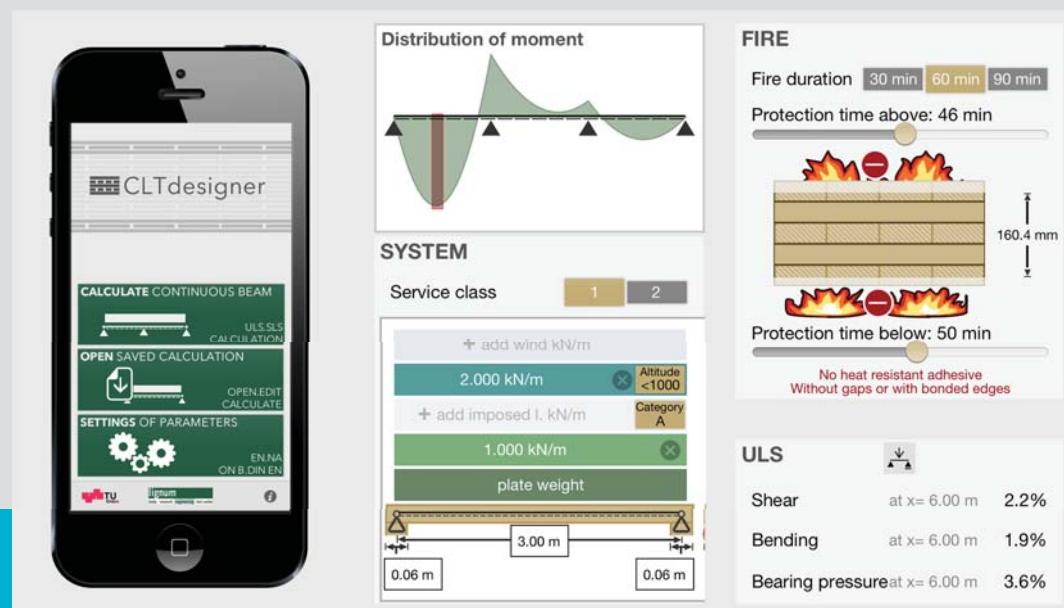


Entwurf und Programmierung einer auf dem Softwaretool „CLTdesigner“ basierenden Anwendungs- Software für Mobilgeräte



M-4-06/2013

Aladin Mikara
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz

Entwurf und Programmierung einer auf dem
Softwaretool „CLTdesigner“ basierenden
Anwendungssoftware für Mobilgeräte

Design and implementation of an application for mobile devices
based on the software tool "CLTdesigner"

Masterarbeit von
Aladin Mikara, BSc

Eingereicht am
Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz

Begutachtung:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer
Betreuer:
Dipl.-Ing. Dr.techn. Alexandra Thiel
Dipl.-Ing. Andreas Ringhofer

Graz, Juni 2013

Erklärung

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

Aladin Mikara

Graz, Juni 2013

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich beim Erstellen der Arbeit und während meines Studiums unterstützt haben.

Allen voran bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer, Leiter des Instituts für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz, möchte ich mich für die Unterstützung und Förderung, welche er mir entgegenbrachte, sowie für die kritische Begutachtung meiner Masterarbeit bedanken.

Außerdem möchte ich mich vor allem bei meinen Betreuern, Frau Dipl.-Ing. Dr. Alexandra Thiel und Herrn Dipl.-Ing. Andreas Ringhofer für die großartige Betreuung bedanken. Zu jeder schweren Frage, ob zum Holzbau oder zur Informatik hatte ich durch sie immer Ansprechpersonen, die mir den richtigen Lösungsweg erklärten. Ihre fachliche Hilfestellung und ihr Vertrauen in mich haben diese Arbeit erst möglich gemacht.

Ein besonders großer Dank gilt auch meinen Eltern Saliha und Samir Mikara, meinen Geschwistern Amel, Hamza und Zinedin sowie meiner Freundin Armina, die mich alle während meins gesamten Studiums und besonderes während der Diplomarbeit so gut es ging unterstützt haben, mich immer motiviert haben und meine schlechten Launen ertrugen.

Als letztes danke ich allen meinen Studienkollegen und Freunden für die Unterstützung und die schöne Zeit.

Vielen Dank!

Kurzfassung

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Programmierung der Applikation CLTdesigner zur Berechnung von Deckensystemen in Brettsperrholz. Als Plattform für die Applikation wurde iOS von Apple gewählt, welche von Geräten wie dem iPhone oder dem iPad verwendet wird. Der CLTdesigner soll die maßgebenden Lastfallkombinationen generieren, Schnittkräfte und Spannungen berechnen und alle nötigen Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit durchführen.

Im ersten Teil der Arbeit werden alle von der Applikation verwendeten Berechnungsmethoden für Schnittkräfte und Spannungen behandelt und die nötigen Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise für Brettsperrholzdecken, wie im BSPHandbuch[10] beschrieben, erläutert.

Der zweite Teil der Arbeit gewährt einen kurzen Überblick über iOS und das Programmieren für diese Plattform. Die Entwicklerumgebung wird beschrieben und die wichtigsten Informationen zur Software- und Hardwarearchitektur gegeben.

Im dritten Teil der Arbeit wird auf das Programmieren des CLTdesigners eingegangen. Es werden alle wichtigen Methoden, Programmabläufe, Klassen und Benutzeroberflächen erklärt.

Den Schluss der Arbeit bildet ein Vergleich der berechneten Nachweise aus der Applikation mit Handrechnungen, sowie Ergebnissen aus dem Berechnungsprogramm CLTdesigner [20] für PC und Mac.

Abstract

This thesis deals with building of the application CLTdesigner for the design of structural floor systems in cross-laminated timber. The CLTdesigner runs on iOS from Apple, which is used by devices such as the iPhone and the iPad. The CLTdesigner has to generate the relevant load combinations, calculate internal forces and stresses and execute all necessary Ultimate Limit State and Serviceability Limit State verifications.

The first part of this thesis is about all used methods for calculating internal forces and stresses and describes the required ULS and SLS verifications according to the BSPhandbuch [10].

The second part of the thesis explains building Applications for iOS. The development environment is described and the main information about the software and hardware architecture is given.

The third part of the thesis describes building the CLTdesigner and all main methods, classes, program processes and interfaces.

The conclusion of this contribution is a comparison of the calculated results from the mobile application, with those of a hand calculation and of the calculation program CLTdesigner [20] for PC and Mac.

Einleitung	1
1 Motivation	3
2 Ziel der Arbeit	3
Berechnungsmethoden und Nachweisverfahren	5
1 Statisches System	7
2 Einwirkungen auf das System	8
3 Lastfallkombinationen	10
3.1 Lastfallkombinationen für Tragfähigkeitsnachweise - ULS	10
3.2 Lastfallkombinationen für Gebrauchstauglichkeitsnachweise - SLS	10
4 Schnittkraftermittlung	11
4.1 TIMOSHENKO-Balken-Theorie.....	11
5 Querschnitt	15
5.1 Biegesteifigkeit K_{CLT}	15
5.2 Schubsteifigkeit S_{CLT}	15
5.2.1 Schubkorrekturfaktor κ	16
6 Spannungsermittlung	18
6.1 Normalspannungsverteilung	18
6.2 Schubspannungsverteilung.....	18
6.3 Querdruckspannung	19
7 Brandeinwirkung	20
7.1 Brandeinwirkungsdauer	20
7.2 Brandschutzschicht	20
7.3 Effektive Abbrandtiefe d_{ef}	21
7.4 Abbrandtiefe d_{char}	21
8 Schwingungen	22
8.1 Bewertung	22
8.2 Eigenfrequenz	22
8.3 Steifigkeitskriterium.....	24
8.4 Schwingungsbeschleunigung.....	24
8.4.1 Fourier-Koeffizient und Erregerfrequenz	25
8.4.2 Lehr'sche Dämpfungsmaß	25
9 Nachweisverfahren	26
9.1 Tragfähigkeitsnachweise.....	26
9.1.1 Normalspannungsnachweis.....	26

9.1.2	Schubspannungsnachweis	27
9.1.3	Querdrucknachweis	27
9.2	Brandfall.....	28
9.2.1	Normalspannungsnachweis	28
9.2.2	Schubspannungsnachweis	28
9.3	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	29
9.3.1	Begrenzung der Durchbiegung	29
9.3.2	Schwingungsnachweis	30
Die iOS Plattform		33
1 Über die Plattform.....		35
1.1	Geräte	35
1.2	Bedienung	36
1.3	Multitasking	36
2 Entwicklungsgrundlagen		36
2.1	Betriebssystem	36
2.2	Application life cycle	37
2.3	Sicherheitsvorkehrungen.....	38
3 Cocoa Touch		39
3.1	Design Patterns – Entwurfsmuster	39
3.2	Besonderheiten.....	40
3.3	Benutzeroberflächenelemente	40
4 iOS Software Development Kit		42
4.1	Programmiersprache	42
4.2	Klassen	42
4.2.1	Instanzen	42
4.2.2	Properties.....	43
4.2.3	Methoden.....	43
4.3	Speicherverwaltung.....	43
4.4	Darstellung	43
Der CLTdesigner für iOS.....		45
1 Die User Interface-Klassen		48
1.1	Die Startseite (MainViewController).....	49
1.1.1	Aufbau und Elemente der Startseite.....	50
1.2	Die Settings-Seite (SettingsViewController).....	51
1.2.1	Aufbau und Elemente der Settings-Seite	52
1.3	Die Open Calculation-Seite (LoadFileViewController)	53
1.3.1	Aufbau und Elemente der Open Calculation-Seite	54
1.4	Die Calculation Input-Seite (InputViewController)	55
1.4.1	Aufbau und Elemente der Calculation Input-Seite	57
1.5	Die Results-Tabbar (ResultsTabBarController).....	60

1.5.1	Aufbau und Elemente der Results-Tabbar	60
1.5.2	Die Verification Overview-Seite (OverviewViewController)	61
1.5.3	Die ULS-Seite (ULSViewController).....	62
1.5.4	Die ULS Fire-Seite (ULSViewController)	63
1.5.5	Die SLS- Seite (SLSViewController).....	64
1.5.6	Die More-Seite (MoreViewController).....	65
1.6	Die Save Calculation-Seite (SaveFileViewController).....	66
1.7	Die Export PDF-Seite (ExportPDFViewController)	67
2	Die Calculation-Klassen.....	68
2.1	Die CalculationScript-Klasse	69
2.2	Parameter-Klassen.....	70
2.3	Berechnungs-Klassen.....	72
2.4	Ergebnis-Klassen	73
	Vergleichsberechnungen.....	75
1	System 1 - Einfeldträger	77
1.1	Systemangaben.....	77
1.2	Berechnung mit der Hand	Fehler! Textmarke nicht definiert.
1.2.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	79
1.2.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall	81
1.2.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung	84
1.2.4	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen.....	85
1.3	Berechnung mit dem CLTdesigner Programm für PC und Mac.....	86
1.4	Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS.....	87
1.5	Berechnungsvergleich.....	88
2	System 2 - Zweifeldträger	89
2.1	Systemangabe.....	89
2.2	Berechnung mit dem CLTdesigner Programm für PC und Mac.....	91
2.3	Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS.....	92
2.4	Berechnungsvergleich.....	93
3	System 3 – Dreifeldträger	94
3.1	Systemangabe.....	94
3.2	Berechnung mir dem CLTdesigner Programm für PC und Mac	96
3.3	Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS.....	97
3.4	Berechnungsvergleich.....	98
4	System 4 – Dreifeldträger mit zwei Kragarmen.....	99
4.1	Systemangabe.....	99
4.2	Berechnung mir dem CLTdesigner Programm für PC und Mac	101
4.3	Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS.....	102
4.4	Berechnungsvergleich.....	103
	Resümee und Ausblick.....	105

1	Zusammenfassung	107
2	Ausblick	107
	Literaturverzeichnis	109
	Abbildungsverzeichnis	113
	Tabellenverzeichnis	117

Einleitung

1 Motivation

Um die Verbreitung der Holz-Massivbauweise mit Brettsperrholz für mehrgeschossige Hochbauten zu forcieren, müssen die Fachkräfte des Ingenieurholzbaus in der Lage sein, diese Konstruktionsweise mit modernen Software-Anwendungen bemessen zu können. Als Beispiel hierfür kann das in den letzten Jahren von der holz.bau forschungs gmbh entwickelte und nunmehr weit verbreitete Bemessungstool „CLTdesigner“ genannt werden.

Auf Basis dieser Programmstruktur soll im Rahmen dieser Arbeit eine Anwendungslösung für mobile Endgeräte entwickelt werden.

Moderne Smartphones und Tablets haben genügend Rechenleistung, um nicht nur als einfacher Taschenrechner zu fungieren, sondern um größere Kalkulationen durchzuführen. Damit ist es möglich, leistungsstarke Applikationen zu entwickeln, welche den Funktionsumfang von Desktopprogrammen bieten.

Mobile Geräte haben den Vorteil, dass sie leicht, handlich und überall einsetzbar sind. Durch ihre moderne Hardware- und Softwarearchitektur sind sie leistungsstark, schnell und energieeffizient.

2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist das Programmieren des CLTdesigners, einer Brettsperrholz-Bemessungs-Applikation für iOS-Geräte.

Die Applikation soll alle nötigen Tragfähigkeits-(ULS) und Gebrauchstauglichkeitsnachweise(SLS) für Deckensysteme aus Brettsperrholz durchführen. Das heißt, im Rahmen des ULS sollen Normalspannungen, Schubspannungen und Auflagerpressungen nachgewiesen, sowie der Brandfall bemessen werden. Im Bereich des SLS soll die Einhaltung der Durchbiegungsbegrenzungen nachgewiesen und der Schwingungsnachweis durchgeführt werden.

Vereinfacht sollen die Deckensysteme mit einer Querschnittsbreite von einem Meter als eindimensionales Ein- bis Dreifeldträgersystem bemessen werden.

Die Applikation soll Eigengewicht, ständige Lasten, Nutzlasten, Schnee und Wind berücksichtigen und die maßgebenden Lastfallkombinationen aufstellen.

Der Ablauf der Eingabe und der Berechnung soll schnell, einfach und komfortabel sein. Alle Berechnungsergebnisse sollen in der Applikation übersichtlich und nachvollziehbar dargestellt werden.

**Berechnungsmethoden und
Nachweisverfahren**

Dieses Kapitel beschreibt alle vom CLTdesigner verwendeten Berechnungsmethoden und Nachweisverfahren für Plattenbiegung mit transversaler Schubbeanspruchung. Alle nötigen Nachweise- und Berechnungsverfahren wurden dem BSPHandbuch [10] und den jeweiligen europäischen Normenwerken (Eurocodes) entnommen.

1 Statisches System

Brettsper Holzplatten werden derzeit so produziert, dass vereinfacht nur eine Lastabtragungsrichtung angenommen werden kann. Aus diesem Grund verwendet der CLTdesigner eine 1-D Balkentheorie für die Bemessung der Schnittkräfte und Durchbiegungen, welche laut BSPHandbuch [10] genügend Genauigkeit bietet.

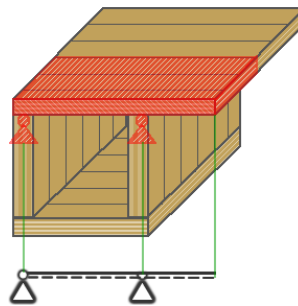


Abbildung 1 Statisches System

Das verwendete Ein- bzw. Mehrfeldsystem mit einer Querschnittsbreite von einem Meter wird dann stellvertretend für die Decke bemessen. Der CLTdesigner kann auf diese Weise Ein- bis Dreifeldsysteme mit oder ohne Kragarmen bemessen. Insgesamt unterscheidet die Applikation acht verschiedene Systeme.

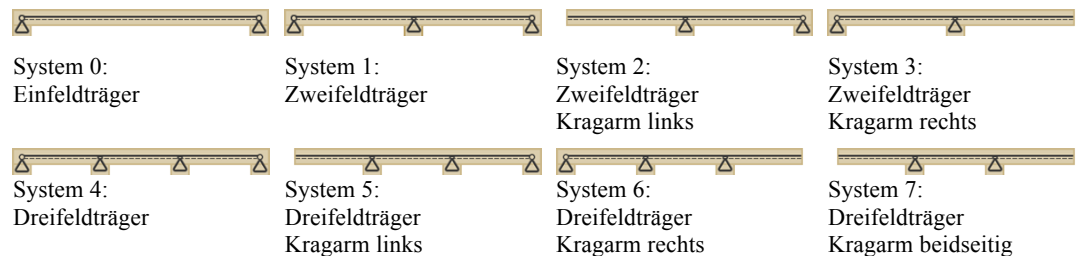


Abbildung 2 Statische Systeme im CLTdesigner (Nummerierung gemäß Programmcode)

2 Einwirkungen auf das System

Für Flachdächer und Zwischendecken aus Brettspertholz müssen ständige und veränderliche Einwirkungen, wie etwa Eigengewicht, Aufbaulasten, Nutzlasten, Schneelasten und Windlasten berücksichtigt werden.

Das Eigengewicht und alle anderen ständigen Lasten sind laut ON EN 1991-1-1 [2] immer voll auf das System wirkend anzusetzen, während die Nutzlasten feldweise als ungünstigste Laststellung anzuordnen sind.

Der Schneelastfall muss laut ON EN 1991-1-3 [5] auch je nach Gegebenheit des Standortes entweder als veränderlicher Lastfall, feldweise oder voll auf das System wirkend angesetzt werden.

Der Wind als veränderliche Einwirkung wirkt laut ON EN 1991-1-4 [6] nur als Gesamtwindeinwirkung und muss somit nicht feldweise betrachtet werden.

Durch die verschiedenen Arten von Einwirkungen ergeben sich 3 Lasttypen, die der CLTdesigner unterscheiden muss:

- **Lasttyp 1:** Zu diesem Typ zählen alle ständigen Lasten. Sie wirken permanent auf das System ein und dürfen nicht feldweise betrachtet werden.
Dazu zählen:
 - Eigengewicht (Brettspertholzplatte)
 - Ständige Lasten (z.B.: Bodenaufbau)
- **Lasttyp 2:** Das sind veränderliche Lasten, die auf das gesamte System ohne feldweiser Betrachtung anzusetzen sind.
Dazu zählen:
 - Wind
 - Schnee (je nach Gegebenheit)
- **Lasttyp 3:** Dazu gehören veränderliche Lasten, die auch feldweise auftreten können und daher mehrere Lastfallkombinationen entstehen.
Dazu zählen:
 - Nutzlasten
 - Schnee (je nach Gegebenheit)

Alle Lasttypen und deren Kombinationen im Überblick:


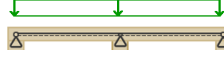
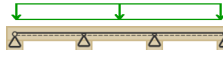
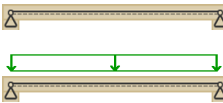
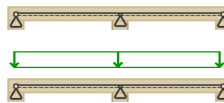
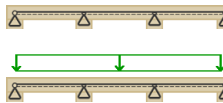
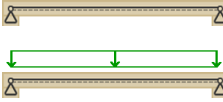
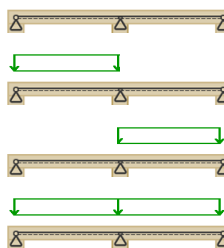
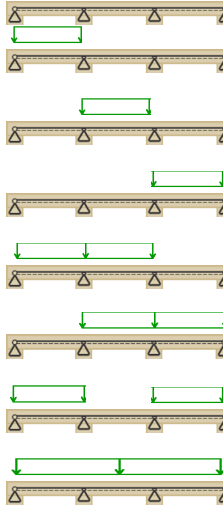
	Einfeldträger	Zweifeldträger	Dreifeldträger
Typ 1	 1 Kombination	 1 Kombination	 1 Kombination
Typ 2	 2 Kombinationen	 2 Kombinationen	 2 Kombinationen
Typ 3	 2 Kombinationen	 4 Kombinationen	 8 Kombinationen

Tabelle 1 Lasttypen im CLTdesigner für iOS

3 Lastfallkombinationen

Da der CLTdesigner alle nötigen Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise durchführt, müssen die maßgebenden Lastfallkombinationen für Tragfähigkeit, Tragfähigkeit im Brandfall und Durchbiegung aufgestellt und damit in weiterer Folge die daraus resultierenden Schnittkräfte und Durchbiegungen berechnet werden.

3.1 Lastfallkombinationen für Tragfähigkeitsnachweise - ULS

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit soll die Sicherheit der Personen und des Tragwerks gewährleisten [1].

Für die Berechnung der Bemessungsschnittgrößen wurden die Lastfallkombinationen aus der EN 1990 [1] entnommen.

Lastfallkombination für den Grenzzustand der Tragfähigkeit:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

Lastfallkombination für den Brandfall (außergewöhnlicher Lastfall):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

3.2 Lastfallkombinationen für Gebrauchstauglichkeitsnachweise - SLS

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit soll die Funktion des Tragwerks, das Wohlbefinden des Nutzers und das Erscheinungsbild sicherstellen [1].

Die nötigen Lastfallkombinationen für die Begrenzung der Durchbiegung wurden der ON EN 1995-1-1:2009 [7] entnommen:

- Charakteristische Einwirkungskombination t=0

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} \quad \text{mit:} \quad w_{inst,G} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j}$$

$$w_{inst,Q} = Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} * Q_{k,i}$$

- Charakteristische Einwirkungskombination t=∞

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} \quad \text{mit:} \quad w_{creep} = (w_{inst,G} + w_{inst,Q,perm}) * k_{def}$$

$$w_{inst,Q,perm} = \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i}$$

- Quasi-ständige Einwirkungskombination t=∞

$$w_{net,fin} = w_{fin} + w_c \quad \text{mit} \quad w_c = 0 \quad (\text{Vorkrümmung bei BSP} = 0 \text{ mm})$$

4 Schnittkraftermittlung

Brettsper Holz hat eine orthogonal alternierend geschichtete Struktur, was zu großen Schubverformungsanteilen führen kann, welche bei einem L/H (Spannweite/Querschnittshöhe) Verhältnis von 20 bis zu 25% der Gesamtverformung betragen können.

Die Applikation muss daher bei der Ermittlung der Verformung die Schubnachgiebigkeit berücksichtigen und kann diese daher nicht vereinfacht nach der Euler Bernoulli Theorie berechnen.

Im baupraktischen Bereich liegen die L/H Verhältnisse bei 15 und höher. Für diese Verhältnisse bietet die TIMOSHENKO-Balken-Theorie [12], welche im Folgenden genauer erläutert wird ausreichend hohe Genauigkeit. Bei L/H Verhältnisse unter 15 oder sehr hohen Einzellasteinleitungen müssen genauere Methoden verwendet werden, wie das Schubanalogie Verfahren, welches im Stützbereich Abweichungen von ca. 3,6 % im Gegensatz zur TIMOSHENKO-Balken-Theorie [12], mit Abweichungen von ca. -13% zur „realen“ Lagerbedingung (FE 2D Berechnung) aufweist [11].

4.1 TIMOSHENKO-Balken-Theorie

Die TIMOSHENKO-Balken-Theorie [12] ist eine Erweiterung der Euler-Bernoulli-Theorie. Dabei wird beim verformten Balken auch seine Schubverformung berücksichtigt. Damit ist aber die Euler Bernoulli Annahme, dass der Querschnitt eines Balkens auch nach der Verformung senkrecht zur Balkenachse bleibt, nicht mehr erfüllt. Das Ebenbleiben des Querschnitts ist jedoch weiterhin gegeben.

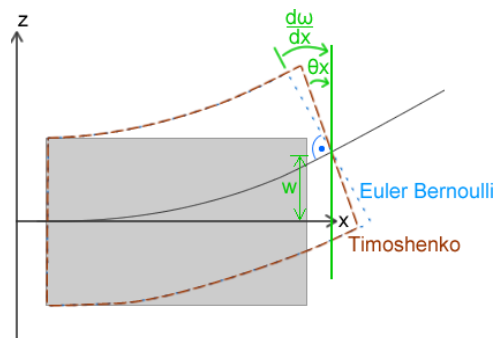


Abbildung 3 TIMOSHENKO-Balken-Theorie

Als Resultat des veränderten Ansatzes wird die Euler-Bernoulli Gleichung um einen Term zur Berücksichtigung der Schubnachgiebigkeit erweitert.

$$EI * \frac{d^4 \omega}{dx^4} = q(x) - \frac{EI}{\kappa GA} * \frac{d^2 q}{dx^2}$$

←————→ ←————→
 Bernoulli Timoshenko

Für ein einzelnes Feld mit einer über das Feld konstanten Belastung q gilt dann folgender Ansatz für die Bestimmung der Schnittkräfte, der Rotation und der Verformung:

- Querkraft:

$$Q(x) = -(C_1 + q \cdot x)$$
- Moment:

$$M(x) = -\left(\left(C_1 \cdot x + C_2 + \frac{q \cdot x^2}{2} \right) + q \cdot \frac{EI}{\kappa GA} \right)$$
- Rotation:

$$\varphi(x) = \frac{1}{EI} \cdot \left(q \cdot \frac{x^3}{6} + C_1 \cdot \frac{x^2}{2} + C_2 \cdot x + C_3 \right) + \frac{q \cdot x}{\kappa GA} + \frac{C_1}{\kappa GA}$$
- Durchbiegung:

$$u(x) = \frac{1}{EI} \cdot \left(q \cdot \frac{x^4}{24} + C_1 \cdot \frac{x^3}{6} + C_2 \cdot \frac{x^2}{2} + C_3 \cdot x + C_4 \right)$$

C_1, C_2, C_3 und C_4 sind die unbekannt Variablen. Je nach Anzahl der Felder erhöht sich auch die Anzahl der Unbekannten. Somit hat ein Einfeldträger insgesamt 4, ein Zweifeldträgersystem 8 und ein Dreifeldträgersystem 12 unbekannt Parameter. Um diese zu bestimmen, müssen alle Gleichungssysteme des jeweiligen statischen Systems aufgestellt werden und deren Rand- sowie Übergangsbedingungen definiert werden.

Alle verwendeten Randbedingungen für gelenkige Endauflager sind:

- $M = 0$
- $u = 0$

Alle verwendeten Randbedingungen für das freie Ende eines Kragarmes sind:

- $M = 0$
- $V = 0$

Alle verwendeten Übergangsbedingungen über einem Zwischenauflager sind:

- $M_{links} = M_{rechts}$
- $\varphi_{links} = \varphi_{rechts}$
- $u_{links/rechts} = 0$

Bei einwirkenden Einzelkräften gelten folgende Übergangsbedingungen:

- $u_{links} = u_{rechts}$
- $\varphi_{links} = \varphi_{rechts}$
- $M_{links} = M_{rechts}$
- $Q_{rechts} = Q_{links} - F_{Einzellast}$

Für die Tragfähigkeitsnachweise werden konstante Lasten q über das gesamte Feld angesetzt. Dadurch ergeben sich folgende Rand- und Übergangsbedingungen für die statischen Systeme:

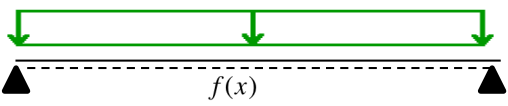
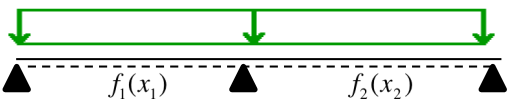
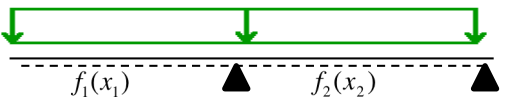
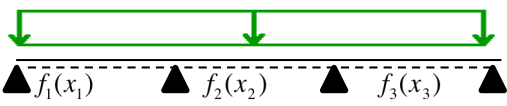
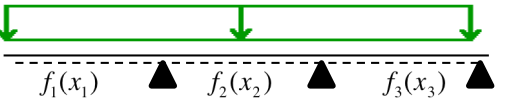
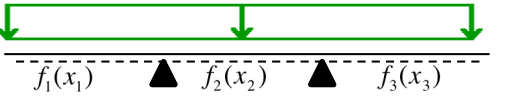
$u(0) = 0$ $M(0) = 0$  <p>System 0: Einfeldträger</p>	$M_1(l_1) = M_2(0)$ $\varphi_1(l_1) = \varphi_2(0)$ $M_1(0) = 0$ $u_1(0) = 0$ $u_1(l_1) = 0$ $u_2(0) = 0$ $M_2(l_2) = 0$ $u_2(l_2) = 0$  <p>System 1: Zweifeldträger</p>
$M_1(l_1) = M_2(0)$ $\varphi_1(l_1) = \varphi_2(0)$ $V_1(0) = 0$ $M_1(0) = 0$ $u_1(l_1) = 0$ $u_2(0) = 0$ $M_2(l_2) = 0$ $u_2(l_2) = 0$  <p>System 2 + 3: Zweifeldträger mit einem Kragarm links/rechts</p>	$M_1(l_1) = M_2(0)$ $\varphi_1(l_1) = \varphi_2(0)$ $M_2(l_2) = M_3(0)$ $\varphi_2(l_2) = \varphi_3(0)$ $M_1(0) = 0$ $u_1(0) = 0$ $u_2(0) = 0$ $u_1(l_1) = 0$ $u_2(l_2) = 0$ $u_3(0) = 0$ $M_3(l_3) = 0$ $u_3(l_3) = 0$  <p>System 4: Dreifeldträger</p>
$M_1(l_1) = M_2(0)$ $\varphi_1(l_1) = \varphi_2(0)$ $V_1(0) = 0$ $M_1(0) = 0$ $u_1(l_1) = 0$ $u_2(0) = 0$ $M_2(l_2) = M_3(0)$ $\varphi_2(l_2) = \varphi_3(0)$ $u_2(l_2) = 0$ $u_3(0) = 0$ $M_3(l_3) = 0$ $u_3(l_3) = 0$  <p>System 5 + 6: Dreifeldträger mit einem Kragarm links/rechts</p>	$M_1(l_1) = M_2(0)$ $\varphi_1(l_1) = \varphi_2(0)$ $V_1(0) = 0$ $M_1(0) = 0$ $u_1(l_1) = 0$ $u_2(0) = 0$ $M_2(l_2) = M_3(0)$ $\varphi_2(l_2) = \varphi_3(0)$ $u_2(l_2) = 0$ $u_3(0) = 0$ $V_3(l_3) = 0$ $M_3(l_3) = 0$  <p>System 7: Dreifeldträger mit Kragarmen auf beiden Seiten</p>

Abbildung 4 Rand- und Übergangsbedingungen bei konstanter Last q

Für den Schwingungsnachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit muss noch zusätzlich die Durchbiegung aufgrund einer Einzellast berechnet werden können.

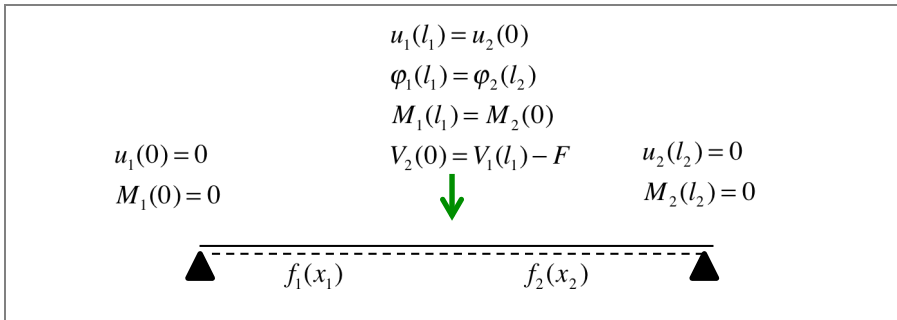


Abbildung 5 Rand- und Übergangsbedingungen bei einer Einzellast

5 Querschnitt

Da ein Brettsperrholzquerschnitt, durch seinen symmetrischen Aufbau mit längs und quer orientierten Schichten unterschiedliche Materialparameter in den Einzelschichten (E_0, E_{90}, G_0, G_{90}) aufweist, müssen diese bei der Berechnung der Querschnittswerte berücksichtigt werden.

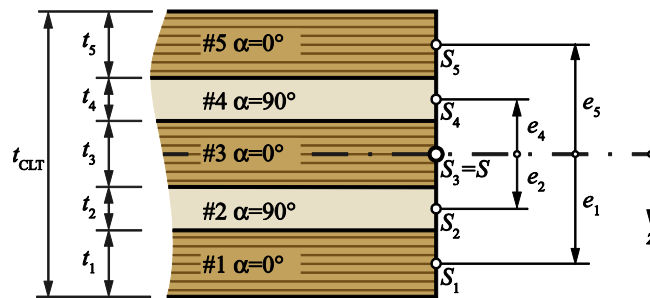


Abbildung 6 Geschichteter Querschnitt [13]

5.1 Biegesteifigkeit K_{CLT}

Die Biegesteifigkeit K_{CLT} wird nach folgender Formel ermittelt:

$$K_{CLT} = \sum (E_i \cdot J_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_i^2)$$

J_i	Eigenträgheitsmoment der Einzelschicht
E_i	E_{mean} -Modul der Einzelschicht
A_i	Querschnittsfläche der Einzelschicht
e_i	Abstand zwischen Teilflächen- und Gesamtschwerpunkt

5.2 Schubsteifigkeit S_{CLT}

Die Schubsteifigkeit des wölbfreien geschichteten Brettsperrholzquerschnittes berechnet sich wie folgt:

$$S_{ges} = \sum (G_i \cdot b_i \cdot t_i) = \sum (G_i \cdot A_i)$$

G_i	Schubmodul der Einzelschicht
b_i	Breite der Einzelschicht
t_i	Schichtdicke der Einzelschicht
A_i	Querschnittsfläche der Einzelschicht

Durch Multiplikation von S_{ges} mit dem Schubkorrekturfaktor κ erhält man dann die Schubsteifigkeit S_{CLT} :

$$S_{CLT} = S_{ges} \cdot \kappa$$

5.2.1 Schubkorrekturfaktor κ

Der Schubkorrekturfaktor berücksichtigt die Geometrie und die Materialkennwerte und ist für den allgemeinen Fall nach Bogensperger/Moosbrugger [18] wie folgt zu ermitteln:

$$\kappa = \frac{1}{S_{ges} \cdot \frac{1}{K_{CLT}^2} \cdot \int_{t_{CLT}} \frac{S^2(z, E(z))}{G(z) \cdot b(z)} dz}$$

$S(z, E(z))$ Statisches Moment in Abhängigkeit der z -Koordinate
 $G(z)$ Schubmodul in Abhängigkeit der z -Koordinate
 $b(z)$ Querschnittsbreite in Abhängigkeit der z -Koordinate

Im baupraktischen Bereich ($t_{längs}/t_{ges}$ zwischen 0,4 und 0,8) haben die Schubkorrekturfaktoren einen nahezu konstanten Wert.

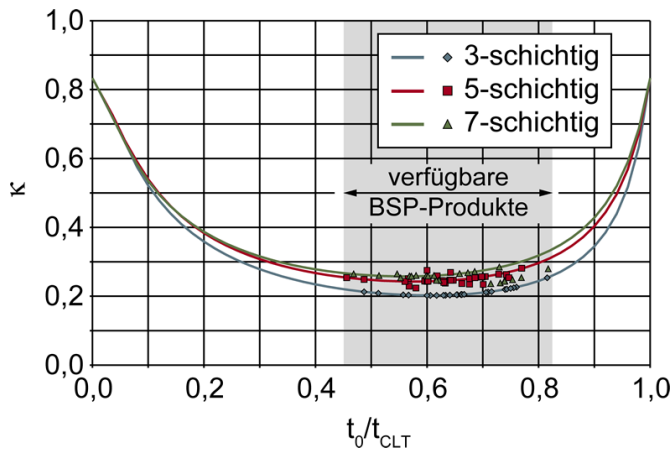


Abbildung 7 Schubkorrekturfaktor mit variablen Einzelschichtstärken ($G_0/G_{90} = 10$) [13]

Aus diesem Grund verwendet die Applikation den Berechnungsansatz nach Jöbstl [19], welcher zwar von konstanten Einzelschichtstärken ausgeht, dennoch ausreichend genaue Ergebnisse liefert. Damit ist der zu berechnende κ -Wert nur mehr von der Schichtanzahl, dem E_0 und E_{90} -Modul sowie dem G_0 - und G_{90} - Modul abhängig.

- 3-schichtige BSP-Querschnitte:

$$\kappa_{z,3S} = \frac{12^2 \left(2 + \frac{G_{90}}{G_0} \right)}{\left(26 + \frac{E_{90}}{E_0} \right)^2} * \left(\frac{G_0}{120G_{90}} \left(\left(\frac{E_{90}}{E_0} \right)^2 + 20 \frac{E_{90}}{E_0} + 120 \right) \frac{17}{20} \right)$$

- 5-schichtige BSP-Querschnitte:

$$\kappa_{z,5S} = \frac{12^2 \left(3 + 2 \frac{G_{90}}{G_0} \right)}{\left(99 + 26 \frac{E_{90}}{E_0} \right)^2} * \left(\frac{G_0}{G_{90}} \left(\frac{17}{20} \left(\frac{E_{90}}{E_0} \right)^2 + \frac{14}{3} \frac{E_{90}}{E_0} + 8 \right) + \left(\frac{E_{90}}{E_0} \right)^2 + \frac{25}{6} \frac{E_{90}}{E_0} + \frac{883}{120} \right)$$

- 7-schichtige BSP Querschnitte:

$$\kappa_{z,5S} = \frac{12^2 \left(4 + 3 \frac{G_{90}}{G_0} \right)}{\left(244 + 99 \frac{E_{90}}{E_0} \right)^2} * \left(\frac{G_0}{G_{90}} \left(\frac{883}{120} \left(\frac{E_{90}}{E_0} \right)^2 + \frac{89}{3} \frac{E_{90}}{E_0} + 34 \right) + 8 \left(\frac{E_{90}}{E_0} \right)^2 + \frac{86}{3} \frac{E_{90}}{E_0} + \frac{971}{30} \right)$$

Der vereinfacht berechnete Schubkorrekturfaktor bewirkt um bis zu 5% abweichende Schubverformungen vom exakten Wert, da aber die Schubverformung maximal 25% der Gesamtverformung im baupraktischen Bereich ausmacht, ergibt sich daraus eine maximale Gesamtabweichung von nur 1,25%.

6 Spannungsermittlung

Die Spannungsverteilung wird gemäß BSPhandbuch [10] nach der elastischen Verbundtheorie ermittelt. Dieser Ansatz liefert für L/H Verhältnisse >15 nur minimale Unterschiede zur exakten Verbundbalkenlösung.

6.1 Normalspannungsverteilung

Die Querlagen tragen wegen ihres geringen E_{90} -Moduls (Verhältnis E_0/E_{90} von ca. 30) kaum zur Biegefestigkeit bei. Dadurch entstehen nur minimale Normalspannungen in den Querlagen. Viele Hersteller geben daher für den E_{90} -Modul einen Wert von null an.

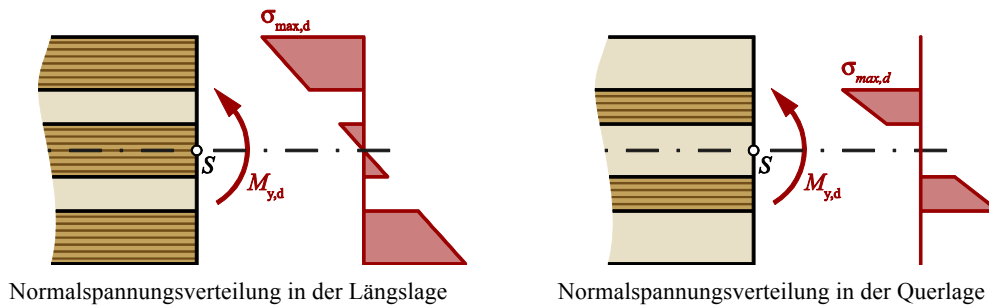


Abbildung 8 Normalspannungsverteilung am Querschnitt [13]

Verwendete Berechnungsformel für die Normalspannungen:

$$\sigma(z) = \frac{M_y}{K_{CLT}} \cdot z \cdot E(z)$$

M Biegemoment
 z Dickenkoordinate

6.2 Schubspannungsverteilung

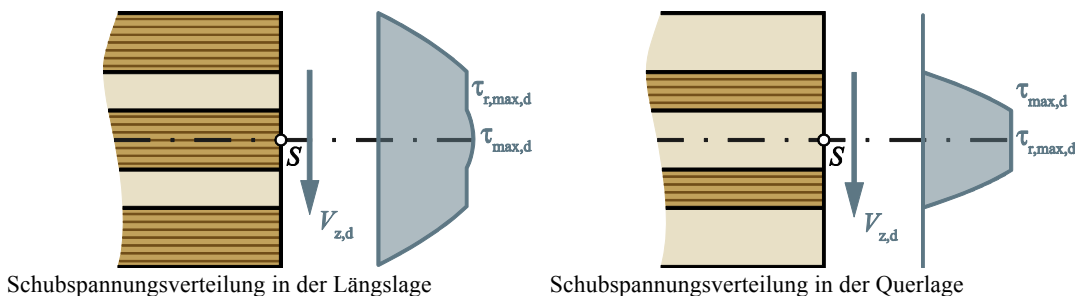


Abbildung 9 Schubspannungsverteilung am Querschnitt [13]

Die Schubspannungen werden nach folgender Formel berechnet:

$$\tau(z_0) = \frac{V_z \cdot \int_{A_0} E(z) \cdot z \cdot dA}{K_{CLT} \cdot b(z_0)}$$

V_z transversale Querkraft
 z_0 Abstand der betrachteten Schubspannungsfuge vom Schwerpunkt
 A_0 Fläche zwischen z_0 und den betrachteten Rand

6.3 Querdruckspannung

Bei linienförmigen Querlasteinleitungen in Brettsperrholzplatten (Wand-Decke) sind die Querdruckspannungen nach ON EN 1995-1-1 [7] unter Berücksichtigung der Bruttoaufstandsfläche zu berechnen.

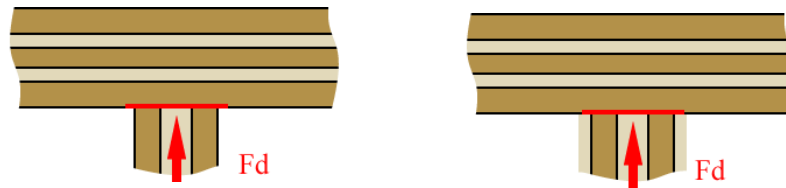


Abbildung 10 Auflagerdetail Wand-Decke für die Auflagerpressung

Verwendete Berechnungsformel für die Querdruckspannung:

$$\sigma_{c,clt,90,d} = \frac{F_d}{t_{ef} \cdot b}$$

F_d Bemessungswert Lastkomponente senkrecht zur Plattenfläche
 t_{ef} rechnerisch effektiv nutzbare Dicke zur Berechnung der Aufstandsfläche

Anmerkung: Der CLTdesigner hat keine Informationen über Art und Aufbau des Auflagers. Darum muss der Nutzer der Applikation die effektiv nutzbare Dicke mit Berücksichtigung aller Effekte eingeben.

7 Brandeinwirkung

Die Bemessung von Brettsperrholzplatten im Brandfall wird mit der vereinfachten Methode des reduzierten abgebrannten Querschnittes nach EN 1995-1-2 [9] durchgeführt. Die Applikation berücksichtigt Brandeinwirkungen auf der Ober- und Unterseite des Querschnittes. Dabei werden alle nötigen Werte gemäß BSPHandbuch [10] bestimmt. Um die Abbrandtiefe zu bestimmen, müssen die Abbrandgeschwindigkeiten, Branddauer, Fugenbreiten, Temperaturbeständigkeit des Klebstoffes und die Widerstandsdauer der Brandschutzschicht bekannt sein.

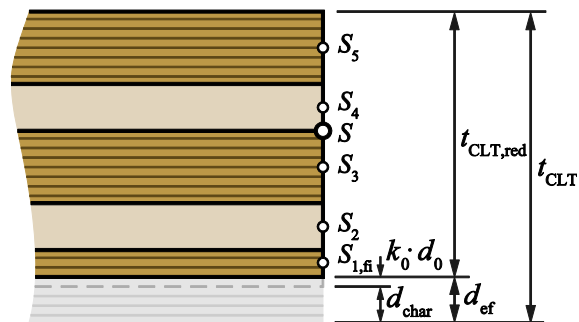


Abbildung 11 Reduzierter Brandquerschnitt [13]

7.1 Brandeinwirkungsdauer

Der CLTdesigner benötigt die gewünschte Brandeinwirkungsdauer, um den reduzierten Querschnitt zu berechnen. Die Brandeinwirkungsdauer gibt an, wie lange das Tragwerk dem Feuer standhalten muss, ohne seine Tragfähigkeit zu verlieren.

	Brandeinwirkungsdauer
R30	30 Minuten
R60	60 Minuten
R90	90 Minuten

Tabelle 2 Vom CLTdesigner unterstützte Brandeinwirkungsdauern

7.2 Brandschutzschicht

Die Brandschutzschicht besteht aus z.B. Gipsplatten und verhindert für einen gewissen Zeitraum das Abbrennen des Holzquerschnittes. Der Querschnitt ist somit dem Feuer nur mehr der restlichen Zeit nach Abfallen der Brandschutzschicht direkt ausgesetzt.

7.3 Effektive Abbrandtiefe d_{ef}

Die effektive Abbrandtiefe gibt an, wie viel vom Querschnitt nach der gewünschten Brandeinwirkungsdauer abgebrannt bzw. beeinträchtigt ist.

Sie berechnet sich für die Ober- und Unterseite des Querschnittes wie folgt:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0 \quad \text{mit} \quad k_0 = \min \begin{cases} t/20 \\ 1.0 \end{cases}$$

d_{char} Abbrandtiefe von Brettsper Holz für eine bestimmte Feuerwiderstandsdauer

$k_0 \cdot d_0$ Schichtdicke zur Berücksichtigung des Einflusses der Temperatureinwirkung auf die Materialeigenschaften, $d_0 = 7 \text{ mm}$.

Der CLTdesigner entfernt zusätzlich die äußerste Schicht des Restquerschnittes, falls diese eine Restdicke unter 6 mm aufweist. Damit wird eine realere Spannungsverteilung sichergestellt.

Die Applikation berechnet für den reduzierten Querschnitt, wie in Kapitel 5 gezeigt, die Querschnittswerte und ermittelt dann die Schnittkräfte und Spannungen.

7.4 Abbrandtiefe d_{char}

Die Abbrandtiefe wird je nach Dauer des Brandes und Abbrandgeschwindigkeit der einzelnen Schichten bestimmt.

Die Abbrandtiefe für eine einzelne Schicht wird wie folgt berechnet:

$$d_{char} = \beta \cdot t$$

β Abbrandgeschwindigkeit der Schicht

t Branddauer

Der CLTdesigner verwendet folgende Abbrandgeschwindigkeiten:

	Fugenbreite	Hochtemperatur- beständiger Klebstoff	Nicht hohtemp.- beständiger Klebstoff	
1-Schicht	$\leq 2 \text{ mm}$	Ohne Brandschutzschicht	0,65	0,65
		Nach Abfall der Brandschutzschicht	1,3	1,3
	$\leq 6 \text{ mm}$	Ohne Brandschutzschicht	0,80	0,80
		Nach Abfall der Brandschutzschicht	1,6	1,6
Jede weitere Schicht bis $t \leq 25 \text{ mm}$	$\leq 2 \text{ mm}$	0,65	1,30	
	$\leq 6 \text{ mm}$	0,80	1,60	
Jede weitere Schicht ab $t > 25 \text{ mm}$	$\leq 2 \text{ mm}$	0,65	0,65	
	$\leq 6 \text{ mm}$	0,80	0,80	

Tabelle 3 Abbrandgeschwindigkeiten gemäß BSPhandbuch [10]

8 Schwingungen

Die Wahrnehmung von Schwingungen in der Decke ist ein subjektives Empfinden, dennoch können objektiv Einteilungen getroffen werden. Bei niedrigen Eigenfrequenzen (bis ca. 8Hz) ist das Wohlbefinden von der Schwingbeschleunigung und bei hohen von der Schwinggeschwindigkeit abhängig.

Die Eigenfrequenz der Decke und die damit verbundenen Resonanzschwingungen sind maßgebend für den Schwingungsnachweis. Diese darf nicht gleich der Anregerfrequenzen sein, da sonst Resonanz entsteht. Hauptverursacher von Schwingungen bei Wohnungsdecken sind die Bewegungen des Menschen. Durch Gehen, Laufen, Hüpfen und Tanzen entstehen Anregerfrequenzen zwischen 1,5 Hz und 3,0 Hz. Darum ist eine Eigenfrequenz über 7,2 Hz anzustreben.

Der CLTdesigner führt den Schwingungsnachweis nach dem modifizierten Hamm, Richter [14] Verfahren durch. Die Grenzwerte für das Nachweisverfahren sind abhängig von der Einbauart und den Anforderungen an das Schwingungsverhalten. Um das reale Schwingungsverhalten der Decke besser zu erfassen, berücksichtigt die Applikation die Durchlaufwirkung des Systems und die Biegesteifigkeit des Estrichs.

8.1 Bewertung

Als erstes muss die Bewertung der Decke durchgeführt werden. Damit wird entschieden, wie hoch die Anforderungen an das Schwingungsverhalten der Decke sind. Die Applikation unterscheidet folgende Bewertungskriterien nach Kreuzinger/Mohr [17] aus dem BSPhandbuch [10]:

- Beurteilung 1 – hohe Anforderungen: Schwingungen kaum spürbar
- Beurteilung 2 – normale Anforderungen : Bei genauer Konzentration Schwingungen spürbar

8.2 Eigenfrequenz

Ein Balken hat theoretisch unendlich viele Eigenfrequenzen. Als Eigenfrequenz werden aber in weiterer Folge jene Frequenzen bezeichnet, in welchen der Balken am ehesten schwingt.

Die Berechnung der Eigenfrequenz berücksichtigt die Steifigkeit des Querschnittes, die Länge des Balkens und die mitschwingende Masse.

Die Berechnung erfolgt nach folgender Formel für einen Einfeldträger [10]:

$$f_{calc} = \frac{\pi}{2 * l^2} \sqrt{\frac{(EI)_{l,ef}}{\bar{m}}} \quad [Hz]$$

$(EI)_{l,ef}$ effektive Biegesteifigkeit
 \bar{m} mitschwingende Masse
 l Feldlänge

Da der Querschnittsaufbau nicht nur aus einer BSP-Platte besteht, sondern auch aus einer Estrichschicht müssen diese Eigenschaften für die Berechnung der Querschnittssteifigkeit berücksichtigt werden. Dabei ist aber zu beachten, dass der Estrich nicht im Verbund mit dem Holz wirkt.

Die effektive Biegesteifigkeit $(EI)_{l,ef}$ wird wie folgt berechnet:

$$(EI)_{l,eff} = K_{CLT} + (EI)_{Screed}$$

K_{CLT} Biegesteifigkeit BSP
 $(EI)_{Screed}$ Biegesteifigkeit Estrich

Als mitschwingende Masse berücksichtigt der CLTdesigner das Plattengewicht und die ständigen Lasten.

$$\bar{m} = (g_0 + g_1) * b_w * 9,81 \quad \left[\frac{kg}{m} \right]$$

g_0 Plattengewicht
 g_1 ständige Lasten

Für die effektive Biegesteifigkeit, sowie die mitschwingende Masse wird nicht eine Querschnittsbreite von einem Meter angenommen, sondern unter Berücksichtigung der Plattenbreite und der Feldlänge die effektive Breite mit folgender Formel berechnet:

$$b_w = \min \begin{cases} b_{ef} \\ b_d \end{cases} \quad \text{mit} \quad b_{ef} = \frac{l}{1,1} * \sqrt[4]{\frac{(EI)_{b,ef}}{(EI)_{l,ef}}}$$

b_D Breite der Decke
 b_{ef} effektive Deckenbreite

Um auch die Durchlaufwirkung bei Mehrfeldträgern zu berücksichtigen, wird die Eigenfrequenz mit dem Faktor k_{f_2} multipliziert. Die Quertragwirkung wird dabei aber vernachlässigt [15].

$$f_{calc\text{ Mehrfeldträger}} = f_{calc\text{ Einfeldträger}} * k_{f_2}$$

Berechnung des k_{f_2} Faktors wie folgt:

$$k_{f_2} = -5.3828 \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}} \right)^6 + 16.6637 \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}} \right)^5 - 19.7305 \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}} \right)^4 + 10.3840 \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}} \right)^3 - 1.9017 \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}} \right)^2 - 0.5879 \left(\frac{l_{\min}}{l_{\max}} \right) + 1.5537$$

8.3 Steifigkeitskriterium

Das Einhalten des Steifigkeitskriteriums ist ebenso wichtig wie das Frequenzkriterium. Für das Einhalten des Steifigkeitskriteriums wird die maximale Durchbiegung w_{2kN} aufgrund einer Einzellast $F = 2 \text{ kN}$ bestimmt.

Die Durchbiegungsberechnung erfolgt auch für Mehrfeldträger anhand eines Einfeldträgers, da die Durchlaufwirkung für das Steifigkeitskriterium nicht berücksichtigt werden darf [14]. Dabei wird für die Feldlänge die größte Spannweite eingesetzt. Die Einzellast wird für die größte Durchbiegung in Feldmitte angesetzt.

Für die Berechnung des Steifigkeitskriteriums wird ebenfalls die effektive Biegesteifigkeit verwendet.

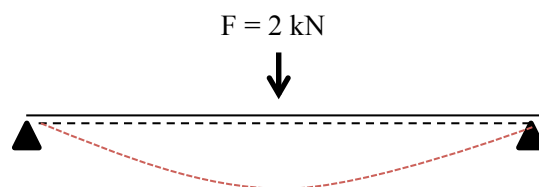


Abbildung 12 Durchbiegungsberechnung für das Steifigkeitskriterium

8.4 Schwingungsbeschleunigung

Bei niedrigen Eigenfrequenzen wird die Schwingungsbeschleunigung relevant. Sie ist von mehreren Faktoren abhängig. Vor allem von der mitschwingenden Masse, den Fourier-Koeffizienten, dem Dämpfungswert und der Eigenfrequenz. Hierbei ist anzumerken, dass der Nachweis meistens aber nur bei ausreichend schweren Decken zum Erfolg führt.

Die Schwingungsbeschleunigung a wird wie folgt berechnet:

$$a = \frac{0.4 \cdot \left(\frac{F_0 \cdot \alpha_{i,f_1}}{M_{gen}} \right)}{\sqrt{\left(\left(\frac{f_{calc}}{f_f} \right)^2 - 1 \right)^2 + \left(2 \cdot \zeta \cdot \frac{f_{calc}}{f_f} \right)^2}} \quad [m/s^2]$$

F_0 Kraft beim Gehen 700N
 α_{i,f_1} Fourier-Koeffizient
 M_{gen} generalisierte Masse
 ζ Lehr'sches Dämpfungsmaß
 f_f Erregerfrequenz

8.4.1 Fourier-Koeffizient und Erregerfrequenz

Die Werte für den Fourier-Koeffizienten und die Erregerfrequenz entnimmt der CLTdesigner aus folgender Tabelle gemäß Lignum Holzwirtschaft Schweiz [15].

Eigenfrequenz f_1 [Hz]	Fourier-Koeffizient α_{i,f_1}	Erregerfrequenz f_f [Hz]
$4.5 < f_1 \leq 5.1$	0.20	f_1
$5.1 < f_1 \leq 6.9$	0.06	f_1
$6.9 < f_1 \leq 8.0$	0.06	6.9

Tabelle 4 Fourier-Koeffizient und Erregerfrequenz [15]

8.4.2 Lehr'sche Dämpfungsmaß

Das Ausschwingverhalten der Platte wird stark durch die Dämpfung beeinflusst. Die Dämpfungsfaktoren liegen in der Baupraxis je nach Art und Aufbau zwischen 0,5% bis ca. 3,0% und in Ausnahmefällen bis 10%.

Anmerkung: Der Benutzer der Applikationen kann den Wert frei wählen, sollte aber im Rahmen der Werte gemäß FITZ (2008) [16] bleiben.

Aufbau	Lehr'sches Dämpfungsmaß ζ	
	Zweiseitig gelagert	Vierseitig gelagert
Brettsperrholzdecken ohne bzw. mit leichtem Aufbau	2,0 %	2,5 %
Brettsperrholz decken mit schwerem Aufbau	2,5 %	3,5 %

Tabelle 5 Dämpfungsmaß gemäß FITZ [16]

9 Nachweisverfahren

Um die Sicherheit von Mensch und Tragwerk sicherzustellen, sowie das Wohlbefinden der Benutzer und das richtige Erscheinungsbild des Tragwerks zu gewährleisten, werden folgende Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise gemäß BSPhandbuch [10] vom CLTdesigner durchgeführt:

Tragfähigkeitsnachweise:

- Normalspannungsnachweis
- Schubspannungsnachweis
- Auflagerpressung

Tragfähigkeitsnachweise im Brandfall:

- Normalspannungsnachweis
- Schubspannungsnachweis

Gebrauchstauglichkeitsnachweise:

- Begrenzung der Durchbiegung
- Schwingungsnachweis

9.1 Tragfähigkeitsnachweise

9.1.1 Normalspannungsnachweis

Der Normalspannungsnachweis bei Brettsperrholzdecken wird aufgrund von reiner Momenteneinwirkung geführt.

Der Nachweis wird wie folgt durchgeführt:

$$\frac{\sigma_{m,Rand,d}}{f_{m,CLT,d}} \leq 1,0$$

Die Ermittlung der charakteristischen Biegefestigkeit des Brettsperrholzes erfolgt nach folgender Formel:

$$f_{m,CLT,k} = k_l \cdot f_{m,GLT,k}$$

$f_{m,GLT,k}$ Biegefestigkeit der entsprechenden Brettschichtholzklasse

k_l Systembeiwert

Der Systembeiwert k_l berücksichtigt das Zusammenwirken mehrerer im Verbund wirkender Bretter, weil durch die Anzahl der parallel wirkenden Bretter in der Zugzone eine Harmonisierung und damit Erhöhung der Biegefestigkeit entsteht.

Der Systembeiwert wird wie folgt berechnet:

$$k_l = \min \begin{cases} 1.1 \\ 1 + 0.025 \cdot n \end{cases} \quad \text{for } n > 1$$

n Anzahl der Schichten

Anmerkung: Der Systembeiwert darf nicht bei Bemessung von Zug- oder Druckbeanspruchung verwendet werden, lediglich bei Momentenbeanspruchung.

Die Bemessungsbiegefestigkeit ergibt sich dann mit folgender Formel:

$$f_{m,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,CLT,k}}{\gamma_M}$$

9.1.2 Schubspannungsnachweis

Bei der Nachweisführung von Brettsperrholzelementen ist aufgrund der geschichteten Struktur neben dem Schubspannungsnachweis, auch der Rollschubspannungsnachweis zu führen.

Die Schubspannungsnachweise werden mit diesen Formeln geführt:

$$\frac{\tau_{max,d}}{f_{v,CLT,d}} \leq 1.0 \quad \text{und} \quad \frac{\tau_{r,max,d}}{f_{r,CLT,d}} \leq 1.0$$

Die Bemessungsschubsteifigkeiten werden wie folgt von der Applikation berechnet:

$$f_{v,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,CLT,k}}{\gamma_M} \quad f_{r,CLT,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{r,CLT,k}}{\gamma_M}$$

Anmerkung: Aufgrund der geringen Festigkeitskenngröße der Rollschubfestigkeit tritt meistens in der Querlage die maßgebende Beanspruchung auf.

9.1.3 Querdrucknachweis

Als dritten und letzten Tragfähigkeitsnachweis weist der CLTdesigner die Auflagerpressung nach. Dabei wird ein Querdruckbeiwert $k_{c,90}$ von 1,75 in Rechnung gestellt.

$$\frac{\sigma_{c,clt,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,0,CLT,net,d}} \leq 1.0$$

9.2 Brandfall

Der Brandfall ist ein außergewöhnlicher Lastfall und daher werden alle Beiwerte zur Berücksichtigung von Modellunschärfen, Materialstreuungen und Fraktilwerten angepasst. Die charakteristischen Festigkeitskennwerte f_k wurden als 5%-Fraktile der Grundgesamtheit definiert und werden für den Brandfall durch den Faktor $k_{fi} = 1,15$ auf 20% Fraktile der Grundgesamtheit erhöht.

9.2.1 Normalspannungsnachweis

Der Normalspannungsnachweis erfolgt wie in Abschnitt 9.1.1 mit dem Unterschied, dass statt der Biegefestigkeit $f_{m,CLT,d}$ beim Brandfall $f_{m,CLT,d,fi}$ in Rechnung gestellt wird.

$$f_{m,CLT,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot f_{m,CLT,k}}{\gamma_{M,fi}} * k_{fi}$$

mit $k_{mod,fi} = 1,0$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

9.2.2 Schubspannungsnachweis

Der Schubspannungsnachweis wird ebenfalls, genau wie in Abschnitt 9.1.2 durchgeführt, mit wieder dem Unterschied, dass statt $f_{v,CLT,d}$, $f_{r,CLT,d}$ nun $f_{v,CLT,d,fi}$, $f_{r,CLT,d,fi}$ angewendet werden.

$$f_{v,CLT,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot f_{v,CLT,k}}{\gamma_{M,fi}} * k_{fi}$$

mit $k_{mod,fi} = 1,0$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$f_{r,CLT,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} \cdot f_{r,CLT,k}}{\gamma_{M,fi}} * k_{fi}$$

mit $k_{mod,fi} = 1,0$

$$\gamma_{M,fi} = 1,0$$

$$k_{fi} = 1,15$$

9.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

Alle geführten Gebrauchstauglichkeitsnachweise wurden gemäß BSPhandbuch [10] und ON EN 1995-1-1:2009 [7] durchgeführt.

9.3.1 Begrenzung der Durchbiegung

Die im Kapitel 3.2 schon gezeigten Lastfallkombinationen für Anfangsverformung w_{inst} ($t=0$), Endverformung mit Berücksichtigung der kriechrelevanten Lastanteile w_{fin} ($t=\infty$) und Nettoendverformung mit Berücksichtigung der kriechrelevanten Lastanteile $w_{net,fin}$ ($t=\infty$) sind nach ON EN 1995-1-1:2009 [7] wie folgt nachzuweisen:

- Anfangsverformung: Charakteristische Einwirkungskombination $t=0$

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300}$$

- Endverformung mit Berücksichtigung der kriechrelevanten Lastanteile:
Charakteristische Einwirkungskombination $t=\infty$

$$w_{fin} \leq \frac{l}{150}$$

- Nettoendverformung mit Berücksichtigung der kriechrelevanten Lastanteile:
Quasi-ständige Einwirkungskombination $t=\infty$

$$w_{net,fin} \leq \frac{l}{250}$$

Anmerkung: Die Länge l ist dabei immer die Länge des jeweiligen Feldes, außer bei Kragarmen, da wird die doppelte Feldlänge in Rechnung gestellt.

9.3.2 Schwingungsnachweis

Der Schwingungsnachweis wird aus folgendem Flussdiagramm aus dem BSPhandbuch [10] geführt [14]:

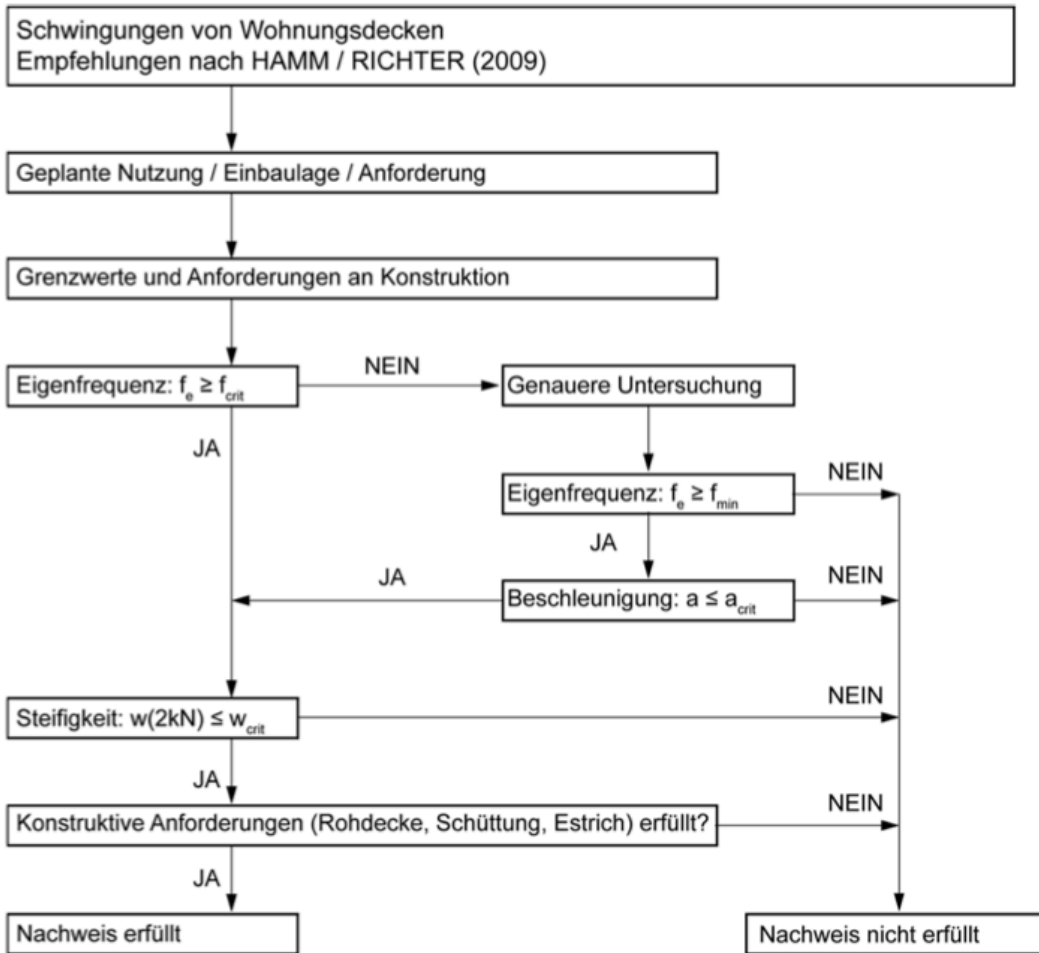


Abbildung 13 Flussdiagramm [14]

Wie aus dem Flussdiagramm ersichtlich, ist zuerst die Eigenfrequenz zu überprüfen. Der Nachweis wird wie folgt durchgeführt:

$$f_{calc} \geq f_{grenz}$$

mit $f_{grenz} = 8,0$ Hz für Beurteilung 1

$f_{grenz} = 6,0$ Hz für Beurteilung 2

und $f_{calc} \geq f_{min} = 4,5$ Hz

Falls die Eigenfrequenz zu gering ist, aber höher als die Mindestfrequenz, muss als nächstes die Schwingungsbeschleunigung überprüft werden. Der Nachweis wird wie folgt durchgeführt:

$$a < a_{\text{grenz}}$$

mit $a_{\text{grenz}} = 0,05 \frac{m}{s^2}$ für Beurteilung 1

$$a_{\text{grenz}} = 0,10 \frac{m}{s^2} \text{ für Beurteilung 2}$$

Ist der Nachweis der Schwingungsbeschleunigung erfüllt, muss noch das Steifigkeitskriterium nachgewiesen werden. Der Nachweis wird wie folgt durchgeführt:

$$w_{2kN} < w_{\text{grenz}}$$

mit $w_{\text{grenz}} = 0,5 \text{ mm}$ für Beurteilung 1

$$w_{\text{grenz}} = 1,0 \text{ mm für Beurteilung 2}$$

Falls das Steifigkeitskriterium und die konstruktiven Anforderungen erfüllt sind, gilt der gesamte Schwingungsnachweis als erfüllt.

Die iOS Plattform

Dieses Kapitel soll einen Überblick über die iOS Plattform geben. Es werden die Stärken und Schwächen des Betriebssystems aufgezeigt, ein Überblick über die Entwicklerumgebung gegeben und die wichtigsten Informationen zum Programmieren für Objective C gegeben.

1 Über die Plattform

Die iOS Plattform ist Apples Version eines mobilen Betriebssystems. Es ist speziell für Smartphones und Tablets konzipiert und für Fingerbedienung optimiert. Die Architektur von Software und Hardware unterscheidet sich grundlegend von traditionellen Desktopbetriebssystemen.

1.1 Geräte

iOS-Geräte besitzen eine aufeinander abgestimmte Hardware und Software. So können sehr energieeffizient große Datenmengen bearbeitet werden. Das iOS Betriebssystem ist auf dem ARM-Chipsatz ausgelegt. Der große Vorteil von ARM ist die neuere und ressourceneffizientere Prozessor-Architektur, im Gegensatz zu den traditionellen und älteren x86-Architekturen für Desktopcomputer.

iOS-Geräte bieten als primäre Eingabemethode den Touchscreen an, womit sich neue und intuitive Eingabemethoden verwirklichen lassen. Sie unterstützen aber auch Tastatureingabe durch externe Tastaturen.

Die Geräte sind grundsätzlich in 2 Kategorien eingeteilt:

- Smartphones und Multimediaplayer
- Tablets

Smartphones und Multimediaplayer

Zur ersten Kategorie zählen das iPhone und der iPod Touch. Das iPhone ist ein Mobiltelefon und der iPod Touch ein Multimediaplayer. Sie kommen in zwei verschiedenen Bildschirmdiagonalen und drei Auflösungsvarianten vor:

- Bildschirmdiagonale : 8,89 (3,5 Zoll)
 - Auflösung: 480x320 (iPhone, iPhone 3G, iPhone 3GS, iPod Touch 1G, iPod Touch 2G, iPod Touch 3G)
 - Auflösung: 960x640 (iPhone 4, iPhone 4s, iPod Touch 4G)
- Bildschirmdiagonale: 10,16 cm (4 Zoll)
 - Auflösung: 1136x640 (iPhone 5, iPod Touch 5G)

Tablets

Zu den größeren Geräten zählen das iPad und iPad Mini. Das iPad Mini ist die kleinere Version. Die Bildschirmdiagonalen dieser Geräte gibt es in 2 Versionen und zwei Auflösungen:

- Bildschirmdiagonale: 20,1 cm (7,9 Zoll)
 - Auflösung: 1024x768 (iPad Mini)
- Bildschirmdiagonale: 24,63 cm (9,7 Zoll)
 - Auflösung: 1024x768 (iPad 1, iPad 2)
 - Auflösung: 2048x1536 (new iPad)

1.2 Bedienung

Die primäre Bedienung ist per Finger [21] auf dem Touchscreen. Die für Finger optimierte Benutzeroberfläche versteht Ein- und Mehrfingergersten und kann somit komplexe Aktionen durch einfache Mehrfingergersten ausführen (z.B.: das gleichzeitige Bewegen, Drehen und Rotieren von Bildern durch eine 2 Finger-Geste). Wie erwähnt unterstützt das Betriebssystem auch externe Tastaturen, die direkt an das Gerät oder über Bluetooth verbunden werden.

1.3 Multitasking

Anders als traditionelle Desktopbetriebssysteme verfolgt iOS ein anderes Konzept zur Darstellung der Apps. Im Gegensatz zu Desktopsystemen wird bei iOS Geräten immer nur ein Fenster angezeigt. Die im Hintergrund laufenden Programme werden angehalten um Energie zu sparen. Nur einige bestimmte Programmabläufe dürfen im Hintergrund laufen.

2 Entwicklungsgrundlagen

2.1 Betriebssystem

iOS ist ein UNIX-basierendes Betriebssystem, dessen Kern der sogenannte Mach Kernel bildet. Auf diesem Kernel aufgebaut sind verschiedene Schichten, wobei die tieferen fundamentale Technologien abdecken und die höheren spezifische Dienste. Um auf die verschiedenen Schichten zugreifen zu können, bieten diese Programmschnittstellen (Frameworks) an, die im iOS Technology Overview [22] genauer erklärt werden.

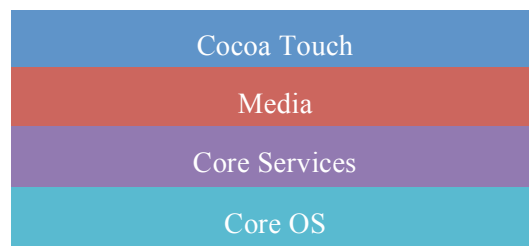


Abbildung 14 Technologieschichten [22]

Das heißt, jede Art von Kommunikation mit Sensoren oder anderen Programmen und Diensten des Gerätes wird ausschließlich über Schnittstellen ermöglicht. Von Vorteil sind die von Apple sehr gut dokumentierten Methoden zur Kommunikation mit den Frameworks. Jedoch, falls für bestimmte Funktionen keine Schnittstelle vorhanden ist, können diese auch nicht angesteuert werden, solange Apple keine Schnittstelle nachliefert.

Die für den Benutzer wichtigste Technologieschicht ist das Cocoa Touch Framework. Es enthält unter anderem die vom Benutzer sichtbaren Views.

2.2 Application life cycle

Da ein mobiles Gerät trotz der neueren und effizienteren Hardware nur eingeschränkte Ressourcen und Rechenkapazität, sowie Batterielaufzeit besitzt, ist das Multitasking nur eingeschränkt möglich. Die strikte Regelung erhöht die Batterielaufzeit und sichert zudem, dass die im Vordergrund laufende Applikation fast die gesamte Leistung des Gerätes zur Verfügung gestellt bekommt.

Jede gestartete Applikation muss auf verschiedene Ereignisse, wie zum Beispiel das Starten/Beenden der Applikation, reagieren können. Diese Aktionen werden im „Application life cycle“ Modell geregelt, welcher in Apples iOS App Programming Guide [23] und der Online Dokumentation Your Application Flow [24] näher erläutert wird.

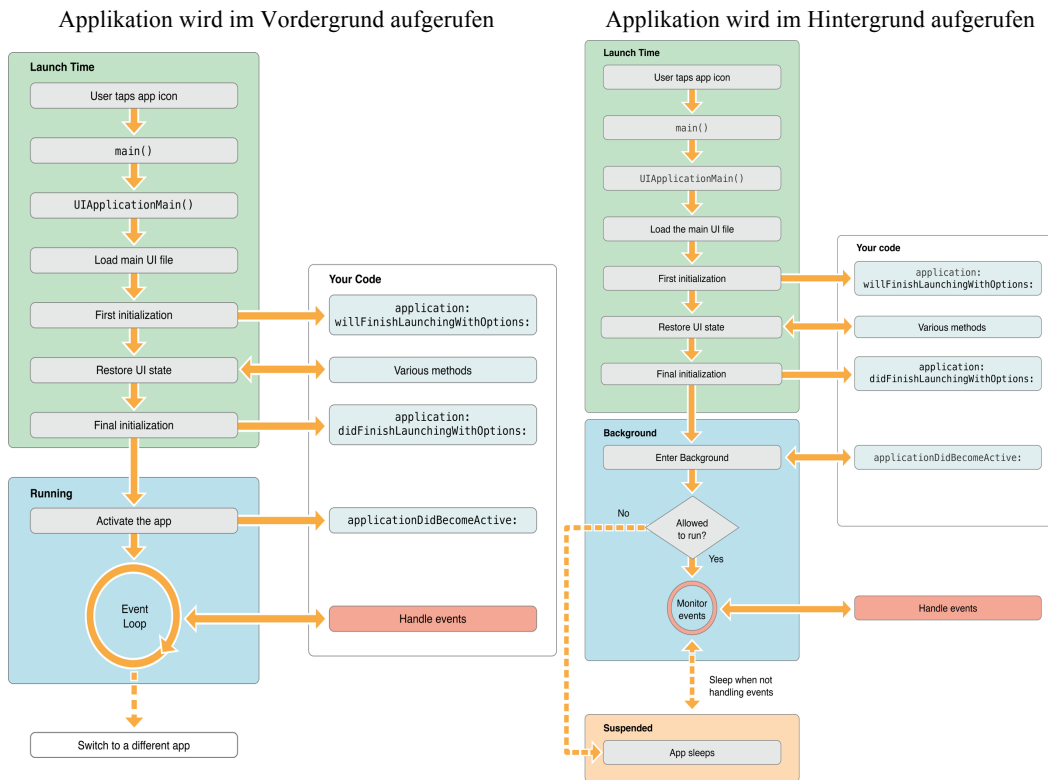


Abbildung 15 Application life cycle [24]

2.3 Sicherheitsvorkehrungen

Um die Plattform zu schützen, wurden drei wesentliche Vorkehrungen getroffen:

- **File Protection**
Die Dateien werden verschlüsselt abgespeichert und solange das Gerät gesperrt ist, kann nicht einmal die besitzende Applikation darauf zugreifen.
- **Application Sandbox**
Die Application Sandbox umfasst Schnittstellen, die den Applikationen nur eingeschränkt Zugriff zu verschiedenen Ressourcen und Verzeichnissen gewähren.
- **Keychain**
Der Keychain oder Schlüsselbund ist ein sicherer Aufbewahrungsort für Passwörter und andere Informationen und befindet sich außerhalb der Sandbox.

3 Cocoa Touch

Die oberste Schicht des Betriebssystems ist das Cocoa Touch Framework und ist diejenige mit der, der Entwickler am meisten in Berührung kommt. Es ist für Touch entwickelt und wurde speziell für Fingerbedienung optimiert [22].

Im Cocoa Touch lässt sich die gesamte Benutzeroberfläche gestalten. Es enthält alle Elemente zur Darstellung von Informationen und Interaktionen mit der Applikation. Alle nachfolgenden Informationen zum Cocoa Touch Framework wurden dem Cocoa Fundamentals Guide [25] entnommen.

3.1 Design Patterns – Entwurfsmuster

Cocoa Touch macht stark von Entwurfsmustern Gebrauch. Die wichtigsten im CLTdesigner verwendeten Entwurfsmuster sind hier angeführt:

Modal-View-Controller

Diese kommen in abgewandelter Form intensiv in Cocoa Touch vor und unterscheiden drei Arten von Objekten:

- Model-Objekte: Speichern Daten und stellen Manipulationen zur Verfügung
- View-Objekte: Dienen zur Darstellung der Daten
- Controller-Objekte: Vermitteln zwischen Model und View.

Composite

Das Composite-Muster vereint verwandte Objekte in umgekehrter Baumstruktur miteinander. Dadurch sind sie nach außen als ein Objekt vertreten. Dieses Muster wird für die View-Hierarchie als Eltern-Kind Beziehung angewendet.

Observer

Observer werden verwendet, um bei Statusänderungen andere Objekte zu informieren.

Decorator

Decorator-Muster ermöglichen das Hinzufügen von Funktionen, ohne den Quellcode selber zu ändern. Die delegierten Aufrufe werden an das Original weitergeleitet. Das vom CLTdesigner verwendete Decorator-Muster ist die Delegation.

Die Delegation ist ein Muster, dass einem Objekt A eine Referenz auf ein anderes Objekt B gibt, damit Objekt A dessen Methoden aufrufen kann.

3.2 Besonderheiten

Dieser Abschnitt befasst sich mit einigen Besonderheiten in Cocoa Touch.

Window Object – Fenster Objekt

Ein Window Object ist ein Fenster für grafischen Inhalt ohne besondere Merkmale. Jede Applikation enthält normalerweise eines dieser Fenster. Es erstreckt sich über den ganzen Bildschirm und kann von der Applikation nicht verändert werden.

View Object

Ein View Object befindet sich innerhalb eines Fensters und kann sich dort zeichnen und auf Benutzeraktionen reagieren.

Collection Classes

Sie dienen in erster Linie zum Speichern von Feldern, Mengen und Wörterbüchern. Die wichtigsten Collection Classes in Cocoa Touch sind:

- NSArray
- NSSet
- NSDictionary

Sie alle dienen zum Speichern von Objekten und können keine primitiven Datentypen abspeichern.

Property Lists

Die Property Lists dienen zum Abspeichern von Objekten. Sie verstehen Zahlenwerte und komplexere Objekte.

Der CLTdesigner speichert in den Property Lists die Querschnitts- und Materialeigenschaften der CLT-Produkte sowie die zu speichernden Berechnungen.

3.3 Benutzeroberflächenelemente

Die wichtigsten Benutzeroberflächenelemente für die Darstellung im CLTdesigner werden hier angeführt und basieren auf den Beschreibungstexten der XCode [26] Object Library:

Storyboards

Die Storyboards organisieren die einzelnen View Controller und regeln die Interaktion zwischen ihnen. Sie dienen auch als Programmablaufplan für die View Controller. Außerdem erleichtern sie das Programmieren der Benutzeroberfläche für verschiedene Geräte, da je Darstellungsvariante automatisch ein anderes Storyboard verwendet wird.

Navigation View Controller

Die Navigation View Controller dienen zum Navigieren zwischen den einzelnen View Controllern.

View Controller

Sie managen die Darstellung und enthalten die vom User sichtbaren Views.

View

Der View dient als Leinwand und kann Informationen oder Steuerelementen wie einen Button oder ein Image enthalten und mit dem Benutzer interagieren.

Table View

Der Table View zeigt eine einspaltige Tabelle mit beliebig vielen Zeilen. Diese können mit Informationen und anderen Objekten gefüllt werden.

Label

Mit einem Label kann jegliche Form von Text angezeigt werden.

Text Field

Dient als einzeliger Textblock zur Eingabe von Text.

Text View

Ein umfangreicherer mehrzeiliger Textblock zur Ein- und Ausgabe von strukturiertem mehrzeiligen Text.

Image View

Dient zum Darstellen von Bildern.

Button

Das ist eine Schaltfläche, welche bei Betätigung Aktionen ausführt.

Switch

Der Switch ist ein Schalter und führt nach Betätigung Aktionen aus. Außerdem stellt sich der Schalterstatus von ON auf OFF und umgekehrt.

Segment Control

Dieses Element dient als Auswahl Schaltfläche und lässt den Nutzer zwischen mehreren Möglichkeiten wählen.

Slider

Mit einem Slider kann man stufenlos ganzzahlige Werte einstellen.

Web View

Dieser View dient zur Darstellung von Internetseiten. Er kann aber auch, wie im Fall des CLTdesigners, PDF Dokumente anzeigen.

Scroll View

Der Scroll View zeigt Inhalte an die größer als der Scroll View selbst sind. Durch Fingergesten kann man den Inhalt verschieben oder falls gewünscht auch vergrößern bzw. verkleinern.

4 iOS Software Development Kit (SDK)

Zum Programmieren für die iOS Plattform bietet Apple das iOS SDK an. Dieses besteht aus

- dem XCode [26] (integrierte Entwicklerumgebung),
- dem iOS Simulator [27] (Emuliert ein iOS Gerät) und
- der iOS Developer Library [28] (Nachschlagewerk für alle Klassen und Schnittstellen).

4.1 Programmiersprache

Die Programmiersprache des Cocoa Frameworks ist Objective C [29], eine auf ANSI C basierende Erweiterung. Der Quelltext von Objective C kann aber mit C und C++ frei gemischt und zu einer Anwendung kompiliert werden.

4.2 Klassen

Die Objective C Classes [30] bestehen aus 2 Teilen: der Deklaration und der Implementierung. In der Deklaration werden alle Variablen und Methoden deklariert und die Basisklassen spezifiziert. In der Implementierung wird dann die Funktionalität bestimmt.

4.2.1 Instanzen

Die Instanzen werden nicht durch die Syntax von Objective C erzeugt, sondern sind Bestandteil des Frameworks der jeweiligen Basisklasse. Wird eine Klasse nicht von einer Basisklasse abgeleitet, muss sie erzeugt werden.

Die meisten Klassen leiten sich von der Basisklasse NSObject ab. Diese müssen zweistufig erzeugt werden. Zuerst muss der Speicher zugewiesen werden und dann wird die Klasse initialisiert.

4.2.2 Properties

Properties dienen zur einfachen Erzeugung von Getter und Setter Methoden in Objective C. In der Deklaration einer Klasse werden sie hergestellt und durch eine `@synthesize`- oder `@dynamic` Direktive der Implementierung einer Klasse hinzugefügt.

4.2.3 Methoden

Um in Objective C Methoden von Objekten aufzurufen, müssen Nachrichten an diese gesendet werden [31].

4.3 Speicherverwaltung

Seit iOS 5 wird ARC (Automatic Reference Counting) unterstützt. Wie im iOS Technologie Overview [22] beschrieben, muss sich der Entwickler nicht mehr selber um das Entfernen von Objekten kümmern, das macht das System für ihn.

4.4 Darstellung

Apple bietet mit XCode eine Entwicklerumgebung an, die iOS Applikationen einfach für verschiedene Geräte mit verschiedenen Darstellungsgrößen entwickeln lässt. Somit kann man einen Programmcode verwenden, der aber insgesamt fünf verschiedene Darstellungsvarianten hat. Alle Darstellungsfenster sollten beim Designen der Applikation berücksichtigt und unterstützt werden.

Um die verschiedenen Darstellungen leichter zu verwalten, aber auch um einen einfachen Überblick über die einzelnen View Controller zu erhalten, verwendet XCode die schon erwähnten Storyboards. Apple bietet auch eine Dokumentation an (Human Interface Guidelines [32]) für das richtige Verwenden der einzelnen Elemente der Darstellungsfenster.

Der CLTdesigner für iOS

Der Umfang aller Berechnungen der Applikation und die allgemeinen Informationen zum Programmieren einer iOS Applikation wurden schon erläutert. In diesem Kapitel wird daher auf die Programmierung des CLTdesigners eingegangen.

Grundsätzlich besteht der CLTdesigner aus 2 Teilen:

- **Die User Interface-Klassen:** Das sind alle Klassen, welche zum Darstellen der Benutzeroberfläche nötig sind. Sie bestehen aus Storyboards, View Controllern, Views und Steuerelementen.
- **Die Calculation-Klassen:** Das sind alle Klassen, die zur statischen Berechnung nötig sind. Sie besitzen selbst kein Interface.

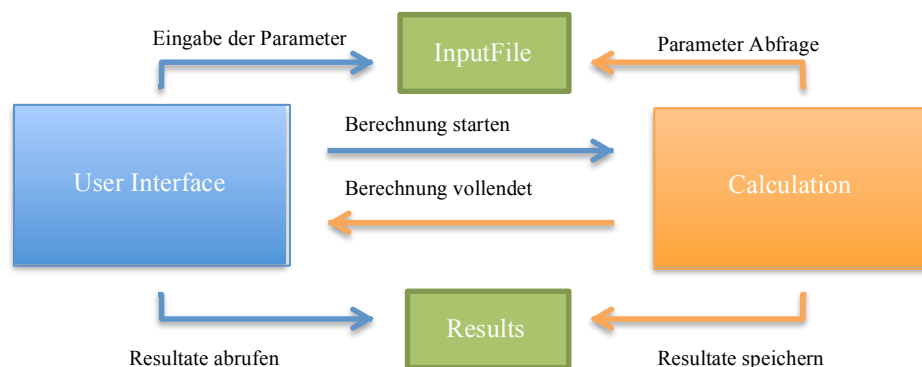


Abbildung 16 CLTdesigner Interaktion User Interface – Calculation

Die Kommunikation zwischen den 2 Bereichen verläuft fast ausschließlich über die InputFile-Klasse und die Results-Klasse. Durch das Drücken des „Calculate“-Buttons in der „Calculation Input“-Klasse (gehört zu den User Interface-Klassen) wird die Methode „Calculate“ in der „CalculationSkript“-Klasse (gehört zu den Calculation-Klassen) aufgerufen und damit die Berechnung gestartet.

Das InputFile ist eine Klasse, welche alle vom Benutzer eingegebenen Parameter aufbewahrt. Diese Werte werden von den User Interface-Klassen verändert und von den Calculation-Klassen zur Nachweisführung verwendet.

Die Results-Klasse speichert alle Ergebnisse aus den statischen Berechnungen. Diese werden von den User Interface-Klassen für den Nutzer dargestellt.

Weitere erstellte Klassen sind die CreatePDF-Klassen zum Erstellen von PDF Dokumenten und die Settings- und Definitions-Klassen zum Voreinstellen von Berechnungsvarianten und Abrufen von Konstanten aus den Eurocodes.

1 Die User Interface-Klassen

Die Darstellungsfenster werden von den Storyboards organisiert. Die Storyboards beinhalten einen Navigation Controller, der die Navigation zu den einzelnen Darstellungsfenstern (View Controller) regelt. Jeder View Controller beinhaltet ein Anzeigefenster (View). Diese Views und die sich darin befindenden Elemente (Views, Buttons, Images) sind für den Nutzer sichtbar und können mit diesem in Interaktion treten. Es folgt ein Überblick über alle Darstellungsfenster des CLTdesigners.

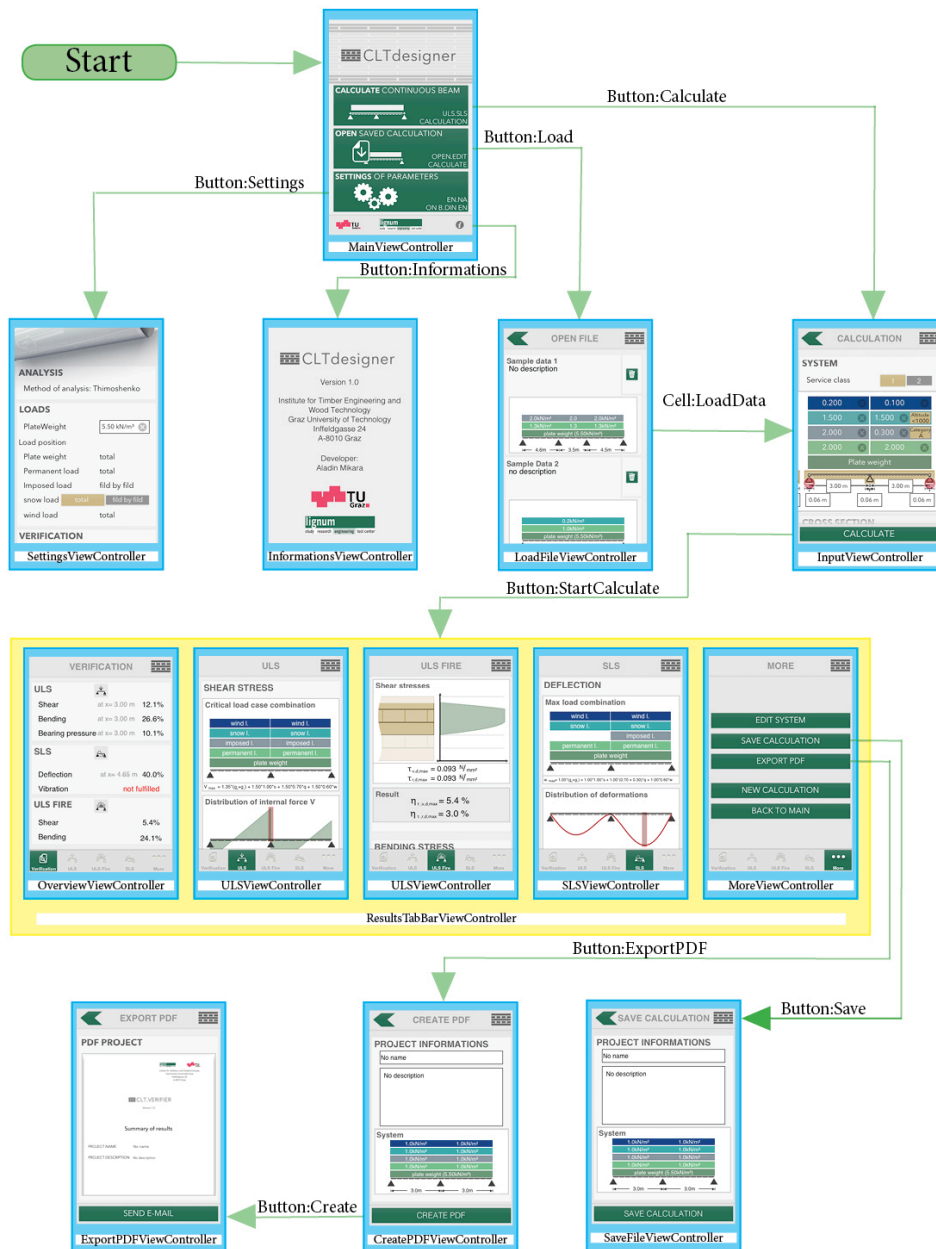


Abbildung 17 Storyboard der iPhone Version

1.1 Die Startseite (MainViewController)

Diese Seite bildet den Ausgangspunkt beim Starten der Applikation. Sie enthält alle wichtigen Verknüpfungen zu anderen Seiten:

- Input-Seite
- Open Calculation-Seite
- Settings-Seite
- Informations-Seite (nur bei iPhone Version)

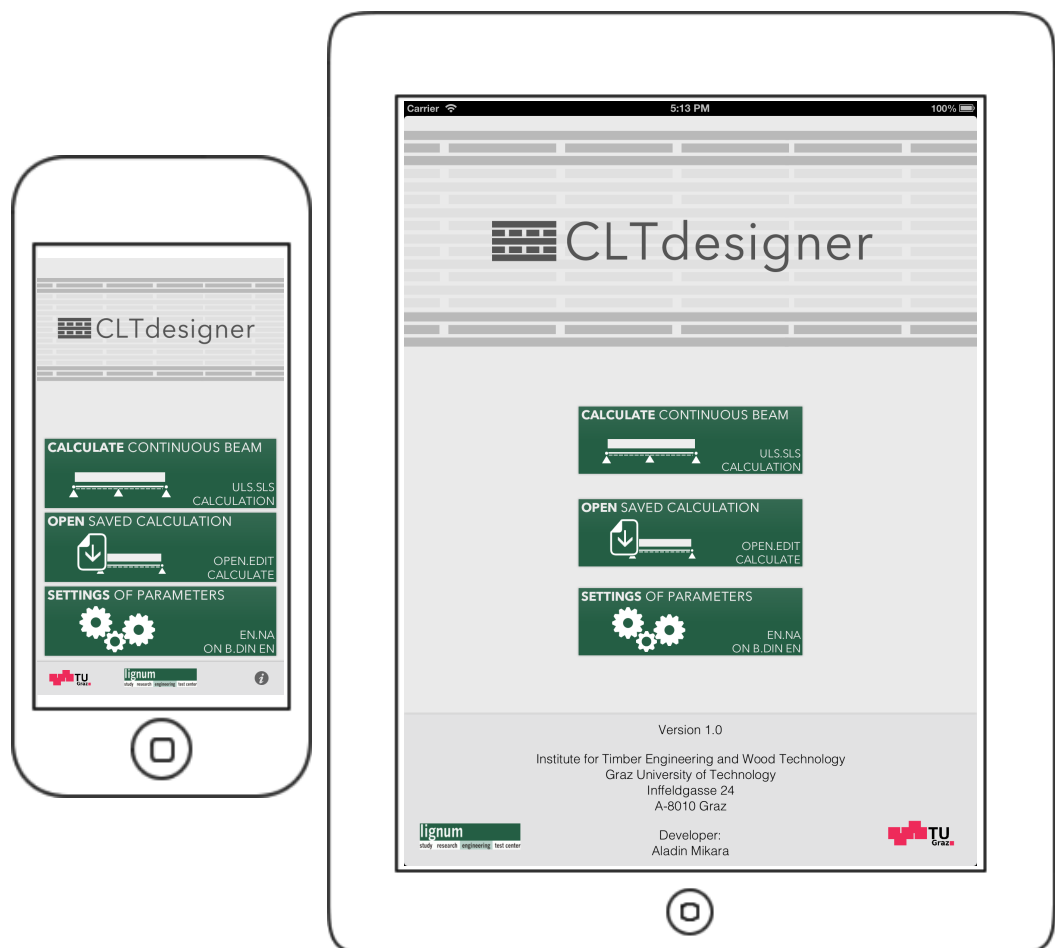


Abbildung 18 CLTdesigner – Startseite

1.1.1 Aufbau und Elemente der Startseite

Die Startseite beinhaltet drei Buttons, die das Navigieren zu anderen Seiten ermöglichen sollen. Die iPhone Version hat wegen dem kleineren Bildschirm noch einen weiteren Button, der die Informationen zu den Entwicklern aufruft.

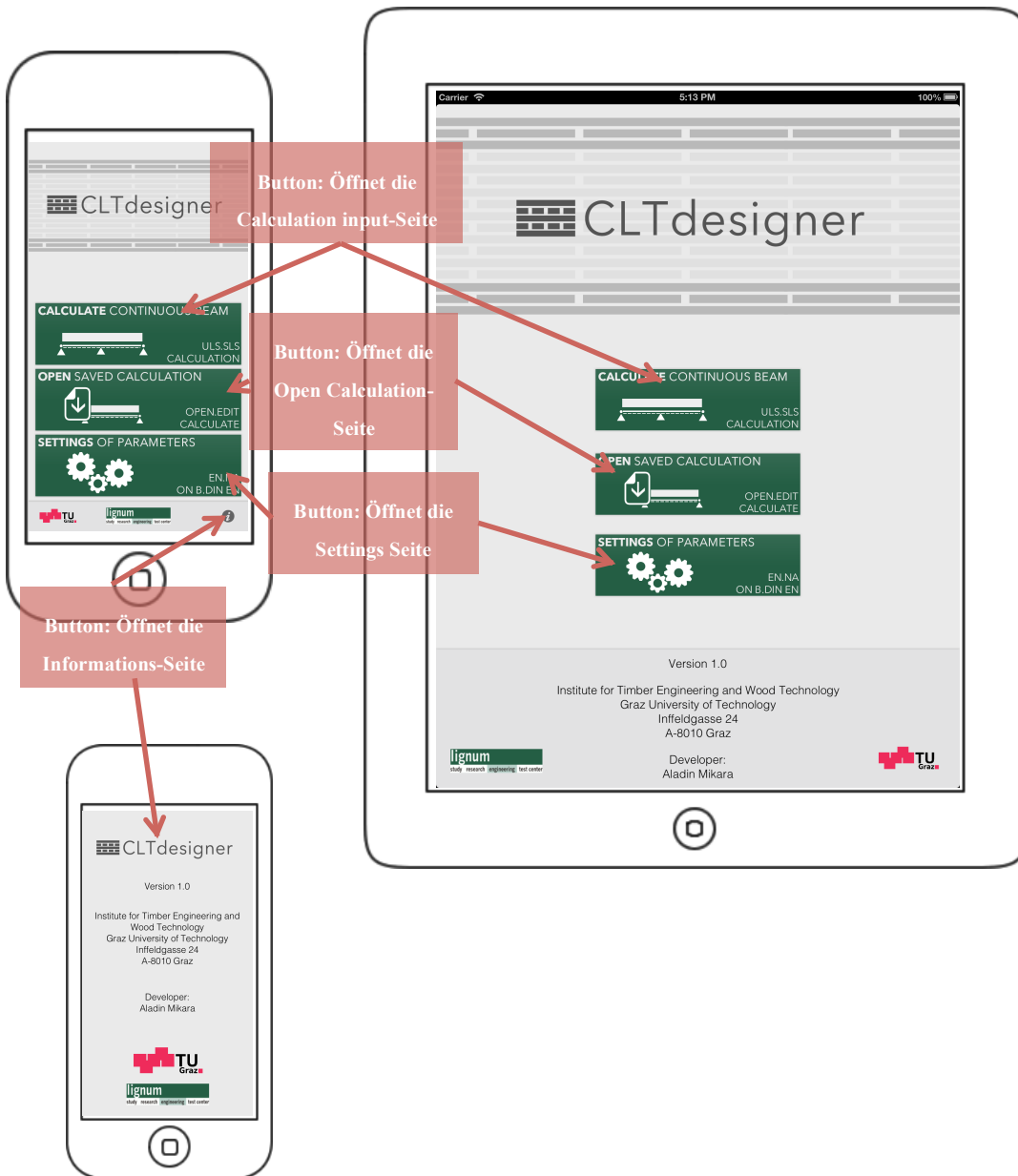


Abbildung 19 CLTdesigner – Aufbau der Startseite

1.2 Die Settings-Seite (SettingsViewController)

Auf der Settings-Seite können verschiedene Einstellungen zur Berechnung und Nachweisführung verändert werden:

- Die Definition der Plattenwichte kann verändert werden. Voreingestellt ist eine Wichte von $5,5 \text{ kN/m}^3$ gemäß ON B 1991-1-1 [3].
- Die Schneelast kann nach Bedarf zwischen feldweiser Laststellung und voller Laststellung umgestellt werden.
- Für die Nachweise in ULS und SLS kann entweder nur der Eurocode berücksichtigt werden oder auch die nationalen Anhänge von Österreich oder Deutschland.
- Außerdem kann man zwischen dem k_{def} Wert aus der Norm [7] oder laut dem Vorschlag der TU GRAZ [10] wählen.

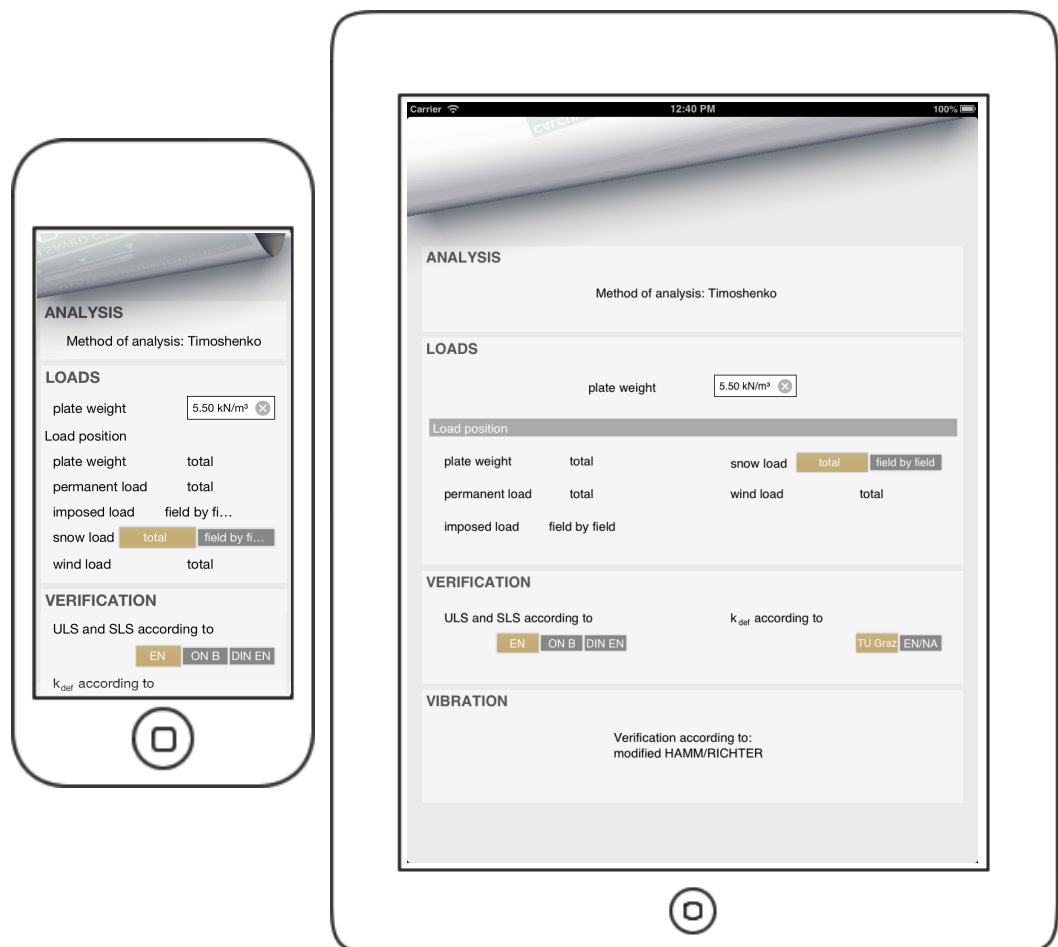


Abbildung 20 CLTdesigner – Settings-Seite

1.2.1 Aufbau und Elemente der Settings-Seite

Die Settings-Seite verwendet Text Fields zum Ändern der Plattenwichte. Durch Segment Controls kann die Schneebelastungsart, Nachweisart und der k_{def} Faktor verändert werden.

Bei der iPhone Version ist die Liste länger als der View, deshalb wird ein Scroll View zum Scrollen verwendet.

Um zur Startseite zurückzukehren, muss man das aufgeschlagene Blatt am linken oberen Rand antippen.

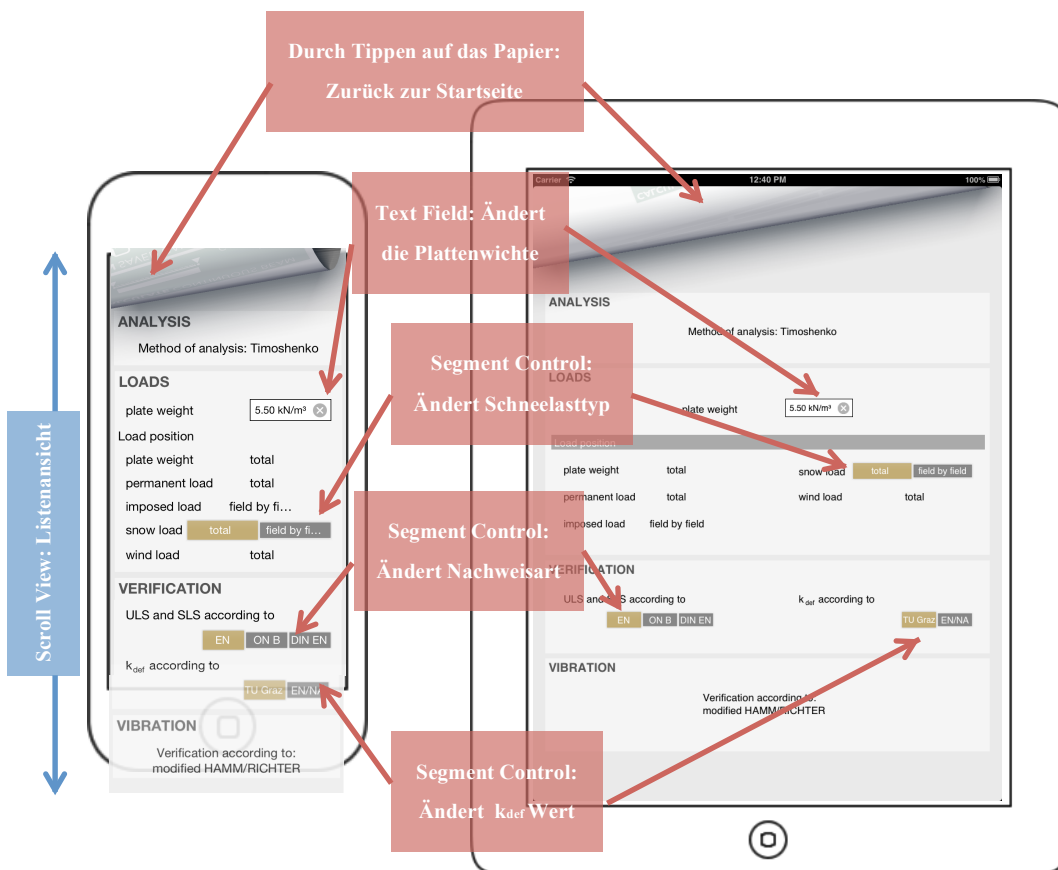


Abbildung 21 CLTdesigner – Aufbau der Settings-Seite

1.3 Die Open Calculation-Seite (LoadFileViewController)

Die Open Calculation-Seite verwaltet alle gespeicherten Berechnungen. Diese können geladen oder gelöscht werden. Zu jeder gespeicherten Berechnung werden folgende Informationen angezeigt:

- Der Projektname
- Die Projektbeschreibung
- Das statische System
 - Die Einwirkungen
 - Die Feldlänge

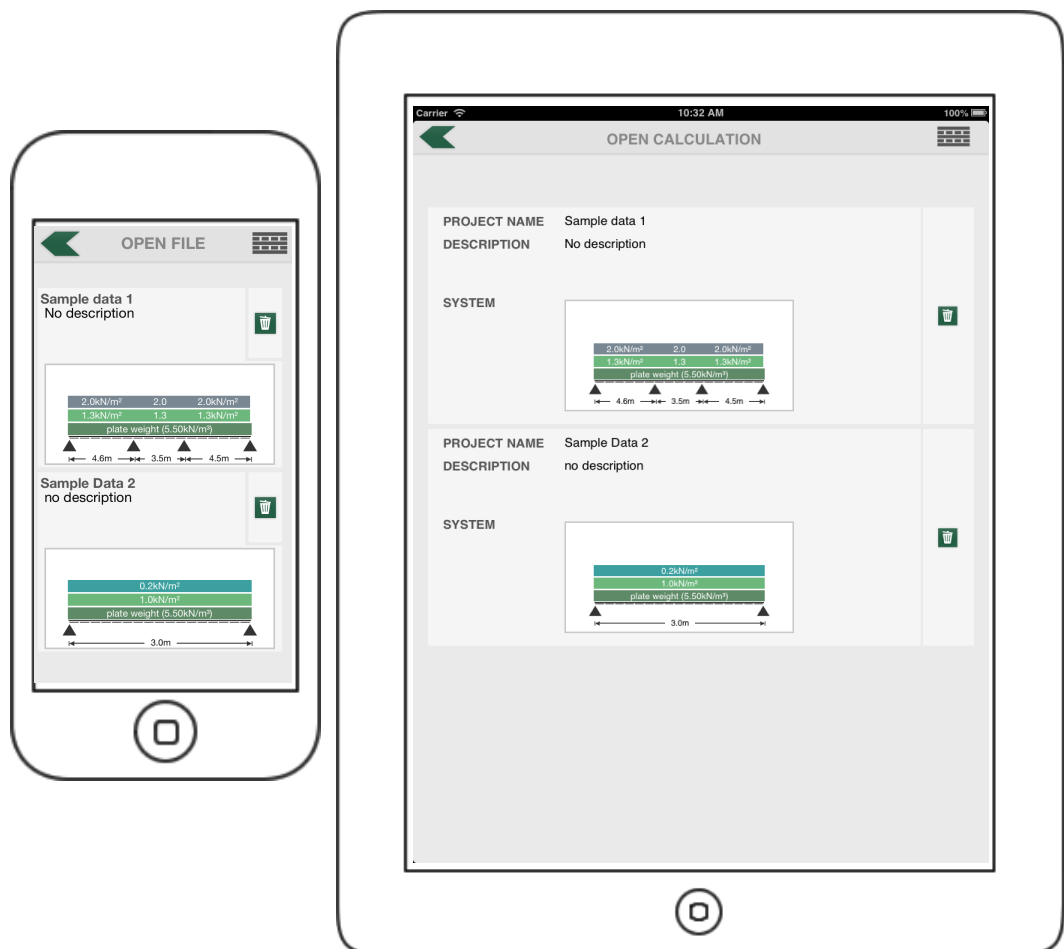


Abbildung 22 CLTdesigner – Open Calculation-Seite

1.3.1 Aufbau und Elemente der Open Calculation-Seite

Diese Seite besteht aus einem Scroll View, der eine beliebig lange Liste an gespeicherten Elementen anzeigen kann. Um die gespeicherte Datei zu laden, muss auf die jeweilige Cell der Scroll View getippt werden. Das Löschen der Berechnung ist durch einen Button möglich.

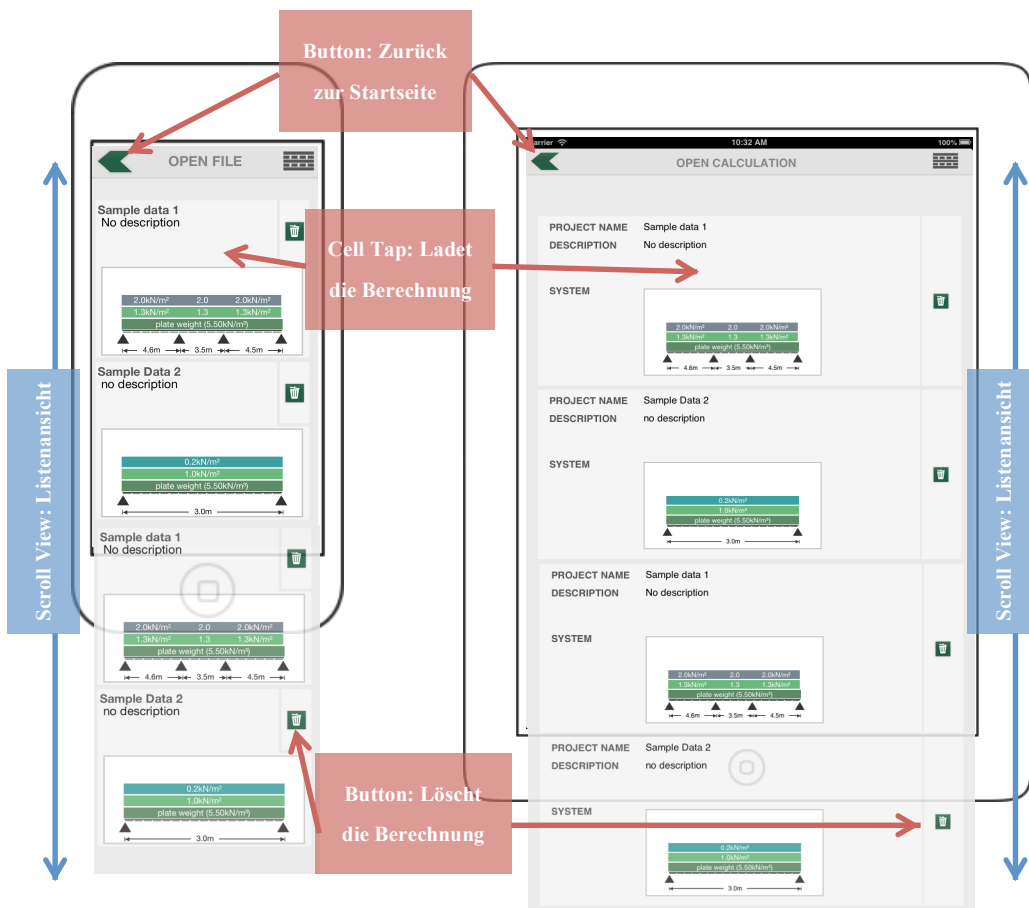


Abbildung 23 CLTdesigner – Aufbau der Open Calculation-Seite

1.4 Die Calculation Input-Seite (InputViewController)

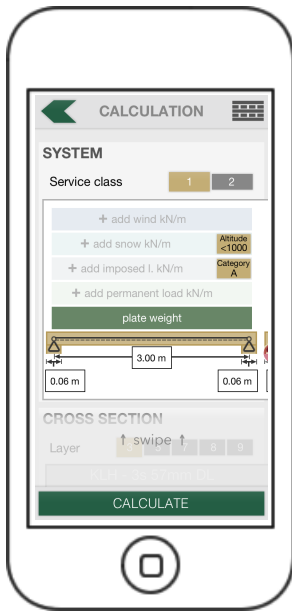
Diese Seite besteht aus 4 Bereichen und enthält alle veränderbaren Parameter für die Berechnung. Die Gliederung ist wie folgt:

- **System:** Das System bildet den ersten Bereich und ermöglicht das Ändern systembedingter und allgemeiner Parameter.
Dazu zählen:
 - das statische System
 - die Feldlängen
 - die Auflagerbreiten
 - die Belastungen
 - die Nutzungsklasse
 - die Höhenlage
 - die Kategorie der Nutzlasten

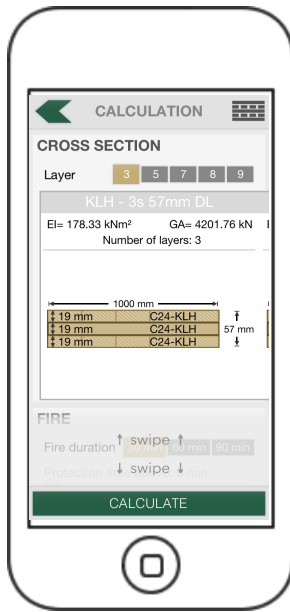
- **Cross section:** Dieser Bereich dient zur Auswahl des Querschnittes. Die Querschnitte sind nach Anzahl der Schichten geordnet.

- **Fire:** Der Feuerbereich verwaltet alle Parameter für die Berechnung des Brandfalles.
Dazu zählen:
 - die Brandeinwirkungsdauer (30 min, 60 min und 90 min)
 - der Ort des Brandes (Ober- und/oder Unterseite des Querschnittes)
 - die Dauer des Feuerschutzes durch eine Brandschutzverkleidung (zwischen 0 und 90 min)

- **Vibrations:** Im letzten Bereich der Calculation Input-Seite können alle wichtigen Werte zur Berechnung des Schwingungsnachweises eingestellt werden.
- Dazu zählen
 - die Bewertung
 - der Dämpfungswert
 - die Breite der Decke
 - die Berücksichtigung des Estrichs
 - der E-Modul des Estrichs
 - die Dicke des Estrichs



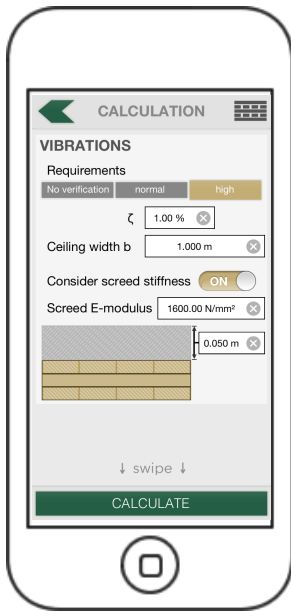
System



Querschnitt



Feuer



Schwingungen

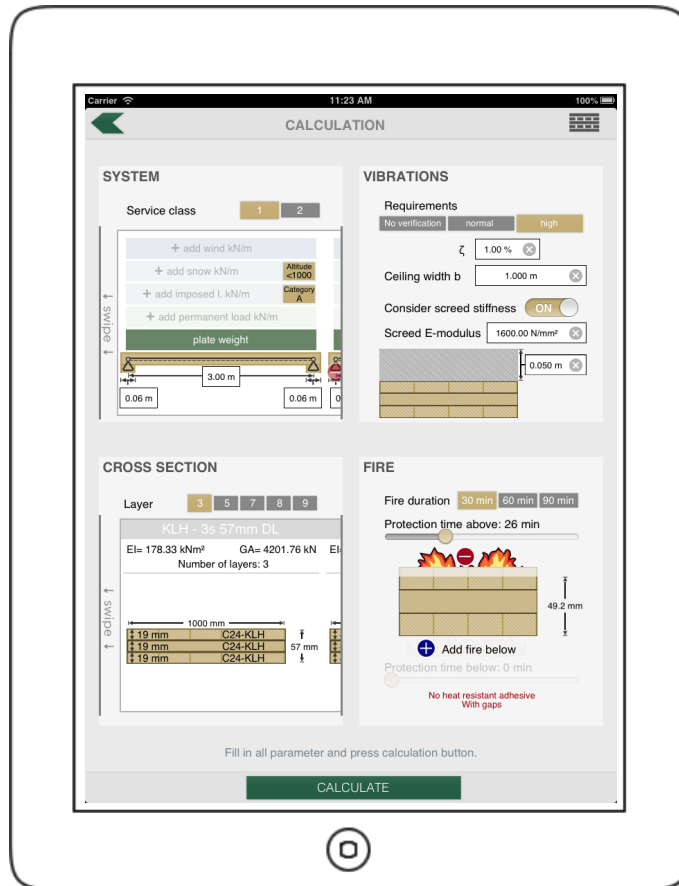


Abbildung 24 CLTdesigner – Calculation Input-Seite

1.4.1 Aufbau und Elemente der Calculation Input-Seite

Die iPhone Version besteht aus einem langen Scroll View, der zwischen den Bereichen wechseln kann. Die Auswahl des Systems und des Querschnittes funktioniert durch Bewegen von vertikalen Scroll Views. Verwendete Elemente zur Eingabe der verschiedenen Parameter sind Text Fields, Switches, Buttons und Segment Controls. Nach Vollenden der Eingabe kann durch das Drücken des Calculate-Buttons die Nachweisführung gestartet werden

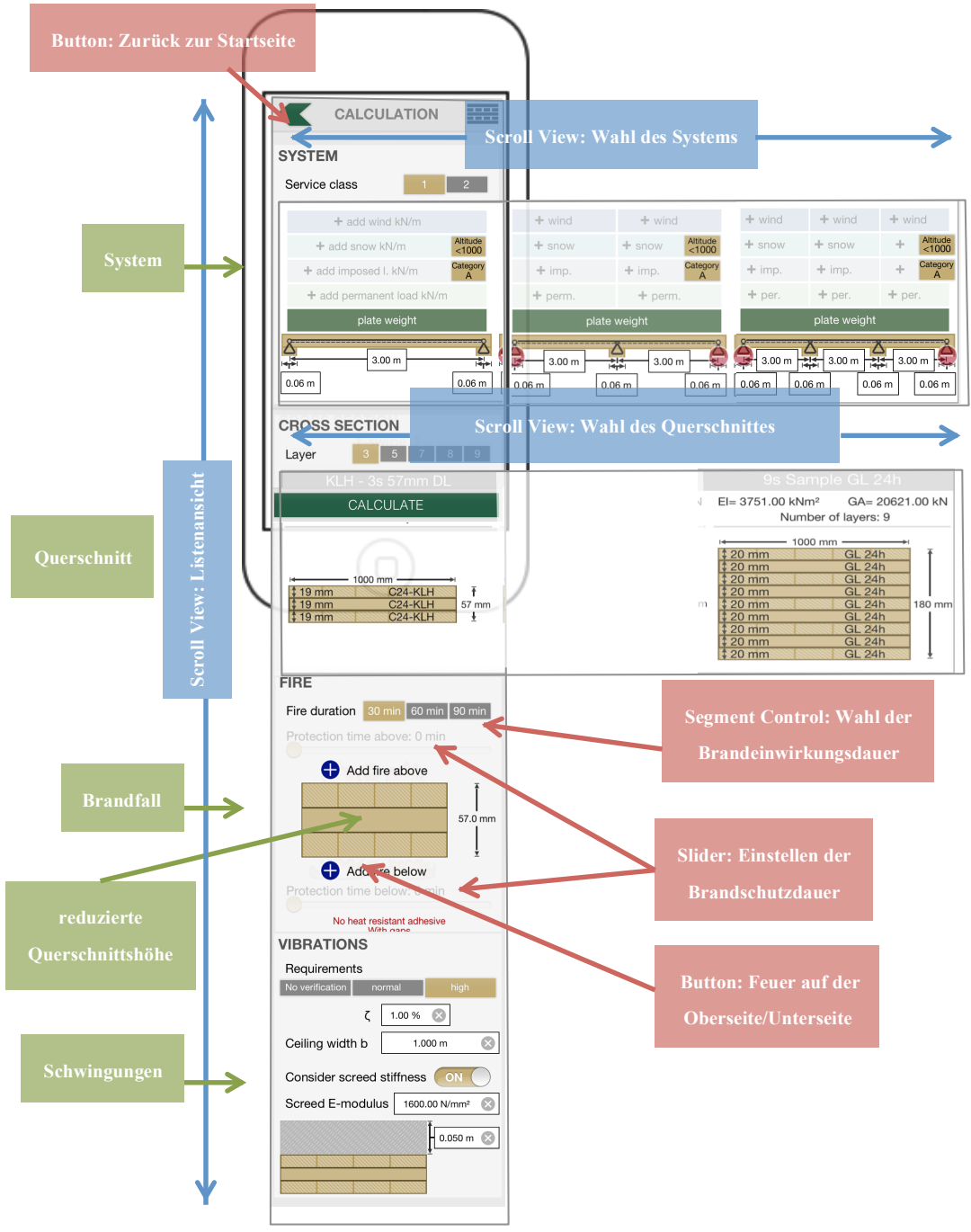


Abbildung 25 CLTdesigner – Aufbau der Calculation Input-Seite (iPhone)

Die iPad Seite benötigt wegen dem größeren Bildschirm keinen Scroll View zum Darstellen der einzelnen Bereiche. Alle anderen Auswahl- und Interaktionselemente sind ident.

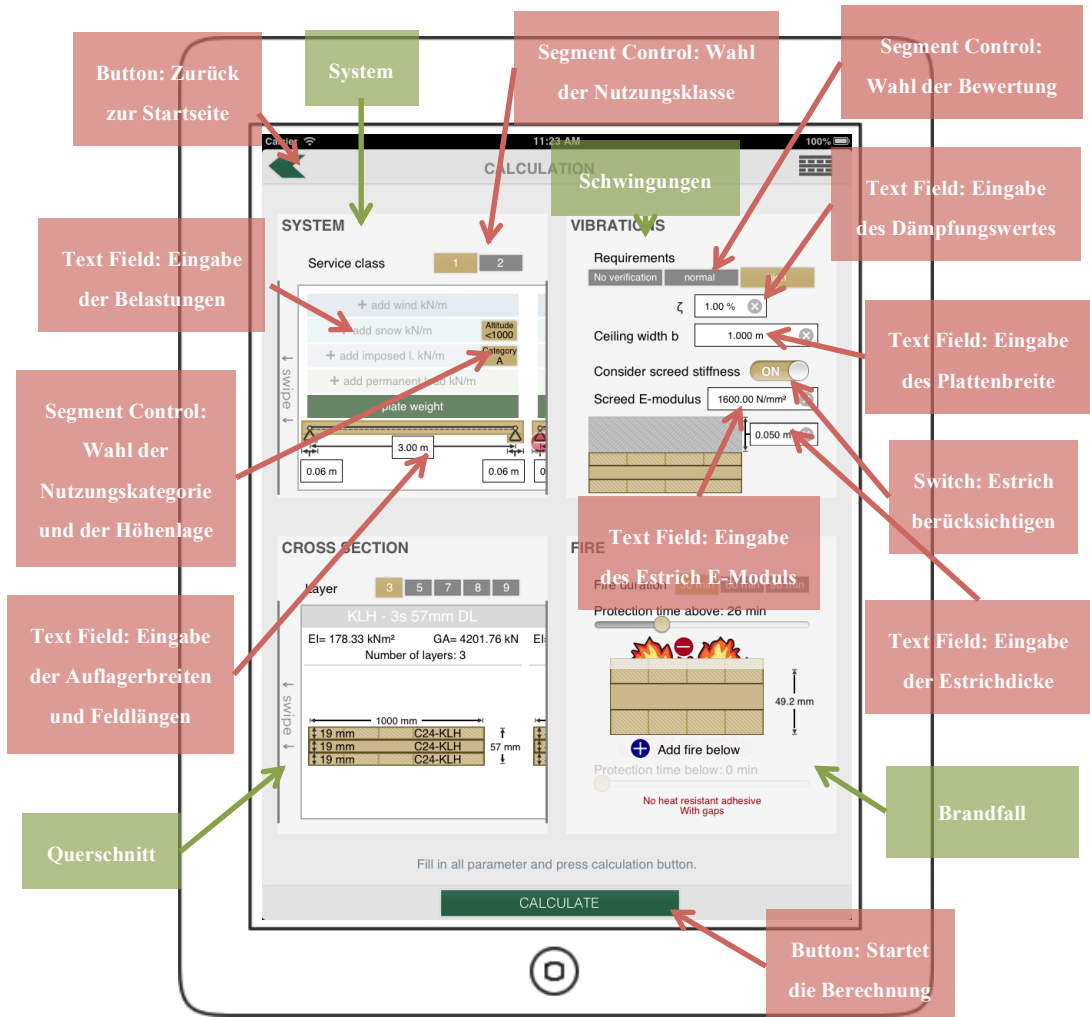


Abbildung 26 CLTdesigner – Aufbau der Calculation Input-Seite (iPad)

1.5 Die Results-Tabbar (ResultsTabBarController)

Nachdem die Calculation-Klassen die Nachweisführung beendet hat, wird die Results-Tabbar aufgerufen. Die Tabbar besteht aus fünf Seiten, die alle Berechnungs-resultate enthalten und über die Tabbar-Buttons aufgerufen werden.

Die Tabbar ist unterteilt in:

- Verification Overview
- ULS
- ULS Fire
- SLS
- More (Speichern, Ändern, Versenden)

1.5.1 Aufbau und Elemente der Results-Tabbar

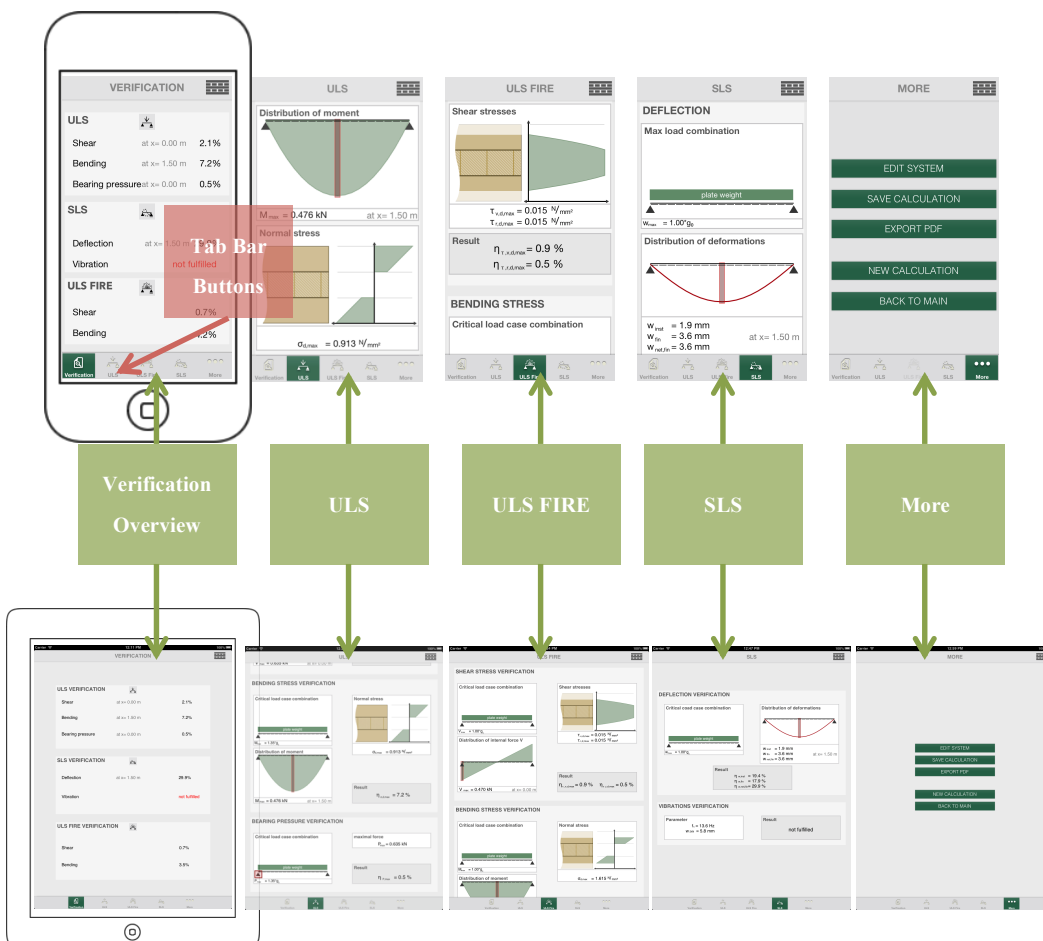


Abbildung 27 CLTdesigner – Aufbau der Results-Tabbar

1.5.2 Die Verification Overview-Seite (OverviewViewController)

Die erste Seite der Results-Tabbar ist die Verification Overview-Seite. Sie enthält einen Überblick aller Nachweisführungen.

Es werden folgende Ergebnisse angezeigt:

- Grenzzustand der Tragfähigkeit
 - Schubspannungsnachweis
 - Normalspannungsnachweis
 - Auflagerpressung
- Grenzzustand der Tragfähigkeit – Brandfall
 - Schubspannungsnachweis
 - Normalspannungsnachweis
- Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
 - Durchbiegungsnachweis
 - Schwingungsnachweis

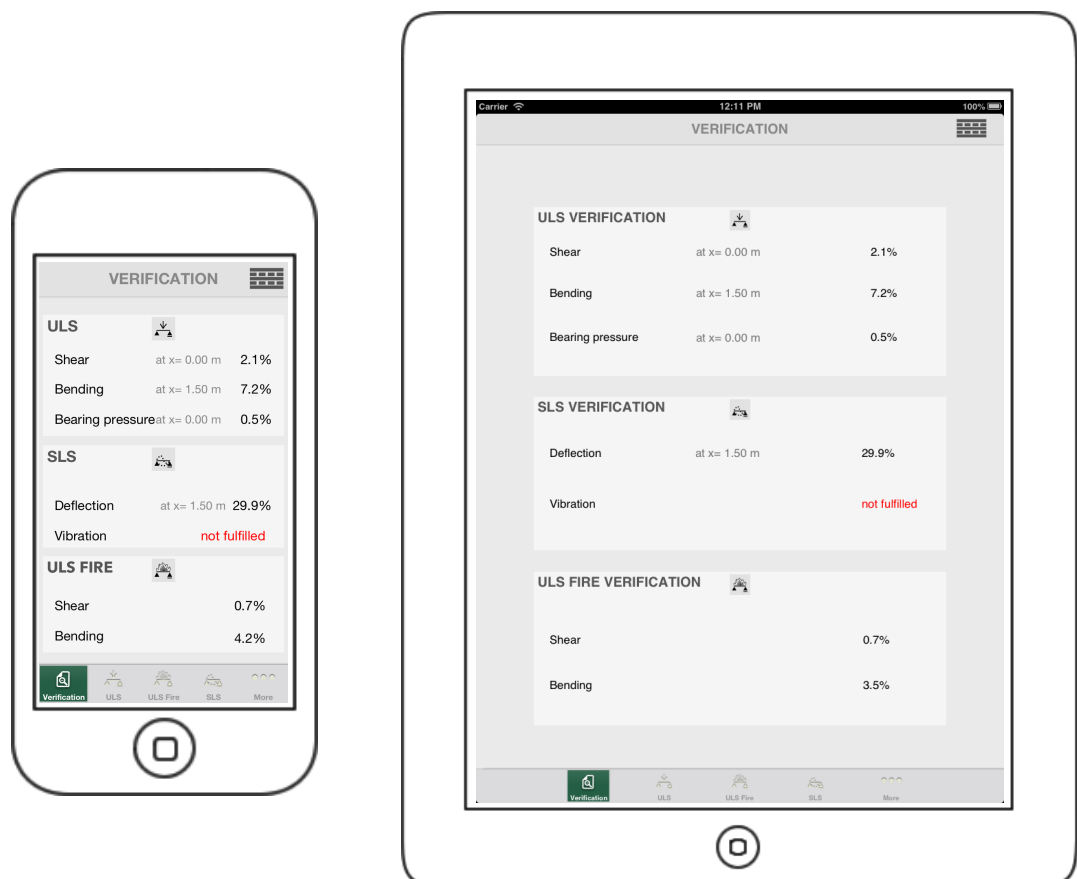


Abbildung 28 CLTdesigner – Verification Overview-Seite

1.5.3 Die ULS-Seite (ULSViewController)

Auf der ULS Seite findet man genauere Informationen zu allen Tragfähigkeitsnachweisen:

- Schubspannungsnachweis
 - Maßgebende Lastfallkombination
 - Querkraftverlauf
 - Spannungsverteilung am Querschnitt
 - Nachweis
- Normalspannungsnachweis
 - Maßgebende Lastfallkombination
 - Momentenverlauf
 - Spannungsverteilung am Querschnitt
 - Nachweis
- Auflagerpressung
 - Maßgebende Lastfallkombination
 - Maßgebende Auflagerkraft
 - Nachweis

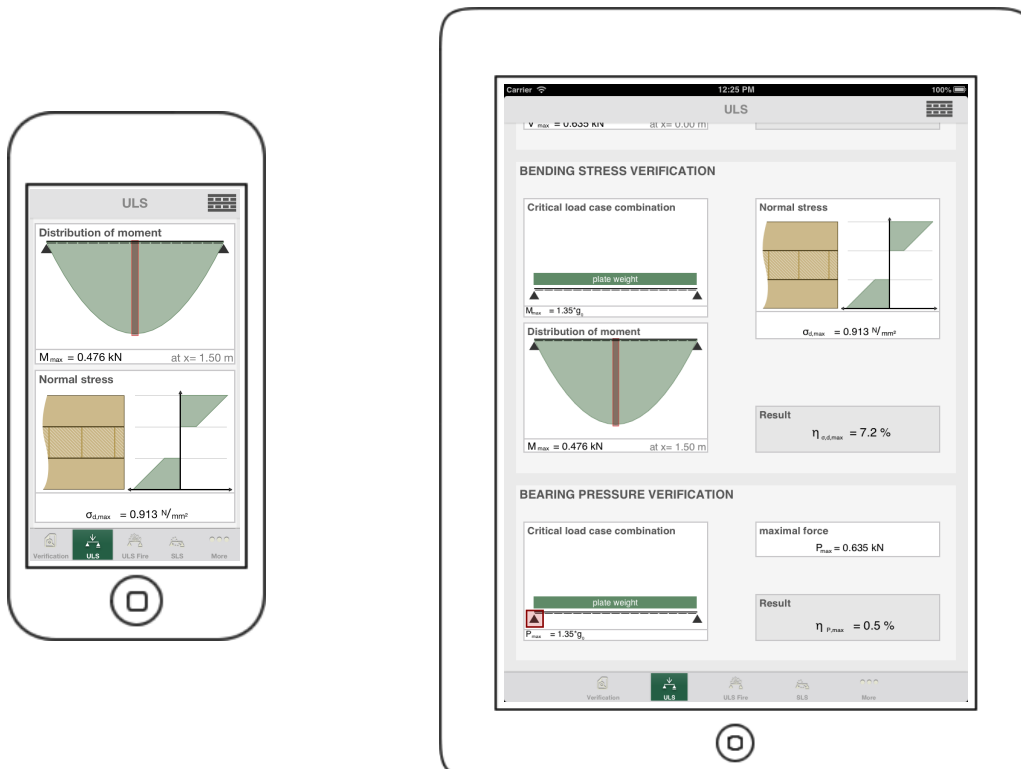


Abbildung 29 CLTdesigner – ULS-Seite

1.5.4 Die ULS Fire-Seite (ULSViewController)

Auf dieser Seite sind alle wichtigen Informationen zur Brandfallbemessung angeführt:

- Schubspannungsnachweis
 - Maßgebende Lastfallkombination
 - Querkraftverlauf
 - Spannungsverteilung am reduzierten Querschnitt
 - Nachweis
- Normalspannungsnachweis
 - Maßgebende Lastfallkombination
 - Momentenverlauf
 - Spannungsverteilung am reduzierten Querschnitt
 - Nachweis

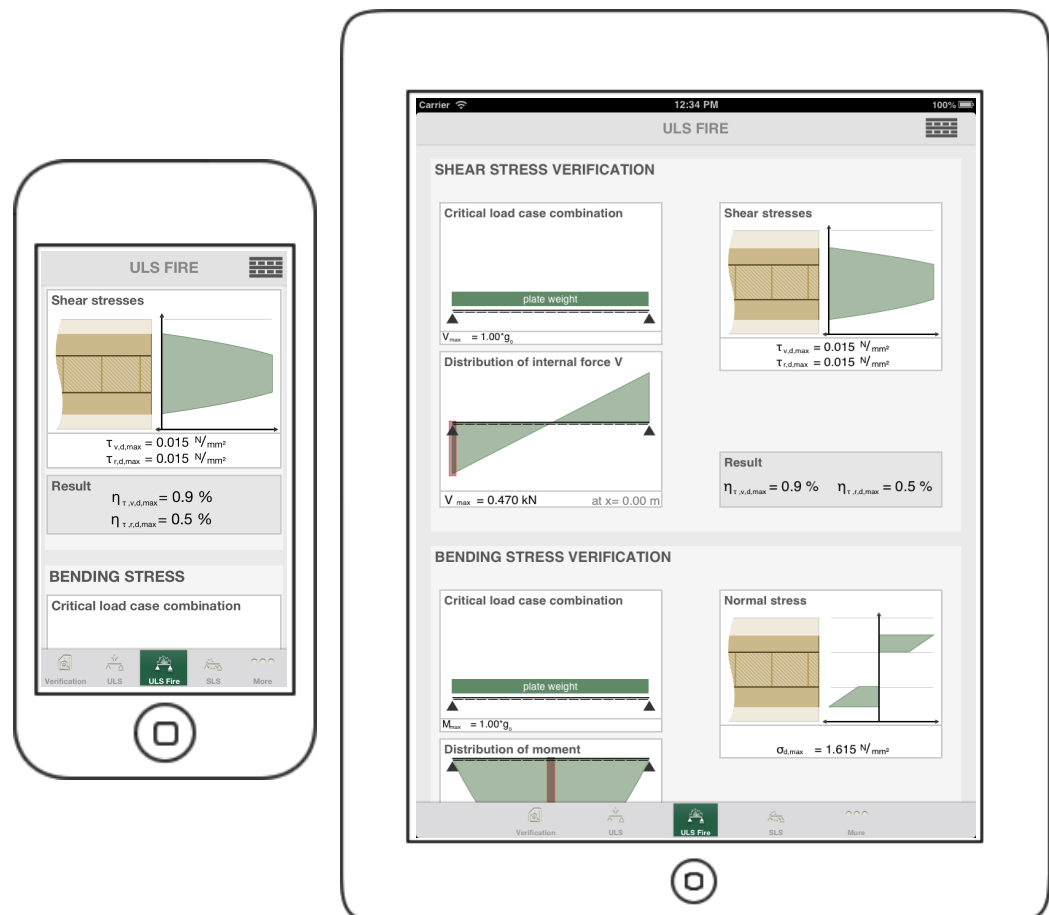


Abbildung 30 CLTdesigner – ULS Fire-Seite

1.5.5 Die SLS- Seite (SLSViewController)

Die SLS Seite enthält alle Details zur Berechnung der Begrenzung der Durchbiegung und zum Schwingungs-Nachweis. Genauer werden folgende Informationen angezeigt:

- Begrenzung der Durchbiegung
 - Maßgebende Lastfallkombination
 - Durchbiegungsverlauf
 - Nachweis
- Schwingungsnachweis
 - Eigenfrequenz
 - Schwingungsbeschleunigung
 - Steifigkeitskriterium
 - Nachweis

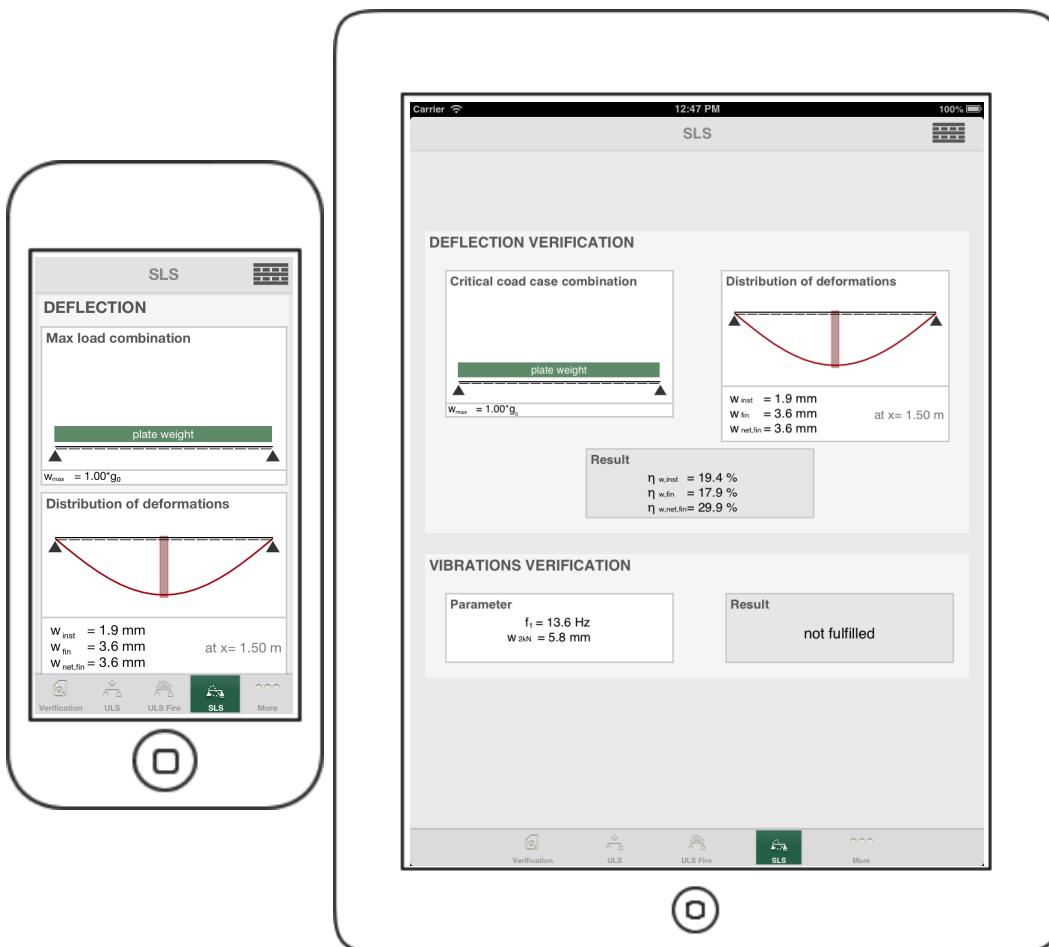


Abbildung 31 CLTdesigner – SLS-Seite

1.5.6 Die More-Seite (MoreViewController)

Die More-Seite listet verschiedene Aktionen zur Berechnung auf.

Durch Drücken des jeweiligen Buttons ist folgendes möglich:

- Die Berechnungseingabe bearbeiten
- Die Berechnung speichern
- Ein PDF der Berechnung erstellen
- Neue Berechnungseingabe starten
- Zurück zur Startseite navigieren



Abbildung 32 CLTdesigner – More-Seite

1.6 Die Save Calculation-Seite (SaveFileViewController)

Die Save Calculation-Seite dient zum Abspeichern der Berechnung. Vor dem Speichern des Projektes kann der Projektname und eine Projektbeschreibung eingefügt werden.

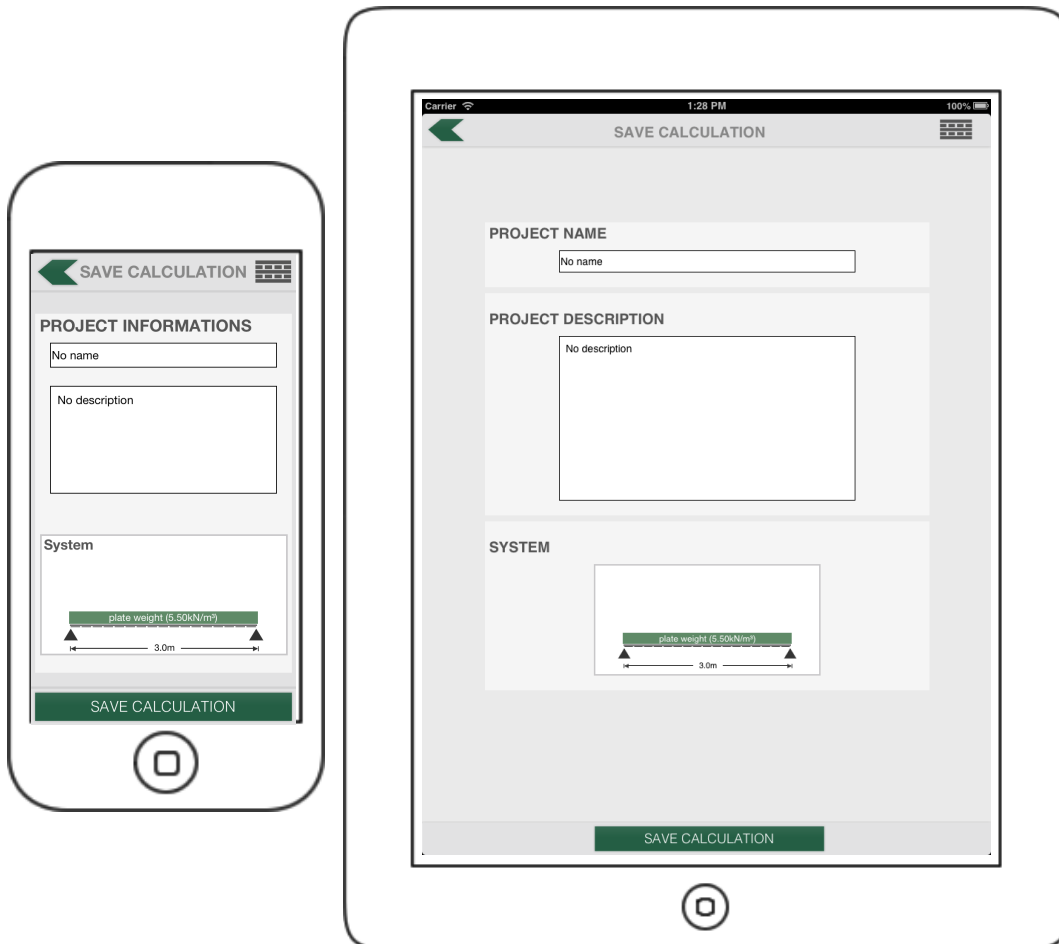


Abbildung 33 CLTdesigner – Save Calculation-Seite

1.7 Die Export PDF-Seite (ExportPDFViewController)

Ein nützliches Werkzeug bietet diese Seite. Hier wird ein PDF-Dokument der Berechnung erstellt. Das Dokument enthält die gesamte Eingabe und die detaillierten Nachweise. In weiterer Folge kann das PDF-Dokument durch ein PDF-Programm am Gerät geöffnet oder als E-Mail versendet werden.

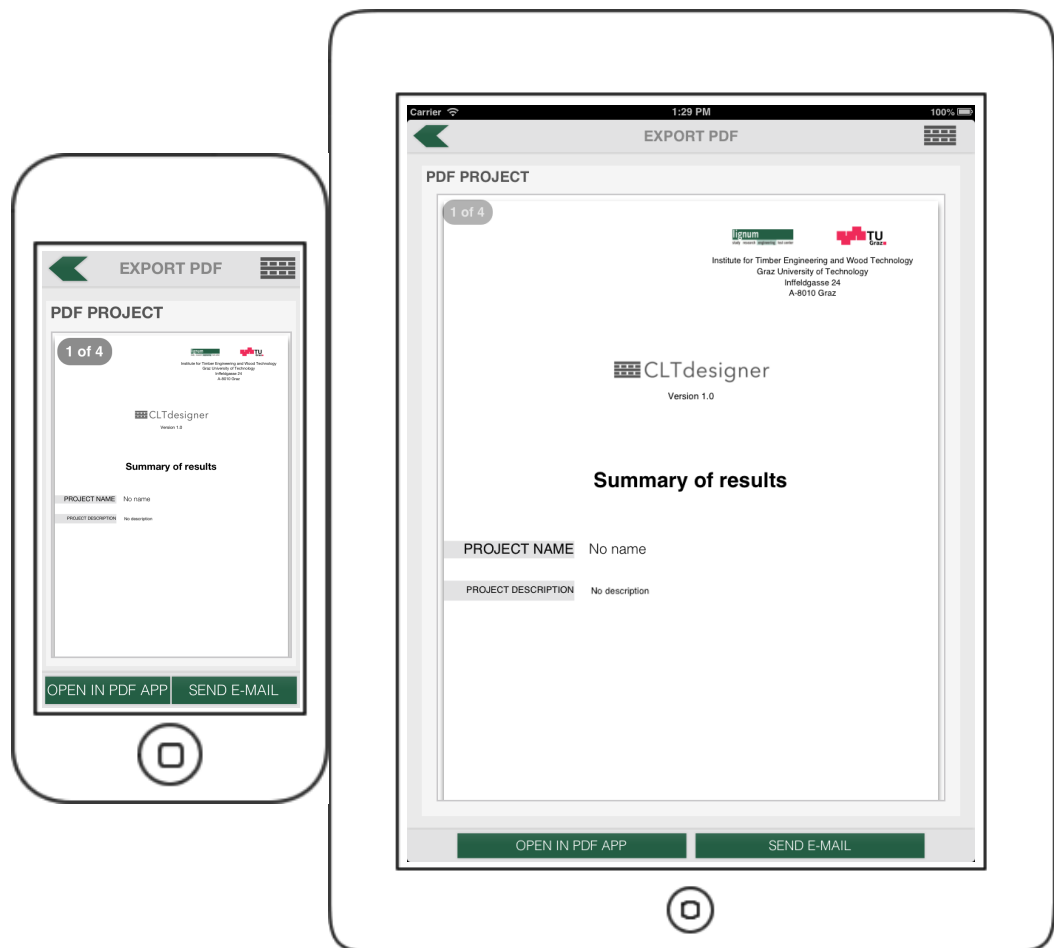


Abbildung 34 CLTdesigner – Export PDF-Seite

2 Die Calculation-Klassen

Neben dem zuvor erläuterten visuellen Teil der Applikation gibt es einen unabhängigen Programmteil, der alle Berechnungen und Nachweise für das eingegebene System durchführt.

Die Calculation-Klassen werden unterteilt in:

- Parameter-Klassen
- Berechnungs-Klassen
- Ergebnis-Klassen

Wie schon erwähnt, wird durch das Drücken des „Calculate“ Buttons die Methode „Calculate“ in der CalculationScript-Klasse aufgerufen. Diese Klasse organisiert dann den gesamten Berechnungsverlauf.

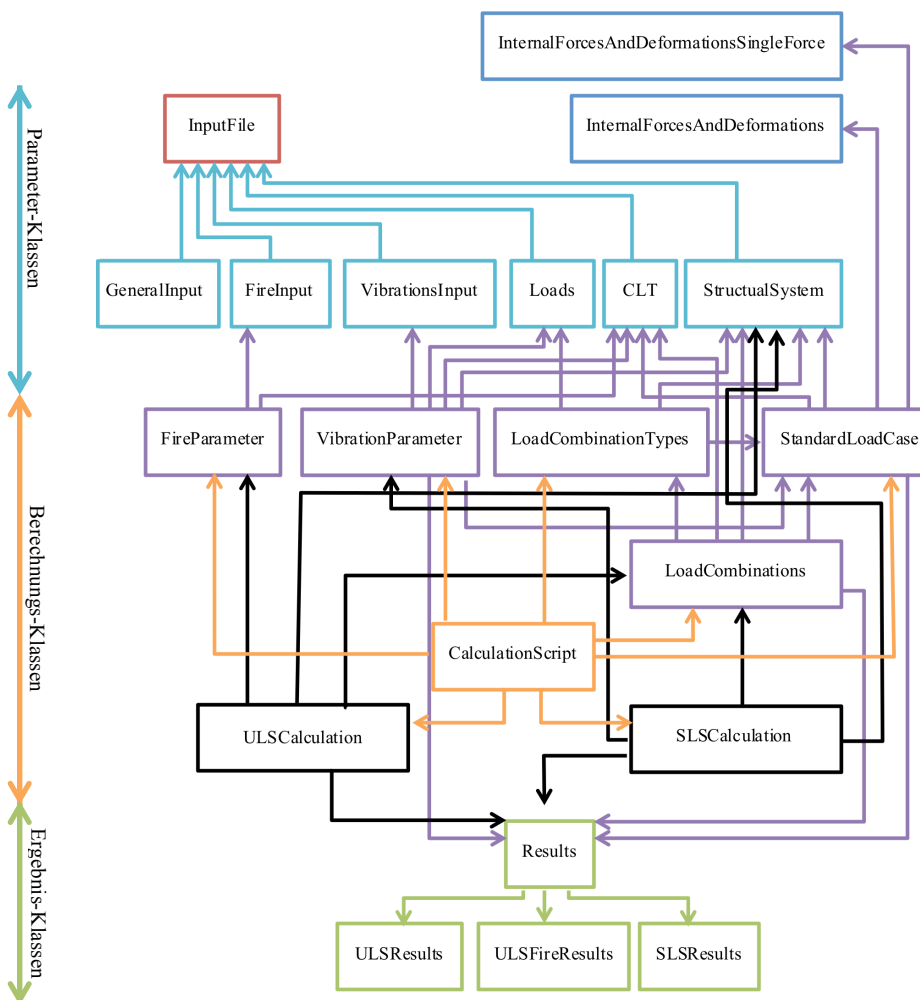


Abbildung 35 Klassendiagramm der Berechnung

2.1 Die CalculationScript-Klasse

Die CalculationScript-Klasse übernimmt die Organisation des gesamten Berechnungsablaufes. Diese Klasse ruft alle Berechnungsmethoden der anderen Klassen auf und gibt dem Interface Bescheid, dass die Berechnung durchgeführt wurde.

Es folgt der Programmablauf der gesamten Berechnung im CalculationScript:

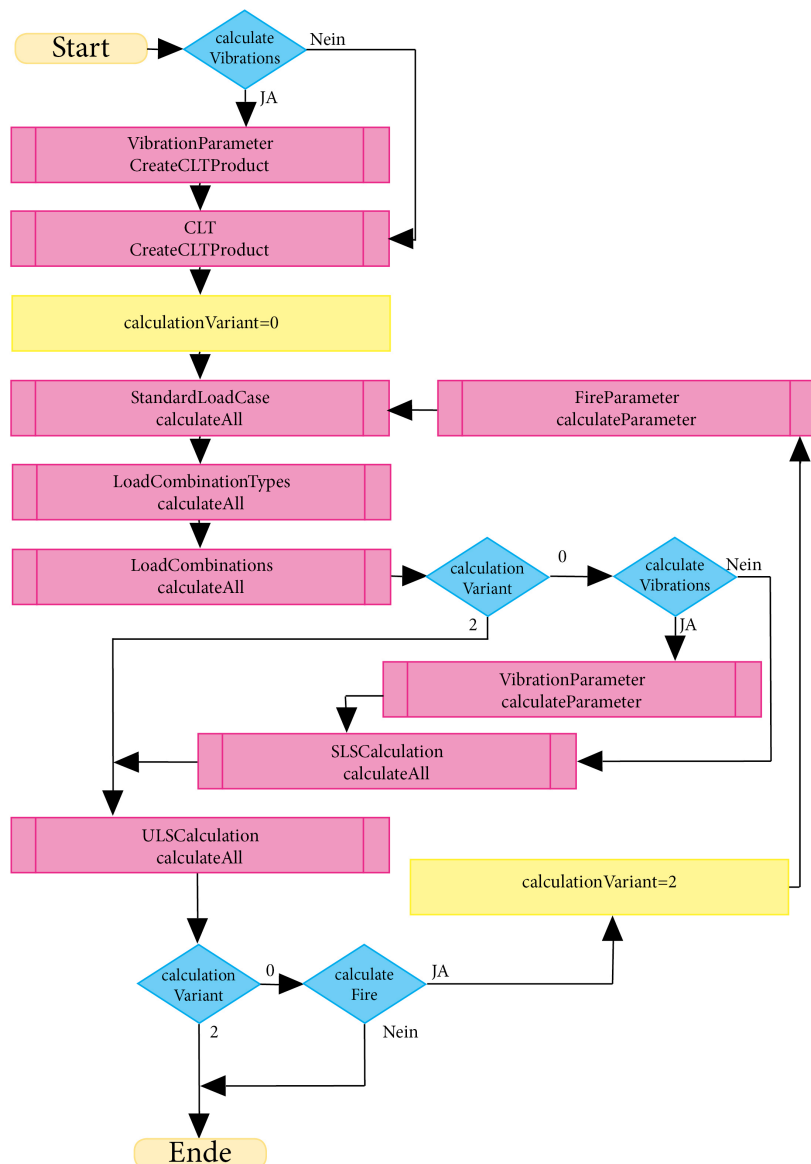


Abbildung 36 Programmablaufplan der CalculationSkript-Klasse

2.2 Parameter-Klassen

Wie aus dem Klassendiagramm in Abbildung 35 ersichtlich, greifen die Parameter-Klassen nur auf die InputFile-Klasse zu. Sie verarbeiten die dort gespeicherten Daten und berechnen alle nötigen Eingangswerte für die Berechnungs-Klassen.

Es folgen alle Parameterklassen:

InputFile	GeneralInput
<pre>NSMutableDictionary data; NSString projectName; NSString projectDescription; int serviceClass; NSString category; int altitude; NSMutableArray permanentLoad; NSMutableArray imposedLoad; NSMutableArray snowLoad; NSMutableArray windLoad; int systemType; NSMutableArray spanLength; NSMutableArray supportWidth; int fireDuration; NSMutableArray fireLocation; NSMutableArray fireProtection; int cltProductNumber; int requirementsType; double screedThickness; double customEModul; bool considerScreedStiffness; double zetaDampingValue; double ceilingWidth;</pre>	<ul style="list-style-type: none"> • (void)setServiceClass:(int)_setServiceClass; • (int)getServiceClass; • (void)setCategory:(NSString*) setCategory; • (NSString*)getCategory; • (void)setAltitude:(int) setAltitude; • (int)getAltitude;
<ul style="list-style-type: none"> • (void)setPermanentLoad:(double) load onSpan:(int) fSpan; • (double)permanentLoadOnSpan:(int) fSpan; • (void)setImposedLoad:(double) load onSpan:(int) fSpan; • (double)imposedLoadOnSpan:(int) fSpan; • (void)setSnowLoad:(double) load onSpan:(int) fSpan; • (double)snowLoadOnSpan:(int) fSpan; • (void)setWindLoad:(double) load onSpan:(int) fSpan; • (double>windLoadOnSpan:(int) fSpan; • (void)setSpanLength:(double) length forSpan:(int) span; • (double)spanLengthForSpan:(int) span; • (void)setSupportWidth:(double) width forSupport:(int) support; • (double)supportWidthOfSupport:(int) support; • (void)setFireLocation:(int) location state:(int) state; • (int)fireLocation:(int) location; • (void)setFireProtectionAtLocation:(int) location protectionTime:(int) time; • (int)fireProtectionAtLocation:(int) location; 	<pre>StructuralSystem</pre> <ul style="list-style-type: none"> • (void)setSystemType:(int) _setSystemType; • (int)getSystemType; • (void)setLengthOfSpans:(double) _setLengthOfSpan chosenSpan:(int) span; • (double)getLengthOfChosenSpans:(int) _chosenSpan; • (int)getNumberOfSpans; • (double)getLengthOfSystem; • (double)maximumSpanLength; • (double)minimumSpanLength; • (int)getSpanForXIndex:(int) xIndex; • (void)setChosenSupportWidth:(int) chosenSupport Width:(double) width; • (double)getChosenSupportWidth:(int) chosenSupport; • (BOOL)checkIfSupportIsAvailable:(int) chosenSupport; • (int)getSupportQuantity; • (bool)cantileverAviable;

CLT

- (void)ClearOldData;
- (void)setProductForProductNumber:(int)number;
- (double)productNumber;
- (void)setFireProduct:(NSDictionary*)product;
- (void)setVibrationProduct:(NSDictionary*)product;
- (CLTProduct*)cLTProduct;
- (CLTProduct*)cLTFullProduct;
- (CLTProduct*)cLTFireProduct;
- (CLTProduct*)cLTVibrationProduct;

Loads

- (double)getPlateWeight;
- (void)setPermanentLoad:(double)_setPermanentLoad chosenSpan:(int)span;
- (double)getPermanentLoad:(int)_chosenSpan ;
- (double)getPermAndPlateLoad:(int)span;
- (void)setImposedLoad:(double)_setImposedLoad chosenSpan:(int)span;
- (double)getImposedLoad:(int)_chosenSpan;
- (void)setWindLoad:(double)_setWindLoad chosenSpan:(int)span;
- (double)getWindLoad:(int)_chosenSpan;
- (void)setSnowLoad:(double)_setSnowLoad chosenSpan:(int)span;
- (double)getSnowLoad:(int)_chosenSpan;
- (double)getLoadWithIndex:(int)index span:(int)span;
- (NSString*)getLoadStringWithID:(int)loadID;

FireInput

- (void)setFireDurationTime:(int)time;
- (int)getFireDurationTime;
- (void)setFireAtLocation:(int)location State:(int)state;
- (int)getFireAtLocation:(int)location;
- (void)setFireProtectionTimeLocation:(int)location ProtectionTime:(int)time;
- (int)getFireProtectionTimeAtLoc:(int)location;
- (void)setKFire:(double)k;
- (double)getKFire;
- (void)setD0:(double)d;
- (double)getD0;
- (void)setCharingRate:(double)rate;
- (double)getCharingRate;
- (bool)getHeatResistantAdhesiveTrue;
- (bool)getWithoutGabs;

VibrationsInput

- (void)setRequirementsType:(int)type;
- (int)requirementsType;
- (void)setScreedThickness:(double)thickness;
- (double)screedThickness;
- (void)setScreedEModul:(double)emodul;
- (double)Emodul;
- (void)setConsiderationOfScreedStiffness:(bool>trueOrFalse);
- (bool)considerationOfScreedStiffness;
- (void)setZetaDampingValue:(double)xsi;
- (double)zetaDampingValue;
- (void)setCellingWidth:(double)width;
- (double)cellingWidth;
- (double)beff;

2.3 Berechnungs-Klassen

Die folgenden angeführten Klassen greifen auf alle Informationen der Parameter-Klassen zu und berechnen Lastfallkombinationen, Schnittkräfte, Spannungen und führen die Nachweise.

StandardLoadCase
<ul style="list-style-type: none"> • (void) calculateAll; • (void) clearOldData; • (NSArray*) xCoordinates; • (NSArray*) vForceStandardLoadCaseData; • (NSArray*) momentForceStandardLoadCaseData; • (NSArray*) deformationStandardLoadCaseData; • (NSArray*) vibrationDeformationLoadCaseData;

LoadCombinationTypes
<ul style="list-style-type: none"> • (void) calculateAll; • (Load*) loadForLoadID: (int) loadID;

LoadCaseCombinations
<ul style="list-style-type: none"> • (NSArray*) ULSSLoadResults; • (NSArray*) SLSLoadResults; • (NSArray*) ULSSupportResults; • (void) calculateAll; • (double) getKmodForForceID: (int) forceID;

FireParameter
<ul style="list-style-type: none"> • (void) calculateParameter; • (double) getBurningOffForLocation: (int) location; • (bool) checkIfFireCalculationPossible; • (bool) checkIfFireCalcIsCalculated;

VibrationParameter
<ul style="list-style-type: none"> • (void) calculateParameter; • (void) createCLTProduct; • (NSArray*) maxDeformationDataArray; • (NSArray*) parameterData; • (bool) shouldVibrationsBeCalculated;

ULSCalculation
<ul style="list-style-type: none"> • (void) calculate;

SLSCalculation
<ul style="list-style-type: none"> • (void) calculate;

2.4 Ergebnis-Klassen

Diese Klassen speichern alle gerechneten Daten ab und übergeben diese dem User Interface zur Darstellung. Es folgen alle Ergebnis-Klassen:

Results
<pre> ULSResult ULSNormalResult; ULSResult ULSErrorResult; SLSResult SLSNormalResult; </pre>
<ul style="list-style-type: none"> • (ULSResult*)ULSNormalResult; • (ULSResult*)ULSErrorResult; • (ULSResult*)ULSResultsForFireCase: (bool) isFire; • (SLSResult*)SLSNormalResult;

SLSResults
<pre> NSArray loadResultArray; NSArray maxResultArray; NSArray maxVibrationResultArray; NSArray vibrationParameterArray; NSNumber vibrationVerificationFullfilled; double acceleration; </pre>
<ul style="list-style-type: none"> • (double)maxDeformationResultPerce; • (double)maxDeformationResultInPercentForTime:(int)time; • (double)maxDeformationResult; • (double)maxDeformationResultTime:(int)time; • (int)maxDeformationSpan; • (int)maxDeformationTime; • (BOOL)checkIfDeformationIsFullfill; • (NSArray*)deformationsArray; • (Load*)loadForMaxDeformation; • (double)xCoordinateOfMaxResult; • (double)maxVibrationDeformation; • (double)maxVibrationDeformationX; • (double)Eigenfrequency;

ULSResults/ULSErrorResults
<pre> ULSVerification shearStressVerification; ULSVerification bendingStressVerification; ULSVerification bearingPressureVerification; CLTProduct * cLTProduct; </pre>
<ul style="list-style-type: none"> • (NSArray*)xCoordinatesArray; • (Load*)ULSMaxSupportLoad; • (NSArray*)internalForcesVArray; • (NSArray*)internalForcesMArray; • (double)maxBendingResult; • (double)maxBendingResultInPercent; • (double)maxBendingResultXCoordinate; • (BOOL)checkIfBendingIsFulfilled; • (double)maxShearResultInPercent; • (BOOL)checkIfShearIsFulfilled; • (double)maxShearStressithType:(int) type; • (double)maxShearStressInPercentWithType:(int) type; • (double)maxShearResultXCoordinate; • (int)maxBearingPressureSupport; • (double)maxBearingPressureResultInPer; • (double)maxBearingPressure; • (double)maxBearingPressureStress; • (BOOL)checkIfBearingPressureIsFullfill;

Vergleichsberechnungen

In diesem Kapitel wird die Genauigkeit der Nachweisführung der programmierten Applikation überprüft. Dafür werden die berechneten Ergebnisse mit Ergebnissen von Handrechnungen und Ergebnissen des Rechenprogramms CLTdesigner [20] für PC und Mac verglichen.

Der CLTdesigner [20] für PC und Mac unterscheidet sich wesentlich von der Applikation dadurch, dass die Berechnung der Schnittkräfte und Spannungen über eine Finite Elemente Methode erfolgt.

1 System 1 - Einfeldträger

Das erste System soll ein beidseitig gelagertes Flachdach darstellen. Es kann daher als Einfeldträger angenommen werden. Die kürzere Spannweite ist die Haupttragrichtung.

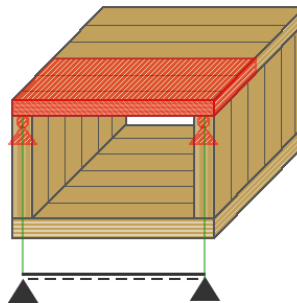


Abbildung 37 System 1 – Einfeldträger

1.1 Systemangaben

System

- Deckenlänge: 5 m
- Deckenbreite: 6m
- Bruttoauflagerbreite: 150 mm
- Nutzungsklasse: 1
- Nutzlasten Kategorie: A
- Höhenlage < 1000 m

Querschnitt

- Name: KLH- 5s 200m DL
- Schichtanzahl: 5
- Material: C24 – KLH

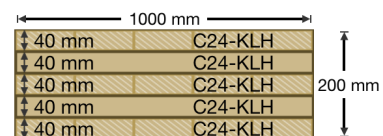


Abbildung 38 System 1 – Querschnitt

Materialkennwerte

- $E_{0,\text{mean}} = 12000 \text{ N/mm}^2$
- $E_{90,\text{mean}} = 0,00 \text{ N/mm}^2$
- $G_{0,\text{mean}} = 690 \text{ N/mm}^2$
- $G_{r,\text{mean}} = 50,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$
- $f_{r,k} = 1,50 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,90,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$

Belastung

- Ständige Lasten

Kiesschüttung	1,03 kN/m ²
Abdichtung	0,12 kN/m ²
Brettsperrholz	1,10 kN/m ² (=5,5*0,2)
Gipskartonplatte	0,15 kN/m ²
g_{Dach}	= 2,40 kN/m ²

- Nutzlasten
Für Geschoßdecken im Wohnbau wird eine Nutzlast von **q=2,0 kN/m²** angesetzt.
- Schneebelastung
Es wird vereinfacht eine Schneelast von **s=2,0 kN/m²** angenommen.
- Windbelastung
Es wird vereinfacht eine Windlast von **w=0,5 kN/m²** angenommen.

Feuer

- Feuerwiderstandszeit: 30 Minuten
- Feuer an der Ober- und Unterseite
- Keine Brandschutzschicht
- Kein feuerresistenter Klebstoff
- Fugenbreiten < 2mm

Schwingungen

- Beurteilung: 1
- Dämpfungswert: 2,5 %
- Estrich wird berücksichtigt mit:
 - E-Modul: 26 000 kN/m²
 - Höhe 5 cm

1.2 Handrechnung

Für die Handrechnung werden alle Formeln und Nachweisführungen aus Kapitel 1 verwendet.

1.2.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit

Schnittkraftermittlung

Maßgebende Lastfallkombination:

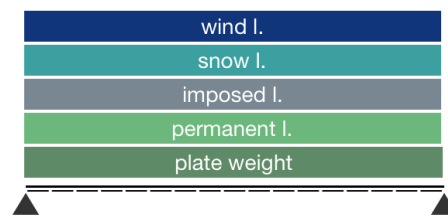


Abbildung 39 System 1 – Lastfallkombination ULS

Maßgebende Querkraft bei $x=0\text{m}$:

$$Q_{\max} = \frac{5\text{m}}{2} * \left(1,35 * \left(2,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) + 1,5 * \left(2,0 * \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,7 * 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,6 * 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \right)$$

$$Q_{\max} = 21,975 \text{kN}$$

Maßgebende Auflagerpressung für Auflager 1:

$$F_{\text{Auflager,max}} = \frac{5\text{m}}{2} * \left(1,35 * \left(2,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) + 1,5 * \left(2,0 * \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,7 * 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,6 * 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \right)$$

$$F_{\text{Auflager,max}} = 21,975 \text{kN}$$

Maßgebendes Moment bei $x = 2,5\text{m}$:

$$M_{\max} = \frac{5^2\text{m}}{8} * \left(1,35 * \left(2,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) + 1,5 * \left(2,0 * \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,7 * 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,6 * 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \right)$$

$$M_{\max} = 27,469 \text{kNm}$$

Querschnittswerte

Biegesteifigkeit:

$$K_{CLT} = \frac{1000\text{mm} * (40^3\text{mm})}{12} * 12000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 3$$

$$+ 1000\text{mm} * 40\text{mm} * 80^2\text{mm} * 12000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 2 = 6336 * 10^9 \text{Nmm}^2$$

Schubsteifigkeit:

$$S_{ges} = 40\text{mm} * 1000\text{mm} * 690\text{N/mm}^2 * 3 + 40\text{mm} * 1000\text{mm} * 50\text{N/mm}^2 * 2$$

$$S_{ges} = 868 * 10^5\text{N}$$

$$\kappa = \frac{5}{6} * \frac{1}{\frac{1}{99^2} * \left(3 + 2 * \frac{50\text{N/mm}^2}{690\text{N/mm}^2} \right) * \left(960 * \frac{690\text{N/mm}^2}{50\text{N/mm}^2} + 883 \right)}$$

$$\kappa = 0,184$$

$$S_{CLT} = 868 * 10^5\text{N} * 0,184 = 15971,2 * 10^3\text{N}$$

Spannungsverteilung am Querschnitt

Normalspannungsverteilung:

$$\sigma_{\text{max},d} = \frac{27,469 * 10^6\text{Nmm}}{6339 * 10^9\text{Nmm}^2} * 100 * 12000 = 5,2\text{N/mm}^2$$

Schubspannungsverteilung

$$\tau_{r,\text{max},d} = \frac{21975\text{N}}{6336 * 10^9\text{Nmm}^2 * 1000\text{mm}} * \left(1000\text{mm} * 40\text{mm} * 80\text{mm} * 12000\text{N/mm}^2 \right) = 0,133\text{N/mm}^2$$

$$\tau_{v,\text{max},d} = \frac{21975\text{N}}{6336 * 10^9\text{Nmm}^2 * 1000\text{mm}} * \left(1000\text{mm} * 40\text{mm} * 80\text{mm} * 12000\text{N/mm}^2 \right) + 1000\text{mm} * 20\text{mm} * 10\text{mm} * 12000\text{N/mm}^2 = 0,141\text{N/mm}^2$$

Auflagerpressung

$$\sigma_{90,d} = \frac{21975\text{N}}{1000\text{mm} * 150\text{mm}} = 0,146\text{N/mm}^2$$

Spannungsverteilung am Querschnitt

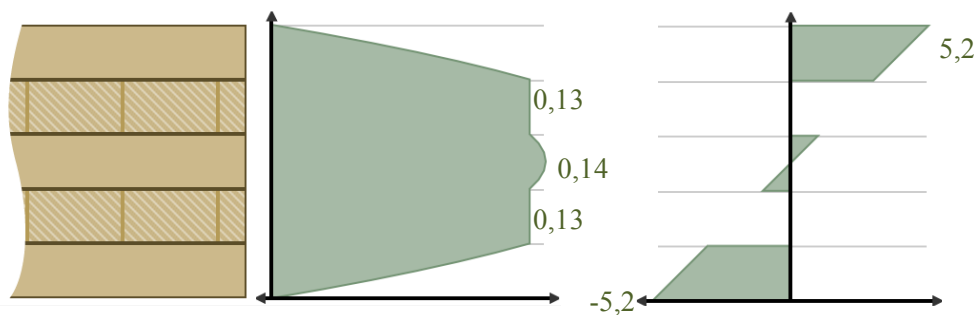


Abbildung 40 System 1 – Spannungsverteilung am Querschnitt

Bemessungskenngrößen

$$k_{\text{mod}} = 0,9 \quad \gamma_m = 1,25 \quad k_t = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \\ 1 + 0,025 * 3 = 1,075 \end{array} \right. = 1,1$$

$$f_{m,CLT,d} = 1,1 * \frac{0,9 * 24 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 19,01 \text{ N/mm}^2 \quad f_{v,CLT,d} = \frac{0,9 * 2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,CLT,90,d} = \frac{0,9 * 2,7 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2 \quad f_{r,CLT,d} = \frac{0,9 * 1,5 \text{ N/mm}^2}{1,25} = 1,08 \text{ N/mm}^2$$

Nachweise ULS

$$\eta_{\sigma_{\text{max}}} = \frac{5,2}{19,01} * 100 = 27,4\%$$

$$\eta_{\tau_{\text{max}}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \eta_{\tau_{v,\text{max}}} = \frac{0,141 \text{ N/mm}^2}{1,94 \text{ N/mm}^2} * 100 = 7,3\% \\ \eta_{\tau_{r,\text{max}}} = \frac{0,133 \text{ N/mm}^2}{1,08 \text{ N/mm}^2} * 100 = 12,3\% \end{array} \right. = 12,3\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\text{max}}} = \frac{0,146 \text{ N/mm}^2}{1,75 * 1,94 \text{ N/mm}^2} * 100 = 4,3\%$$

1.2.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

Schnittkraftermittlung

Maßgebende Lastfallkombination

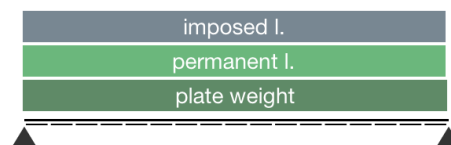


Abbildung 41 System 1 – Lastfallkombination für ULS-Feuer

Maßgebende Querkraft bei x = 0 m:

$$Q_{\text{max}} = \frac{5m}{2} * \left(\left(2,4 \text{ kN/m}^2 \right) + \left(0,3 * 2,0 * \text{kN/m}^2 \right) \right)$$

$$Q_{\text{max}} = 7,500 \text{ kN}$$

Maßgebendes Moment bei $x = 2,5$ m:

$$M_{\max} = \frac{5^2 m}{8} * \left((2,4 \text{ kN/m}^2) + (0,3 * 2,0 * \text{kN/m}^2) \right)$$

$$M_{\max} = 9,375 \text{ kNm}$$

Querschnittswerte

$$\text{Abbrandtiefe: } d_{\text{char},0} = 30 \text{ min} * 0,65 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 19,5 \text{ mm}$$

$$\text{Effektive Abbrandtiefe: } 19,5 \text{ mm} + 1,0 * 7 \text{ mm} = 26,5 \text{ mm}$$

Biegesteifigkeit:

$$K_{CLT} = \frac{1000 \text{ mm} * 40^3 \text{ mm}}{12} * 12000 \text{ N/mm}^2 + \frac{1000 \text{ mm} * ((40 \text{ mm} - 26,5 \text{ mm})^3)}{12} * 12000 \text{ N/mm}^2 * 2$$

$$+ 1000 \text{ mm} * (40 \text{ mm} - 26,5 \text{ mm}) * 64,5^2 \text{ mm} * 12000 \text{ N/mm}^2 * 2$$

$$K_{CLT} = 1512 * 10^9 \text{ Nmm}^2$$

Schubsteifigkeit

$$S_{\text{ges}} = (40 - 26,5) \text{ mm} * 1000 \text{ mm} * 690 \text{ N/mm}^2 * 2 + 40 \text{ mm} * 1000 \text{ mm} * 690 \text{ N/mm}^2$$

$$+ 40 \text{ mm} * 1000 \text{ mm} * 50 \text{ N/mm}^2 * 2$$

$$S_{\text{ges}} = 502 * 10^5 \text{ N}$$

$$S_{CLT} = 502 * 10^5 \text{ N} * 0,184 = 9236 * 10^3 \text{ N}$$

Spannungsverteilung

Normalspannung:

$$\sigma_{\text{max},d} = \frac{9,375 * 10^6 \text{ Nmm}}{1512 * 10^9 \text{ Nmm}^2} * (100 - 26,5) * 12000 \text{ N/mm}^2 = 5,5 \text{ N/mm}^2$$

Schubspannung

$$\tau_{r,\text{max},d} = \frac{7500 \text{ N}}{1512 * 10^9 \text{ Nmm}^2 * 1000 \text{ mm}} * \left(1000 \text{ mm} * (40 - 26,5) \text{ mm} * 66,75 \text{ mm} * 12000 \text{ N/mm}^2 \right)$$

$$= 0,054 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{v,max,d} = \frac{7500N}{1512 * 10^9 Nmm^2 * 1000mm} * (1000mm * (40 - 26,5)mm * 66,75mm * 12000 \frac{N}{mm^2} + 1000 * 20 * 10 * 12000) = 0,065 \frac{N}{mm^2}$$

Spannungsverteilung am reduzierten Querschnitt

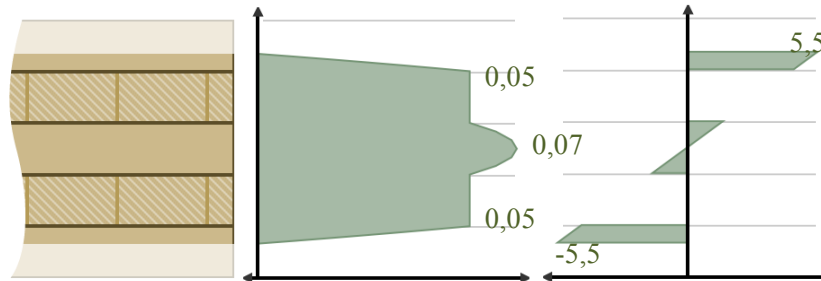


Abbildung 42 System 1 – Spannungsverteilung am reduzierten Querschnitt

Bemessungskenngrößen

$$k_{mod,fi} = 1,0$$

$$\gamma_{m,fi} = 1,00$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$k_l = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \\ 1 + 0,025 * 3 = 1,075 \end{array} \right. = 1,1$$

$$f_{m,CLT,d} = 1,1 * \frac{1,0 * 24 \frac{N}{mm^2}}{1,00} * 1,15 = 30,36 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{v,CLT,d} = \frac{1,0 * 2,7}{1,00} * 1,15 = 3,11 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{r,CLT,d} = \frac{1,0 * 1,5 \frac{N}{mm^2}}{1,00} * 1,15 = 1,73 \frac{N}{mm^2}$$

Nachweise ULS Feuer

$$\eta_{\sigma_{max}} = \frac{5,5}{30,36} * 100 = 18,1\%$$

$$\eta_{\tau_{max}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \eta_{\tau_{v,max}} = \frac{0,054 \frac{N}{mm^2}}{1,73 \frac{N}{mm^2}} * 100 = 3,1\% \\ \eta_{\tau_{r,max}} = \frac{0,065 \frac{N}{mm^2}}{3,11 \frac{N}{mm^2}} * 100 = 2,1\% \end{array} \right. = 3,1\%$$

1.2.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

Durchbiegung

Maßgebende Lastfallkombination

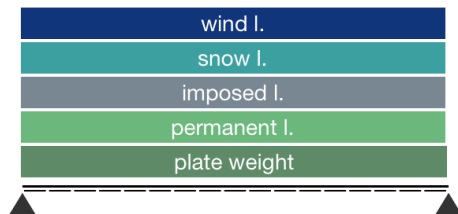


Abbildung 43 System 1 – Lastfallkombination für SLS

$$w_{q=1} = 1,48 \text{ mm} \quad (\text{aus FE-Programm})$$

Charakteristische Einwirkungskombination $t=0$

$$w_{inst} = 1,48 * \left(2,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 2,0 * \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,7 * 2,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,6 * 0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right)$$

$$w_{inst} = 9,0 \text{ mm}$$

Charakteristische Einwirkungskombination $t=\infty$

$$w_{creep} = 1,48(2,4 + 0,3 * 2 + 0 * 2,0 + 0 * 0,5) * 0,85 = 3,8 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = 9 + 3,8 = 12,8 \text{ mm}$$

Quasi-ständige Einwirkungskombination $t=\infty$

$$w_c = 0 \text{ mm}$$

$$w_{net,fin} = 12,8 + 0 = 12,8 \text{ mm}$$

Nachweise SLS Durchbiegungsbegrenzung

$$\eta_{w_{max}} = \max \left\{ \begin{array}{l} \eta_{w_{inst}} = \frac{9,0 \text{ mm}}{\frac{5000 \text{ mm}}{300}} * 100 = 54\% \\ \eta_{w_{fin}} = \frac{12,8 \text{ mm}}{\frac{5000 \text{ mm}}{150}} * 100 = 38,4\% = 64\% \\ \eta_{w_{net,fin}} = \frac{12,8 \text{ mm}}{\frac{5000 \text{ mm}}{250}} * 100 = 64\% \end{array} \right.$$

1.2.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen

Effektiver Querschnitt

$$K_{CLT,90} = \frac{1000\text{mm} * (40^3\text{mm})}{12} * 12000\text{N/mm}^2 * 2$$

$$+ 1000\text{mm} * 40\text{mm} * 40^2\text{mm} * 12000\text{N/mm}^2 * 2 = 1664 * 10^9\text{Nmm}^2$$

$$b_w = \min \begin{cases} b_{ef} = \frac{5m}{1,1} * \sqrt[4]{\frac{1664}{6336}} = 3,25m = 3,25m \\ b_D = 6m \end{cases}$$

$$K_{CLT,eff} = \frac{3250\text{mm} * (40^3\text{mm})}{12} * 12000\text{N/mm}^2 * 3$$

$$+ 3250\text{mm} * 40\text{mm} * 80^2\text{mm} * 12000\text{N/mm}^2 * 2 + 3250 * 50^3 / 12 * 26000 = 21472 * 10^9\text{Nmm}^2$$

Mitschwingende Masse

$$m = 2,4 * 1000 / 9,81 * 3,25 = 795\text{kg}$$

Eigenfrequenz

$$f_{e,1} = \frac{\pi}{2 * (5m)^2} * \sqrt{\frac{21472\text{kNm}^2 * 1000}{795\text{kg}}} = 10,3\text{Hz}$$

Steifigkeitskriterium

$$w_{F=2\text{kN}} = 0,2\text{mm} \text{ (aus FE-Programm)}$$

Nachweise

$$f_{e,1} = 10,3\text{Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0\text{Hz}$$

$$w = 0,2\text{mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{mm}$$

1.3 Berechnung mit dem CLTdesigner Programm für PC und Mac

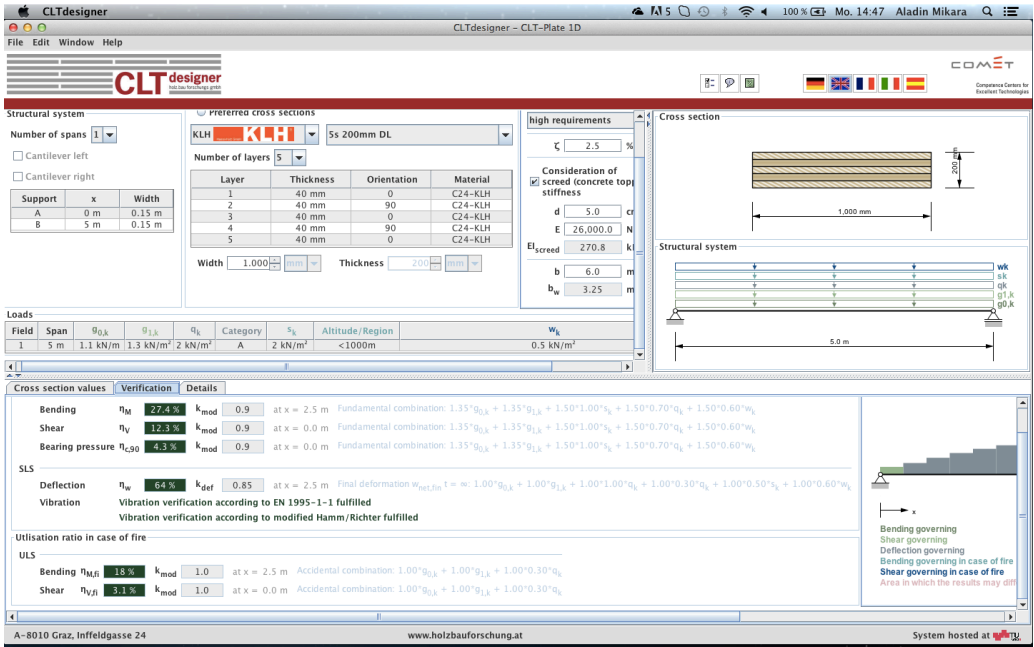


Abbildung 44 System 1 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{r_{\max}} = 12,3\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 27,4\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 4,3\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

$$\eta_{w_{\max}} = 64\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen

$$f_{e,1} = 10,3\text{Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0\text{Hz}$$

$$w = 0,2\text{mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{mm}$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{r_{\max}} = 3,1\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,0\%$$

1.4 Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS

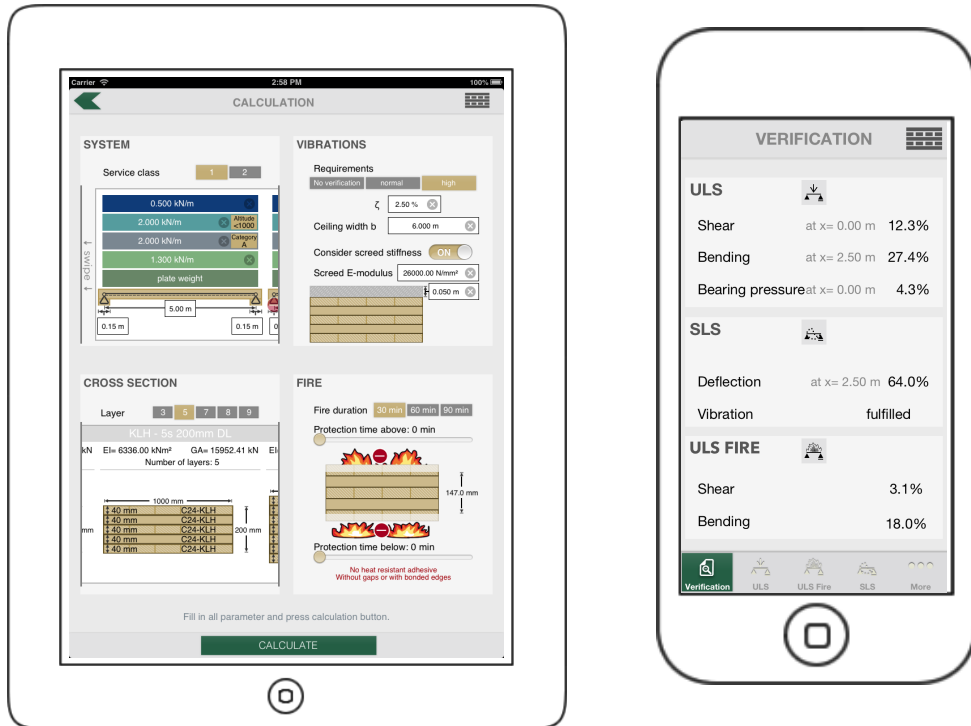


Abbildung 45 System 1 – Screenshot CLTdesigner für iOS

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{\tau_{\max}} = 12,3\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 27,4\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 4,3\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

$$\eta_{w_{\max}} = 64\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen

$$f_{e,1} = 10,3\text{Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0\text{Hz}$$

$$w = 0,2\text{mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{mm}$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{\tau_{\max}} = 3,1\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,0\%$$

1.5 Berechnungsvergleich

Die Ergebnisse aus der Handrechnung, dem Programm und der Applikation werden in der folgenden Tabelle verglichen.

Handrechnung	CLTdesigner für PC und Mac	CLTdesigner für iOS
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit		
$\eta_{\tau_{\max}} = 12,3\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 12,3\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 12,3\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 27,4\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 27,4\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 27,4\%$
$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 4,3\%$	$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 4,3\%$	$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 4,3\%$
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung		
$\eta_{w_{\max}} = 64\%$	$\eta_{w_{\max}} = 64\%$	$\eta_{w_{\max}} = 64\%$
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen		
$f_{calc} = 10,3Hz$ $< f_{grenz} = 8,0Hz$	$f_{calc} = 10,3Hz$ $< f_{grenz} = 8,0Hz$	$f_{calc} = 10,3Hz$ $< f_{grenz} = 8,0Hz$
$w = 0,2mm$ $< w_{grenz} = 0,5mm$	$w = 0,2mm$ $< w_{grenz} = 0,5mm$	$w = 0,2mm$ $< w_{grenz} = 0,5mm$
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall		
$\eta_{\tau_{\max}} = 3,1\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 3,1\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 3,1\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,1\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,0\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,0\%$

Tabelle 6 System 1 – Berechnungsvergleich

Alle Ergebnisse haben bis zur ersten Nachkommastelle idente Werte und somit ist die Genauigkeit der Applikation für dieses System ausreichend hoch.

2 System 2 - Zweifeldträger

Das zweite Modell besteht aus einer Zwischendecke aus Brettsper Holz. Sie ist beidseitig gelagert und besitzt eine tragende Zwischenwand. Das statische System besteht daher aus einem Zweifeldträger.

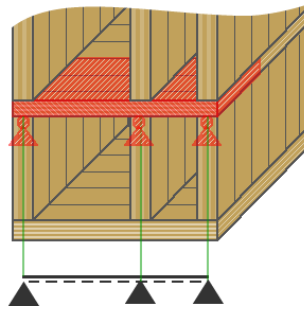


Abbildung 46 System 2 – Zweifeldträger

2.1 Systemangabe

System

- Deckenlänge Feld 1: 3,65 m
- Deckenlänge Feld 2: 3,15 m
- Deckenbreite: 5 m
- Bruttoauflagerbreite: 100 mm
- Nutzungsklasse: 1
- Nutzlasten Kategorie: C
- m.ü.A. <1000m

Querschnitt

- KLH- 5s 95mm DL
- Schichtanzahl: 5
- Material: C24 – KLH

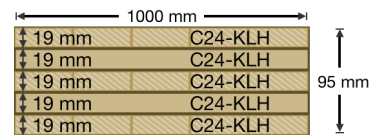


Abbildung 47 System 2 – Querschnitt

Materialkennwerte

- $E_{0,mean} = 12000 \text{ N/mm}^2$
- $E_{90,mean} = 0,00 \text{ N/mm}^2$
- $G_{0,mean} = 690 \text{ N/mm}^2$
- $G_{r,mean} = 50,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$
- $f_{r,k} = 1,50 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,90,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$

Belastung

- Ständige Lasten

Fußbodenbelag	0,05 kN/m ²
Estrich	1,04 kN/m ²
Schüttung	0,06 kN/m ²
Brettspertholz	0,52 kN/m ² (=5,5*0,095)
Gipskartonplatte	0,15 kN/m ²
<hr/>	
g_{Dach}	= 1,82 kN/m²

- Nutzlasten

Für Geschoßdecken im Wohnbau wird eine Nutzlast von **q=2,0 kN/m²** angesetzt.

Feuer

- Feuerwiderstandszeit: 60 Minuten
- Feuer an der Oberseite
- Brandschutzschicht 35 Minuten
- Kein feuerresistenter Klebstoff
- Fugenbreiten < 2mm

Schwingungen

- Bewertung: 1,0 bis 1,5
- Dämpfungswert: 2,5 %
- Estrich wird berücksichtigt mit:
 - E-Modul: 26 000 kN/m²
 - Höhe 10 cm

2.2 Berechnung mit dem CLTdesigner Programm für PC und Mac

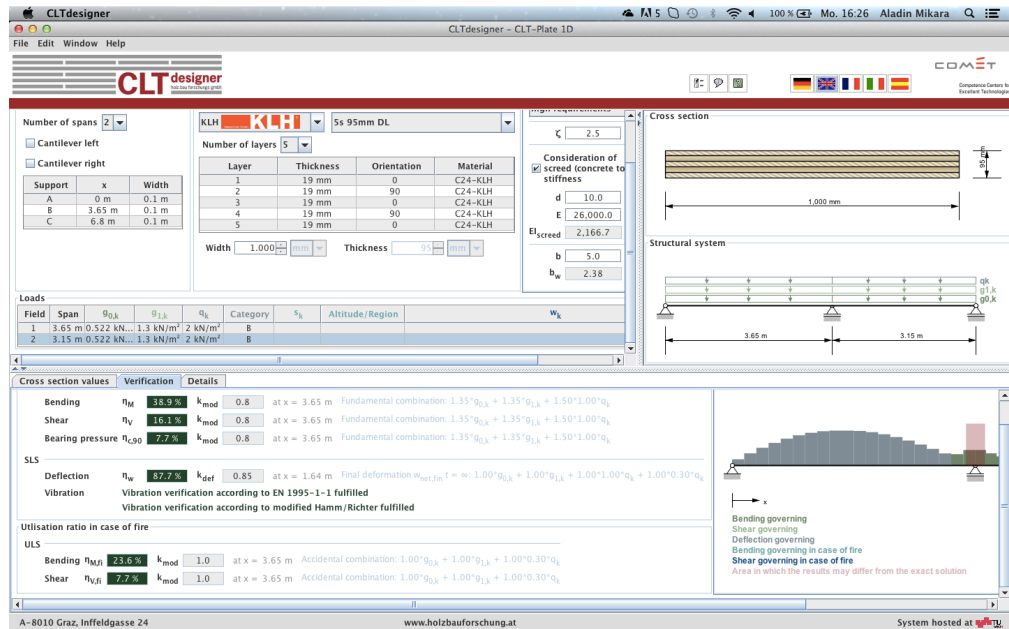


Abbildung 48 System 2 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{\tau_{\max}} = 16,1\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 38,9\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 7,7\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

$$\eta_{w_{\max}} = 87,7\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen

$$f_{e,1} = 16,2\text{Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0\text{Hz}$$

$$w = 0,2\text{mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{mm}$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{\tau_{\max}} = 7,7\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 23,6\%$$

2.3 Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS

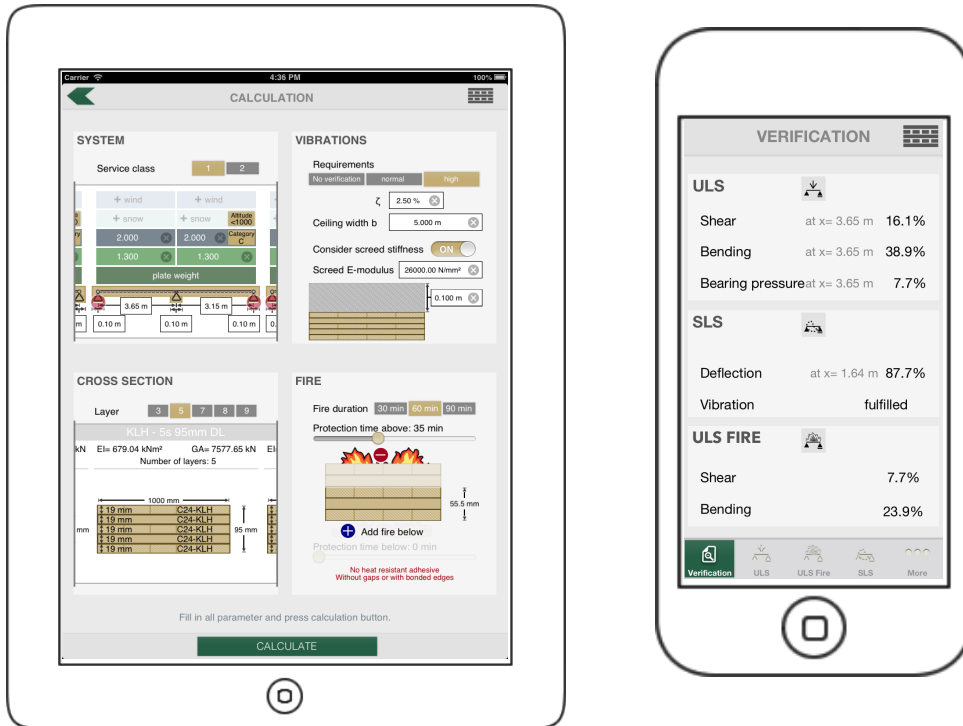


Abbildung 49 System 2 – Screenshot CLTdesigner für iOS

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{\tau_{\max}} = 16,1\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 38,9\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 7,7\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit -Durchbiegung

$$\eta_{w_{\max}} = 87,7\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit -Schwingungen

$$f_{e,1} = 16,2\text{Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,0\text{Hz}$$

$$w = 0,3\text{mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{mm}$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{\tau_{\max}} = 7,7\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 23,9\%$$

2.4 Berechnungsvergleich

Die Ergebnisse dem Programm und der Applikation werden in der folgenden Tabelle verglichen.

CLTdesigner für PC und Mac	CLTdesigner für iOS
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$\eta_{\tau_{\max}} = 16,1\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 16,1\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 38,9\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 38,9\%$
$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 7,7\%$	$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 7,7\%$
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung	
$\eta_{w_{\max}} = 87,7\%$	$\eta_{w_{\max}} = 87,7\%$
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen	
$f_{\text{calc}} = 16,2\text{Hz} < f_{\text{grenz}} = 8,0\text{Hz}$	$f_{\text{calc}} = 16,2\text{Hz} < f_{\text{grenz}} = 8,0\text{Hz}$
$w = 0,2\text{mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{mm}$	$w = 0,3\text{mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{mm}$
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall	
$\eta_{\tau_{\max}} = 7,7\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 7,7\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 23,6\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 23,9\%$

Tabelle 7 System 2 – Berechnungsvergleich

Fast alle Ergebnisse haben bis zur ersten Nachkommastelle idente Werte. Es gibt geringe Unterschiede beim Normalspannungsnachweis im Brandfall und beim Steifigkeitskriterium. Der Grund für die Abweichungen ist die unterschiedliche Art der Schnittkraftermittlung und Querschnittsermittlung zwischen den 2 Programmen. Trotz dieser kleinen Unterschiede ist auch bei diesem System die Genauigkeit der Applikation ausreichend.

3 System 3 – Dreifeldträger

Das dritte System besteht aus einer Zwischendecke mit zwei tragenden Innenwänden. Das statische System besteht daher aus einem Dreifeldträger.

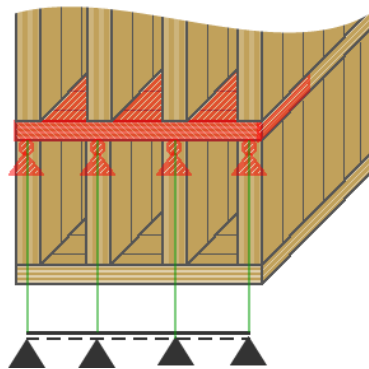


Abbildung 50 System 3 – Dreifeldträger

3.1 Systemangabe

System

- Deckenfeld 1: 5m
- Deckenfeld 2: 5m
- Deckenfeld 3: 5m
- Nutzungsklasse: 1
- Nutzlasten Kategorie: A
- Bruttoauflagerbreite: 100 mm

Querschnitt

- KLH- 5s 200m DL
- Schichtanzahl: 5
- Material: C24 – KLH

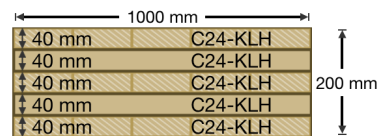


Abbildung 51 System 3 – Querschnitt

Materialkennwerte

- $E_{0,mean} = 12000 \text{ N/mm}^2$
- $E_{90,mean} = 0,00 \text{ N/mm}^2$
- $G_{0,mean} = 690 \text{ N/mm}^2$
- $G_{r,mean} = 50,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$
- $f_{r,k} = 1,50 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,90,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$

Belastung

- Ständige Lasten

Fußbodenbelag	0,05 kN/m ²
Estrich	1,04 kN/m ²
Schüttung	0,06 kN/m ²
Brettsperrholz	1,10 kN/m ² (=5,5*0,2)
Gipskartonplatte	0,15 kN/m ²
<hr/>	
q_{Decke}	= 2,40 kN/m²

- Nutzlasten

Für Geschoßdecken im Wohnbau wird eine Nutzlast von **q=2,0 kN/m²** angesetzt.

Feuer

- Feuerwiderstandszeit: 60 Minuten
- Feuer an der Oberseite
- Brandschutzschicht 35 Minuten
- Kein feuerresistenter Klebstoff
- Fugenbreiten < 2mm

Schwingungen

- Bewertung: 1,0 bis 1,5
- Dämpfungswert: 2,5 %
- Estrich wird berücksichtigt mit:
 - E-Modul: 26 000 kN/m²
 - Höhe 10 cm

3.2 Berechnung mit dem CLTdesigner Programm für PC und Mac

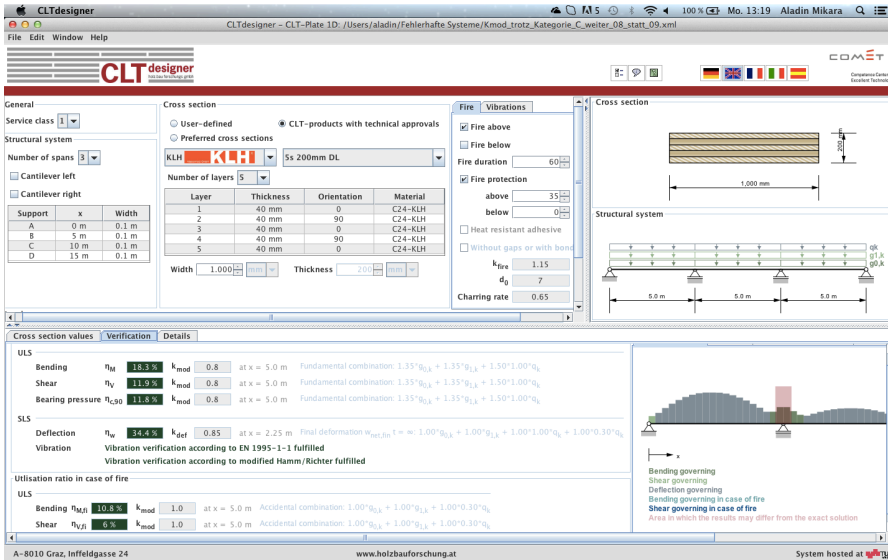


Abbildung 52 System 3 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{\tau_{\max}} = 11,9\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,3\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 11,8\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

$$\eta_{w_{\max}} = 34,4\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit -Schwingungen

$$f_{\text{calc}} = 11,7\text{ Hz} < f_{\text{grenz}} = 8,0\text{ Hz}$$

$$w = 0,2\text{ mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{ mm}$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{\tau_{\max}} = 6,0\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 10,8\%$$

3.3 Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS

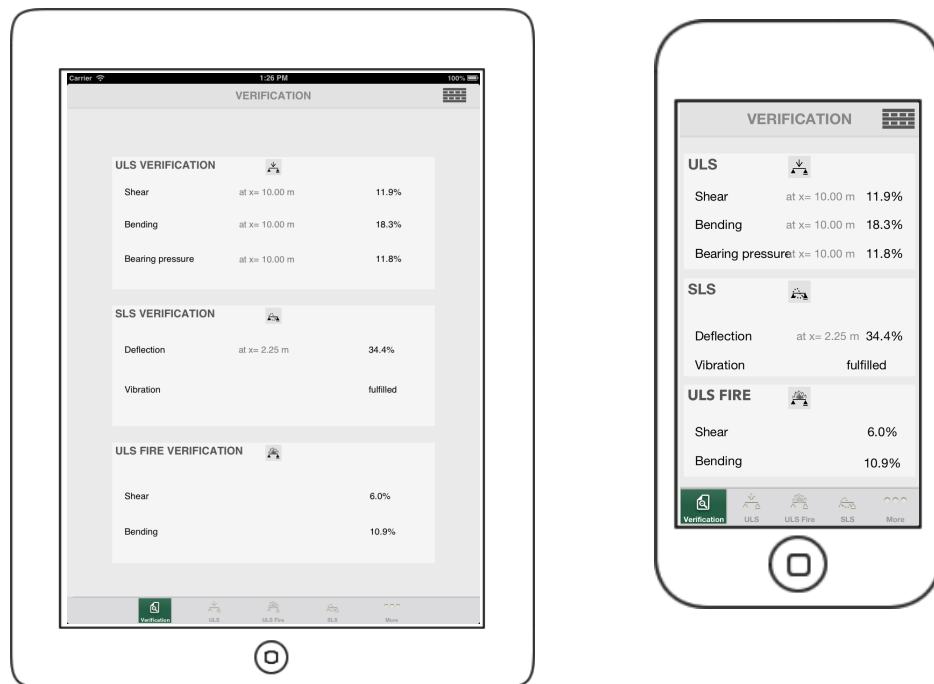


Abbildung 53 System 3 – Screenshot CLTdesigner für iOS

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{\tau_{\max}} = 11,9\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,3\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 11,8\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

$$\eta_{w_{\max}} = 34,4\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit -Schwingungen

$$f_{\text{calc}} = 11,7 \text{ Hz} < f_{\text{grenz}} = 8,0 \text{ Hz}$$

$$w = 0,2 \text{ mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5 \text{ mm}$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{\tau_{\max}} = 6,0\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 10,9\%$$

3.4 Berechnungsvergleich

Die Ergebnisse aus dem Programm und der Applikation werden in der folgenden Tabelle verglichen.

CLTdesigner für PC und Mac	CLTdesigner für iOS
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$\eta_{\tau_{\max}} = 11,9\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 11,9\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,3\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 18,3\%$
$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 11,8\%$	$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 11,8\%$
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung	
$\eta_{w_{\max}} = 34,4\%$	$\eta_{w_{\max}} = 34,4\%$
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Schwingungen	
$f_{\text{calc}} = 11,7\text{ Hz} < f_{\text{grenz}} = 8,0\text{ Hz}$	$f_{\text{calc}} = 11,7\text{ Hz} < f_{\text{grenz}} = 8,0\text{ Hz}$
$w = 0,2\text{ mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{ mm}$	$w = 0,2\text{ mm} < w_{\text{grenz}} = 0,5\text{ mm}$
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall	
$\eta_{\tau_{\max}} = 6,0\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 6,0\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 10,8\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 10,9\%$

Tabelle 8 System 3 – Berechnungsvergleich

Alle Ergebnisse aus den Berechnungen der Applikation stimmen fast auf die erste Kommastelle mit dem Desktopprogramm überein. Es entstehen wieder nur ganz geringe Unterschiede beim Brandfall. Die Applikation hat auch hier wieder eine sehr hohe Genauigkeit bei der Berechnung.

4 System 4 – Dreifeldträger mit zwei Kragarmen

Das vierte System besteht aus einem Dach mit Kragarmen auf beiden Seiten. Das statische System besteht daher aus einem Dreifeldträger mit 2 Kragarmen.

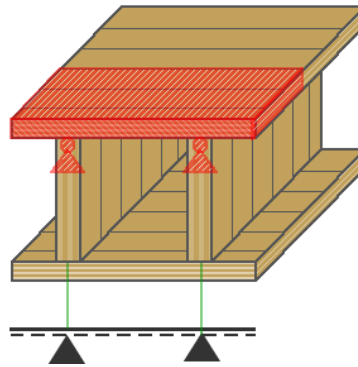


Abbildung 54 System 4 – Dreifeldträger mit 2 Kragarmen

4.1 Systemangabe

System

- Kragarm links: 1m
- Deckenlänge Feld: 5m
- Kragarm rechts: 2m
- Bruttoauflagerbreite: 100 mm
- Nutzungsklasse: 2
- Nutzlasten Kategorie: D
- m.ü.A. >1000m

Querschnitt

- KLH- 5s 200m DL
- Schichtanzahl: 5
- Material: C24 – KLH

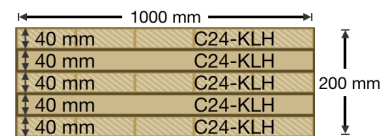


Abbildung 55 System 4 – Querschnitt

Materialkennwerte

- $E_{0,mean} = 12000 \text{ N/mm}^2$
- $E_{90,mean} = 0,00 \text{ N/mm}^2$
- $G_{0,mean} = 690 \text{ N/mm}^2$
- $G_{r,mean} = 50,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{m,k} = 24,0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$
- $f_{r,k} = 1,50 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,90,k} = 2,70 \text{ N/mm}^2$

Belastung

- Ständige Lasten

Kiesschüttung	1,03 kN/m ²
Abdichtung	0,12 kN/m ²
Brettsper Holz	1,10 kN/m ² (=5,5*0,2)
Gipskartonplatte	0,15 kN/m ²
<hr/>	
g_{Dach}	= 2,40 kN/m²

- Nutzlasten
Für Geschosdecke im Wohnbau wird eine Nutzlast von **q=2,0 kN/m²** angesetzt.
- Schnee
Vereinfacht wird eine Schneelast von **s=2,0 kN/m²** angenommen.

Feuer

- Feuerwiderstandszeit: 90 Minuten
- Feuer an der Unterseite
- Keine Brandschutzschicht
- Kein feuerresistenter Klebstoff
- Fugenbreiten < 2mm

4.2 Berechnung mir dem CLTdesigner Programm für PC und Mac

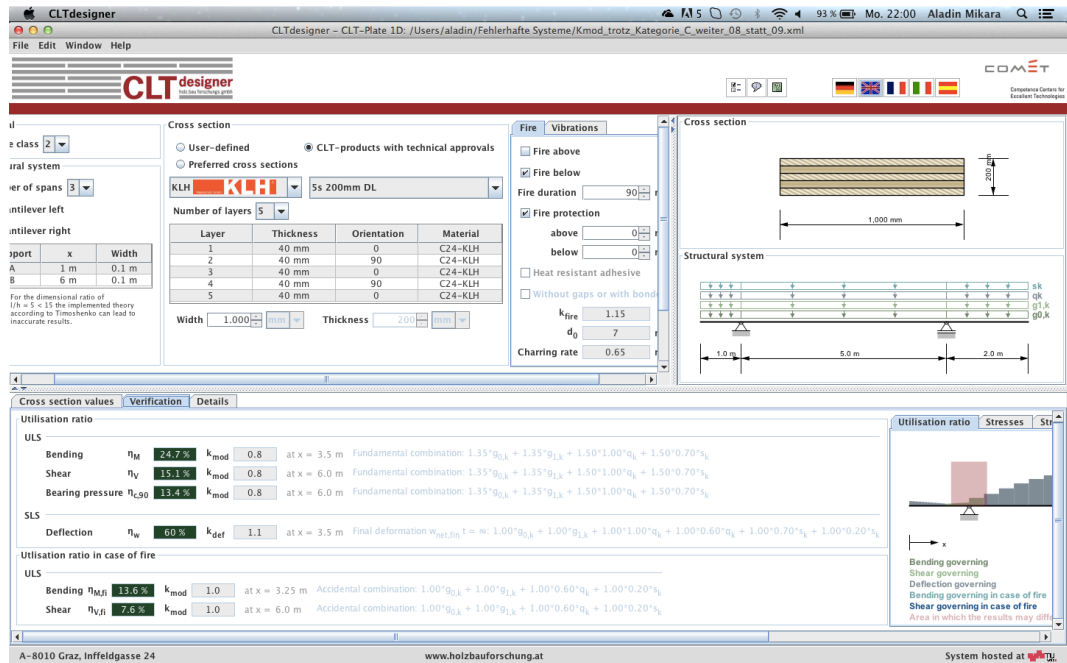


Abbildung 56 System 4 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{\tau_{\max}} = 15,1\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 24,7\%$$

$$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 13,4\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

$$\eta_w = 60,0\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{\tau_{\max}} = 7,6\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 13,6\%$$

4.3 Berechnung mit der CLTdesigner Applikation für iOS

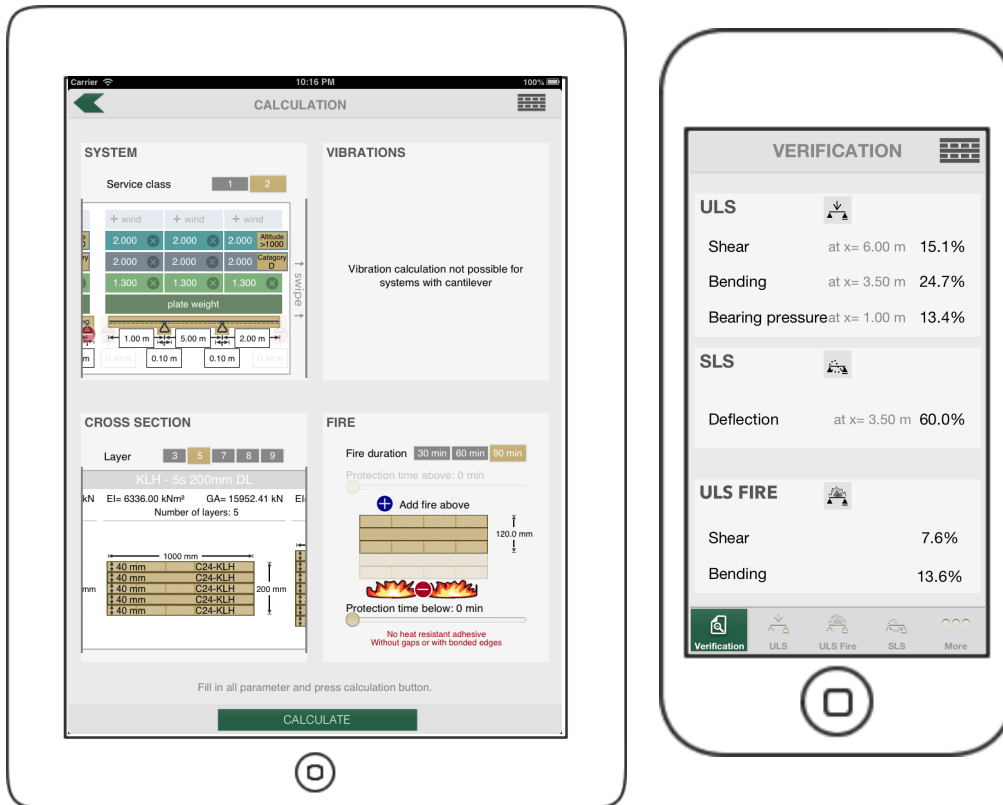


Abbildung 57 System 4 – Screenshot CLTdesigner für iOS

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$\eta_{\tau_{\max}} = 15,1\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 24,7\%$$

$$\eta_{\sigma_{90_{\max}}} = 13,4\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung

$$\eta_w = 60,0\%$$

Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall

$$\eta_{\tau_{\max}} = 7,6\%$$

$$\eta_{\sigma_{\max}} = 13,6\%$$

4.4 Berechnungsvergleich

Die Ergebnisse aus dem Programm und der Applikation werden in der folgenden Tabelle verglichen.

CLTdesigner für PC und Mac	CLTdesigner für iOS
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$\eta_{\tau_{\max}} = 15,1\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 15,1\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 24,7\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 24,7\%$
$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 13,4\%$	$\eta_{\sigma_{90,\max}} = 13,4\%$
Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - Durchbiegung	
$\eta_w = 60,0\%$	$\eta_w = 60,0\%$
Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit - Brandfall	
$\eta_{\tau_{\max}} = 7,6\%$	$\eta_{\tau_{\max}} = 7,6\%$
$\eta_{\sigma_{\max}} = 13,6\%$	$\eta_{\sigma_{\max}} = 13,6\%$

Tabelle 9 System 4 – Berechnungsvergleich

Alle Ergebnisse aus den Berechnungen der Applikation stimmen auf die erste Kommastelle mit dem Desktopprogramm überein. Die Applikation hat auch hier wieder eine sehr hohe Genauigkeit bei der Berechnung.

Resümee und Ausblick

1 Zusammenfassung

In Rahmen dieser Arbeit wurden alle notwendigen Nachweise für Decken aus Brettspertholz aufgezeigt und die dazugehörigen Berechnungsmethoden für Spannungen und Durchbiegungen erklärt.

Außerdem wurden alle wichtigen Informationen zum Programmieren von Applikationen für die Plattform iOS und speziell zum Programmieren des CLTdesigner nähergebracht.

Für die Implementierung in die Applikation CLTdesigner für iOS wurden einige Vereinfachungen getroffen. Die größten Abweichungen werden durch die verwendete TIMOSHENKO-Balken-Theorie verursacht. Diese entstehen besonders bei großen Einzellasteinleitungen, L/H Verhältnissen < 15 und durch die vereinfachte Berechnung des κ -Faktors (konstante Einzelschichtstärken).

Mit den Berechnungsvergleichen wurde aber gezeigt, dass die größten Abweichungen bei statisch unbestimmten Systemen im Brandfall entstehen, da sich hier die Unterschiede der getroffenen Vereinfachungen bei der Schnittkraftberechnung besonders stark bemerkbar machen. Dennoch liegt die Ungenauigkeit der Applikation im Vergleich zum CLTdesigner Programm für PC und Mac bei nur 1% und ist damit vernachlässigbar.

Der CLTdesigner für iOS ist somit exakt genug um Brettspertholzdecken mit einem L/H Verhältnis > 15 genau zu bemessen.

2 Ausblick

Smartphones und Tablets entwickeln sich ständig weiter. Keine andere IT-Sparte hat sich in den letzten Jahren so rasant verändert. Die Leistungsfähigkeit der mobilen „Supercomputer“ könnte bald die traditionellen PCs ablösen. Alle großen Hardware und Software Hersteller wie Microsoft, Apple, Google, Samsung, Lenovo etc. haben dies erkannt und bereiten sich auf den Wechsel von PCs auf Tablets und Smartphones vor. Zur Bedienung soll dabei in erster Linie der Touchscreen verwendet werden und auch durch Gesten und Bewegungen ohne Berührung des Displays bestimmte Befehle ausgeführt werden.

Um mit diesem Fortschritt mitzukommen sollte die CLTdesigner Applikation weiterentwickelt werden. Die Applikation kann problemlos den gleichen Umfang wie die PC und Mac Version bereitstellen. Ebenso sinnvoll wäre es auch andere mobile Betriebssysteme wie Android oder Windows Phone zu unterstützen.

Eine naheliegende Überlegung ist auch Applikationen zur Bemessung von Brettschichtholz oder Vollholz zu entwickeln. Selbst ein umfassenderes Bemessungsprogramm für ganze Tragwerke ist heute schon möglich.

Man sollte auch die Verwendung der Sensoren in Smartphones fördern, da Smartphones die einzigen Geräte sind, welche auf kompakten Raum eine Vielzahl der unterschiedlichsten Sensoren vereinen und zusätzlich eine hohe Rechenkapazität zur Verfügung stellen. Durch die Kombination von Lagesensor, Beschleunigungssensor und Gyroskope ist es möglich Schwingungen in Holzdecken abschätzend zu messen. Durch zusätzliches Verwenden der Smartphone-Kamera können ganze Tragwerke visuell erfasst und in digitale statische Systeme umgewandelt werden. Außerdem ist es möglich durch die visuelle Erfassung, Bauteilverformungen abzuschätzen und Bauabweichungen zu erkennen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die rasante Entwicklung der mobilen Systeme eine Vielzahl von Möglichkeiten für die Ingenieurwissenschaften eröffnet und der CLTdesigner nur ein kleiner Einblick auf diese Möglichkeiten gibt.

Literaturverzeichnis

Normen

- [1] ÖNORM EN 1990 : 2003-03-01
Eurocode - Grundlagen der Tragwerksplanung
- [2] ÖNORM EN 1991-1:2003-03-01
Eurocode 1 – Allgemeine Einwirkungen, Wichten, Eigengewichte, Nutzlasten im Hochbau
- [3] ON B 1991-1-1:2003-03-01
Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau
- [4] ON EN 1991-1-2:2009-08-01
Eurocode 1 – Einwirkung auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- [5] ON EN 1991-1-3:2005-08-01
Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Scheelasten
- [6] ON EN 1991-1-4:2005-11-01
Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten
- [7] ON EN 1995-1-1:2009-07-01
Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbau
- [8] ON B 1995-1-1:2009-07-01
Eurocode 5 – Bemessung und Konstruktion von Holzbauten –
Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau – Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995-1-1

- [9] EN 1995-1-2:2004
Eurocode 5 – Entwurf, Berechnung und Bemessung von
Holzbauten – Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Bemessung für den
Brandfall, Schlusssentwurf

Bücher/Forschungsarbeiten

- [10] Schickhofer G., et. al.,
BSPhandbuch – Holzmassivbauweise in Brettsperrholz –
Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normkonzepts,
Verlag der technischen Universität Graz,
2 überarbeitete Auflage 2010,
Graz 2010
- [11] Bogensperger T., Silly G., Schickhofer G.,
Methodenvergleich approximativer Nachweisverfahren für
Brettsperrholz,
Forschungsbericht,
holz.bau forschungs GmbH, Institut für Holzbau und
Holztechnologie, Technische Universität Graz,
Juni 2012
- [12] Merkel M., Öchsner A.,
Eindimensionale Finite Elemente – Einstieg in die Methode,
Springer Verlag,
Auflage 2010
- [13] Edited by Harris R., Ringhofer A., Schickhofer G.,
Focus Solid Timber Solution – European Conference on Cross
Laminated Timber (CLT),
COST Action FP1004,
University of BATH, Technische Universität Graz,
Mai 2013
- [14] Hamm P., Richter A.,
Personeninduzierte Schwingungen bei Holzdecken – Neue
Erkenntnisse führen zu neuen Bemessungsregeln,
Ingenieurholzbau – Karlsruher Tage: Forschung für die Praxis
Universität Karlsruhe
Oktober 2009

- [15] Lignum Holzwirtschaft Schweiz (editor),
Holzbau: Bemessungsbeispiele zur Norm SIA 265,
Schweiz 2003
- [16] Fitz M.,
Untersuchung des Schwingverhaltens von Deckensystemen aus
Brettsperrholz (BSP),
Diplomarbeit,
Technische Universität Graz,
Graz 2008
- [17] Kreuzinger H., Mohr B.,
Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz,
Abschlussbericht 1999,
TU München,
München, Januar 1999
- [18] Bogensperger T., Moosbrugger T.,
Schubkorrekturfaktoren für geschichtete Querschnitte,
interner Bericht 2005,
Graz 2005
- [19] Jöbstl R.,
Praxisgerechte Bemessung von Brettsperrholz,
Karlsruher Tage 2007,
Karlsruhe 2007

Programme

- [20] CLTdesigner, www.cltdesigner.at 03.06.2013
holz.bau forschungs gmbh

Internet

- [21] iPhone Benutzerhandbuch, 03.06.2013
http://manuals.info.apple.com/de_DE/iphone_benutzerhandbuch.pdf
- [22] iOS Technology Overview, 03.06.2013
<https://developer.apple.com/library/ios/documentation/Miscellaneous/Conceptual/iPhoneOSTechOverview/iPhoneOSTechOverview.pdf>

- [23] iOS App Programming Guide, 03.06.2013
<https://developer.apple.com/library/ios/documentation/iPhone/Conceptual/iPhoneOSProgrammingGuide/iPhoneAppProgrammingGuide.pdf>
- [24] Your Application Flow, 03.06.2013
<http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/iphone/conceptual/iphonesprogrammingguide/ManagingYourApplicationsFlow/ManagingYourApplicationsFlow.html>
- [25] Cocoa Fundamentals Guide, 03.06.2013
<https://developer.apple.com/library/iOS/documentation/Cocoa/Conceptual/CocoaFundamentals/CocoaFundamentals.pdf>
- [26] XCode, 03.06.2013
<https://developer.apple.com/xcode/>
- [27] iOS Simulator User Guide, 03.06.2013
http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/IDEs/Conceptual/iOS_Simulator_Guide/Introduction/Introduction.html
- [28] iOS Developer Library, 03.06.2013
<http://developer.apple.com/library/ios/navigation/>
- [29] Objective C, 03.06.2013
<https://developer.apple.com/library/mac/#documentation/General/Conceptual/DevPedia-CocoaCore/ObjectiveC.html>
- [30] Objective C Classes, 03.06.2013
http://developer.apple.com/library/mac/#documentation/Cocoa/Conceptual/ProgrammingWithObjectiveC/DefiningClasses/DefiningClasses.html#//apple_ref/doc/uid/TP40011210-CH3-SW1
- [31] Nachrichten senden – Message, 03.06.2013
http://developer.apple.com/library/mac/#documentation/Cocoa/Conceptual/ProgrammingWithObjectiveC/DefiningClasses/DefiningClasses.html#//apple_ref/doc/uid/TP40011210-CH3-SW1
- [32] Human Interface Guidelines, 03.06.2013
<http://developer.apple.com/library/ios/documentation/UserExperience/Conceptual/MobileHIG/MobileHIG.pdf>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Statisches System	7
Abbildung 2	Statische Systeme im CLTdesigner (Nummerierung gemäß Programmcode)	7
Abbildung 3	TIMOSHENKO-Balken-Theorie	11
Abbildung 4	Rand- und Übergangsbedingungen bei konstanter Last q	13
Abbildung 5	Rand- und Übergangsbedingungen bei einer Einzellast	14
Abbildung 6	Geschichteter Querschnitt [13]	15
Abbildung 7	Schubkorrekturfaktor mit variablen Einzelschichtstärken ($G_0/G_{90} = 10$) [13]	16
Abbildung 8	Normalspannungsverteilung am Querschnitt [13]	18
Abbildung 9	Schubspannungsverteilung am Querschnitt [13]	18
Abbildung 10	Auflagerdetail Wand-Decke für die Auflagerpressung	19
Abbildung 11	Reduzierter Brandquerschnitt [13]	20
Abbildung 12	Durchbiegungsberechnung für das Steifigkeitskriterium	24
Abbildung 13	Flussdiagramm [14]	30
Abbildung 14	Technologieschichten [22]	37
Abbildung 15	Application life cycle [24]	38
Abbildung 16	CLTdesigner Interaktion User Interface – Calculation	47
Abbildung 17	Storyboard der iPhone Version	48
Abbildung 18	CLTdesigner – Startseite	49
Abbildung 19	CLTdesigner – Aufbau der Startseite	50
Abbildung 20	CLTdesigner – Settings-Seite	51
Abbildung 21	CLTdesigner – Aufbau der Settings-Seite	52
Abbildung 22	CLTdesigner – Open Calculation-Seite	53
Abbildung 23	CLTdesigner – Aufbau der Open Calculation-Seite	54

Abbildung 24	CLTdesigner – Calculation Input-Seite	56
Abbildung 25	CLTdesigner – Aufbau der Calculation Input-Seite (iPhone)	58
Abbildung 26	CLTdesigner – Aufbau der Calculation Input-Seite (iPad)	59
Abbildung 27	CLTdesigner – Aufbau der Results-Tabbar	60
Abbildung 28	CLTdesigner – Verification Overview-Seite	61
Abbildung 29	CLTdesigner – ULS-Seite	62
Abbildung 30	CLTdesigner – ULS Fire-Seite	63
Abbildung 31	CLTdesigner – SLS-Seite	64
Abbildung 32	CLTdesigner – More-Seite	65
Abbildung 33	CLTdesigner – Save Calculation-Seite	66
Abbildung 34	CLTdesigner – Export PDF-Seite	67
Abbildung 35	Klassendiagramm der Berechnung	68
Abbildung 36	Programmablaufplan der CalculationSkript-Klasse	69
Abbildung 37	System 1 – Einfeldträger	77
Abbildung 38	System 1 – Querschnitt	77
Abbildung 39	System 1 – Lastfallkombination ULS	79
Abbildung 40	System 1 – Spannungsverteilung am Querschnitt	80
Abbildung 41	System 1 – Lastfallkombination für ULS-Feuer	81
Abbildung 42	System 1 – Spannungsverteilung am reduzierten Querschnitt	83
Abbildung 43	System 1 – Lastfallkombination für SLS	84
Abbildung 44	System 1 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac	86
Abbildung 45	System 1 – Screenshot CLTdesigner für iOS	87
Abbildung 46	System 2 – Zweifeldträger	89
Abbildung 47	System 2 – Querschnitt	89
Abbildung 48	System 2 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac	91
Abbildung 49	System 2 – Screenshot CLTdesigner für iOS	92
Abbildung 50	System 3 – Dreifeldträger	94
Abbildung 51	System 3 – Querschnitt	94
Abbildung 52	System 3 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac	96

Abbildung 53	System 3 – Screenshot CLTdesigner für iOS	97
Abbildung 54	System 4 – Dreifeldträger mit 2 Kragarmen	99
Abbildung 55	System 4 – Querschnitt	99
Abbildung 56	System 4 – Screenshot CLTdesigner für PC und Mac	101
Abbildung 57	System 4 – Screenshot CLTdesigner für iOS	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Lasttypen im CLTdesigner für iOS	9
Tabelle 2	Vom CLTdesigner unterstützte Brandeinwirkungsdauern	20
Tabelle 3	Abbrandgeschwindigkeiten gemäß BSPhandbuch [10]	21
Tabelle 4	Fourier-Koeffizient und Erregerfrequenz [15]	25
Tabelle 5	Dämpfungsmaß gemäß FITZ [16]	25
Tabelle 6	System 1 – Berechnungsvergleich	88
Tabelle 7	System 2 – Berechnungsvergleich	93
Tabelle 8	System 3 – Berechnungsvergleich	98
Tabelle 9	System 4 – Berechnungsvergleich	103

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 & Flächentragwerke, 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

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte
V – Vorträge, Tagungen | M – Masterarbeiten

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

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl