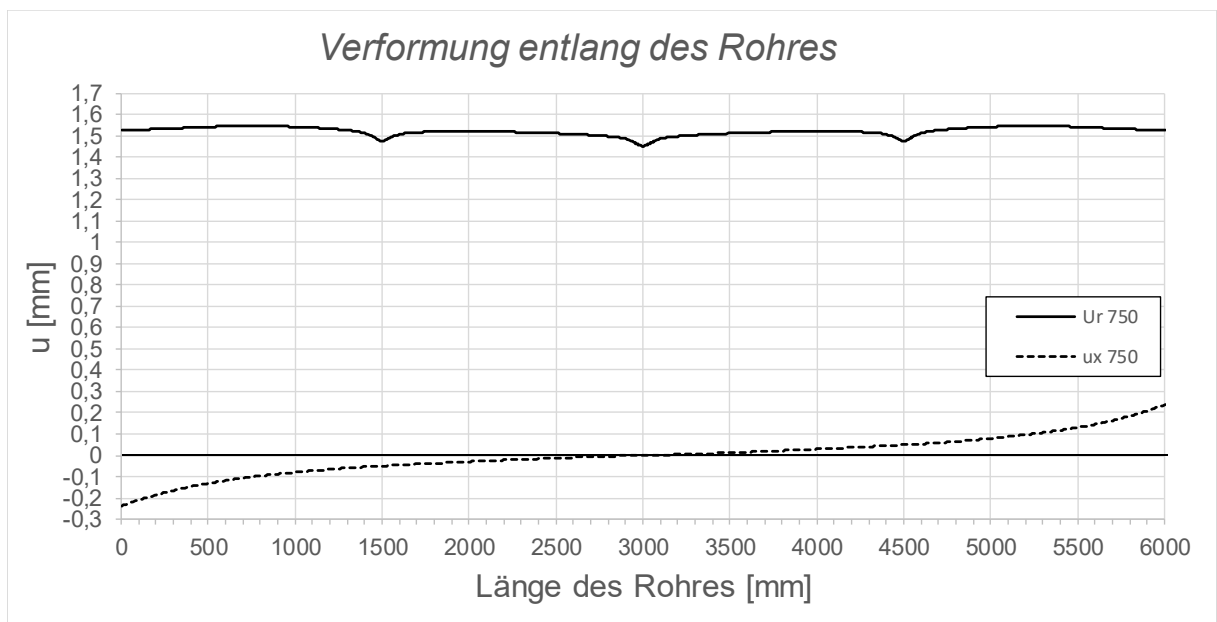


Abbildung C.16: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

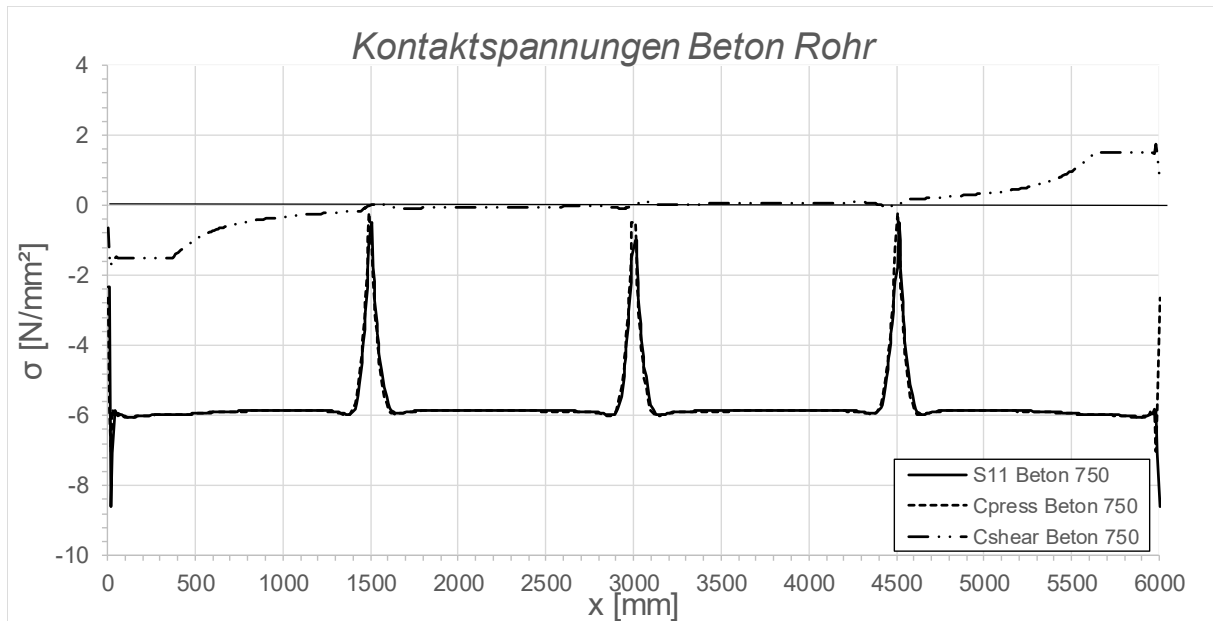


Abbildung C.17: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

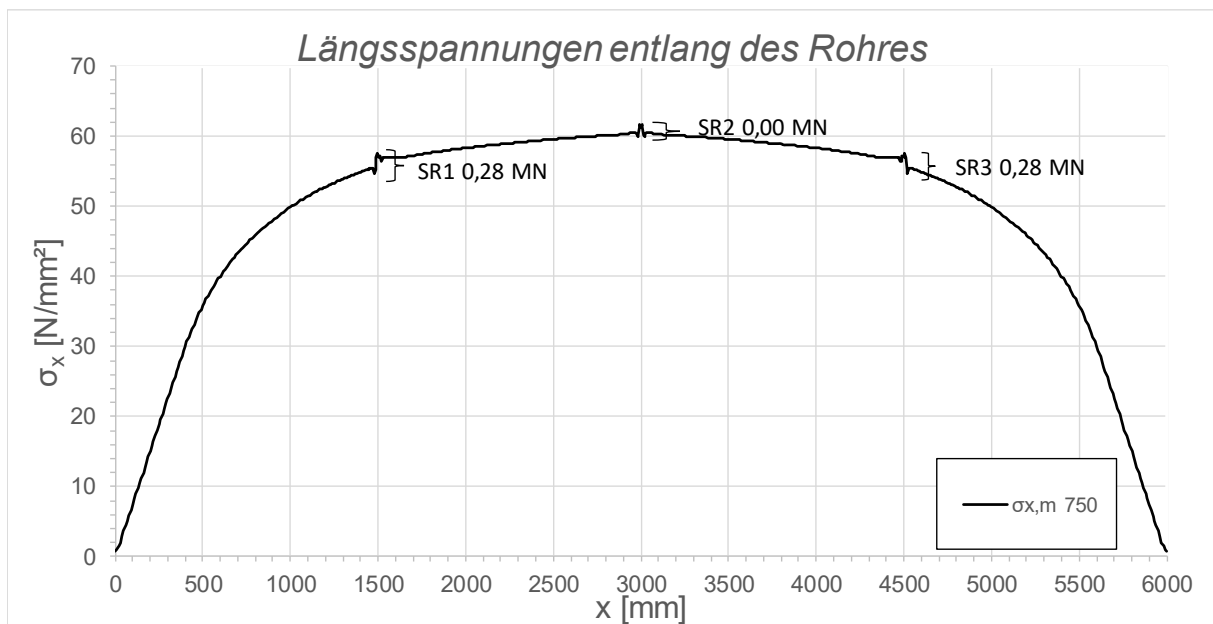


Abbildung C.18: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

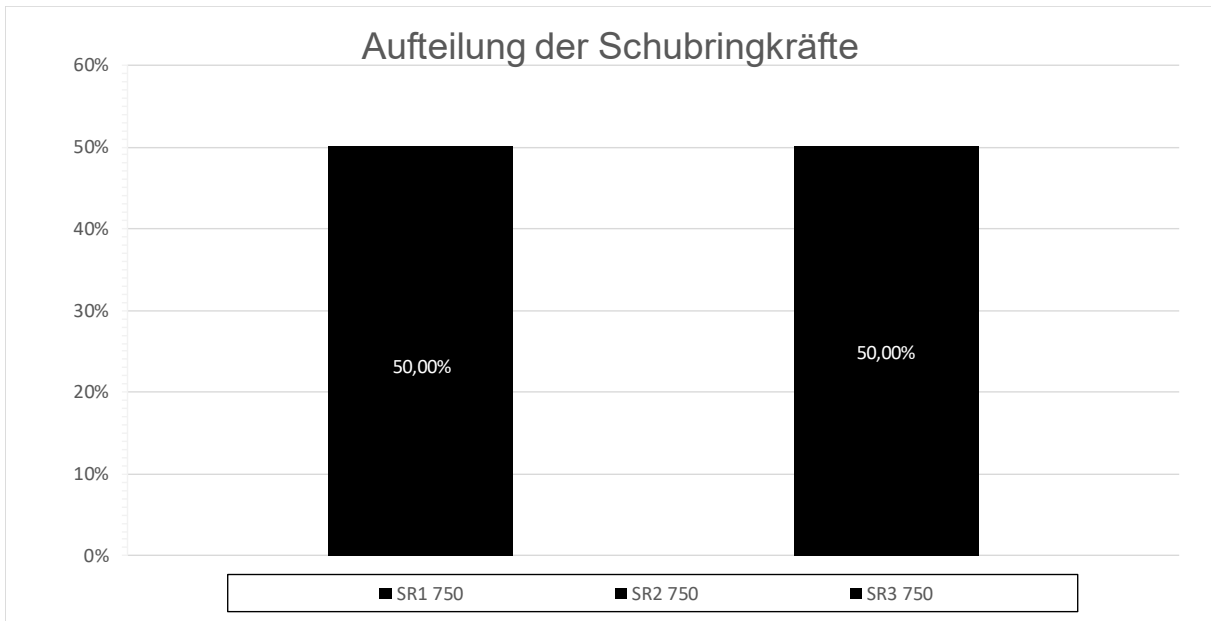


Abbildung C.19: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

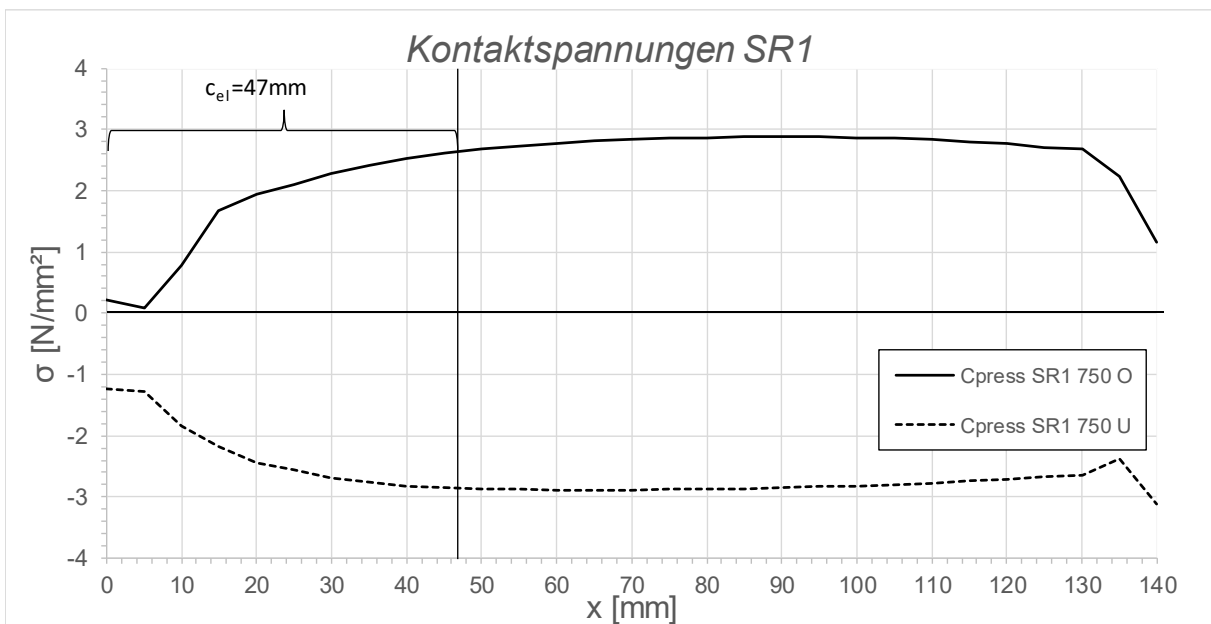


Abbildung C.20: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

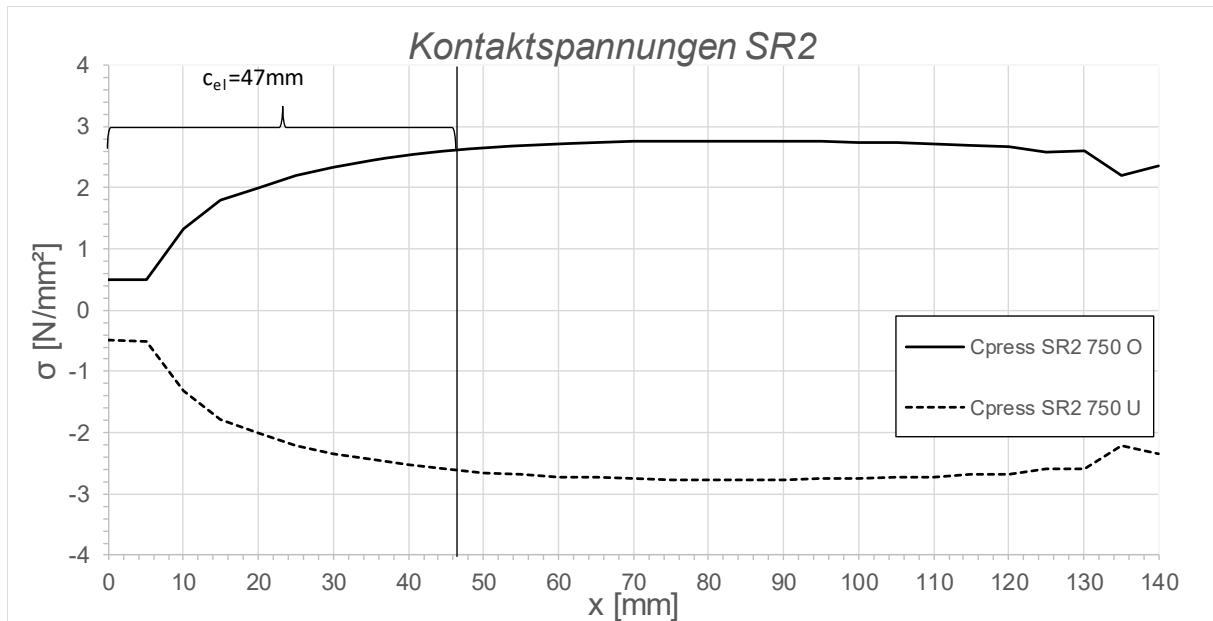


Abbildung C.21: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

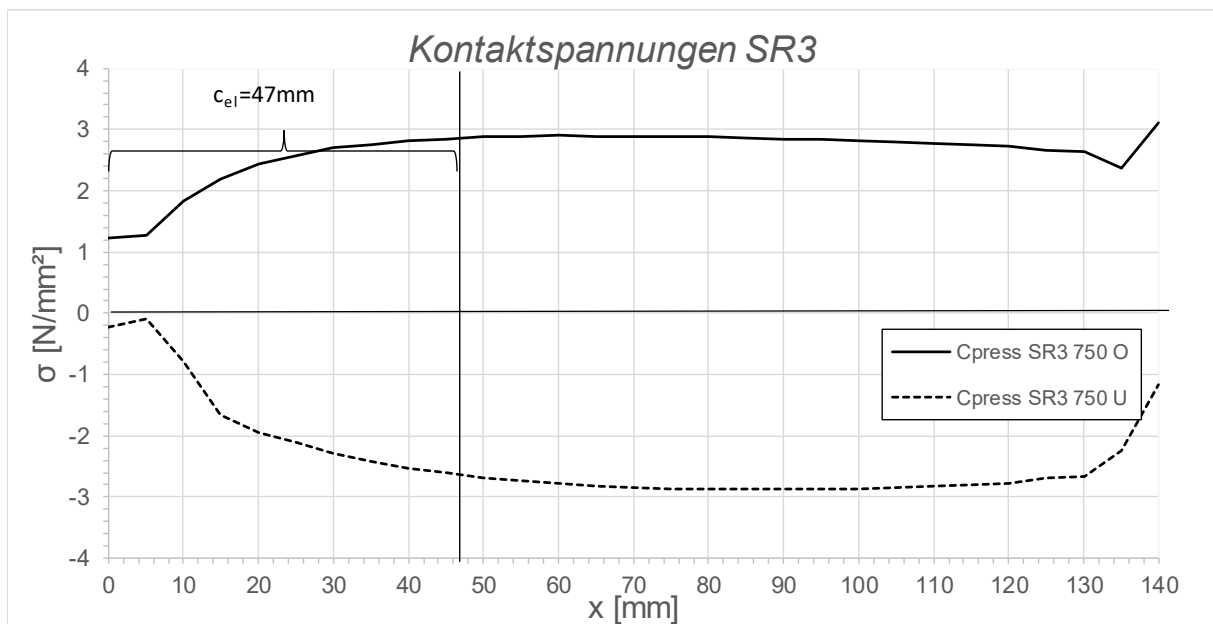


Abbildung C.22: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

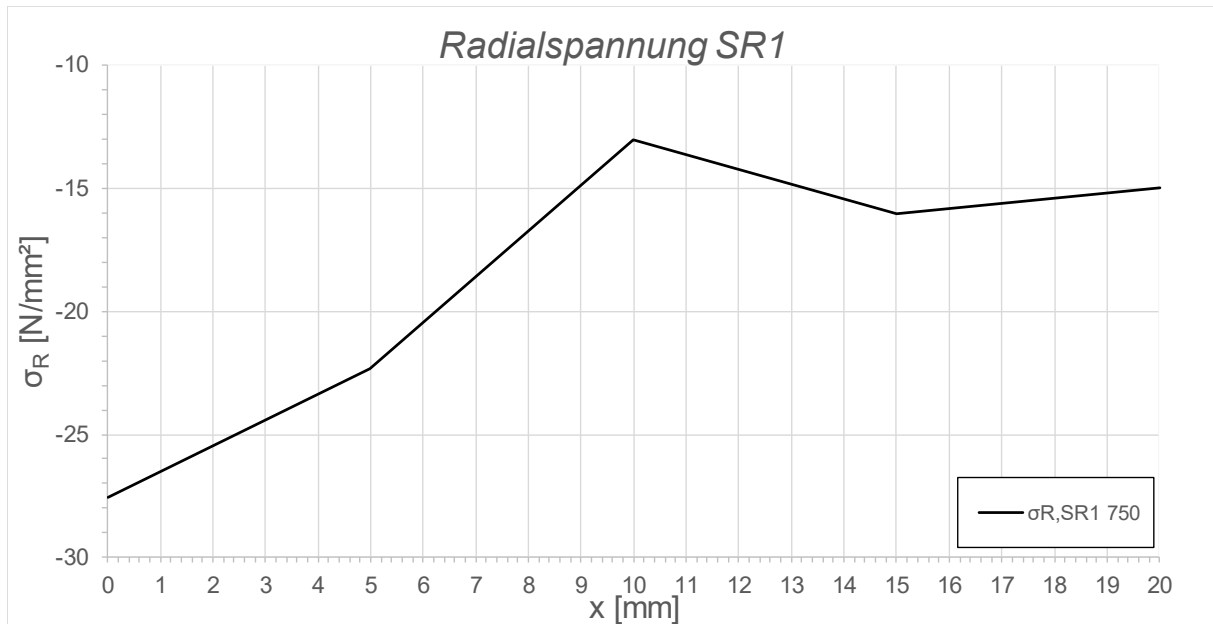


Abbildung C.23: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

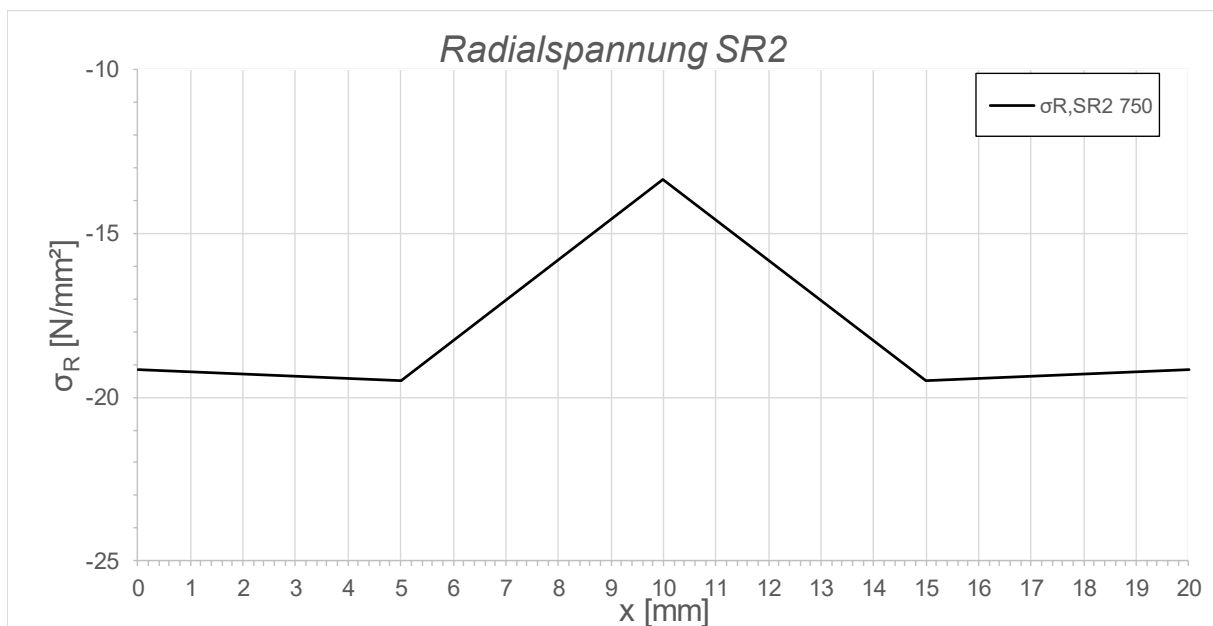


Abbildung C.24: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

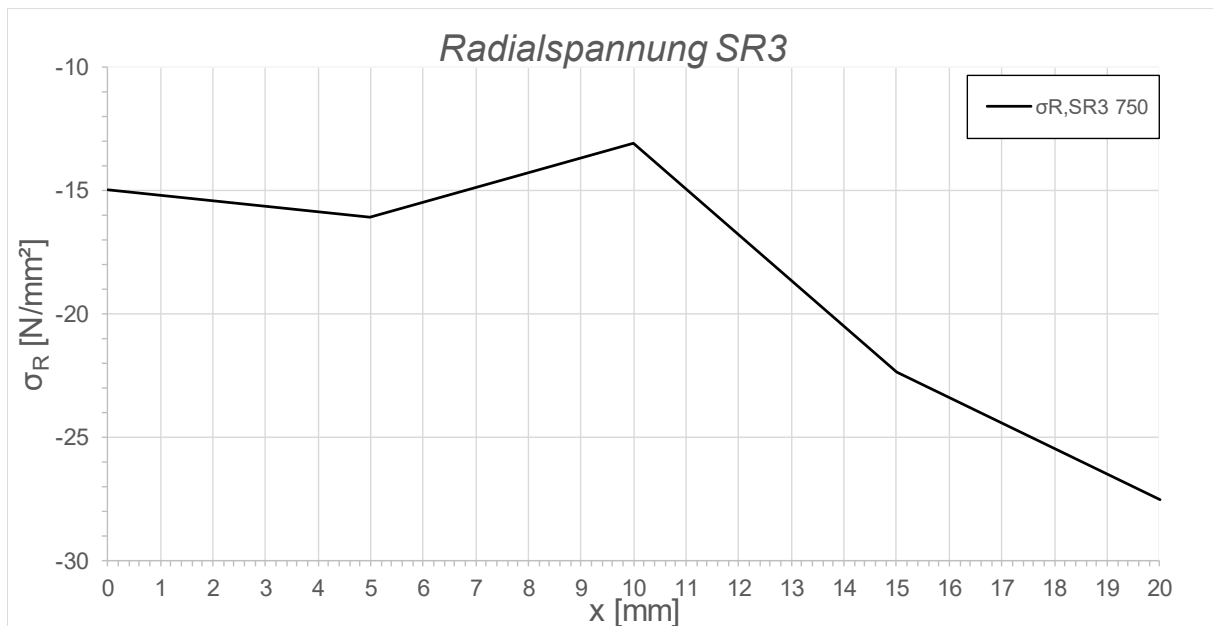


Abbildung C.25: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

C.2.3 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$

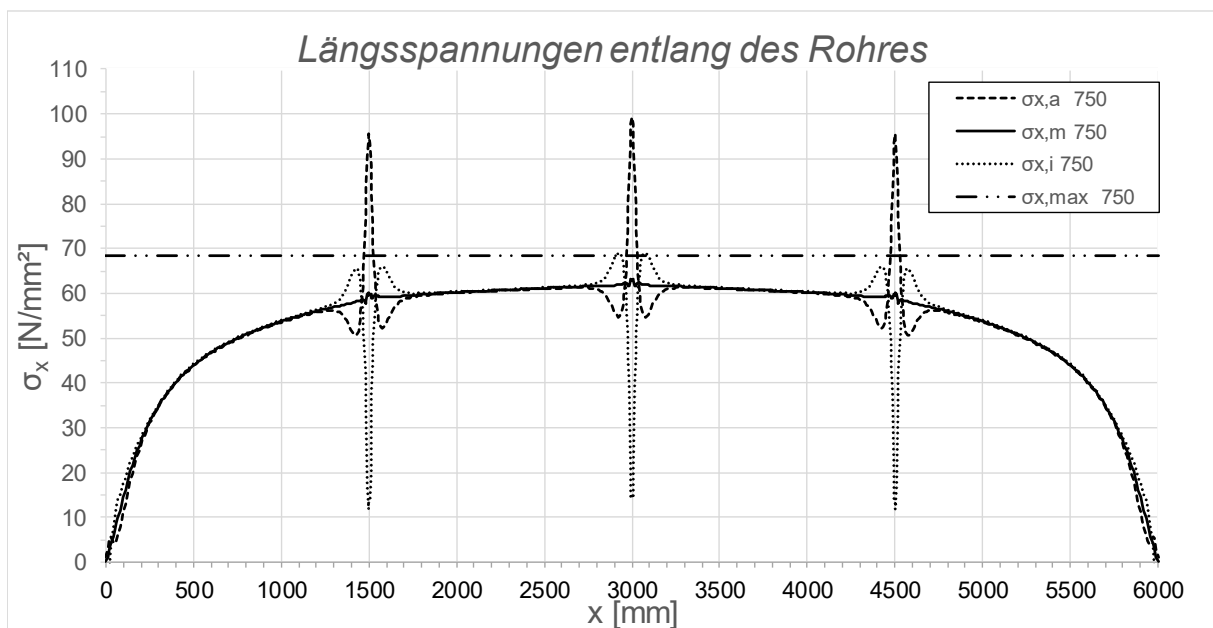


Abbildung C.26: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

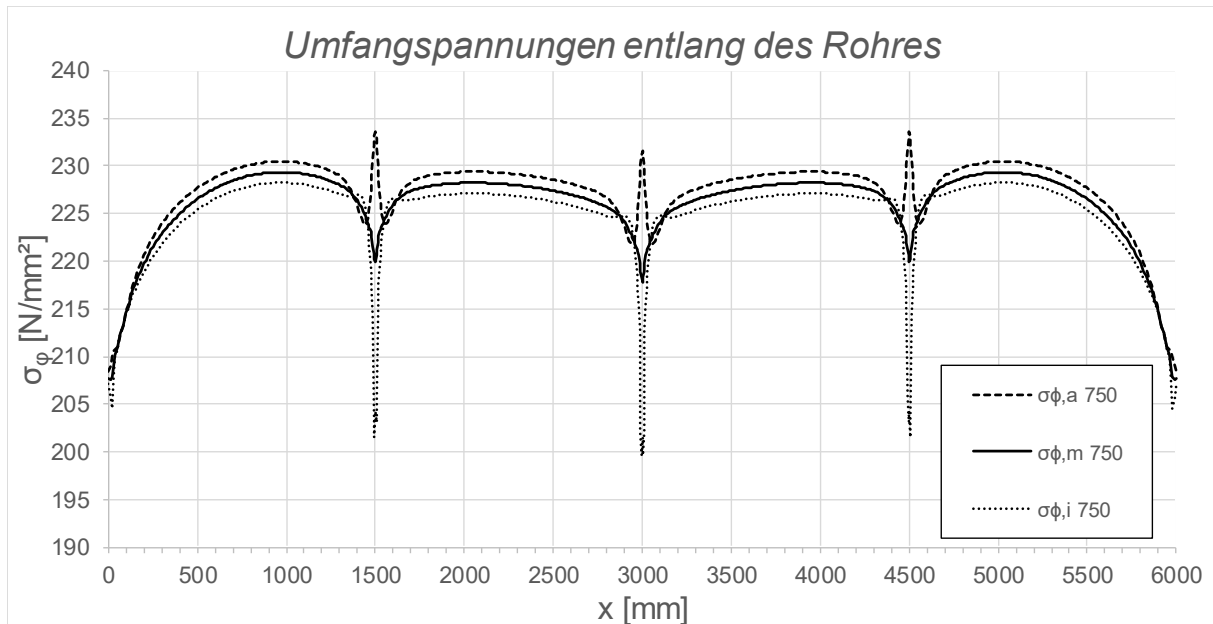


Abbildung C.27: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

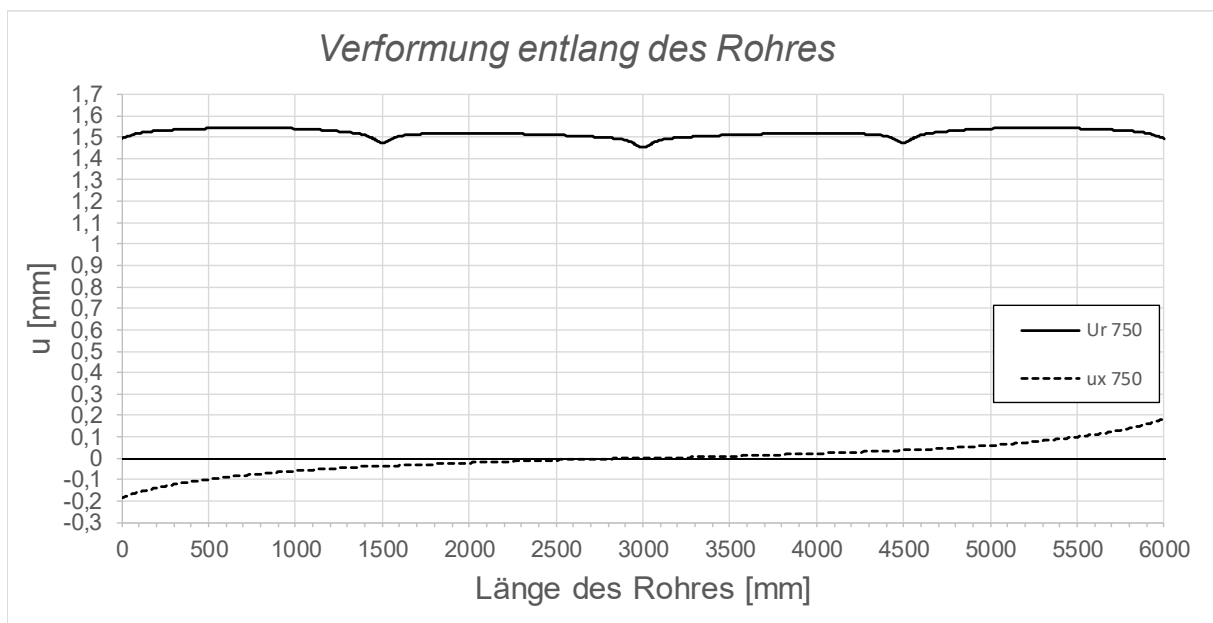


Abbildung C.28: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

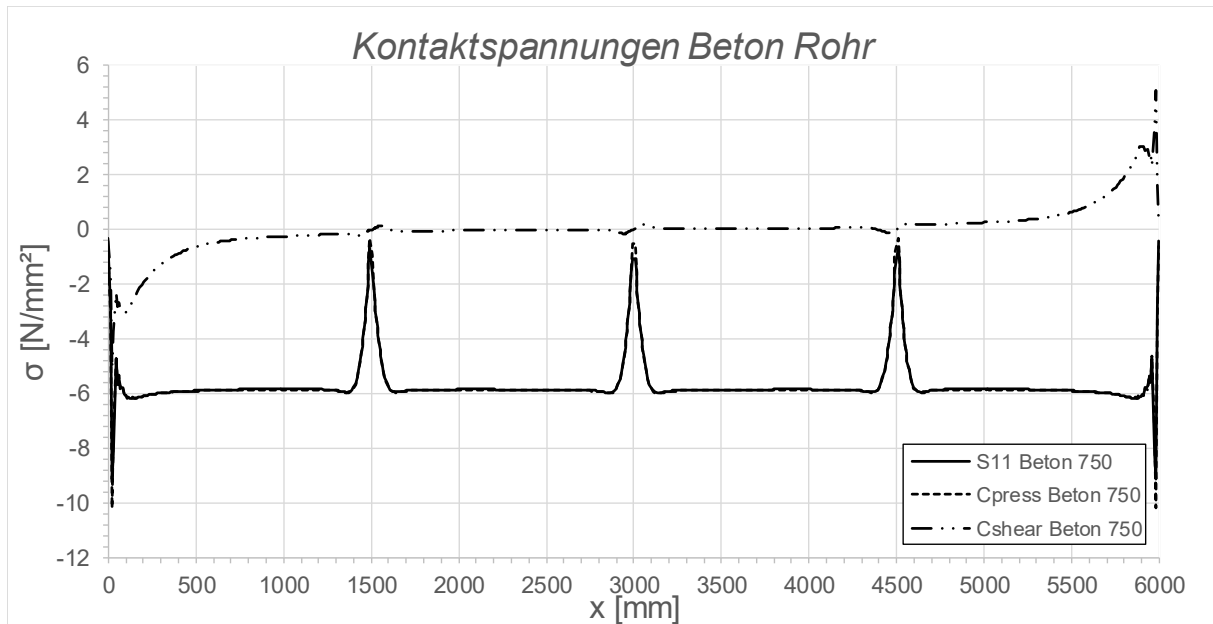


Abbildung C.29: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

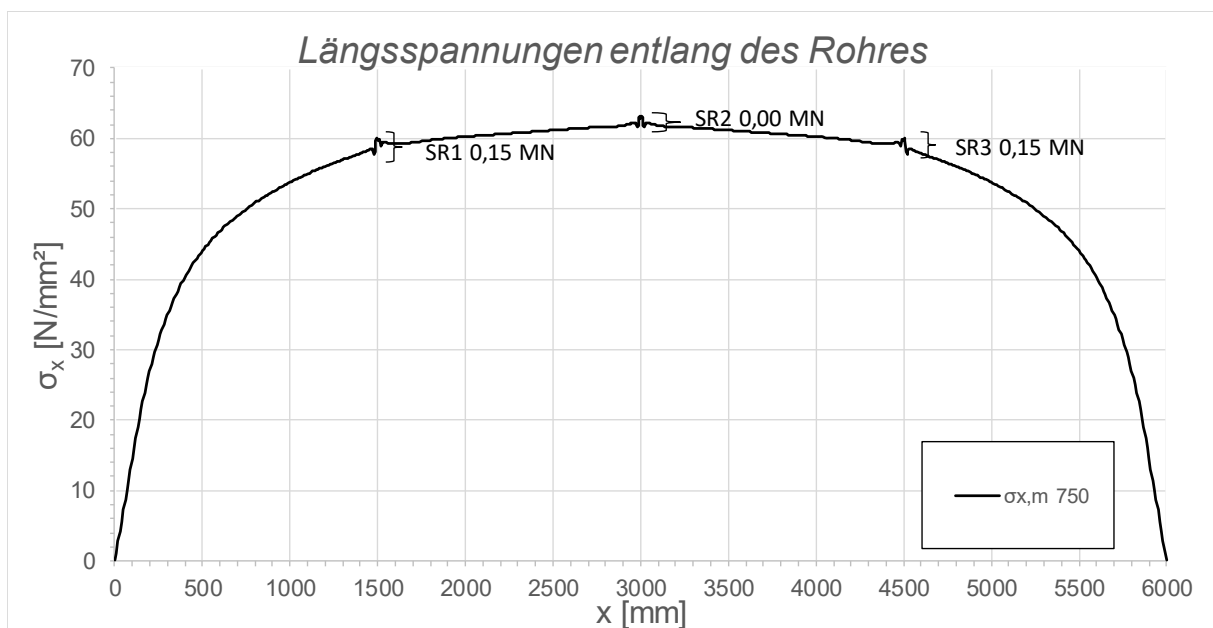


Abbildung C.30: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

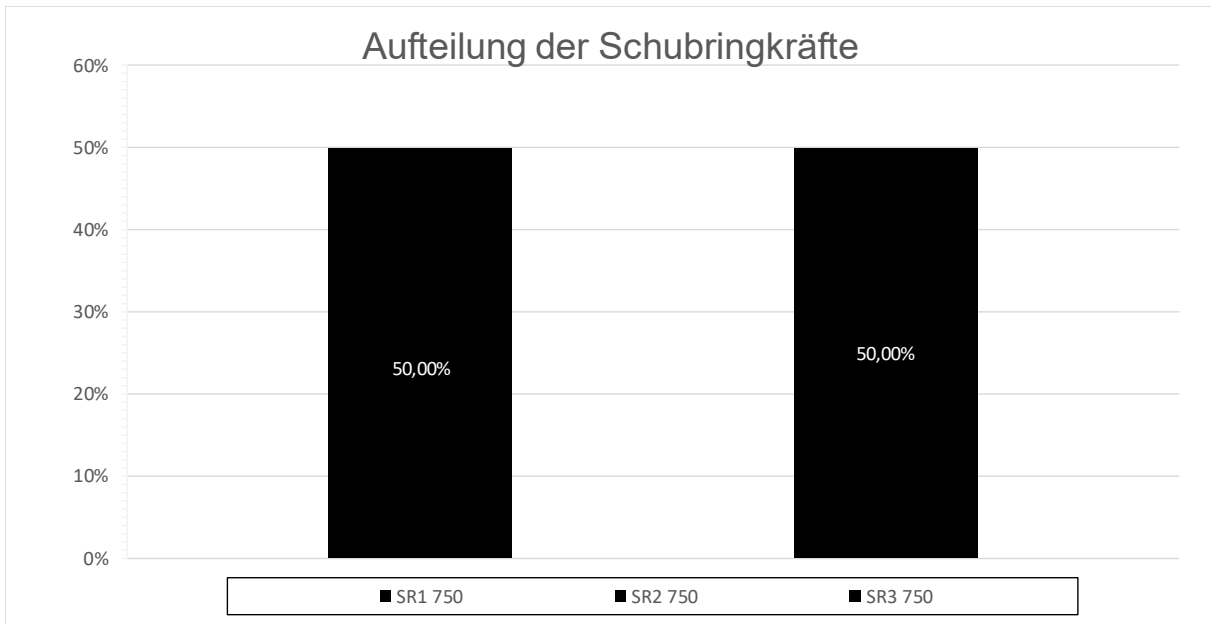


Abbildung C.31: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

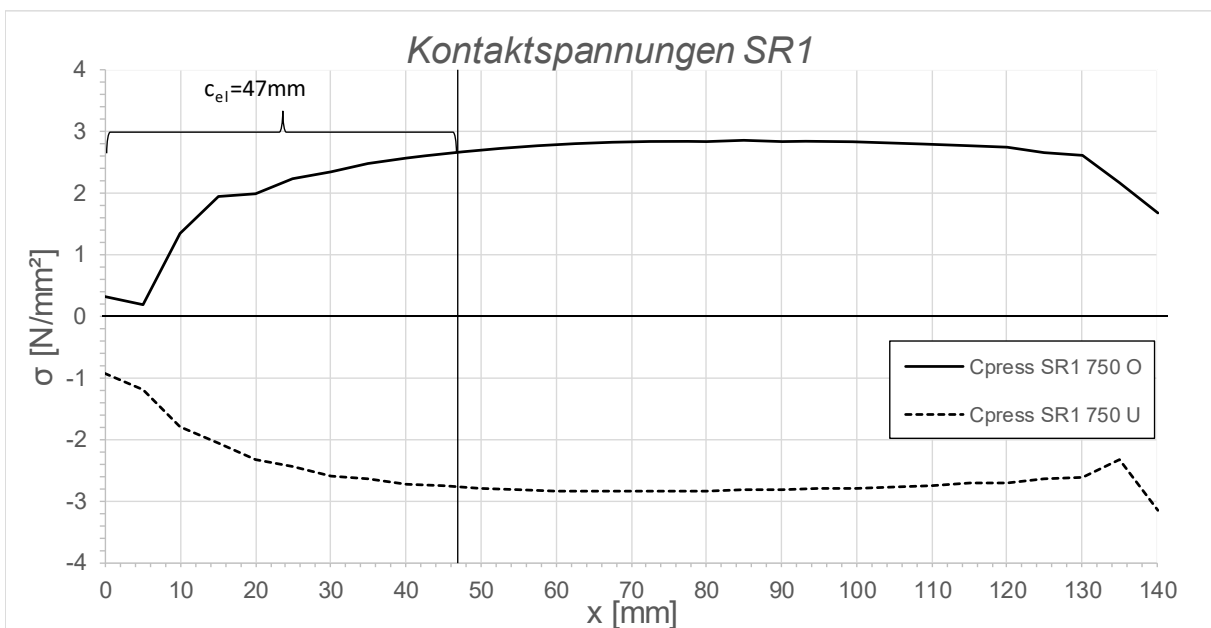


Abbildung C.32: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

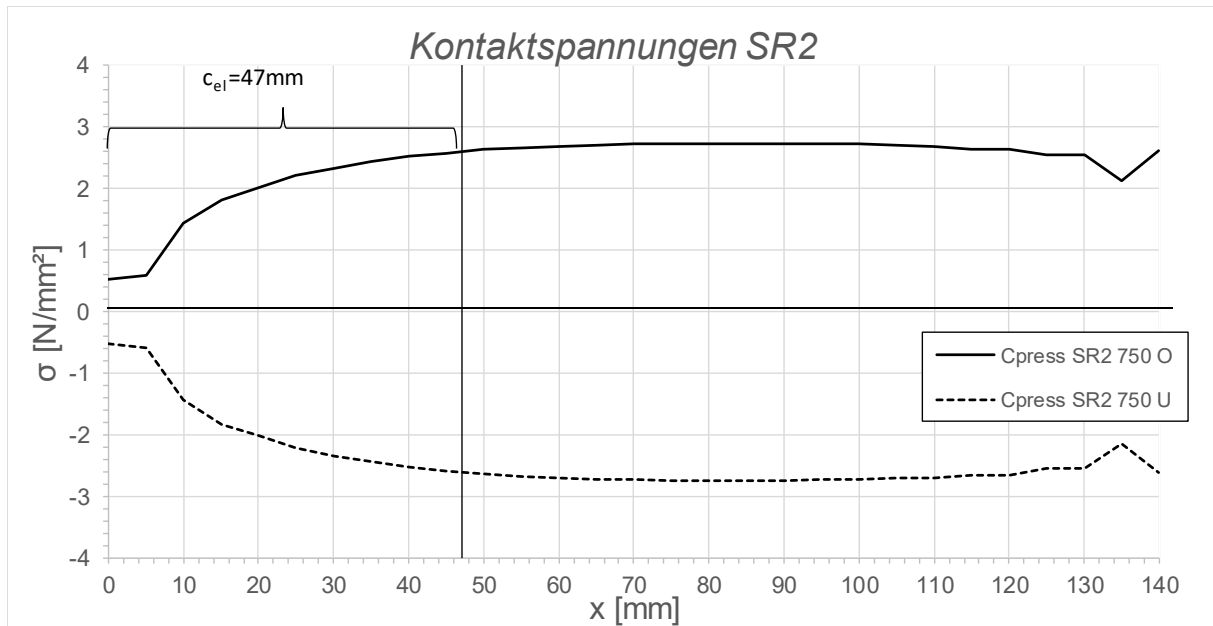


Abbildung C.33: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

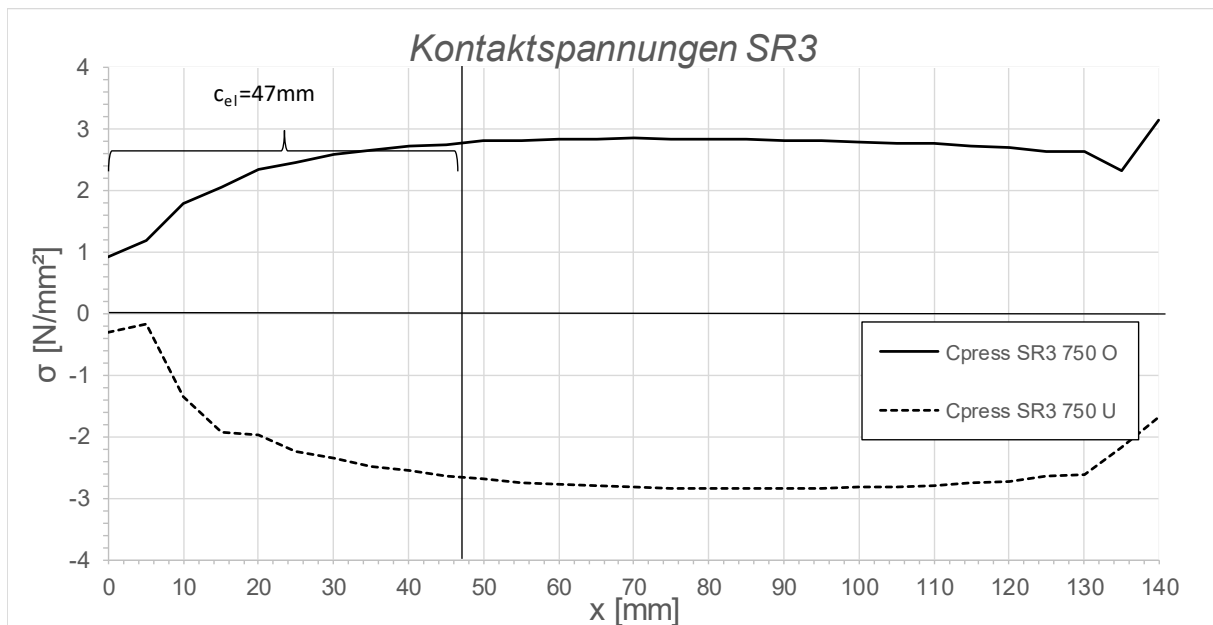


Abbildung C.34: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

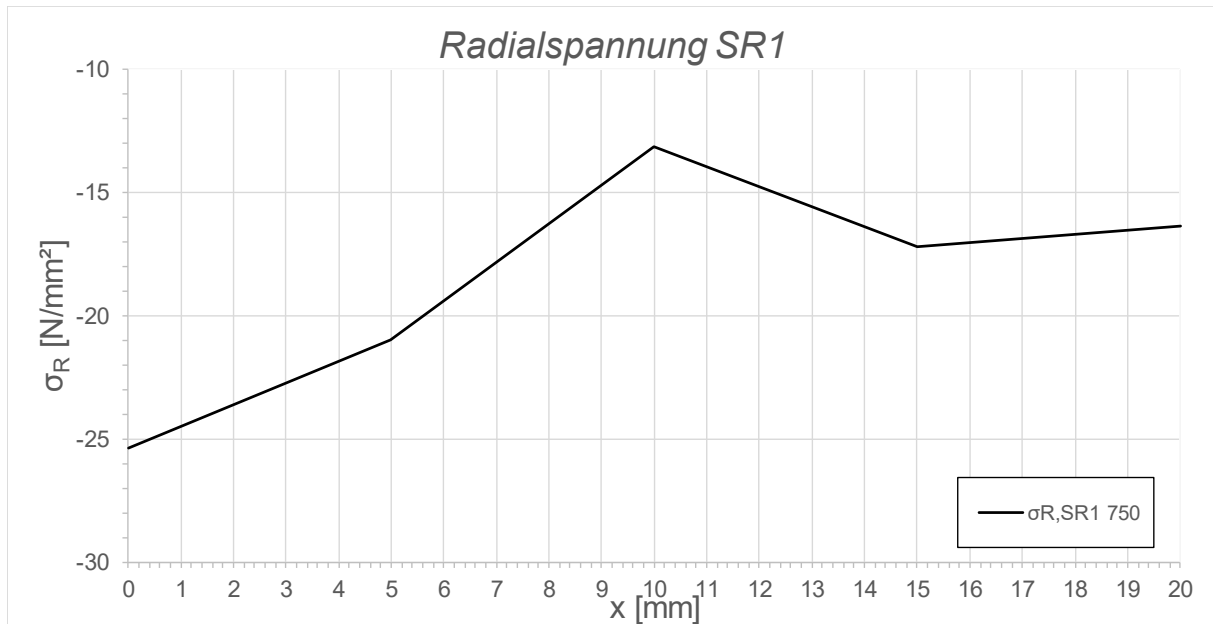


Abbildung C.35: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

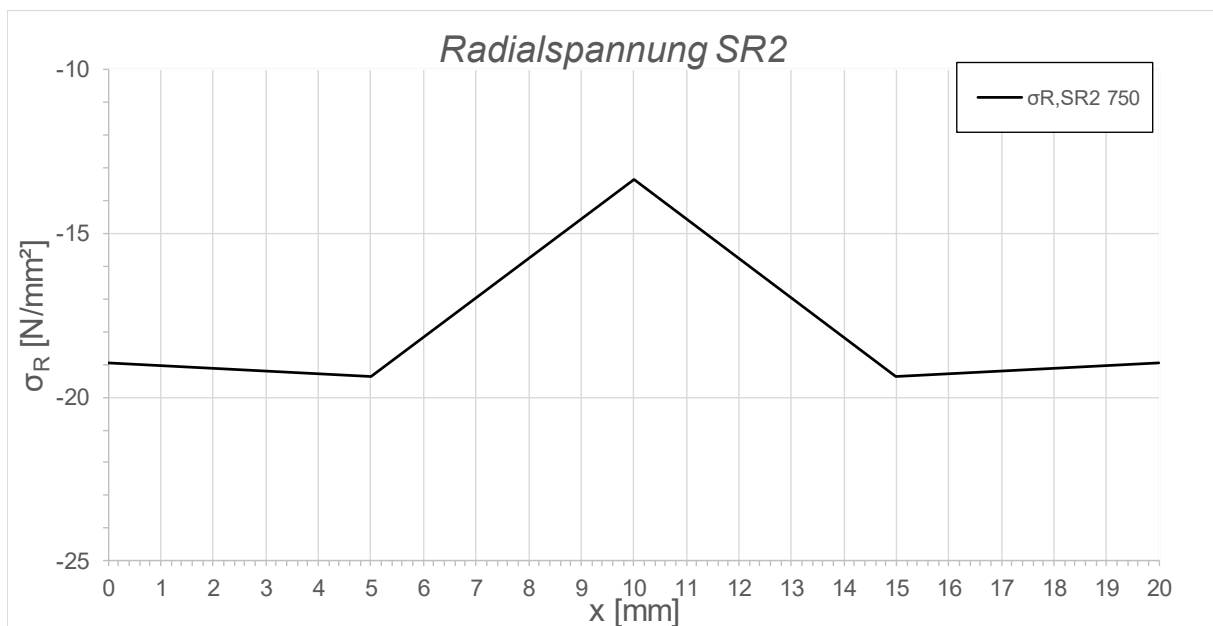


Abbildung C.36: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

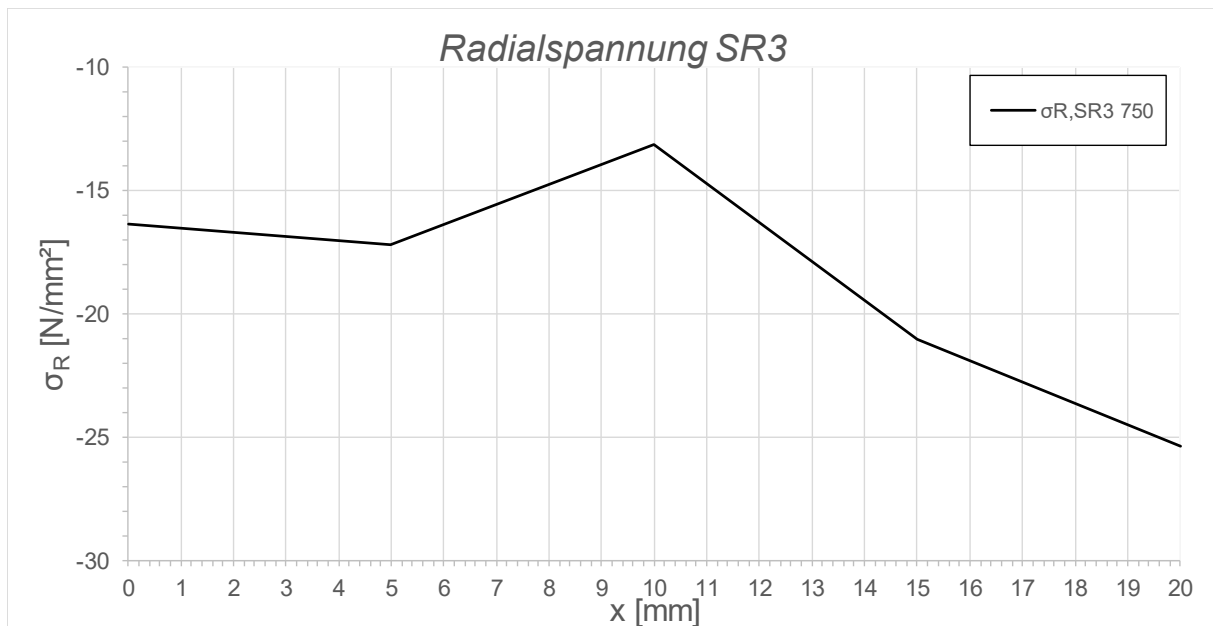


Abbildung C.37: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

C.2.4 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$

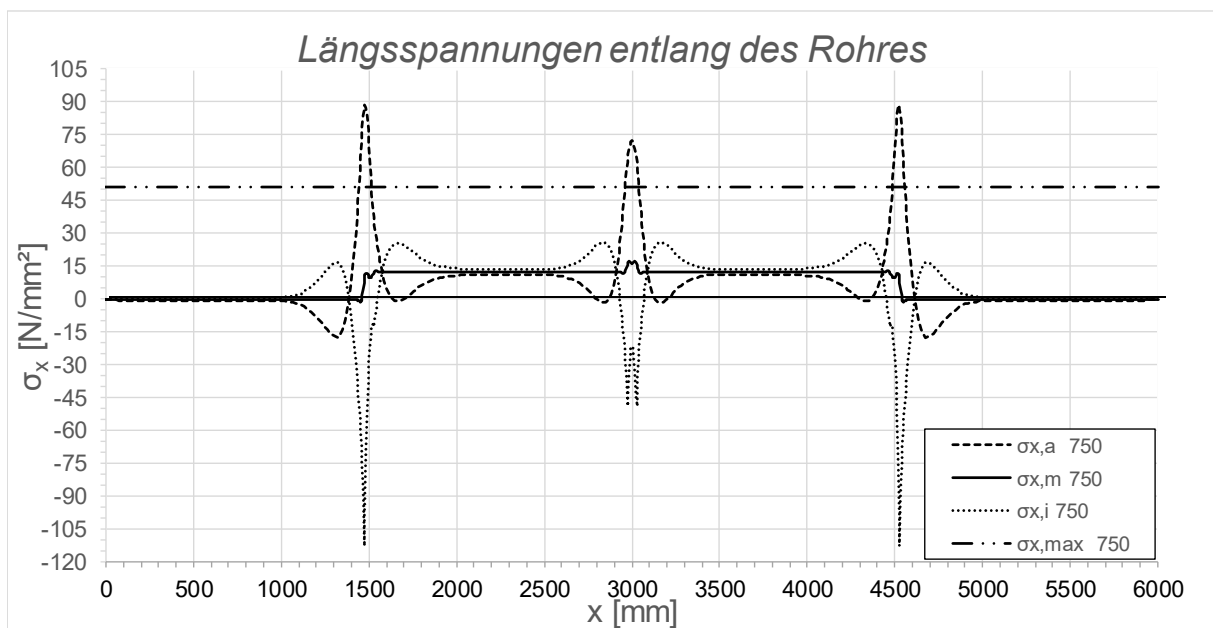


Abbildung C.38: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

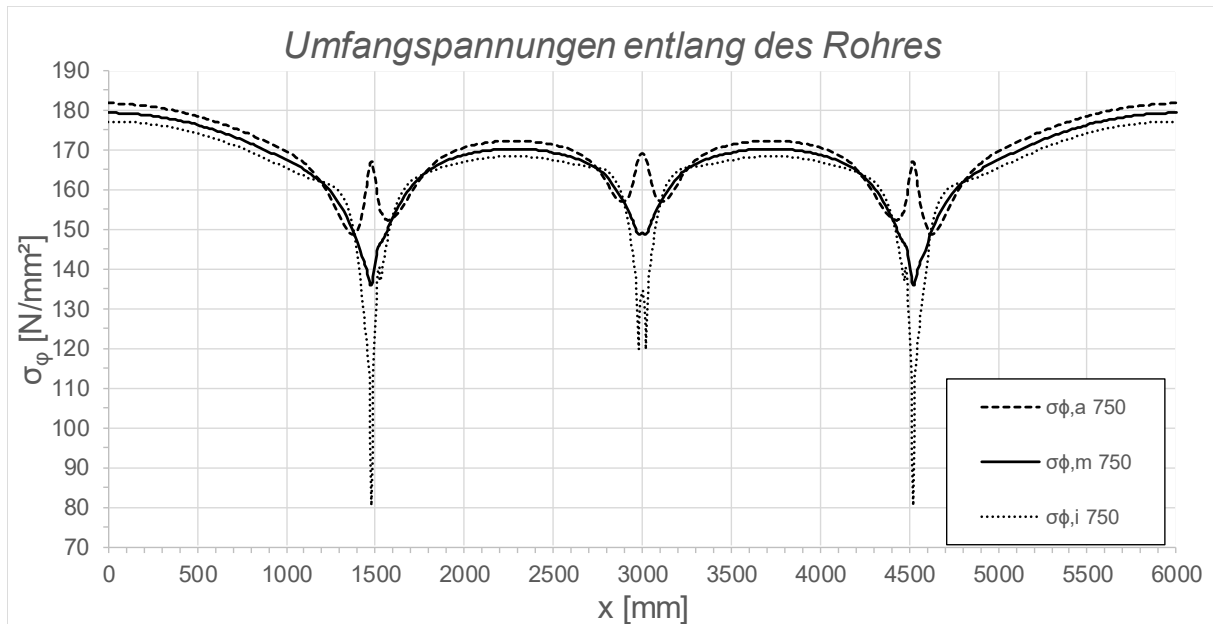


Abbildung C.39: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

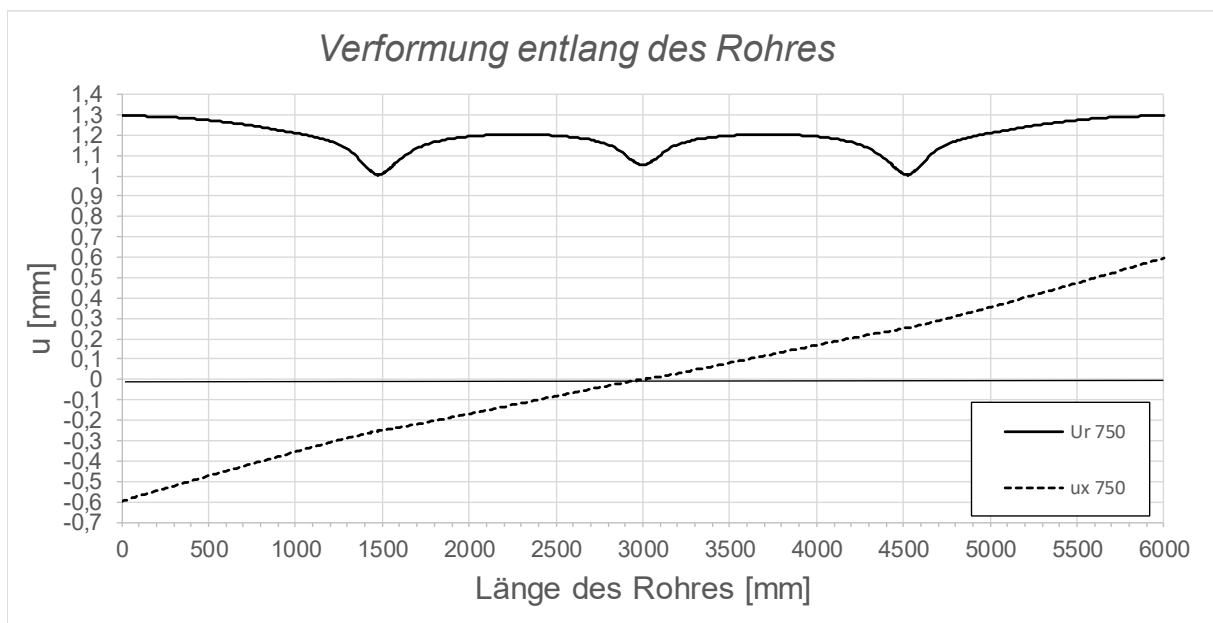


Abbildung C.40: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

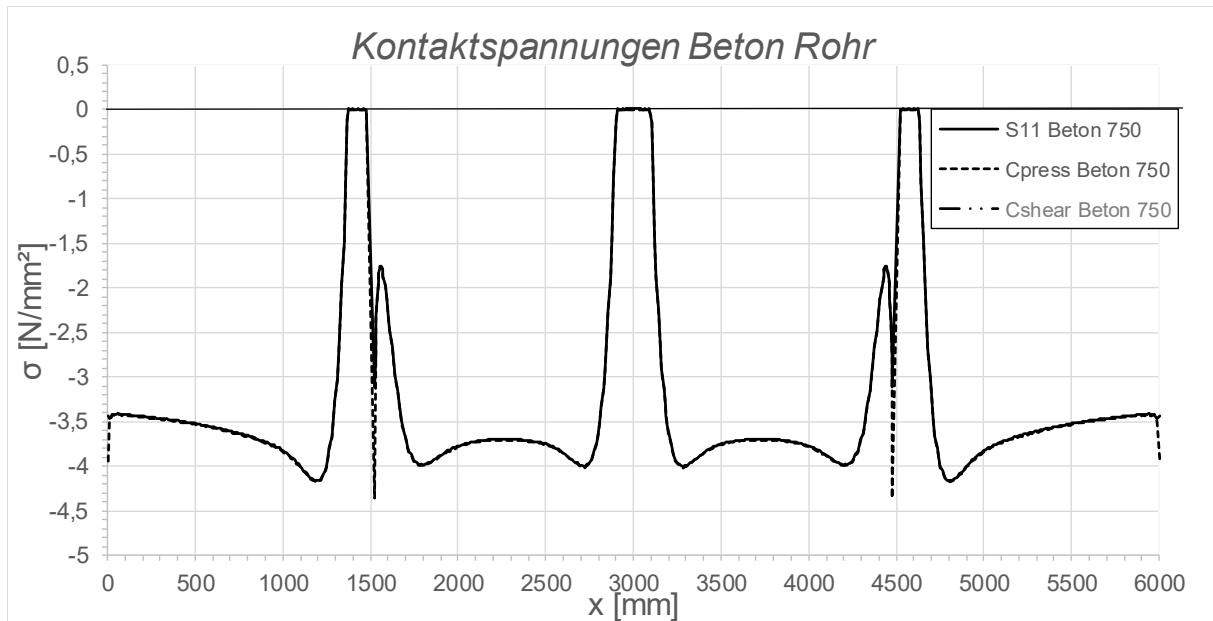


Abbildung C.41: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

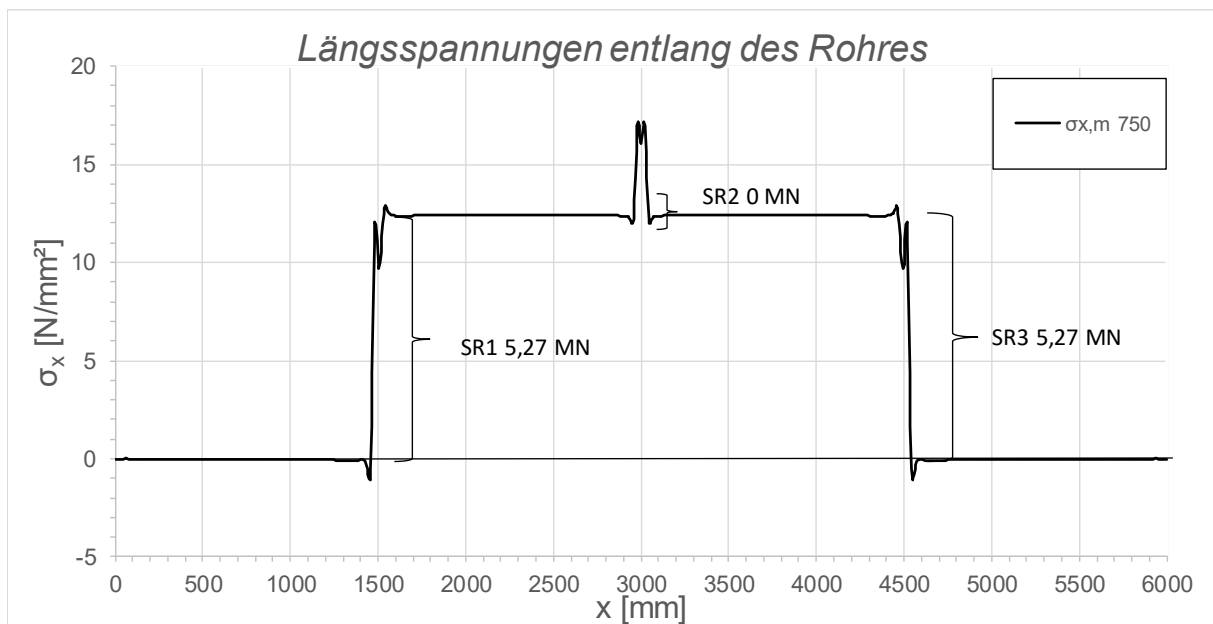


Abbildung C.42: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

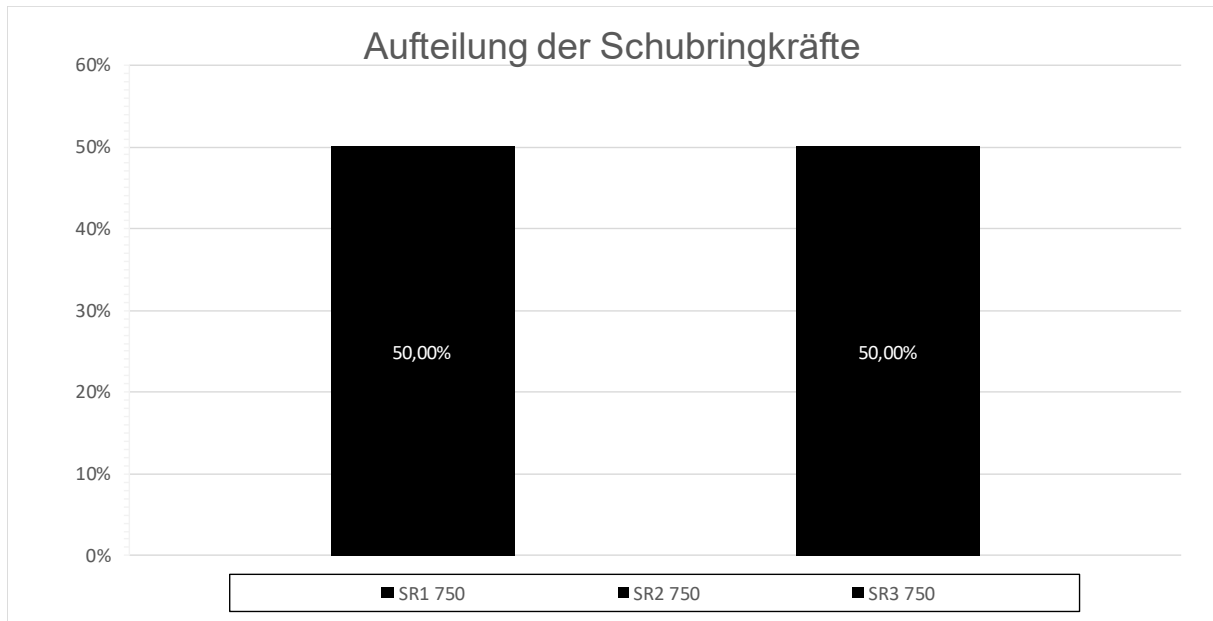


Abbildung C.43: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

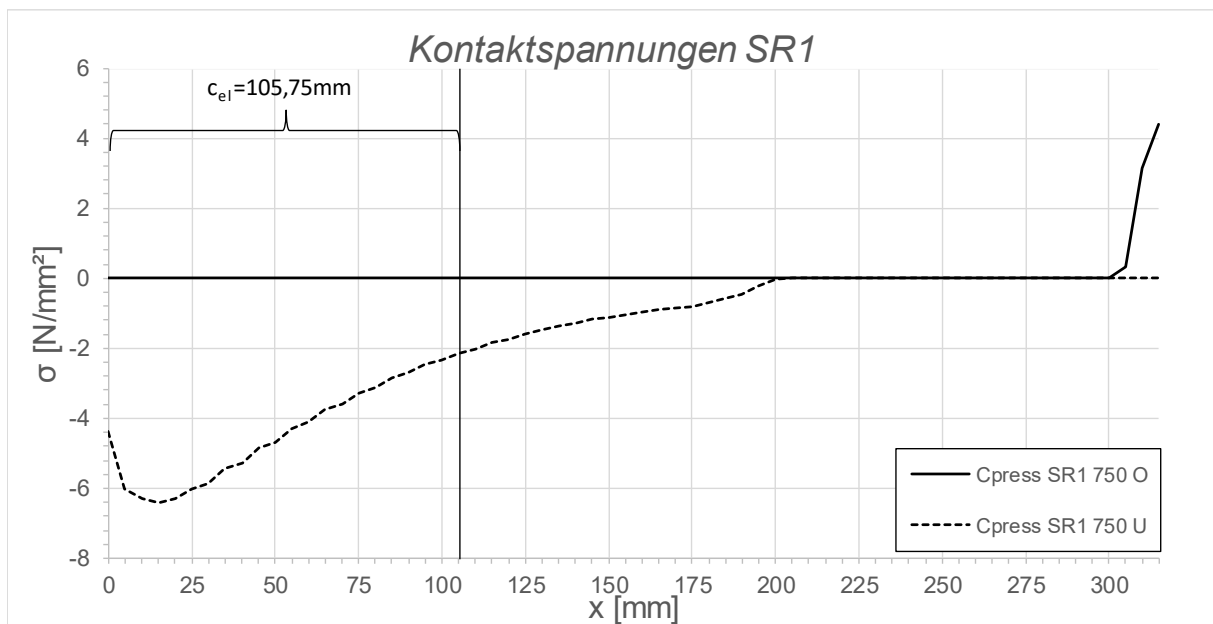


Abbildung C.44: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

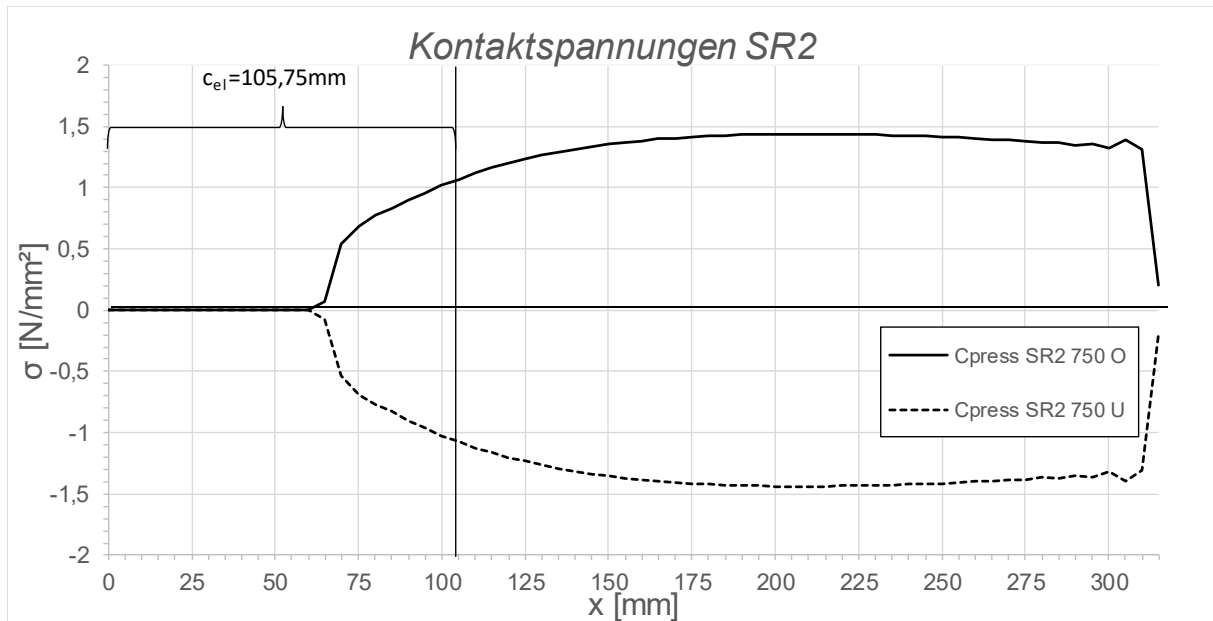


Abbildung C.45: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

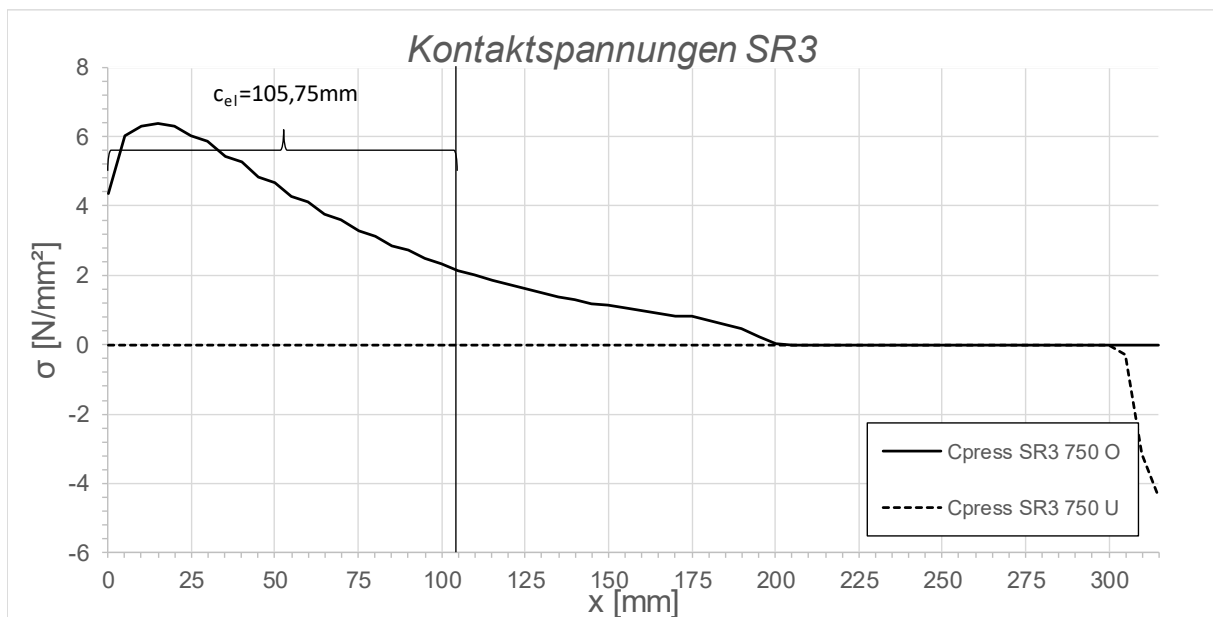


Abbildung C.46: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

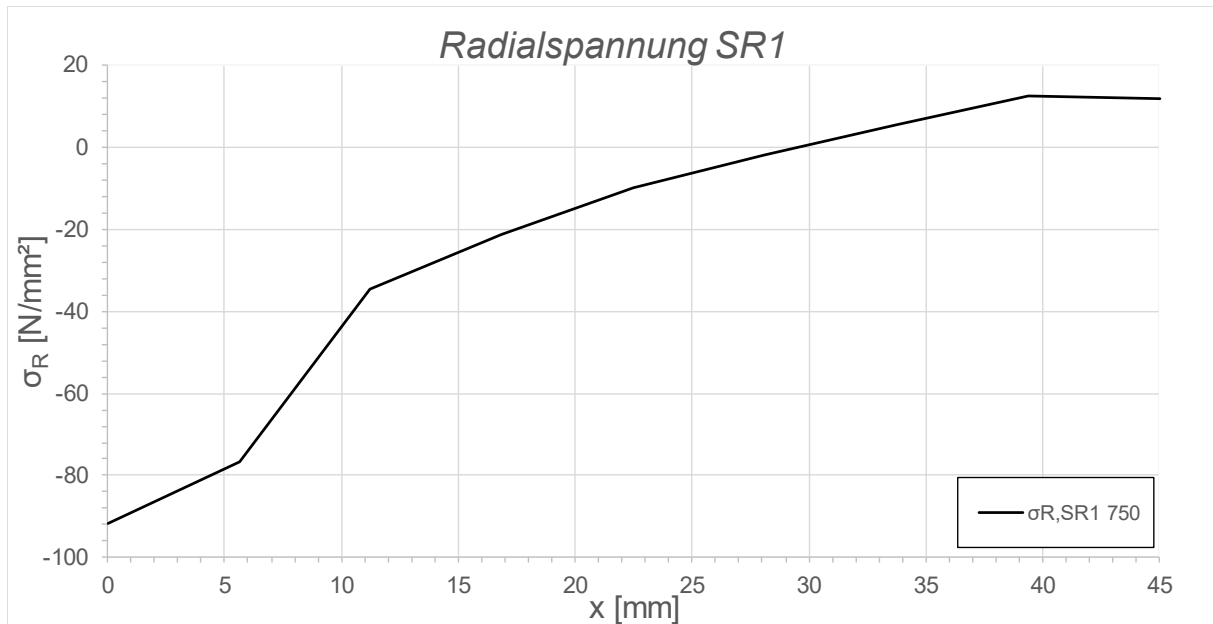


Abbildung C.47: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

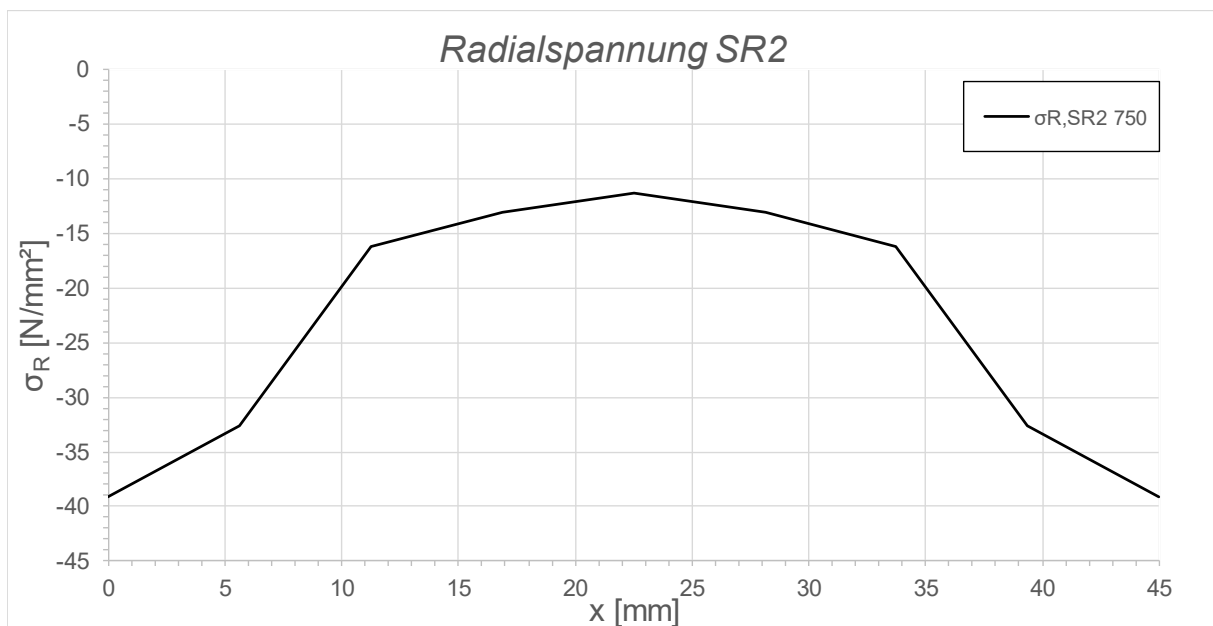


Abbildung C.48: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

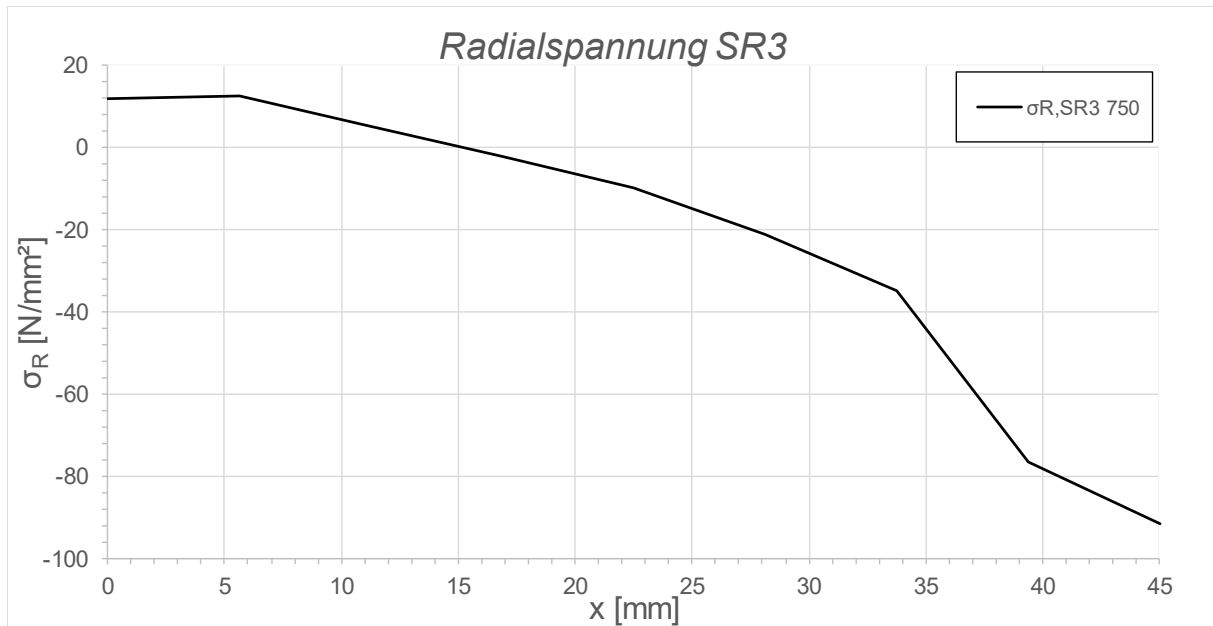


Abbildung C.49: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

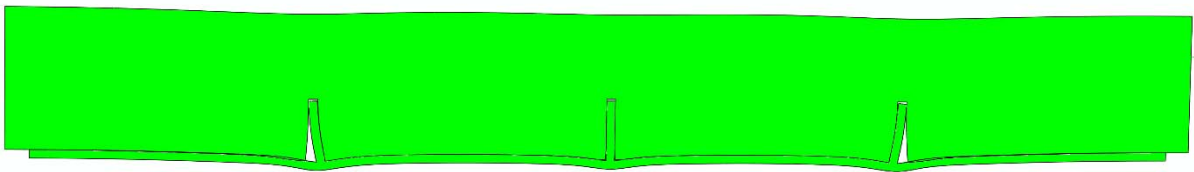


Abbildung C.50: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

C.2.5 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$

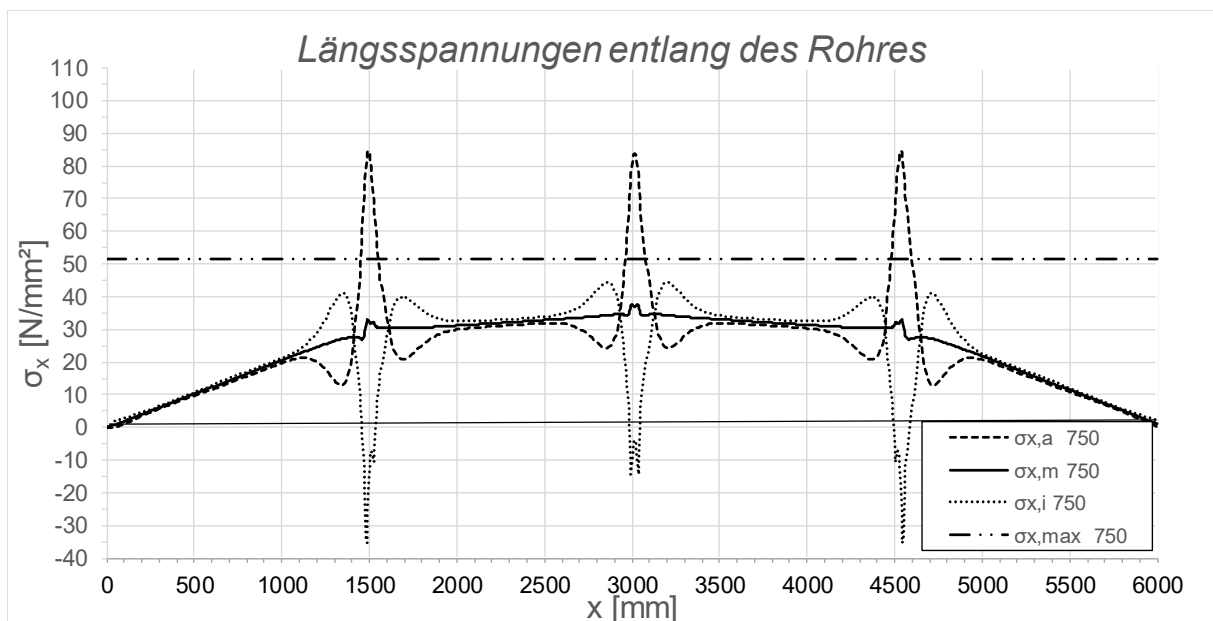


Abbildung C.51: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

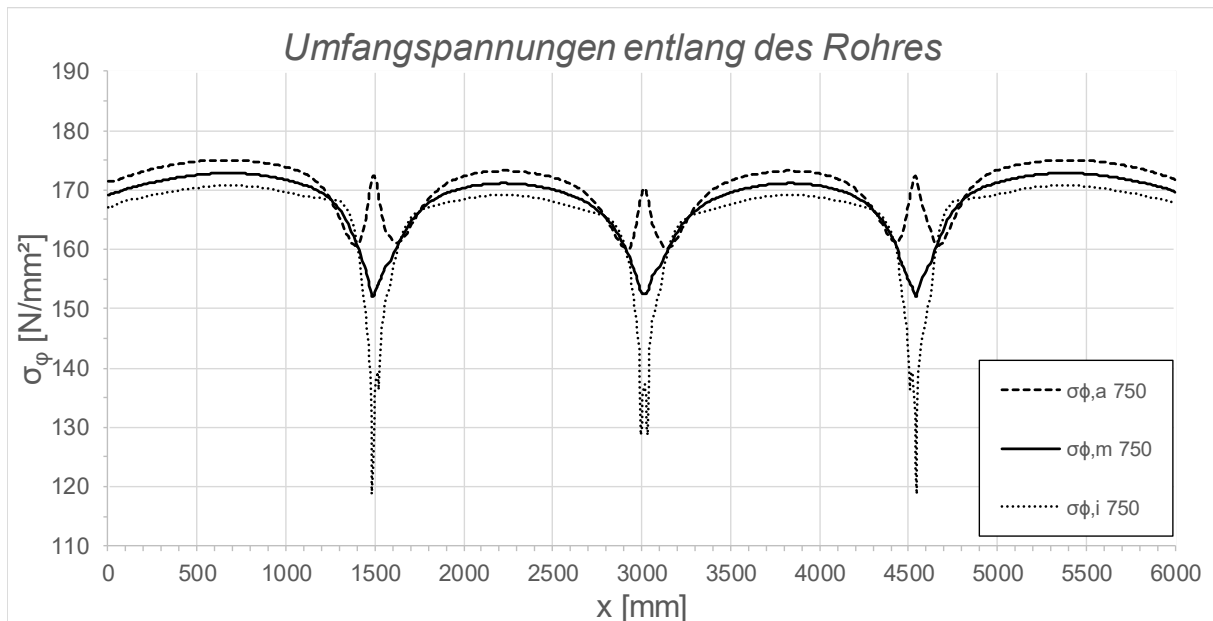


Abbildung C.52: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

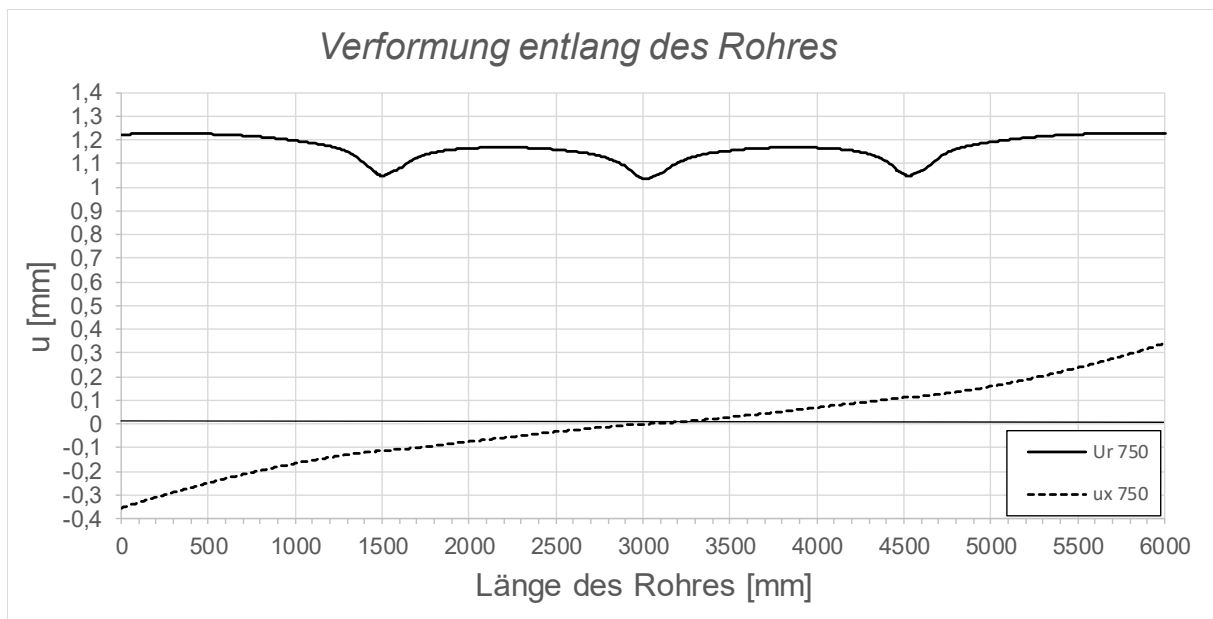


Abbildung C.53: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

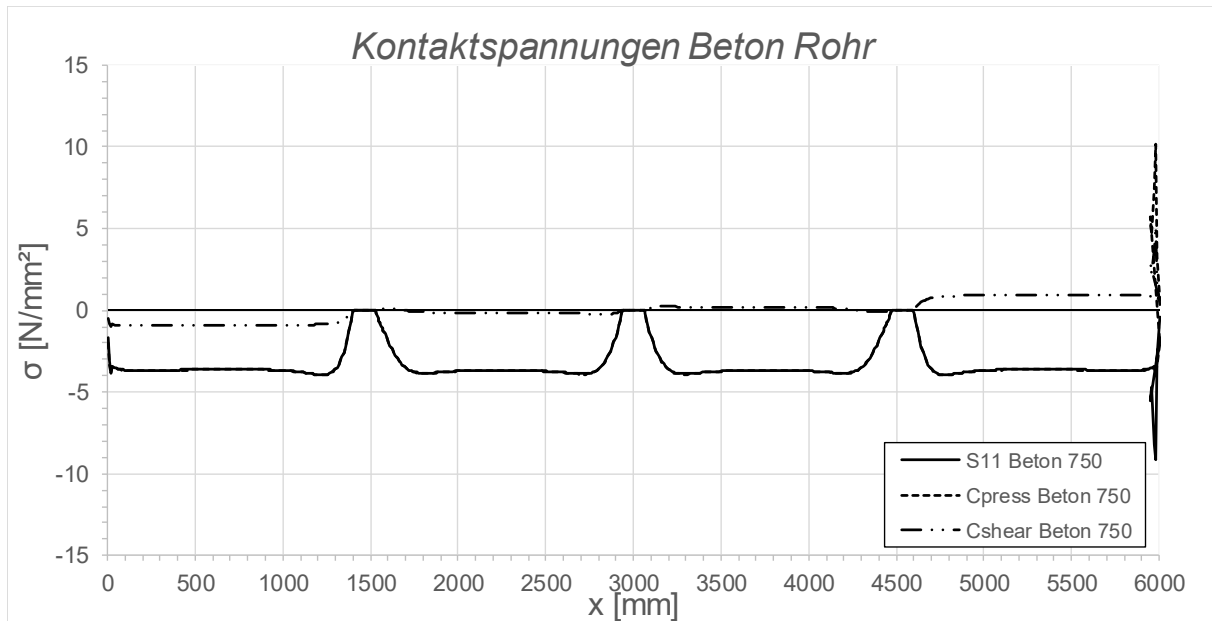


Abbildung C.54: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

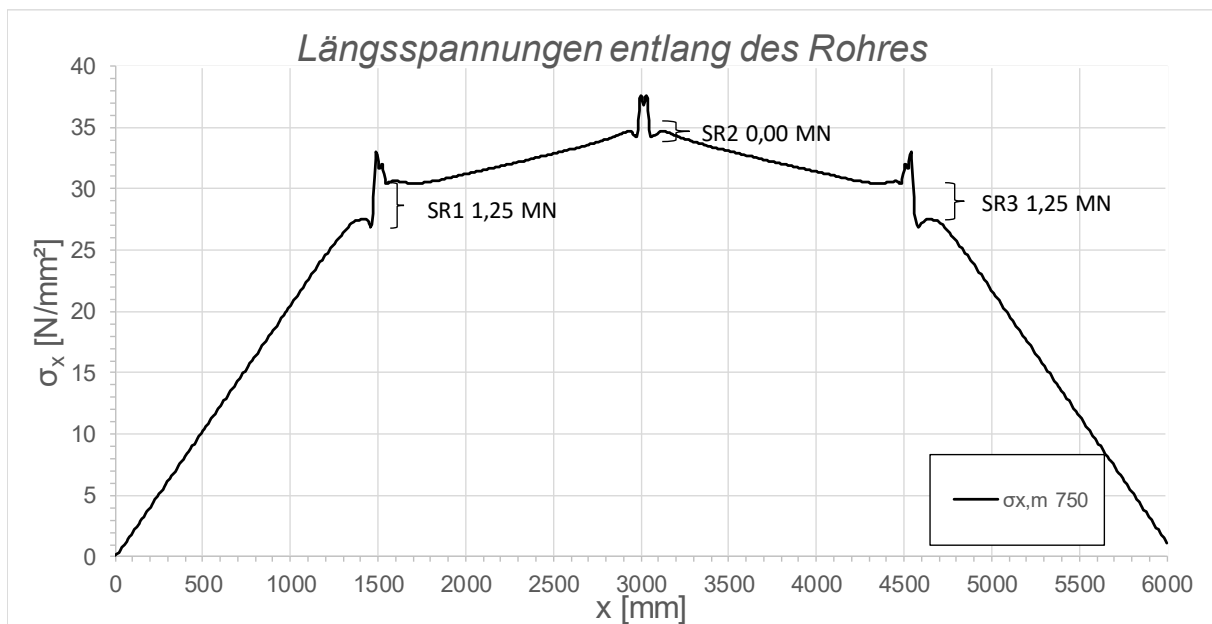


Abbildung C.55: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

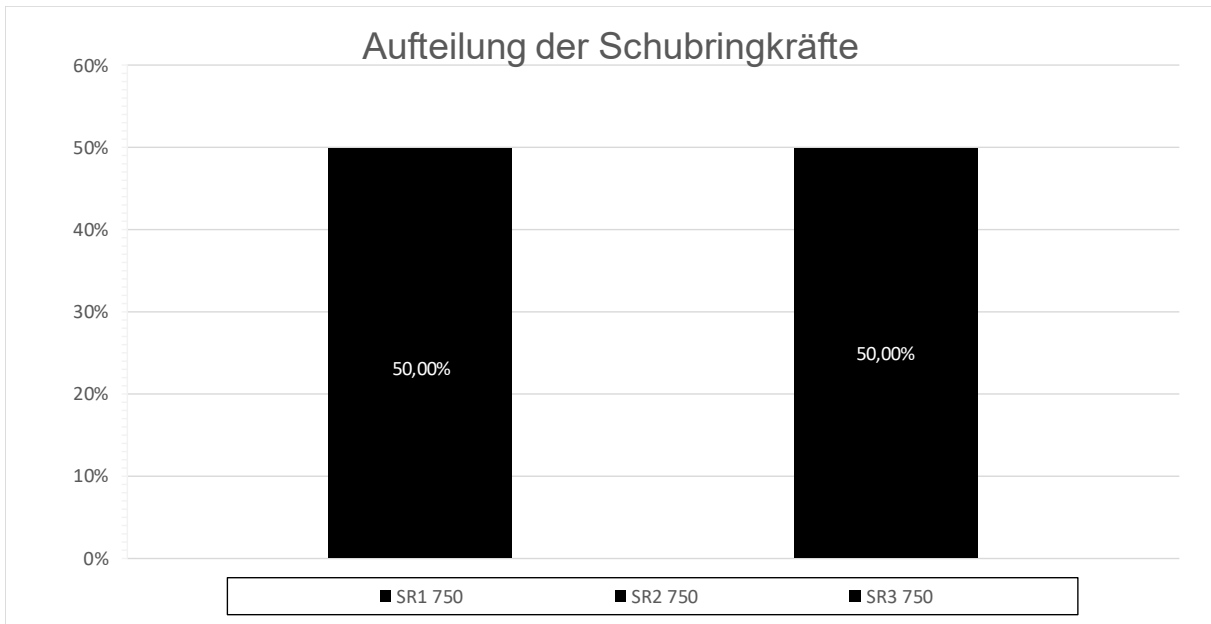


Abbildung C.56: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

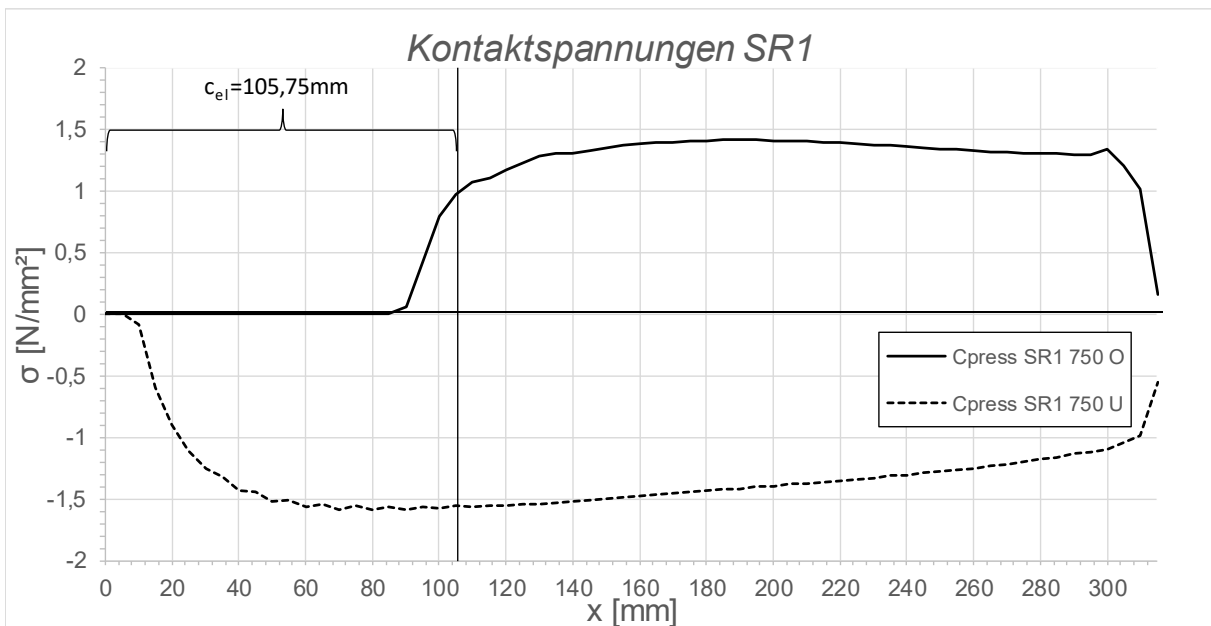


Abbildung C.57: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

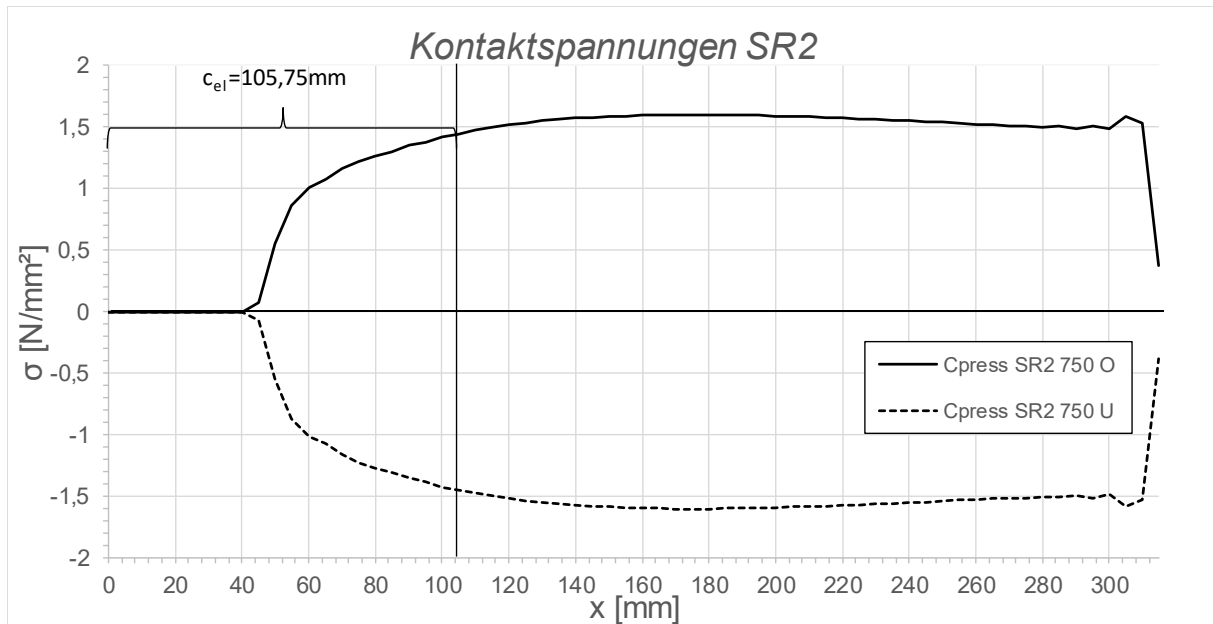


Abbildung C.58: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

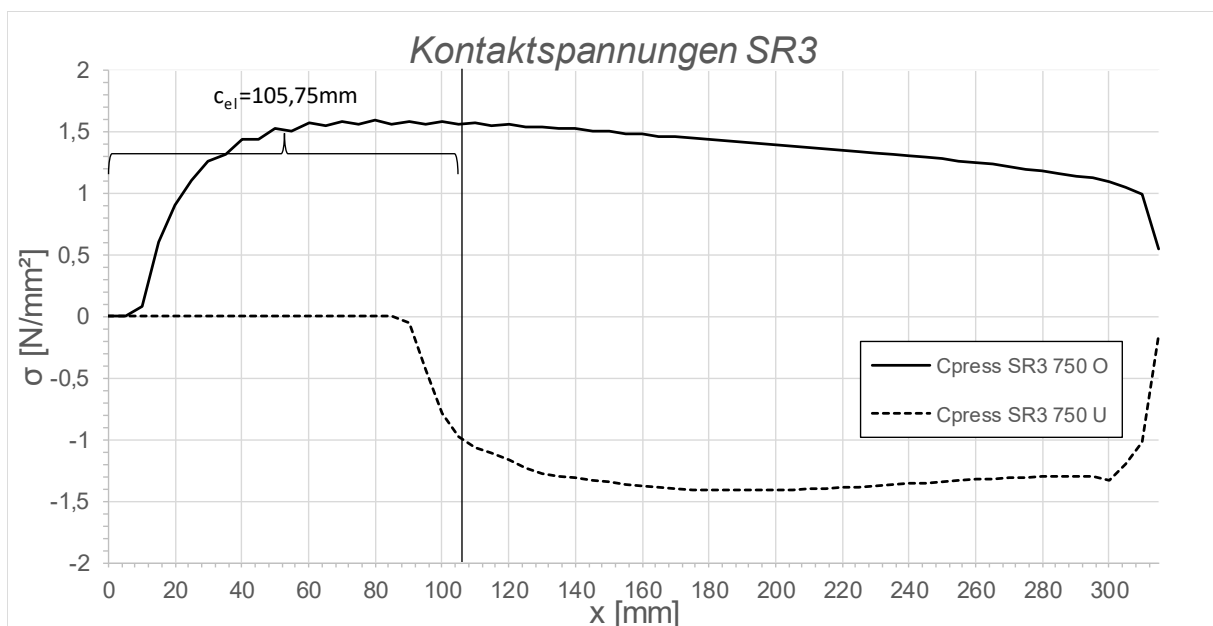


Abbildung C.59: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

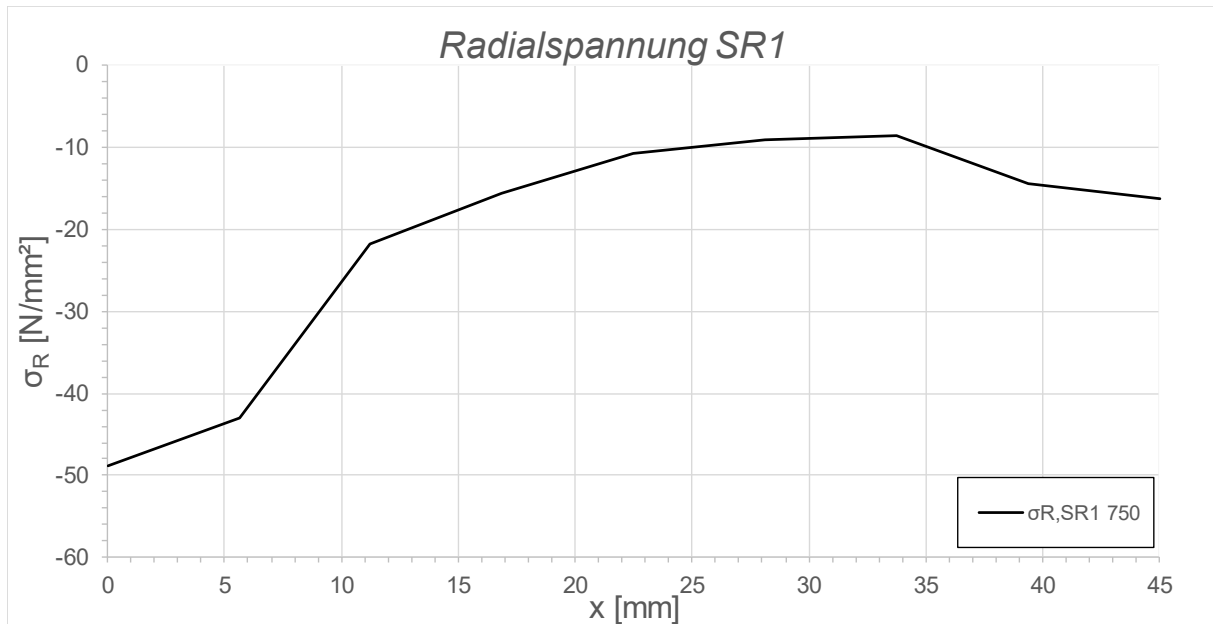


Abbildung C.60: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

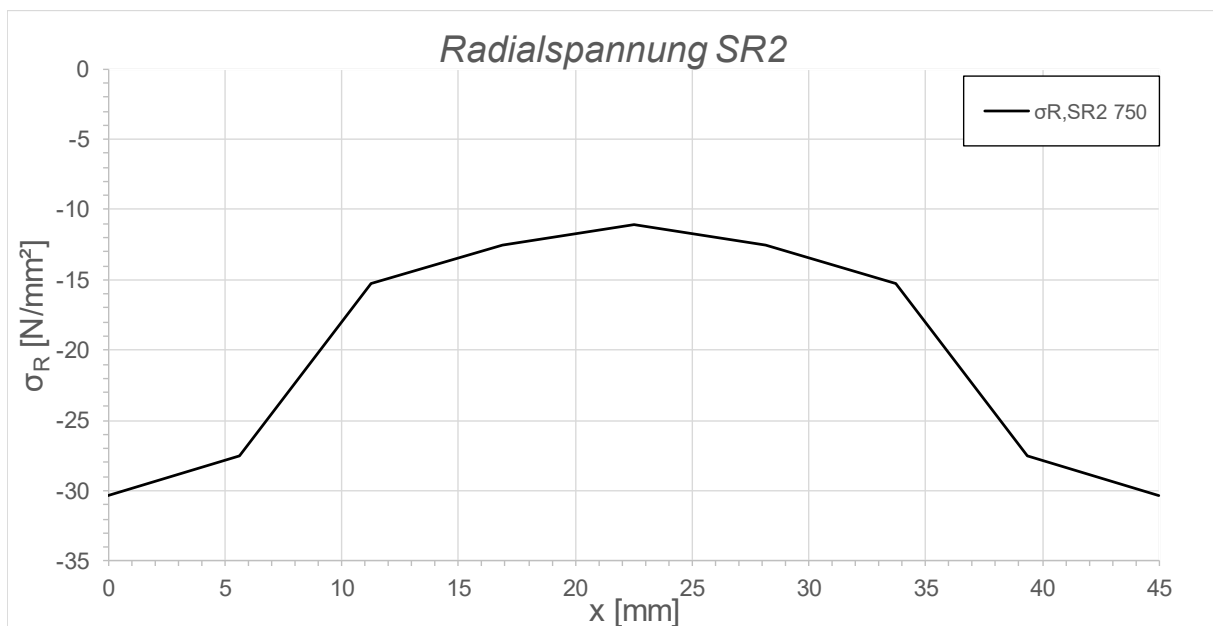


Abbildung C.61: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

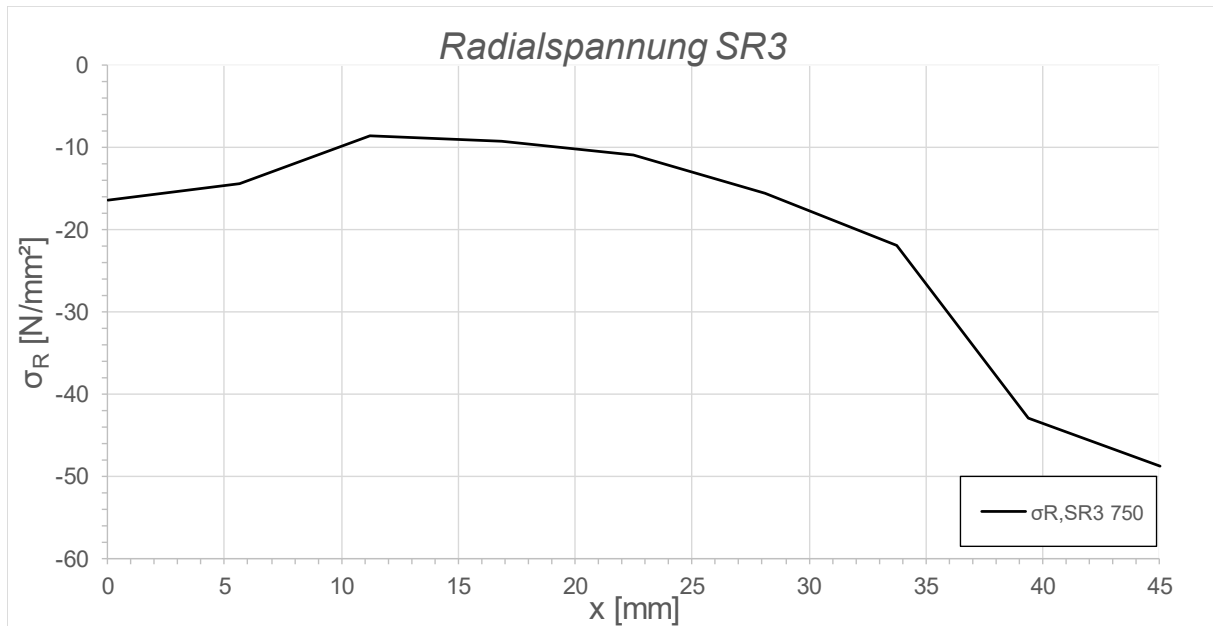


Abbildung C.62: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

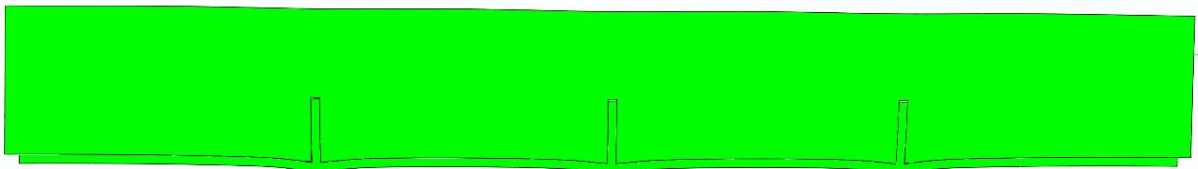


Abbildung C.63: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

C.2.6 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$

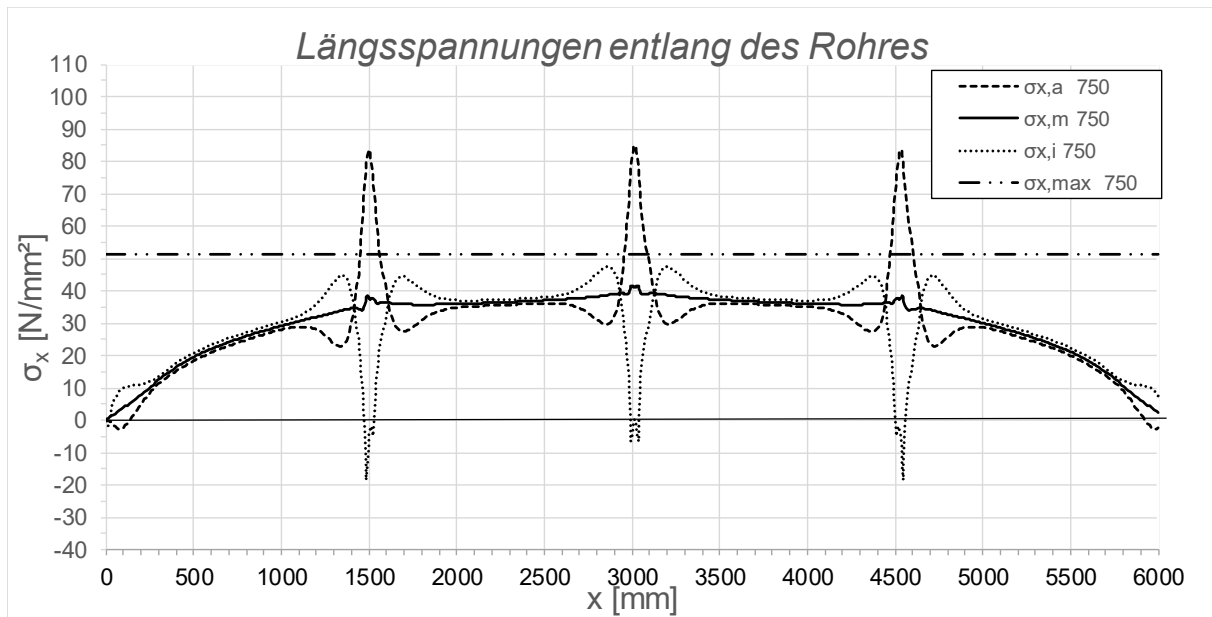


Abbildung C.64: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

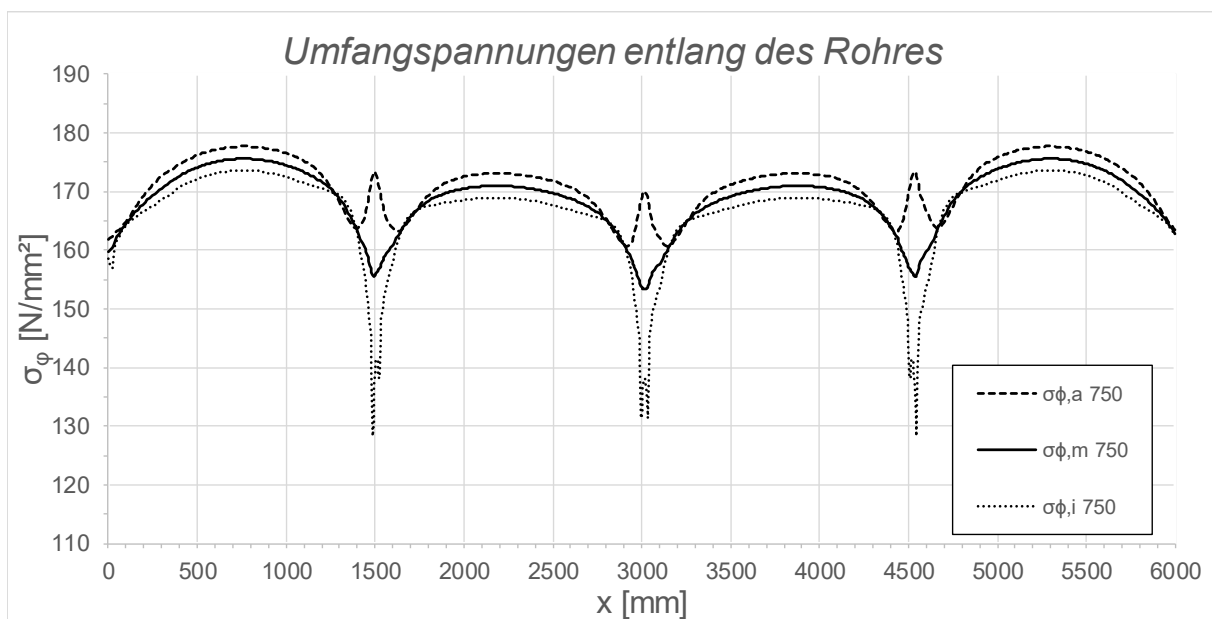


Abbildung C.65: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

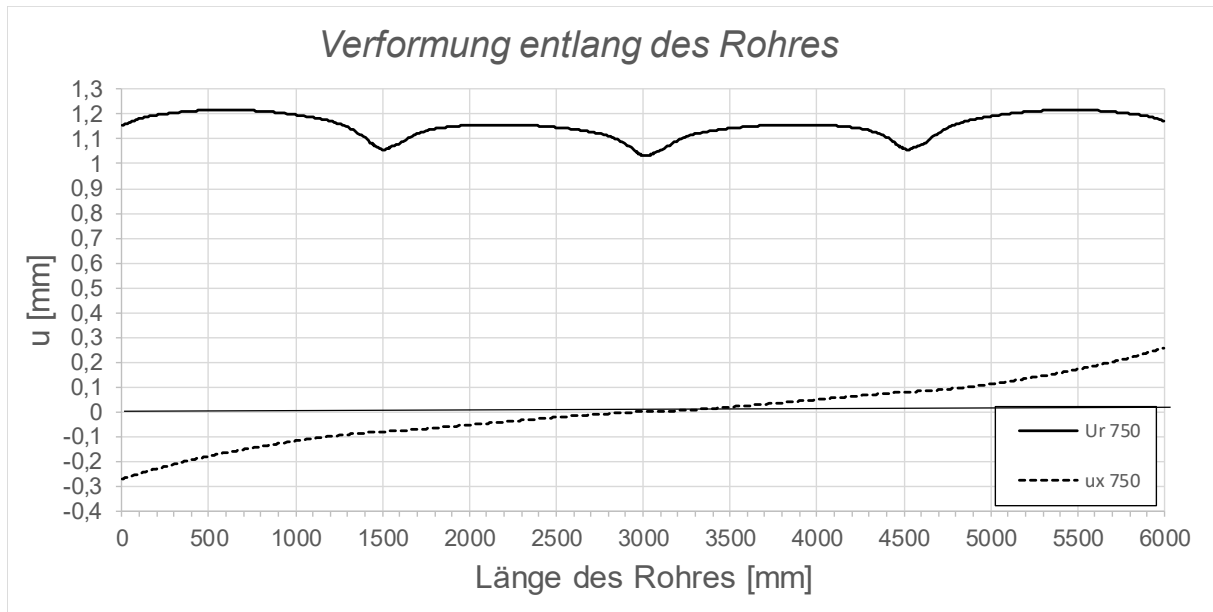


Abbildung C.66: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

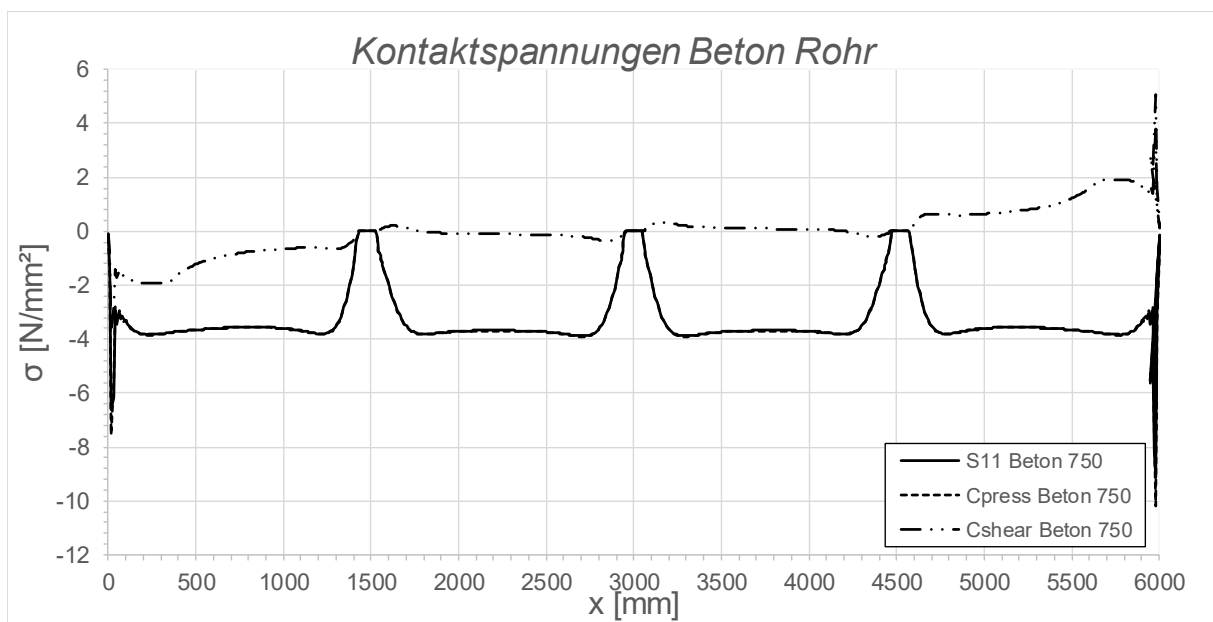


Abbildung C.67: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

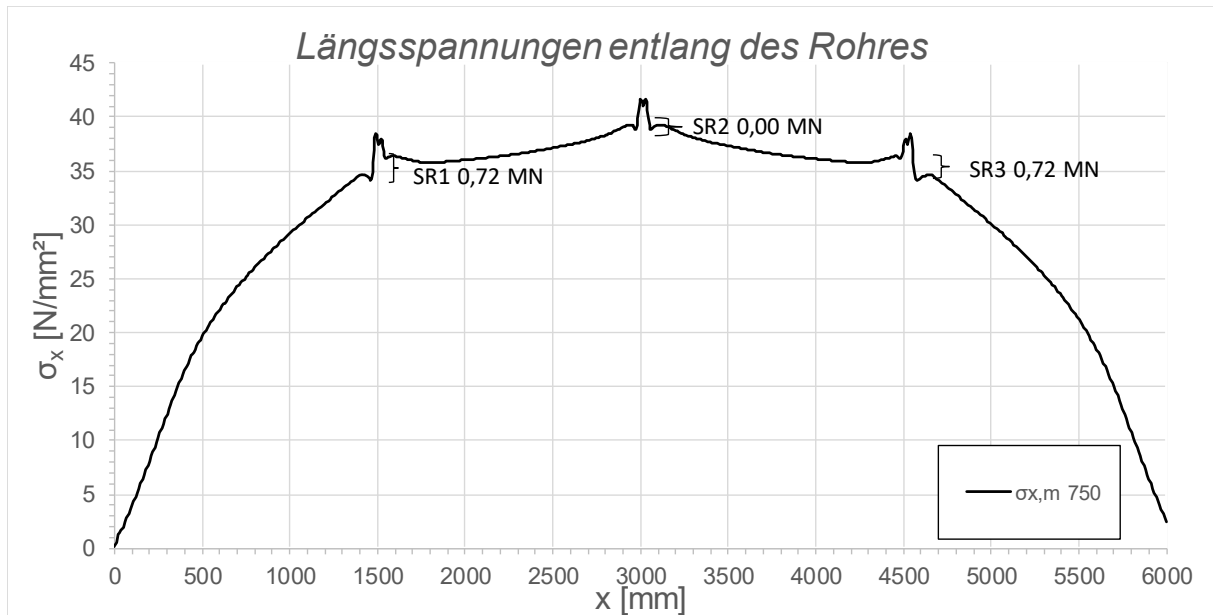


Abbildung C.68: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

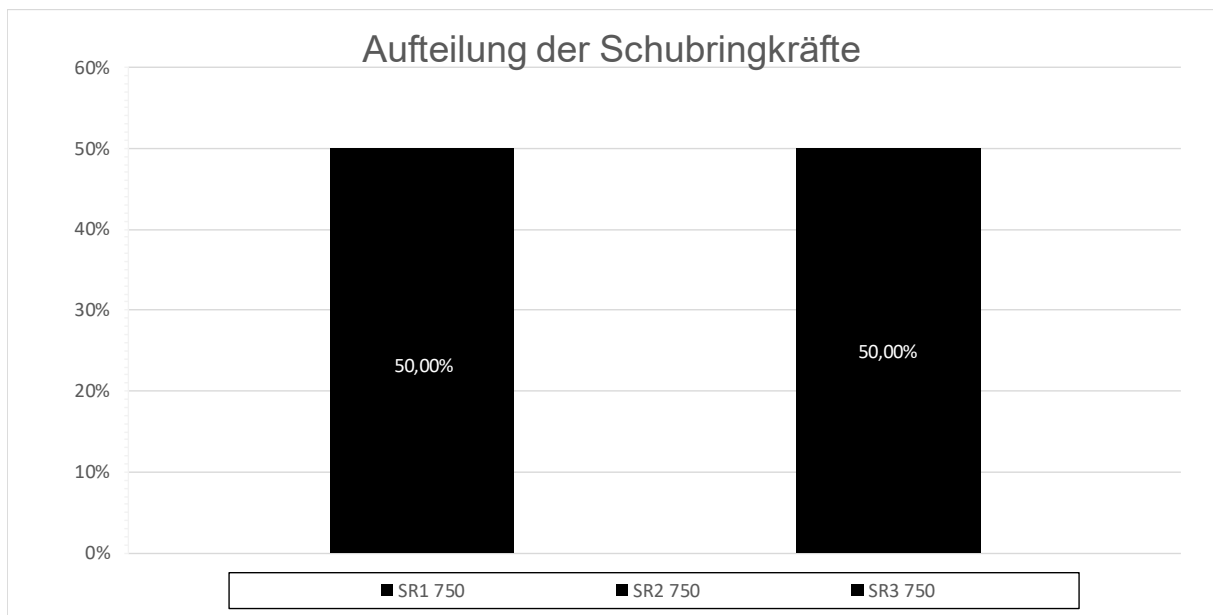


Abbildung C.69: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

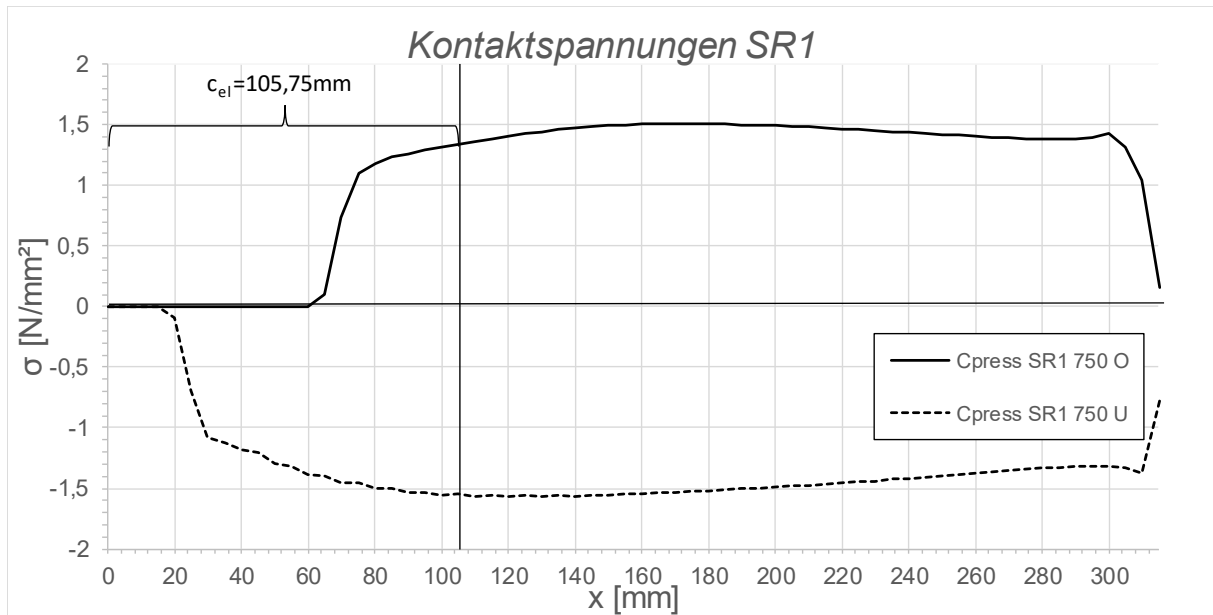


Abbildung C.70: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

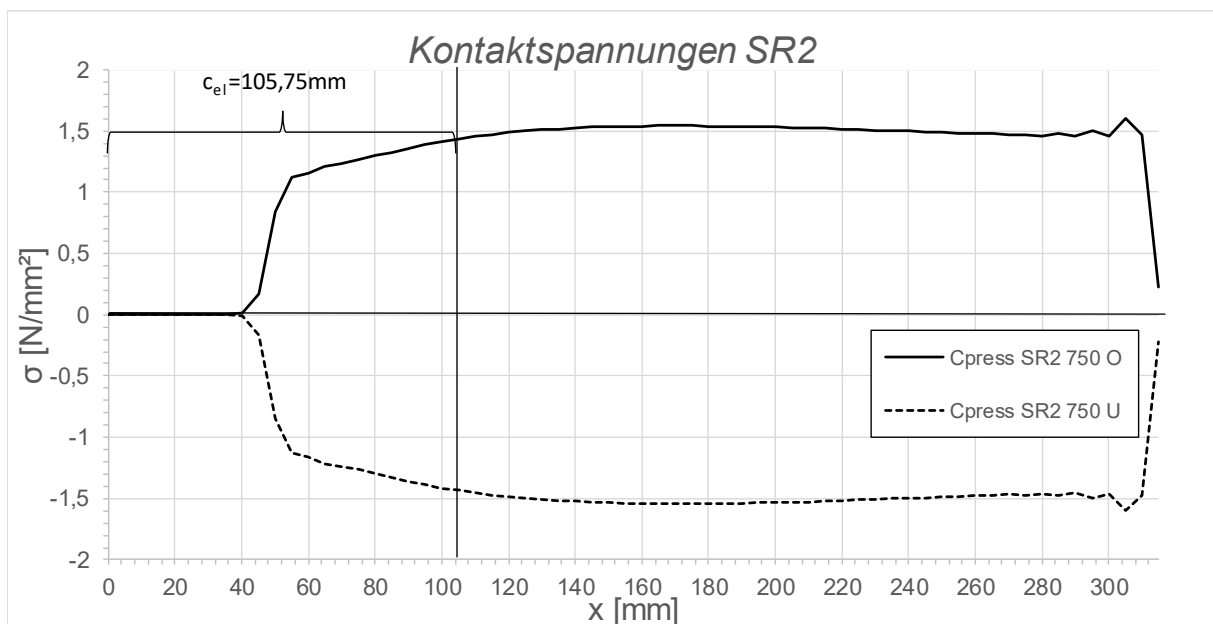


Abbildung C.71: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

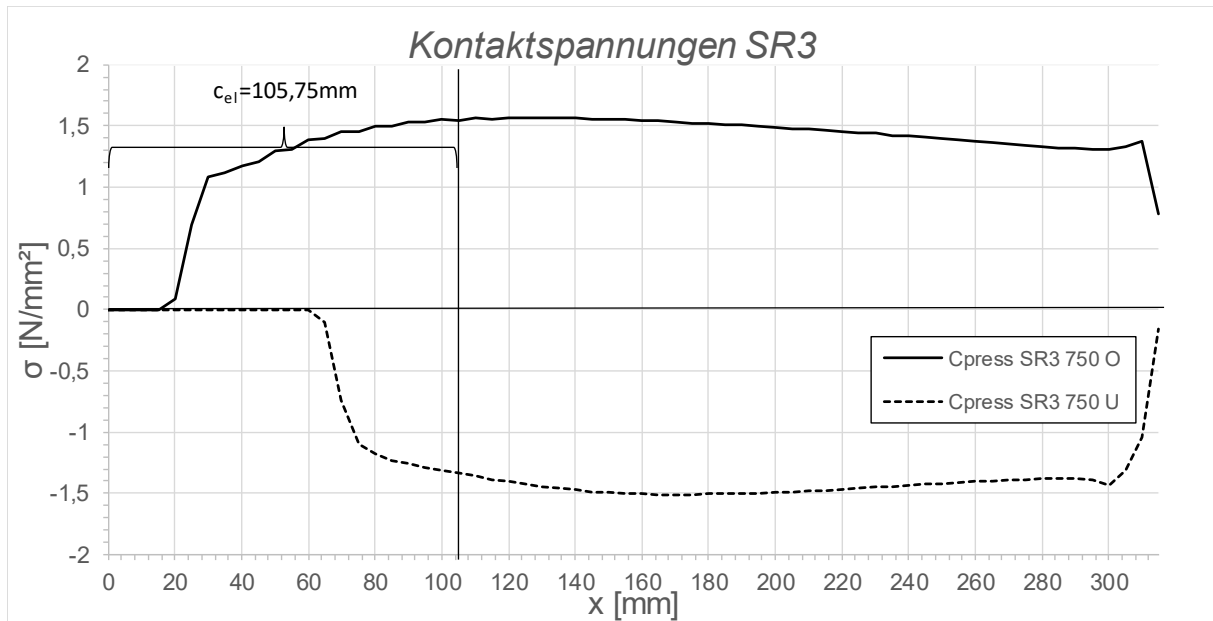


Abbildung C.72: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

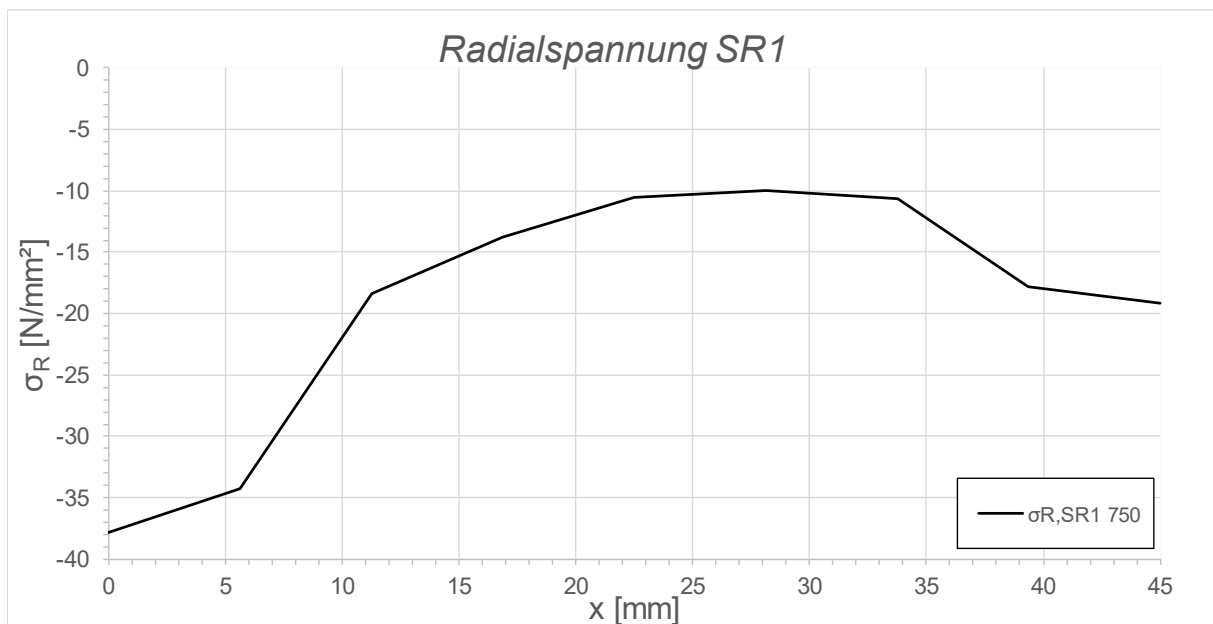


Abbildung C.73: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

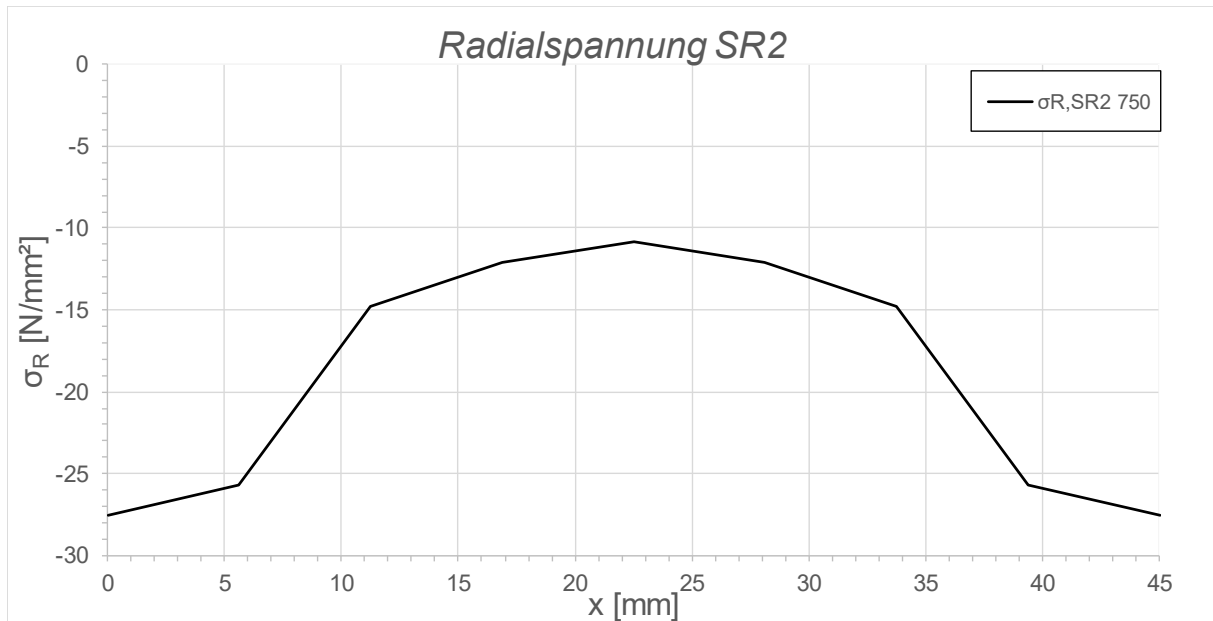


Abbildung C.74: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

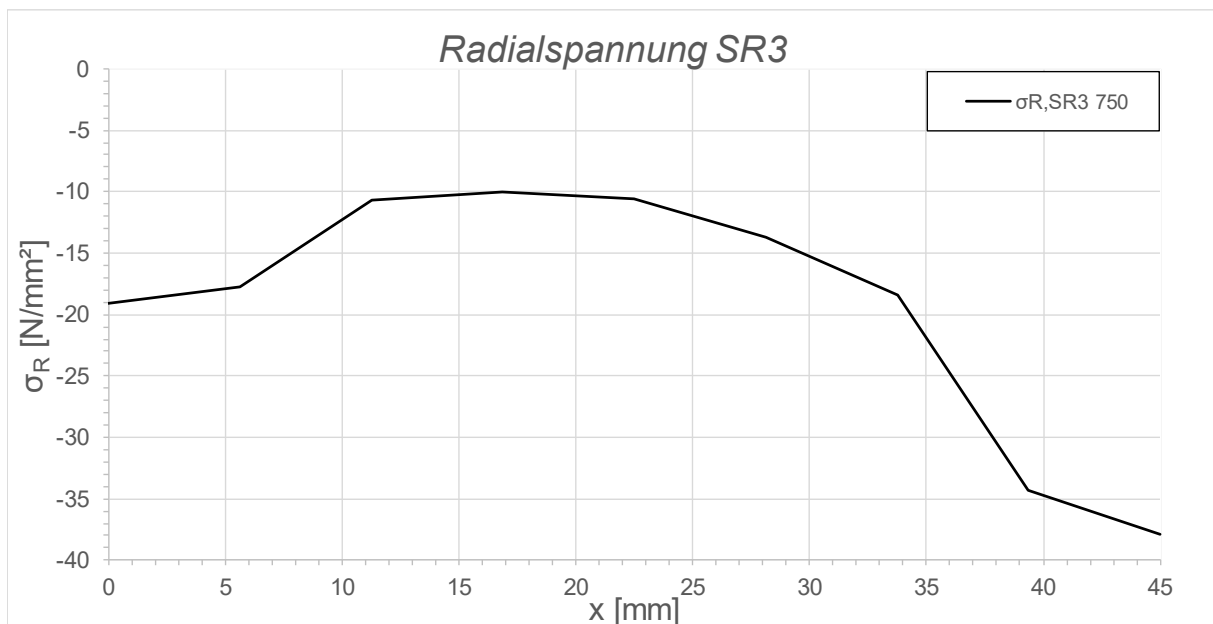


Abbildung C.75: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

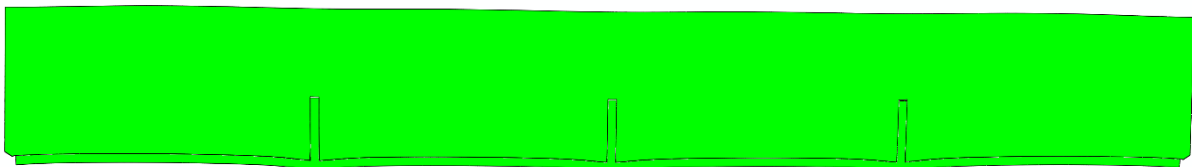


Abbildung C.76: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

C.2.7 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$

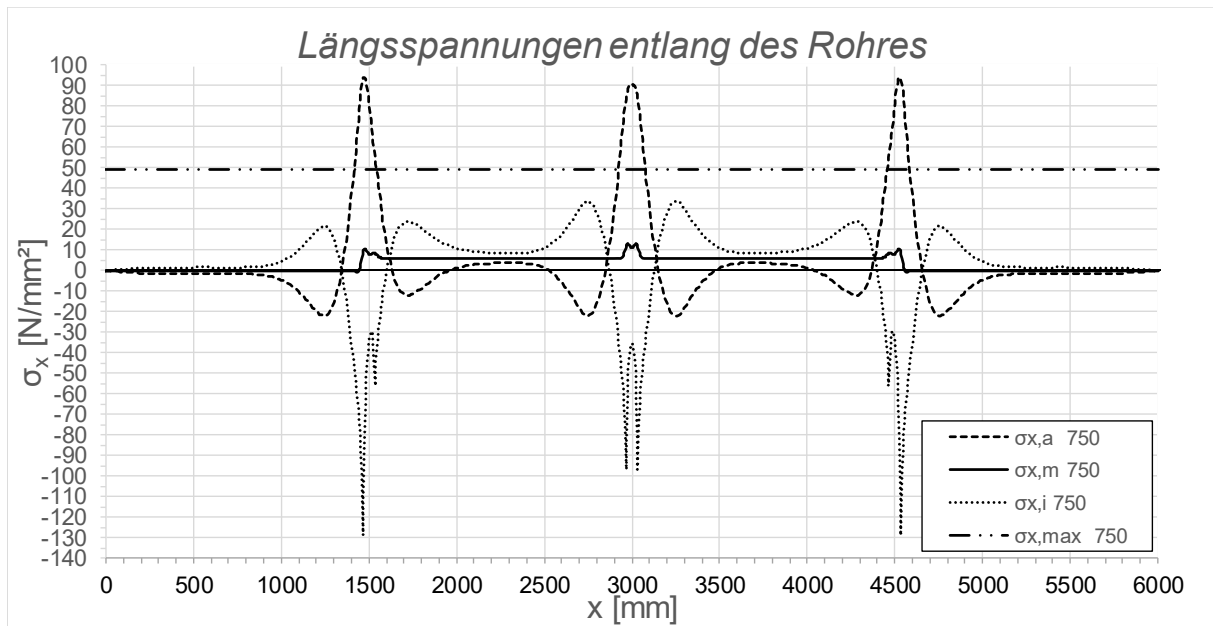


Abbildung C.77: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

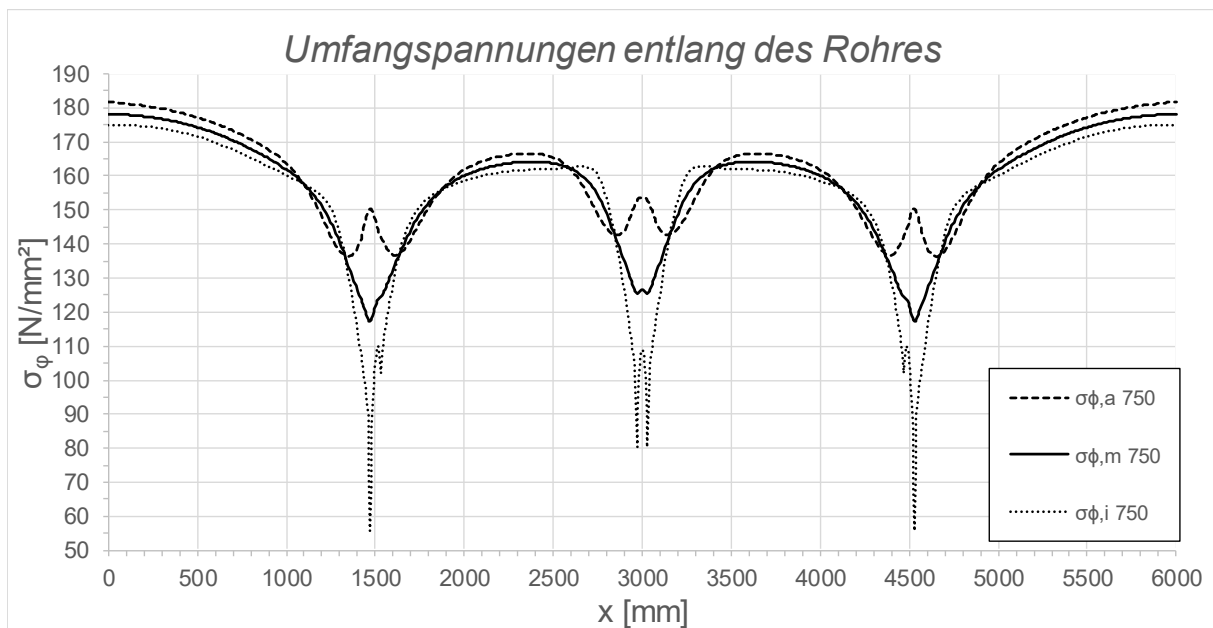


Abbildung C.78: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

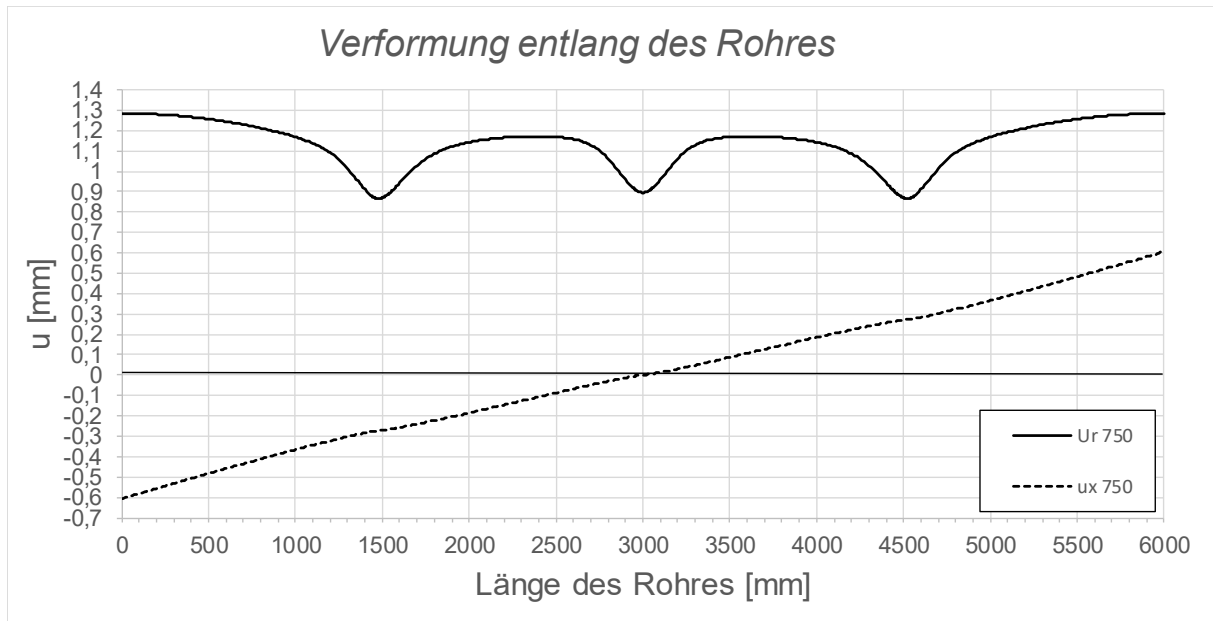


Abbildung C.79: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

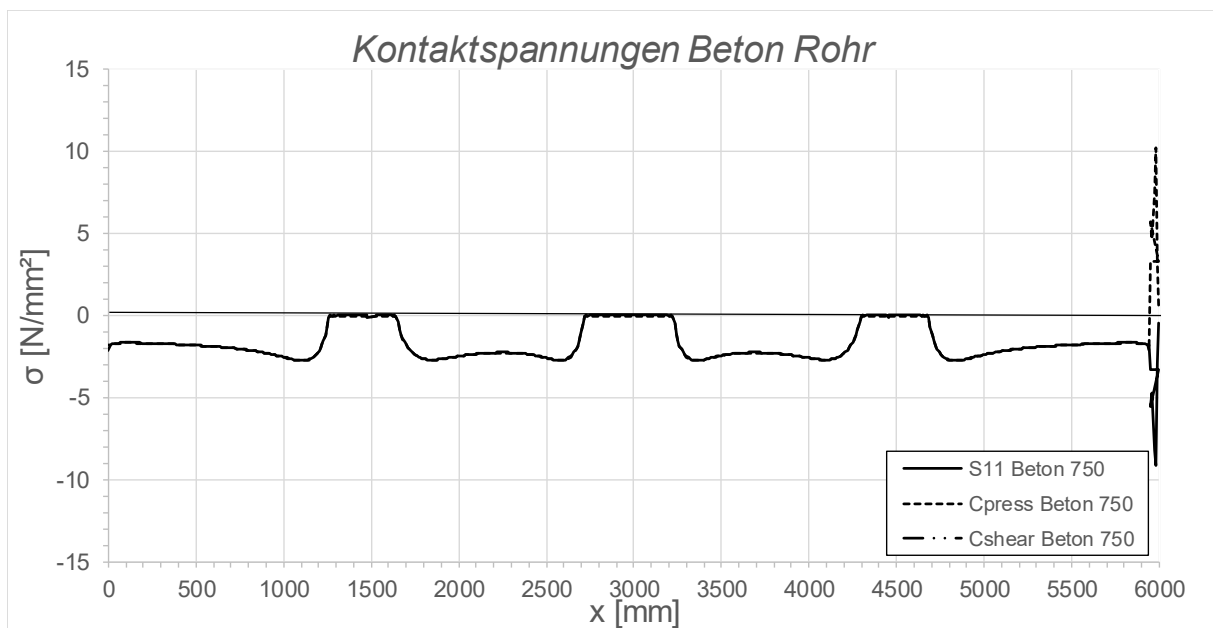


Abbildung C.80: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

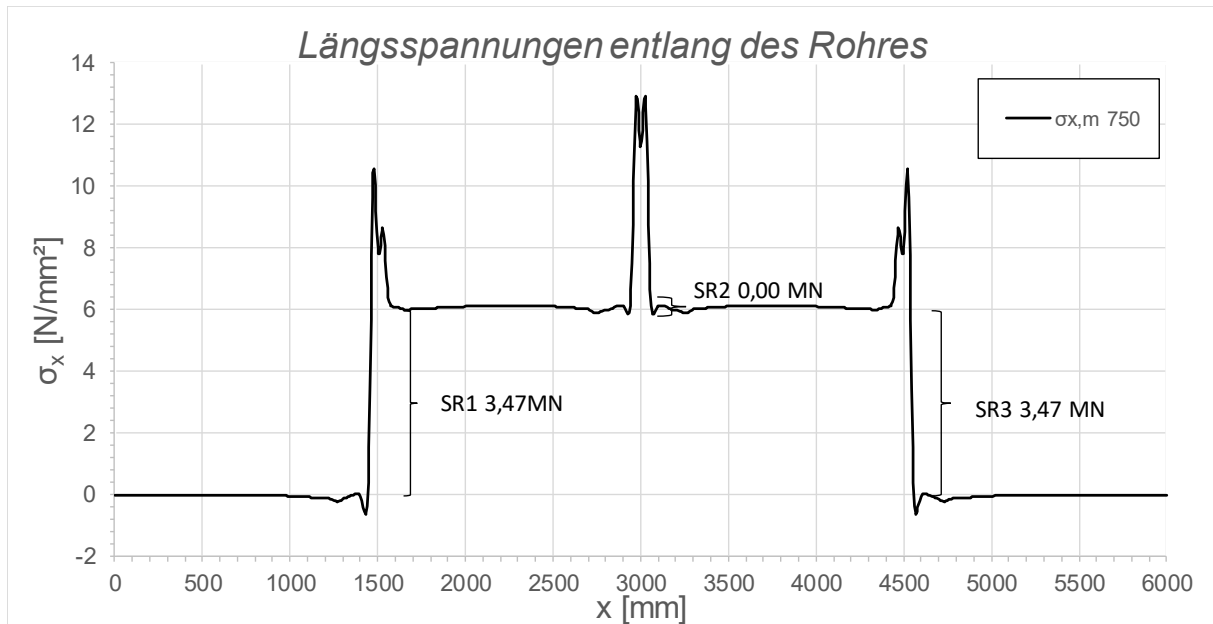


Abbildung C.81: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

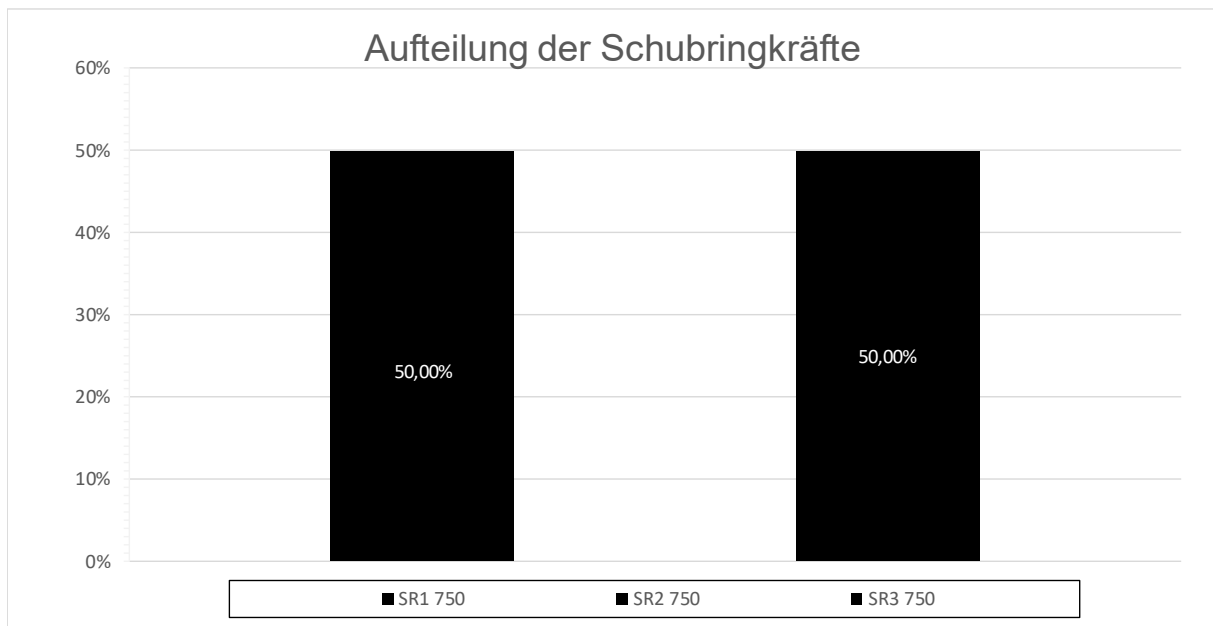


Abbildung C.82: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

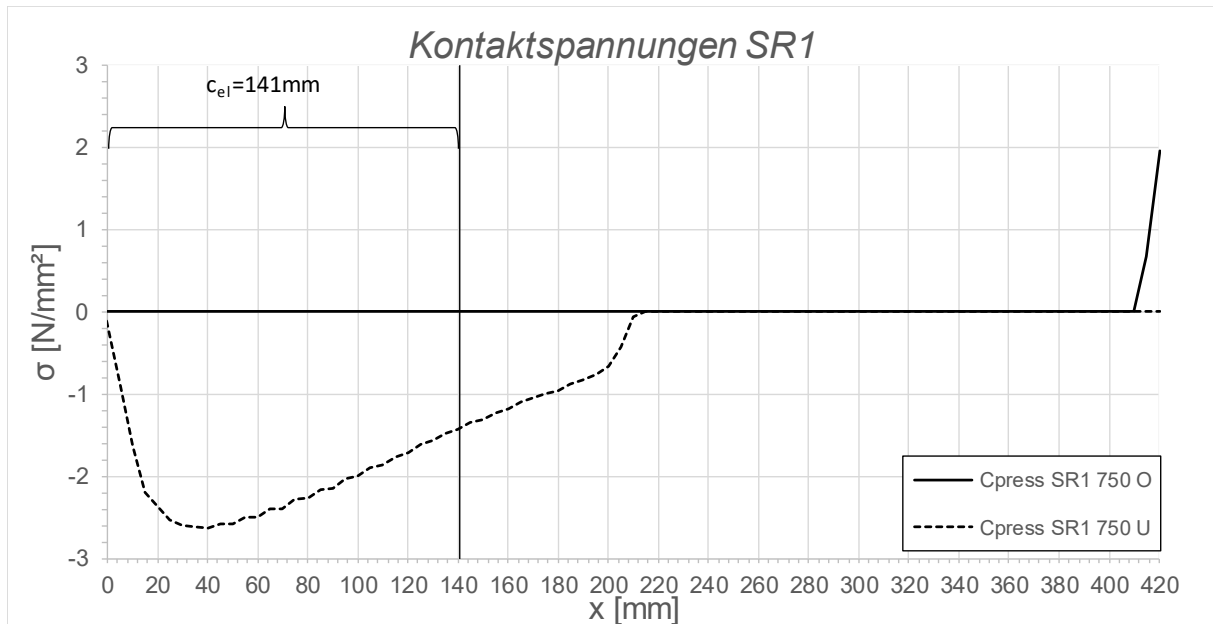


Abbildung C.83: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

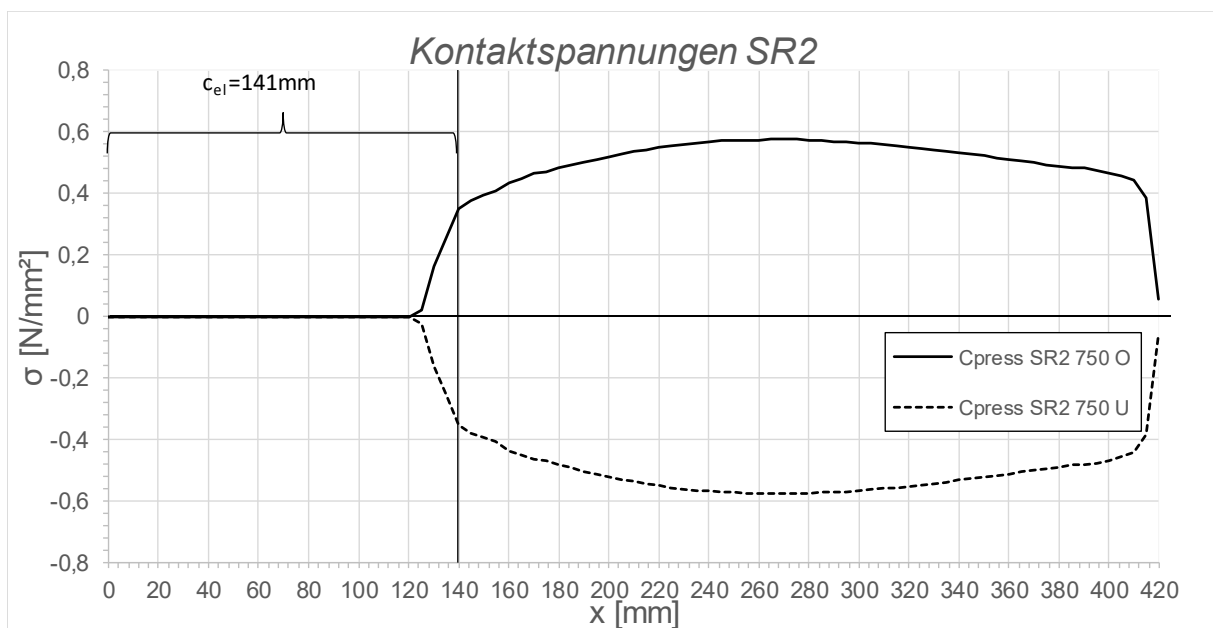


Abbildung C.84: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

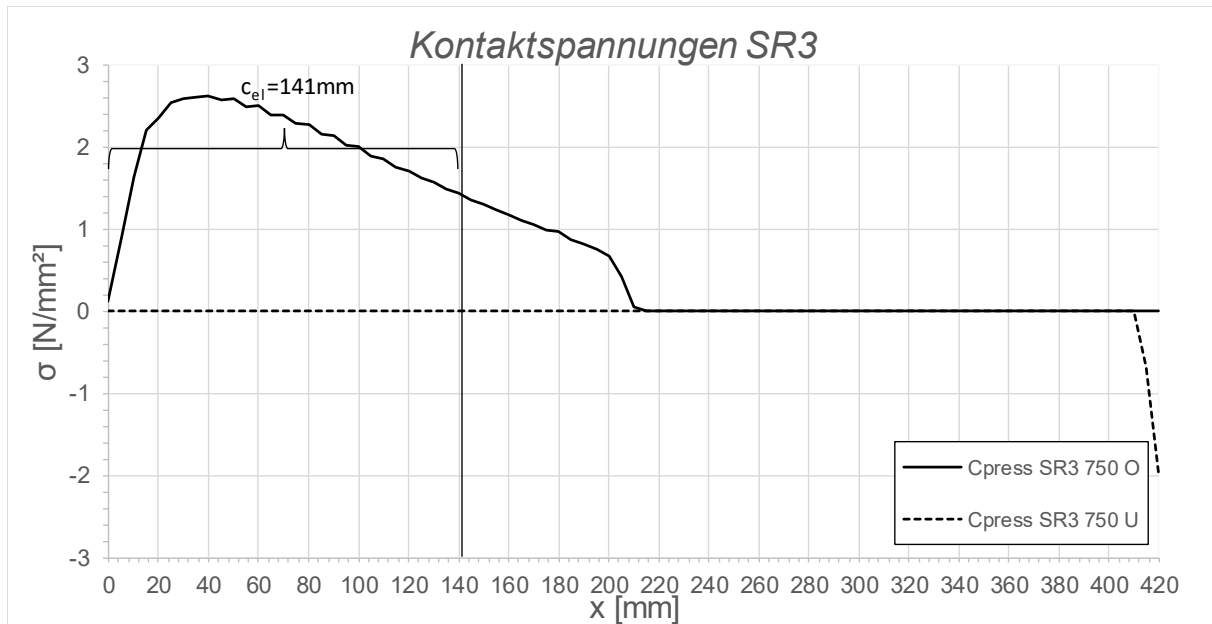


Abbildung C.85: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

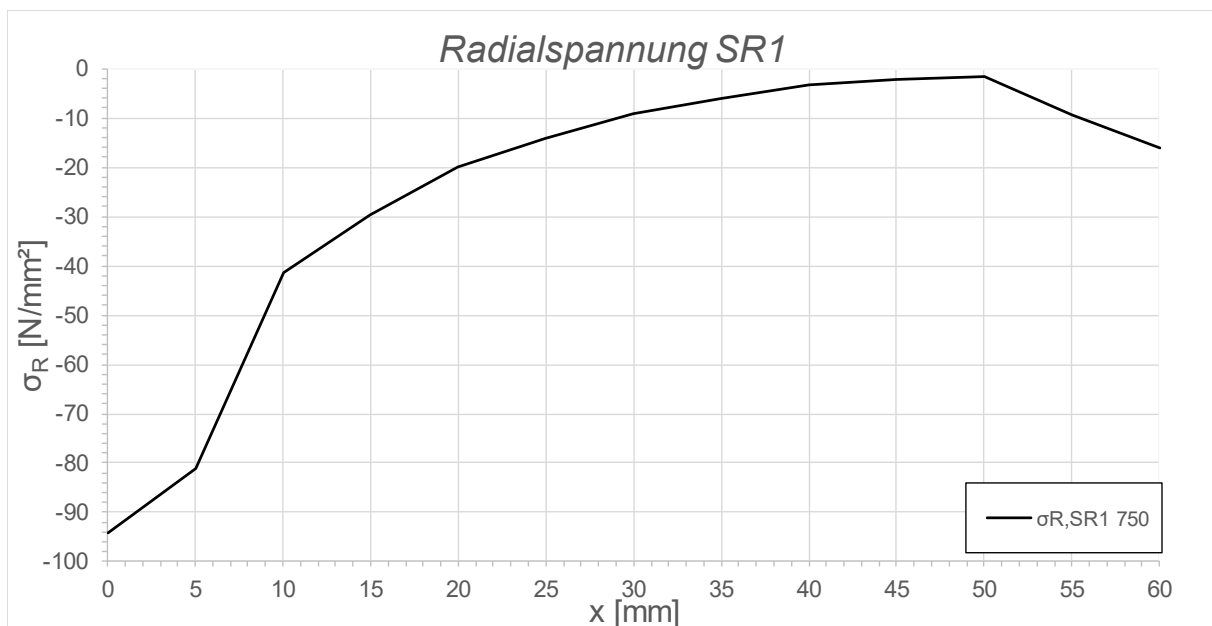


Abbildung C.86: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

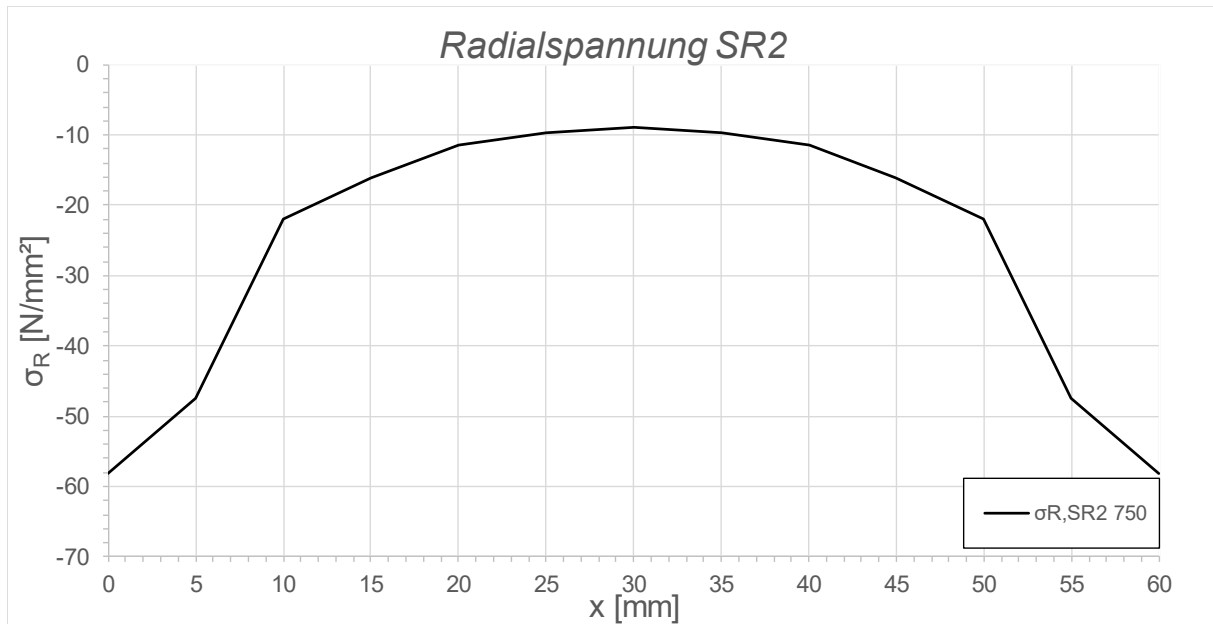


Abbildung C.87: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

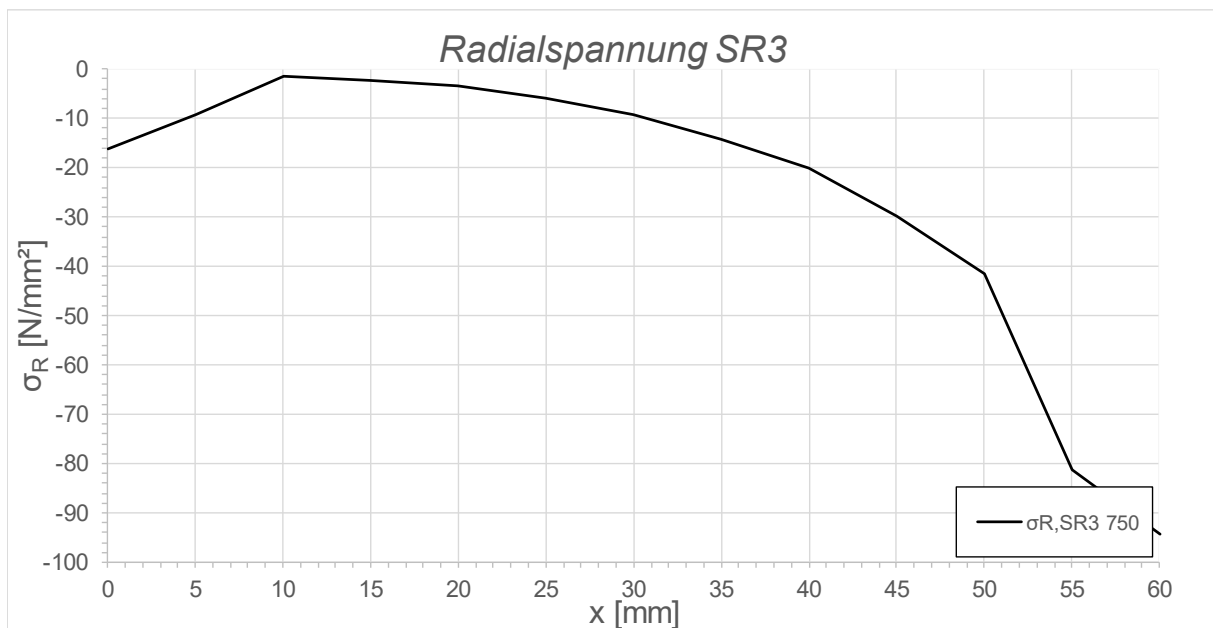


Abbildung C.88: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

C.2.8 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

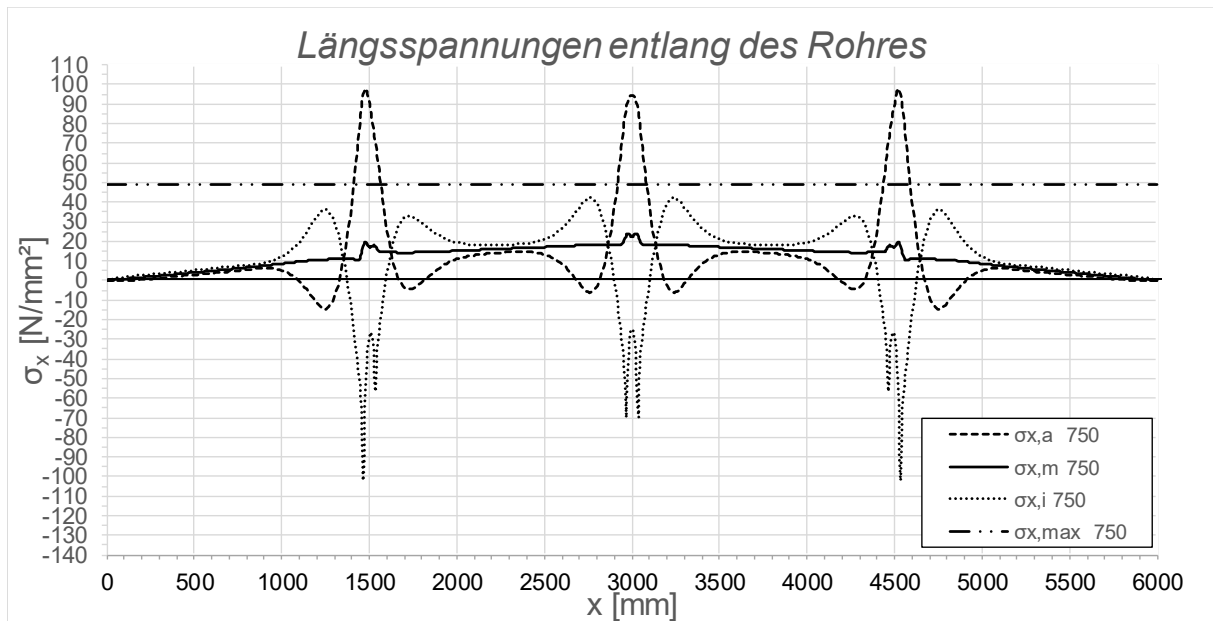


Abbildung C.89: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

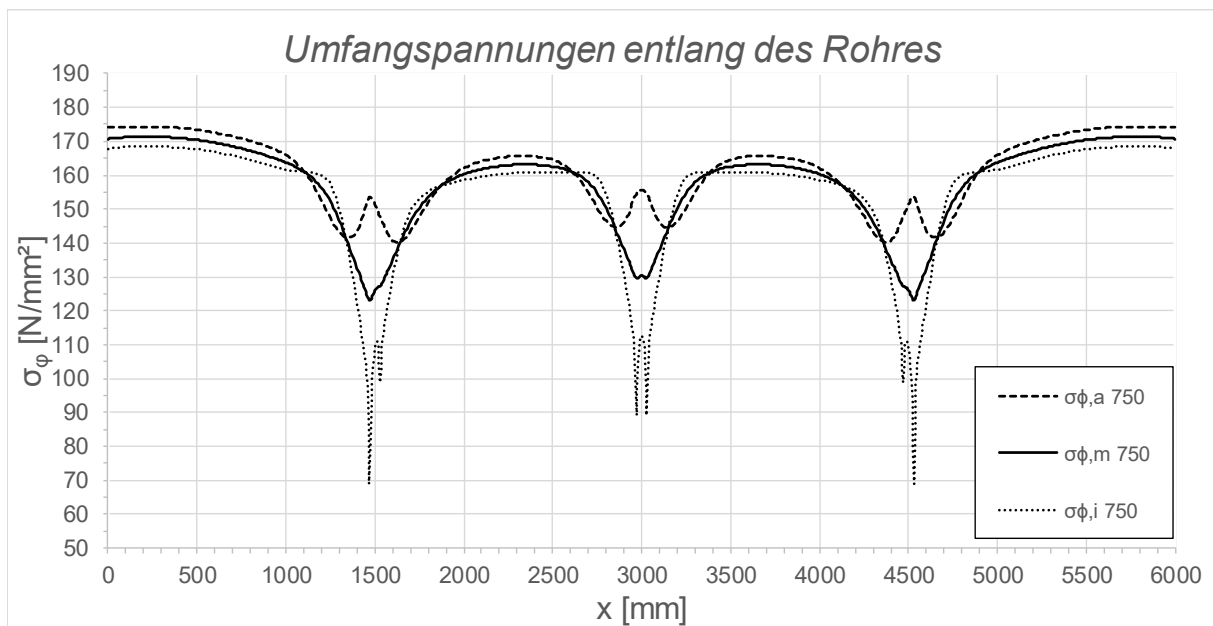


Abbildung C.90: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

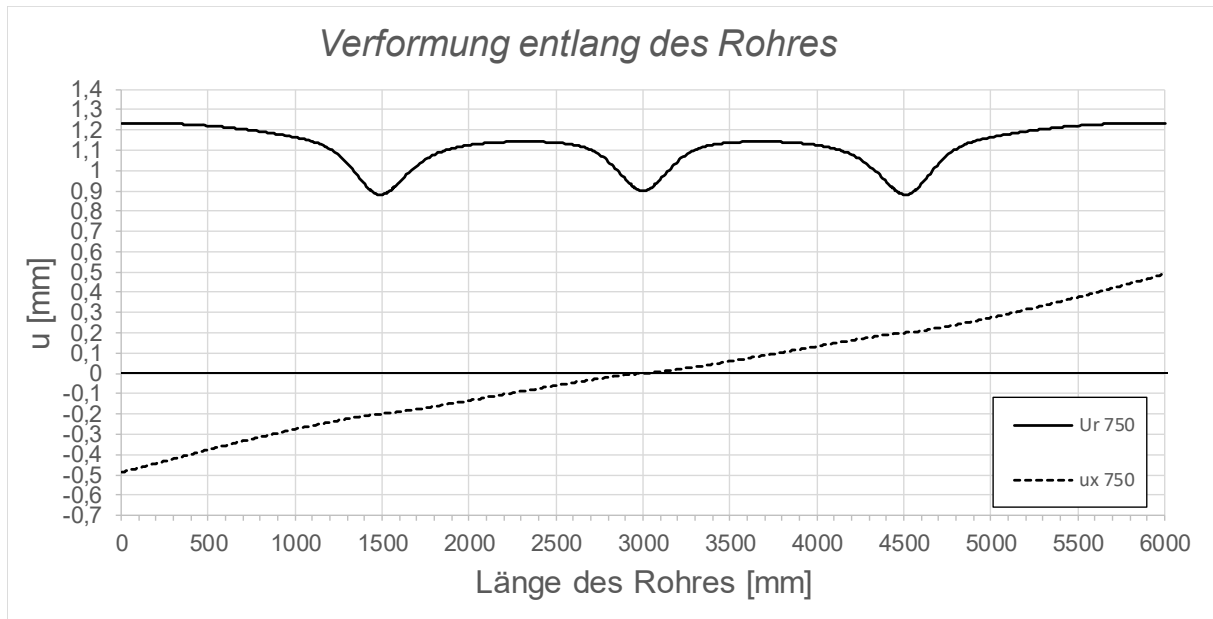


Abbildung C.91: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

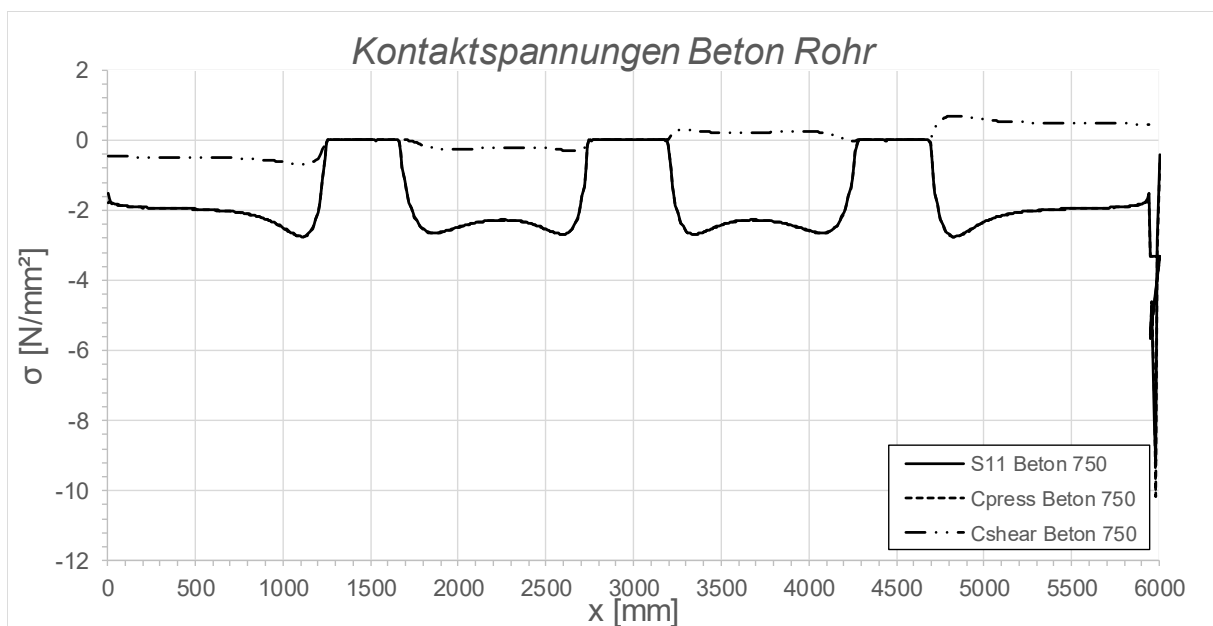


Abbildung C.92: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

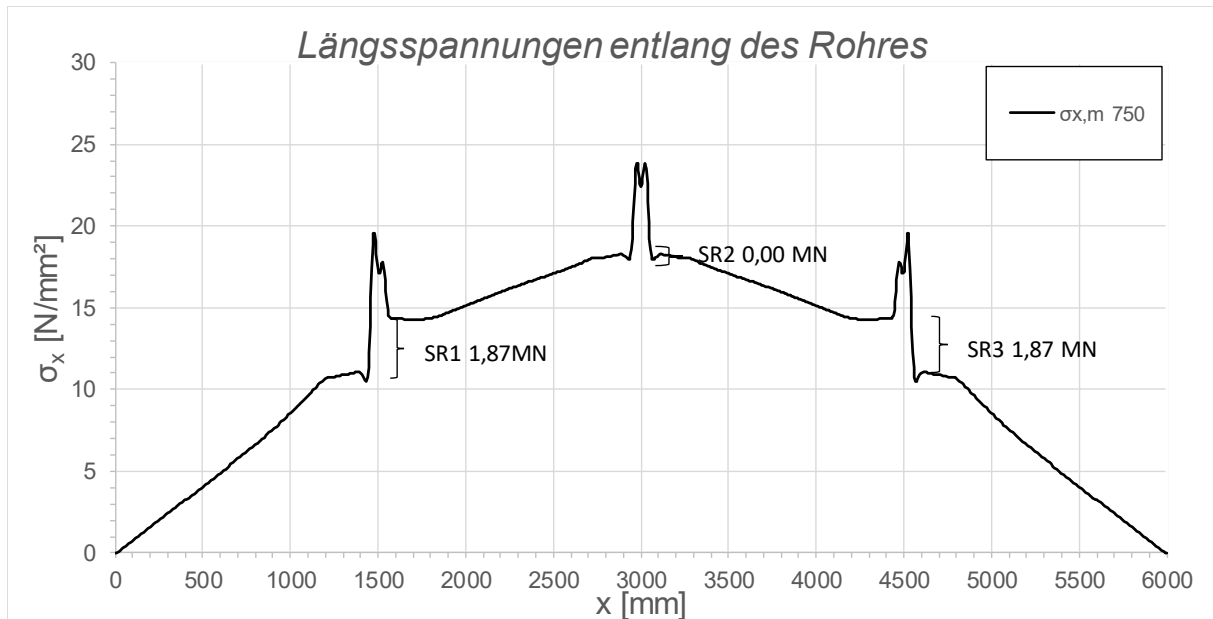


Abbildung C.93: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

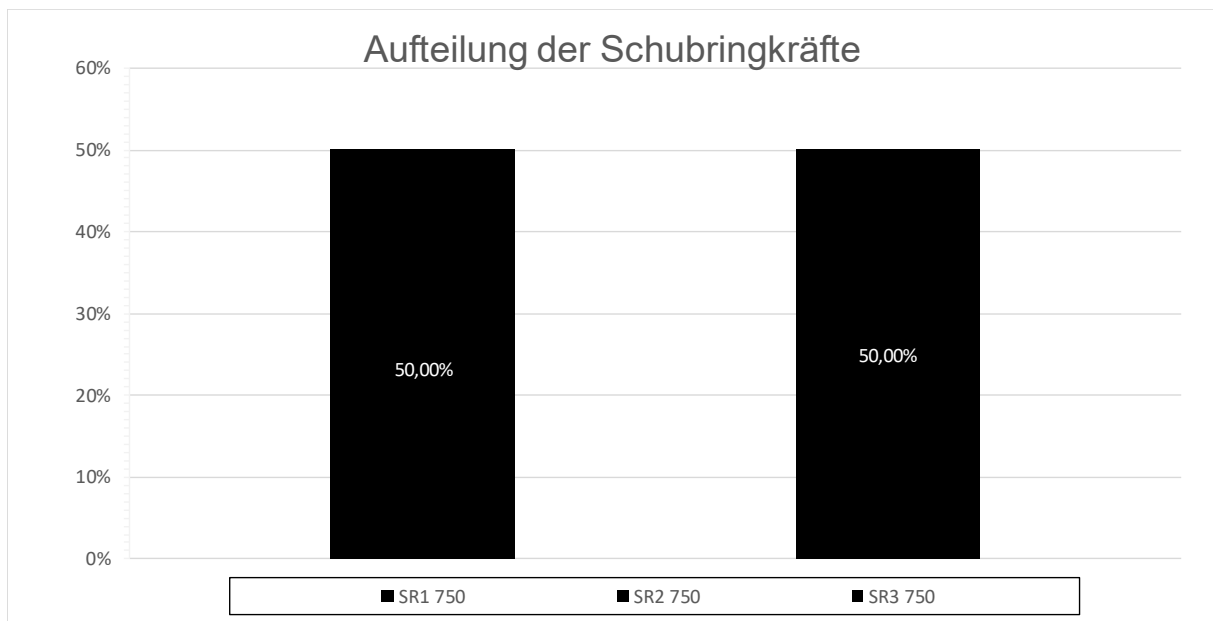


Abbildung C.94: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

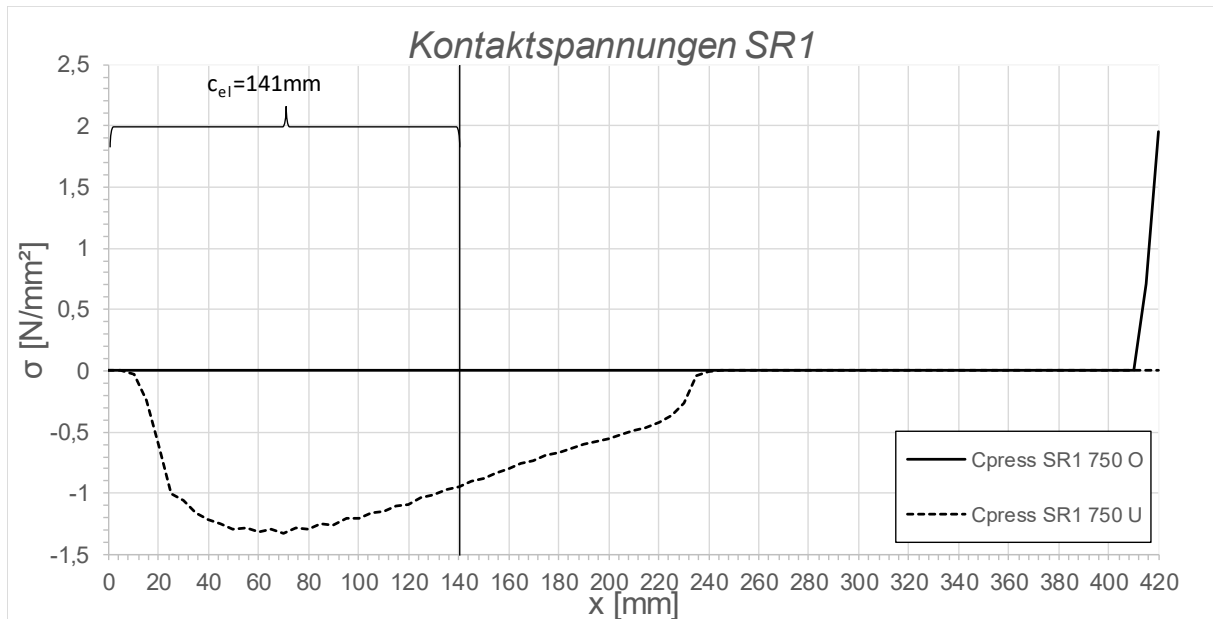


Abbildung C.95: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

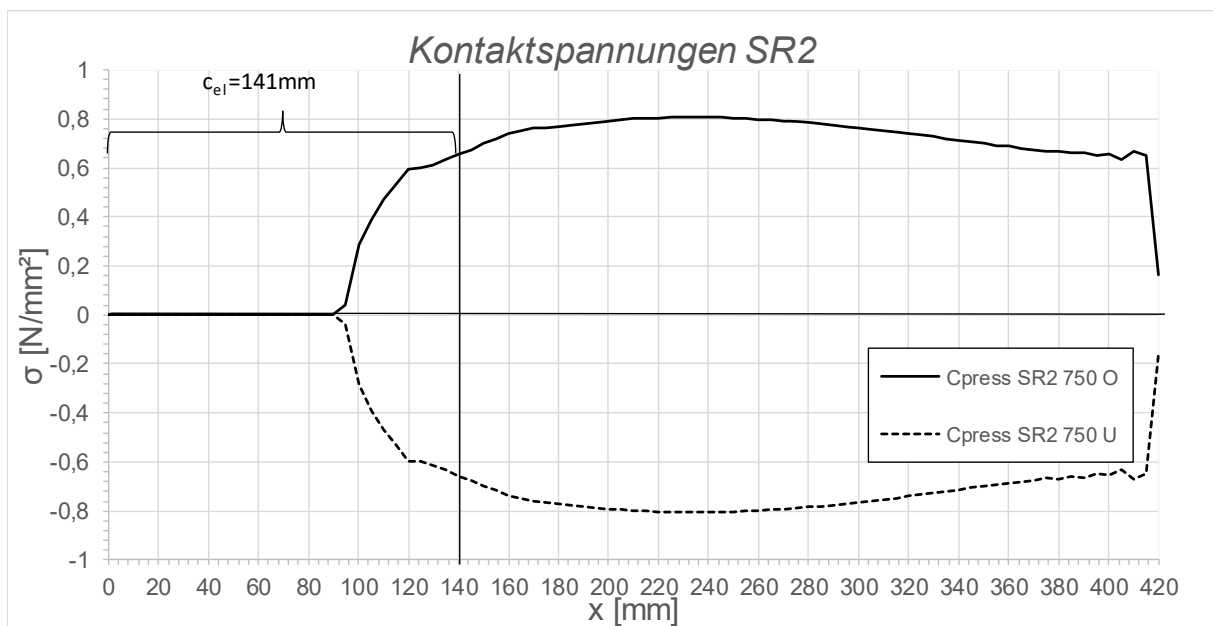


Abbildung C.96: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

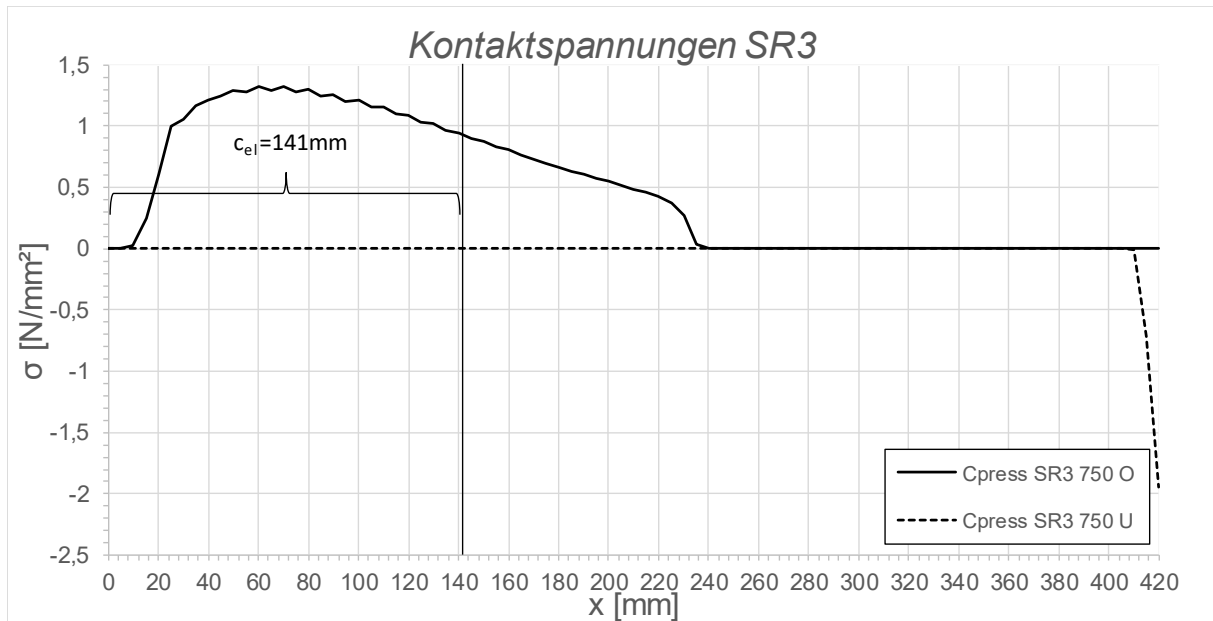


Abbildung C.97: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

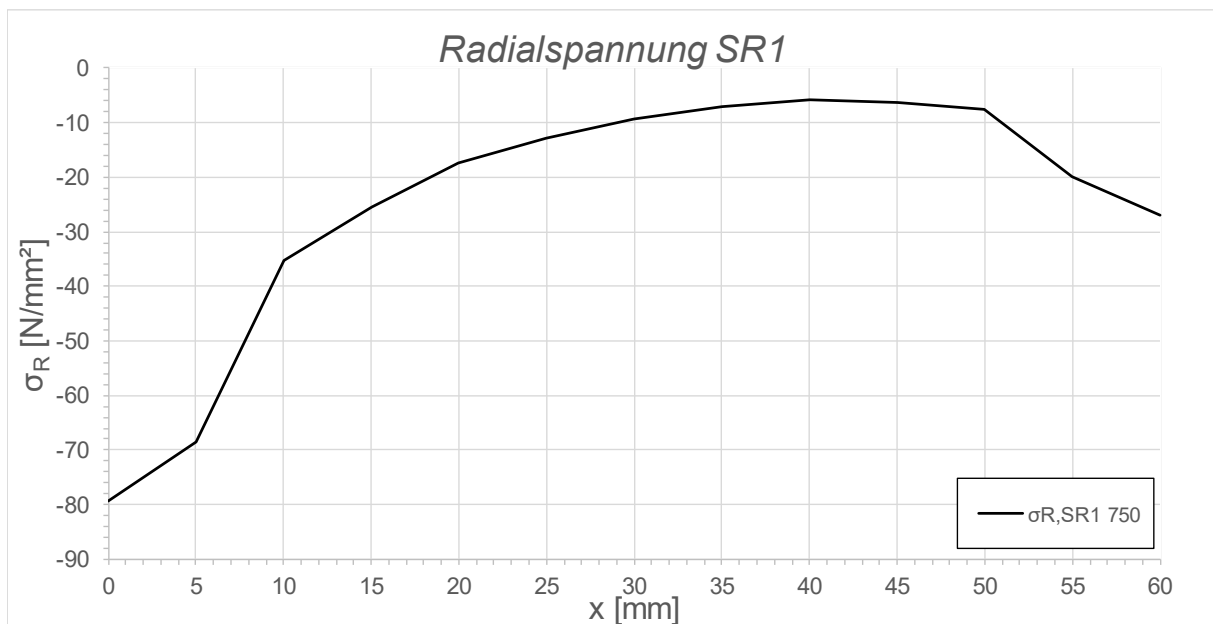


Abbildung C.98: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

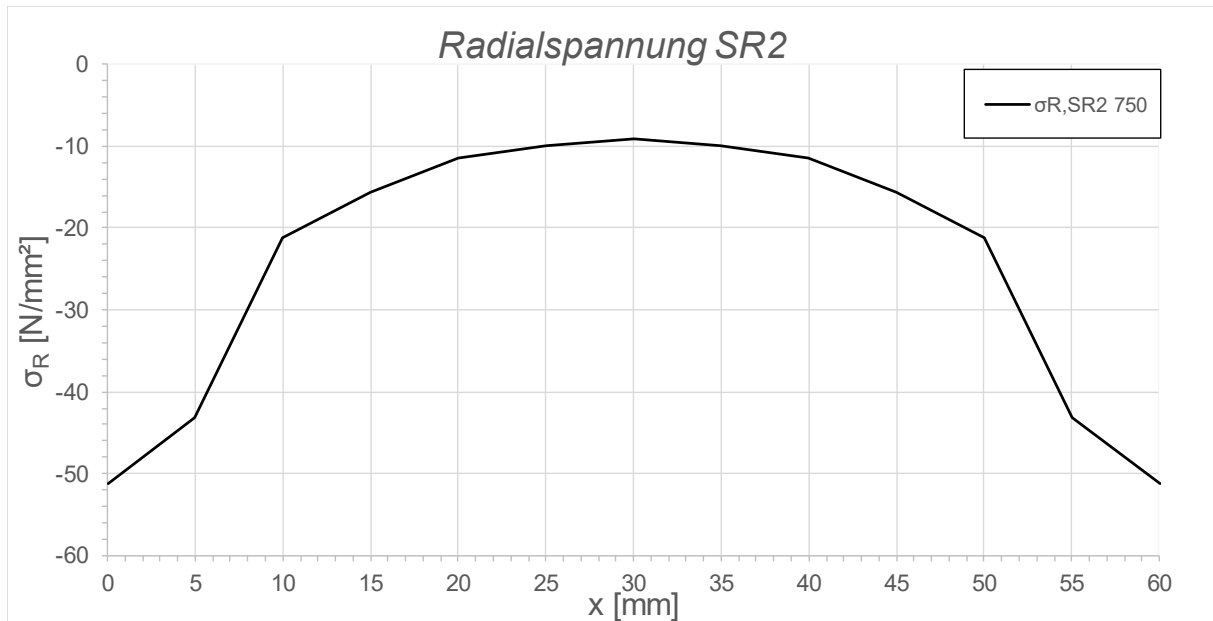


Abbildung C.99: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

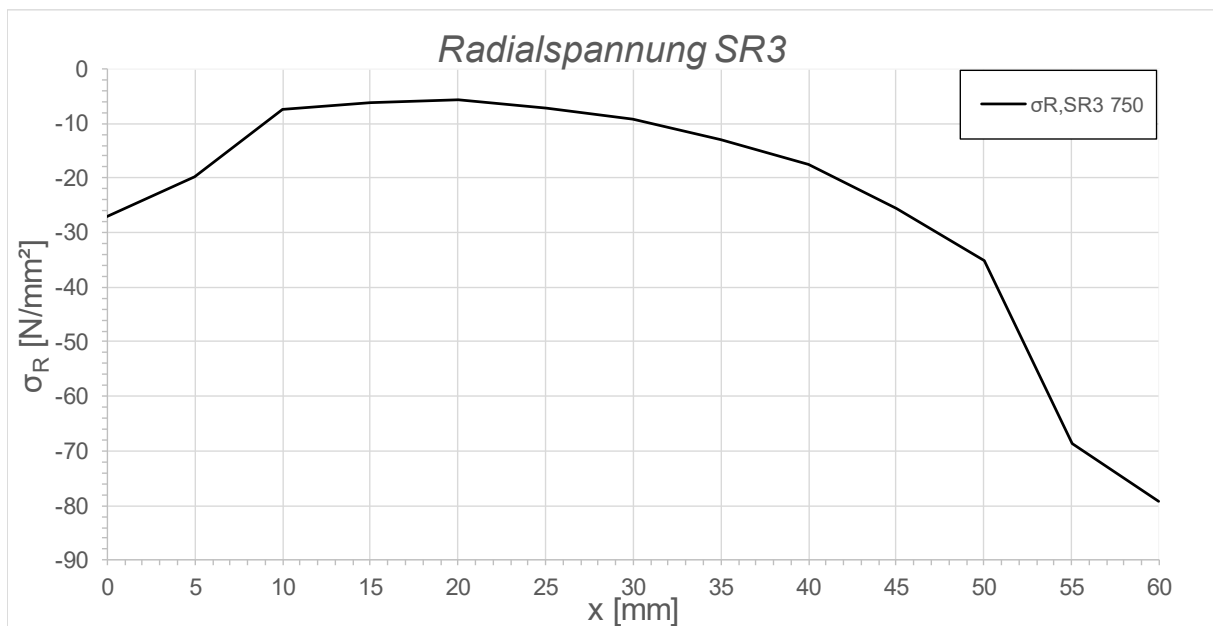


Abbildung C.100: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

C.2.9 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$

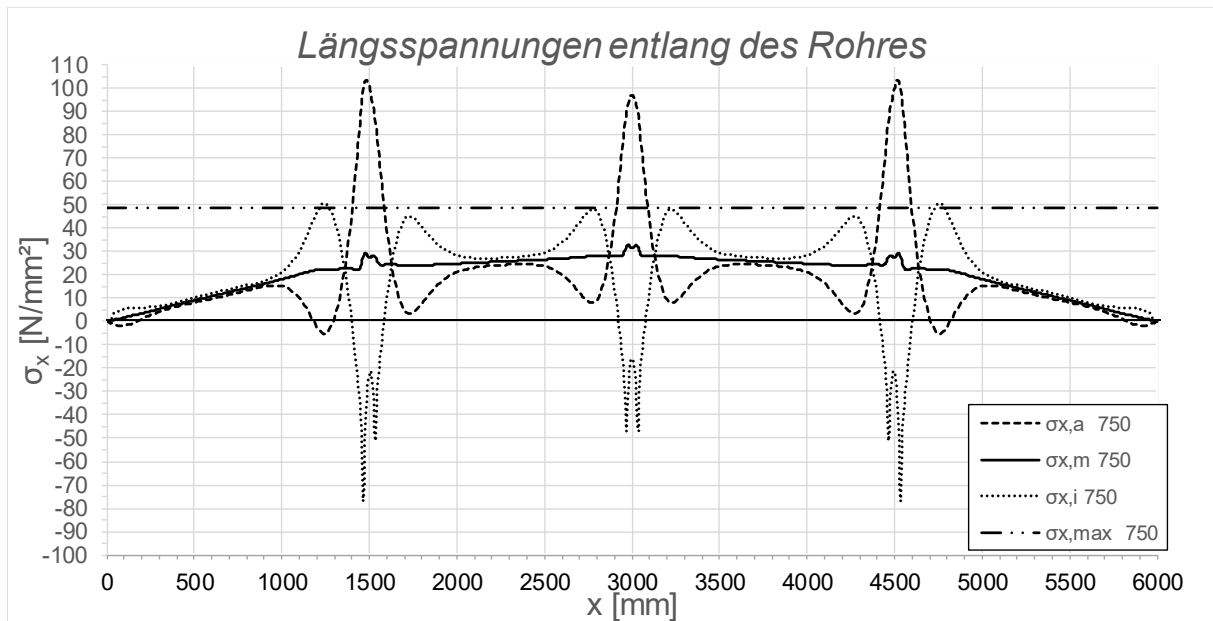


Abbildung C.101: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

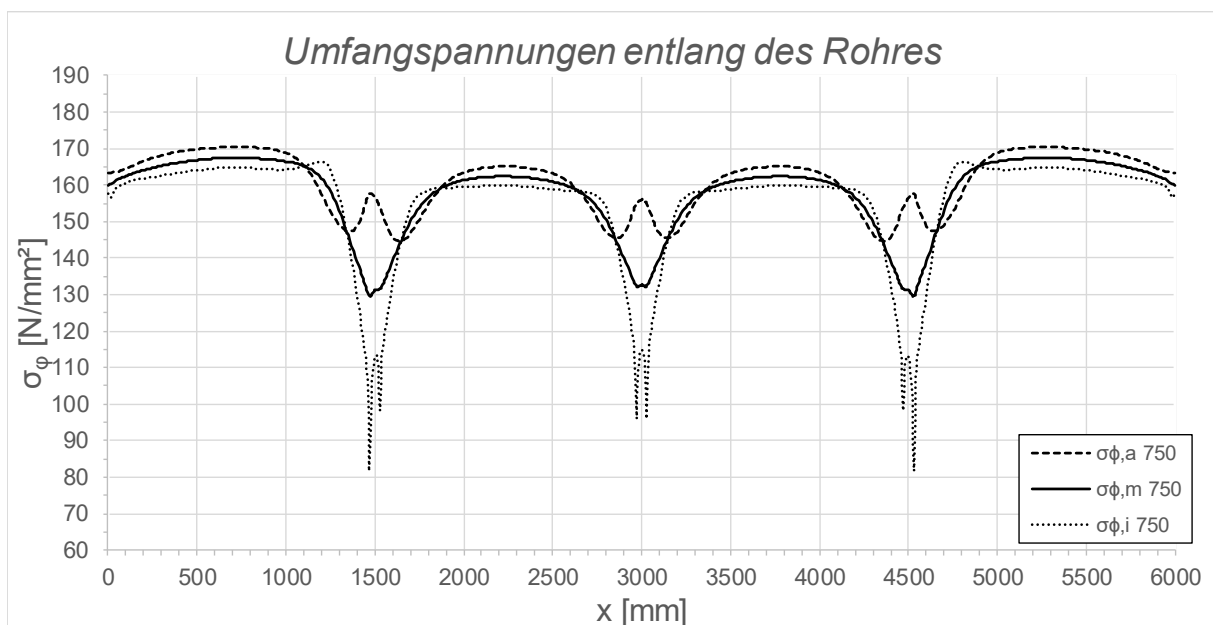


Abbildung C.102: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

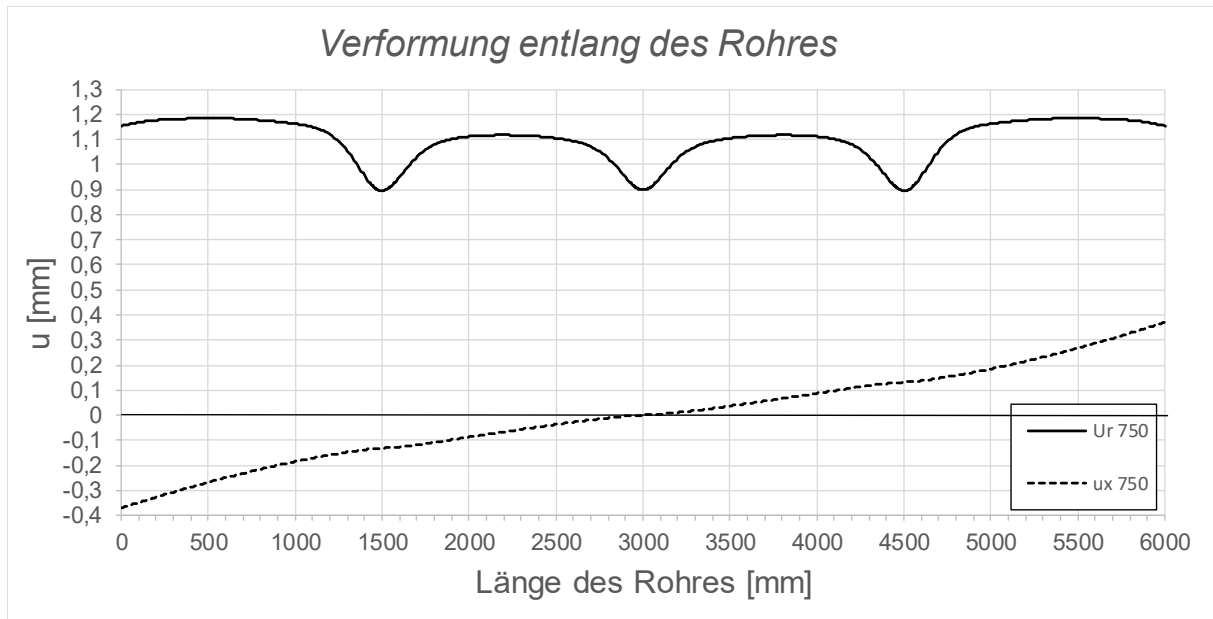


Abbildung C.103: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

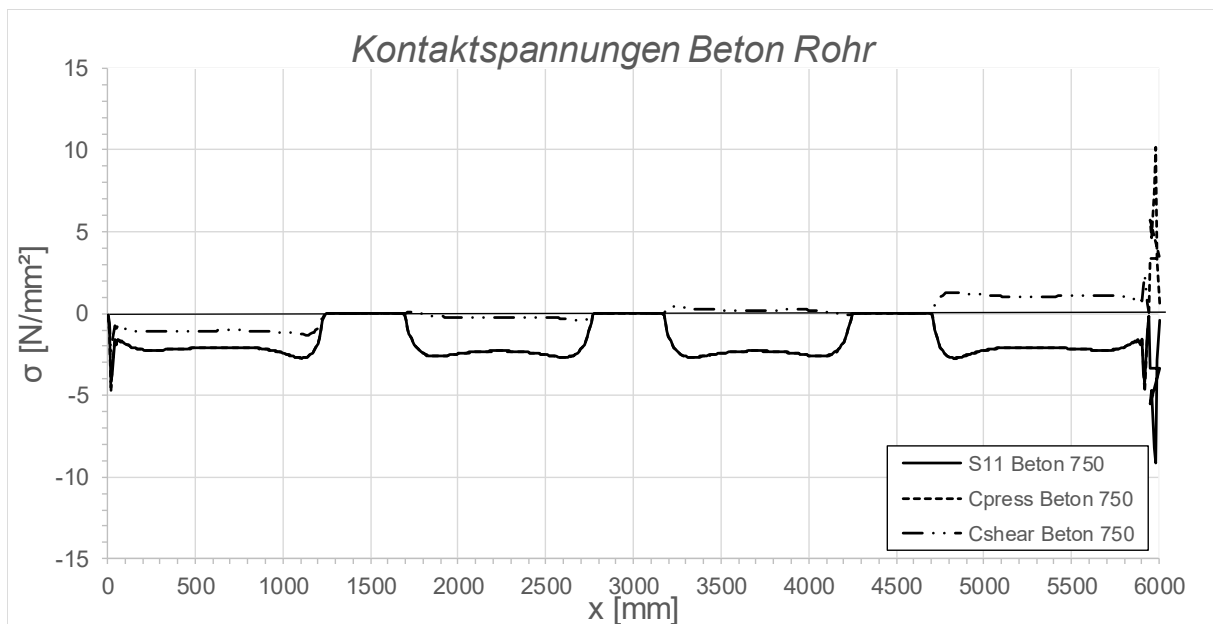


Abbildung C.104: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,5$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

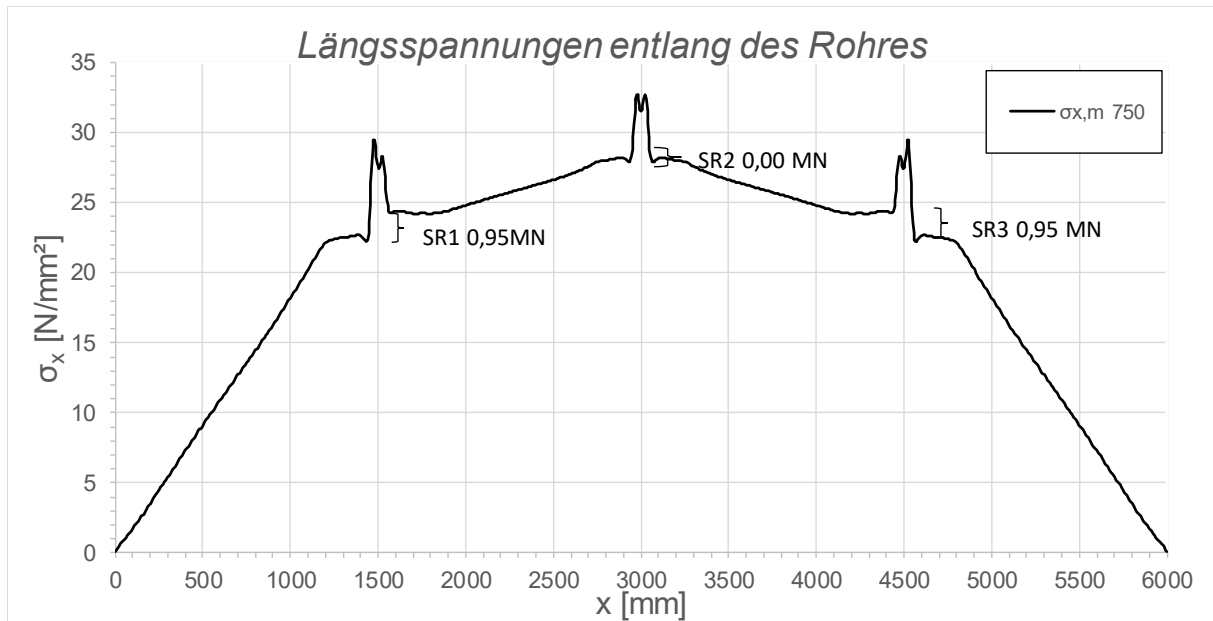


Abbildung C.105: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

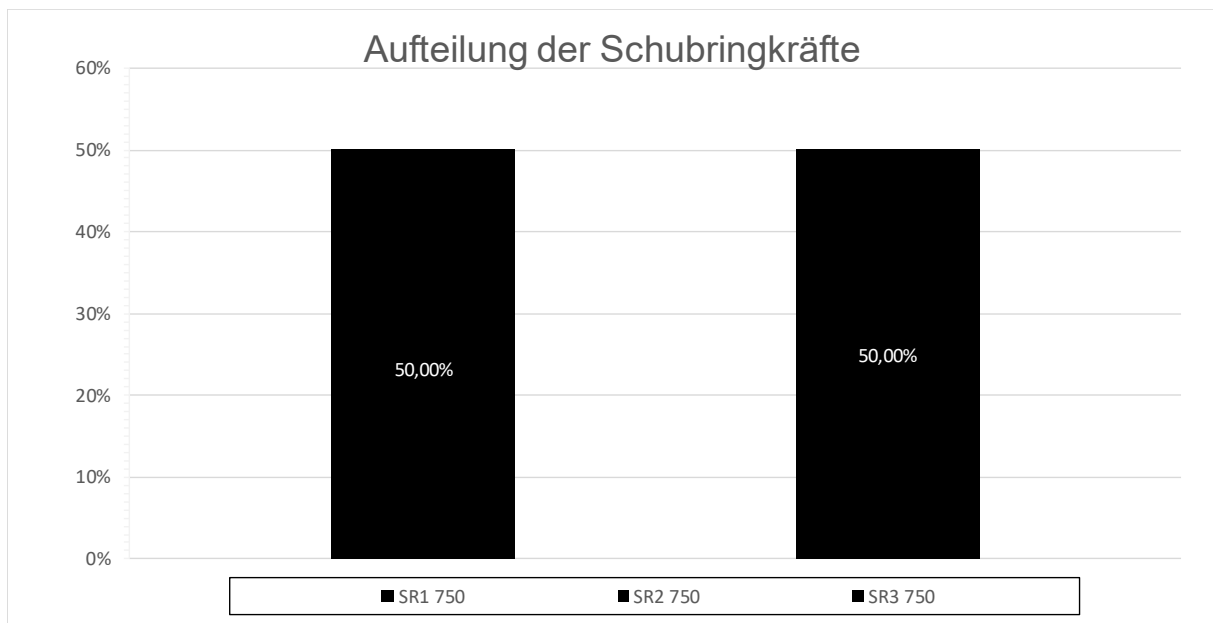


Abbildung C.106: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

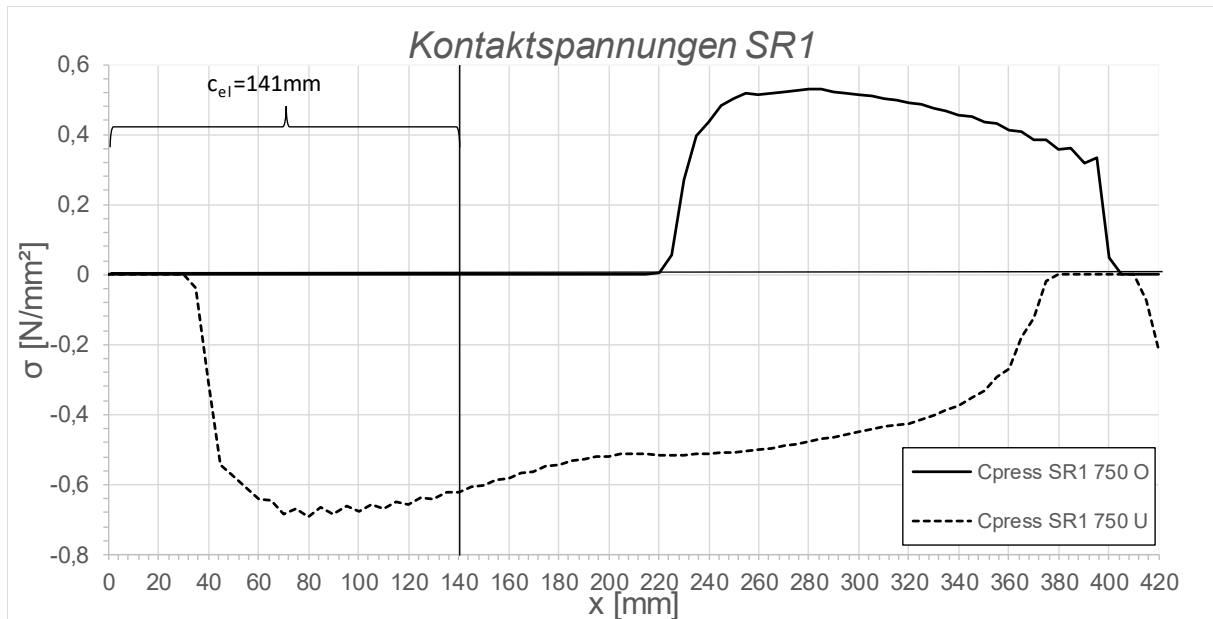


Abbildung C.107: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubrings 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

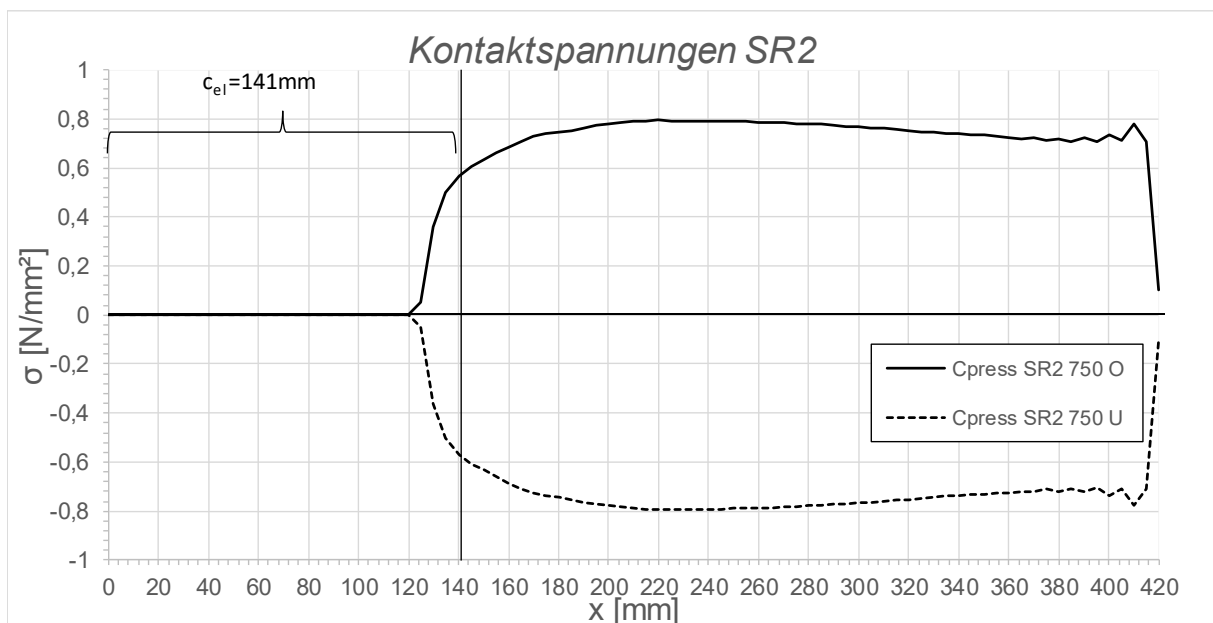


Abbildung C.108: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubrings 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

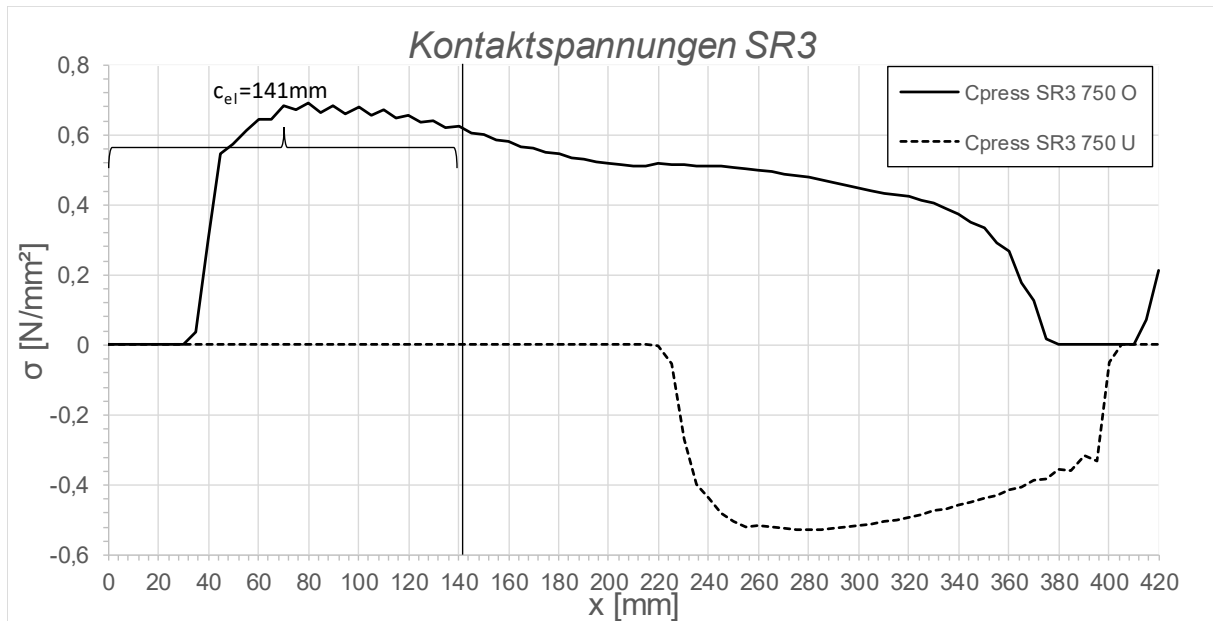


Abbildung C.109: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

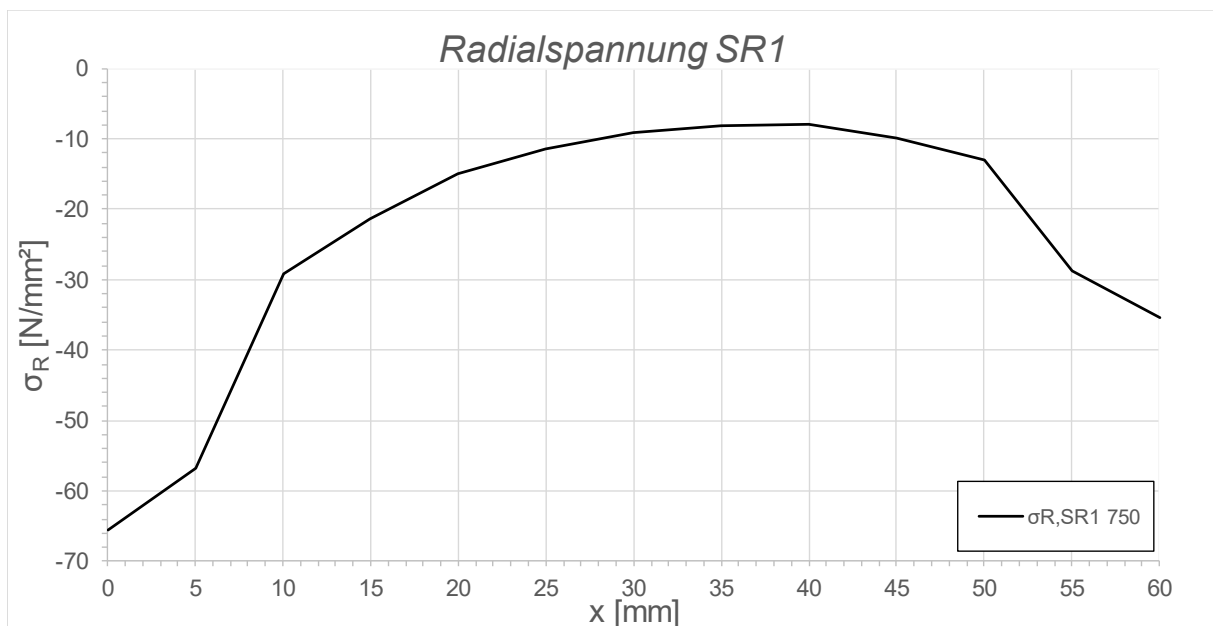


Abbildung C.110: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 1 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

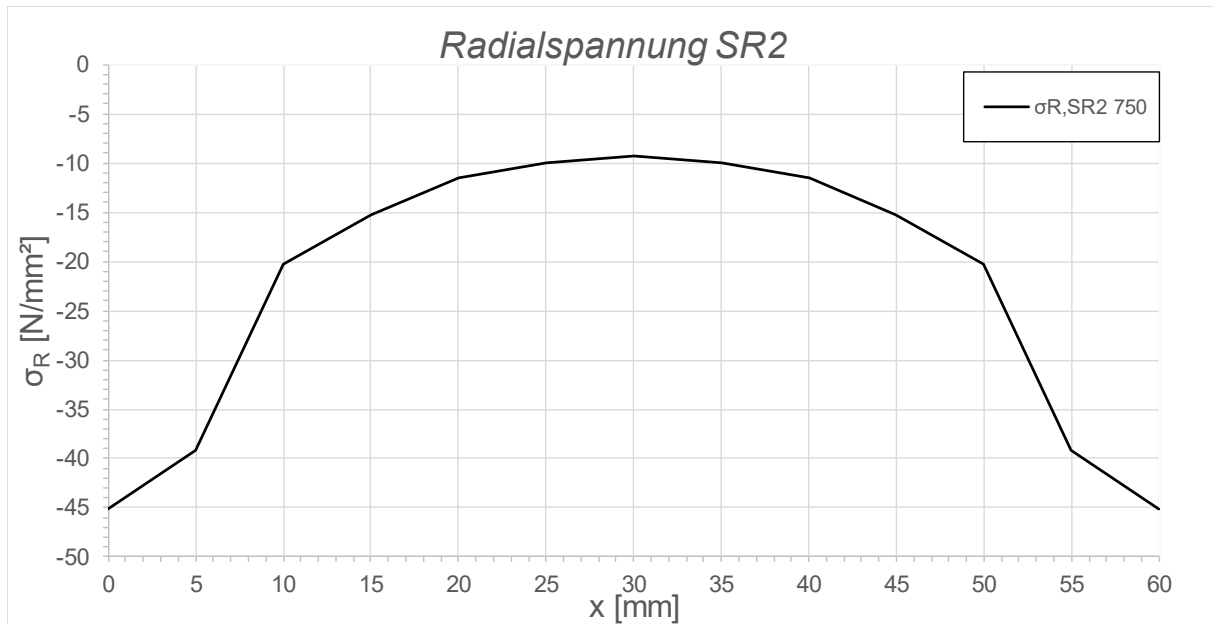


Abbildung C.111: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 2 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

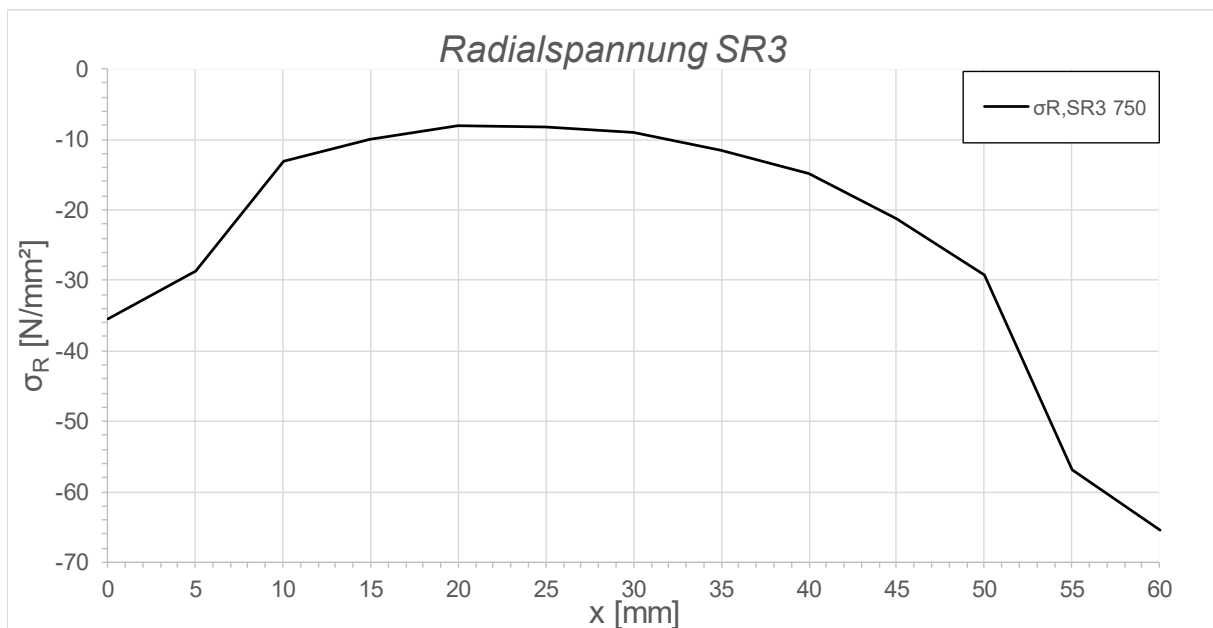


Abbildung C.112: Darstellung der Radialspannungen über die Dicke des Schubringes 3 SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,5$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

C.2.10 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

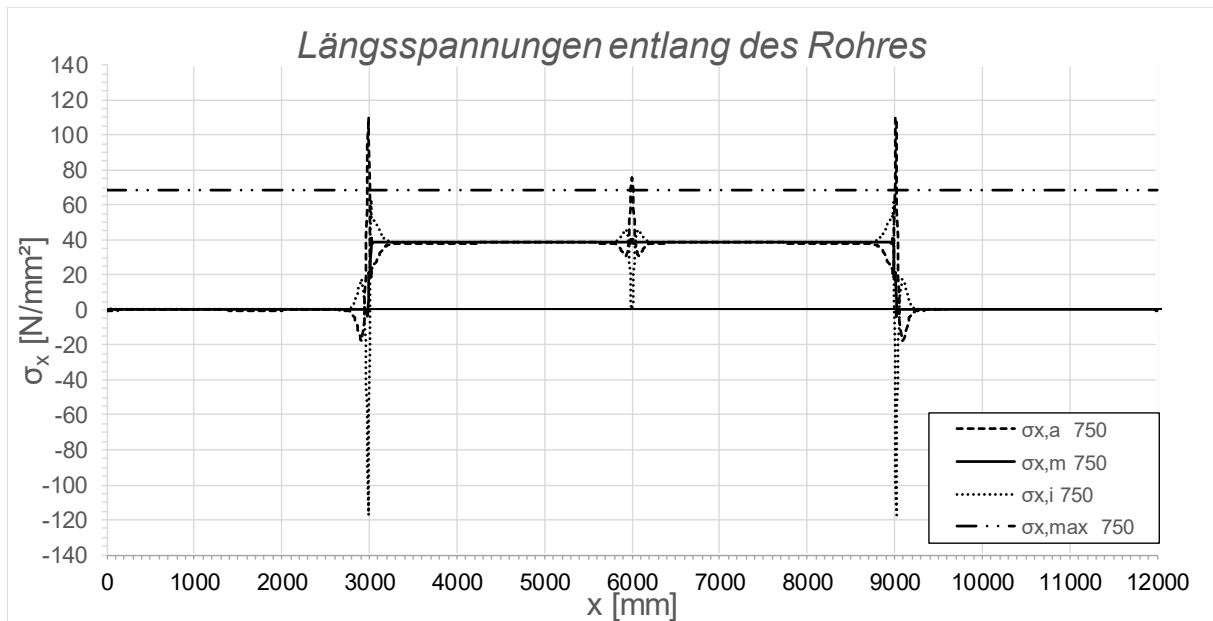


Abbildung C.113: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

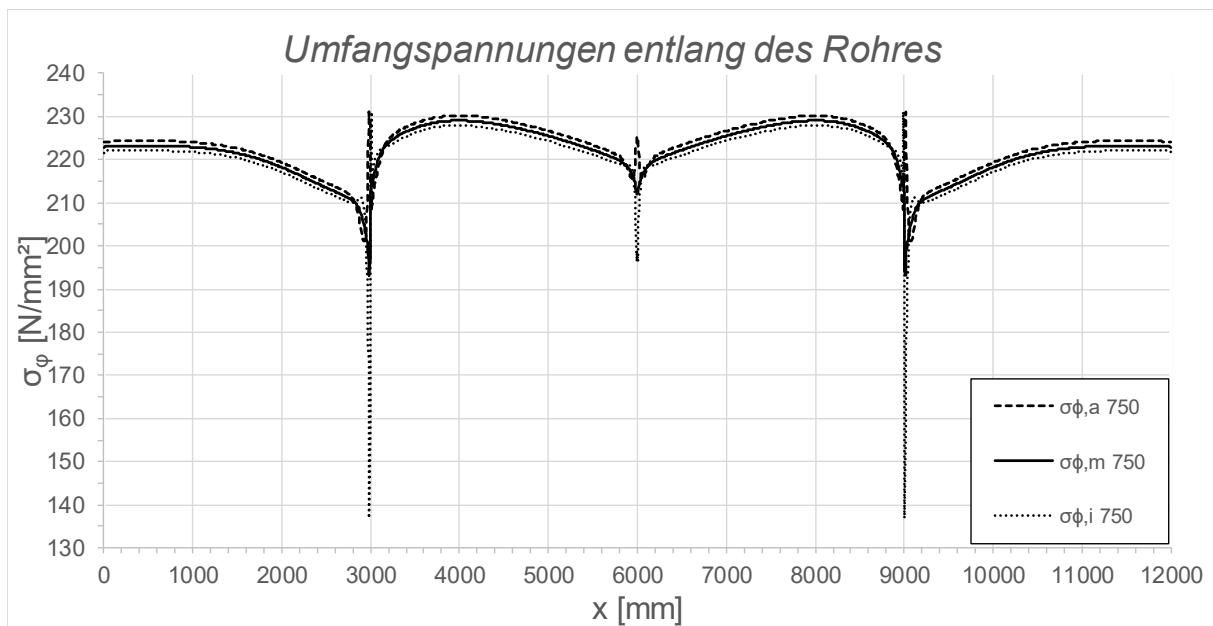


Abbildung C.114: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

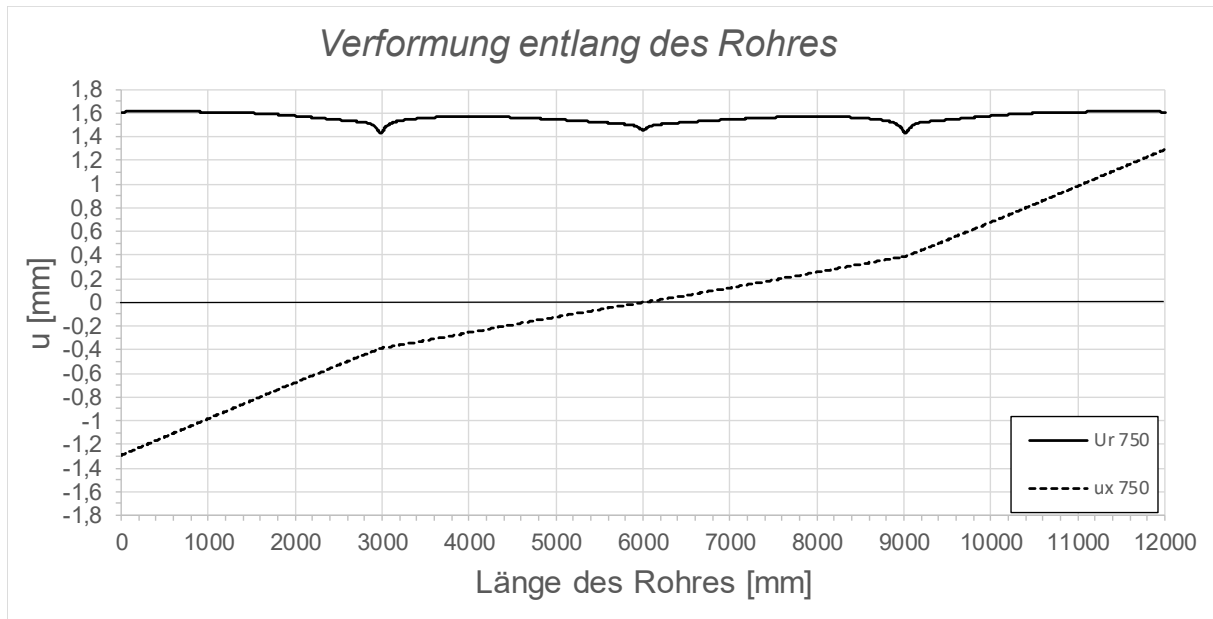


Abbildung C.115: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

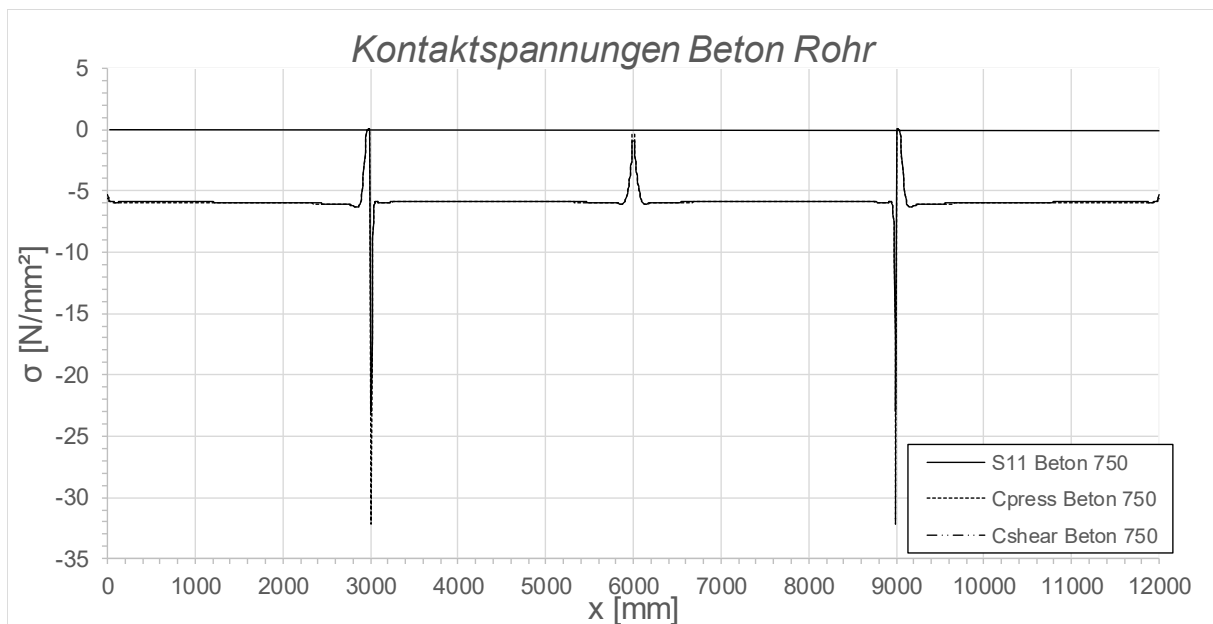


Abbildung C.116: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

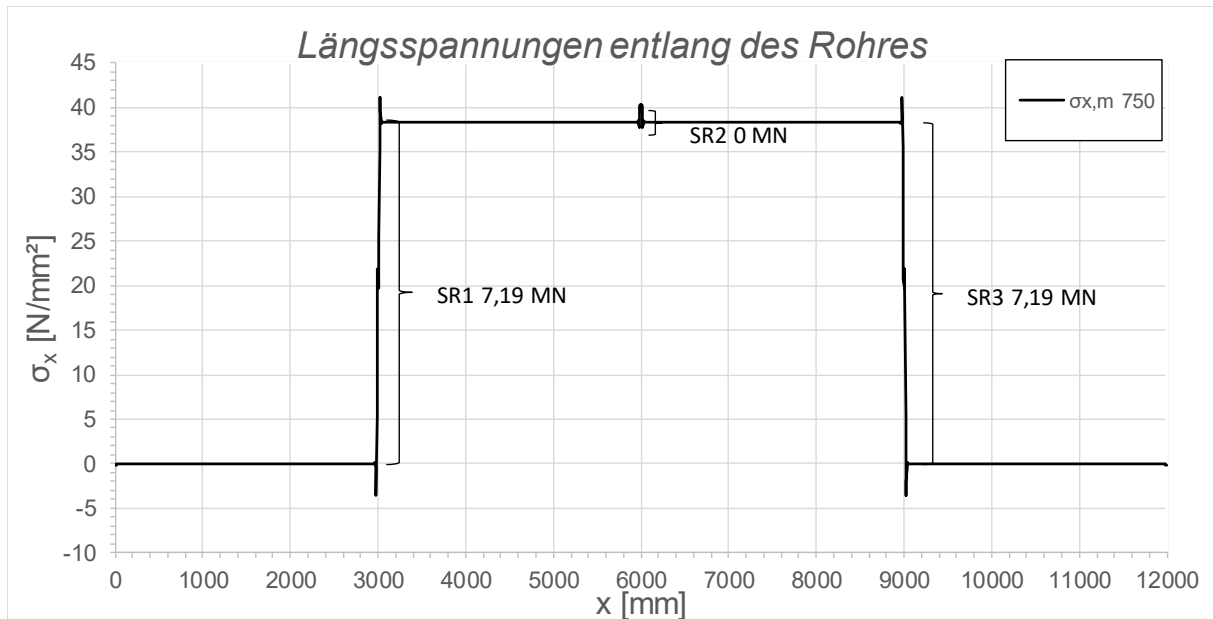


Abbildung C.117: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

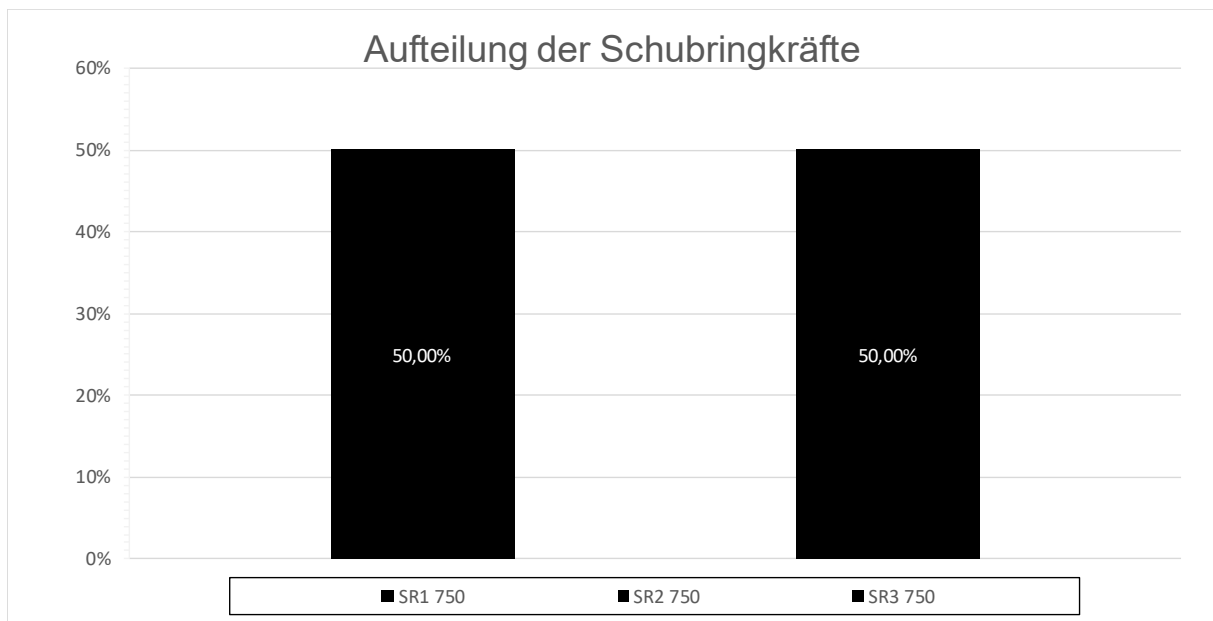


Abbildung C.118: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

C.2.11 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

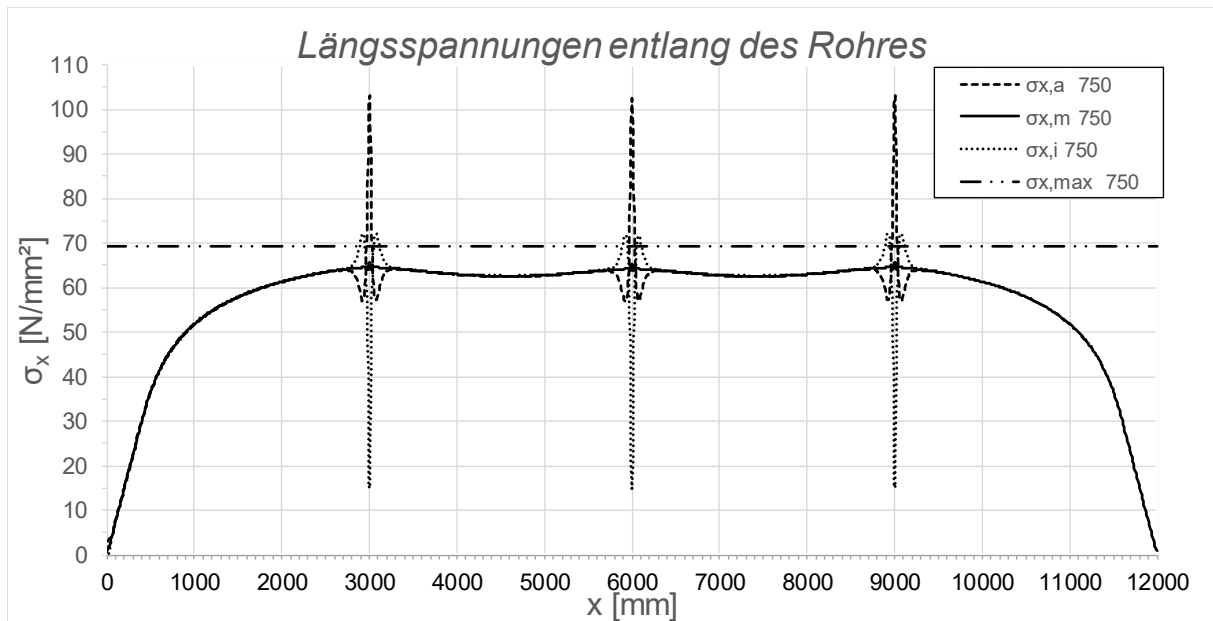


Abbildung C.119: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

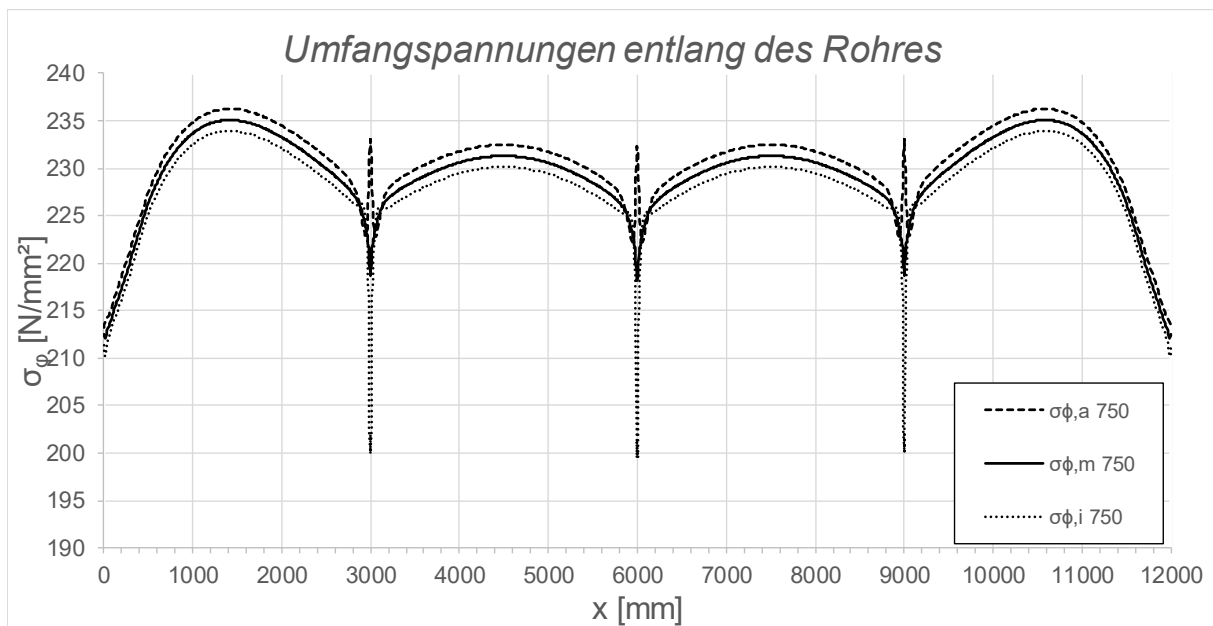


Abbildung C.120: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

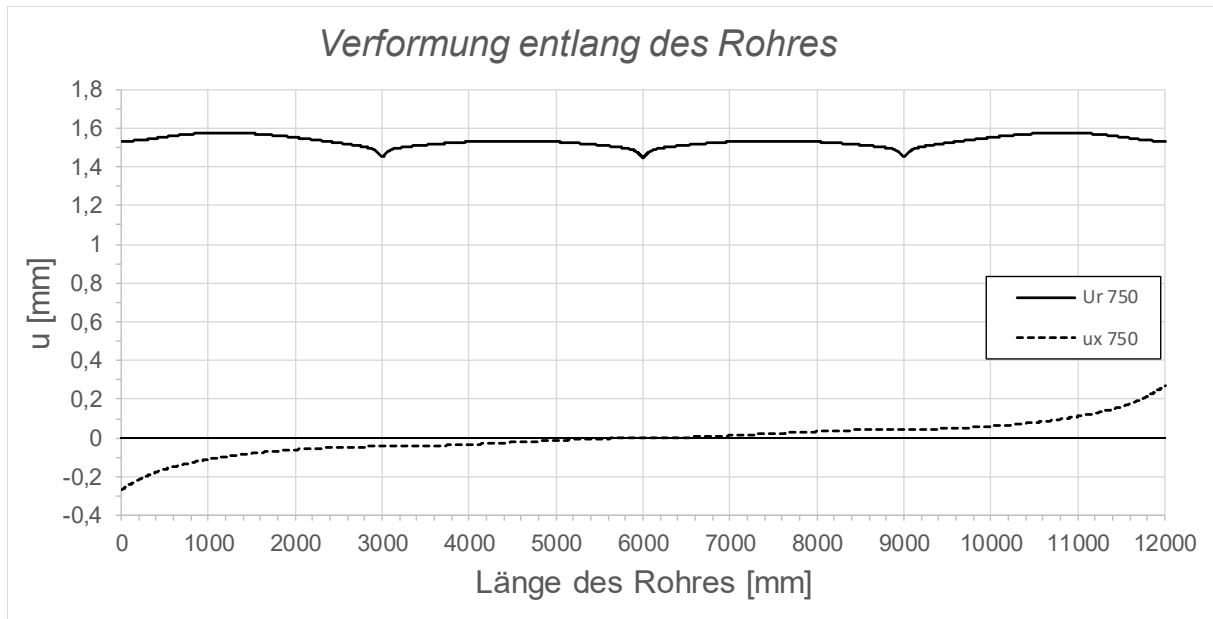


Abbildung C.121: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

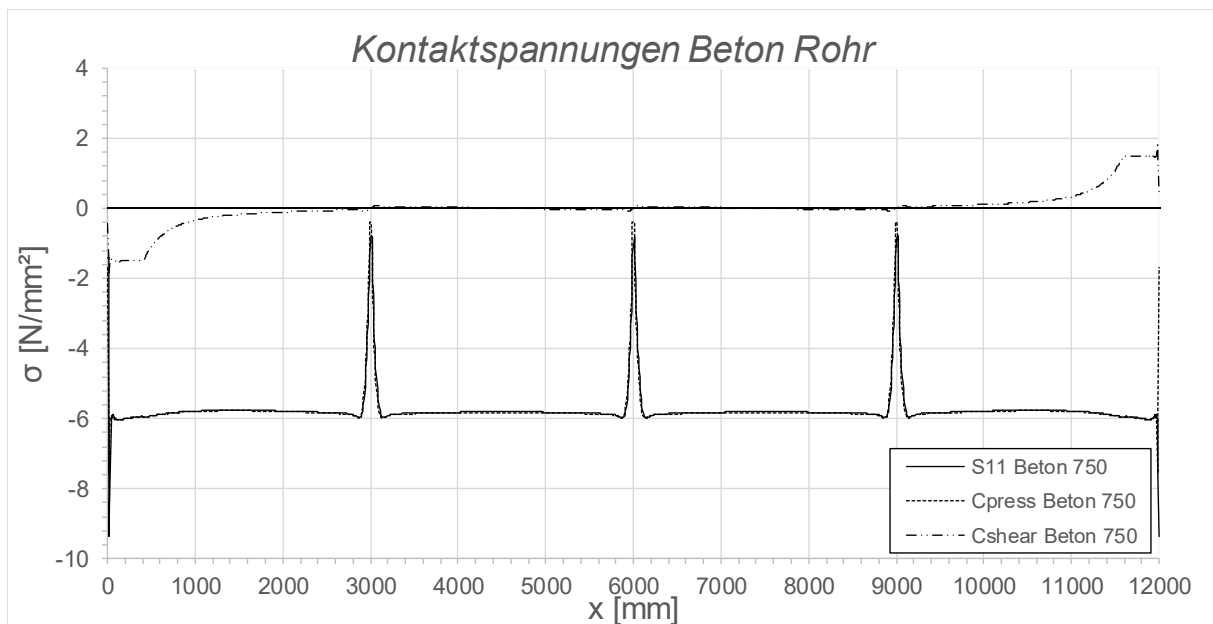


Abbildung C.122: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

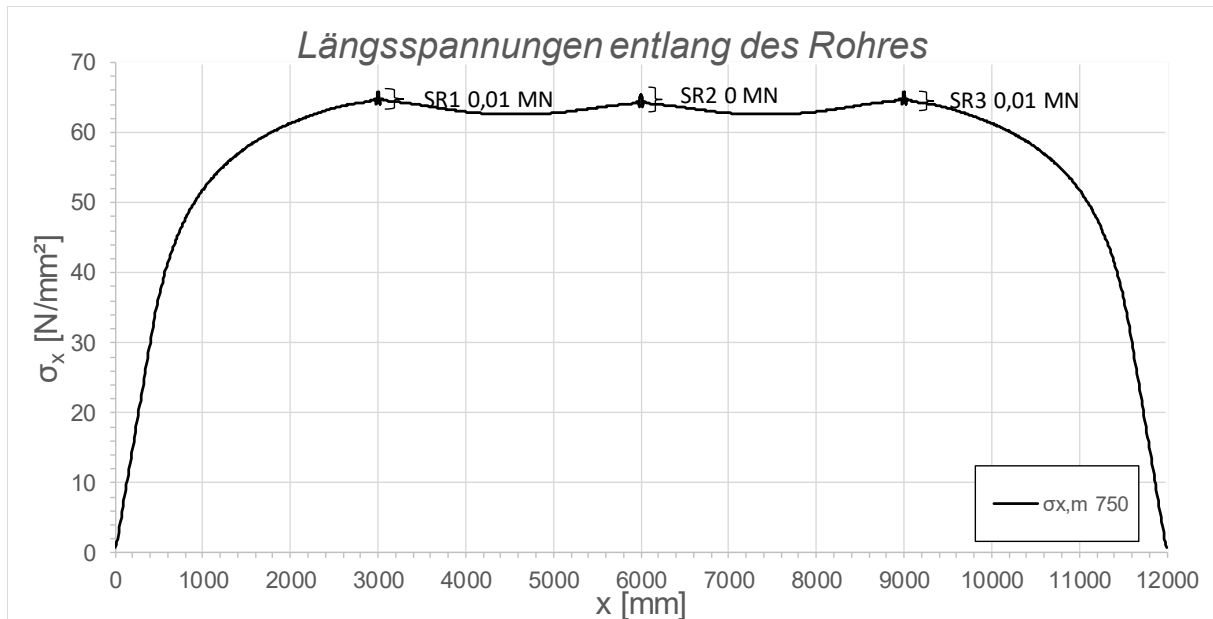


Abbildung C.123: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

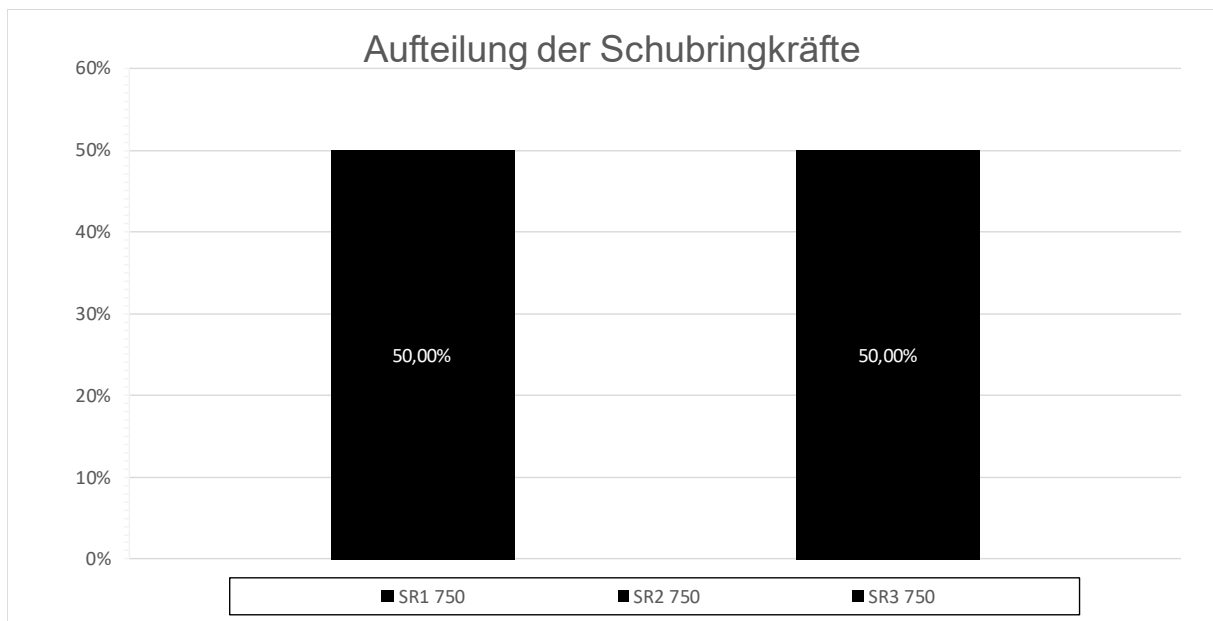


Abbildung C.124: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

C.2.12 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

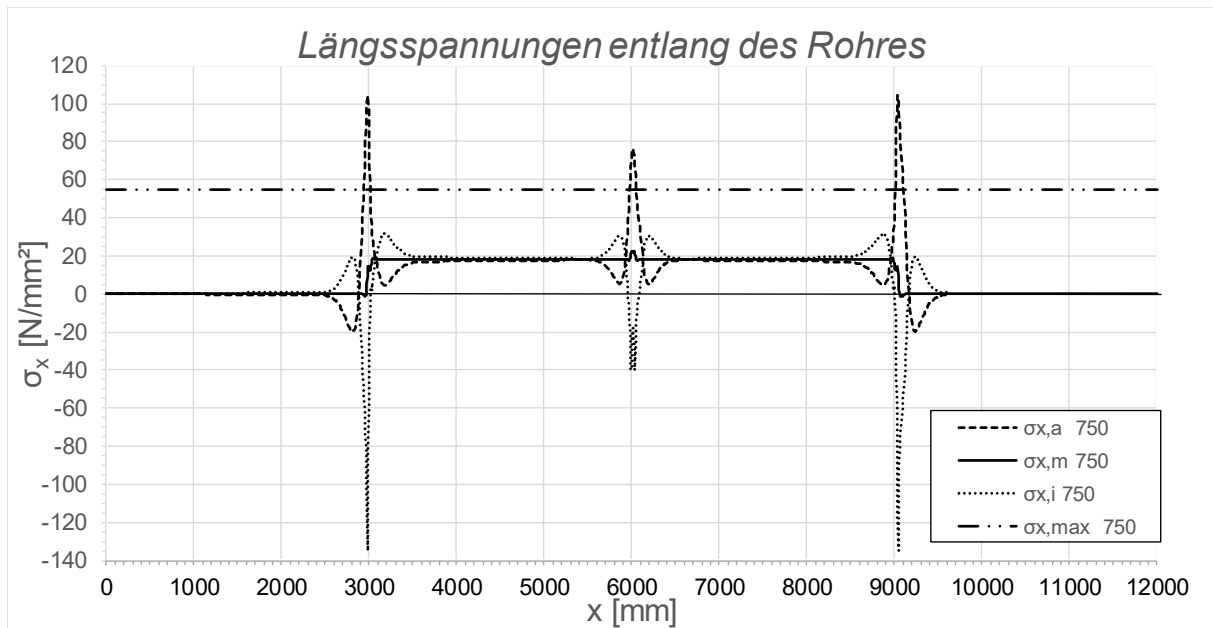


Abbildung C.125: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

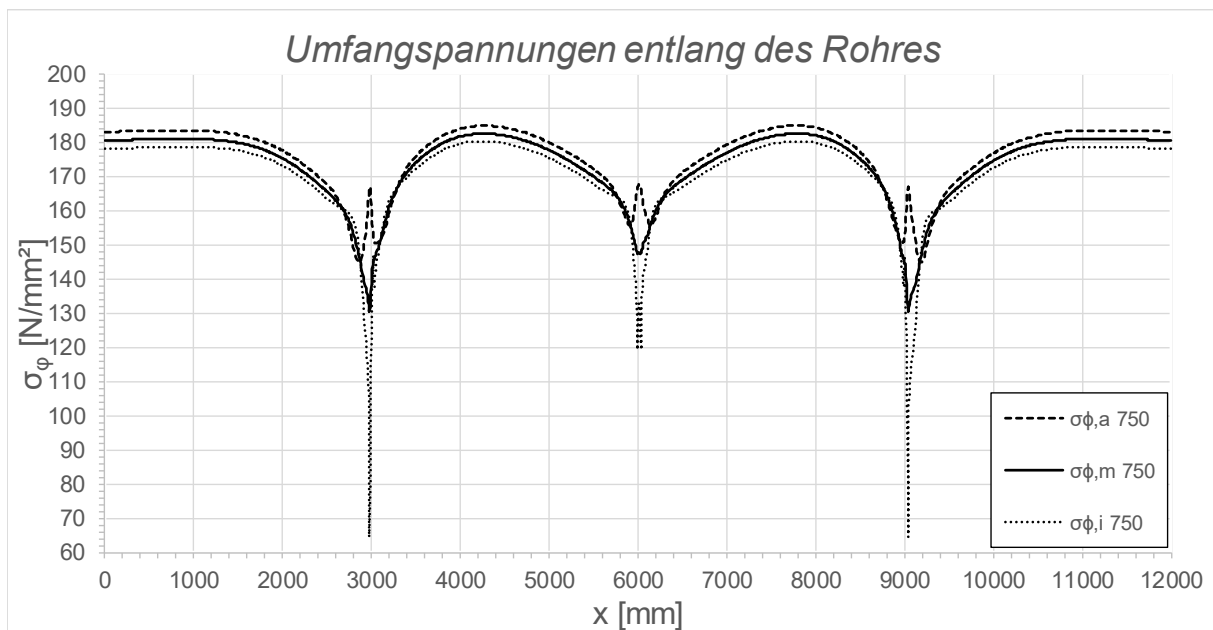


Abbildung C.126: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

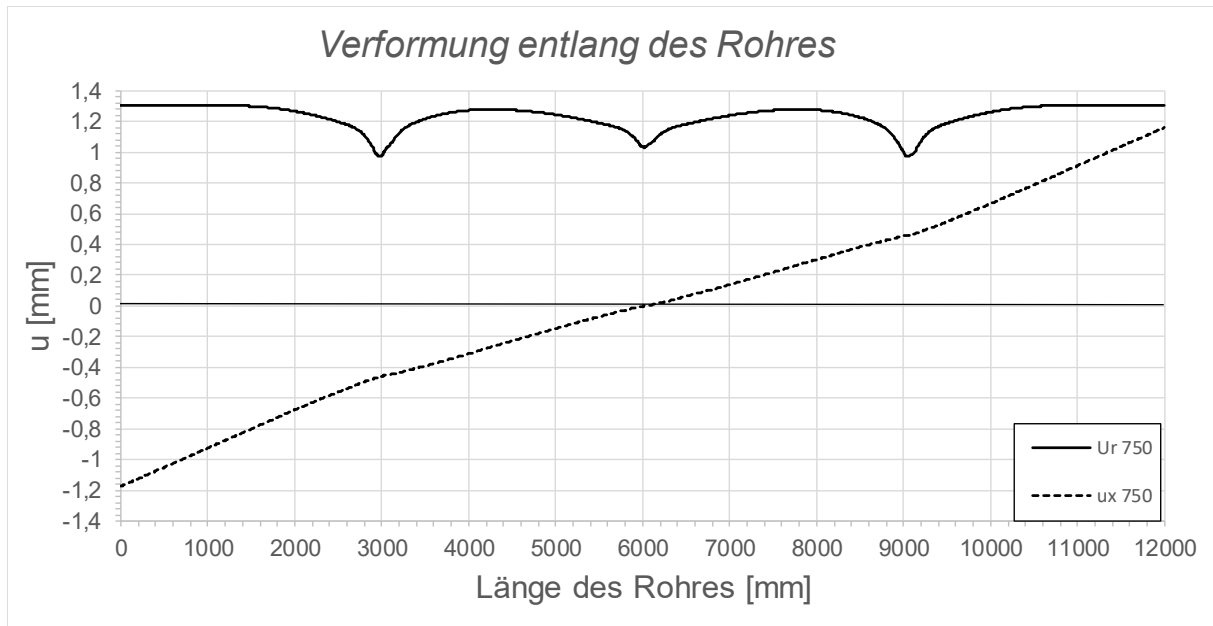


Abbildung C.127: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

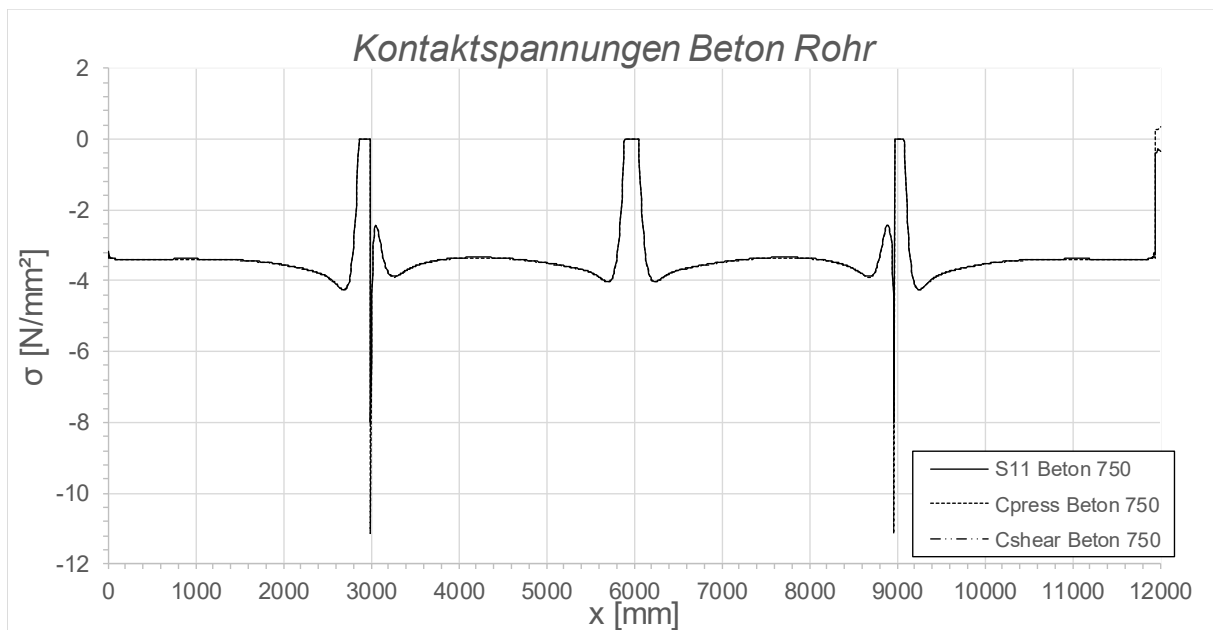


Abbildung C.128: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

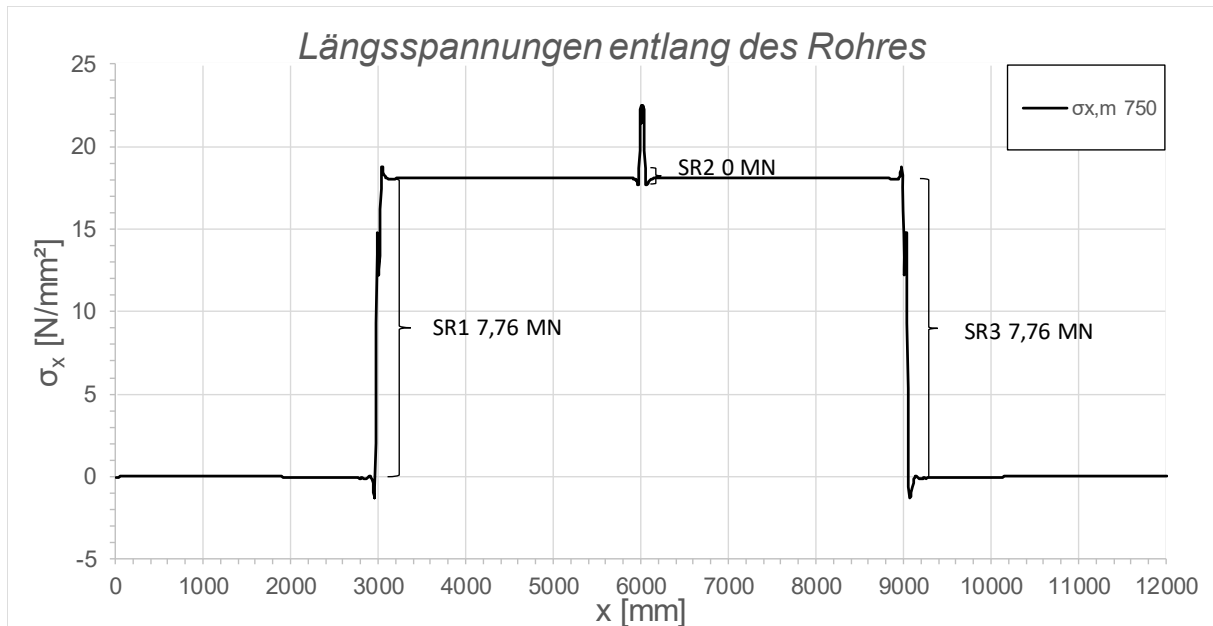


Abbildung C.129: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

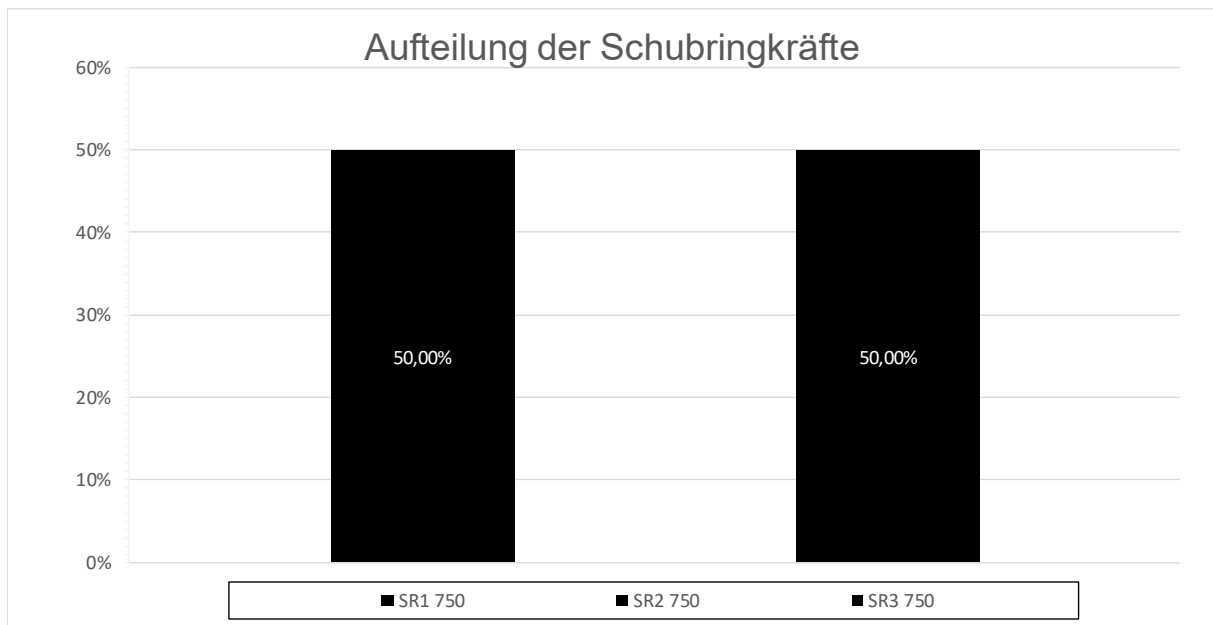


Abbildung C.130: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

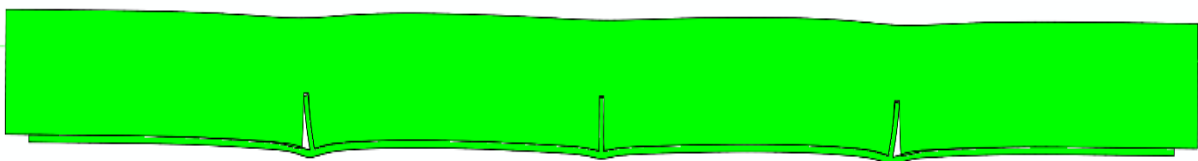


Abbildung C.131: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF1 , $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

C.2.13 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

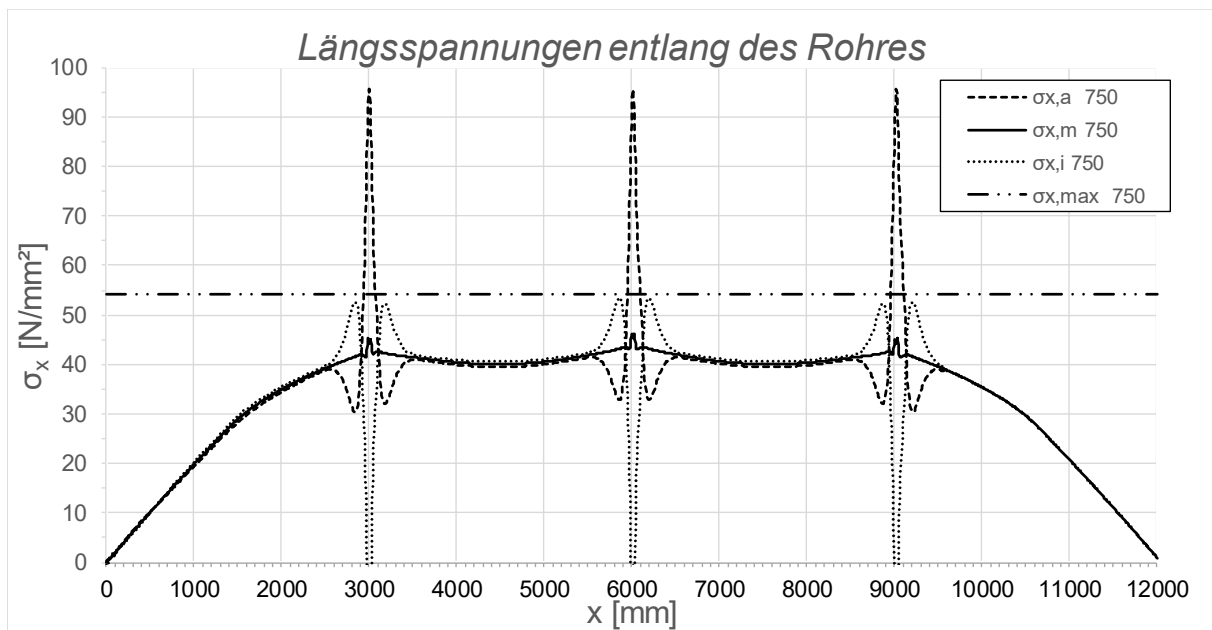


Abbildung C.132: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

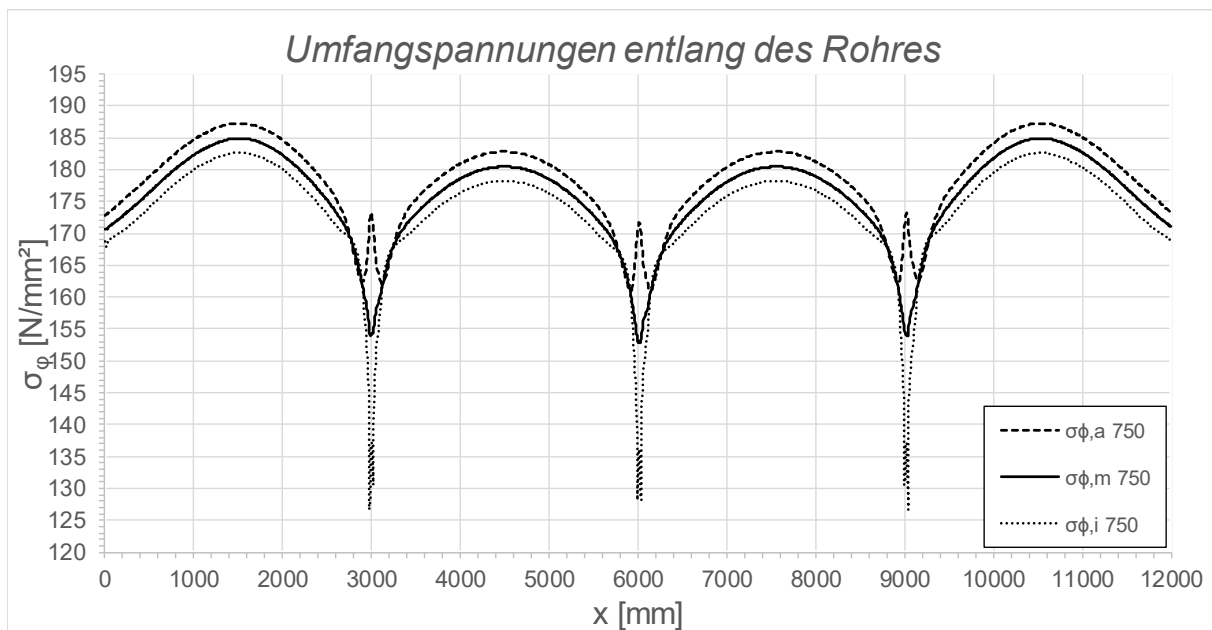


Abbildung C.133: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

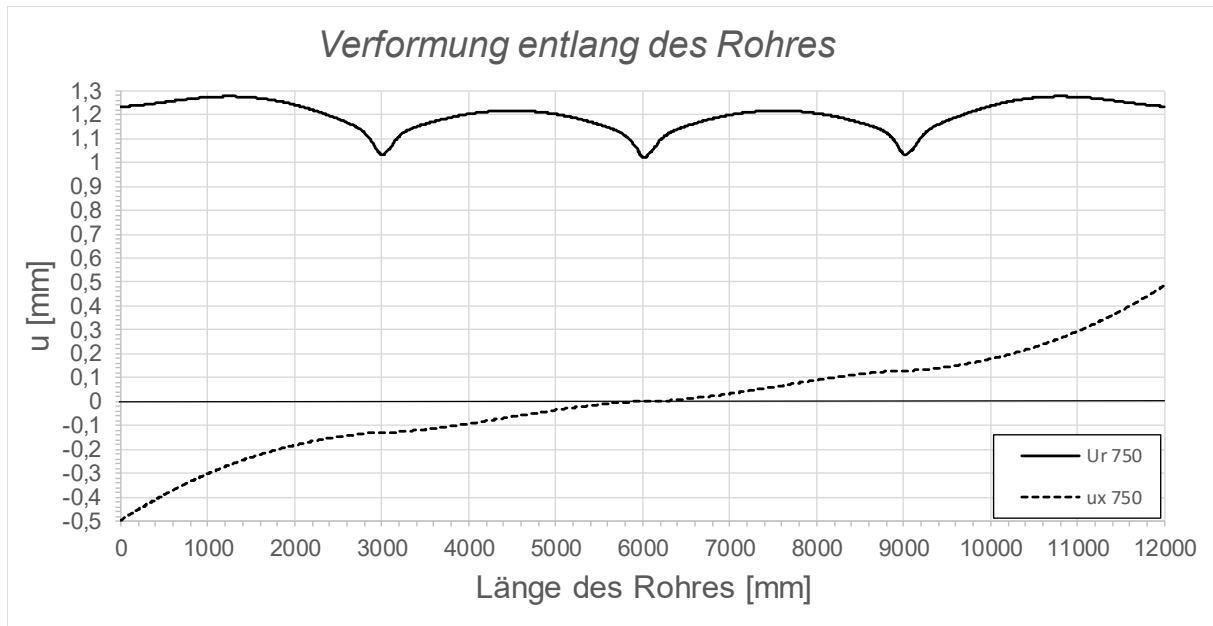


Abbildung C.134: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

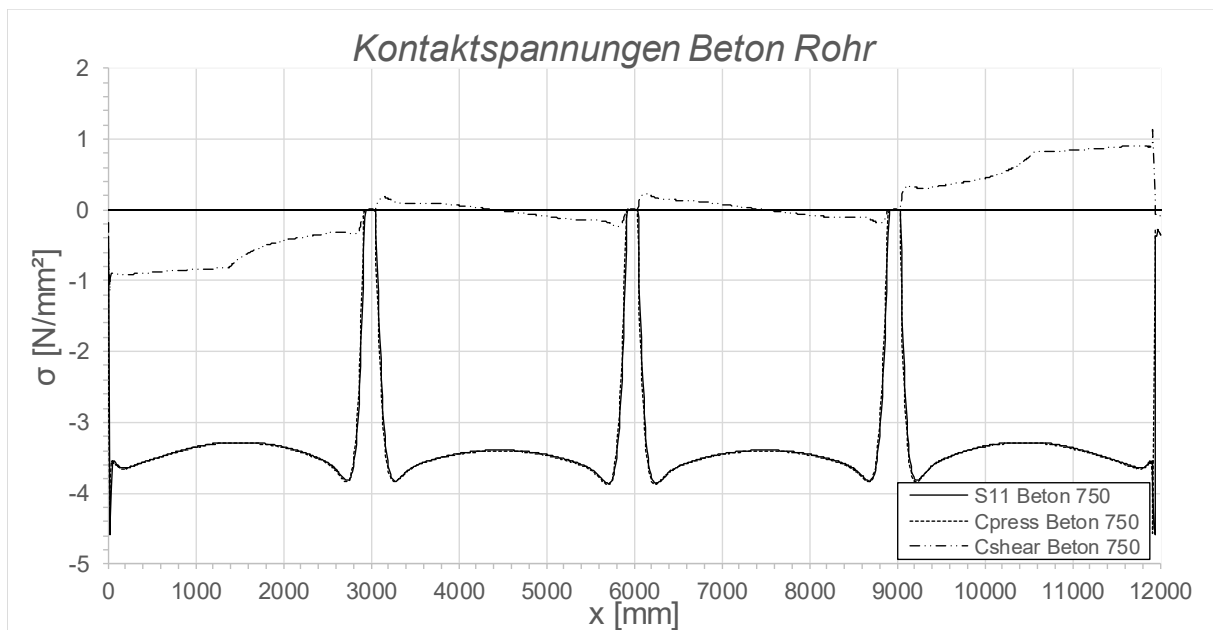


Abbildung C.135: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

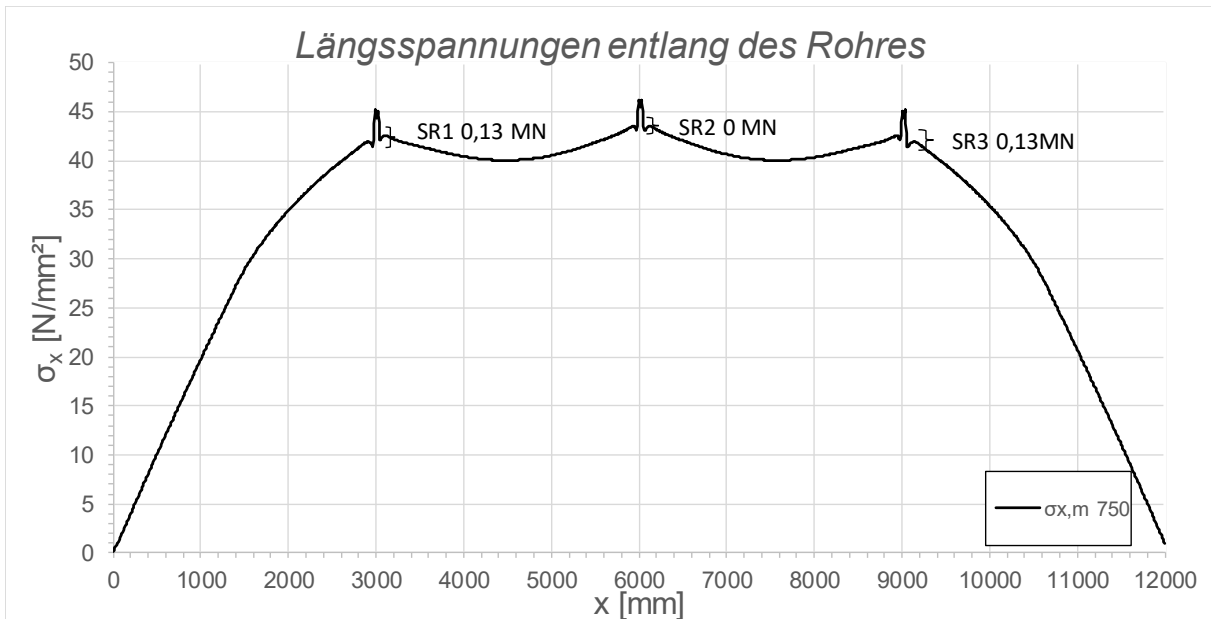


Abbildung C.136: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

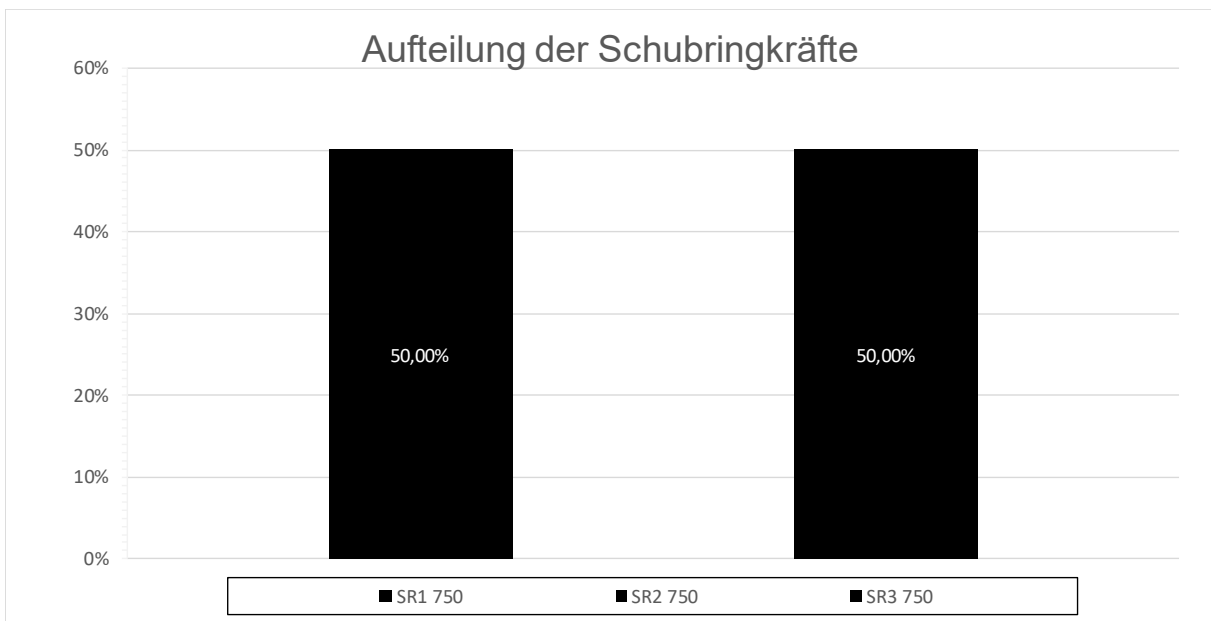


Abbildung C.137: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

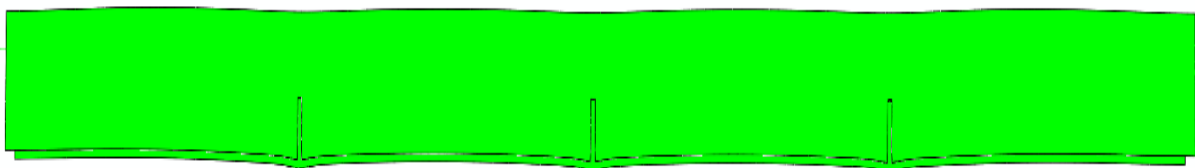


Abbildung C.138: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

C.2.14 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

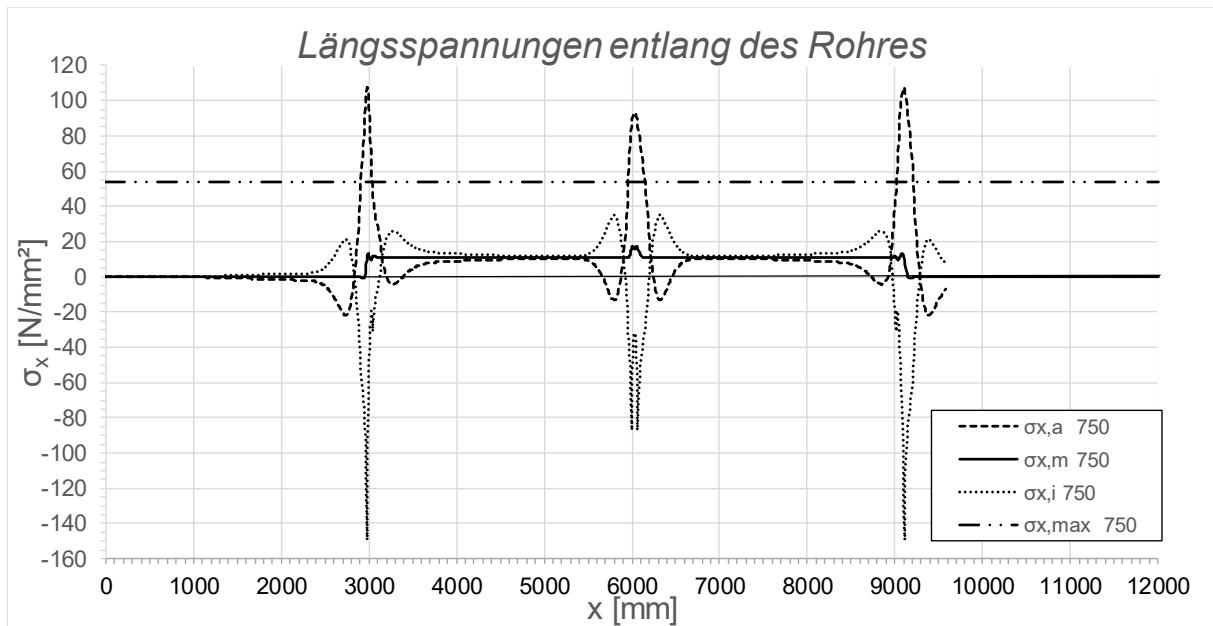


Abbildung C.139: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

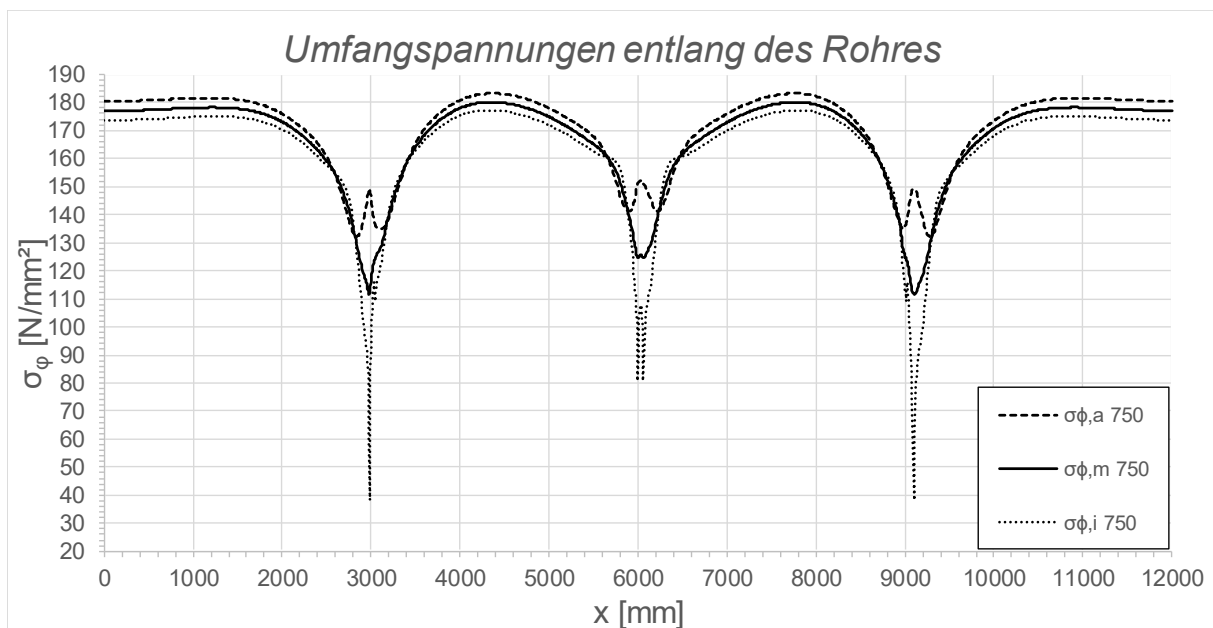


Abbildung C.140: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

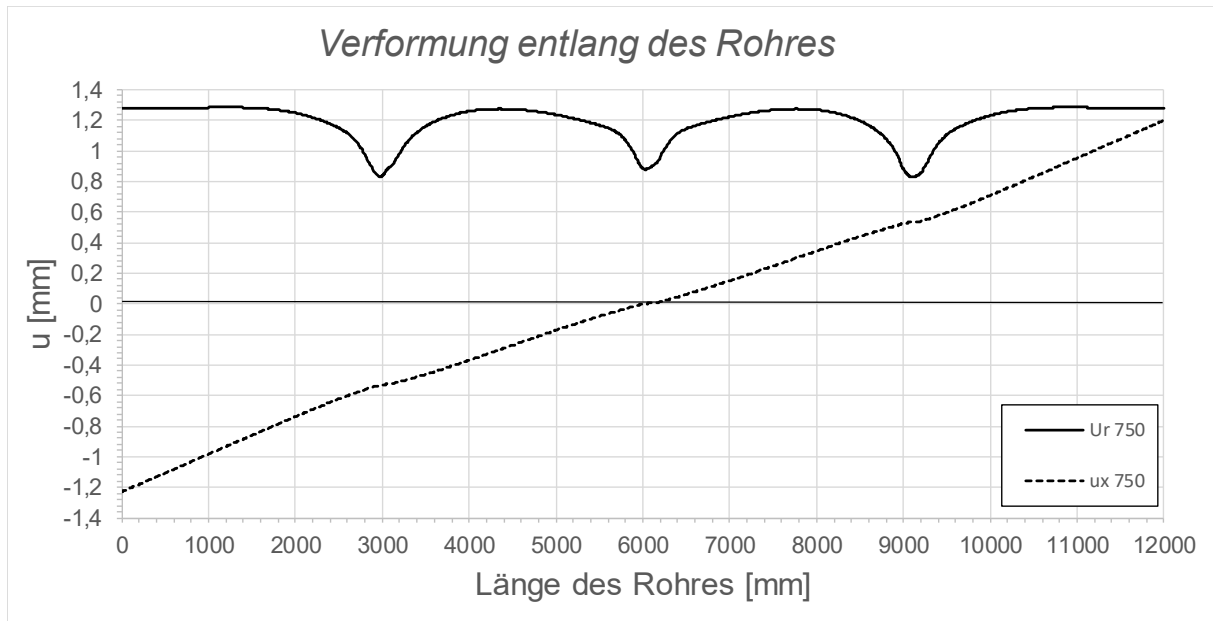


Abbildung C.141: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

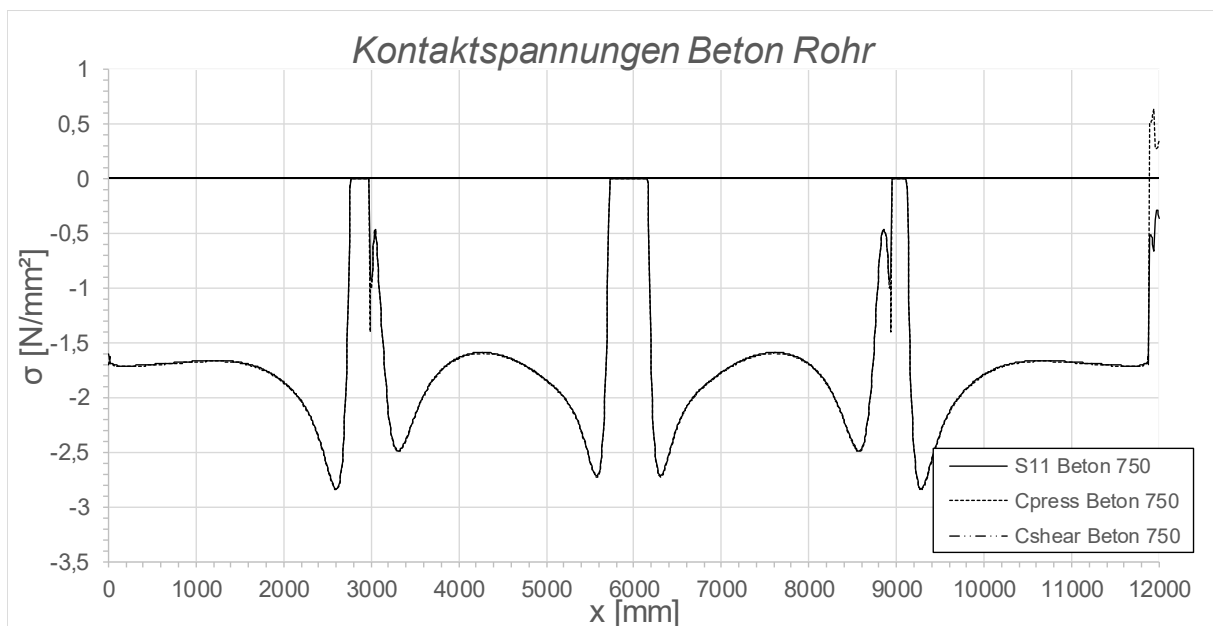


Abbildung C.142: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

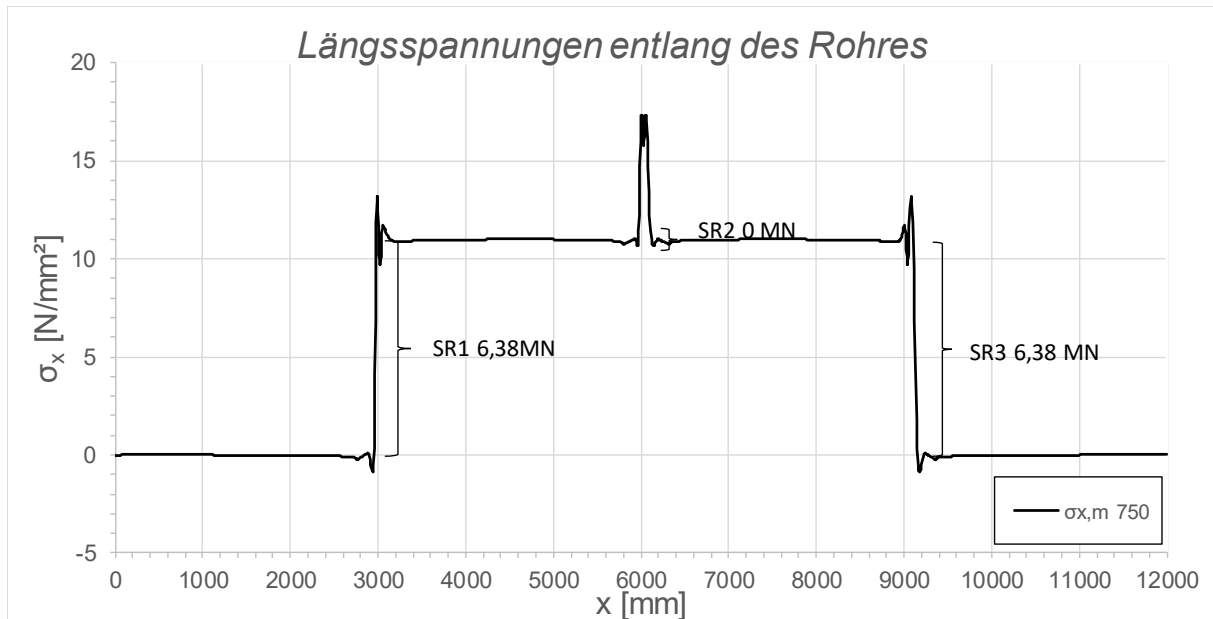


Abbildung C.143: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

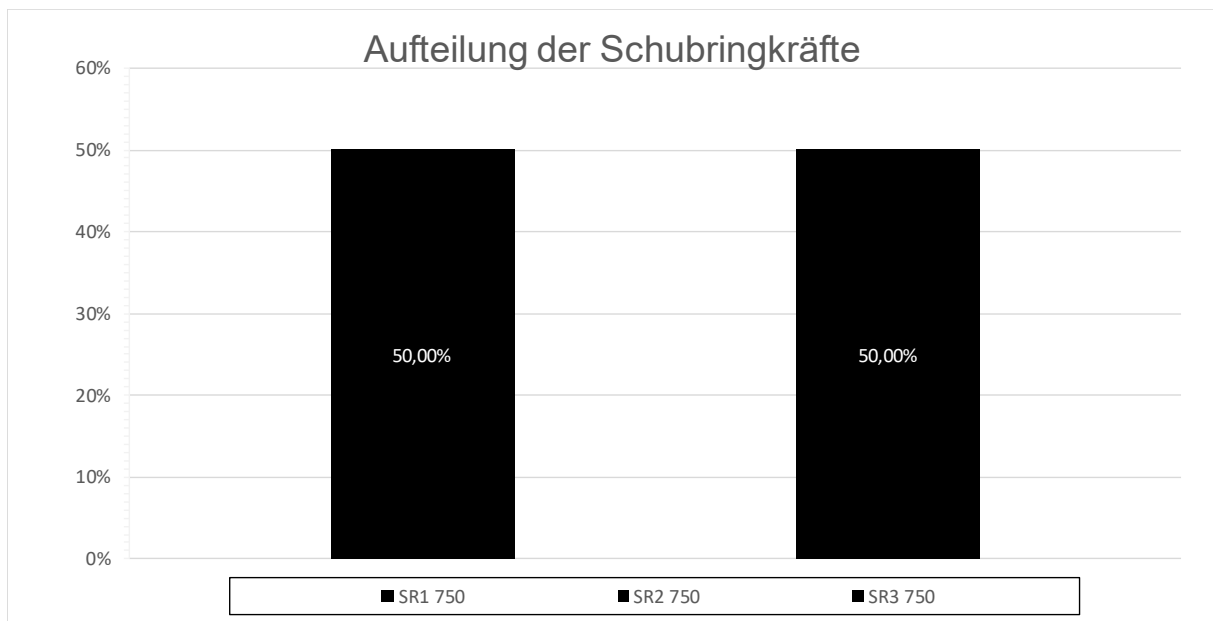


Abbildung C.144: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

C.2.15 SF2 LF1 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

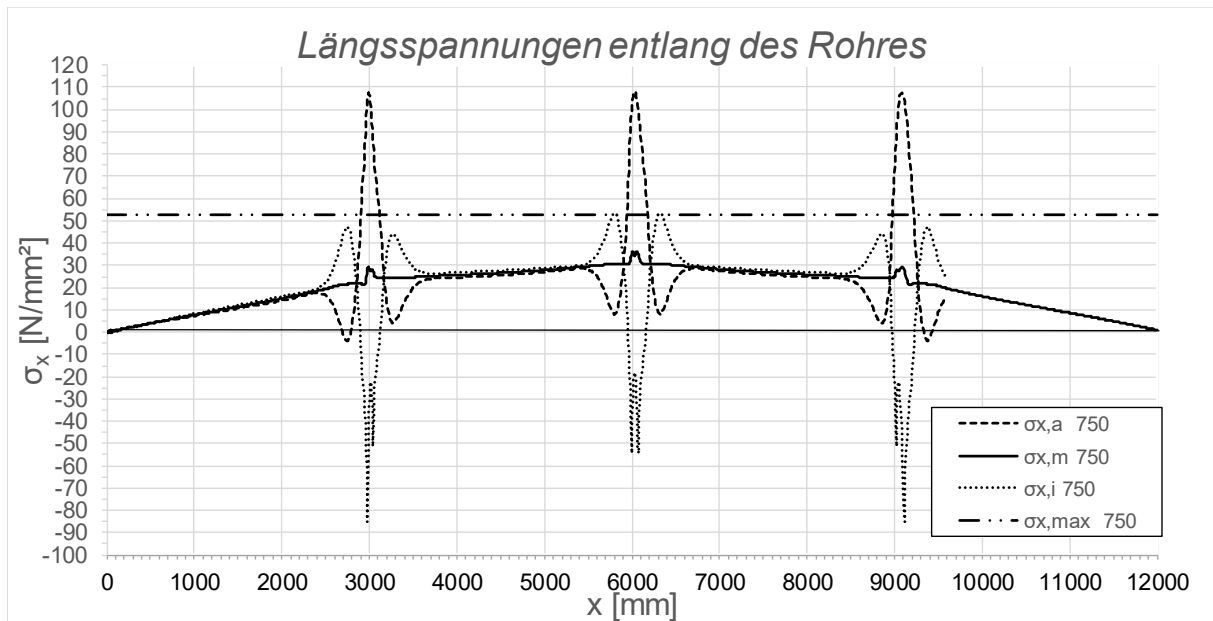


Abbildung C.145: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

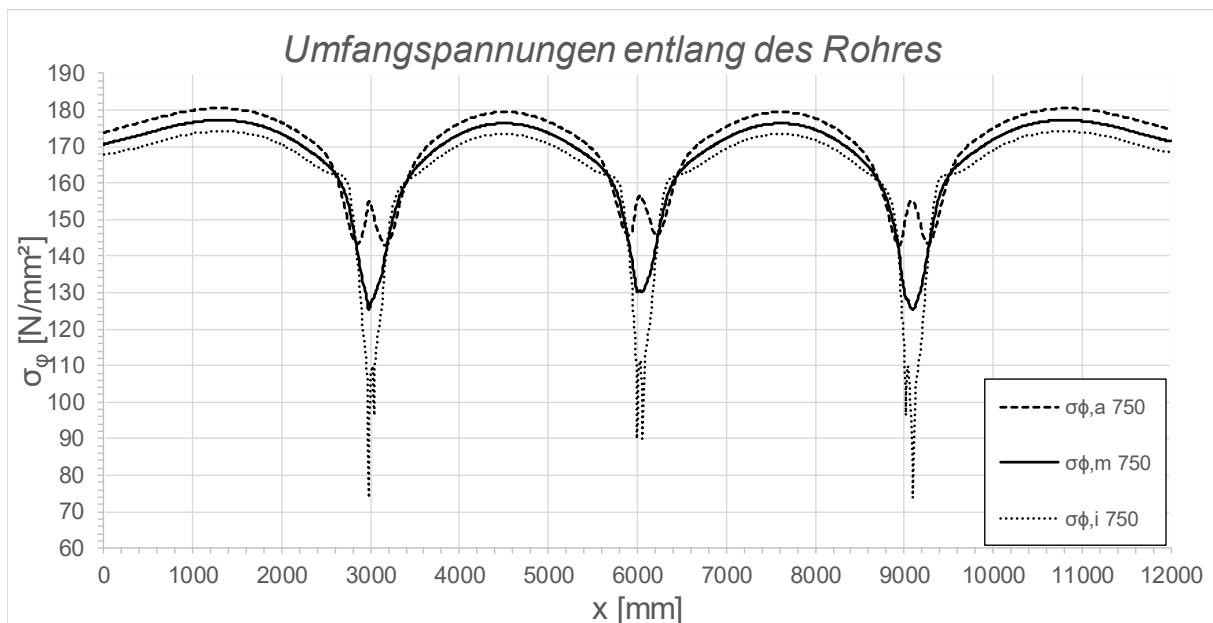


Abbildung C.146: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

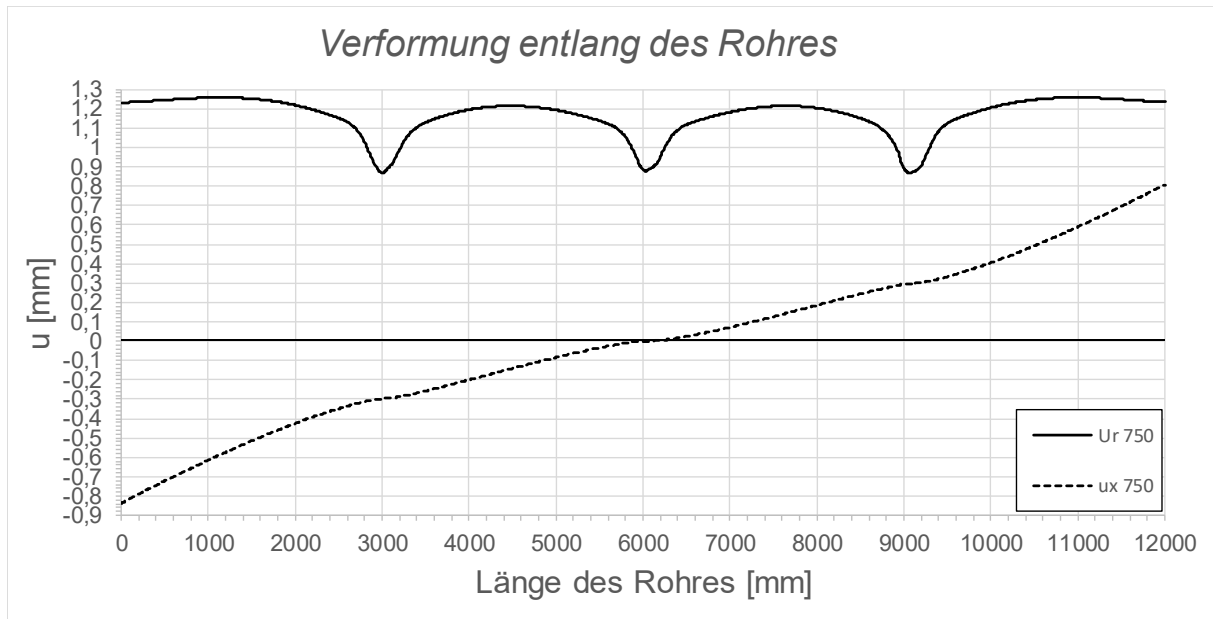


Abbildung C.147: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

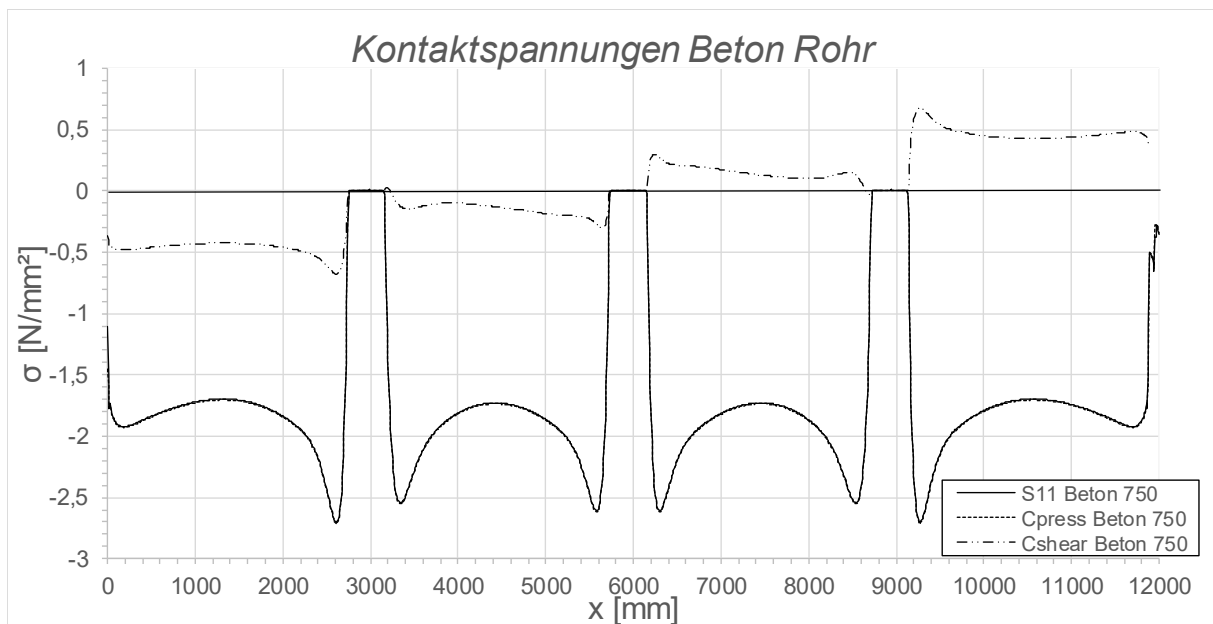


Abbildung C.148: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

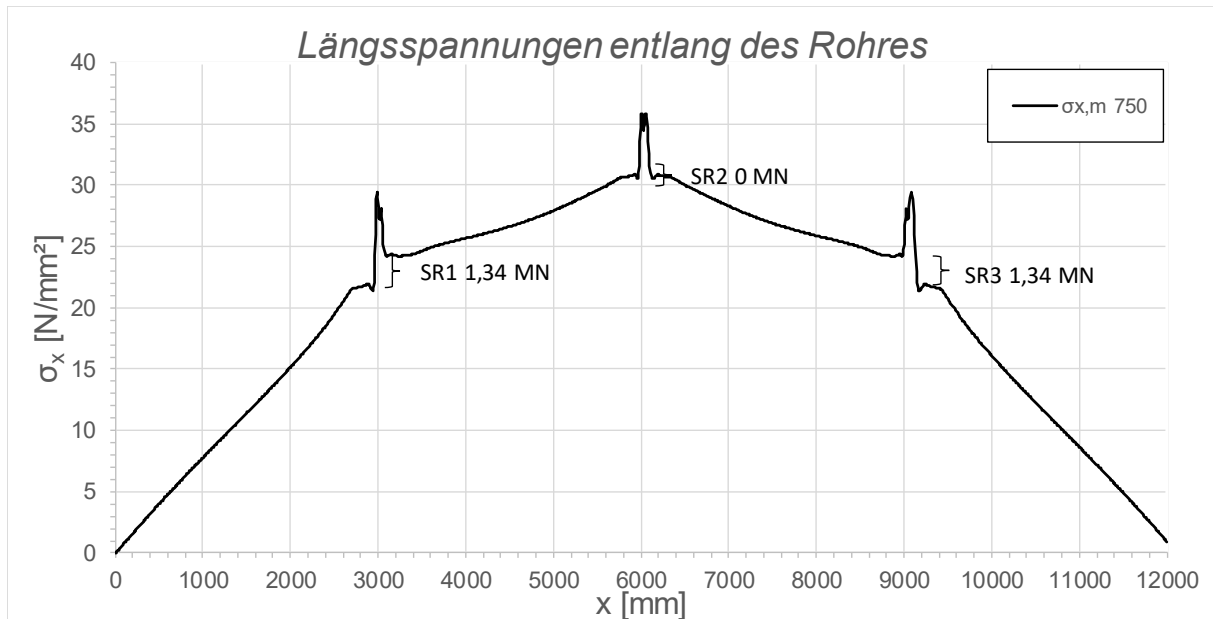


Abbildung C.149: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

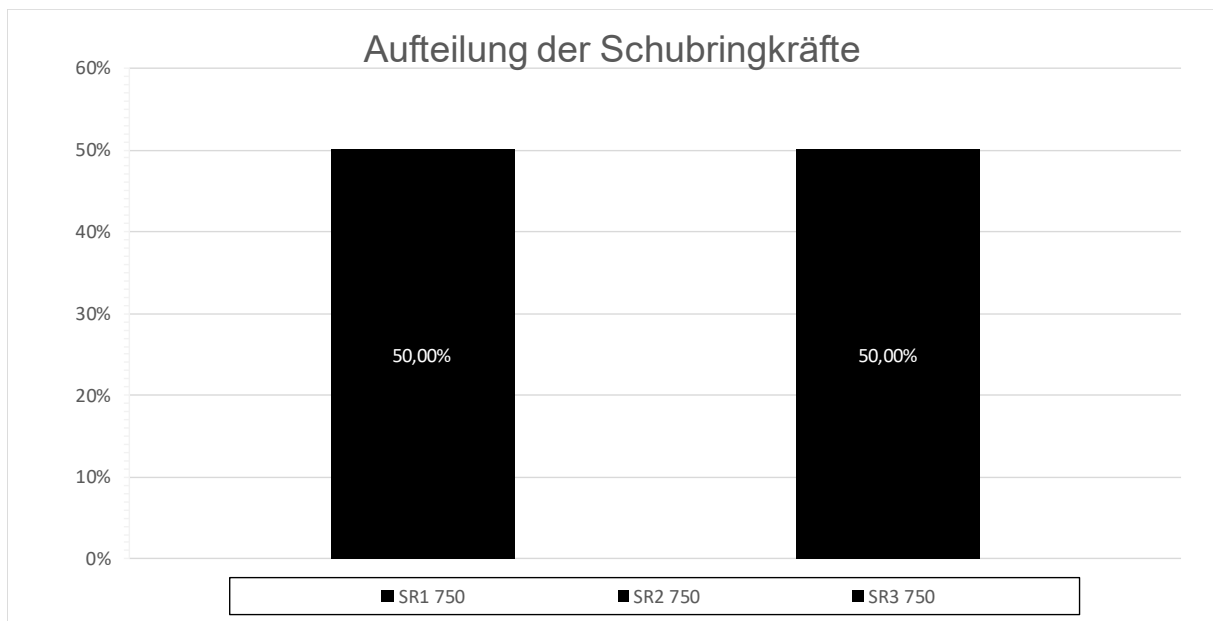


Abbildung C.150: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF1, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

C.3 System SF2 bei Lastfall Temperatur

C.3.1 SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

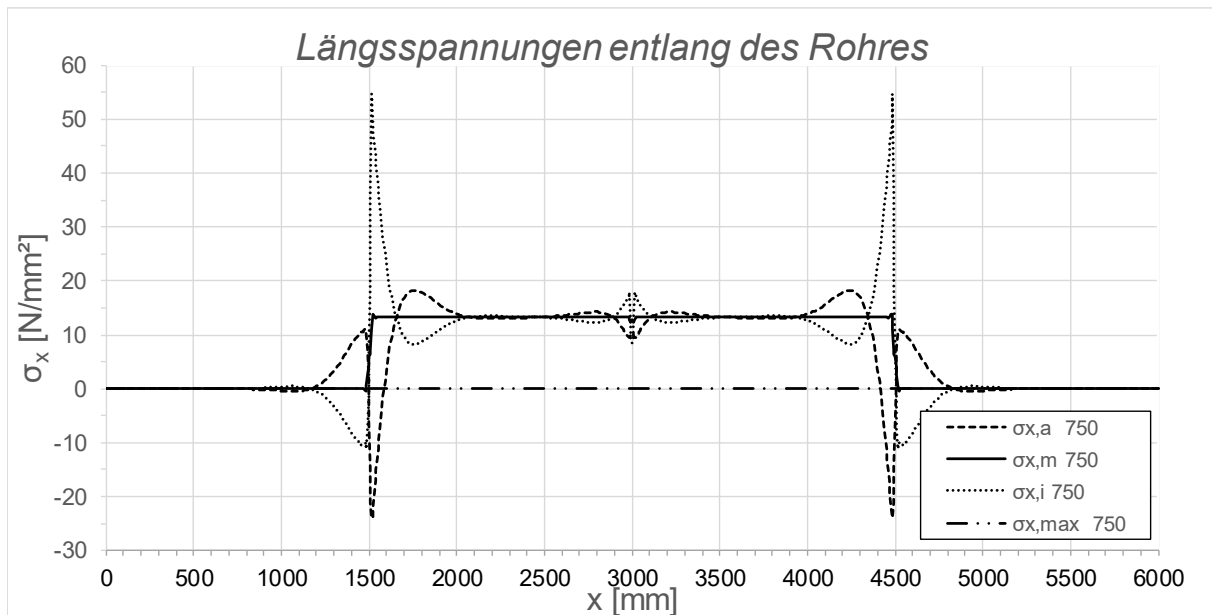


Abbildung C.151: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

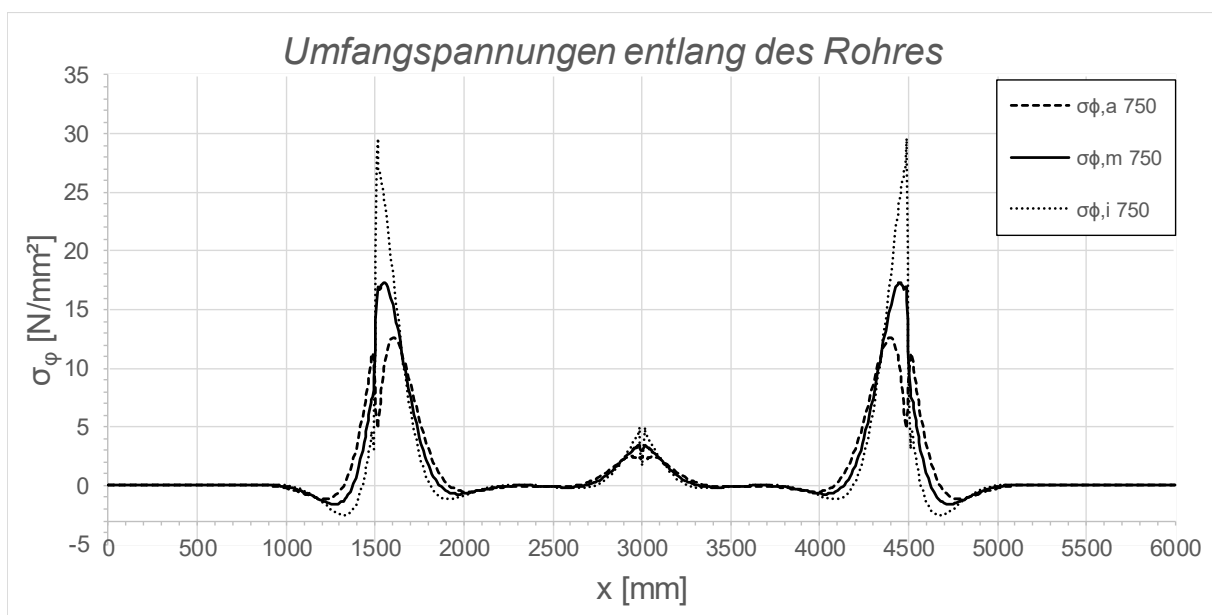


Abbildung C.152: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

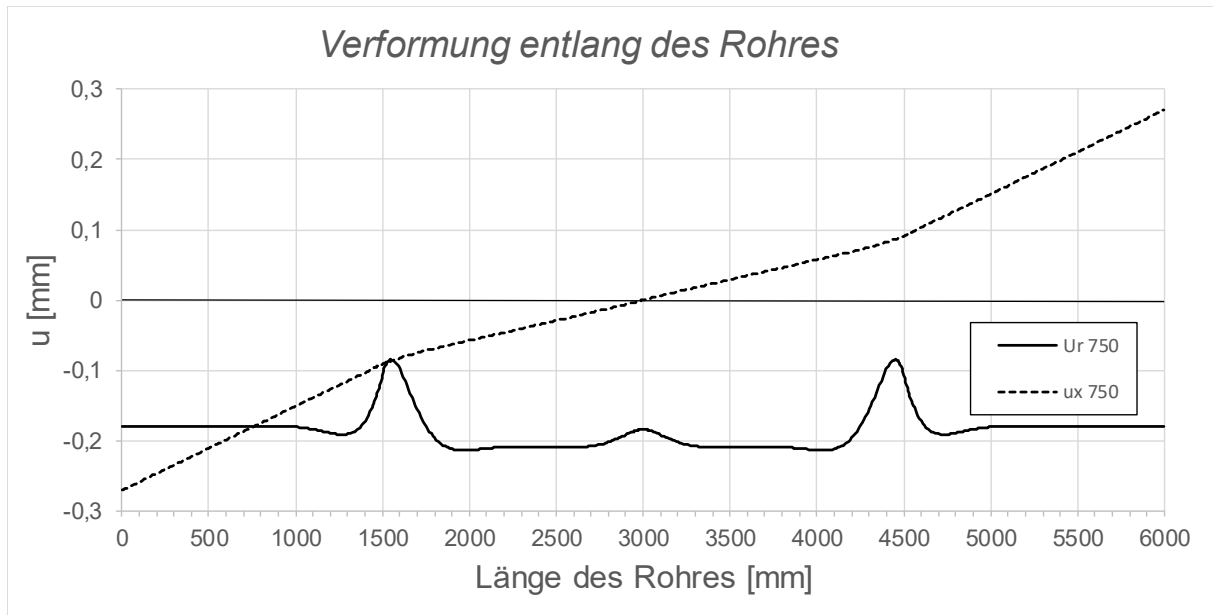


Abbildung C.153: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

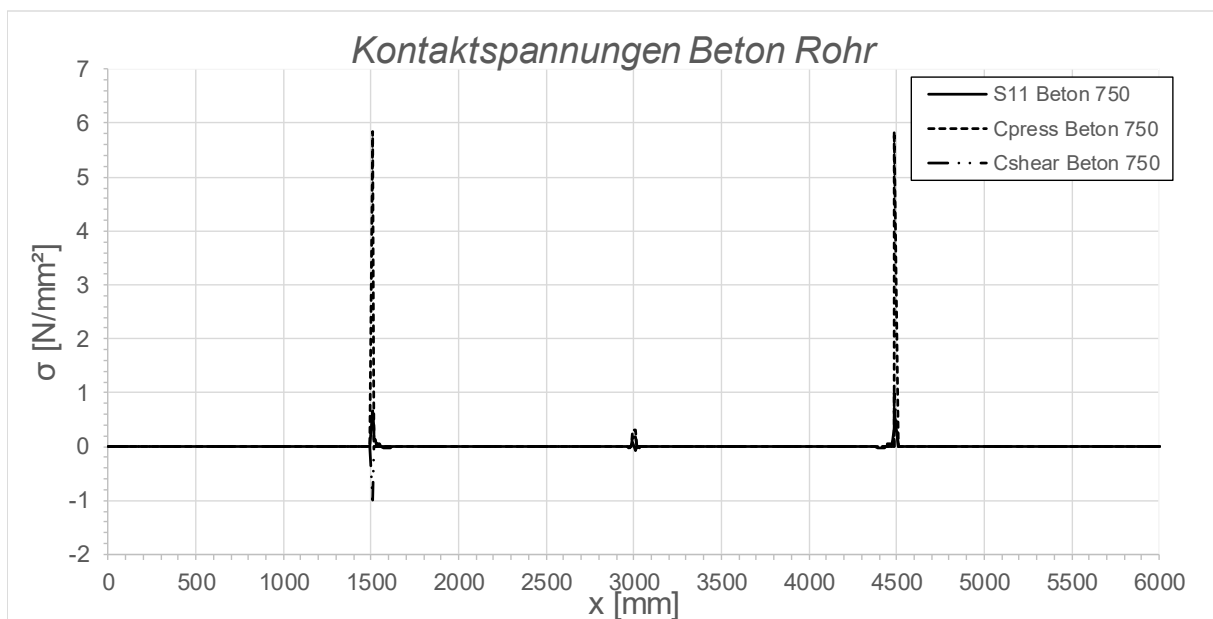


Abbildung C.154: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

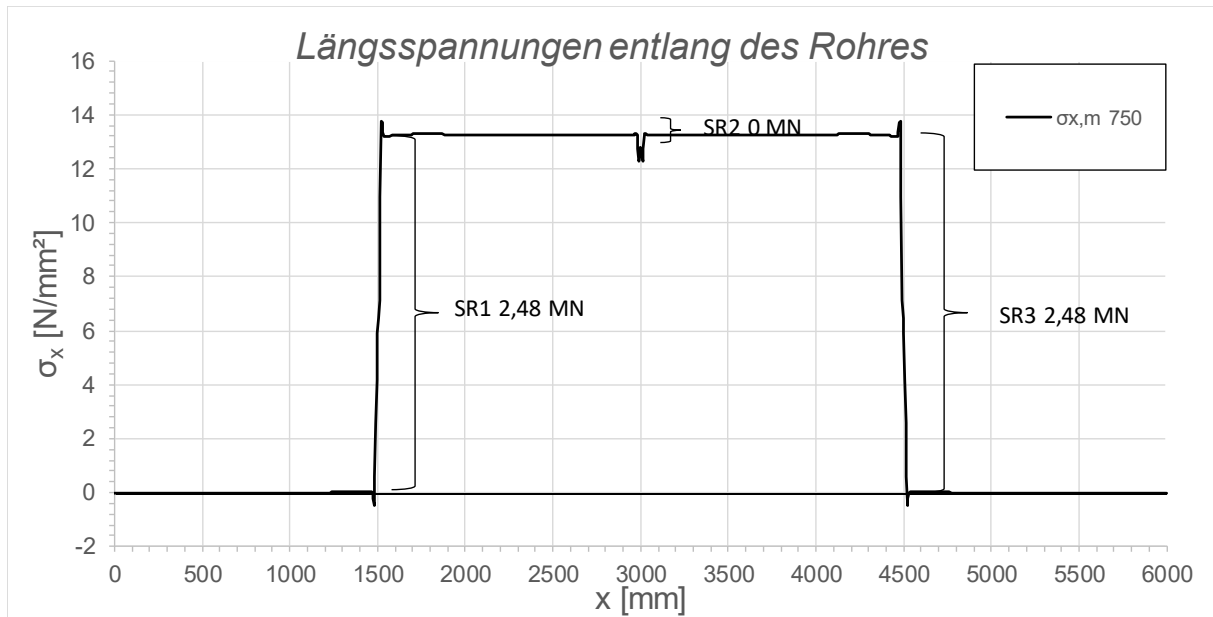


Abbildung C.155: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

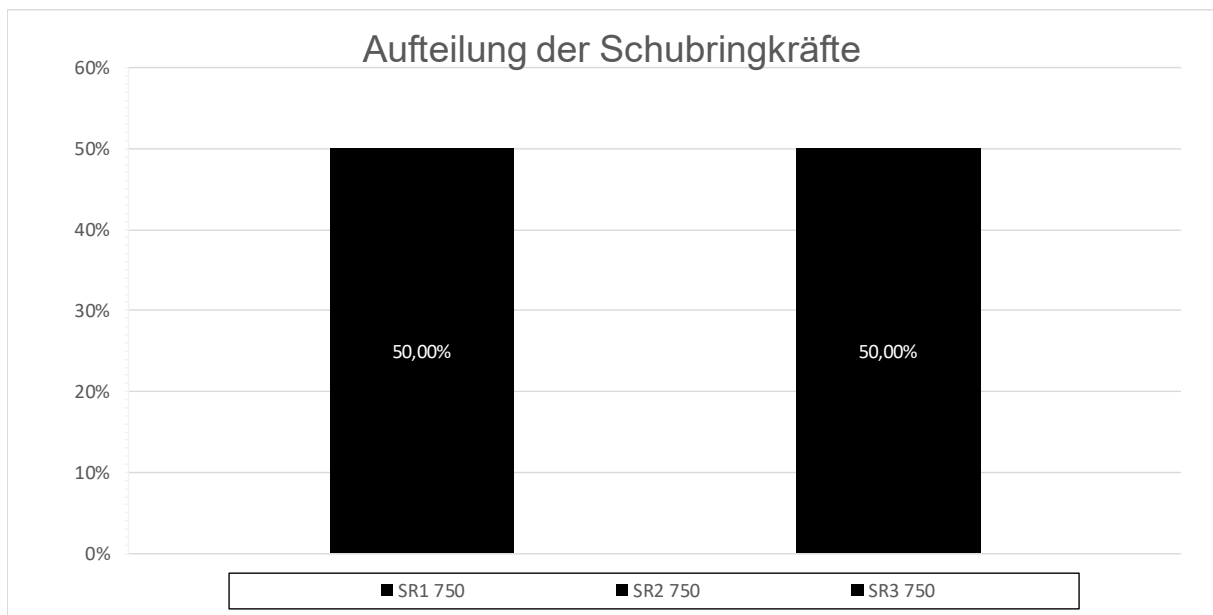


Abbildung C.156: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

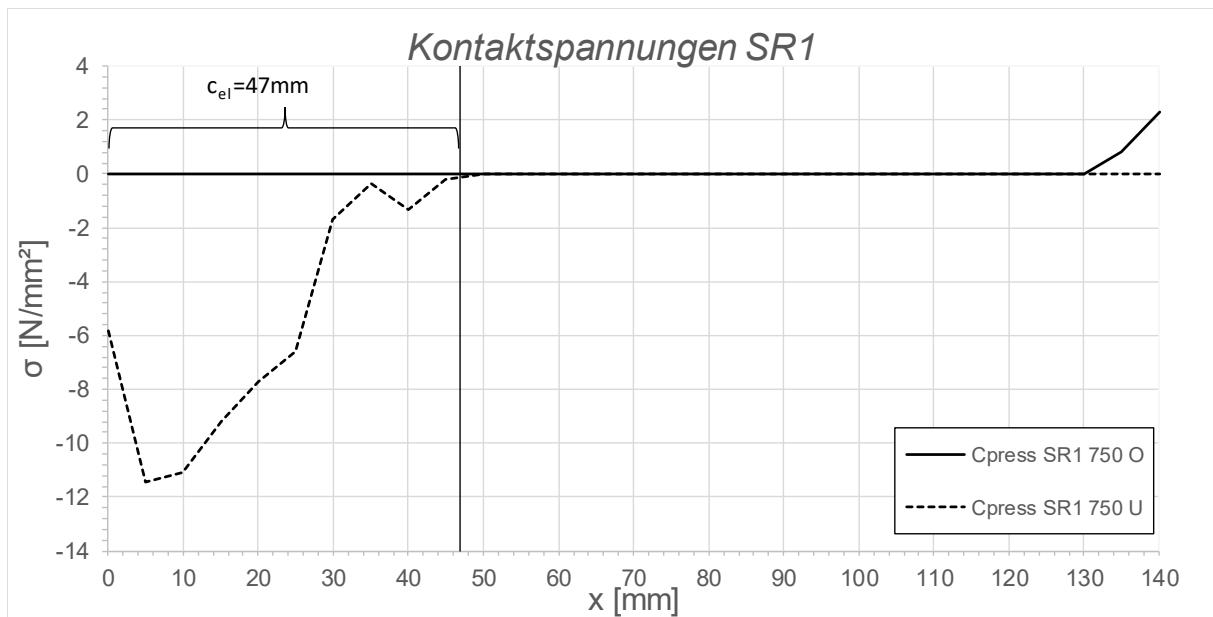


Abbildung C.157: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

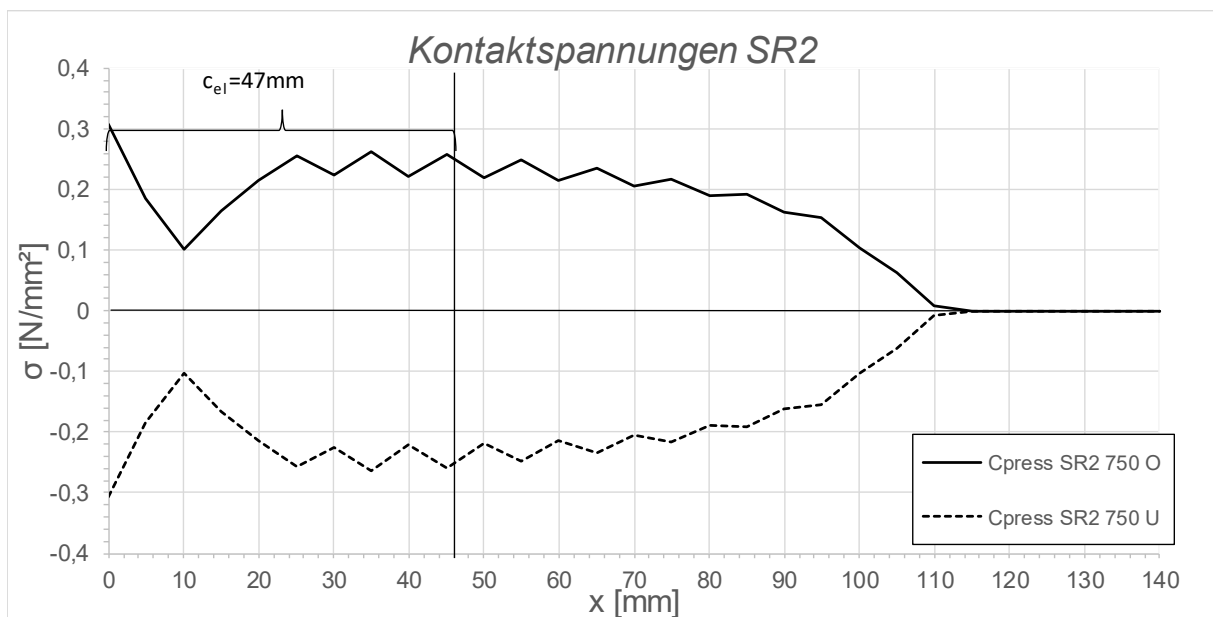


Abbildung C.158: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

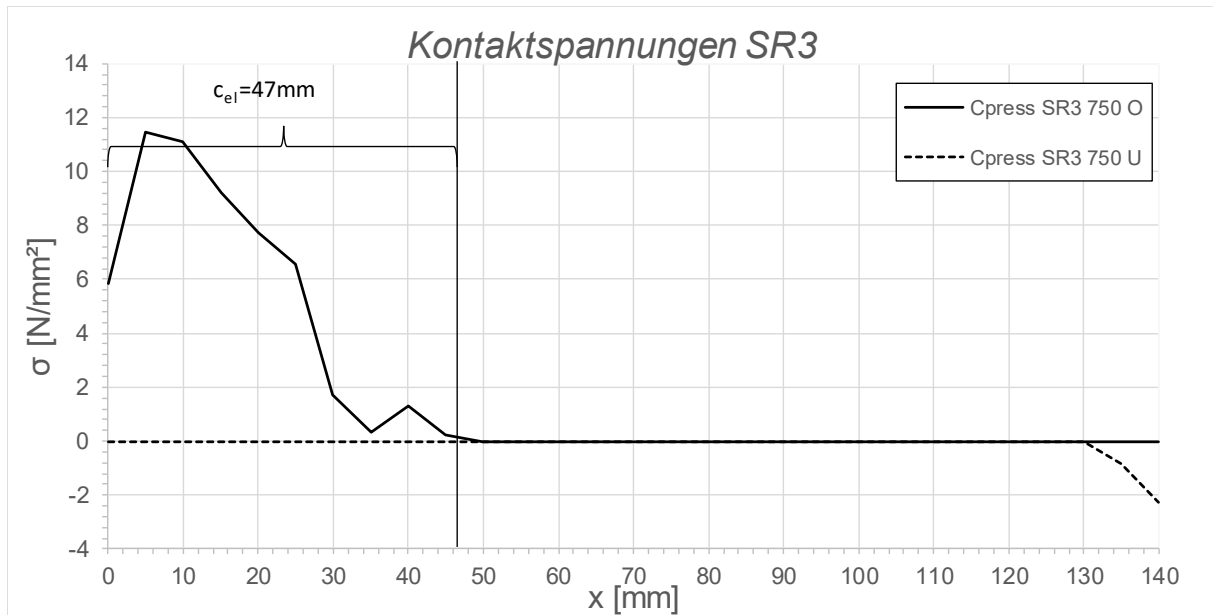


Abbildung C.159: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

C.3.2 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$

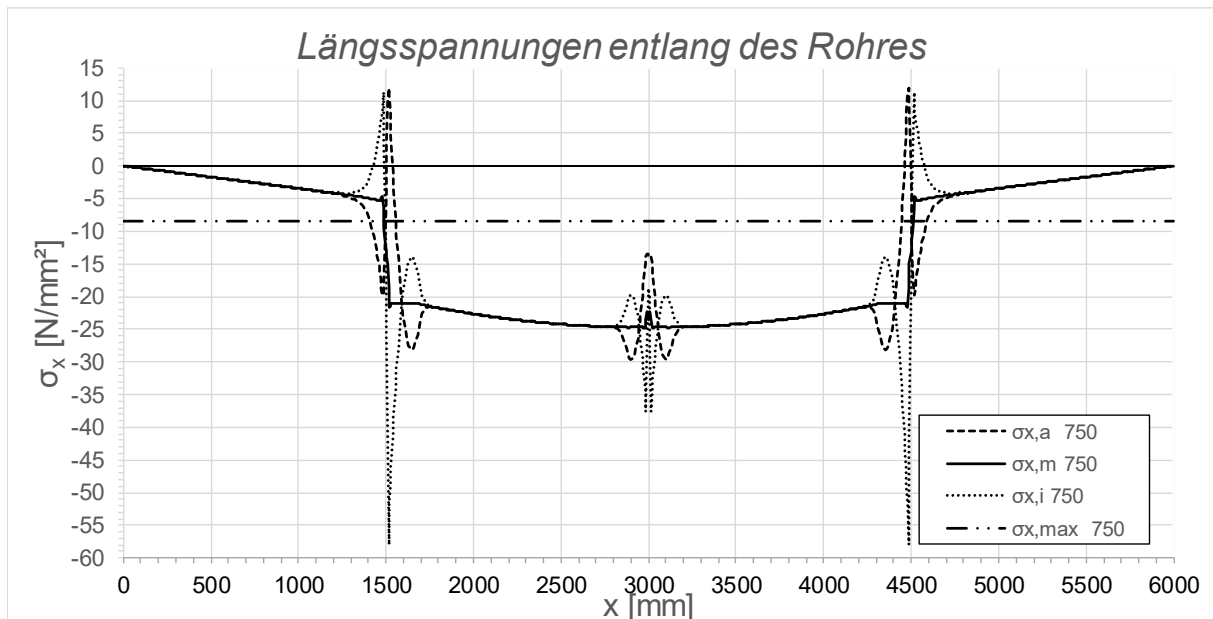


Abbildung C.160: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm²

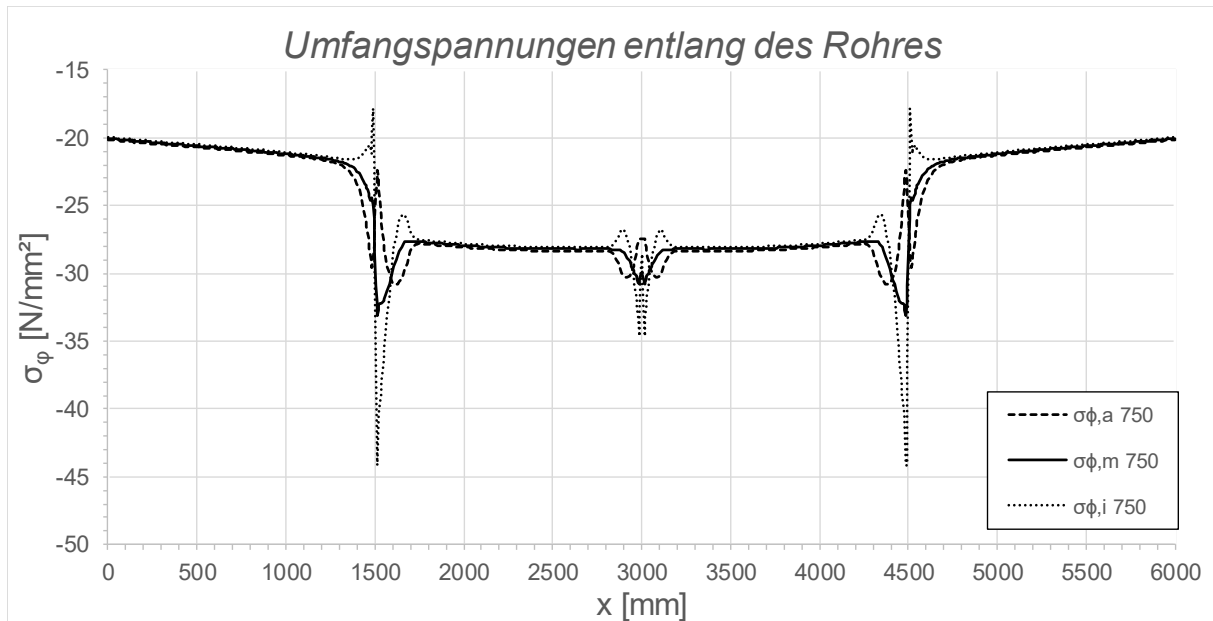


Abbildung C.161: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

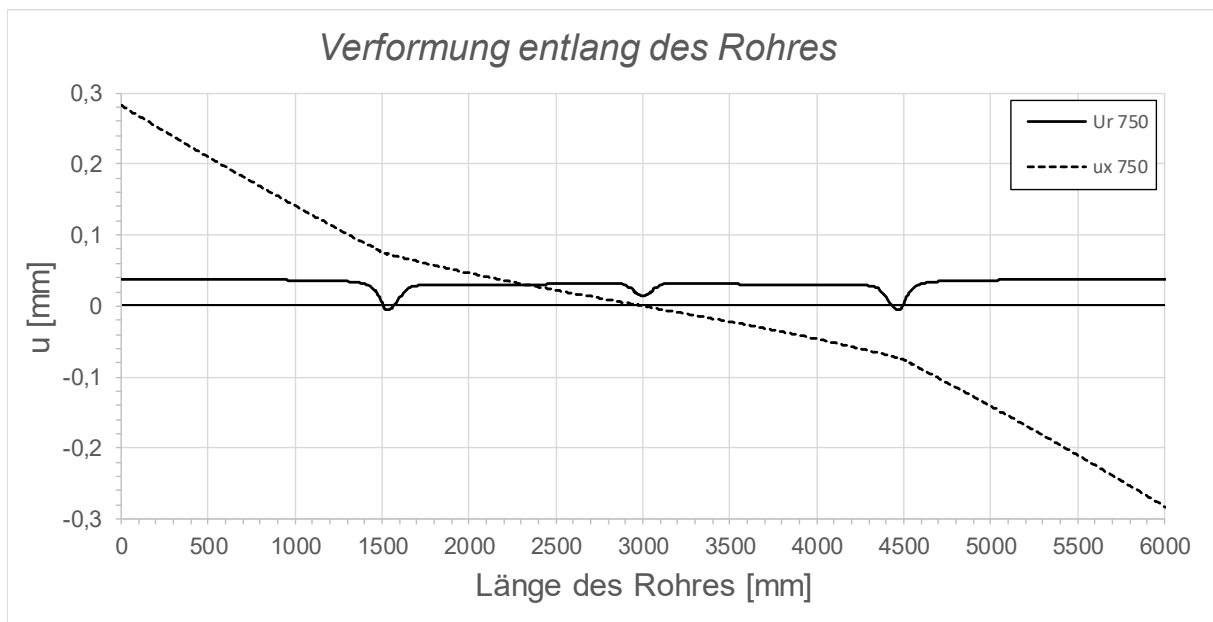


Abbildung C.162: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000$ N/mm^2

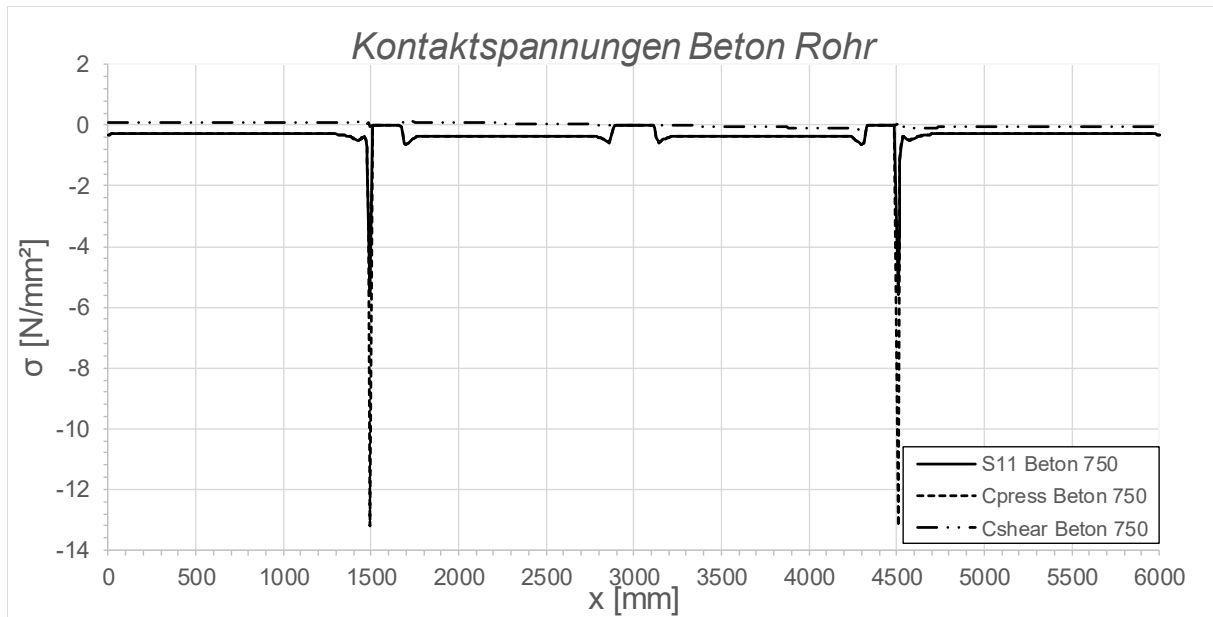


Abbildung C.163: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

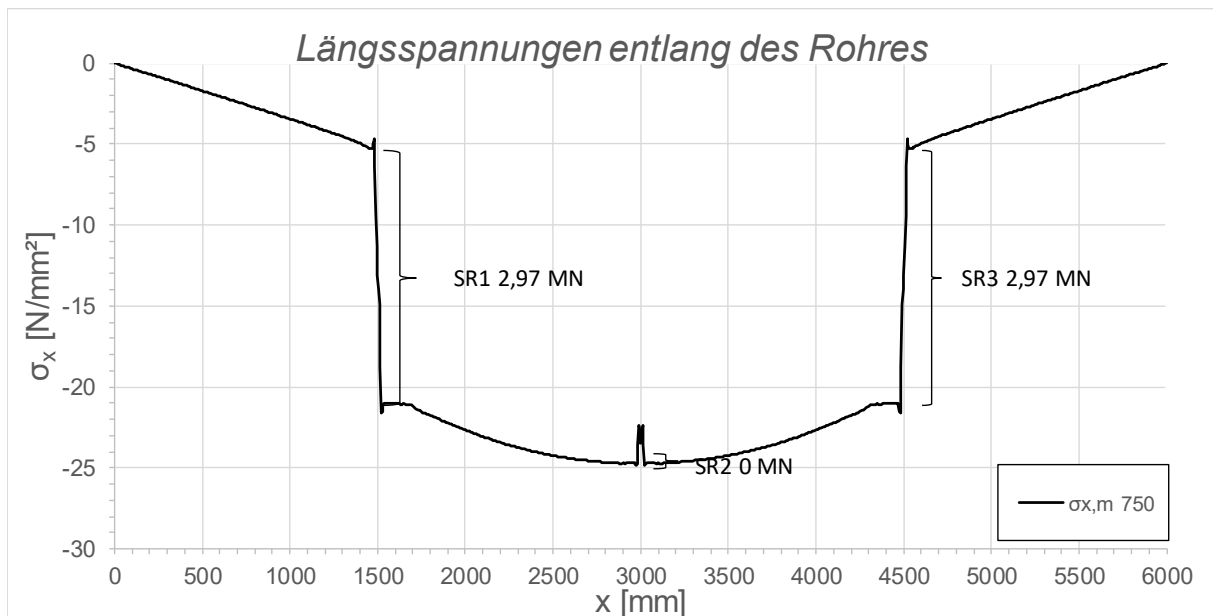


Abbildung C.164: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

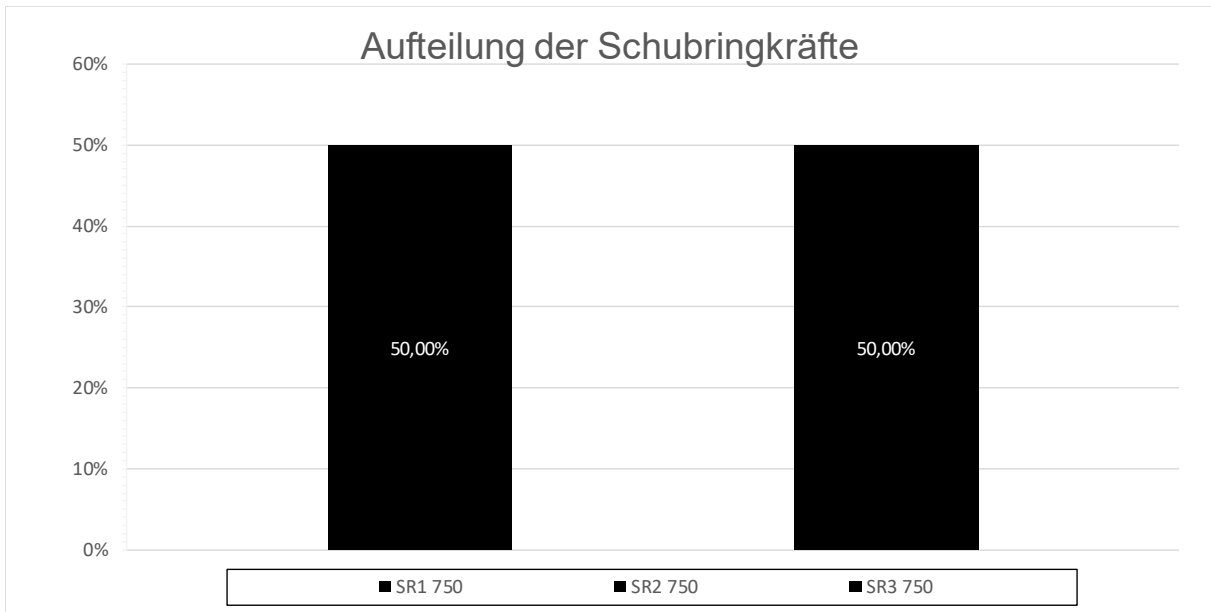


Abbildung C.165: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

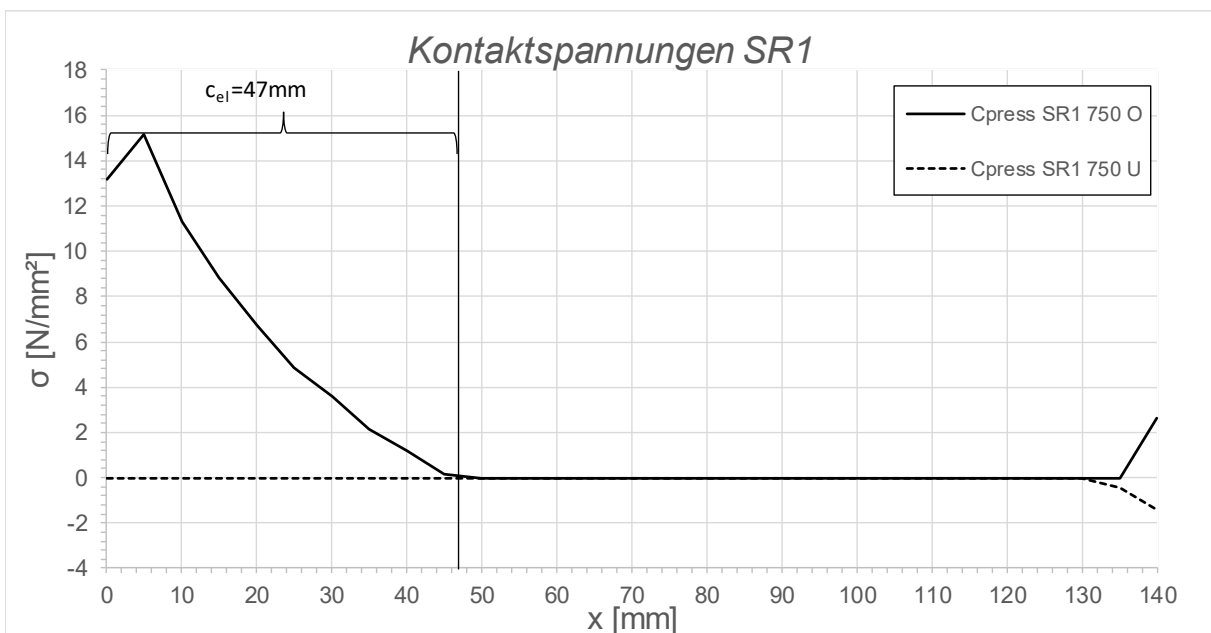


Abbildung C.166: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

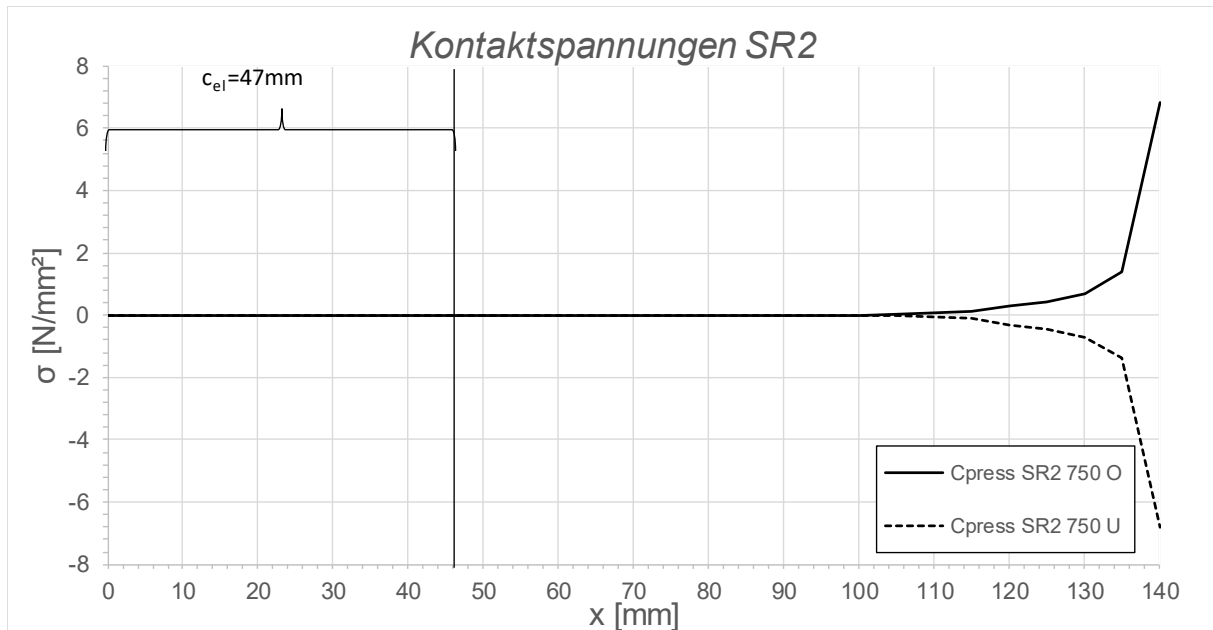


Abbildung C.167: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

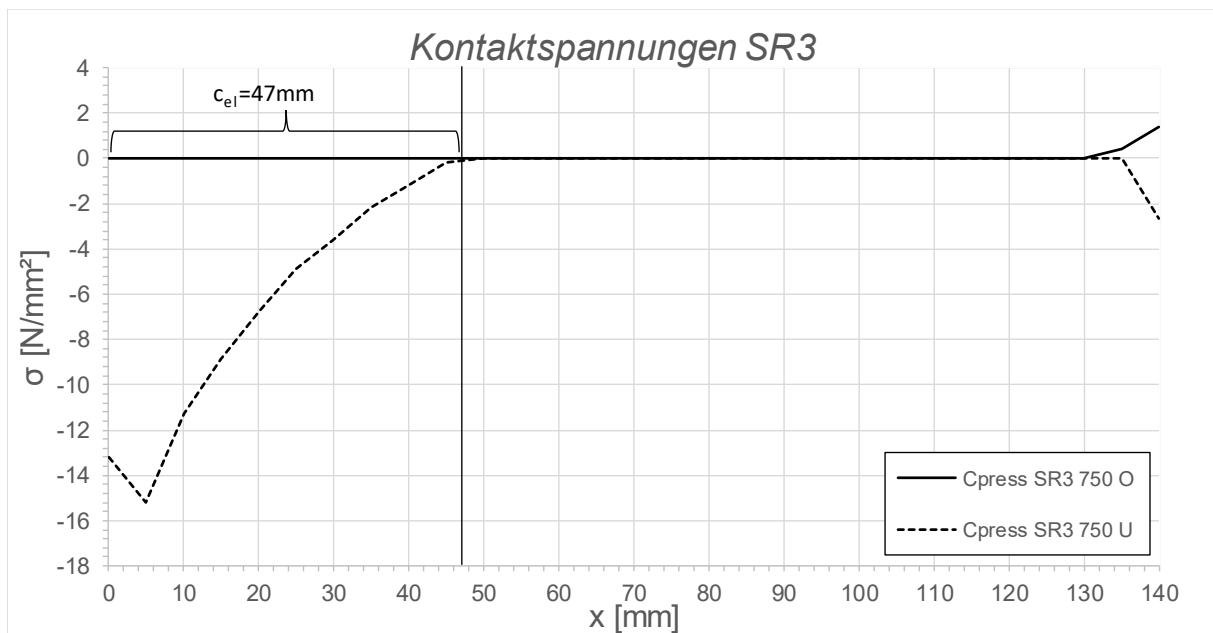


Abbildung C.168: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

C.3.3 SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

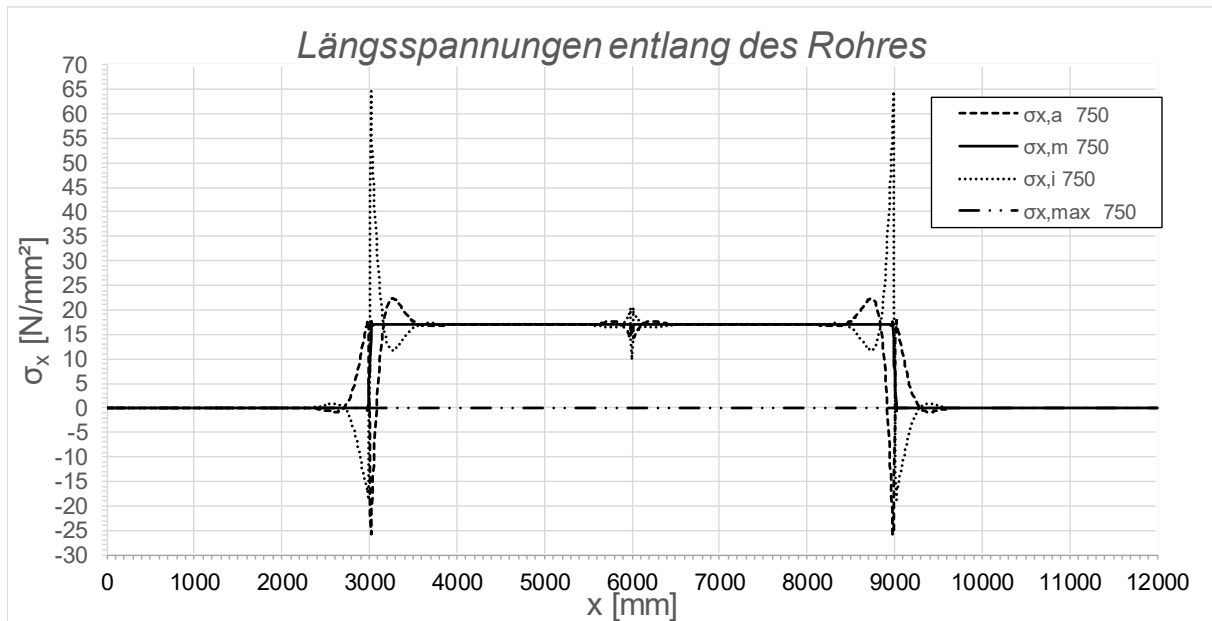


Abbildung C.169: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

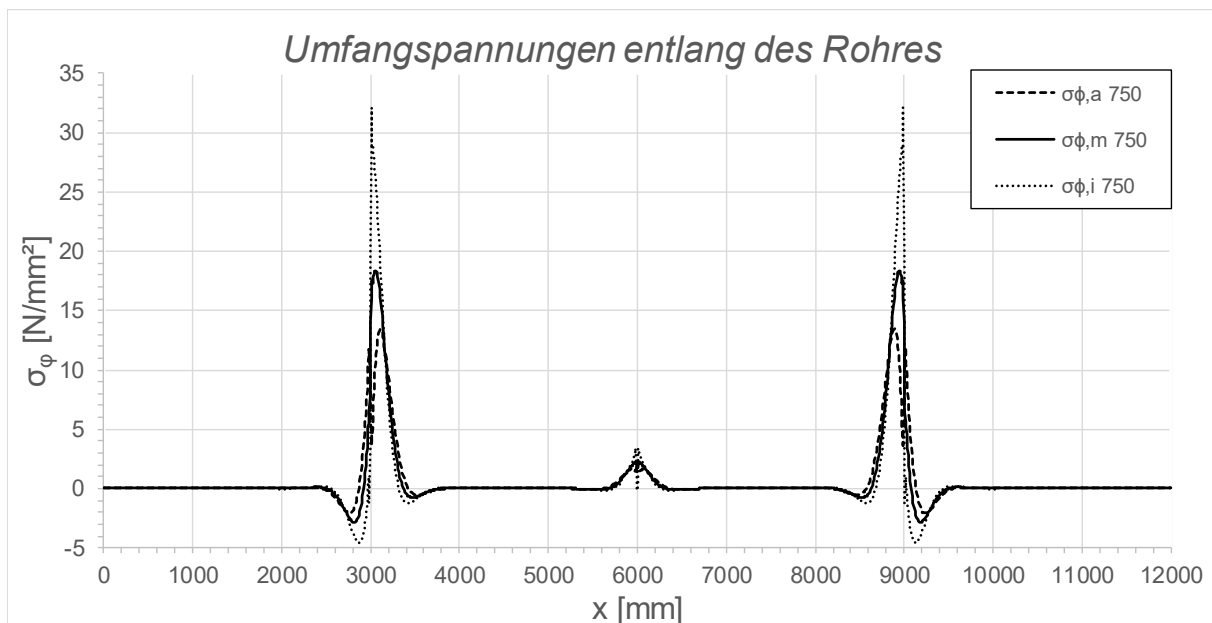


Abbildung C.170: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

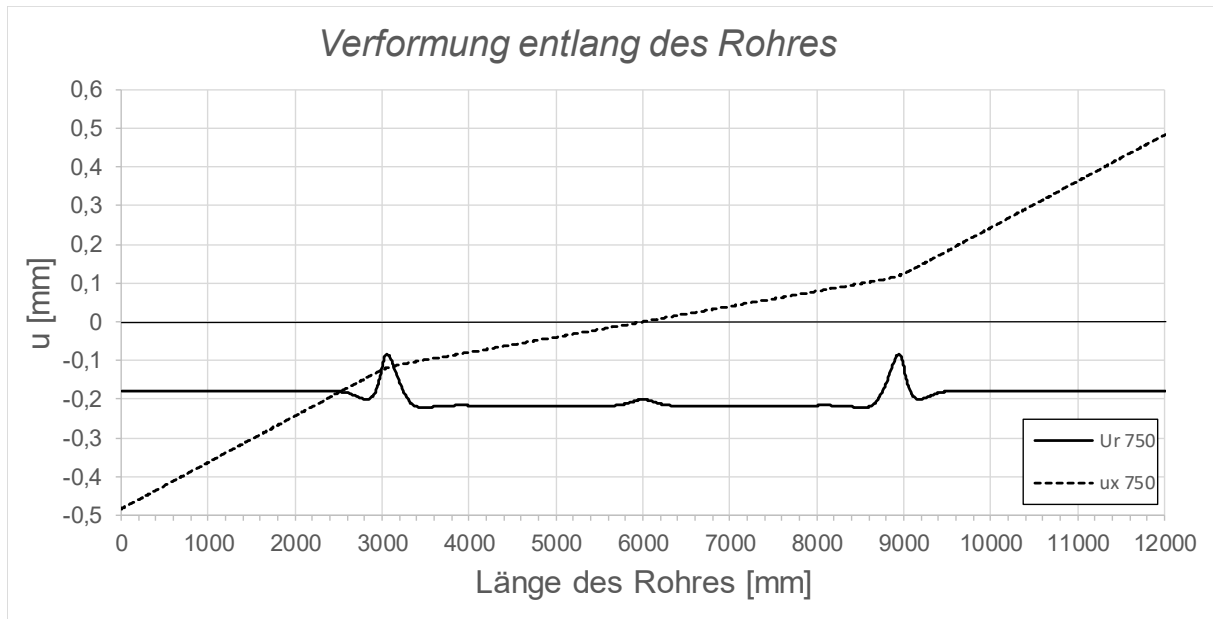


Abbildung C.171: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

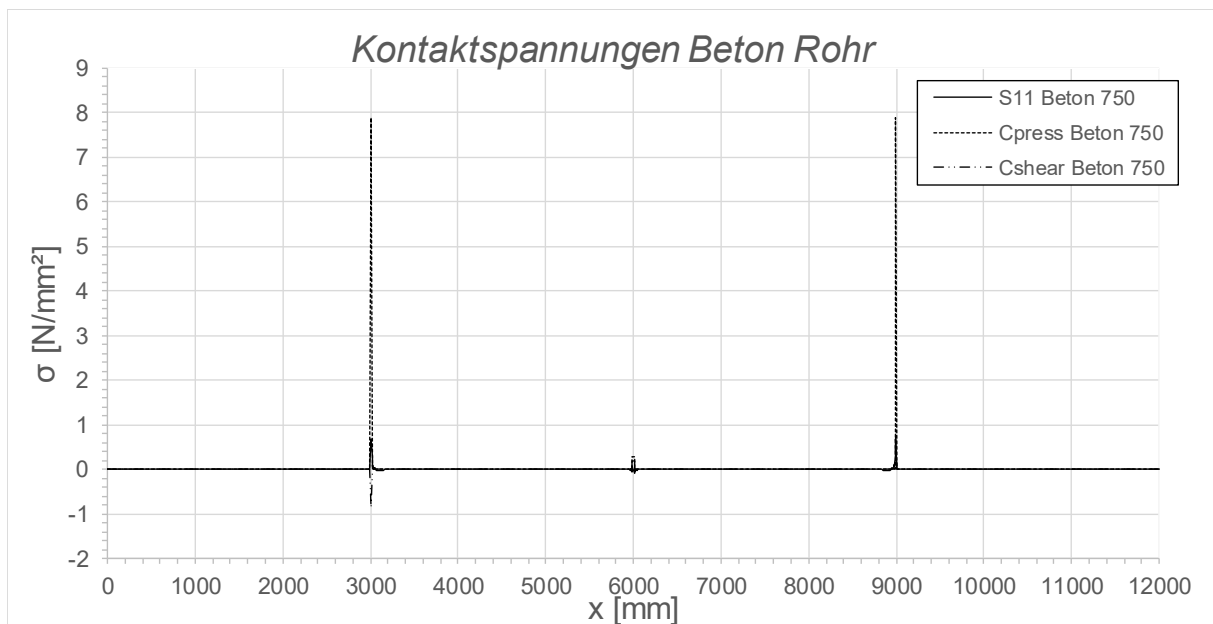


Abbildung C.172: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

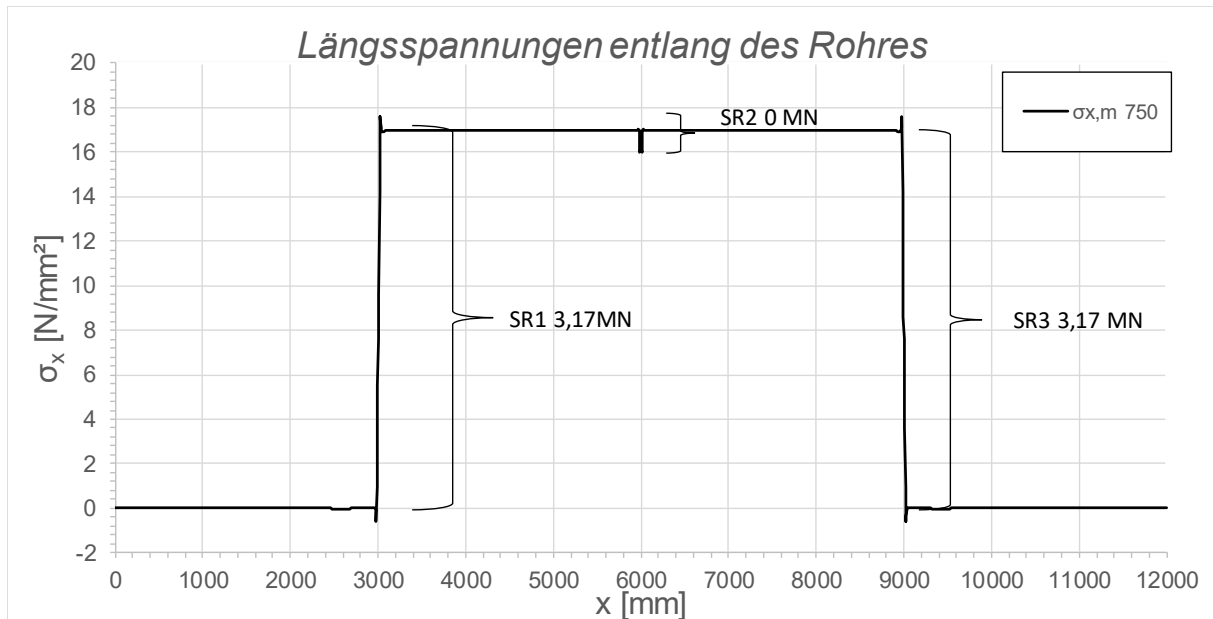


Abbildung C.173: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

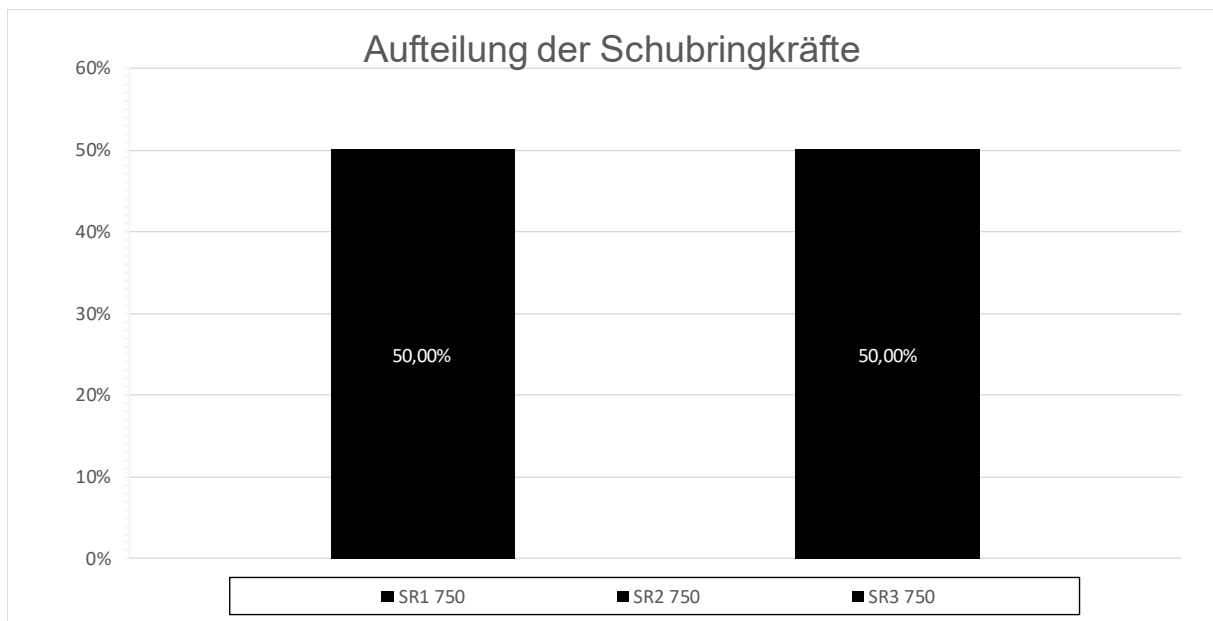


Abbildung C.174: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

C.3.4 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

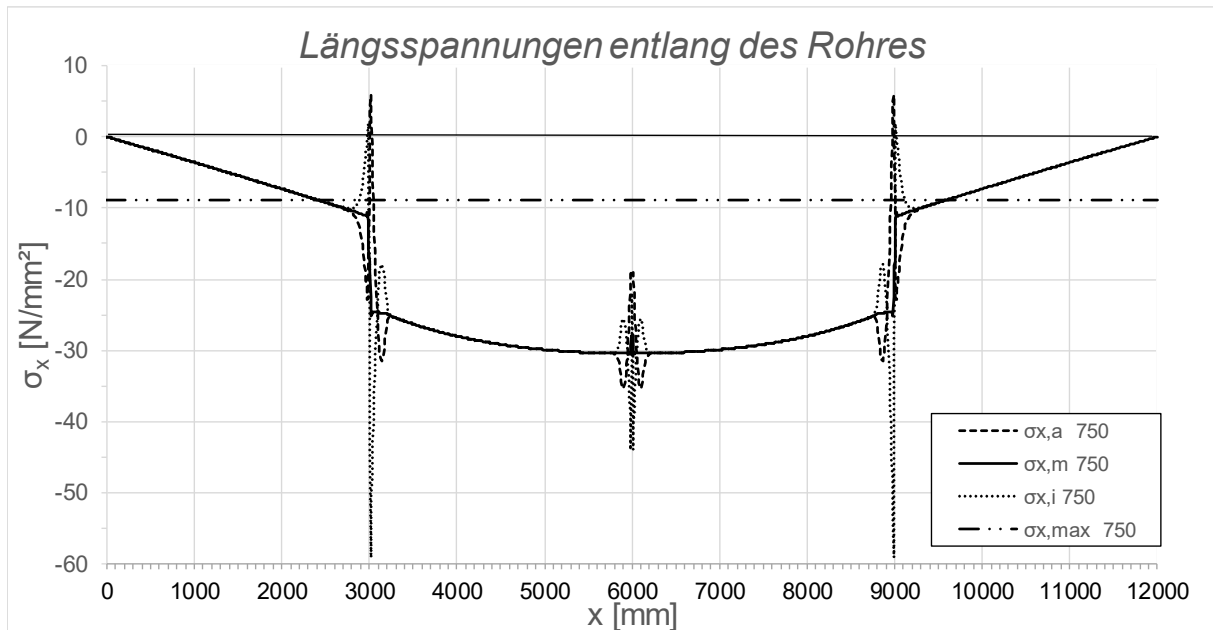


Abbildung C.175: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

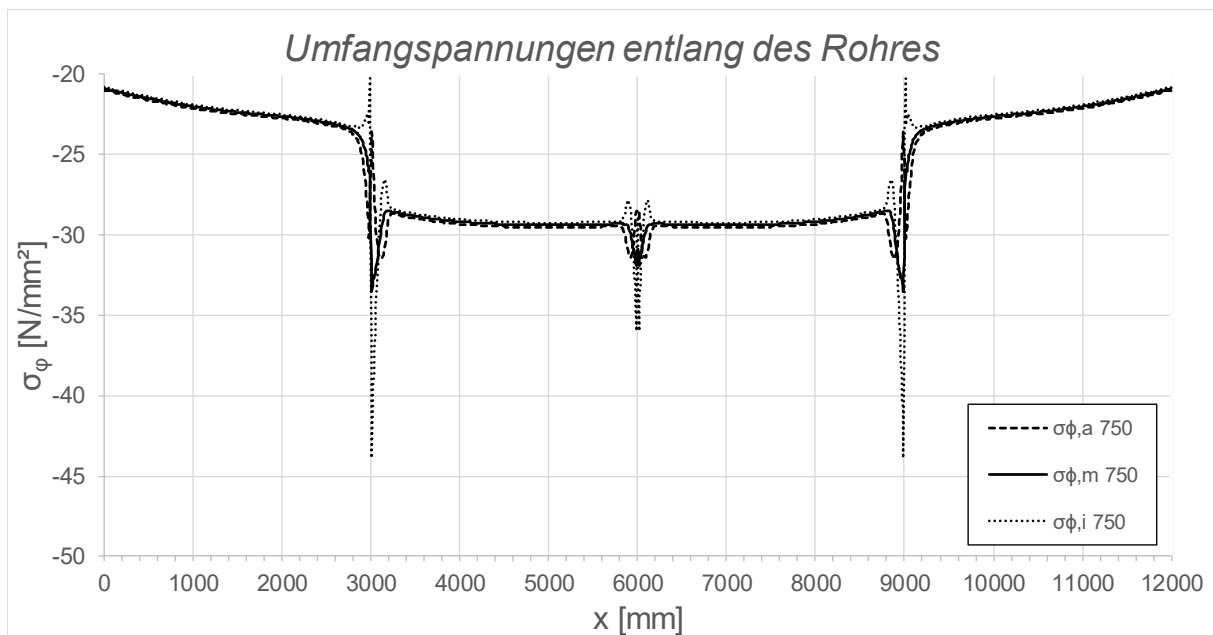


Abbildung C.176: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 140 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000 \text{ N/mm}^2$

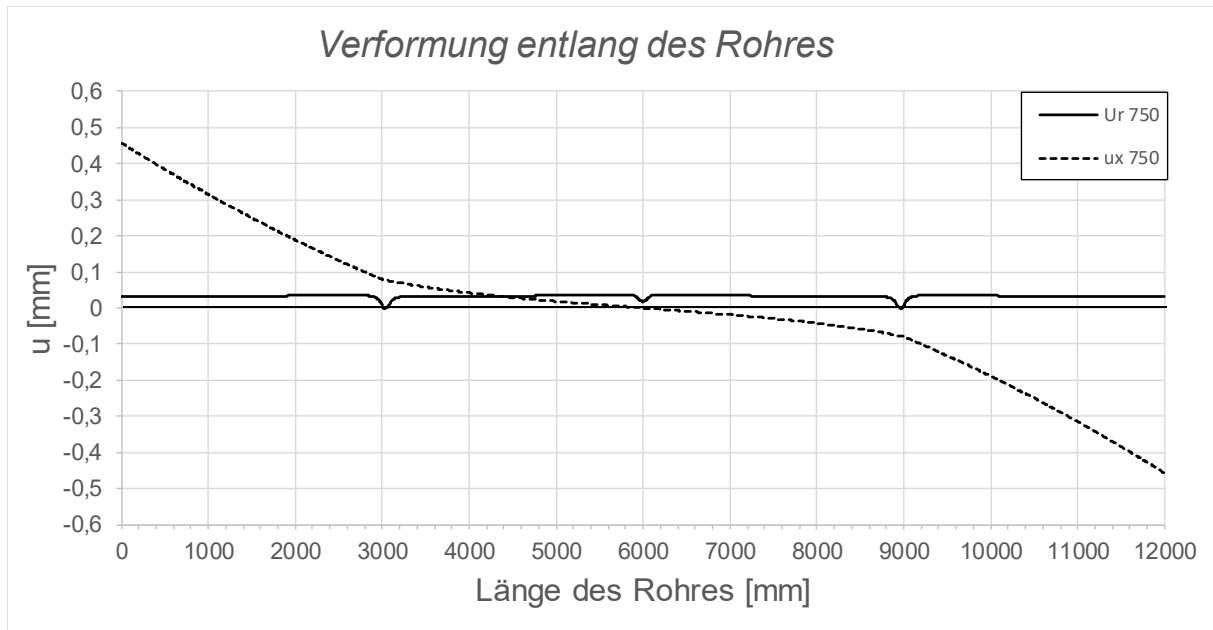


Abbildung C.177: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

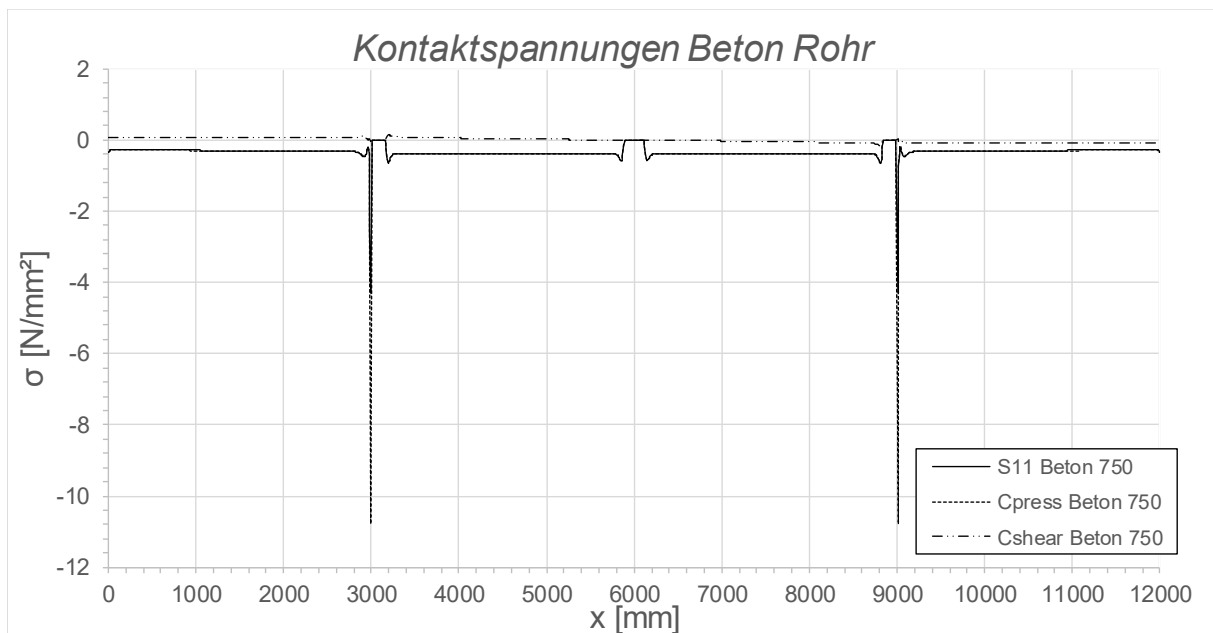


Abbildung C.178: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

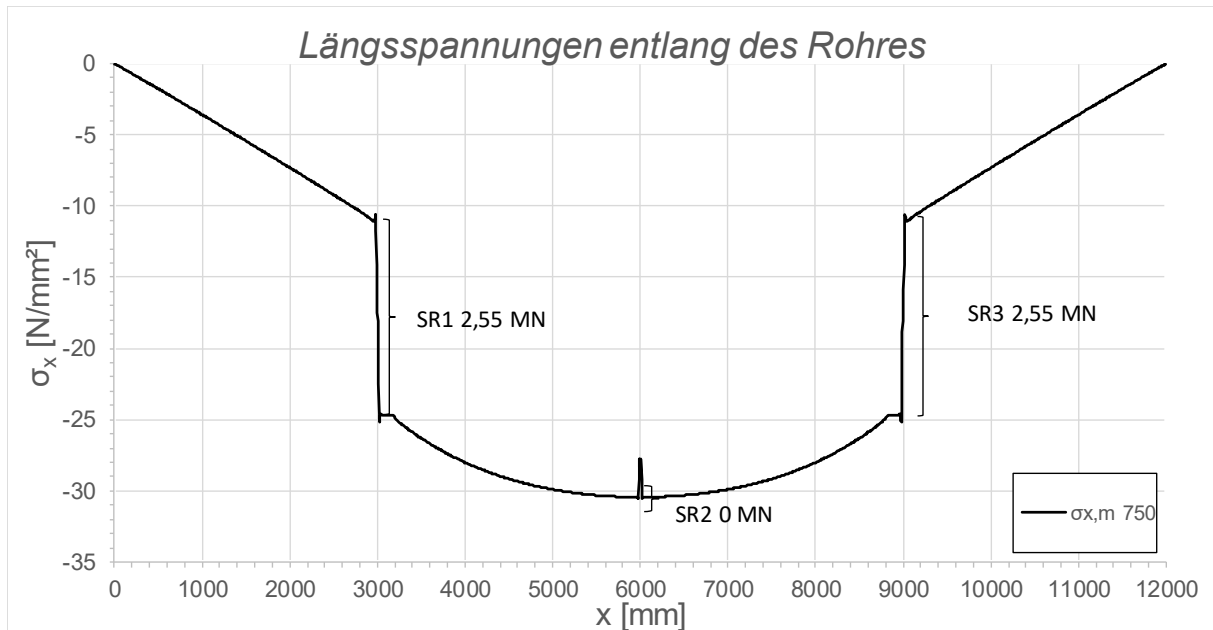


Abbildung C.179: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

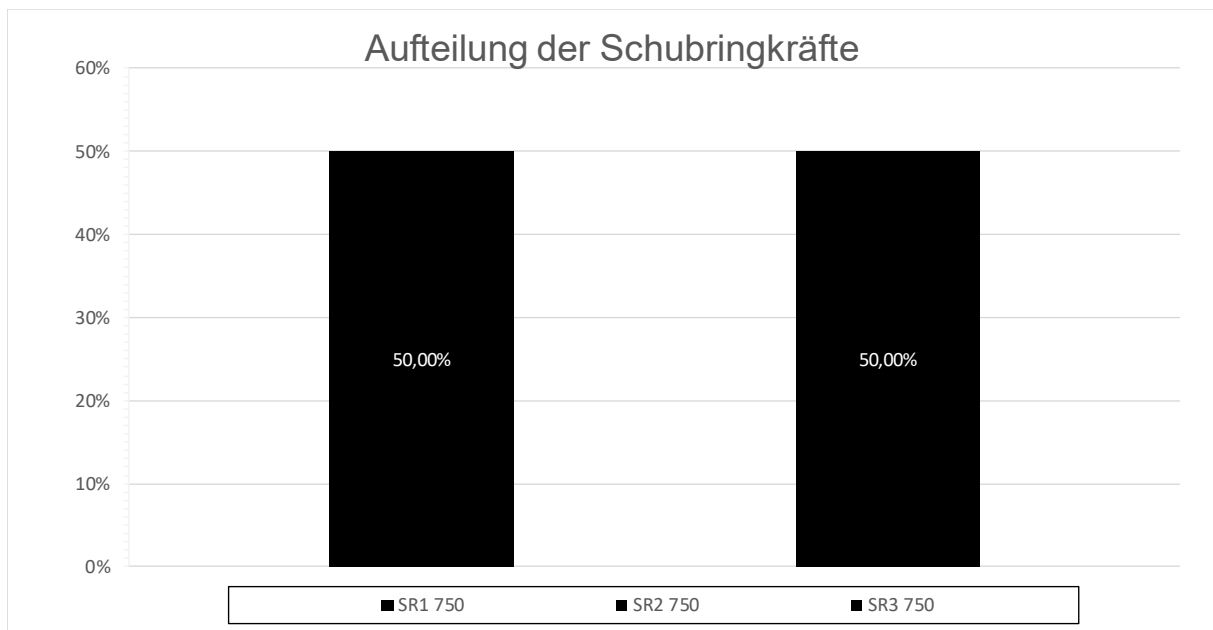


Abbildung C.180: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 20$ mm, $h_{\text{Ring}} = 140$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 7000$ N/mm²

C.3.5 SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

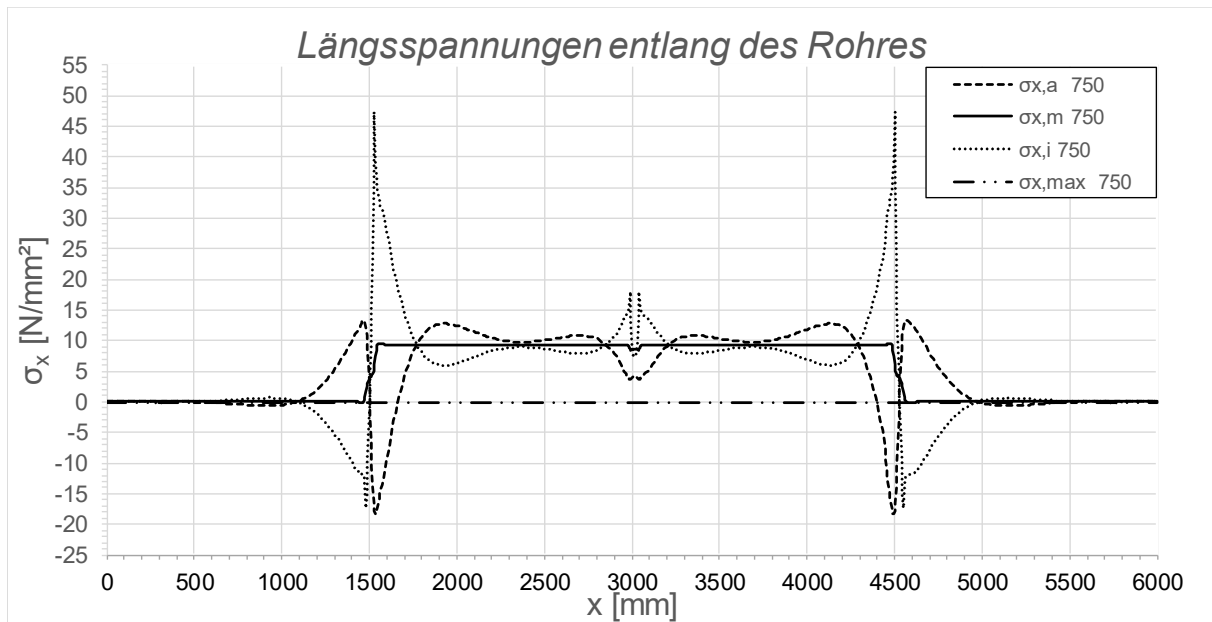


Abbildung C.181: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

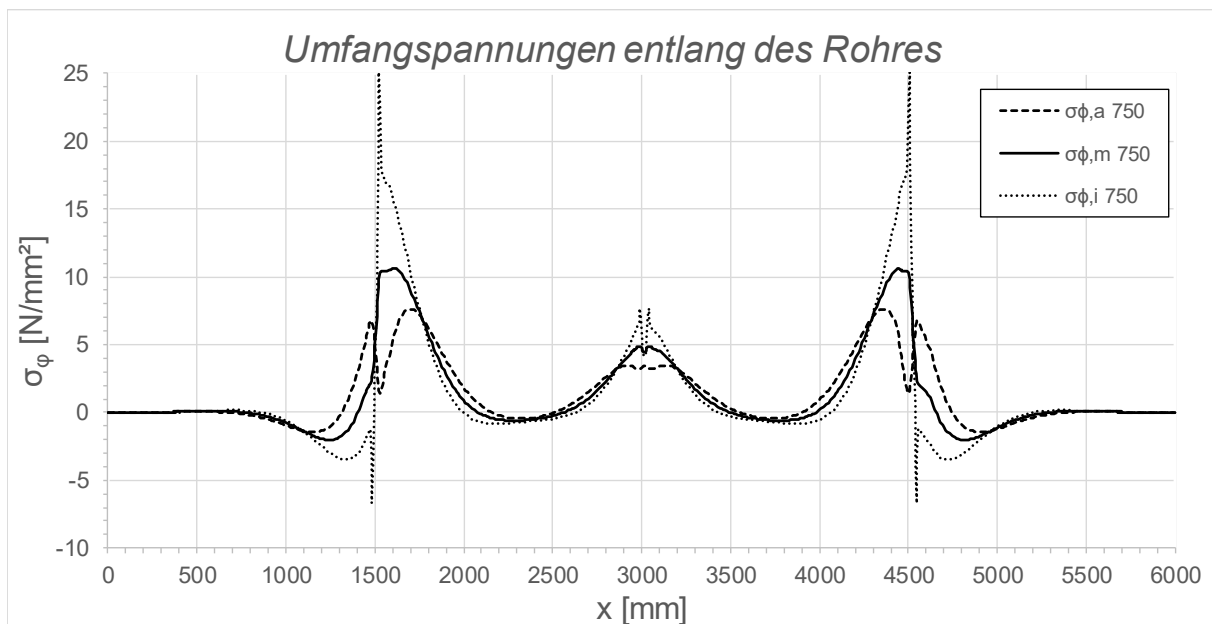


Abbildung C.182: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

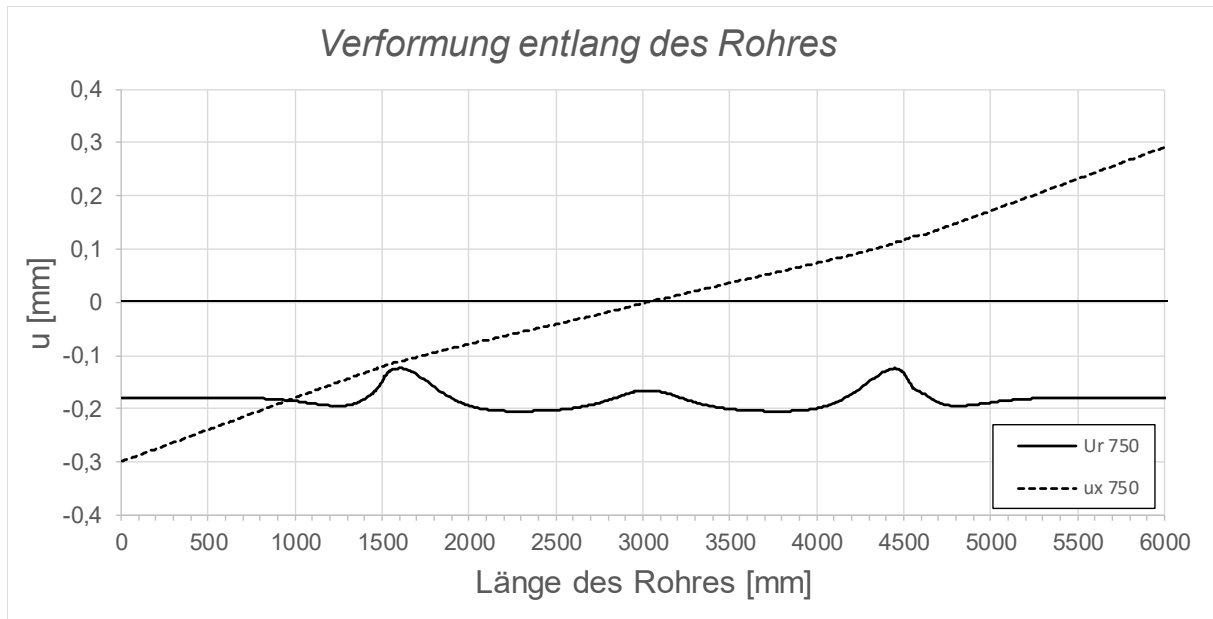


Abbildung C.183: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

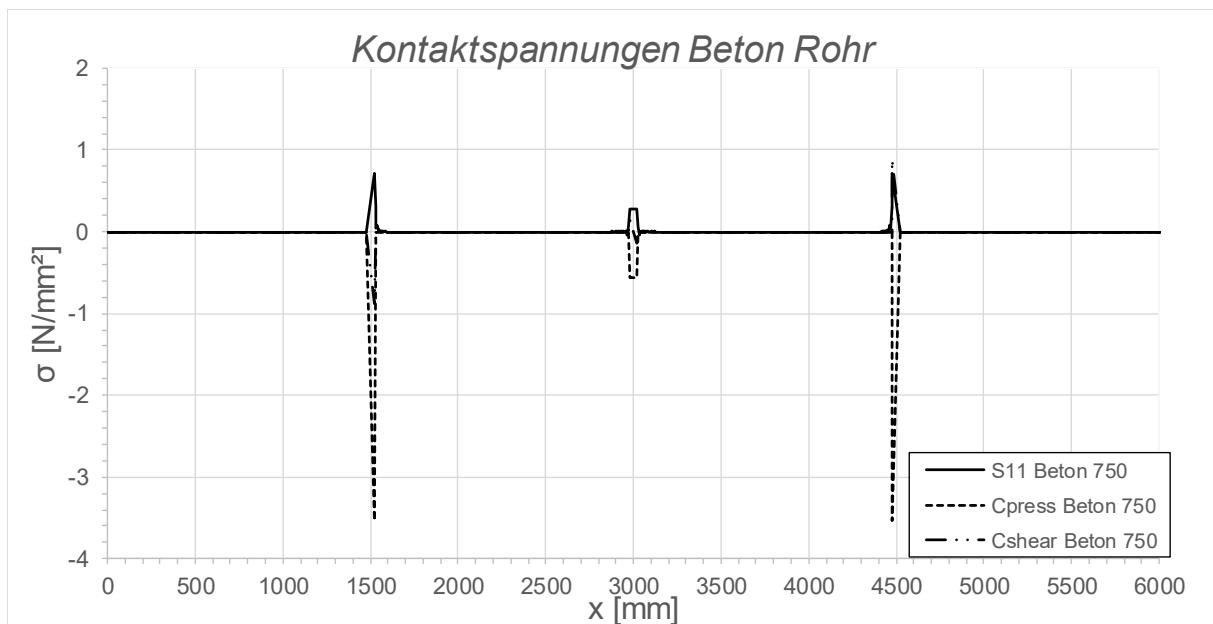


Abbildung C.184: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

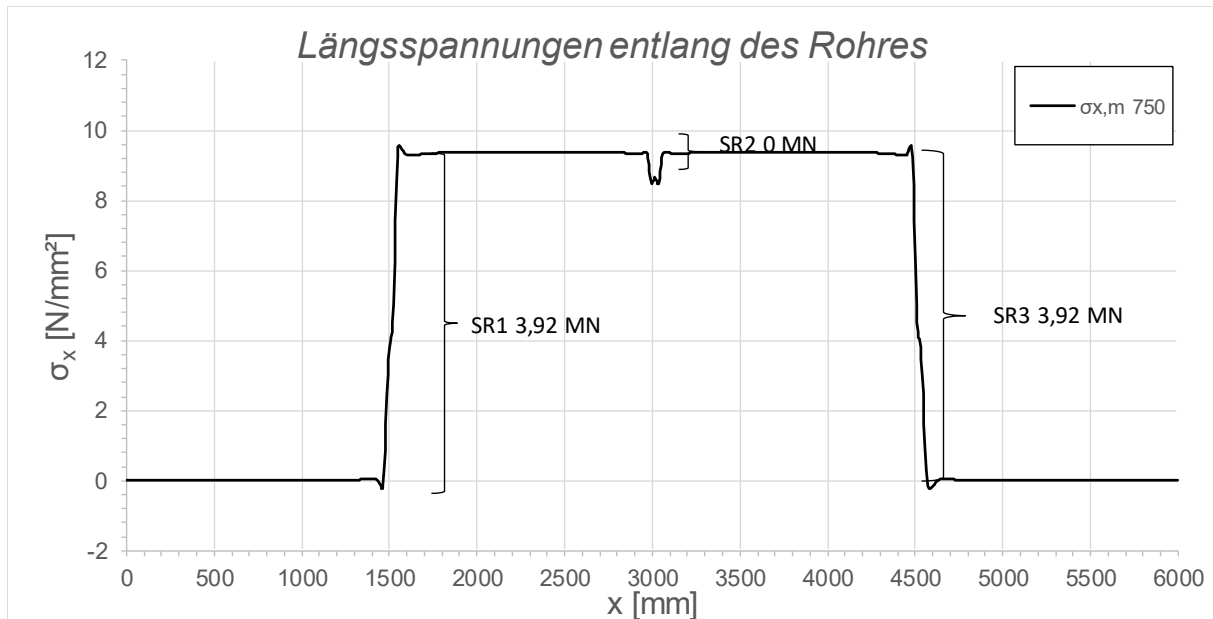


Abbildung C.185: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

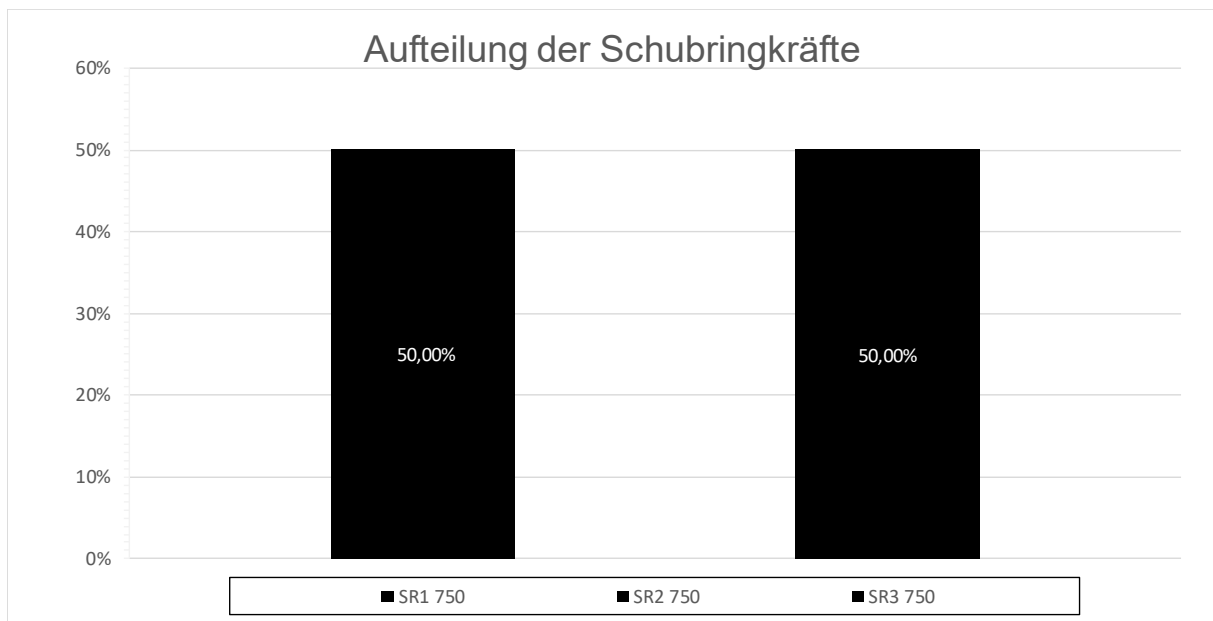


Abbildung C.186: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

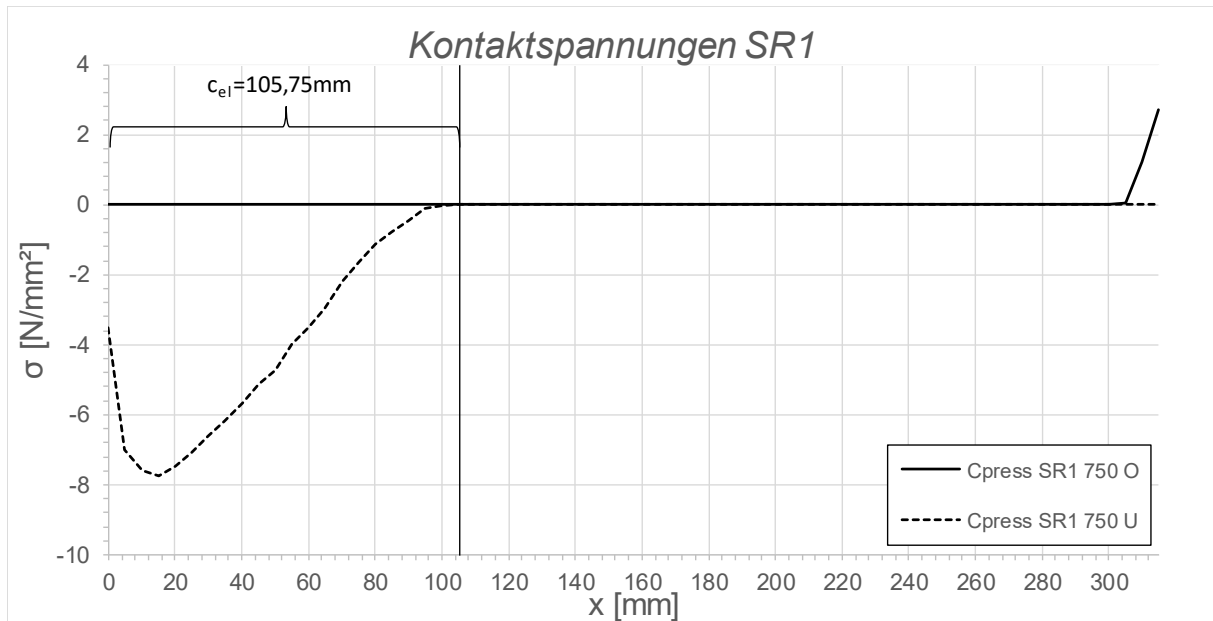


Abbildung C.187: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF2 - 10° C,
 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

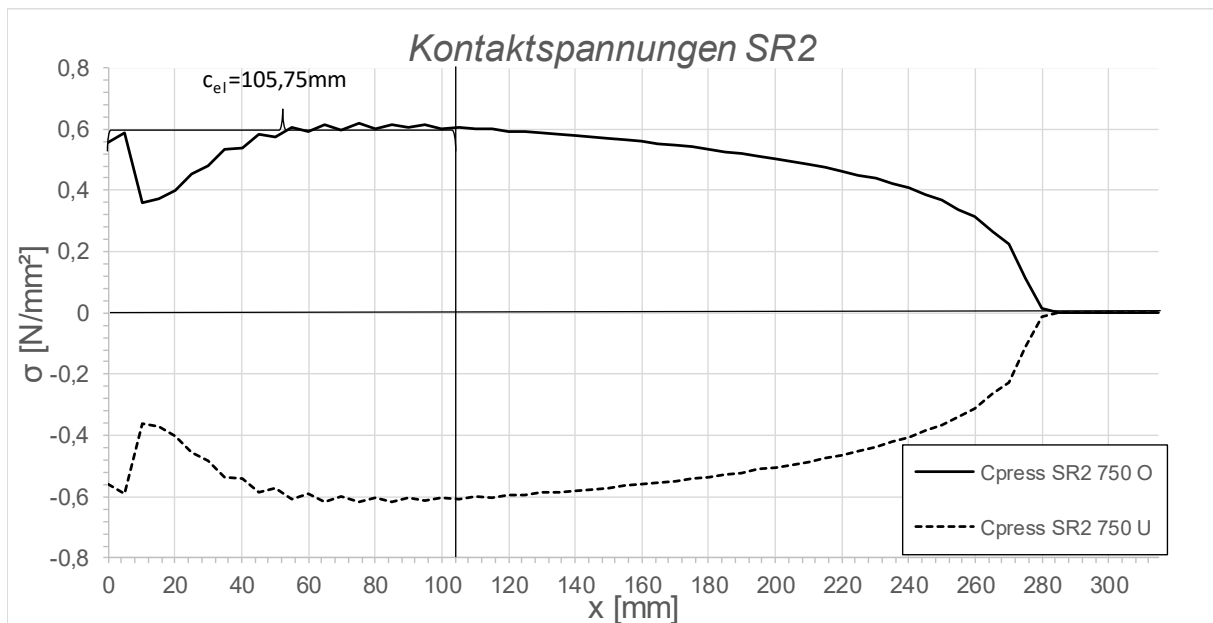


Abbildung C.188: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF2 - 10° C,
 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_C = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

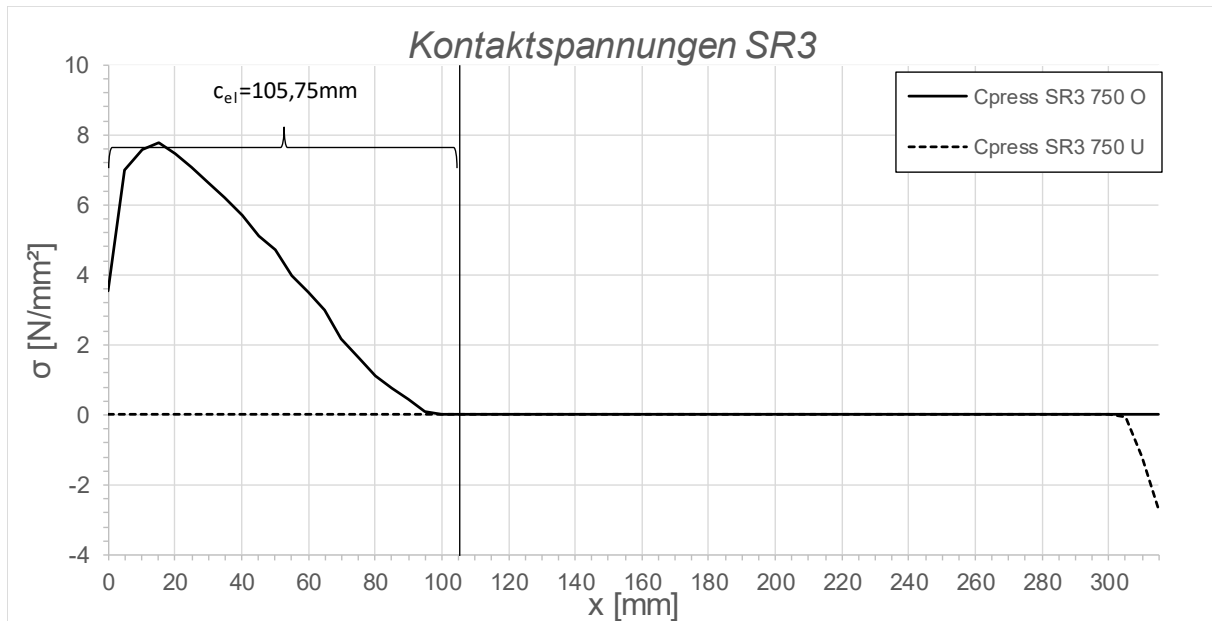


Abbildung C.189: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF2 - 10°C ,
 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

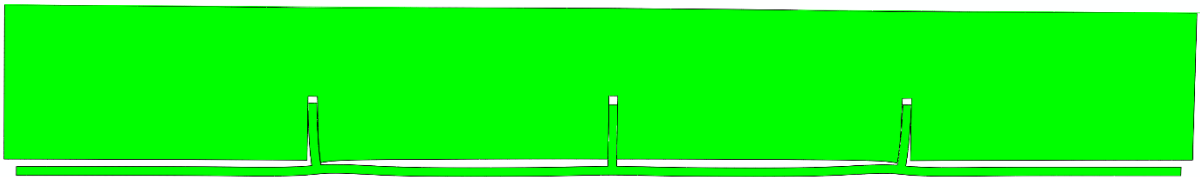


Abbildung C.190: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF2 - 10°C ,
 $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

C.3.6 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

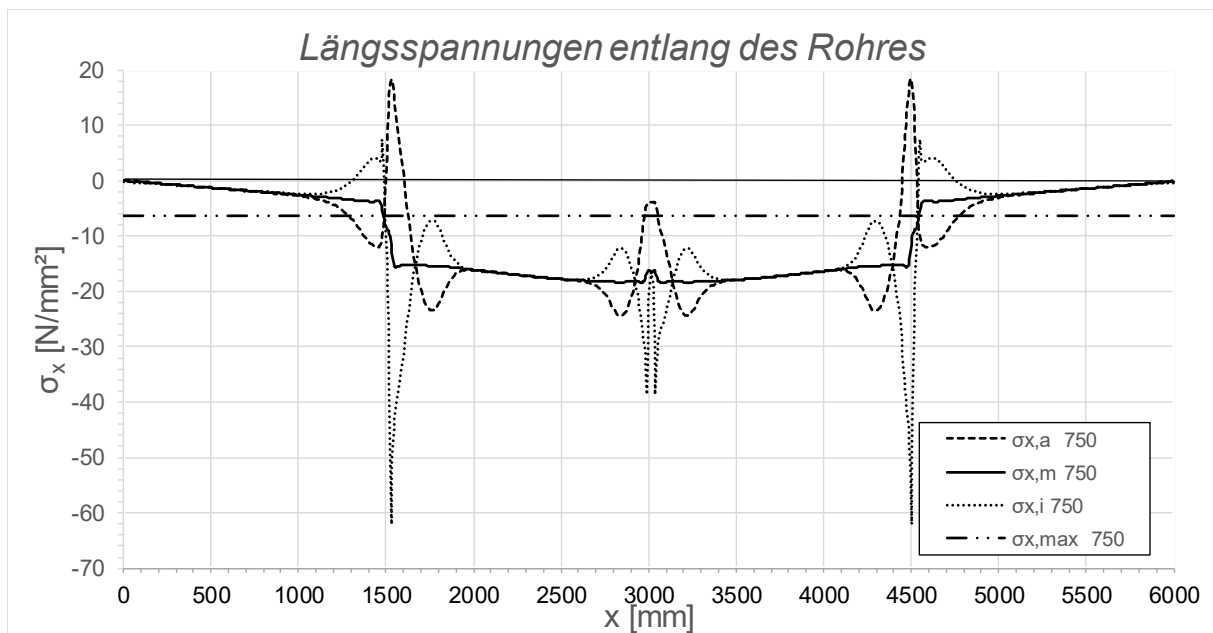


Abbildung C.191: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_f = 4000 \text{ N/mm}^2$

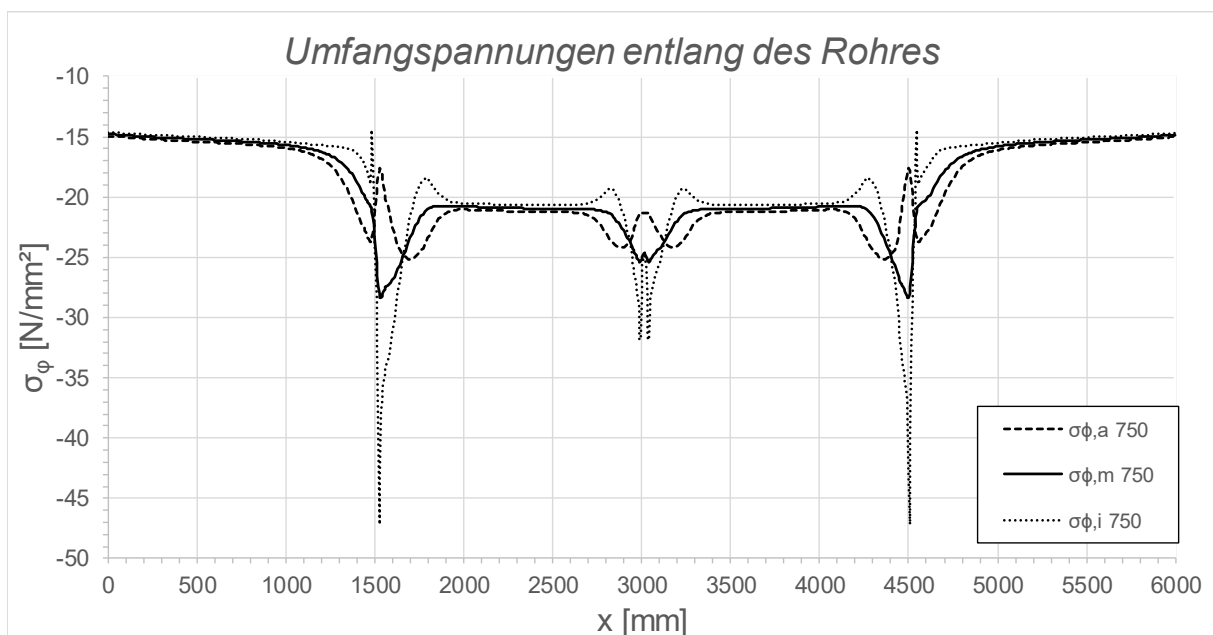


Abbildung C.192: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_f = 4000 \text{ N/mm}^2$

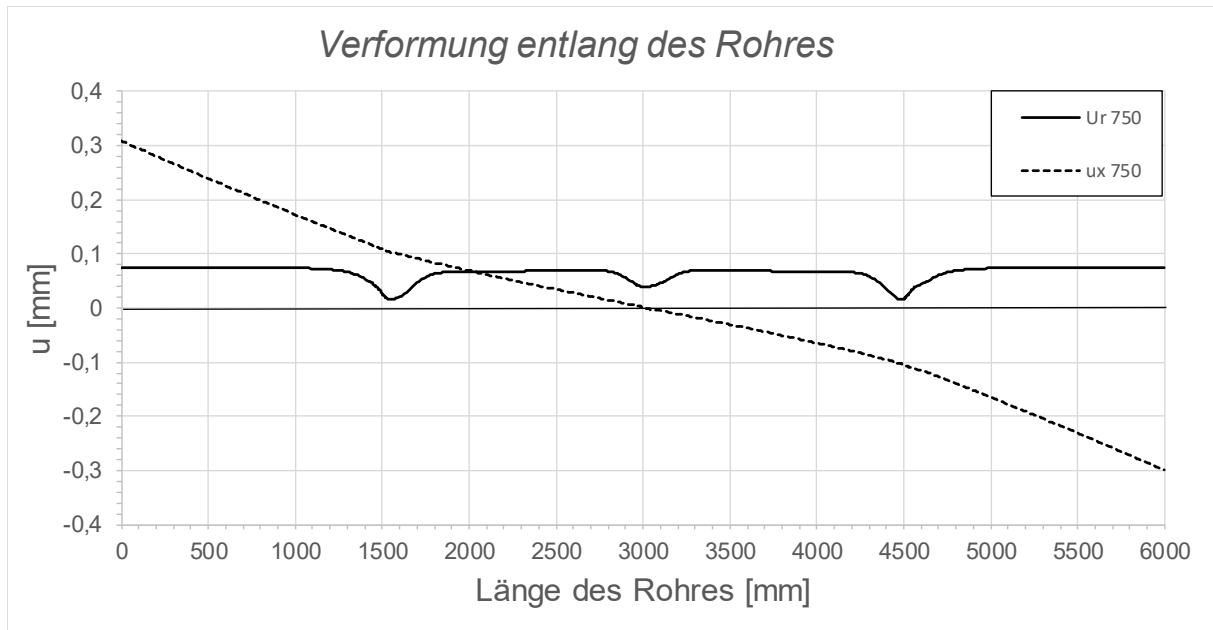


Abbildung C.193: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

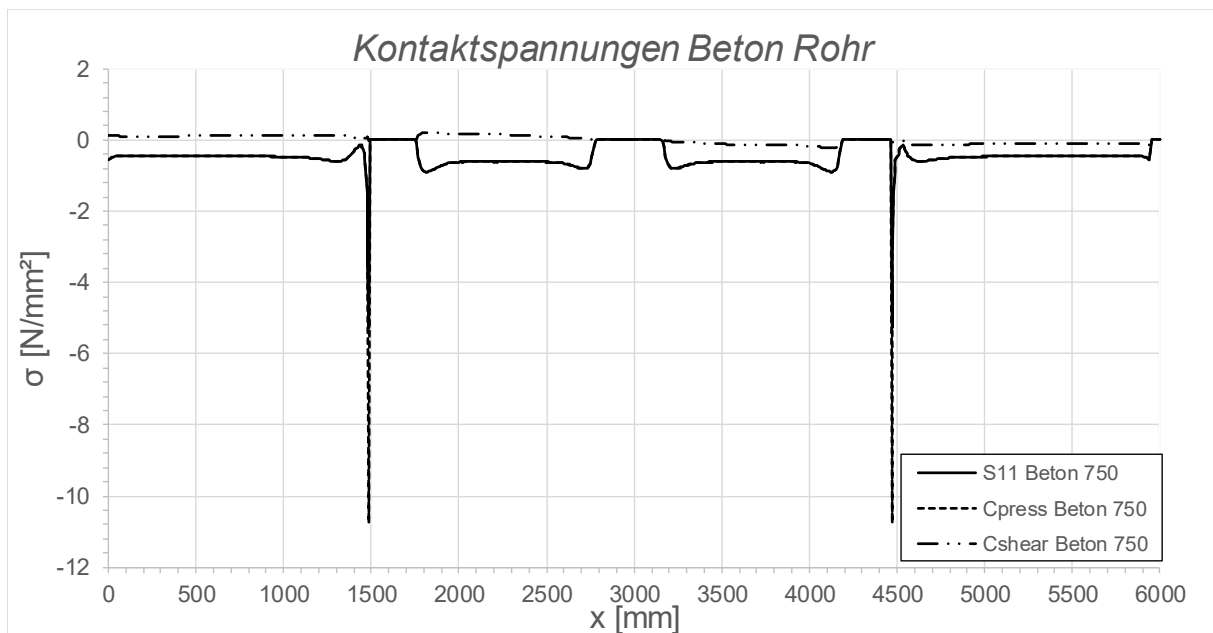


Abbildung C.194: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000$ N/mm²

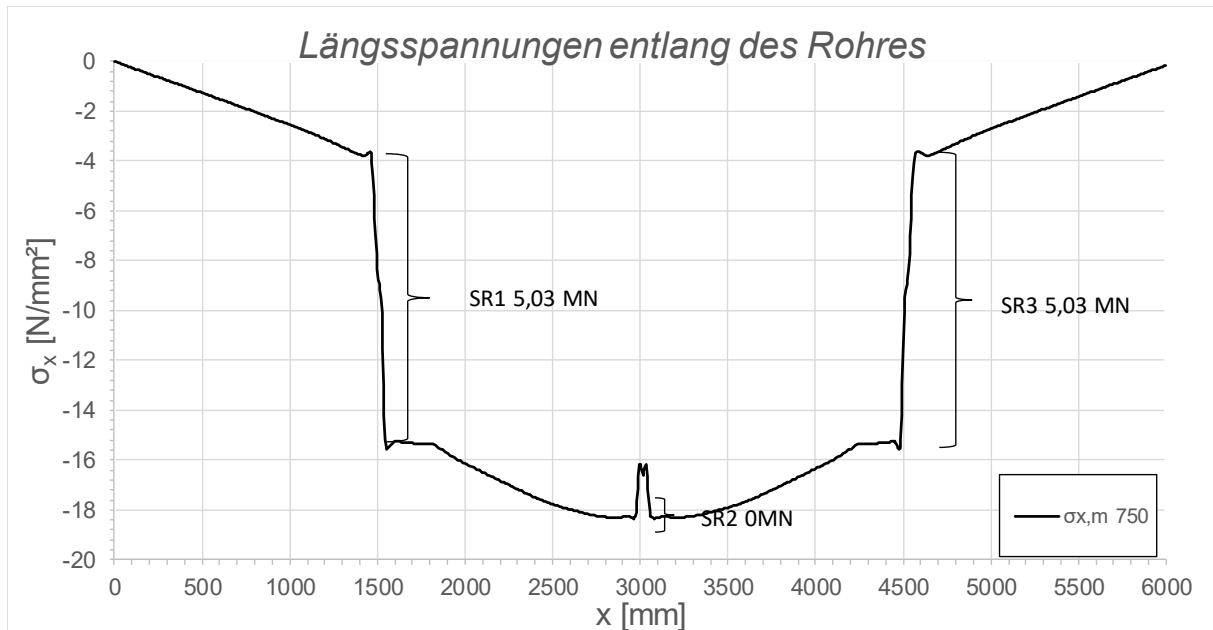


Abbildung C.195: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

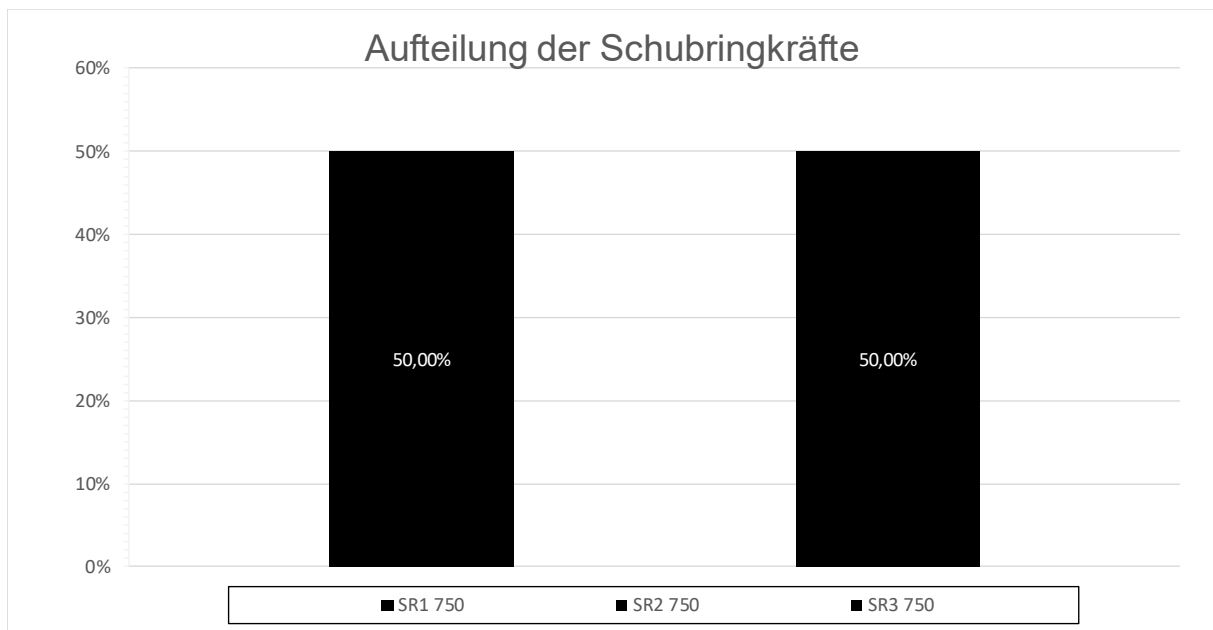


Abbildung C.196: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

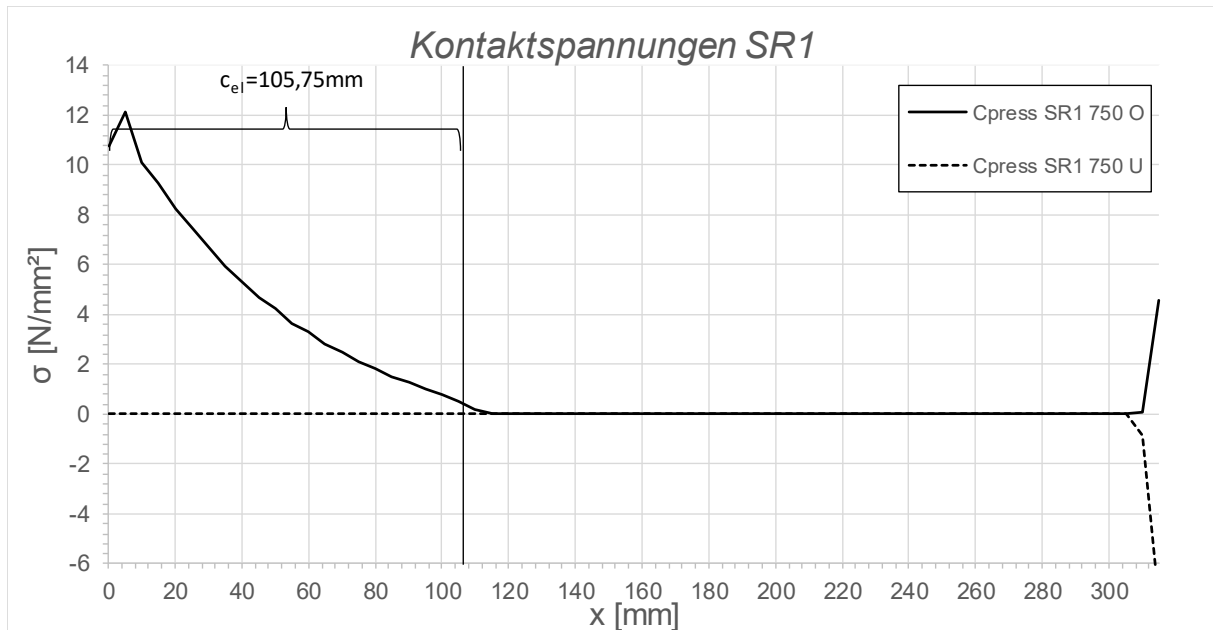


Abbildung C.197: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

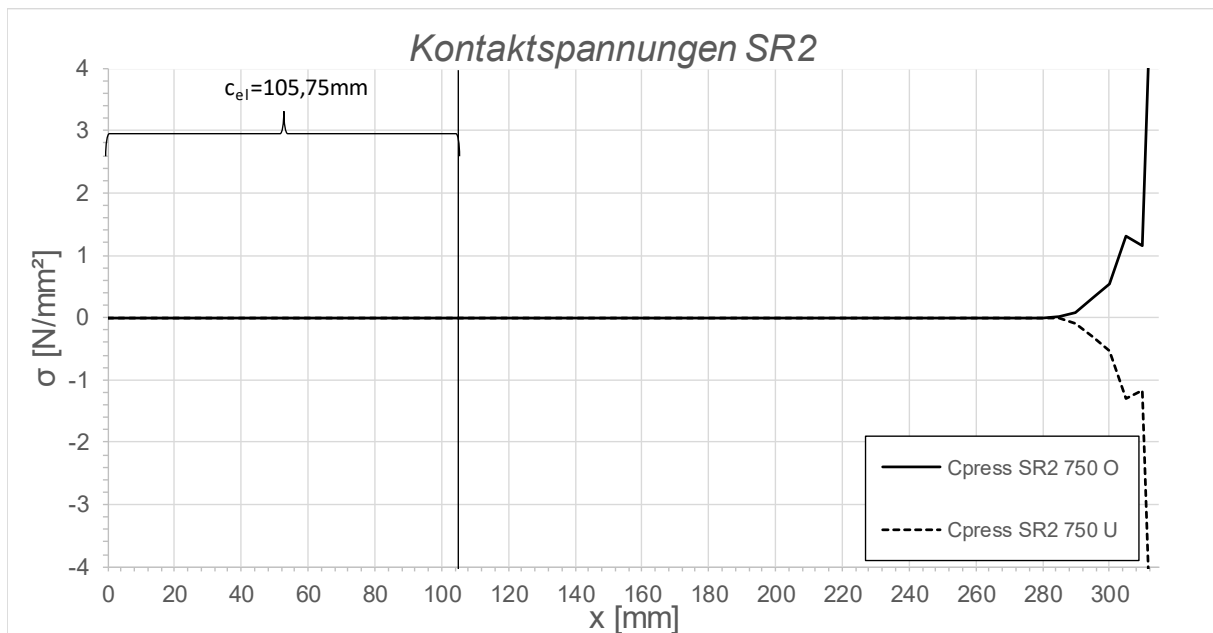


Abbildung C.198: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

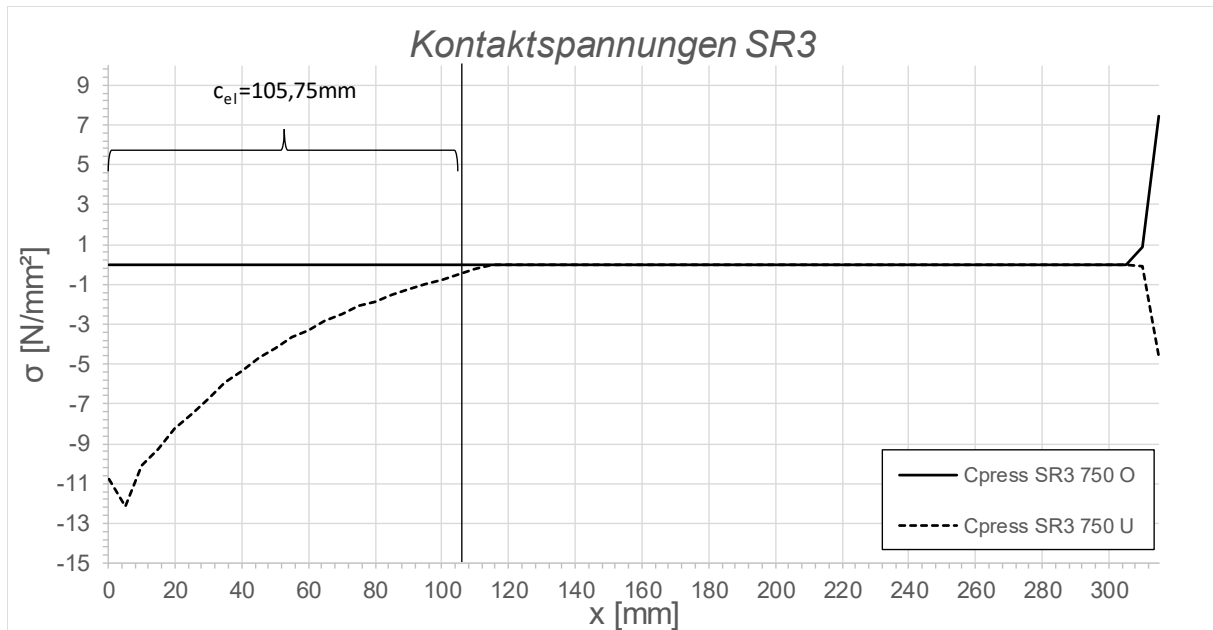


Abbildung C.199: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

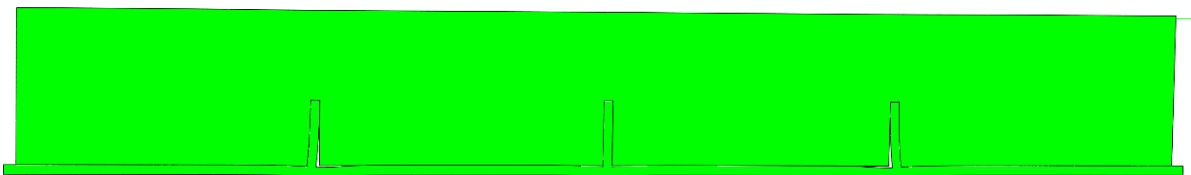


Abbildung C.200: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

C.3.7 SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

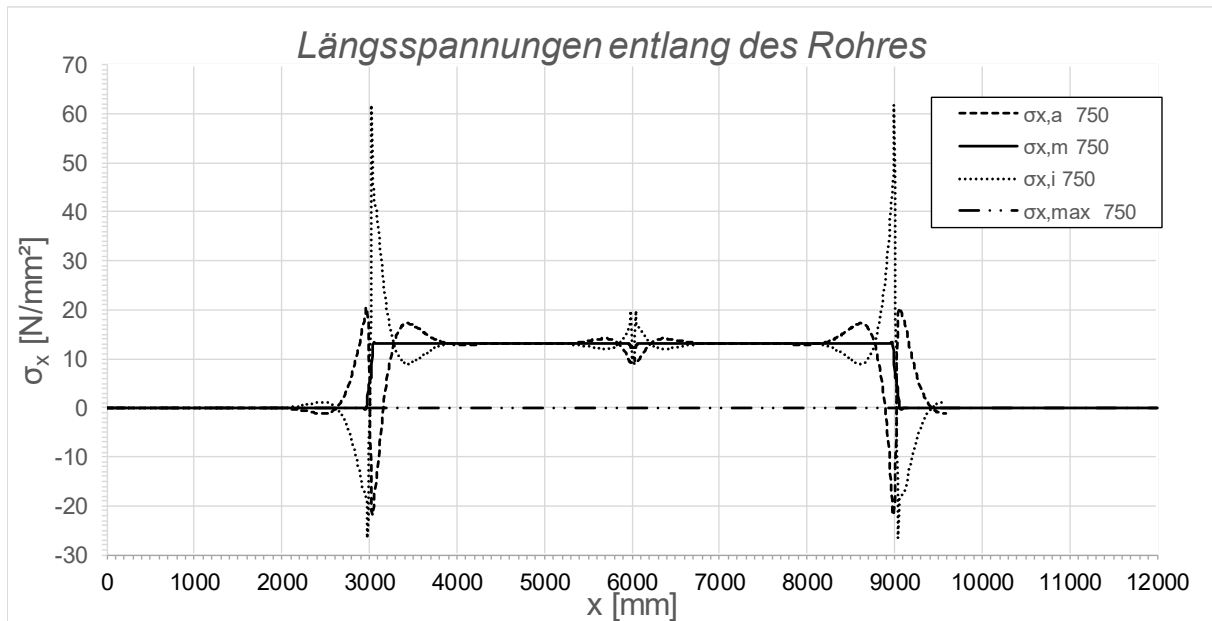


Abbildung C.201: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

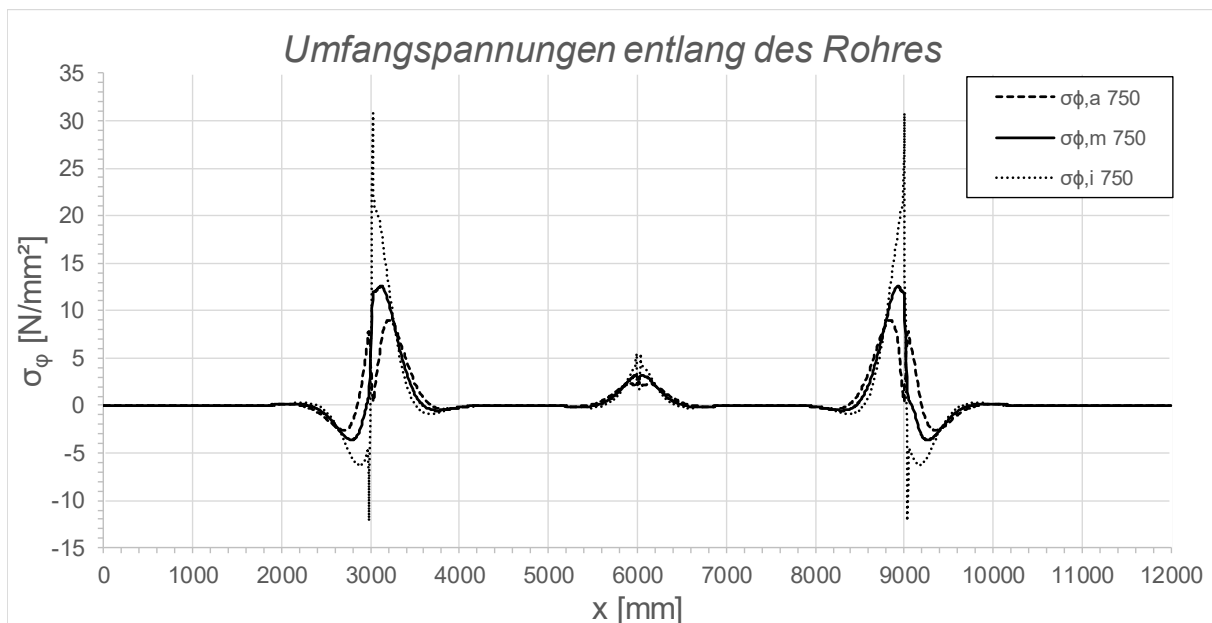


Abbildung C.202: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

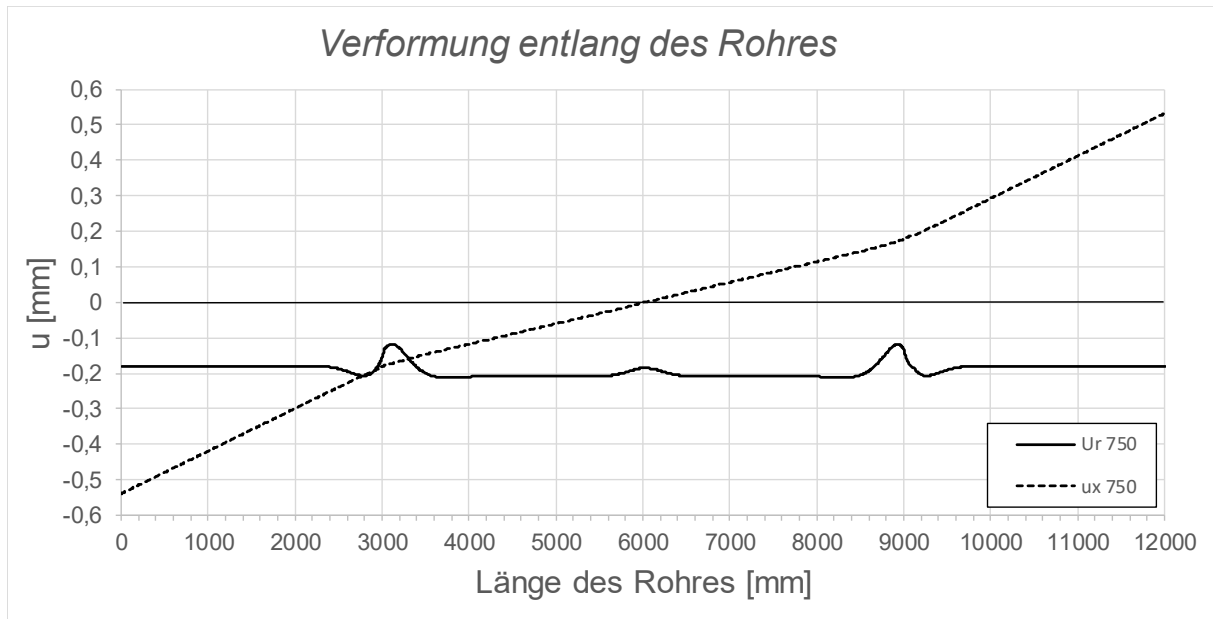


Abbildung C.203: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

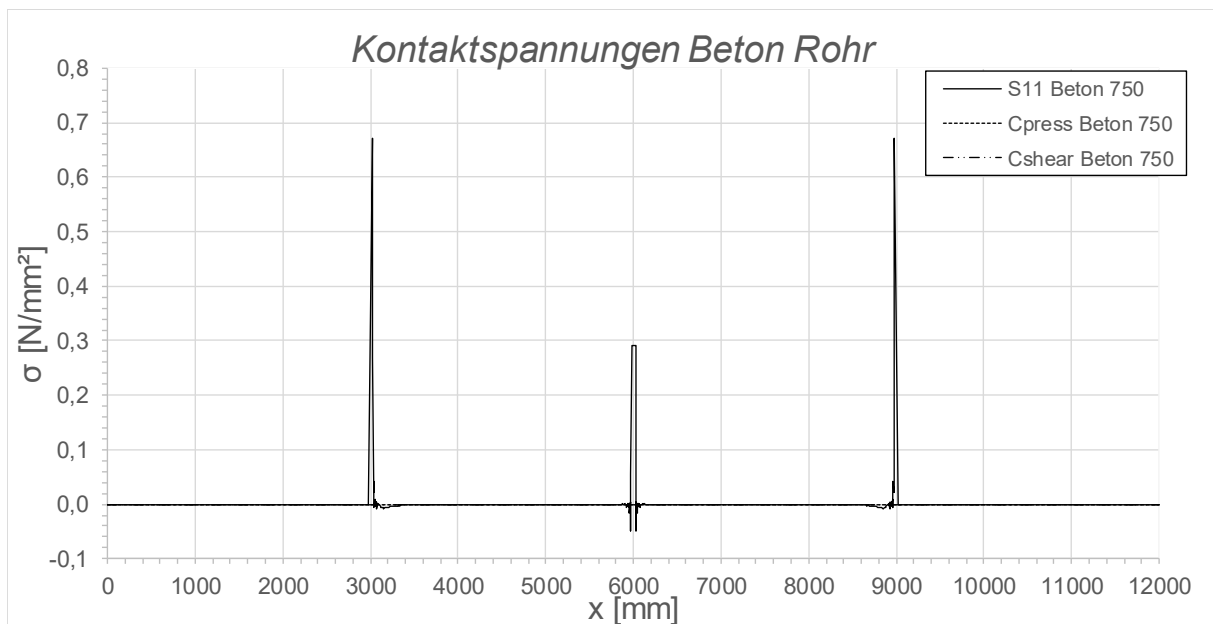


Abbildung C.204: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

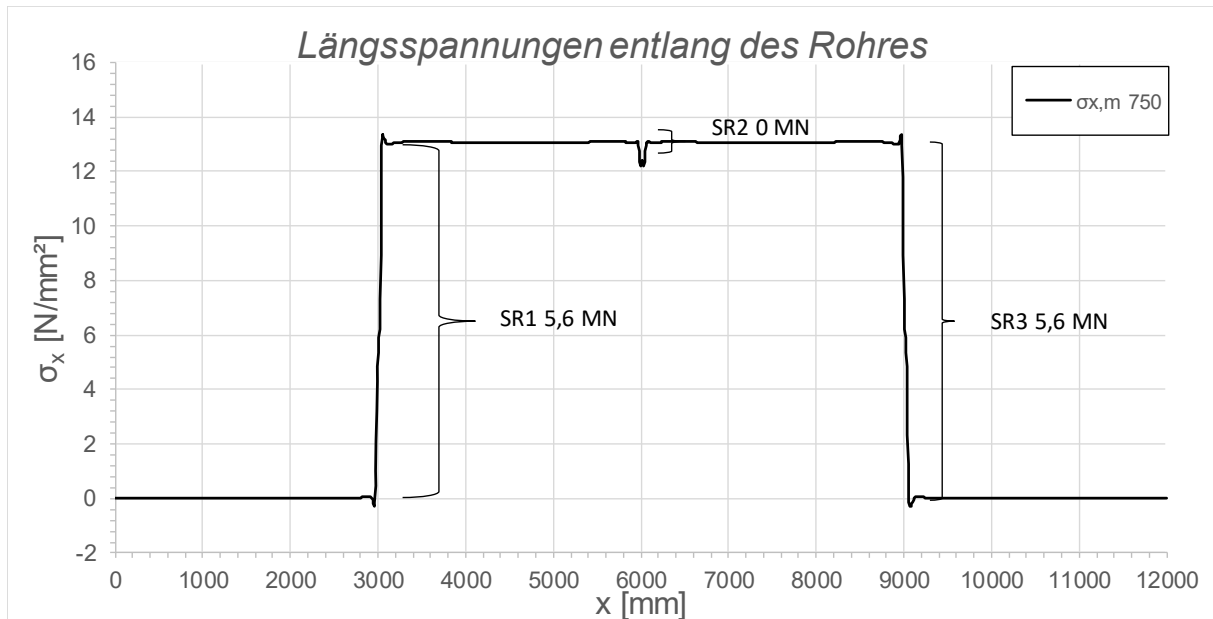


Abbildung C.205: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

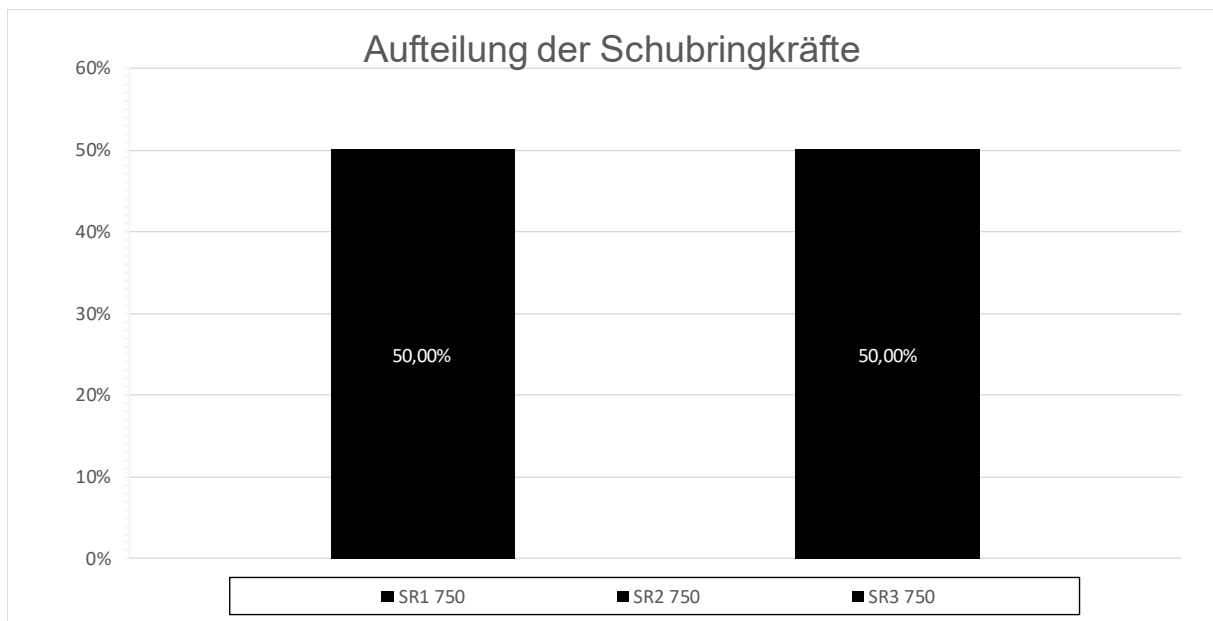


Abbildung C.206: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

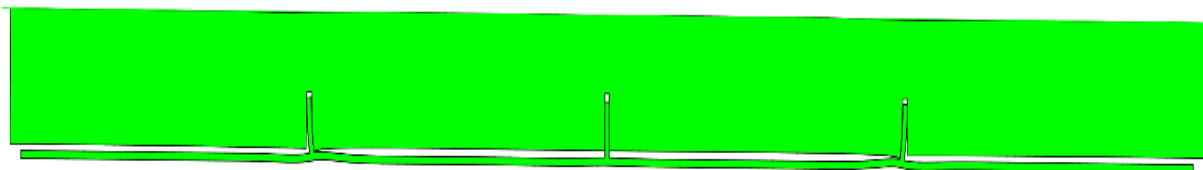


Abbildung C.207: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm^2

C.3.8 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

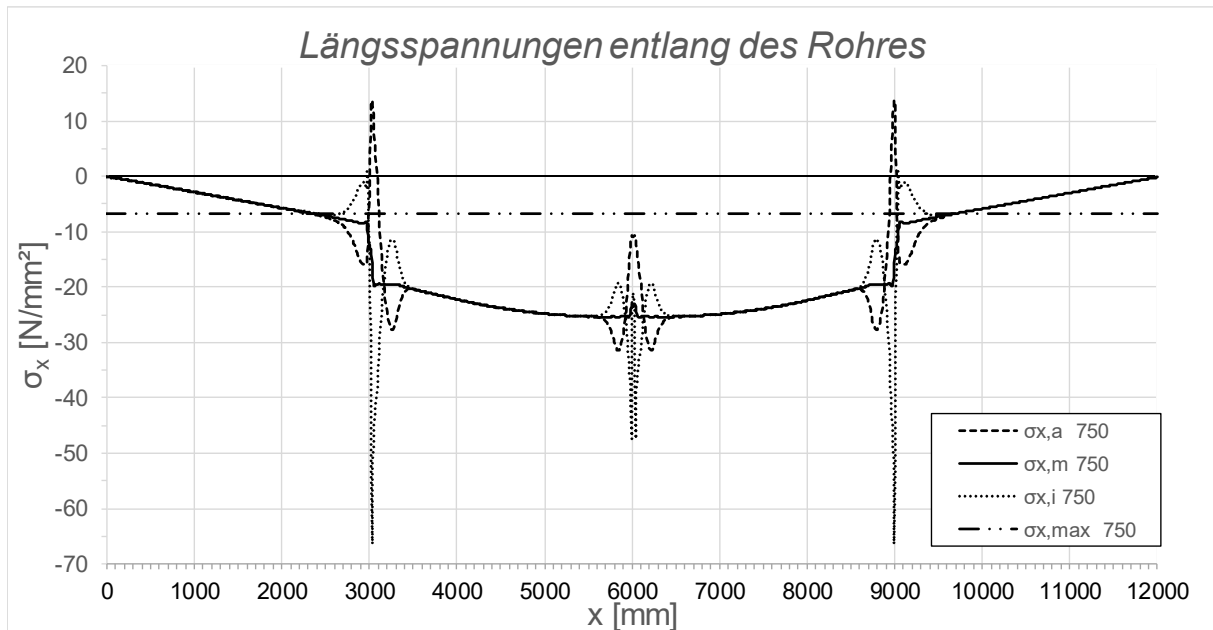


Abbildung C.208: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

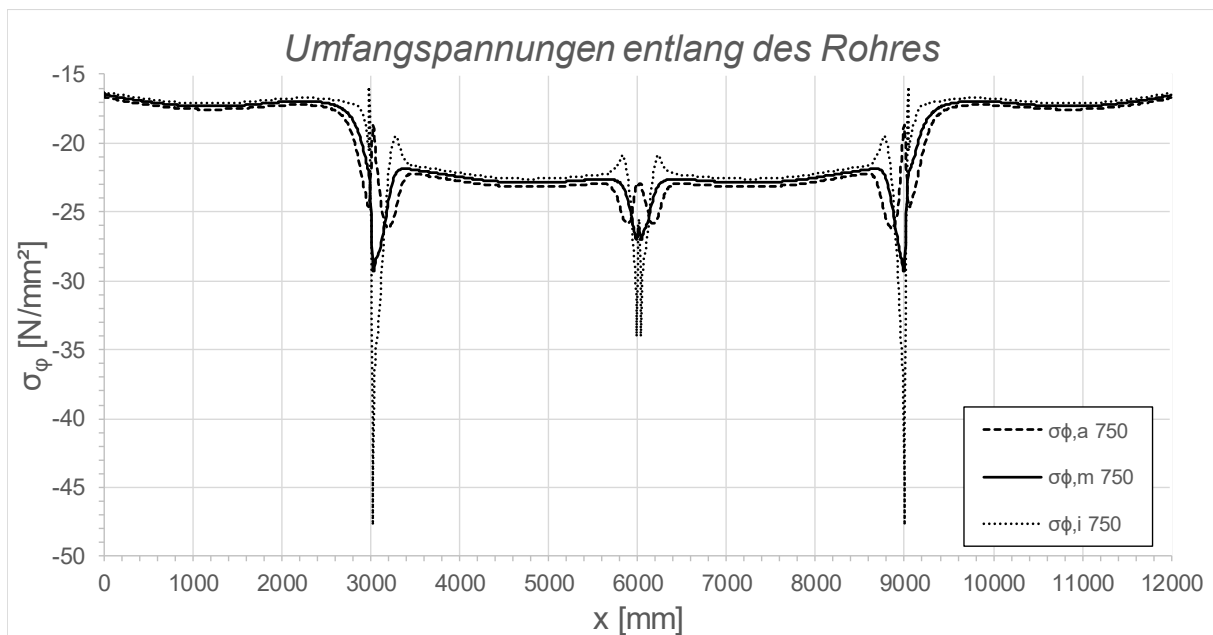


Abbildung C.209: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

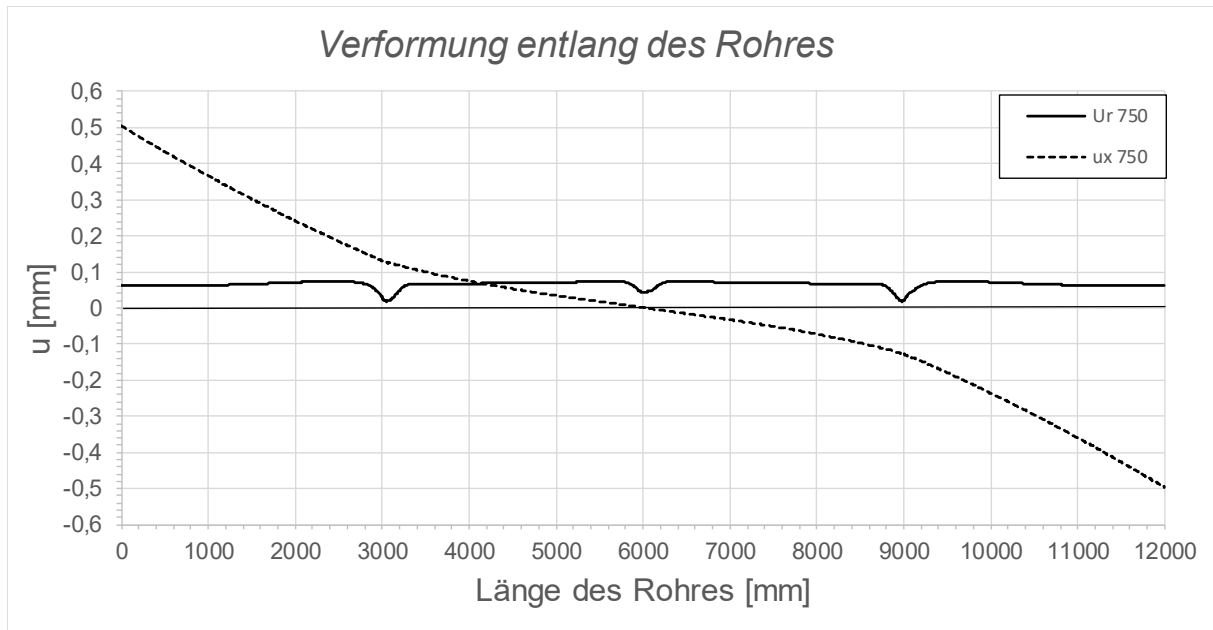


Abbildung C.210: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

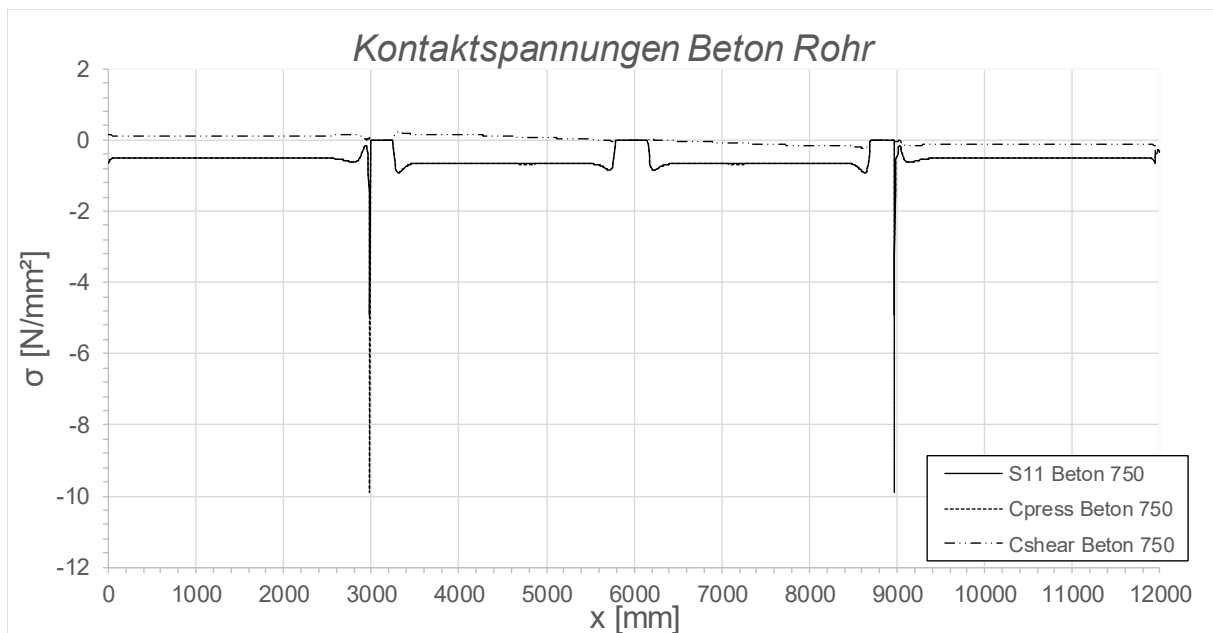


Abbildung C.211: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 315 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000 \text{ N/mm}^2$

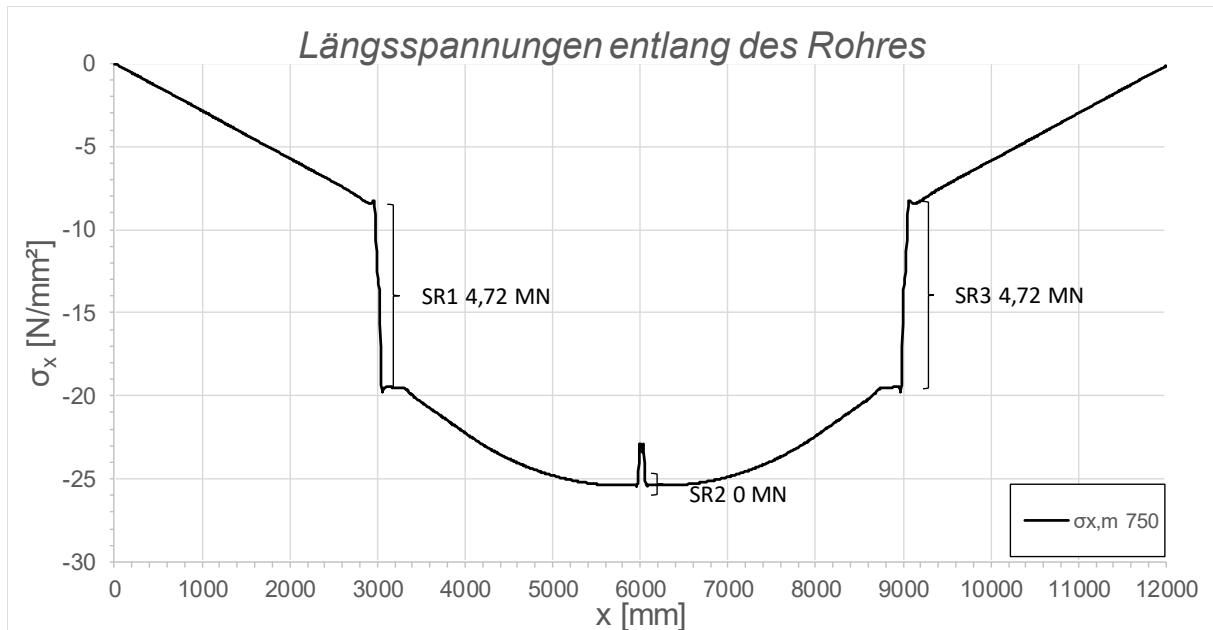


Abbildung C.212: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

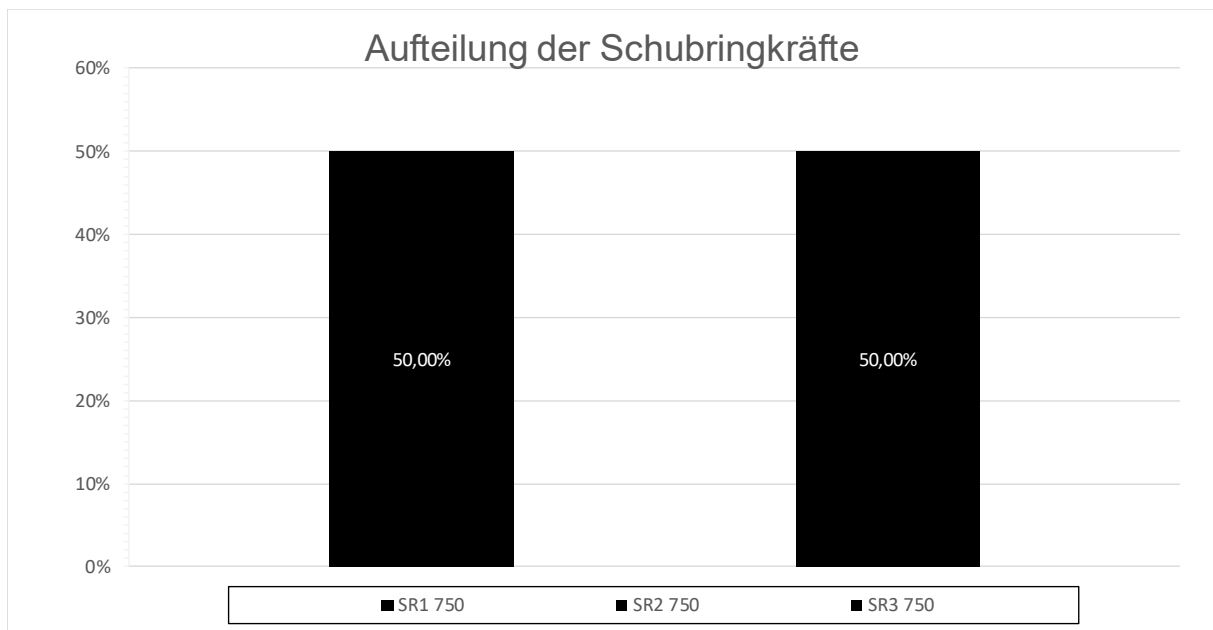


Abbildung C.213: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

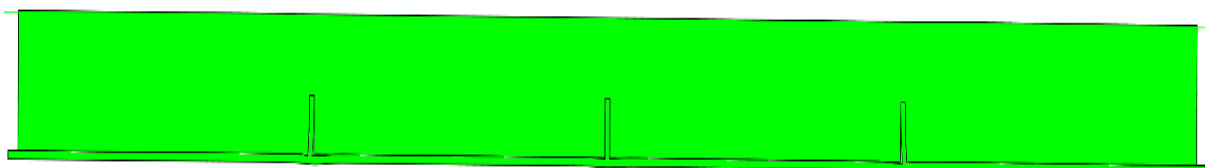


Abbildung C.214: Überhöhte Darstellung (200- fache) der Schubringverformungen im FE-Modell SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 45$ mm, $h_{\text{Ring}} = 315$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 4000$ N/mm²

C.3.9 SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

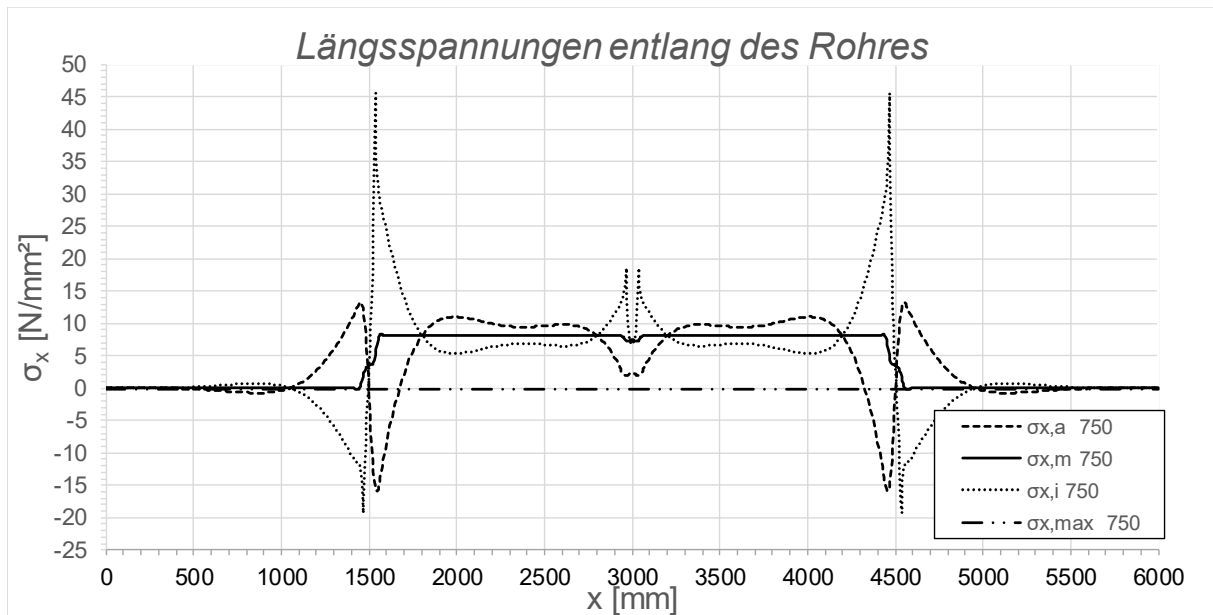


Abbildung C.215: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_f = 1000 \text{ N/mm}^2$

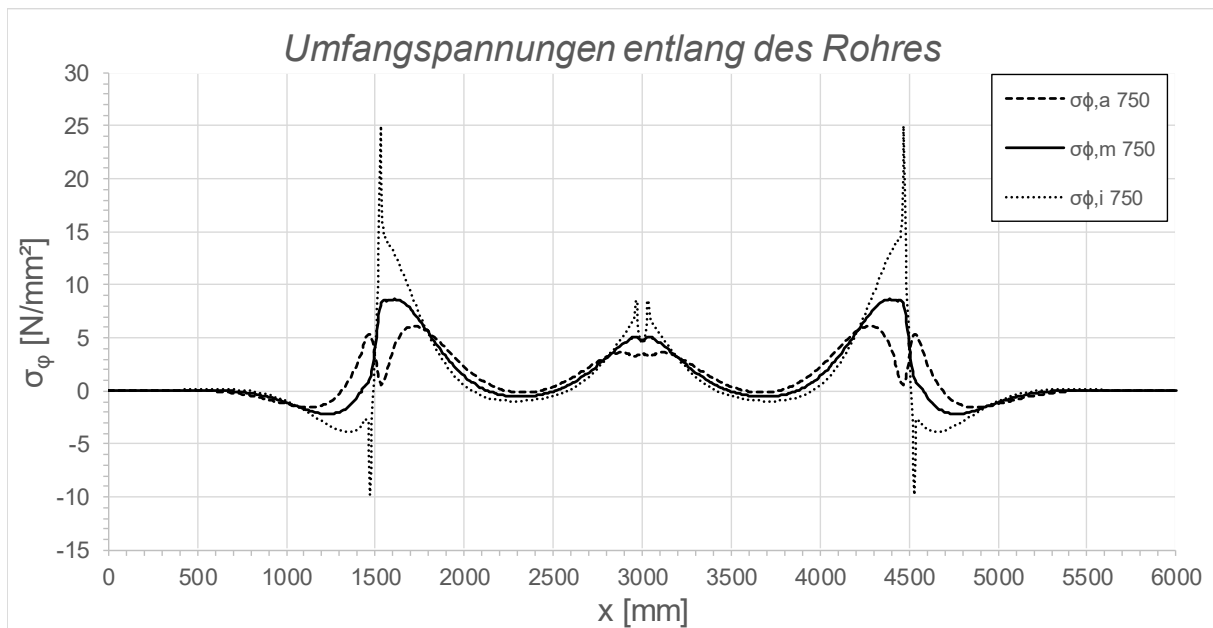


Abbildung C.216: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_f = 1000 \text{ N/mm}^2$

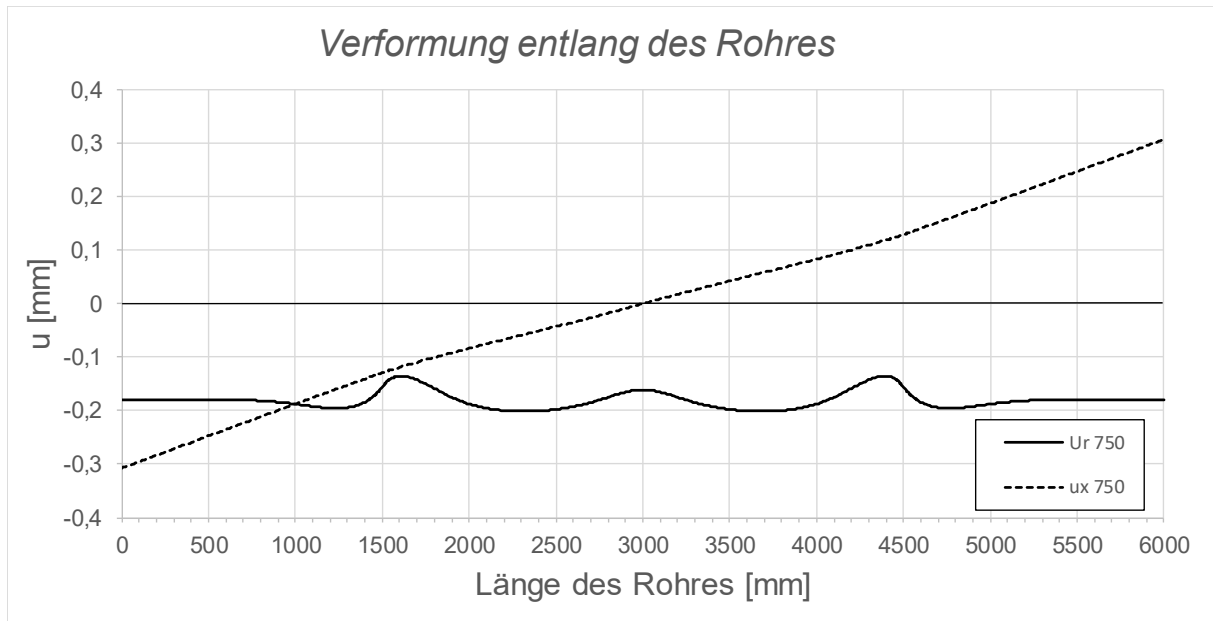


Abbildung C.217: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

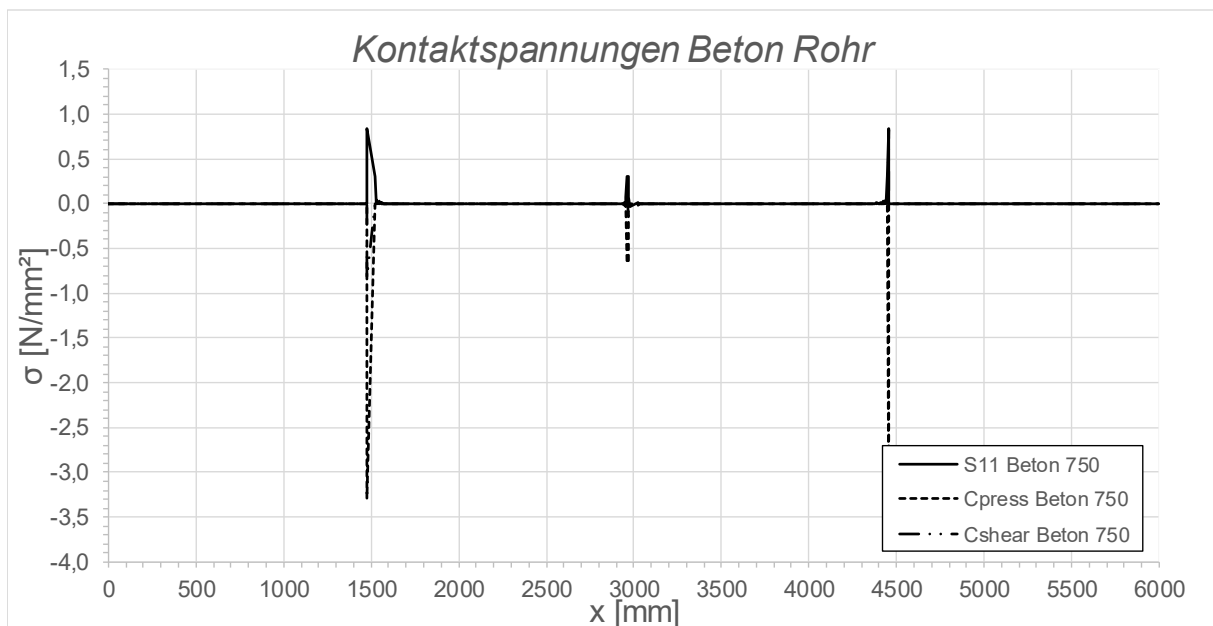


Abbildung C.218: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

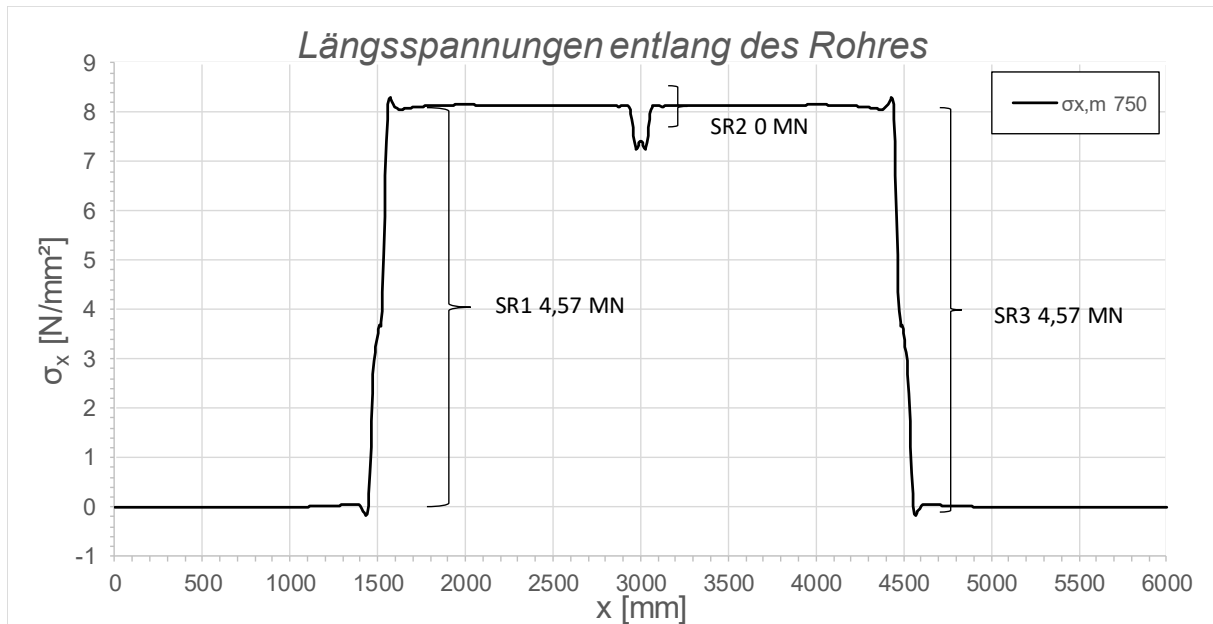


Abbildung C.219: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

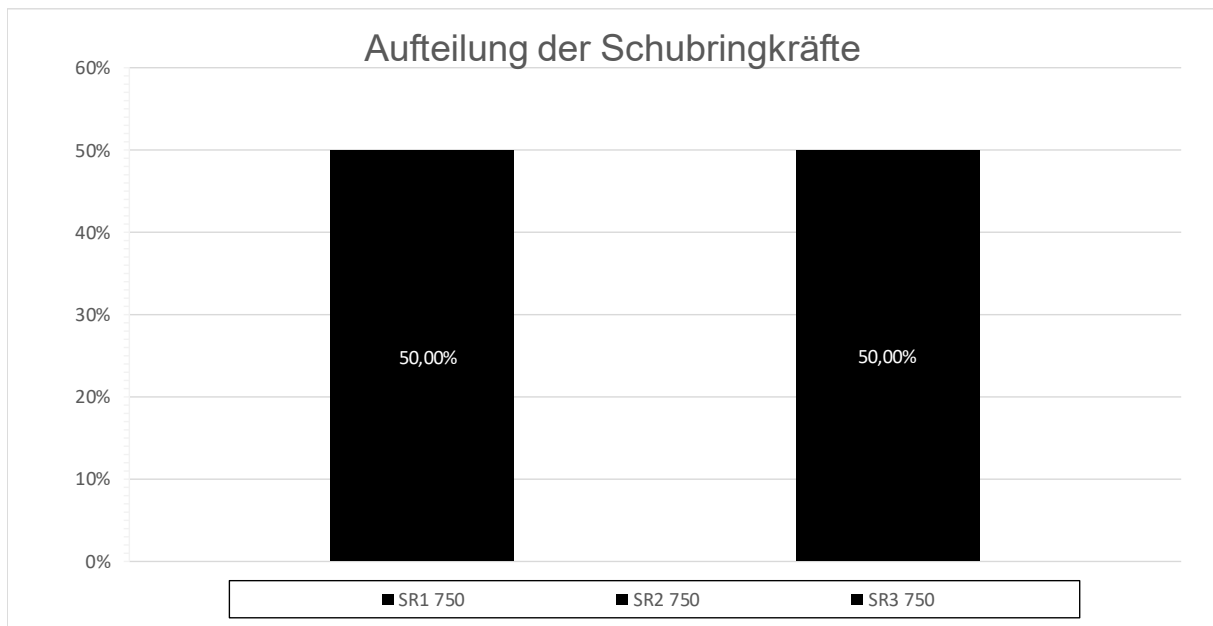


Abbildung C.220: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_C = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

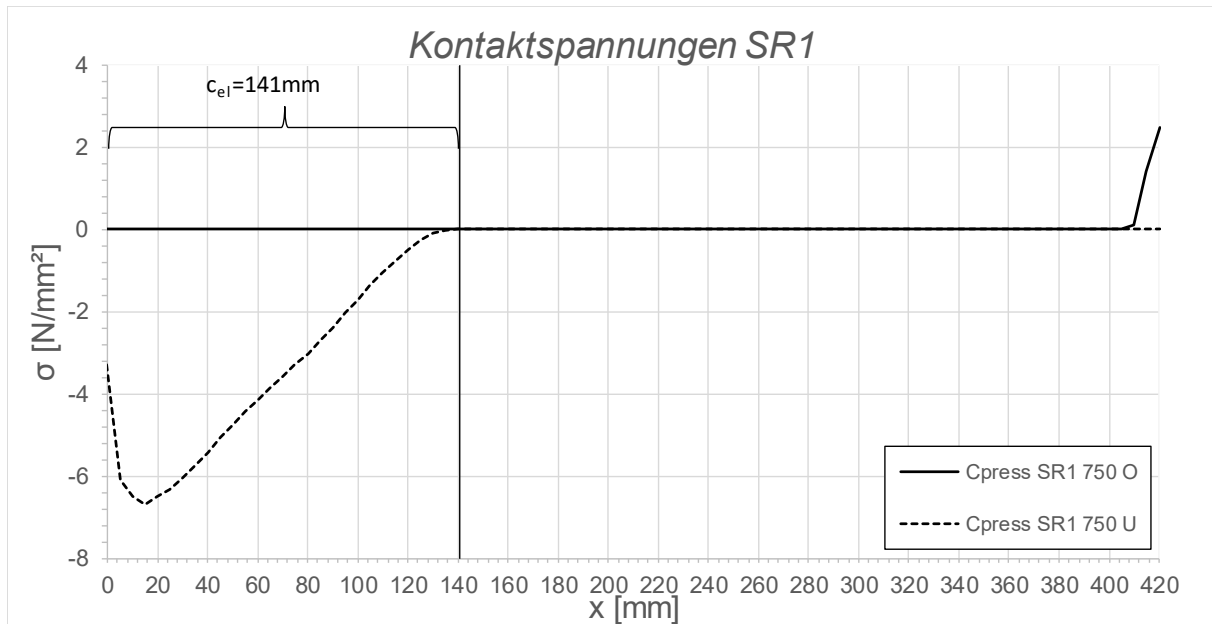


Abbildung C.221: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

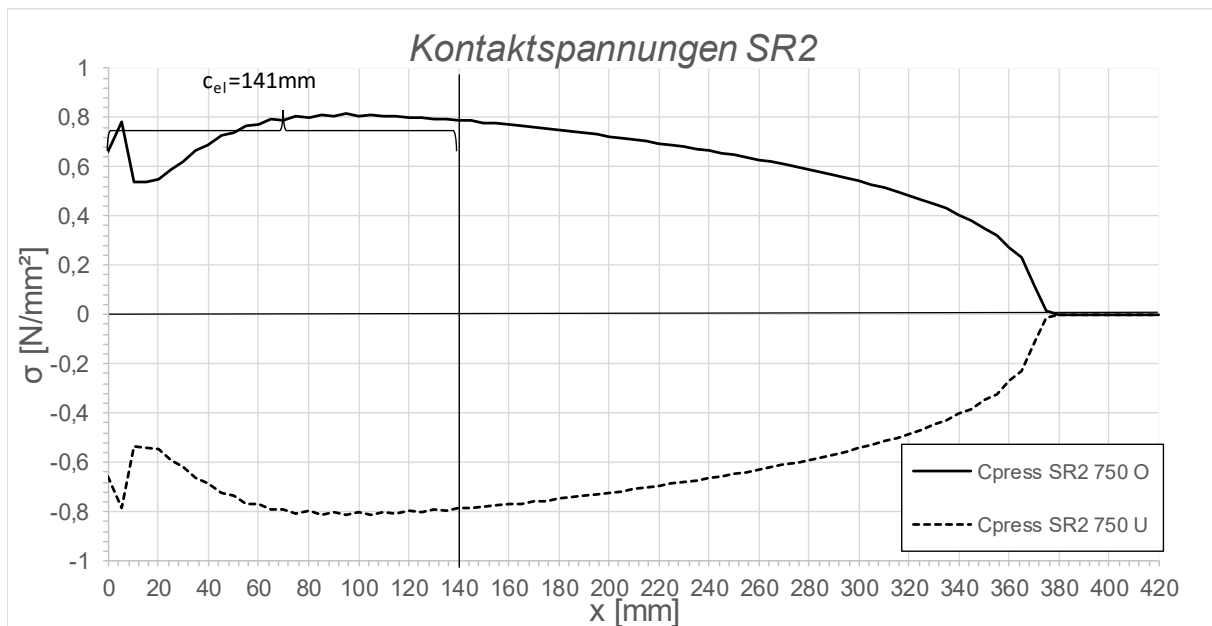


Abbildung C.222: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

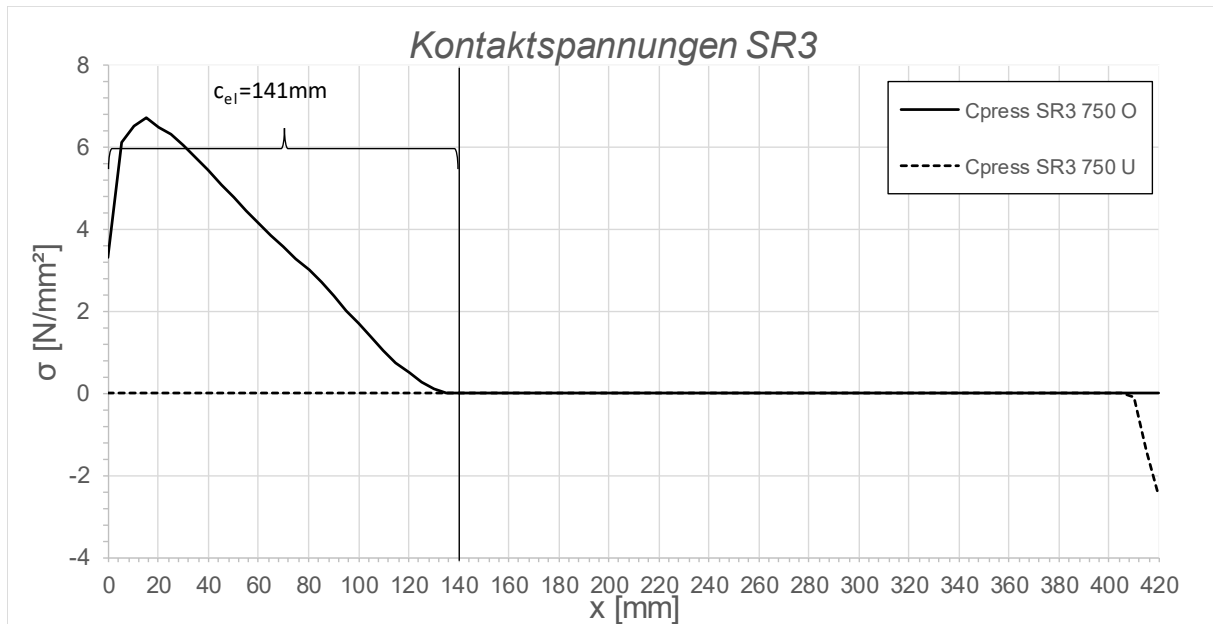


Abbildung C.223: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF2 - 10° C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

C.3.10 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$

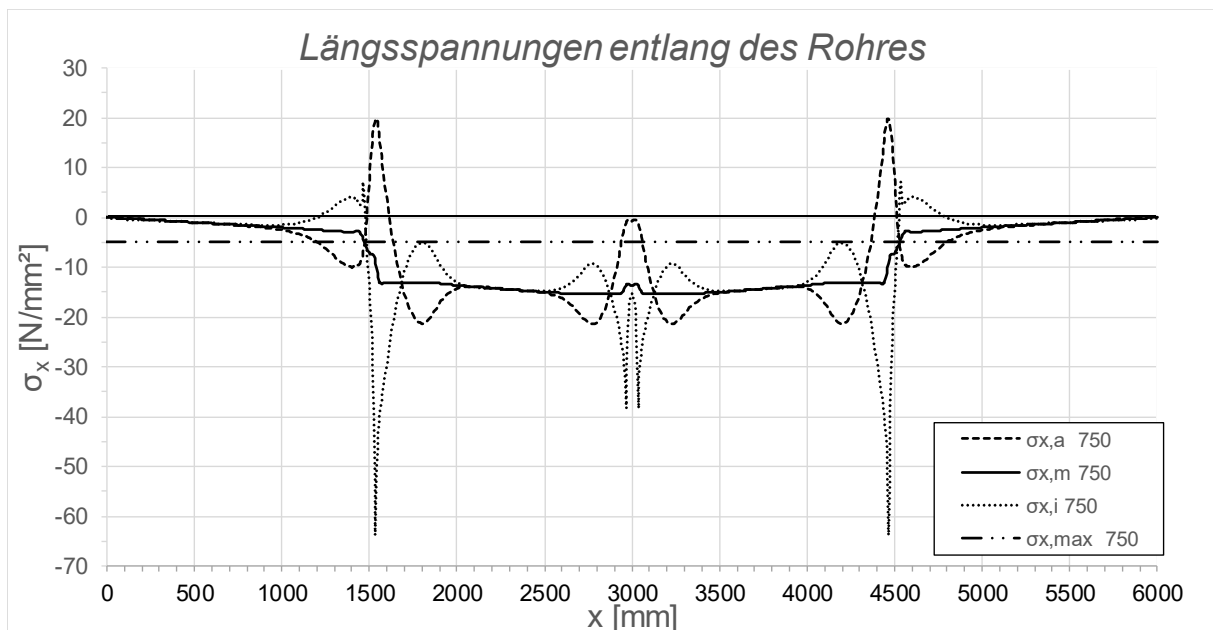


Abbildung C.224: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

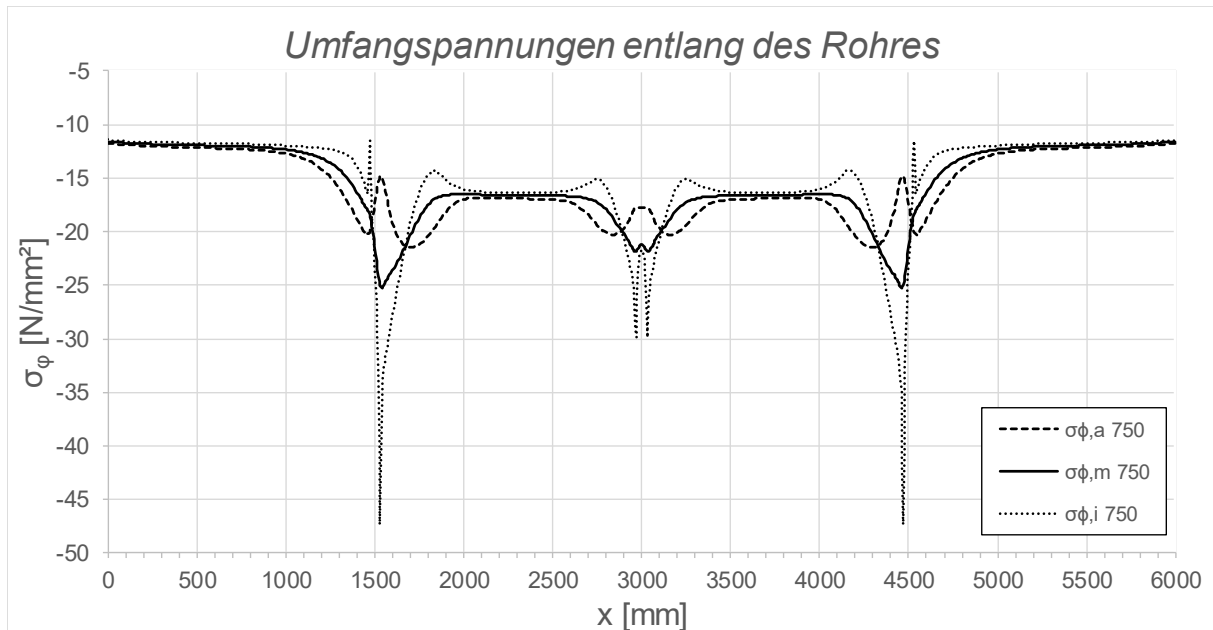


Abbildung C.225: Darstellung der Umfangspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

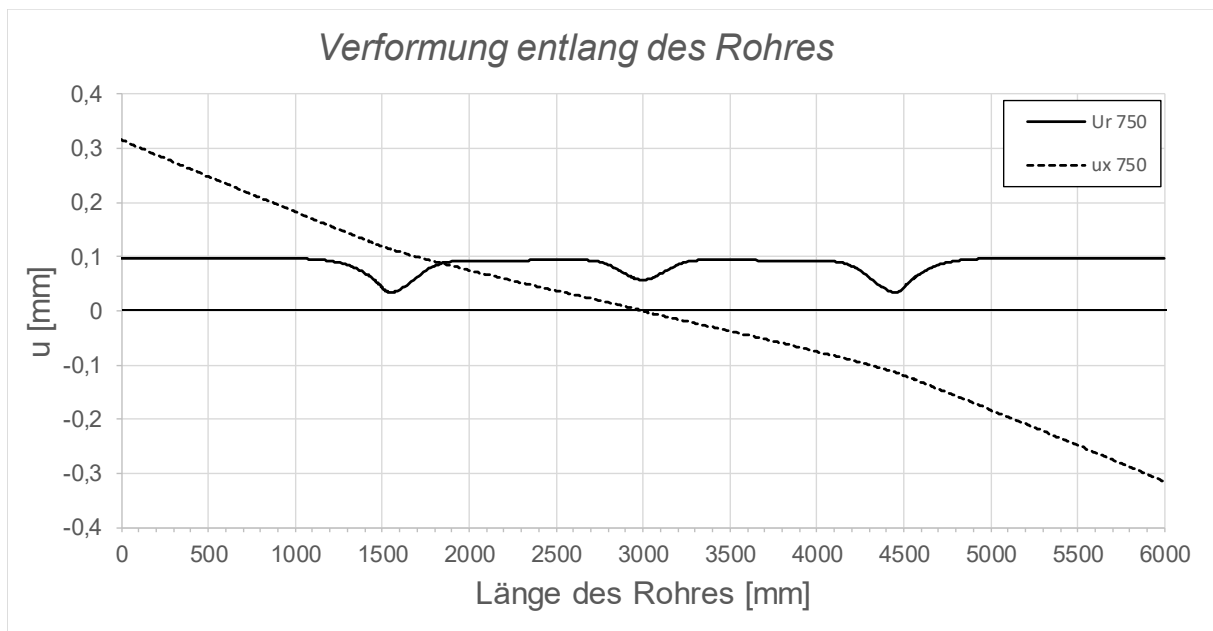


Abbildung C.226: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm^2

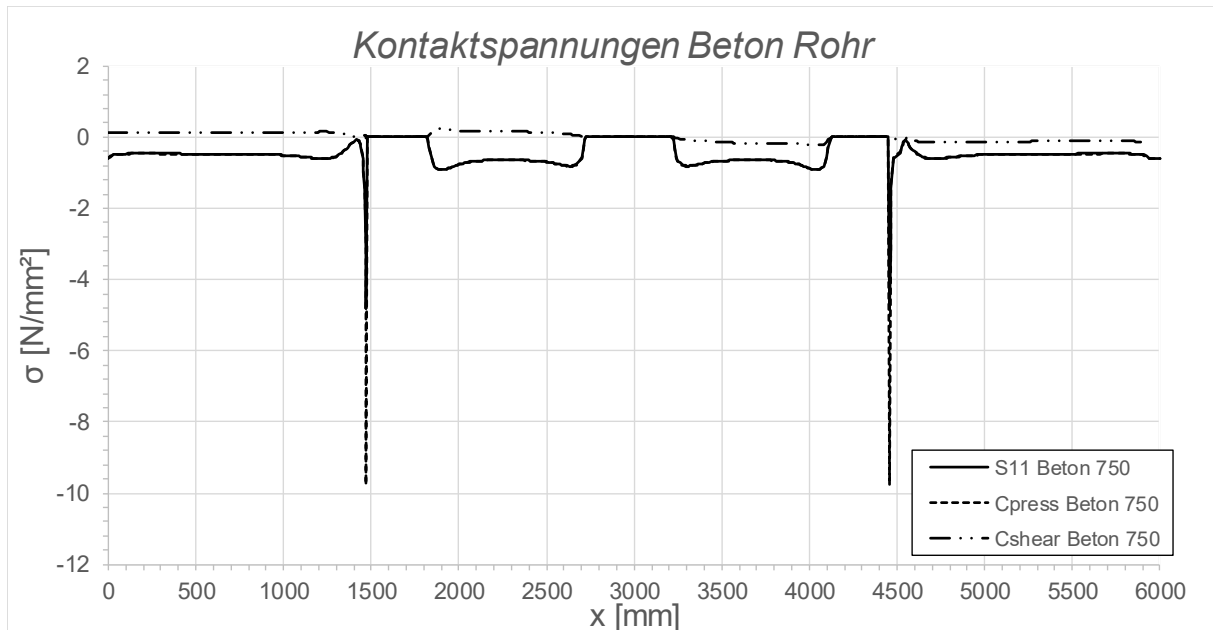


Abbildung C.227: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

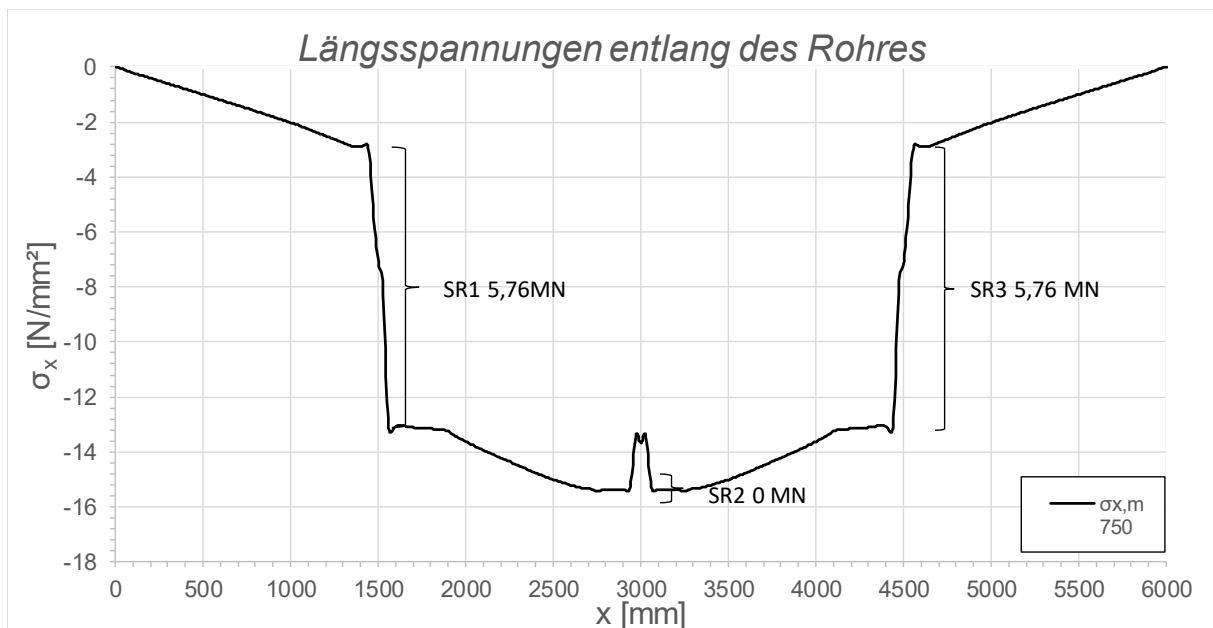


Abbildung C.228: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

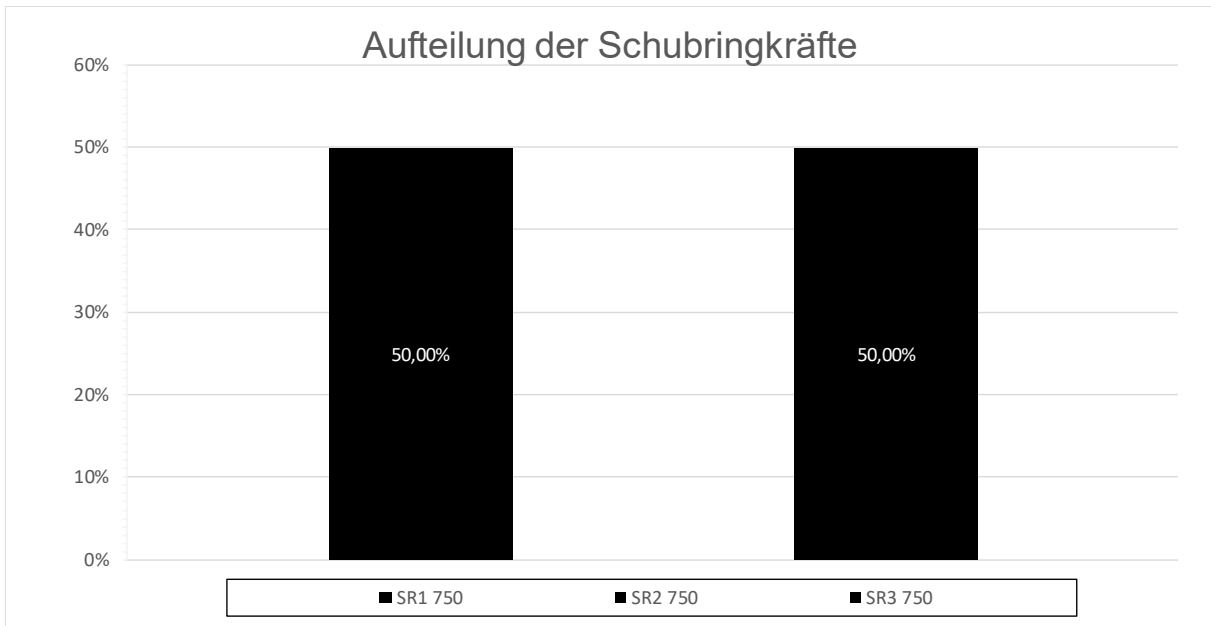


Abbildung C.229: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

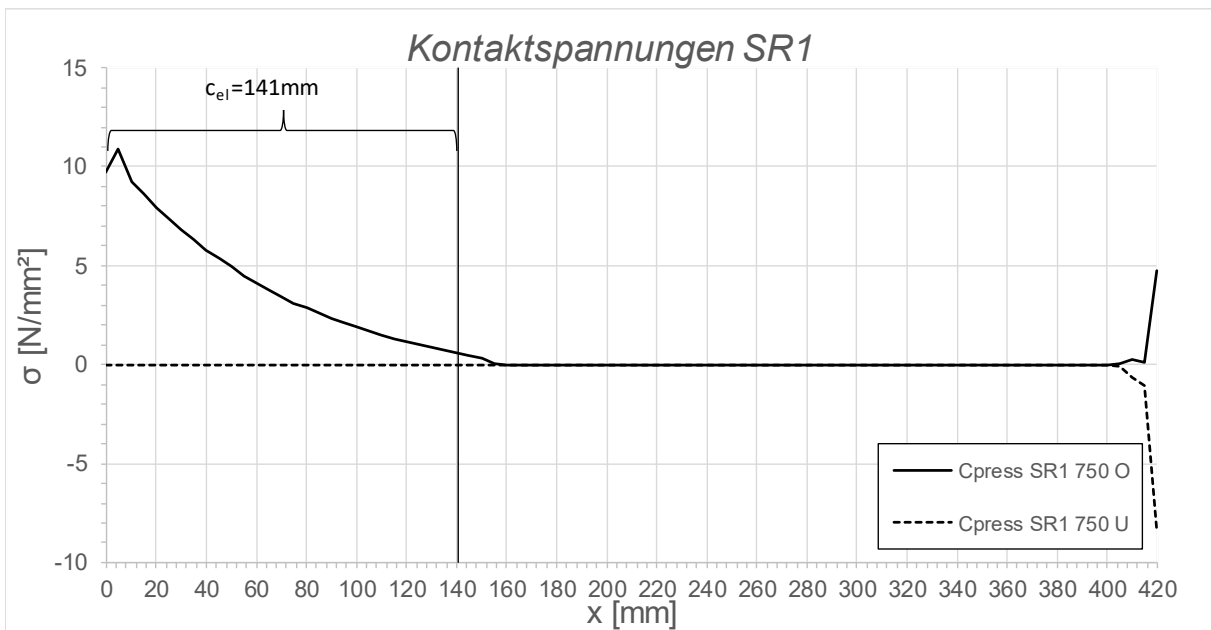


Abbildung C.230: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 1 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

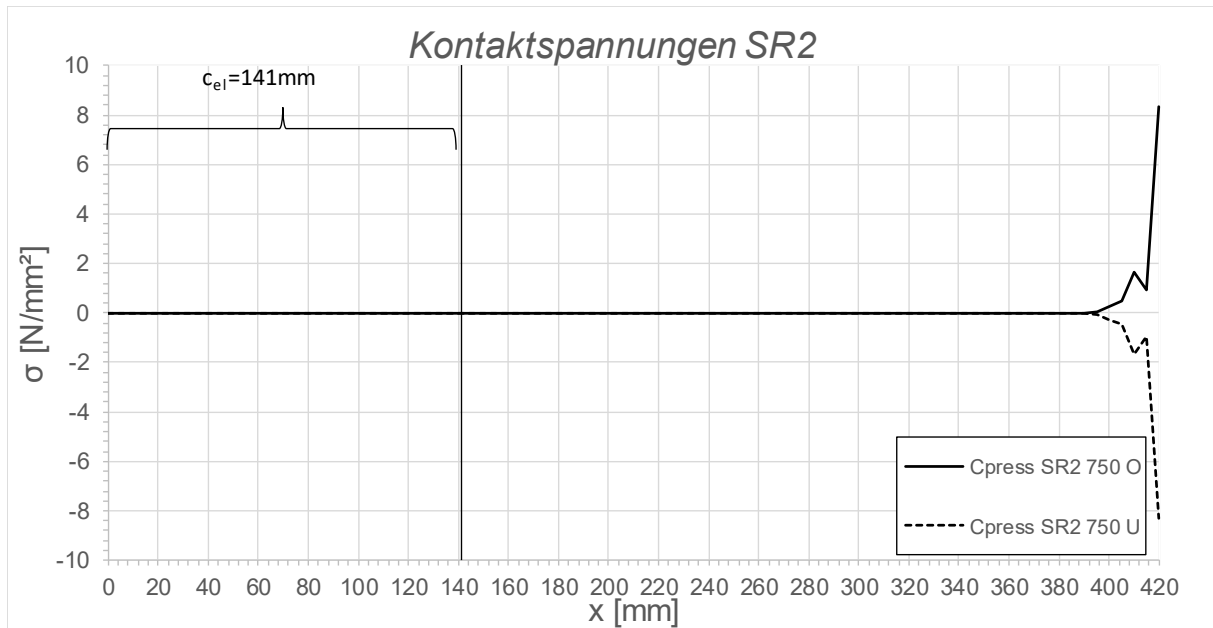


Abbildung C.231: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 2 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

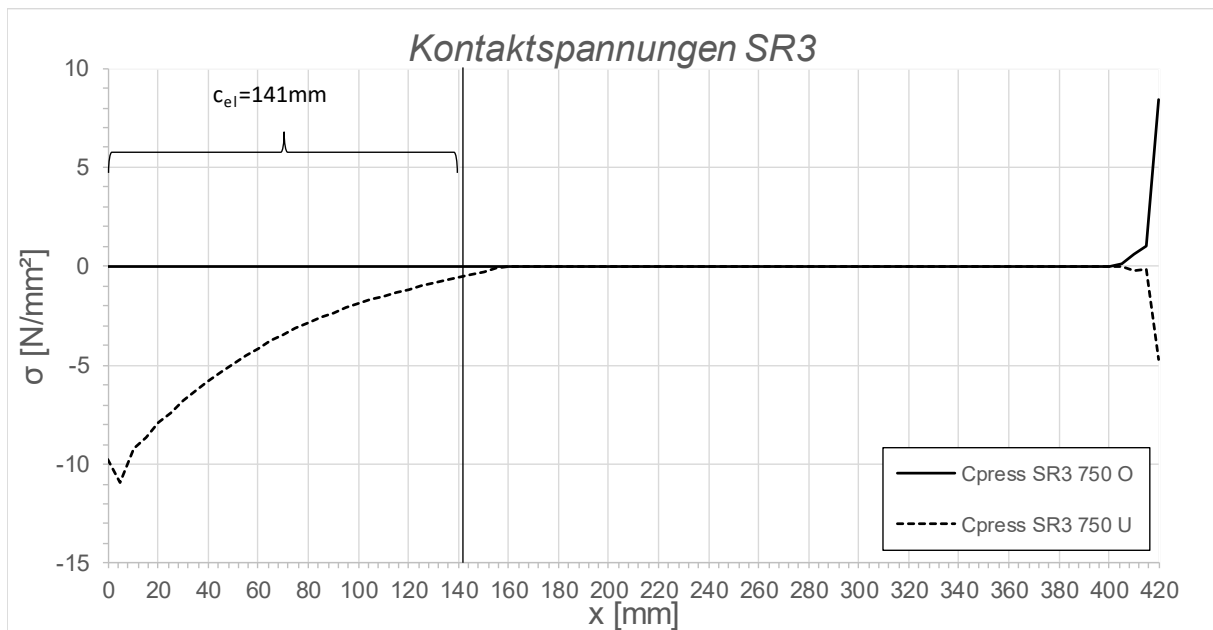


Abbildung C.232: Darstellung der Kontaktspannungen an der Ober/ Unterseite des Schubringes 3 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = R$, $V_F = 1000$ N/mm²

C.3.11 SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

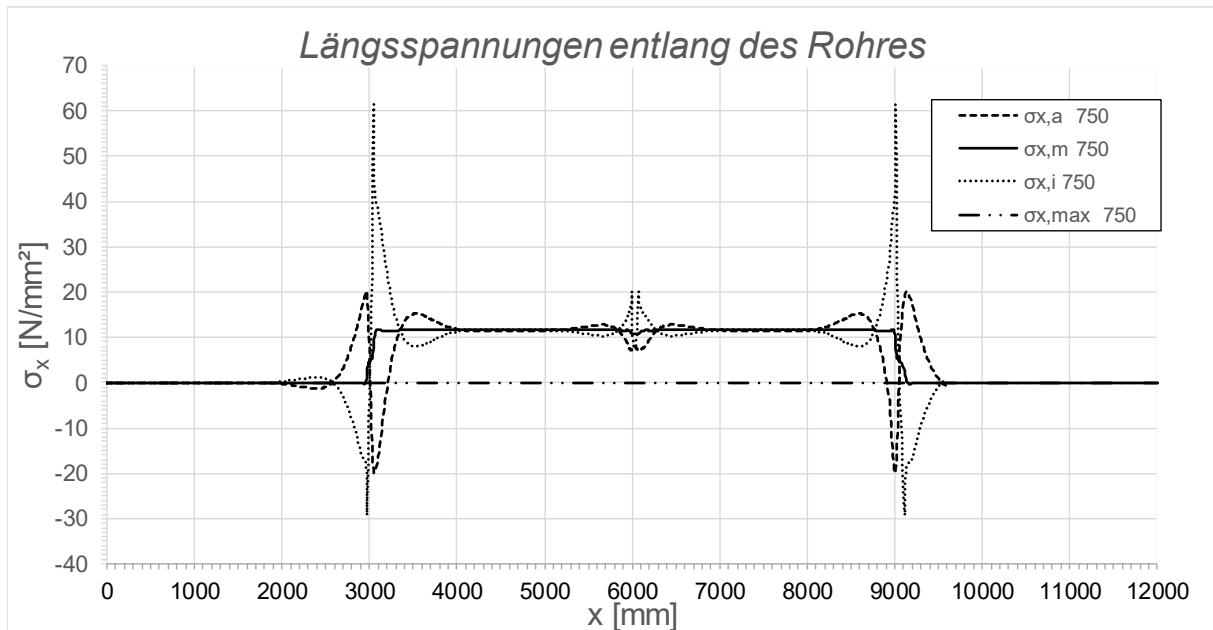


Abbildung C.233: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

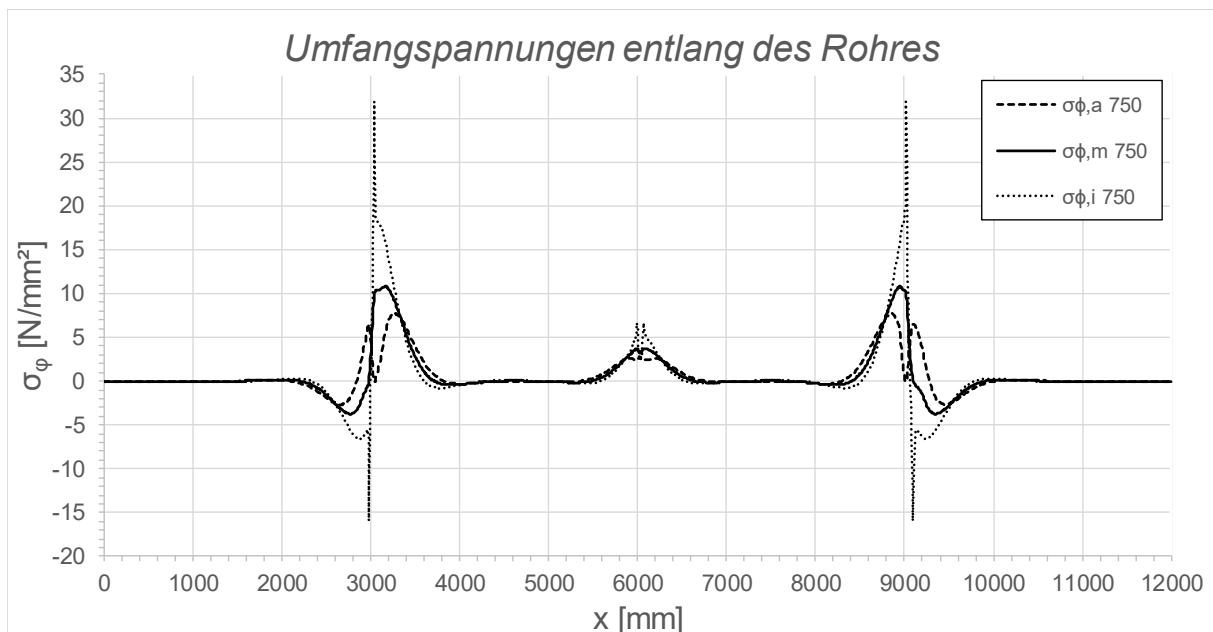


Abbildung C.234: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

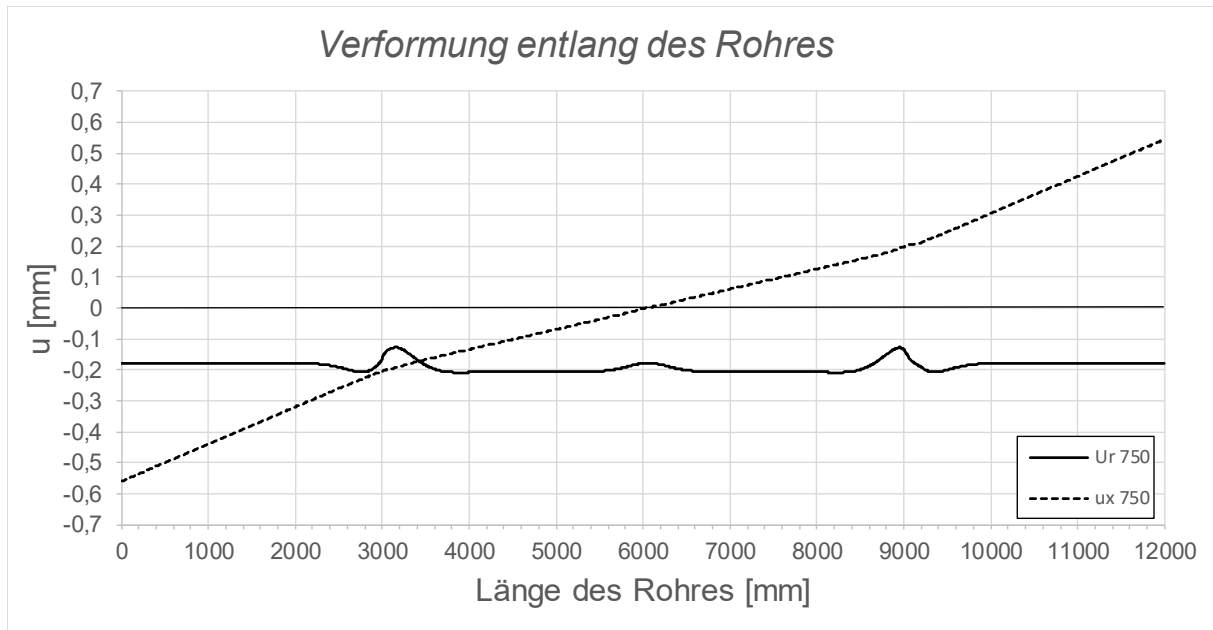


Abbildung C.235: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

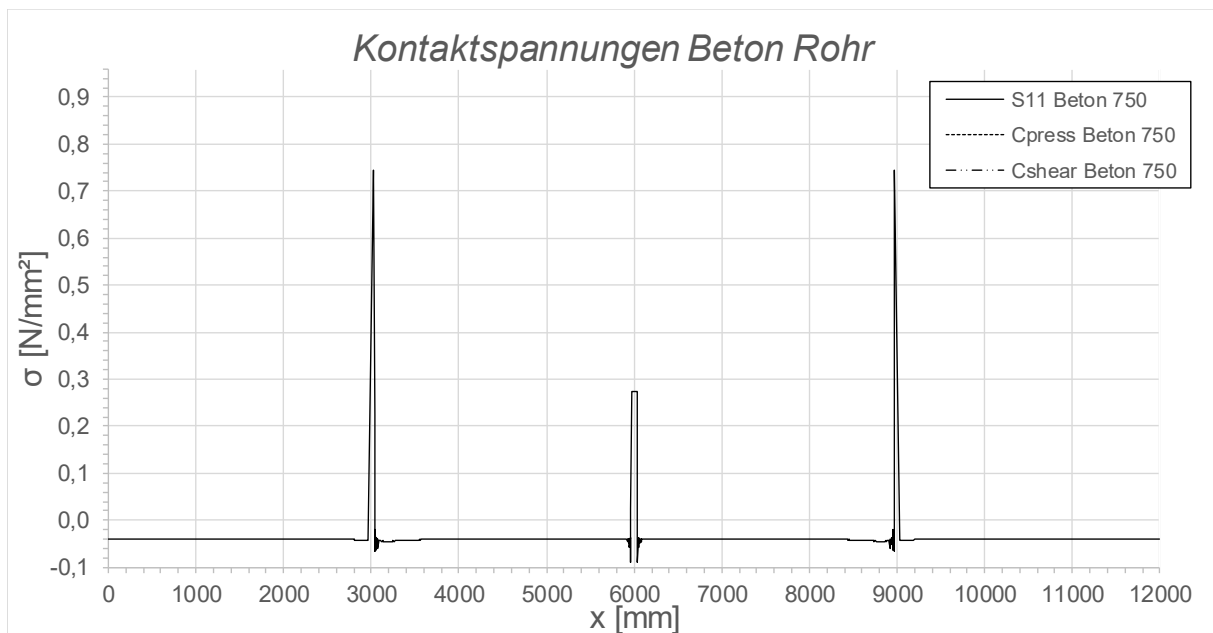


Abbildung C.236: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

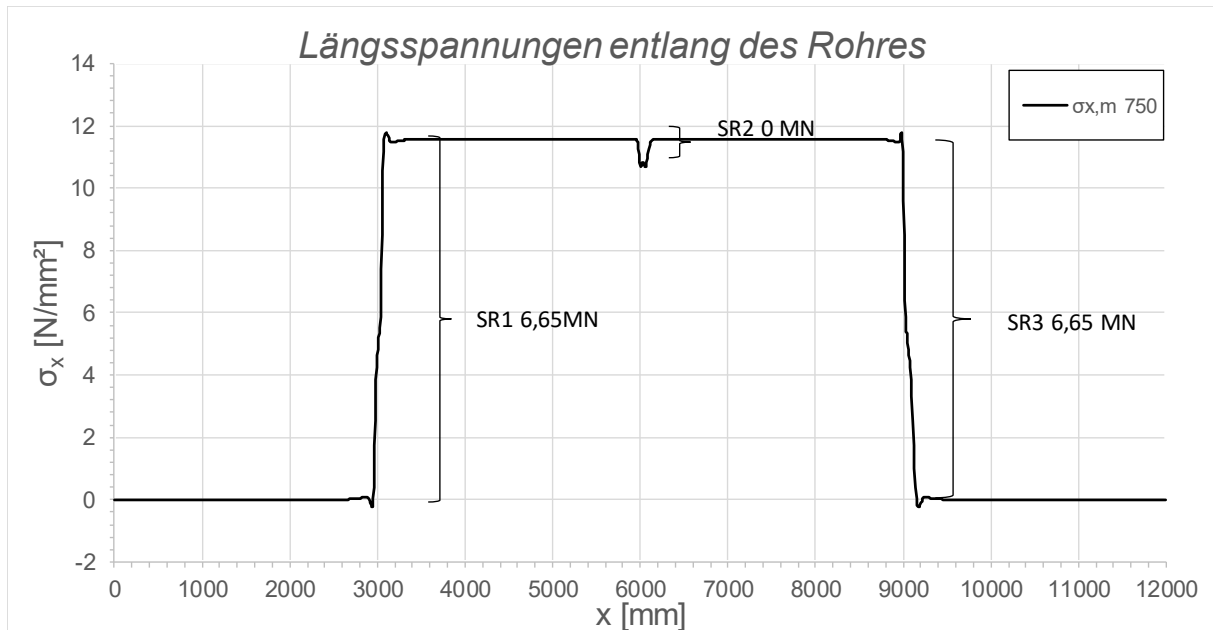


Abbildung C.237: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

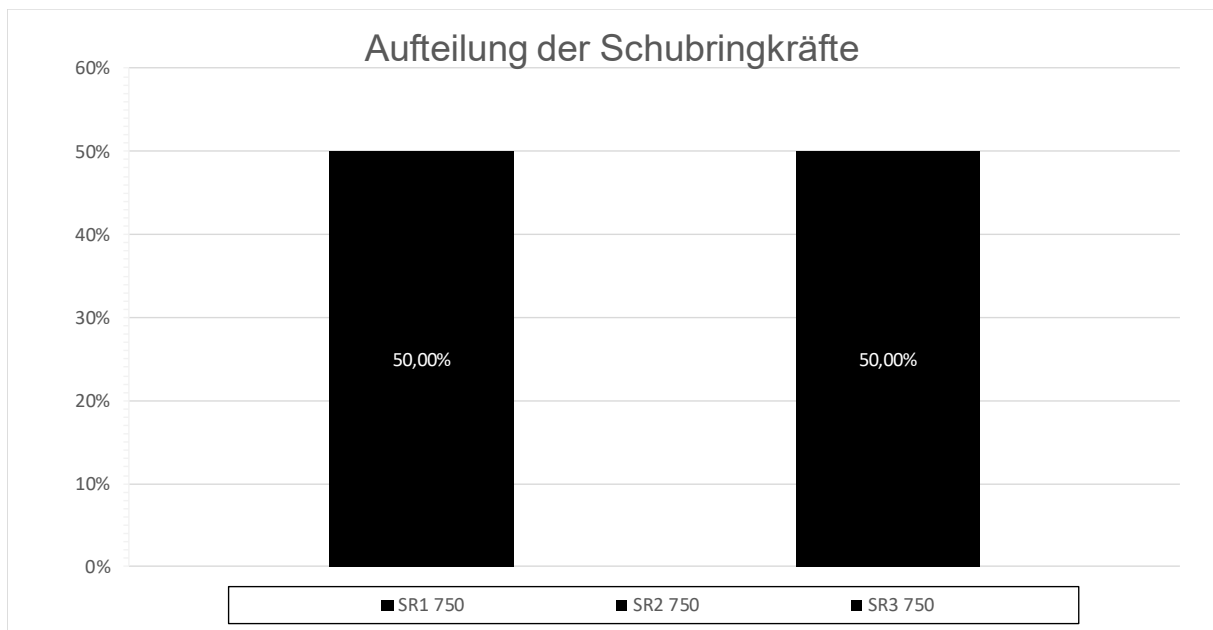


Abbildung C.238: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 - 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

C.3.12 SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $e_{\text{Ring}} = 2R$

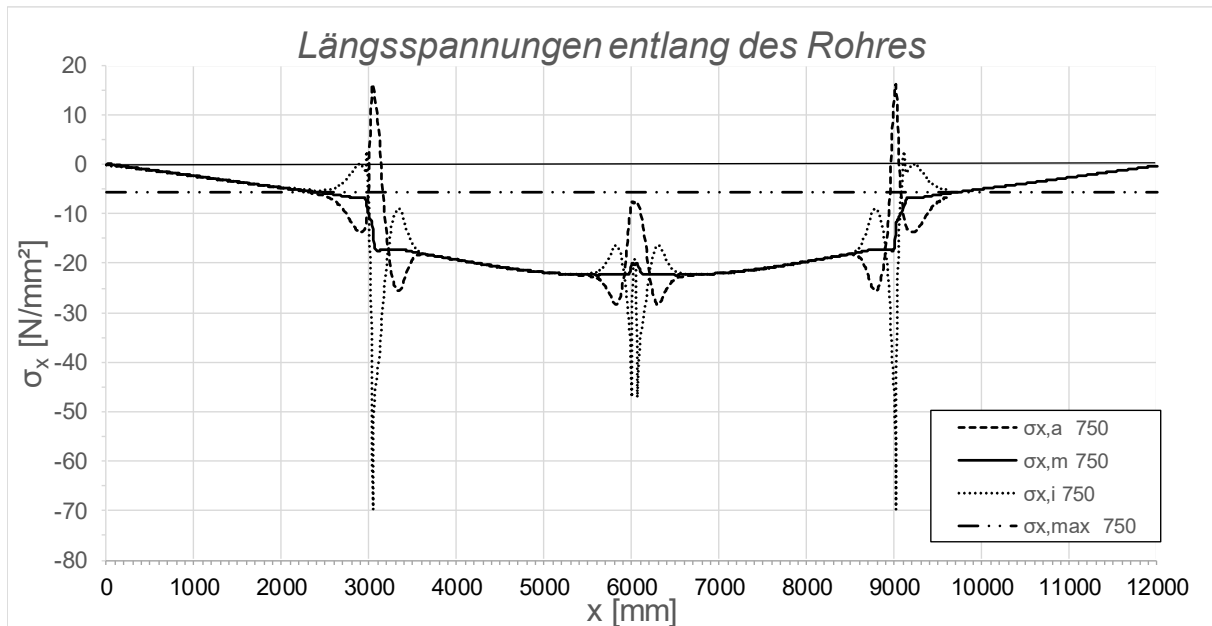


Abbildung C.239: Darstellung der Längsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

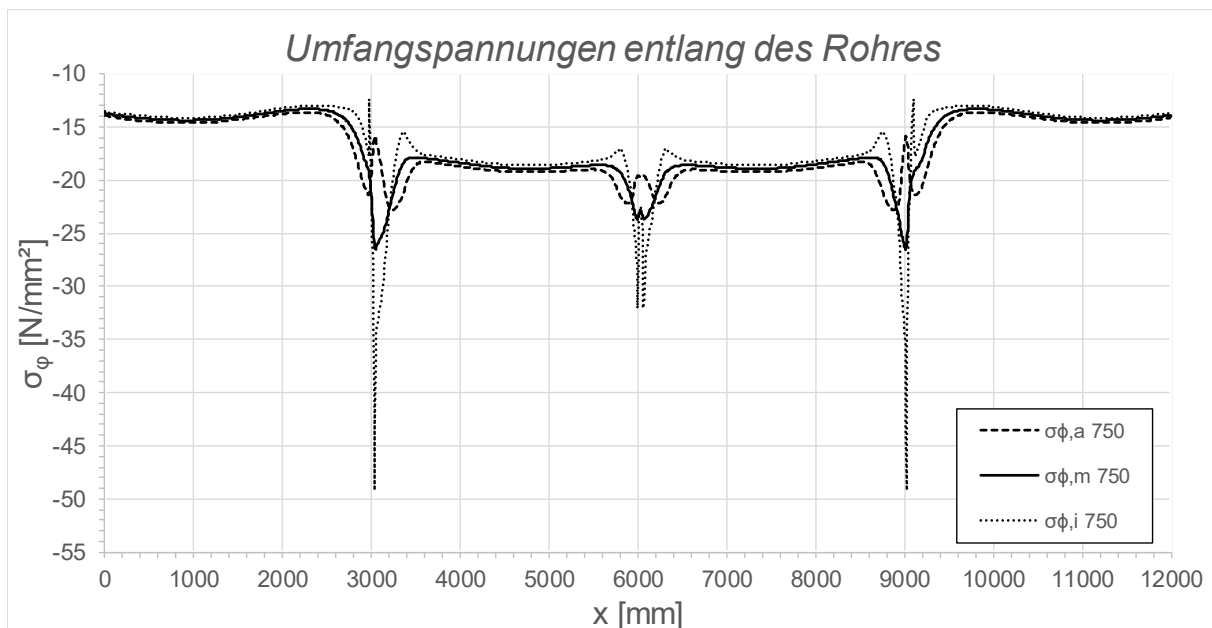


Abbildung C.240: Darstellung der Umfangsspannungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

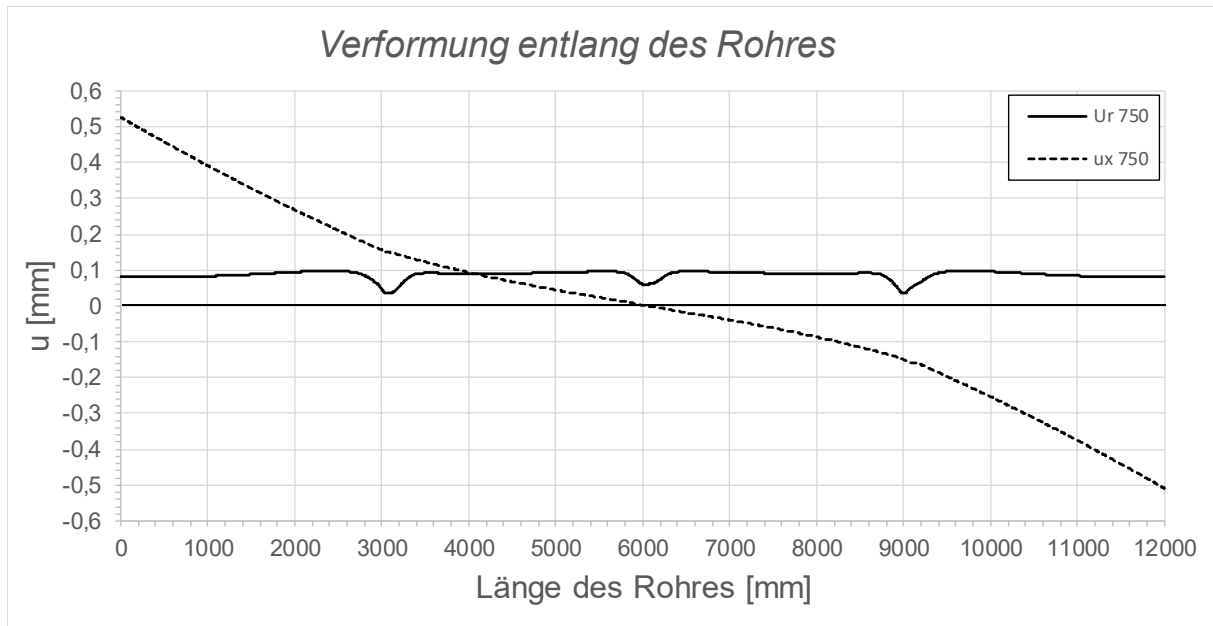


Abbildung C.241: Darstellung der Verformungen entlang des Rohres SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

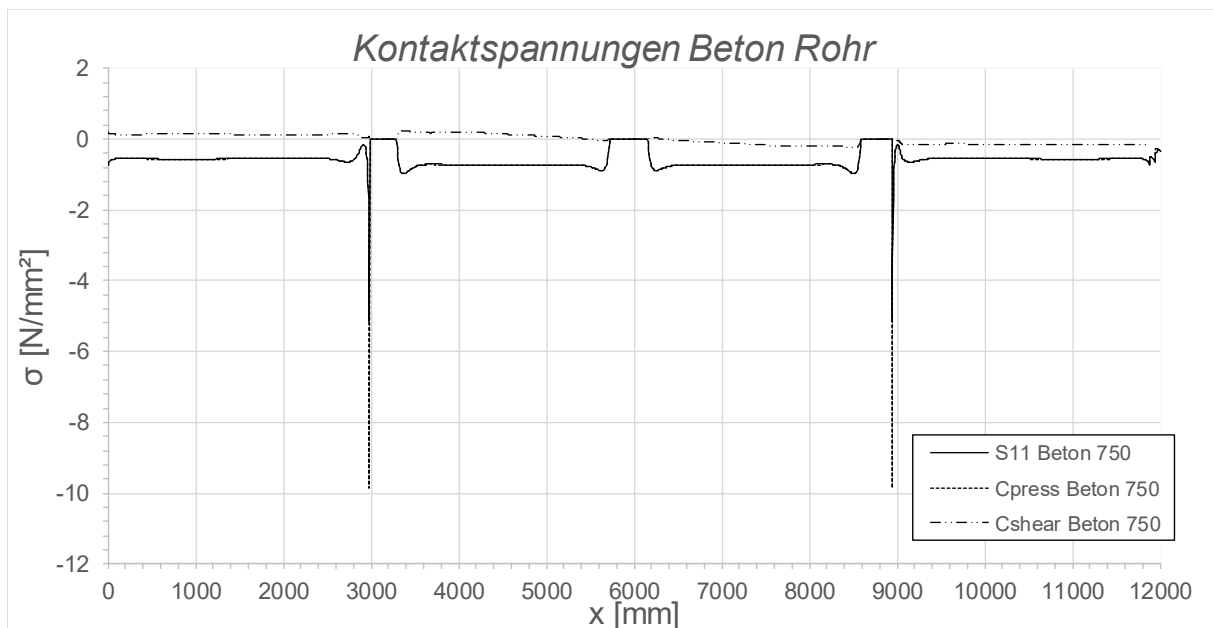


Abbildung C.242: Darstellung der Kontaktspannungen zwischen Beton und Rohr SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60 \text{ mm}$, $h_{\text{Ring}} = 420 \text{ mm}$, $\mu = 0,25$, $R = 1500 \text{ mm}$, $d_c = 750 \text{ mm}$, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000 \text{ N/mm}^2$

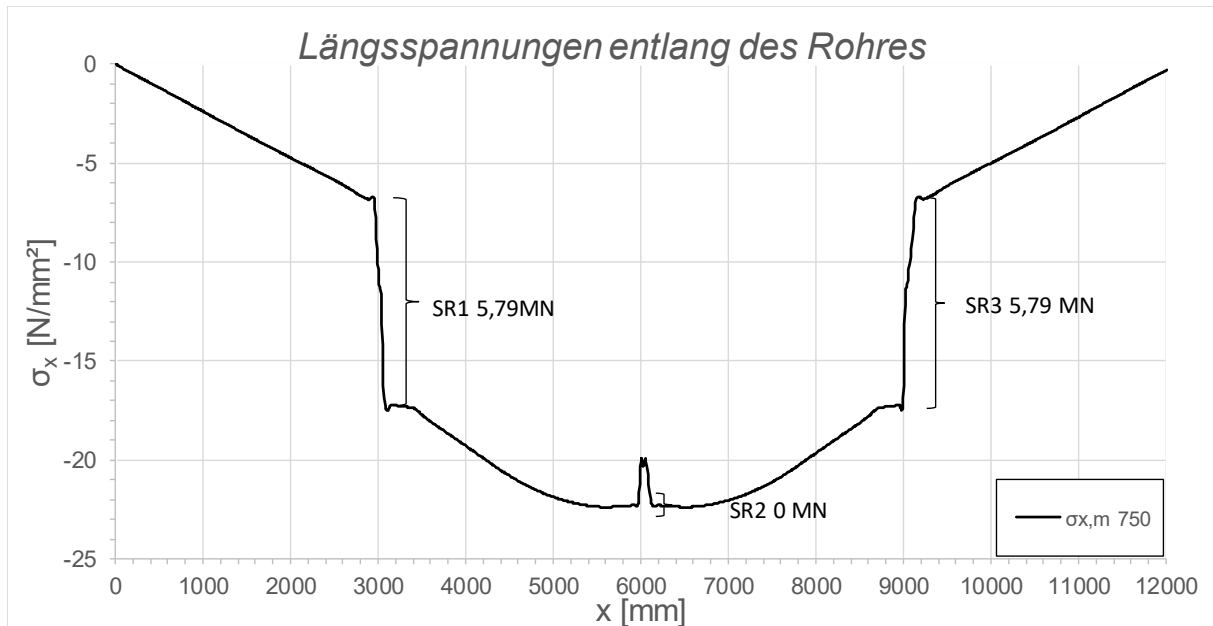


Abbildung C.243: Darstellung der Längsmembranspannungen des Rohres sowie die sich daraus ergebenden Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

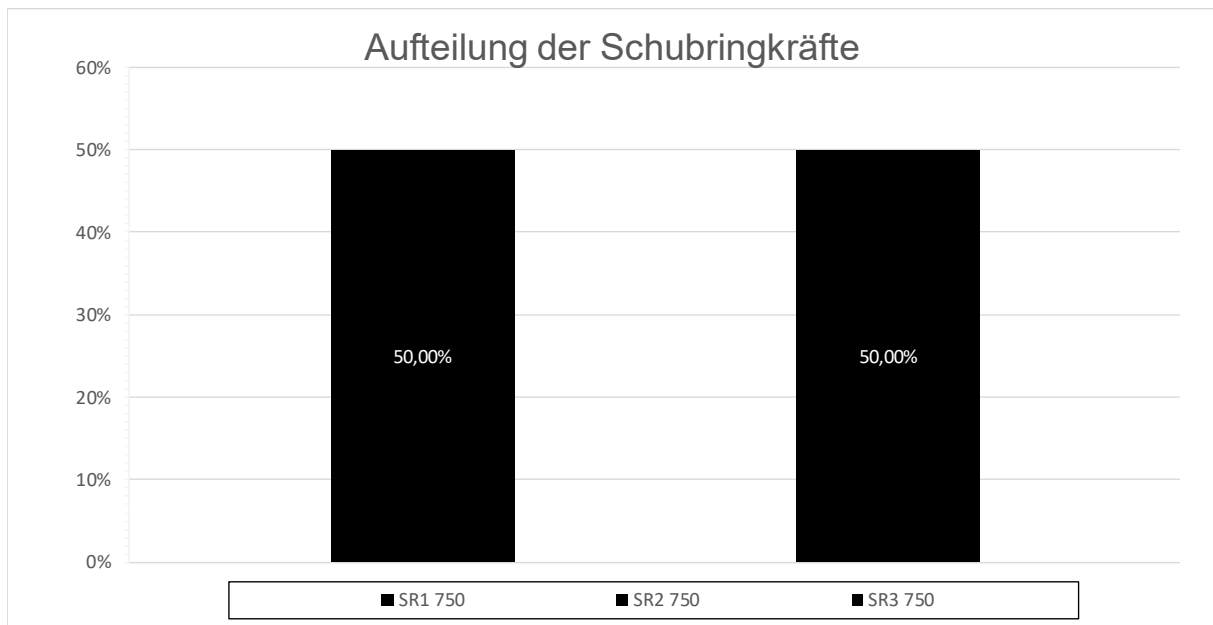


Abbildung C.244: Darstellung der prozentuellen Aufteilung der Schubringkräfte SF2 LF2 + 10 °C, $t_{\text{Ring}} = t_{\text{Rohr}} = 60$ mm, $h_{\text{Ring}} = 420$ mm, $\mu = 0,25$, $R = 1500$ mm, $d_c = 750$ mm, $e_{\text{Ring}} = 2R$, $V_F = 1000$ N/mm²

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

Institutskenzahl:

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