

Diplomarbeit

Untersuchungen zum Tragverhalten einer scheinrechten Decke aus Natursteinmauerwerk

vorgelegt am	28.08.2024
von	Christian Kunz Straße der Einheit 214 09423 Gelenau
Studiengang	Bauingenieurwesen
Studienrichtung	Hochbau
Seminargruppe	HB21-2
Matrikelnummer	4004534
Praxispartner	HTK Planungsbüro Johannisgasse 21 09456 Annaberg-Buchholz
Gutachter	Dipl.-Ing. Hans-Joachim Goth (HTK-Planungsbüro) Prof. Dr. Ing. Jens Piehler (Staatliche Studienakademie Glauchau)

Freigabeerklärung/Sperrvermerk

Hiermit erklären wir uns einverstanden/~~nicht einverstanden~~ *), dass die **Bachelor-Thesis/Diplom-Thesis** *) des/der Studenten/in

Name, Vorname: **Christian Kunz**

SG: **HB21-2**

zur öffentlichen Einsichtnahme durch den Dokumentenserver der Bibliothek der Staatlichen Studienakademie Glauchau bereitgestellt wird.

Thema der Arbeit:

Untersuchungen zum Tragverhalten einer scheidrechten Decke aus Natursteinmauerwerk

HTK Johannisgasse 21
09456 Annaberg-Buchholz
Telefon 037 33 - 637 00 10
htk-planungsbuero@web.de
Architekten und Ingenieure

Annaberg-Buchholz, 28.08.2024
Ort, Datum

.....
Stempel, Unterschrift des Praxispartners

Arbeit zur Veröffentlichung freigegeben:

ja nein

.....
Datum

.....
Leiter/in des Studienganges

*) Nichtzutreffendes bitte streichen

Themenblatt Diplomarbeit

Studiengang Bauingenieurwesen

Student: **Christian Kunz**
Matrikelnummer: **4004534**
Seminargruppe: **4HB21-2**

Thema der Diplomarbeit

**Untersuchungen zum Tragverhalten einer scheinrechten Decke aus
Natursteinmauerwerk**

Gutachter/ Betreuer: Dipl.-Ing. Joachim Goth
Gutachter (Studienakademie): Prof. Dr.-Ing. Jens Piehler

Ausgabe des Themas: **22.05.2024**

Abgabe der Arbeit an den SG am: **14.08.2024, bis 14:00:00**



Prof. Ingolf Triator
Vorsitzender des Prüfungsausschusses
Technik

Abstract zur Bachelor-Thesis/Diplom-Thesis

Studiengang:	Bauingenieurwesen
Name, Vorname:	Kunz, Christian
Thema der Arbeit:	Untersuchungen zum Tragverhalten einer schiefechten Decke aus Natursteinmauerwerk
Jahr:	2024
Betreuer:	Prof. Dr. Ing. Jens Piehler (Staatliche Studienakademie Glauchau) Dipl.-Ing. Hans-Joachim Goth (HTK-Planungsbüro)

Aus Mauerwerk errichtete Deckenkonstruktionen sind meist in Form von Gewölben zu finden. Eine schiefechte Decke aus Natursteinmauerwerk ist bisher wenig bekannt und es liegen keine Daten zu deren Tragwirkung vor.

Das Ziel dieser Arbeit soll sein, die Deckenkonstruktion vorzustellen und die Geometrie der einzelnen Mauerwerkssteine zu beschreiben, sowie Erkenntnisse zum Tragverhalten der Decke zu gewinnen

Um das Tragverhalten zu analysieren und beschreiben zu können, wird unter Verwendung der Software ANSYS eine Nichtlineare Finite-Elemente Berechnung dieser Deckenkonstruktion durchgeführt. Es wird dabei näher auf den Simulationsprozess und die Entstehung des Berechnungsmodells eingegangen. Mit Hilfe der Berechnungsergebnisse werden unter anderem die Verformungen in Deckenmitte und am Auflager in Vertikaler und Horizontaler Richtung, sowie die am Auflager wirkenden Kräfte und die innerhalb der Decke auftretenden Spannungen ausgewertet. Verglichen werden hierbei zwei unterschiedliche Auflagersituationen. In mehreren Berechnungsdurchläufen wurde bei gleichbleibender Belastung die Federsteifigkeit in horizontaler Richtung am Auflager kontinuierlich verändert

Das Tragverhalten konnte im Rahmen der durchgeführten Berechnung beschrieben und ausgewertet werden. Eine weiterführende Forschung könnte die Modellierungstiefe des Berechnungsmodells um genauer definierte Materialeigenschaften in Bezug auf Steine und Mörtel ergänzen, sowie mit Hilfe genauerer Analyseinstellungen die Grenzen des Systems in Bezug auf Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit näher betrachten.

Schlüsselwörter: Natursteindecke, ANSYS, Tragwerksanalyse

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VIII
Formelverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einführung.....	1
2 Modellbildung	2
2.1 Geometrie.....	2
2.1.1 Mauerwerkssteine.....	2
2.1.2 Gesamtsystem.....	5
2.2 Materialeigenschaften.....	6
2.3 Kontaktbedingungen.....	8
2.4 Lagerungs- und Randbedingungen	11
3 Simulation	14
3.1 Eingabewerte.....	14
3.1.1 Belastung.....	14
3.1.2 Randbedingungen	16
3.1.2.1 Auflagersituationen	16
3.1.2.2 Federsteifigkeit der Elastischen Lagerungen.....	18
3.1.3 Analyseinstellungen.....	20
3.2 Berechnung	21
3.2.1 Ergebnisdarstellung	21
3.2.2 Meldungen.....	21
3.2.3 Berechnungsergebnisse	22
3.2.3.1 Horizontalkräfte.....	22
3.2.3.2 Horizontalverschiebung	23
3.2.3.3 Verformung in Deckenmitte	25
3.2.3.4 Druckspannungen.....	27
3.2.3.5 Zugspannungen.....	29
3.2.3.6 Verformung der Eckbereiche	31
3.2.3.7 Vertikale Auflast im Auflagerbereich	32
3.2.3.8 Horizontalkräfte je Randstein.....	33
3.2.3.9 Vertikale Auflagerkraft je Randstein.....	35
4 Auswertung.....	38
5 Ausblick.....	42
Quellenverzeichnis.....	44
Anlagenverzeichnis.....	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Einzelne Mauerwerkssteine des Deckensystems	2
Abbildung 2	Darstellung der unterschiedlichen Wölbungen A.....	3
Abbildung 3	Darstellung der unterschiedlichen Wölbungen B.....	3
Abbildung 4	Zum Deckensystem zusammengesetzte Mauerwerkssteine mit globalem Koordinatensystem und beschrifteten Seiten.....	5
Abbildung 5	Volumenkörper mit Verbundkontakt	9
Abbildung 6	Volumenkörper mit Reibungsbehaftetem Kontakt (direkter Kontakt).....	10
Abbildung 7	Volumenkörper mit reibungsbehaftetem Kontakt (indirekter Kontakt).....	10
Abbildung 8	Kraft.....	12
Abbildung 9	Erdanziehungskraft	12
Abbildung 10	Reibungsfreie Lagerung	12
Abbildung 11	Starres Auflager	13
Abbildung 12	Elastische Lagerung.....	13
Abbildung 13	Einwirkende Belastung.....	15
Abbildung 14	AS I und AS II, Vermaßung in [cm].....	16
Abbildung 15	Flächen mit Randbedingungen – Auflagersituation I.....	17
Abbildung 16	Flächen mit Randbedingungen (blau) und einwirkender Kraft (rot) – Auflagersituation II	18
Abbildung 17	Veränderung der resultierenden Horizontalkraft je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung	22
Abbildung 18	Horizontalverschiebung je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung	23
Abbildung 19	Vergleich der Bereiche mit horizontalem Verschiebungsweg in Richtung der X-Achse; Links-AS I; Rechts-AS II; Oben-starr; Mitte mit 1,88 N/mm ³ ; Unten links-0,8 N/mm ³ ; Unten rechts-0,4 N/mm ³	24
Abbildung 20	Vergleich der maximalen Durchbiegung in Deckenmitte; Oben- AS I/0,8 N/mm ³ ; Unten-AS II/0,4 N/mm ³ ; Darstellung 60-fach überhöht.....	26
Abbildung 21	Durchbiegung in Deckenmitte in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung	26
Abbildung 22	Größte auftretende Druckspannung in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung	27

Abbildung 23	Druckspannungsverteilung im System; Links AS I/starr; Rechts AS II/starr; Oben - Ansicht von Oben; Unten - Ansicht von Unten.....	28
Abbildung 24	Spannungsverteilung an der Stelle maximal auftretender Druckspannungen; AS II/starr; Links Schnitt; Rechts Blick von unten auf die Decke	28
Abbildung 25	Größte auftretende Zugspannung in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung	29
Abbildung 26	Spannungsverteilung an der Stelle maximal auftretender Zugspannungen; Links - AS I; Rechts – AS II	30
Abbildung 27	Schnitt durch den Randstein an der Stelle mit den höchsten auftretenden Zugspannungen; Berechnungsdurchlauf AS II/starr	31
Abbildung 28	Verformung der Abhebenden Ecken in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung	31
Abbildung 29	Verformungsfigur der Decke; AS I mit einer elastischen Lagerung in horizontaler Richtung von 0,8 N/mm; Darstellung 60-fach überhöht	32
Abbildung 30	Benötigte resultierende Mindestauflast zur Verhinderung eines Abhebens der Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung	33
Abbildung 31	Verteilung der Horizontalkräfte auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation I.....	34
Abbildung 32	Verteilung der Horizontalkräfte auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation II	35
Abbildung 33	Vertikale Auflagerreaktionen auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation I.....	36
Abbildung 34	Vertikale Auflagerreaktionen auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation II.....	37
Abbildung 35	Spaltbreiten in Deckenmitte ; AS I/0,8.....	38
Abbildung 36	Kontaktflächenstatus; AS I/0,8; Randbereich	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Technische Werte verschiedener Natursteine.....	6
Tabelle 2	Berechnungsgewichte Naturwerkstein	7
Tabelle 3	Elastizitätsmodul von Festgesteinen	7
Tabelle 4	Materialeigenschaften	8
Tabelle 5	verfügbare Kontakte in Ansys Workbench	11
Tabelle 6	Federsteifigkeit des jeweiligen Eingabewertes.....	20
Tabelle 7	Angepasste Analyseinstellungen	20

Formelverzeichnis

Formel 1	Volumen Deckenstein	4
Formel 2	Masse Deckenstein	4
Formel 3	Volumen Decke	14
Formel 4	Eigengewicht Decke	14
Formel 5	Krafteinwirkung aus Nutzlast	15
Formel 6	Resultierende Horizontalkraft Seite D, Auflagersituation I, erster Berechnungsdurchlauf	18
Formel 7	Flächeninhalt Seite D	19
Formel 8	Ermittlung des Eingabewertes der Flächenbezogenen Federsteifigkeit	19
Formel 9	Ermittlung der Federsteifigkeit des jeweiligen Eingabewertes	20
Formel 10	Auflagerkraft je Deckenseite	37

Abkürzungsverzeichnis

AS I	Auflagersituation I
AS II	Auflagersituation II
AS I/0,8	Beispielhafte Bezeichnung des Berechnungsdurchlaufs (Auflagersituation/Steifigkeit am horizontalen Lager)
FE	Finite Elemente

1 Einführung

Vor einiger Zeit wurde dem Autor von einem französischen Steinmetz eine scheidrechte Decke aus Natursteinmauerwerk beschrieben und von deren Ausführung berichtet. Nach ausführlicher Recherche in der darauffolgenden Zeit, konnten keine weiteren Quellen gefunden werden, in denen dieses Deckensystem erwähnt, oder gar beschrieben wird. Es soll mit dieser Arbeit ein Beitrag dazu geleistet werden, diese Deckenkonstruktion zu bewahren und aus tragwerksplanerischer Sicht zu betrachten und zu analysieren. Die Analyse des Deckensystems begrenzt sich dabei auf den Einfluss der Auflagersteifigkeit in horizontaler Richtung und die Auswirkung auf das Tragverhalten der Decke bei deren Änderung. So soll betrachtet werden, in welchem Maß sich Verformungen in Abhängigkeit von der Auflagersteifigkeit einstellen, und wo dabei im Sinne der Gebrauchstauglichkeit die Grenzen liegen. Auch sollen Erkenntnisse zum Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Art des Versagens unter den hier für die Berechnung definierten Bedingungen gewonnen werden.

Die Besonderheit der Deckenkonstruktion liegt in der Geometrie der Mauerwerksteine, welche im ersten Teil der Arbeit näher beschrieben werden. Auf Grund des Mangels an Quellen und weiterer Informationen, müssen viele Annahmen getroffen werden. So wird beispielsweise die geometrische Grundform zwar so gezeichnet, wie sie dem Autor beschrieben wurde, das Verhältnis zwischen Höhe, Breite und Länge der Steine, sowie die Radien, werden jedoch willkürlich festgelegt. Die einzelnen Steine werden mit dem CAD-Zeichenprogramm Allplan als 3D-Körper konstruiert und zu einem Deckensystem zusammengesetzt. Zur Analyse des Tragverhaltens wird anschließend das 3D-Modell der Decke in das Programm ANSYS überführt, welches eine strukturmechanische Analyse mithilfe der Finite-Elemente-Methode ermöglicht. Es werden mit den im Programm zur Verfügung stehenden Randbedingungen zwei verschiedene Auflagersituationen modelliert und in mehreren Berechnungsdurchläufen die Steifigkeit der Auflager in horizontaler Richtung systematisch verändert. Die Ergebnisse der Berechnungsdurchläufe werden im Mittelteil ausführlich erläutert und die beiden Auflagersituationen gegenübergestellt. Nach der Ergebnisdarstellung folgt eine Auswertung und Interpretation der Berechnungsergebnisse und schließlich im Schlussteil ein Ausblick auf mögliche weiterführende Forschungen.

2 Modellbildung

2.1 Geometrie

2.1.1 Mauerwerkssteine

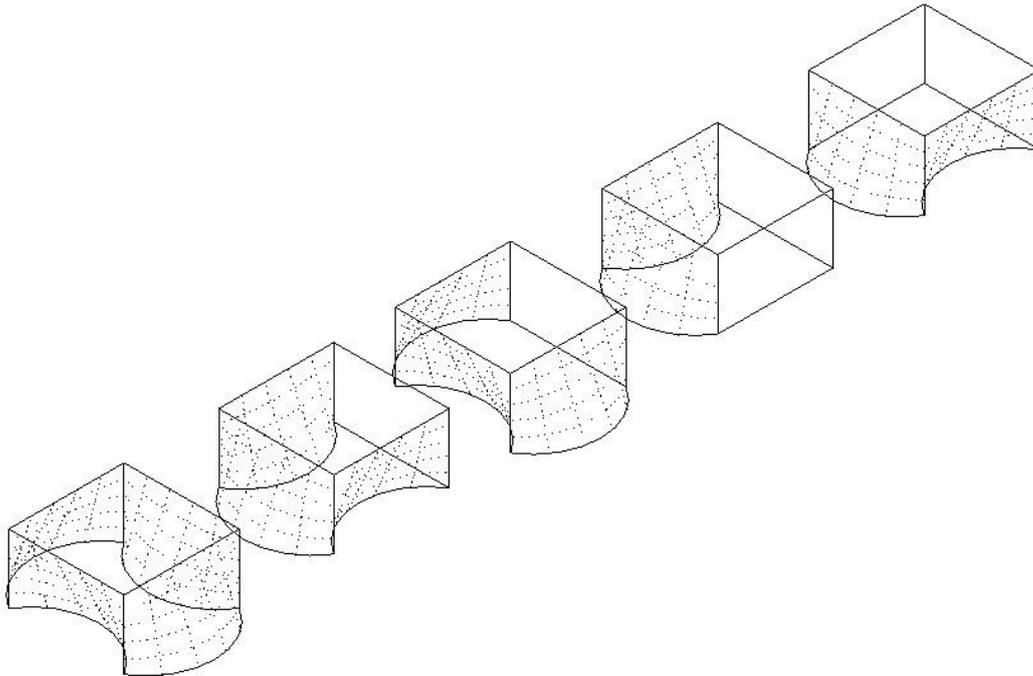


Abbildung 1 Einzelne Mauerwerkssteine des Deckensystems
Eigene Darstellung

Die Grundabmessungen für die Steine des zu analysierenden Systems in Abbildung 1, wurden willkürlich festgelegt. Sie folgen der Maßgabe, dass ein geometrisch gut ausführbares Steinformat entsteht, bei dem vier zusammengesetzte Steine einen Meter Länge ergeben. Außerdem soll das Gewicht der Einzelnen Steine ca. 25 kg betragen, um gegebenen Falls eine Handmontage zu gewährleisten. Die Oberseite der jeweiligen Werkstücke ist hier quadratisch, mit einer Kantenlänge von 25 cm gewählt. Es wäre sicherlich auch eine rechteckige Grundform denkbar. Die quadratische Grundform besitzt allerdings den Vorteil, dass im Deckeninneren Steine desselben Formates verwendet werden können, welche lediglich um 90° gedreht werden müssen.

Auf der Unterseite sind die gegenüberliegenden Kanten jeweils einmal konkav und einmal konvex ausgebildet. Der Radius ergibt sich aus dem gewählten Überstand und Einzug der gewölbten Kante, welcher gleich sein muss. Je kleiner der Radius, desto weiter nähern sich die gegenüberliegenden konkaven Fugenflächen auf der Steinun-

terseite an und desto spitzer wird der Winkel zwischen Fugenfläche und Steinunterseite auf der konvexen Seite in Steinmitte. Spitze Winkel an Bauteilkanten spröder Werkstoffe, insbesondere Naturstein, sind als problematisch einzustufen. Es kommt hier bei Belastung schnell zu Spannungsspitzen und lokalem Versagen, da das Material nicht plastiziert. Bedingt durch die Geometrie der Steine sind spitze Winkel in diesem Deckensystem nicht vermeidbar. In Abbildung 2 und Abbildung 3 sind diesbezüglich drei Varianten dargestellt. Hier wurde die Wölbung auf der Steinunterseite, ausgehend von 7 cm, jeweils um 3 cm erhöht und um 3 cm verringert. Der Einfluss des Winkels der Fugenflächen auf das Tragverhalten der Decke soll nicht Gegenstand dieser Arbeit sein, weshalb sich im weiteren Verlauf auf die Steingeometrie mit 7cm Wölbung (Abbildung 2 und Abbildung 3, mittlerer Stein) beschränkt wird.

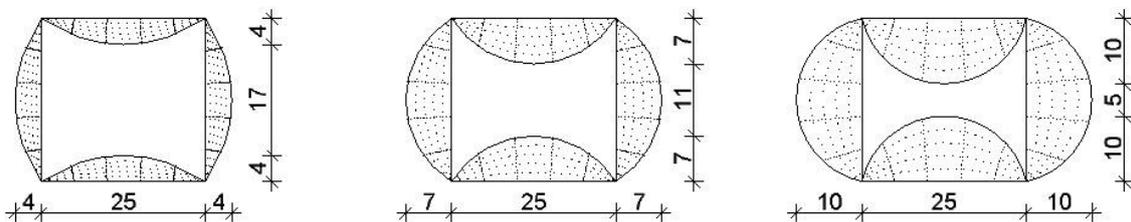


Abbildung 2 Darstellung der unterschiedlichen Wölbungen A
Eigene Darstellung

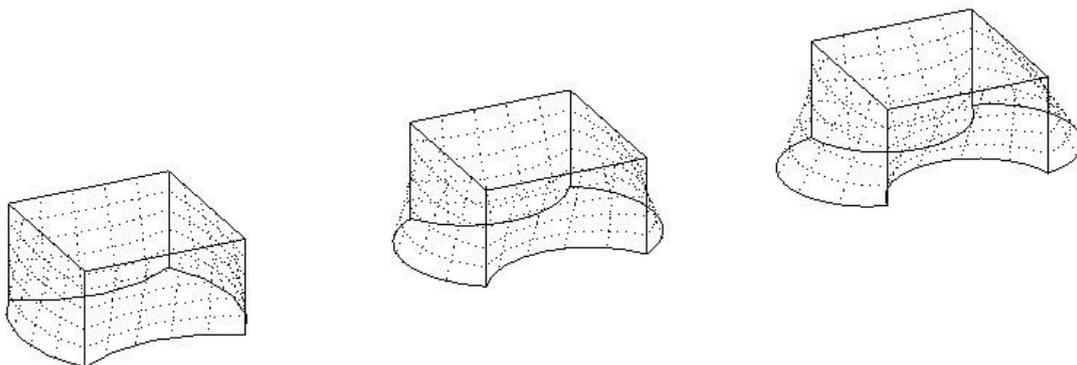


Abbildung 3 Darstellung der unterschiedlichen Wölbungen B
Eigene Darstellung

Die Steinflächen am Deckenrand besitzen sowohl auf der Ober- wie auch auf der Unterseite eine gerade Kante, um den Anschluss an angrenzende Bauteile zu vereinfachen.

Da sich konvexe und konkave Wölbung in Bezug auf das Volumen gegenseitig aufheben, kann das Gewicht des Einzelnen Steines vereinfacht mit den Maßen des Grundquaders (Formel 1 und Formel 2) berechnet werden. Bei den Varianten in Abbildung 2 und Abbildung 3 bleibt das Gewicht ebenfalls gleich.

$$\begin{aligned}V &= a \cdot b \cdot h \\ &= 0,25 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} \\ &= 0,009375 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V &= \text{Volumen [m}^3\text{]} \\ a &= \text{Seitenlänge a [m]} \\ b &= \text{Seitenlänge b [m]} \\ h &= \text{Höhe [m]}\end{aligned}$$

Formel 1 Volumen Deckenstein
Eigene Darstellung

$$\begin{aligned}m &= V \cdot \rho \\ &= 0,009375 \text{ m}^3 \cdot 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 25,3 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \text{Masse [kg]} \\ V &= \text{Volumen [m}^3\text{]} \\ \rho &= \text{Rohdichte} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]\end{aligned}$$

Formel 2 Masse Deckenstein
Eigene Darstellung

2.1.2 Gesamtsystem

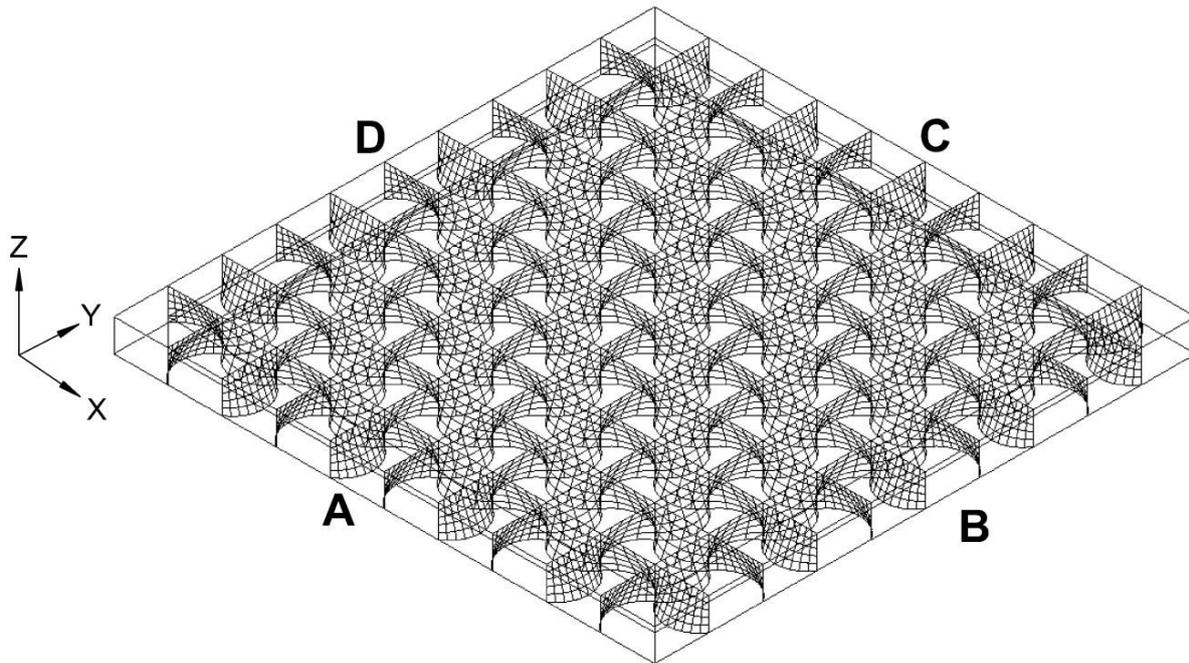


Abbildung 4 Zum Deckensystem zusammengesetzte Mauerwerkssteine mit globalem Koordinatensystem und beschrifteten Seiten
Eigene Darstellung

Die Seitenflächen der einzelnen Werkstücke bilden die Fugenflächen des Systems. Sie verbinden die gewölbte Kante an der Steinunterseite mit der geraden Kante an der Steinoberseite durch eine gekrümmte Fläche. Die Formgebung der Fugenflächen bewirkt, dass sich jeder Stein über seine konvex ausgebildeten Fugenflächen auf den konkav ausgebildeten Fugenflächen seiner gegenüberliegenden Nachbarn stützt. Gleichzeitig wirkt er stützend für beide Nachbarn in Gegenrichtung

Nicht zu vernachlässigen, wenn auch aus statischer Sicht weniger interessant, ist ein sich dem Betrachter bietendes, sehr ansprechendes und interessantes Fugenbild aus sich kreuzenden Wellenlinien. Sollte dieser von unten auf die Decke blicken.

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, wurde für die Analyse ein System mit je zehn Randsteinen gewählt. Damit ergibt sich ein Versuchsfeld mit einer Seitenlänge A von 250 cm und einer Seitenlänge B von 250 cm. Wie sich bei der Simulation zeigen wird, sind genug Systemsteine vorhanden, um die Belastungsreaktion des Systems abbilden zu können. Die Simulation eines größeren Systems aus mehr Einzelsteinen, würde den Eingabe- und Berechnungsaufwand stark steigern, deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit davon abgesehen. Betrachtet man den praktischen Anwendungsfall, so ist die gewählte Größe zum Überspannen eines kleinen Raumes durchaus realistisch.

2.2 Materialeigenschaften

Natursteingruppe	Wasser- aufnahme (Porosität) M.-%	Druck- festig- keit MPa	Biege- festig- keit MPa	Ausbruchlast am Ankerdorn bei Resteindicke von		
				10mm	20mm kN	30mm
MAGMATISCHE GESTEINE						
Granite, Syenite	0,1 – 0,9	100 – 270	5 – 18	1 – 2,5	2 – 5	3 – 7,5
Diorite, Gabbro	0,1 – 0,3	150 – 300	6 – 22	2 – 5	5 – 10	
Rhyolite, Andesit	0,2 – 0,9	100 – 220	10 – 22	1 – 2,5	2 – 5	
Basalte	0,1 – 0,5	200 – 400	13 – 25	1 – 2,5	2 – 5	
Basaltlava	4 – 10	70 – 150	8 – 12	1 – 2	2 – 4	
Diabas	0,1 – 0,5	160 – 250	15 – 25	1 – 3		
Tuffsteine (vulk.)	6 – 15	15 – 30	0,5 – 5			0,3 – 1,5
SEDIMENTGESTEINE						
Grauwacke	0,2 – 1	130 – 300	11 – 25	1 – 2		
Quarzitische Sandsteine	0,5 – 10	100 – 250	8 – 20	0,5 – 1	0,9 – 2,5	1,2 – 3,5
Sonstige Sandsteine	1 – 15	20 – 170	1 – 11	0,3 – 0,8	0,5 – 1,8	0,6 – 2,2
Dichte Kalksteine, Dolomite	0,1 – 3	60 – 240	3 – 19	0,5 – 2,7	1 – 4,5	1,5 – 6
Sonstige Kalksteine	1 – 8	20 – 140	2 – 12	0,5 – 1,3	1 – 3,5	
Travertine	1 – 8	15 – 60	2 – 12	0,5 – 1,8	1,5 – 3	
METAMORPHE GESTEINE						
Gneise, Granulite	0,1 – 0,8	100 – 200	10 – 25	1 – 2,5	3 – 6	5 – 10
Serpentinite	0,1 – 0,7	120 – 250	5 – 20	1,5 – 4		
Marmor	0,1 – 2	70 – 200	3 – 18	1 – 2	2 – 4	3 – 6,5

Bemerkung: Anhaltswerte auf der Grundlage von Erfahrungswerten und Prüfwerten der LGA Würzburg;
 Unterer Erwartungswerte der Biegefestigkeit und Ausbruchlast (5 % Quantile, 75 % Vertrauensniveau);
 Mittelwerte der Druckfestigkeit

Tabelle 1 Technische Werte verschiedener Natursteine¹
 Deutscher Naturwerkstein-Verband e.V.

¹ DEUTSCHER NATURWERKSTEIN-VERBAND E.V., 2012, S. 8

Naturwerkstein	Berechnungsgewichte		
	Kraft kN/m ³	Kraft N/m ³	je cm Plattendicke N/m ³
MAGMATISCHE GESTEINE			
Amphibolit	30	30.000	300
Basalt, Diabas, Diorit, Gabbro	29	29.000	290
Granit, Syenit, Rhyolit	28	28.000	280
Trachyt	26	26.000	260
Basaltlava	24	24.000	240
Tuffstein	20	20.000	200
Sedimentgesteine	28	28.000	280
Dichter Kalkstein, Dolomit einschl. Muschelkalk und Marmor			
Grauwacke, Nagelfluh, Sandstein	27	27.000	270
Sonstige Kalksteine, Travertin	26	26.000	260
METAMORPHE GESTEINE			
Gneis, Granulit	30	30.000	300
Schiefer	28	8.000	280
Serpentinit, Quarzit	27	27.000	270

Tabelle 2 Berechnungsgewichte Naturwerkstein²
Deutscher Naturwerkstein-Verband e.V.

Gesteinsart	E-Modul 10 ⁴ MPa
MAGMATISCHE GESTEINE	
Granit, Syenit	3,8 – 7,6
Gabbro	11 – 12,5
Rhyolit	2,5 – 6,5
Diabas	7,8 – 11,5
Basalt	5,8 – 10,3
SEDIMENTGESTEINE	
Sandstein	0,8 – 1,8
Grauwacke	7,4 – 7,7
Kalkstein	4,0 – 9,2
METAMORPHE GESTEINE	
Gneis (Schichtung =)	3,6
Gneis (Schichtung I)	1,3
Quarzit	7,4 – 7,7

Tabelle 3 Elastizitätsmodul von Festgesteinen³
Deutscher Naturwerkstein-Verband e.V.

² DEUTSCHER NATURWERKSTEIN-VERBAND E.V., 2012, S. 9

³ DEUTSCHER NATURWERKSTEIN-VERBAND E.V., 2012, S. 9

Wie aus Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 hervorgeht, ist die Streuung der Technischen Eigenschaften von Naturwerkstein sehr groß. Beim baupraktischen Einsatz von Naturwerksteinen, gerade bei statisch relevanten Bauteilen sind die Herstellerangaben des jeweils eingesetzten Naturwerksteins zu beachten.

Zur Analyse des Tragverhaltens des betrachteten Systems wurden die Materialeigenschaften willkürlich gewählt und sind in Tabelle 4 aufgeführt. Dem Material wurde zugleich linear-elastisches Verhalten, sowie Homogenität und Isotropie unterstellt. Dies entspricht in Bezug auf Naturwerkstein nicht ganz der Realität, ist aber zur Veranschaulichung und Auswertung der Spannungen im System ausreichend. Als Querkontraktionszahl wurde der Wert 0,2 für ungerissenen Beton angenommen. Zur Definition von Materialeigenschaften wurde sich an den Tabellenwerten für Kalkstein orientiert. Da es sich bei Naturwerkstein um sehr sprödes Material handelt, ist die Biegefestigkeit der Zugfestigkeit gleichzusetzen.⁴

	Tabellenwert	gewählter Wert	Einheit
Dichte	27000	27000	N/m ³
E-Modul	40000-92000	50000	MPa
Druckfestigkeit	60-240	120	MPa
Biegefestigkeit	3-19	10	MPa
Querkontraktionszahl		0,2	

Tabelle 4 Materialeigenschaften
Eigene Darstellung

2.3 Kontaktbedingungen

Aus dem Systemaufbau von 100 Steinen, ergeben sich 136 Volumenkörper mit 308 automatisch generierten Kontaktflächen. Wie aus der Beschreibung der Lagerungsbedingungen hervorgeht (vgl. Abschnitt 2.4), mussten die Randsteine des Systems geometrisch getrennt und mittels der Kontaktbedingung „Verbund“ wieder zusammengefügt werden. Dargestellt in Abbildung 5. Ebenfalls aus der geometrischen Trennung der Randsteine, ergeben sich Kontaktbereiche, welche sich nicht direkt berühren. Aus Gründen der Vollständigkeit und weil sich im Vorfeld nicht genau sagen lässt, ob das Fehlen dieser Kontaktbereiche Auswirkungen auf das Berechnungsergebnis hat, wurden diese automatisch generierten Kontaktbereiche nicht unterdrückt, sondern mit einem Reibkoeffizient von 0 als „Reibungsbehaftet“ definiert. Dies entspricht einem rei-

⁴ vgl. ISSLER; RUOß; HÄFELE, 1995, S. 154

bungsfreien Kontakt. Dargestellt in Abbildung 7. Alle weiteren Kontaktbereiche zwischen den Mauerwerkssteinen wurden als „Reibungsbehaftet“ mit einem Reibkoeffizienten von 0,6 definiert. Dargestellt in Abbildung 6. Die Begründung hierfür liegt darin, dass bei einer Ausführung der Deckenkonstruktion unter realen Bedingungen die Fugen zu vermörteln sind. Dies ist unerlässlich, da immer von Maßabweichungen der Mauerwerkssteine ausgegangen werden muss. Wären diese auch noch so klein, würde nicht mehr die volle Fugenfläche zur Kraftübertragung zur Verfügung stehen und es käme zu Spannungsspitzen. Daraus kann lokales Materialversagen resultieren, welches negative Auswirkungen auf die Gesamttragfähigkeit und das Verformungsverhalten des Systems hätte. Mit vermörtelten Fugen lassen sich die Maßabweichungen ausgleichen und es kann ein sauberer Verbund gewährleistet werden. Der Reibkoeffizient wurde in Bezug auf den Nachweis unbewehrten Mauerwerks unter Schubbelastung gemäß DIN EN 1996-1-1/NA mit $\mu = 0,6$ angenommen.⁵

Da sich bei Ansys Workbench nur eine bestimmte Kontaktart für die automatische Kontaktfindung einstellen lässt und im Falle des Reibungsbehafteten Kontaktes der Reibkoeffizient nicht im Vorfeld eingeben lässt, war eine Selektion der automatisch generierten Kontakte in die bereits beschriebenen Varianten notwendig. Eine Übersicht der in Ansys Workbench zur Verfügung stehenden Kontakte findet sich in Tabelle 5.

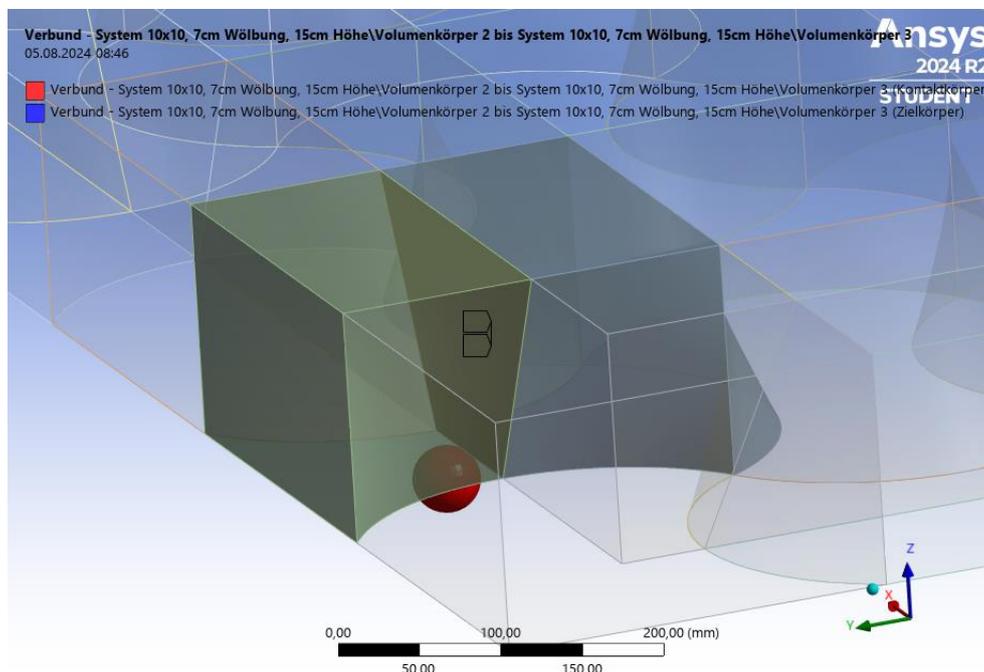


Abbildung 5 Volumenkörper mit Verbundkontakt
Eigene Darstellung

⁵ vgl. Europäische Norm, S. 29

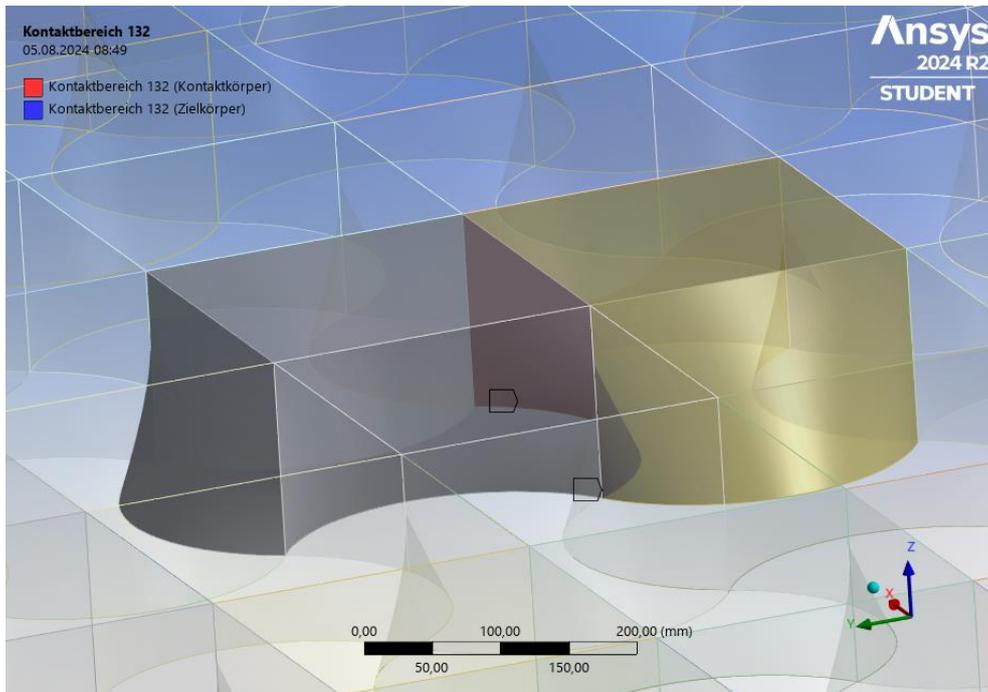


Abbildung 6 Volumenkörper mit Reibungsbehaftetem Kontakt (direkter Kontakt)
Eigene Darstellung

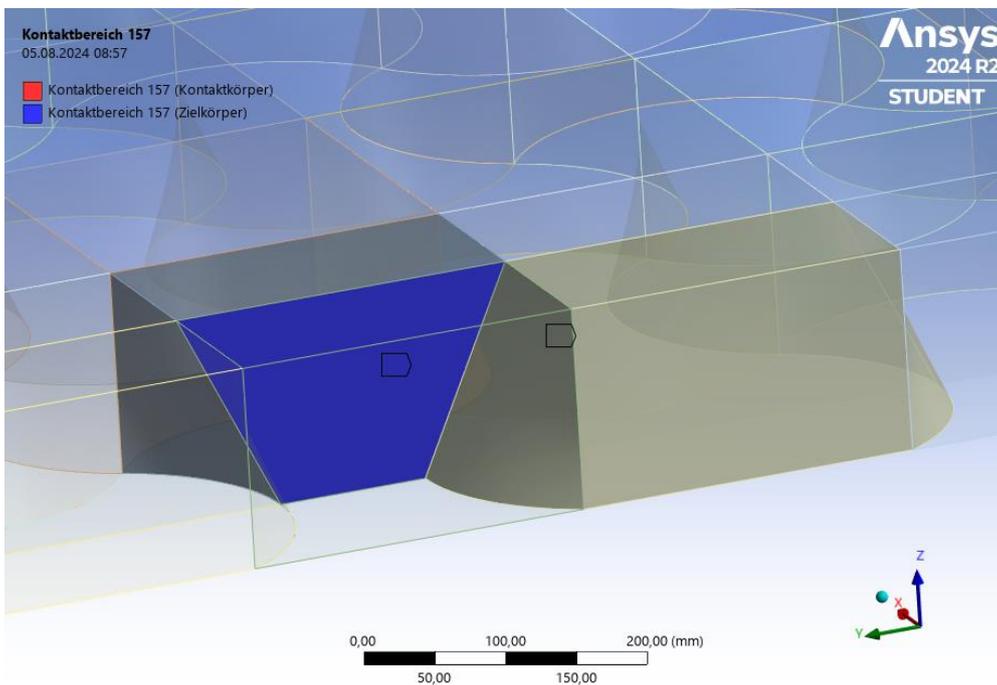


Abbildung 7 Volumenkörper mit reibungsbehaftetem Kontakt (indirekter Kontakt)
Eigene Darstellung

Kontakttyp	Berücksichtigung von Spalten/ Durchdringungen	Übertragen von Kräften in Normalenrichtung	Übertragen von Schubkräften	Gleichgewichtsiterationen
Verbund	nein	Zug + Druck	ja	1
Keine Trennung	nein	Zug + Druck	nein ²	1
Reibungsfrei	ja	nur Druck ¹	nein ²	mehrere
Rau	ja	nur Druck ¹	ja	mehrere
Reibungsbehaftet	ja	nur Druck ¹	bis zu einem Grenzwert ²	mehrere
¹ Statt Zug: Abheben ² Gleiten möglich				

Tabelle 5 verfügbare Kontakte in Ansys Workbench⁶
Christof Gebhardt, 2018, S.171

2.4 Lagerungs- und Randbedingungen

Zur Definition der Lagerbedingungen bietet ANSYS Workbench Punkte, Kanten, oder Flächen des Modells zur Auswahl. Soll jedoch nur ein Teil einer Fläche oder Kante beispielsweise bei einer fixierten Lagerung gehalten werden, so ist dies nur möglich, indem die Geometrie vorher entsprechend angepasst wird. Dazu muss im jeweiligen CAD-System die betroffene Fläche, oder Kante geteilt werden. Im Falle des Deckensystems betrifft dies die Randsteine, welche auf einer Wand mit einer festgelegten Dicke aufliegen. Für die Simulation wurde eine Auflagerbreite von 12,5 cm gewählt, was dem halben Maß eines Deckensteines entspricht. In Abbildung 5 ist die Trennung der Randsteine dargestellt.

Zur Eingabe von Randbedingungen bietet ANSYS eine Vielzahl von Möglichkeiten. Die Folgenden wurden für die Simulation genutzt:

Kraft

Selektion einer oder mehrerer Flächen, Kanten oder Punkte: Die Kraft wird gleichmäßig auf die selektierte Geometrie verteilt (bei Flächen anteilig nach dem Flächenanteil, bei Linien anteilig nach dem Streckenanteil).

Falls sich durch geometrische Änderungen die Fläche ändert, bleibt die Kraftsumme identisch, der Druck jedoch ändert sich. Eine Kraft, die konzentriert über einen Punkt eingeleitet wird, ist nicht realistisch und führt zu unrealistisch hohen lokalen Spannungen und Verformungen an der Einleitungsstelle. Diese lokalen Effekte sollten aus der Ergebnisauswertung herausgefiltert werden.⁷

⁶ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 171

⁷ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 209

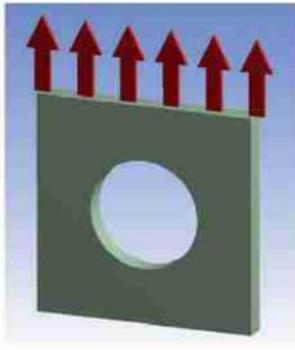


Abbildung 8 Kraft⁸

Erdanziehungskraft

Die Erdanziehungskraft (Eigengewicht) bewirkt als Kraft eine Verformung in Richtung des Vektors. Die Kraftgröße ergibt sich aus der Masse der Bauteile. Die Verformung findet statt in Richtung der Definition dieser Randbedingung.⁹



Abbildung 9 Erdanziehungskraft¹⁰

Reibungsfreie Lagerung

Eine ebene oder gekrümmte Fläche kann sich nicht normal aus sich heraus bewegen oder verformen. Alle anderen Bewegungsmöglichkeiten bleiben frei (eine Verschiebung + zwei Rotationen fest, zwei Verschiebungen + eine Rotation frei). Die reibungsfreie Lagerung wird als Symmetriebedingung verwendet und ist als Lagerung vergleichbar mit einem Magneten auf einer geölten Stahlplatte.¹¹

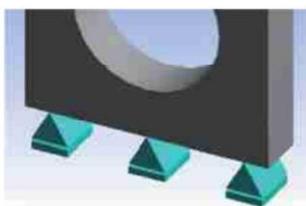


Abbildung 10 Reibungsfreie Lagerung¹²

⁸ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 209

⁹ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 214

¹⁰ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 214

¹¹ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 212

¹² CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 212

Starres Auflager

Wirkt wie eine reibungsfreie Lagerung, allerdings wird nur bei Druckkräften gelagert, bei Zugkräften hebt das Bauteil ab, und die Lagerung wird gelöst. Stellt eine nichtlineare Kontaktstelle dar, dadurch Faktor 10 bis 20 an Rechenzeit oder mehr.¹³

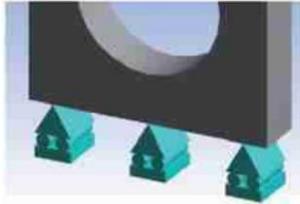


Abbildung 11 Starres Auflager¹⁴

Elastische Lagerung

Die elastische Lagerung ermöglicht die Definition einer Steifigkeit des Anschlussbauteils in N/mm³ (siehe Bild 8.133).

Beispiel: Eine Linearführung hat eine Steifigkeit von 2000 kN/mm. Die Fläche, an der die Lagerung definiert wird, ist 400 mm² groß. Um diese Steifigkeit von 2e6 N/mm zu erhalten, ist eine elastische Lagerung mit 5000 N/mm³ erforderlich ($5000 \text{ N/mm}^3 \times 400 \text{ mm}^2 = 2e6 \text{ N/mm}$).¹⁵

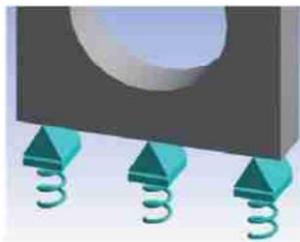


Abbildung 12 Elastische Lagerung¹⁶

Der unterschiedliche Einsatz der beschriebenen Randbedingungen wird im Kapitel 3.1.2 näher beschrieben.

¹³ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 212

¹⁴ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 212

¹⁵ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 213

¹⁶ CHRISTOF GEBHARDT, 2018, S. 213

3 Simulation

3.1 Eingabewerte

3.1.1 Belastung

Die Krafteinwirkung setzt sich aus der materialabhängigen Eigenlast des Deckensystems und einer Nutzlast zusammen. Da es um die Analyse des Tragverhaltens geht, wurden keine Sicherheitsbeiwerte verwendet und mit charakteristischen Lasten gerechnet. Ebenso wurden keine weiteren Deckenaufbauten berücksichtigt. Die Belastung bleibt bei allen Berechnungsdurchläufen gleich und wirkt in negativer Z-Richtung des globalen Koordinatensystems.

Eigenlast

Auf der Einwirkungsseite wurde die Randbedingung der Erdanziehungskraft eingesetzt. Da das Material zuvor mit 27.000 N/m^3 definiert wurde, ergibt sich bei einer Systemgröße von $2,5\text{m} \times 2,5\text{m}$ und einer Deckenstärke von $0,15\text{m}$ ein Eigengewicht von:

$$\begin{aligned} V &= A \cdot B \cdot h \\ &= 2,5\text{m} \cdot 2,5\text{m} \cdot 0,15\text{m} \\ &= 0,9375\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$V = \text{Volumen [m}^3\text{]}$$

$$A = \text{Seitenlänge A [m]}$$

$$B = \text{Seitenlänge B [m]}$$

$$h = \text{Deckenstärke [m]}$$

Formel 3 Volumen Decke
Eigene Darstellung

$$\begin{aligned} g_k &= \gamma \cdot V \\ &= 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,9375\text{m}^3 \\ &= 25,313 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$g_k = \text{Eigengewicht Decke [kN]}$$

$$\gamma = \text{Wichte Material } \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$$

$$V = \text{Volumen Decke [m}^3\text{]}$$

Formel 4 Eigengewicht Decke
Eigene Darstellung

Nutzlast

Die mit der Randbedingung „Kraft“ aufgebrachte Belastung auf die Decke entspricht der Nutzungsklasse C3 und hat einen charakteristischen Wert von 5,0 kN/m². In der Simulation wird davon ausgegangen, dass im Auflagerbereich, also einem 12,5cm breiten umlaufenden Randstreifen aufgehende Bauteile analog der das untere Auflager bildenden Bauteile vorhanden sind. Aus diesem Grund wird die Nutzlast nur für die Fläche abzüglich dieses Randstreifens berechnet:

$$\begin{aligned} q_{k,ges} &= (A - 2 \cdot b_{R,A}) \cdot (B - 2 \cdot b_{R,B}) \cdot q \\ &= (2,5m - 2 \cdot 0,125m) \cdot (2,5m - 2 \cdot 0,125m) \cdot \frac{5,0kN}{m^2} \\ &= 25,313 kN \end{aligned}$$

$q_{k,ges}$ = Krafteinwirkung gesamt

A = Seitenlänge A [m]

B = Seitenlänge B [m]

$b_{R,A}$ = Auflagerbreite Seite A [m]

$b_{R,B}$ = Auflagerbreite Seite B [m]

q_k = Nutzlast, Kategorie C3 $\left[\frac{kN}{m^2} \right]$

Formel 5 Krafteinwirkung aus Nutzlast
Eigene Darstellung

Die über die Fläche aufgebrachte Nutzlast ist in Abbildung 13 Rot dargestellt.

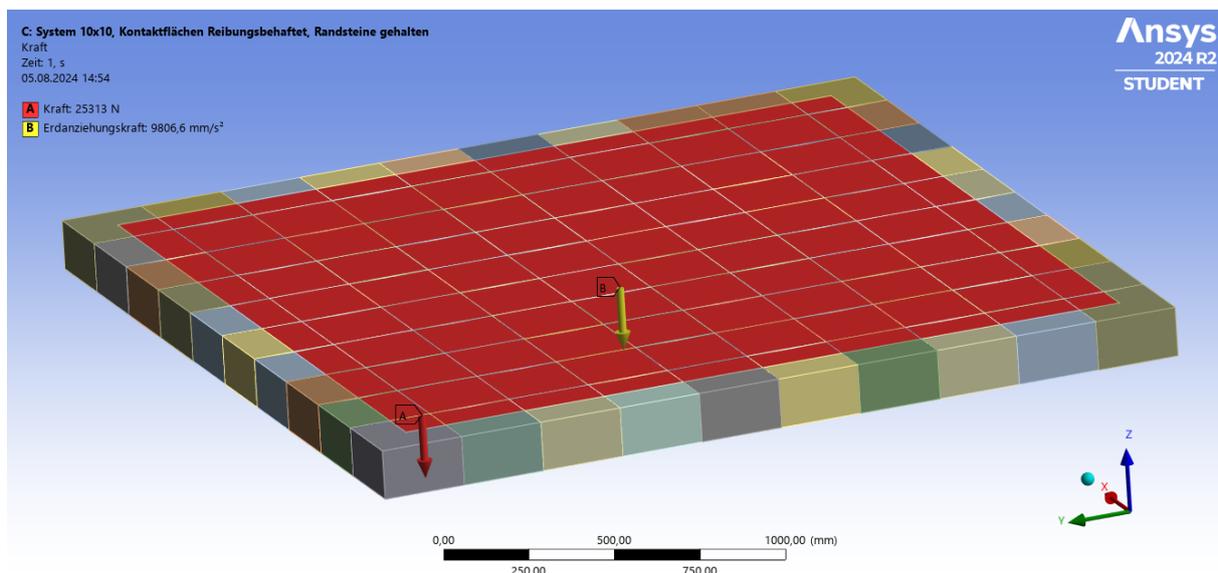


Abbildung 13 Einwirkende Belastung
Eigene Darstellung

3.1.2 Randbedingungen

3.1.2.1 Auflagersituationen

Für die FE-Berechnung wurden zwei unterschiedliche Auflagersituationen definiert, welche im weiteren Verlauf als Auflagersituation I und Auflagersituation II bezeichnet werden und in Abbildung 14 dargestellt sind. Beide Definitionen zielen darauf ab, das Verhalten des Deckensystems in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung zu analysieren. Um die im Auflagerbereich wirkenden Kräfte auswerten und vergleichen zu können, wurden allen nachfolgend beschriebenen Randbedingungen mechanische Stichproben in Form von Kraftreaktionen zugewiesen. Diese zeigen die Kraftreaktion der jeweiligen Randbedingung in Bezug auf das globale Koordinatensystem.

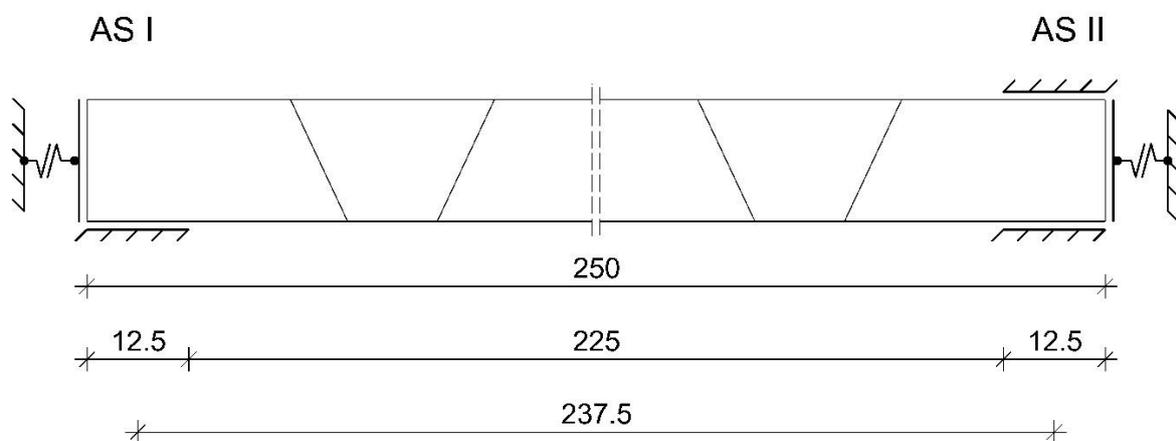


Abbildung 14 AS I und AS II, Vermaßung in [cm]

Eigene Darstellung

Auflagersituation I

Jedem einzelnen Randstein wurde auf der Unterseite die Randbedingung „Starres Auflager“ zugewiesen. Dadurch werden Vertikallasten in negativer Richtung der Z-Achse übertragen und gleichzeitig ein eventuelles Abheben einzelner Randbereiche in positiver Z-Richtung ermöglicht.

Den außenliegenden, in XZ- und YZ-Ebene ausgerichteten Flächen der Randsteine wurde für den ersten Berechnungsdurchlauf ebenfalls die Randbedingung „Starres Auflager“ zugewiesen. Somit werden die in Richtung der X-Achse und Y-Achse wirkenden Kräfte aufgenommen und eine Horizontalverschiebung des Systems verhindert.

Für die weiteren Berechnungsdurchläufe wurden den in XZ- und YZ-Ebene liegenden Flächen der Randsteine die Randbedingung „Elastische Lagerung“ zugewiesen. Die Steifigkeit wurde dann mit jedem Berechnungsdurchgang kontinuierlich vermindert.

Aus dieser Definition ergeben sich insgesamt 76 Randbedingungen mit entsprechenden Stichproben. 36 im Randbereich der Deckenunterseite und 40 an den Außenflächen der Randsteine. Die Anordnung der Randbedingungen ist in Abbildung 15 dargestellt.

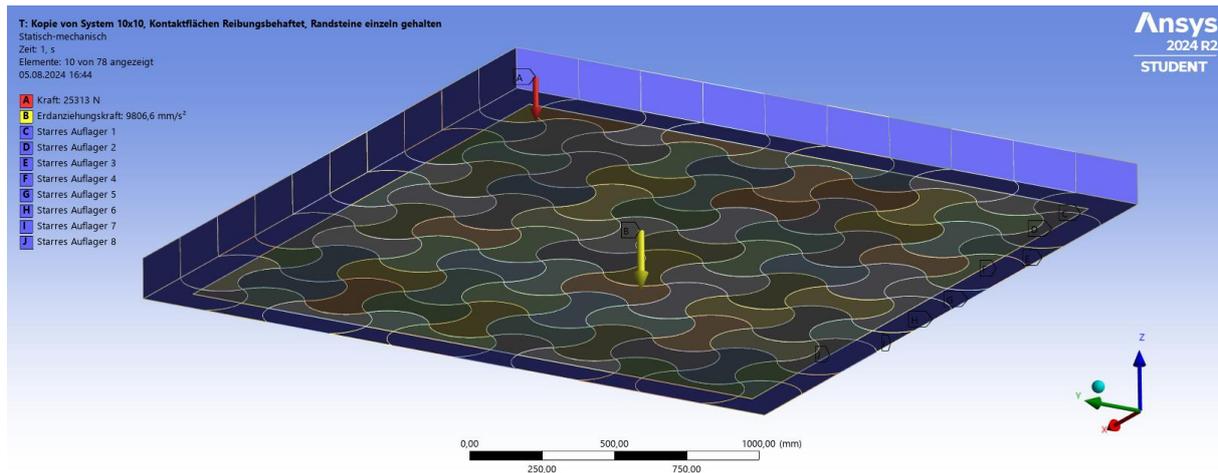


Abbildung 15 Flächen mit Randbedingungen – Auflagersituation I
Eigene Darstellung

Auflagersituation II

In Auflagersituation II wurden die gleichen Randbedingungen wie in Auflagersituation I definiert. Zusätzlich wurde der Oberseite jedes einzelnen Randsteins die Randbedingung „Starres Auflager“ zugewiesen. Dies verhindert ein eventuelles Abheben von Randsteinen. Da das Starre Auflager auf der Unterseite nur Kräfte in negativer Richtung der Z-Achse und das Starre Auflager auf der Oberseite nur Kräfte in positiver Richtung der Z-Achse aufnehmen kann, wird durch die aufgebrachte Kraftreaktions-Stichprobe exakt gezeigt, welche Kraft in welche Richtung der Z-Achse wirkt. Die Anordnung der Randbedingungen sind in Abbildung 16 dargestellt.

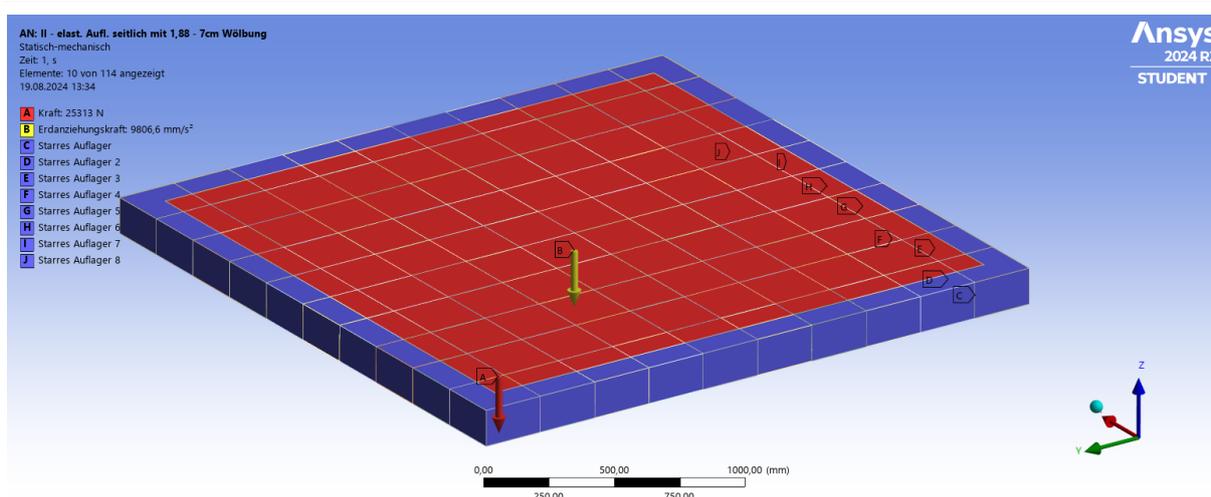


Abbildung 16 Flächen mit Randbedingungen (blau) und einwirkender Kraft (rot) –
Auflagersituation II
Eigene Darstellung

3.1.2.2 Federsteifigkeit der Elastischen Lagerungen

Die starren Auflager in horizontaler Richtung können als unendlich steif betrachtet werden. Die Ergebnisse des ersten Berechnungsdurchlaufes bilden somit den Oberen Grenzwert der Vergleichswerte. Zur Ermittlung einer angemessenen Größenordnung für die Federsteifigkeit der Elastischen Lagerungen, wurde zunächst die Horizontalverschiebung eines Auflagers um 1mm unter einer während der Verschiebung gleichbleibenden Kraft in horizontaler Richtung angenommen. Als wirkende Kraft wurde die im ersten Berechnungsdurchlauf AS I/starr ermittelte Kraft gewählt, sie ist die Summe der Horizontal wirkenden Kräfte der einzelnen Randsteine, welche Abbildung 31 in Kapitel 3.2.3.8 zu entnehmen sind. Siehe hierzu auch Kraftreaktion 67 bis 76 in Anhang 6.

$$F_{D,ges} = \sum_{i=D1}^{D10} F_i = 705109 \text{ N}$$

$F_{D,ges}$ = resultierende Horizontalkraft, Seite D [N]

$$\sum_{i=D1}^{D10} F_i = \text{Summe aller Horizontalkräfte der Randsteine D1 bis D10 [N]}$$

Formel 6 Resultierende Horizontalkraft Seite D, Auflagersituation I, erster Berechnungsdurchlauf
Eigene Darstellung

Die Fläche, welche als Elastisches Lager definiert wurde, berechnet sich aus der Deckenstärke h und dem Außenmaß der Decke b mit:

$$\begin{aligned}
 A_D &= h \cdot B \\
 &= 150\text{mm} \cdot 2500\text{mm} \\
 &= 375000\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

$A_D = \text{Flächeninhalt der Randfläche auf Seite D [mm}^2\text{]}$

$h = \text{Deckenstärke [mm]}$

$B = \text{Seitenlänge B [mm]}$

Formel 7 Flächeninhalt Seite D
Eigene Darstellung

Der Eingabewert für die flächenbezogene Federsteifigkeit wurde wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned}
 k_s &= \frac{D}{A_D} \\
 &= \frac{705109 \frac{N}{mm}}{375000 \text{ mm}^2} \\
 &= 1,88 \frac{N}{\text{mm}^3}
 \end{aligned}$$

$k_s = \text{Flächenbezogene Federsteifigkeit (Bettungsmodul) = Eingabewert} \left[\frac{N}{\text{mm}^3} \right]$

$D = \text{Federkonstante} \left[\frac{N}{mm} \right]$

$A_D = \text{Flächeninhalt der mit "elastische Lagerung" definierten Fläche [mm}^2\text{]}$

Formel 8 Ermittlung des Eingabewertes der flächenbezogenen Federsteifigkeit
Eigene Darstellung

Mit dem Wert von 1.88 N/mm³ wurde der zweite Berechnungsdurchgang durchgeführt, der Dritte mit 1,4 N/mm³. Bei allen folgenden Berechnungsdurchgängen wurde der Eingabewert schrittweise um je 0,2 N/mm³ herabgesetzt. Die den Eingabewerten entsprechenden Federsteifigkeiten sind Tabelle 6 zu entnehmen und wurden wie folgt ermittelt:

$$D = k_s \cdot A_D$$

$D = \text{Federsteifigkeit} \left[\frac{N}{mm} \right]$

$k_s = \text{Eingabewert} \left[\frac{N}{\text{mm}^3} \right]$

$A_D = \text{Flächeninhalt der mit "elastische Lagerung" definierten Fläche [mm}^2\text{]}$

Formel 9 Ermittlung der Federsteifigkeit des jeweiligen Eingabewertes
Eigene Darstellung

Eingabewert [N/mm ³]	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,88
Federsteifigkeit [kN/mm]	150	225	300	375	450	525	705

Tabelle 6 Federsteifigkeit des jeweiligen Eingabewertes
Eigene Darstellung

3.1.3 Analyseeinstellungen

Bei den anfänglichen Berechnungen kam es wiederholt zu Konvergenzproblemen. Um die Konvergenz zu verbessern, wurden Standarteinstellungen, welche Ansys für Statisch-Mechanische Analysen vorgibt verändert. Auch wurden Einstellungen der Ausgabensteuerung geändert. Um die Berechnungen exakt reproduzieren zu können, sind diese in Tabelle 7 aufgelistet.

Solver-Steuerelemente	
Solver-Typ	Direkt
Schwache Federn	An
Große Verformung	An
Nichtlineare-Steuerungen	
Newton-Raphson Option	Unsymmetrisch
Ausgabesteuerung	
Spannung	Ja
Back Stress	Ja
Dehnung	Ja
Kontaktdaten	Ja
Nichtlineare Daten	Ja
Knotenkräfte	Ja
Volumen und Energie	Ja
Euler-Winkel	Ja
SMISC-NMISC	Ja
Kontakt-Verschiedenes	Ja

Tabelle 7 Angepasste Analyseeinstellungen
Eigene Darstellung

3.2 Berechnung

3.2.1 Ergebnisdarstellung

Aus den Berechnungsergebnissen geht hervor, dass sich das Deckensystem in Bezug auf die zur Auswertung hinzugezogenen Werte auf allen vier Seiten annähernd gleich verhält. Die vorhandenen Abweichungen sind im Verhältnis zur Ergebnisgröße gering und können vernachlässigt werden. Siehe hierzu Anhang 1 bis Anhang 14. Eine Erklärung für die Abweichungen könnte eine ungleichmäßige Vernetzung der Systemelemente, bedingt durch die gewählte automatische Vernetzung sein.

Im weiteren Verlauf des Kapitels 3.2, wurde sich konsequent auf Seite D des Deckensystems bezogen. Wie zuvor beschrieben, kann diese Darstellung zu Auswertungszwecken auf alle vier Seiten bezogen werden. Die Beschriftung der Systemseiten und die Lage des Systems im globalen Koordinatensystem ist Abbildung 4 zu entnehmen. In den Diagrammen des Kapitels 3.2.3.1 wird für Auflagersituation I stets die Farbe Blau und für Auflagersituation II die Farbe Orange verwendet.

Wie bereits in Kapitel 2.4 beschrieben, nehmen in Ansys definierte Starre Lager nur Normalkräfte, also senkrecht auf die entsprechende Lagerfläche wirkende Kräfte auf. In den Berechnungsergebnissen sind auch Kräfte in Richtung der Achsen vorhanden, welche durch die Randbedingung eigentlich nicht definiert sind. Da diese sehr klein ausfallen, wurden sie in den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Da bei dem betrachteten System nur die Randsteine mit lagernden Randbedingungen versehen sind und alle Steine im Deckeninneren lediglich durch Kontaktbedingungen zu den benachbarten Steinen, welche ein Abheben ermöglichen, an ihrem Platz gehalten werden, wurden schwache Federn eingesetzt. Diese dienen der numerischen Stabilität der Berechnung und verbessern gegebenenfalls die Konvergenz. Während der Berechnung werden sie automatisch dort eingesetzt, wo das System durch fehlende Randbedingungen unterdefiniert ist. Die Kraftgröße, auf welche diese schwachen Federn reagieren, sollte möglichst gering sein, um die restlichen Berechnungsergebnisse nicht zu verfälschen. Mittels der Stichprobe „Kraftgröße“ wurde diese entsprechend ermittelt und ist in den Anhängen zu den jeweiligen Berechnungsdurchgängen aufgeführt. Der Einfluss der schwachen Federn könnte eine Erklärung für die errechneten Kräfte in Richtung der nicht definierten Achsen der Randbedingungen sein.

3.2.2 Meldungen

Im Verlauf der Berechnungen kam es wiederholt zu verschiedenen Warnungen und Fehlermeldungen. Diese sind in Anhang 15 aufgeführt. Da die zur Auswertung hinzugezogenen Berechnungen programmseitig nicht abgebrochen wurden und die Berechnungsergebnisse als plausibel gewertet werden können, sind die Berechnungsergebnisse als hinreichend genau für die Analyse des Tragverhaltens zu betrachten.

3.2.3 Berechnungsergebnisse

3.2.3.1 Horizontalkräfte

Werden die horizontalen Randbedingungen als vollkommen steif definiert, treten sehr hohe Kräfte in horizontaler Richtung auf. Diese fallen bei Auflagersituation II mit 781,4 kN noch einmal höher aus als bei Auflagersituation I mit 705,1 kN. Mit kontinuierlicher Verringerung der horizontalen Auflagersteifigkeit, nehmen auch die resultierenden Horizontalkräfte ab. Im letzten Berechnungsdurchlauf ergaben sich für Auflagersituation I 53,7 kN bei einem Eingabewert von 0,8 N/mm³ und bei Auflagersituation II 44,3 kN bei einem Eingabewert von 0,4 N/mm³. Alle weiteren Zwischenwerte und der Graphische Verlauf sind in Abbildung 17 dargestellt. Die jeweiligen Kraftgrößen beziehen sich immer auf die Länge von 2,50m der Deckenseite D.

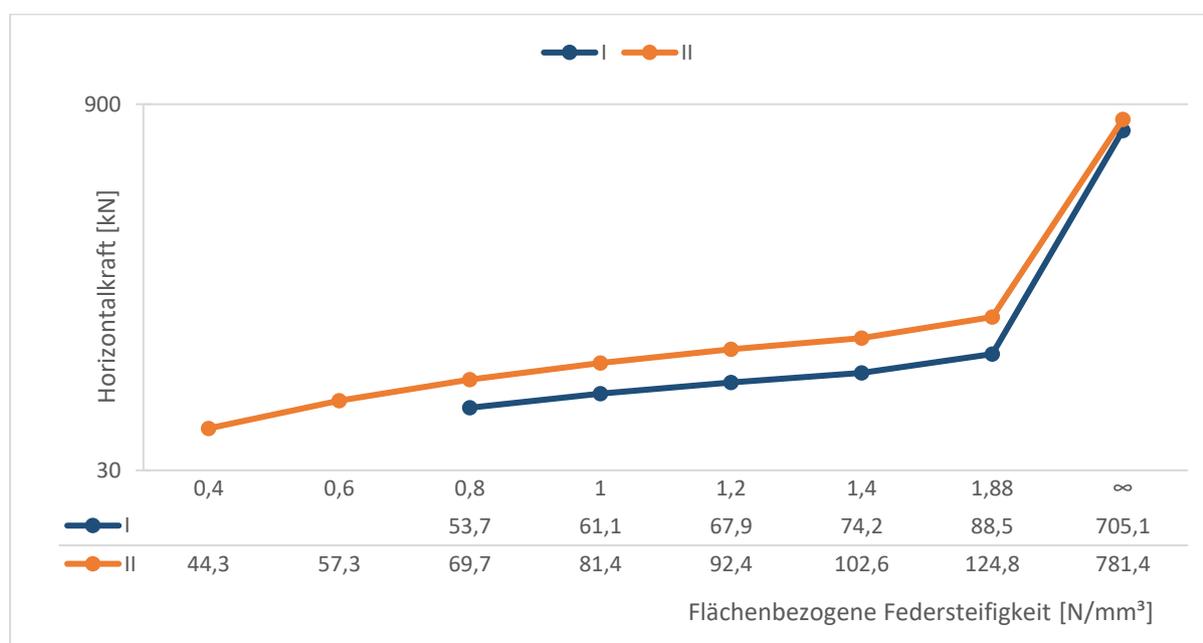


Abbildung 17 Veränderung der resultierenden Horizontalkraft je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung
Eigene Darstellung

3.2.3.2 Horizontalverschiebung

Die als „Starres Auflager“ definierte horizontale Randbedingung ist unverschieblich, weshalb die Horizontalverschiebung des Auswertungsdiagrammes an dieser Stelle Null sein muss. Dies ist nicht der Fall, da für das Diagramm in Abbildung 18 die maximale Verschiebungskomponente, bezogen auf die X-Achse gewählt wurde. In Abbildung 19 ist in Rot die maximale Verschiebung in positiver X-Richtung und in Blau die maximale Verschiebung in negativer X-Richtung dargestellt. Auf der rechten Seite ist zu sehen, dass sich der Randbereich am starren Auflager nicht verschiebt. Der im Diagramm aufgeführte Wert von 0,08mm (AS I) 0,07mm (AS II) stammt aus dem Deckeninneren und ist für die weitere Auswertung nicht von Belang. In Abbildung 17 ist die Verschiebung der einzelnen Steine dargestellt. Es ist zu sehen, dass die maximale Horizontalverschiebung an der jeweiligen Außenkante des Deckenrandes liegt. Hierbei fällt auf, dass die Verschiebung bei AS II in den Eckbereichen stärker ausfällt als in der Mitte des Deckenrandes. Bei AS I ist eine kontinuierliche Verschiebung der Randsteine einer Seite zu beobachten. Die dargestellten Verschiebungen gelten in gleicher Weise in Richtung der Y-Achse.

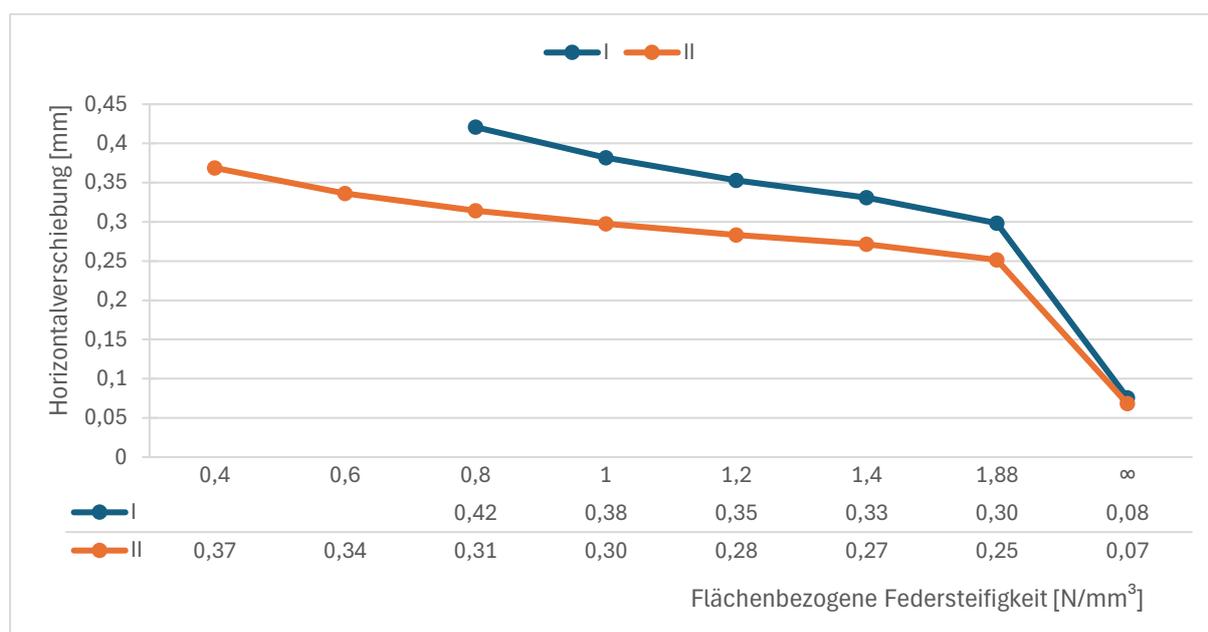


Abbildung 18 Horizontalverschiebung je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung
Eigene Darstellung

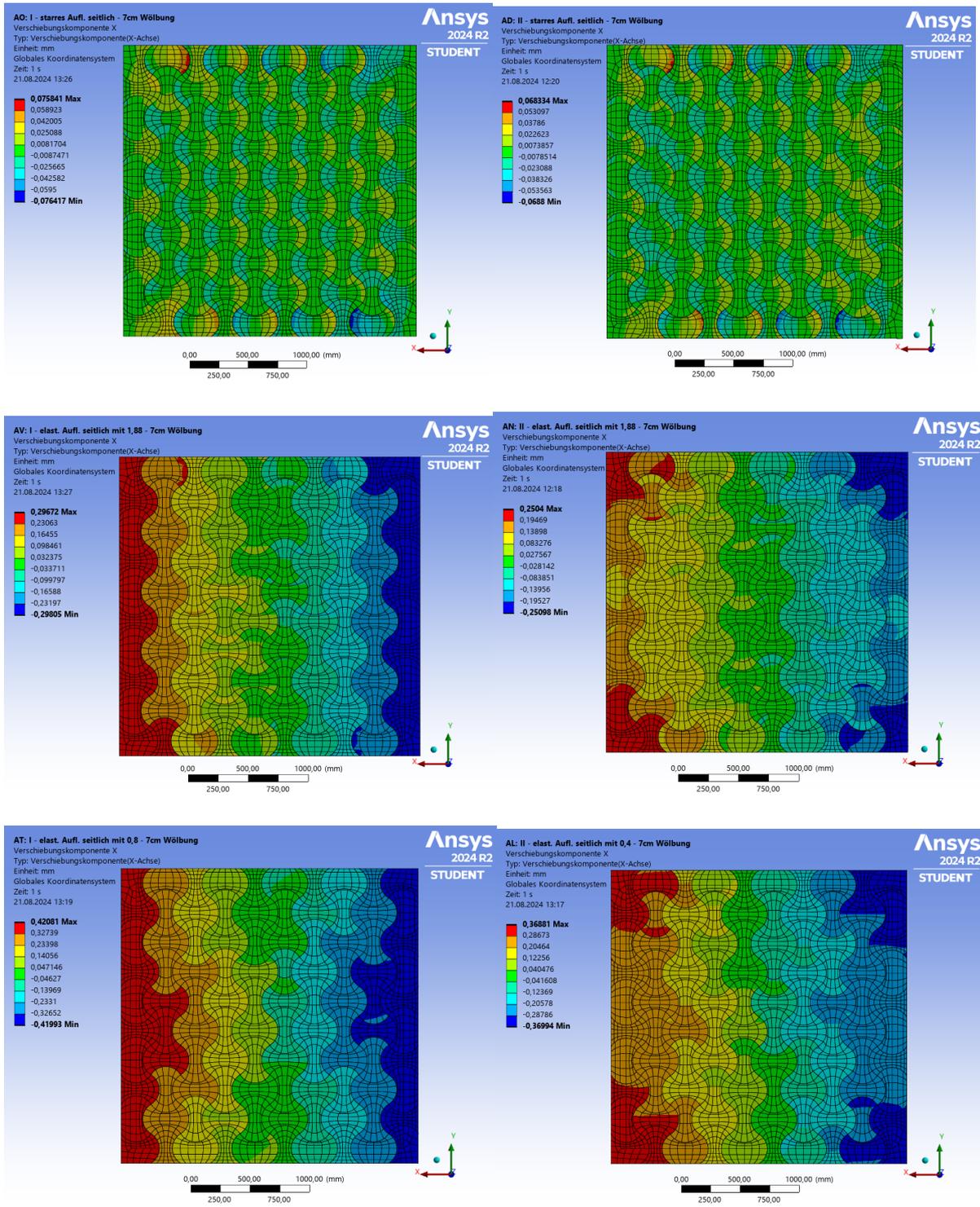


Abbildung 19 Vergleich der Bereiche mit horizontalem Verschiebungsweg in Richtung der X-Achse; Links-AS I; Rechts-AS II; Oben-starr; Mitte mit 1,88 N/mm³; Unten links-0,8 N/mm³; Unten rechts-0,4 N/mm³
Eigene Darstellung

3.2.3.3 Verformung in Deckenmitte

Sind als seitliche Randbedingung starre Auflager definiert, geht die Durchbiegung in Deckenmitte bei AS I, wie auch bei AS II gegen Null. Wird das starre Auflager durch eine elastische Lagerung ersetzt, erhöht sich die Durchbiegung mit abnehmender Federkonstante des horizontalen Lagers. Hierbei ist zu beobachten, dass die Durchbiegung bei einer gleichmäßigen Verringerung der Steifigkeit eine erhöhte Steigerung aufweist. Gleichzeitig ist der Einfluss der Steifigkeit am horizontalen Lager auf AS I wesentlich größer als auf AS II. Siehe dazu Abbildung 21.

In Abbildung 20 sind die Verformungsfiguren bei maximaler Durchbiegung in Deckenmitte für AS I (Oben) und AS II (Unten) dargestellt. Da wieder in Y-Richtung das gleiche Verformungsbild wie in X-Richtung angenommen werden kann, ist ein Schüsselnd der Deckenplatte bei beiden Auflagersituationen deutlich erkennbar. Durch die in Abbildung 20 gewählte überhöhte Verformungsdarstellung ist das Aufreißen der Fugen deutlich zu erkennen. Die Steine des Systems bleiben im Wesentlichen unverformt. Dabei fällt auf, dass durch das Fehlen der Verformungsbehinderung in positiver Z-Richtung bei AS I eine Öffnung der Fugen nur auf der Unterseite stattfindet, während sich bei AS II die Fugen in den Randbereichen öffnen und erst in Deckenmitte auf der Unterseite.

Ein Hochskalieren der Verformungen ist bei nichtlinearen Analysen kritisch zu sehen, da es ein falsches Bild der tatsächlichen Verformungsfigur zeichnen kann. Die in Abbildung 20 gewählte Darstellung ist aber durchaus als realistisch einzustufen und der Unterschied zwischen den beiden Darstellungen lässt sich so besser veranschaulichen

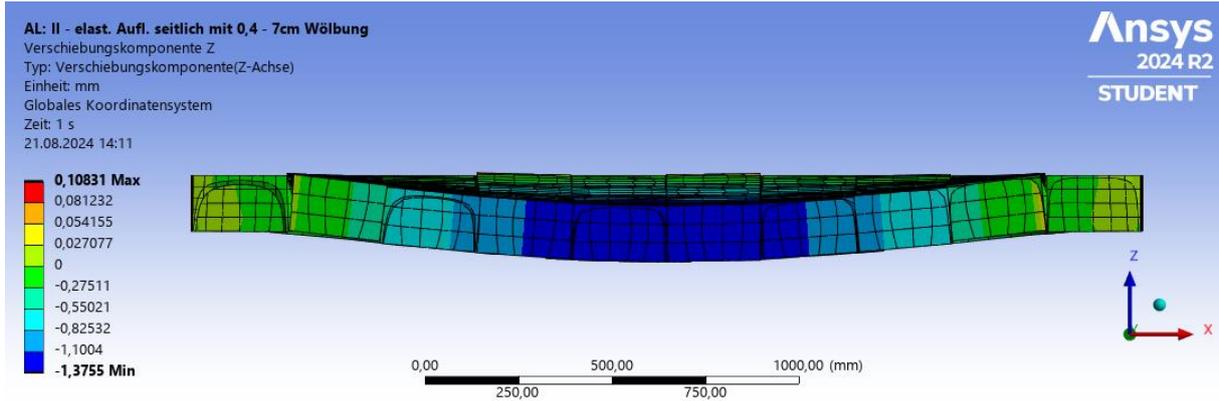
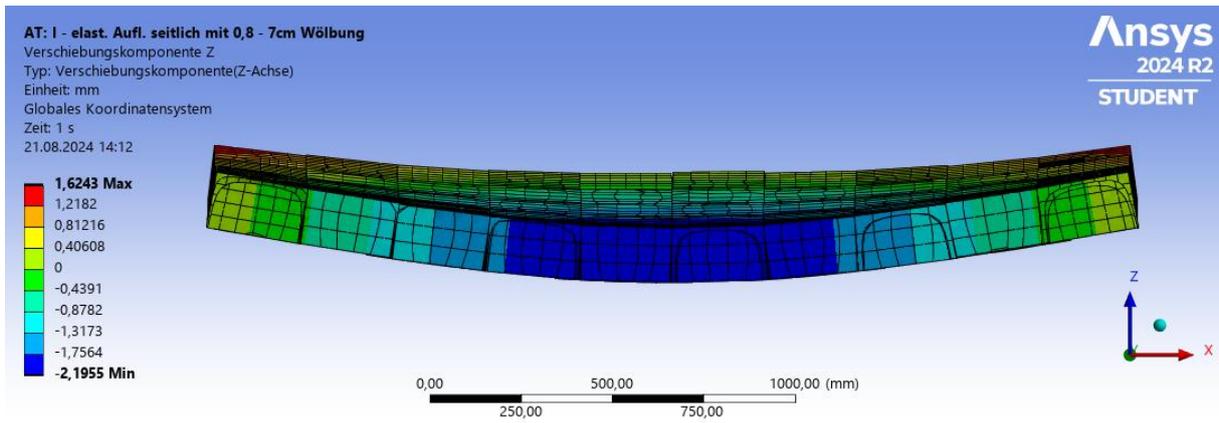


Abbildung 20 Vergleich der maximalen Durchbiegung in Deckenmitte; Oben-AS I/0,8 N/mm³; Unten-AS II/0,4 N/mm³; Darstellung 60-fach überhöht
 Eigene Darstellung

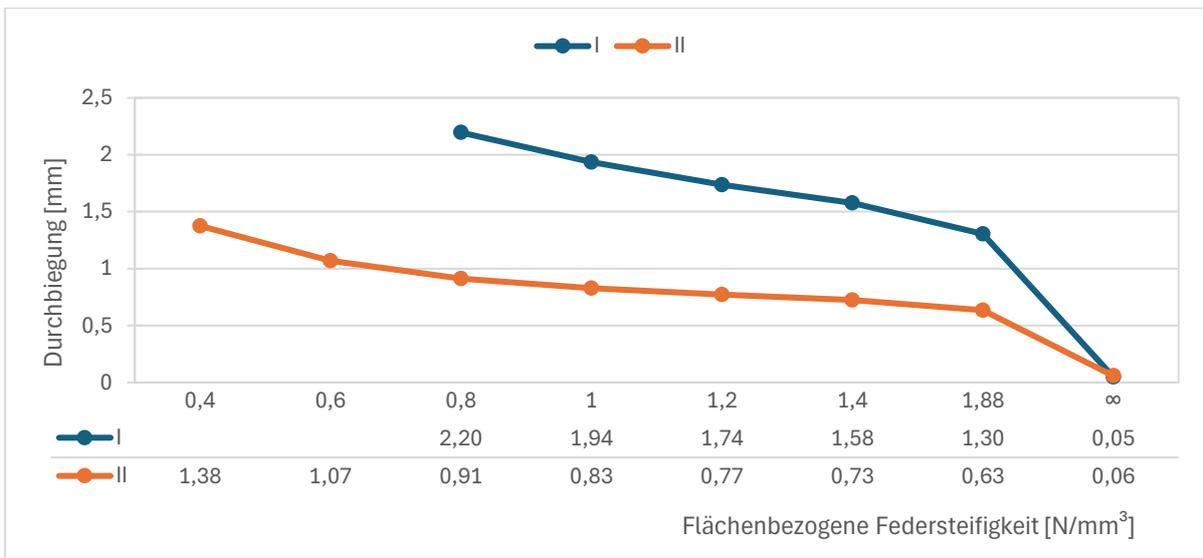


Abbildung 21 Durchbiegung in Deckenmitte in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung
 Eigene Darstellung

3.2.3.4 Druckspannungen

Wie in Abbildung 22 zu sehen ist, steigt die maximale Druckspannung im System mit zunehmender Steifigkeit im Auflagerbereich immer weiter an. Bei AS I fallen sie dabei generell geringer aus als bei AS II. Die Druckspannung erreicht bei einer starren horizontalen Lagerung ihr Maximum und beträgt lokal bei AS I 69,8 N/mm² und bei AS II 88,8 N/mm².

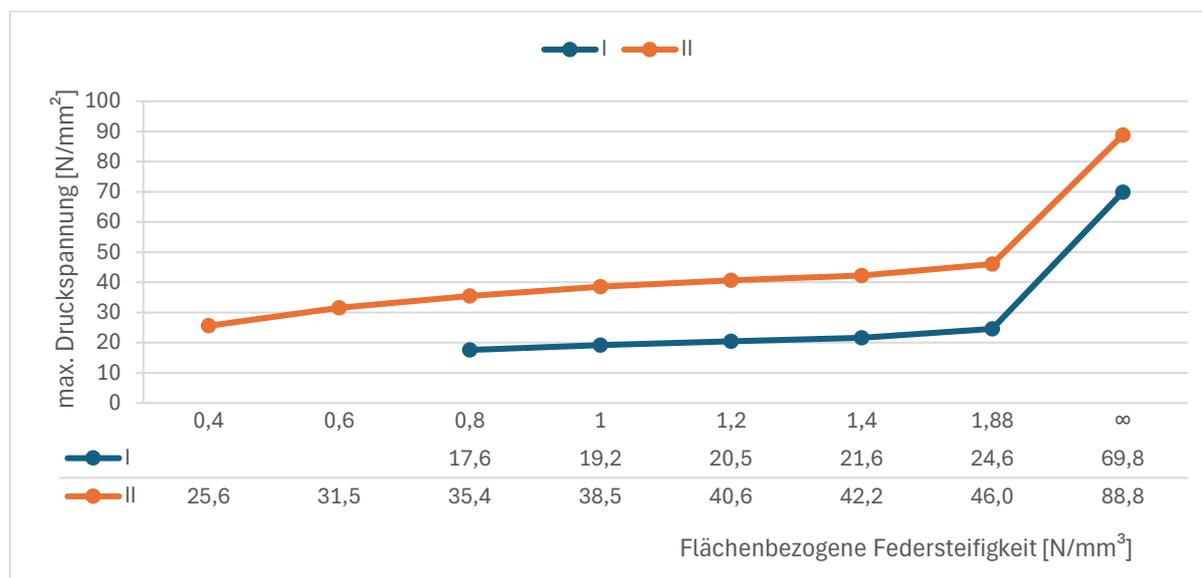


Abbildung 22 Größte auftretende Druckspannung in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung
Eigene Darstellung

Die Druckspannungsverteilung im Deckensystem ist in Abbildung 23 dargestellt. Bereiche, in denen keine Druckspannung auftritt, sind Dunkelblau dargestellt, die Maximale Druckspannung Rot und die Abstufungen dazwischen entsprechend der Farbskala in der Abbildung. Es wurden hier zum Vergleich die Ergebnisse der beiden Berechnungsdurchläufe mit AS I (links) und AS II (rechts) nebeneinandergestellt. Es ist zu erkennen, dass bei Beiden eine Spannungskonzentration in den Randbereichen der Decke, vor allem auf der Deckenunterseite vorhanden ist. Auch ist die Spannungsverteilung annähernd gleich. In Abbildung 24 sind die Elementbereiche mit den maximal auftretenden Druckspannungen dargestellt. Die Darstellung auf der linken Seite zeigt den Schnitt, welcher durch die auf der rechten Darstellung rot gekennzeichneten Spannungsspitzen geführt wurde. Im Schnitt ist zu sehen, dass die höchsten Druckspannungen an Elementen auf der Steinunterseite auftreten und lokal auf kleine Bereiche an den Steinkanten begrenzt sind. Für Abbildung 24 wurde das Berechnungsergebnis aus Durchlauf AS II/starr zur Darstellung gewählt, da dort die Höchsten maximalen Spannungen auftraten.

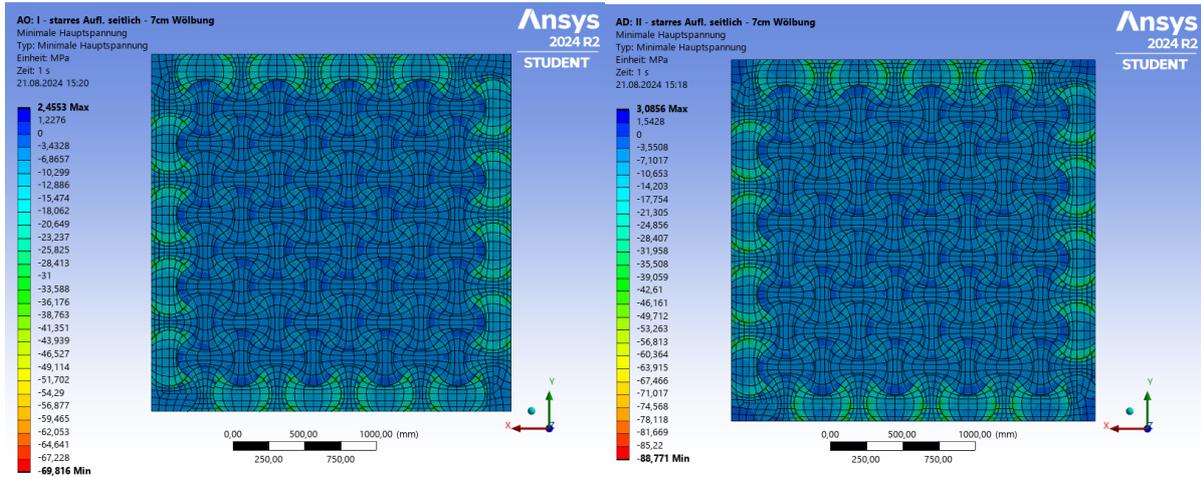
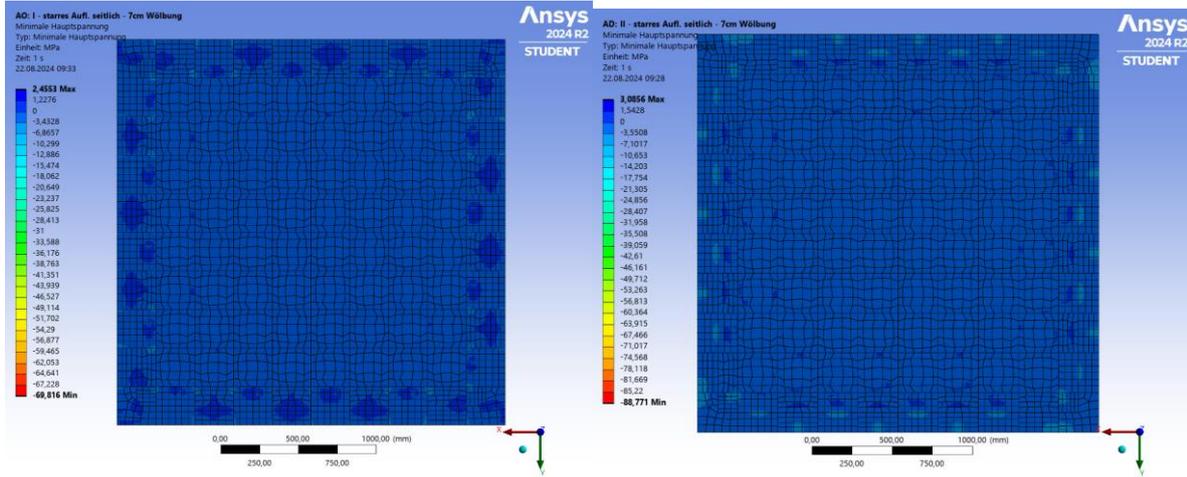


Abbildung 23 Druckspannungsverteilung im System; Links AS I/starr; Rechts AS II/starr; Oben - Ansicht von Oben; Unten - Ansicht von Unten
Eigene Darstellung

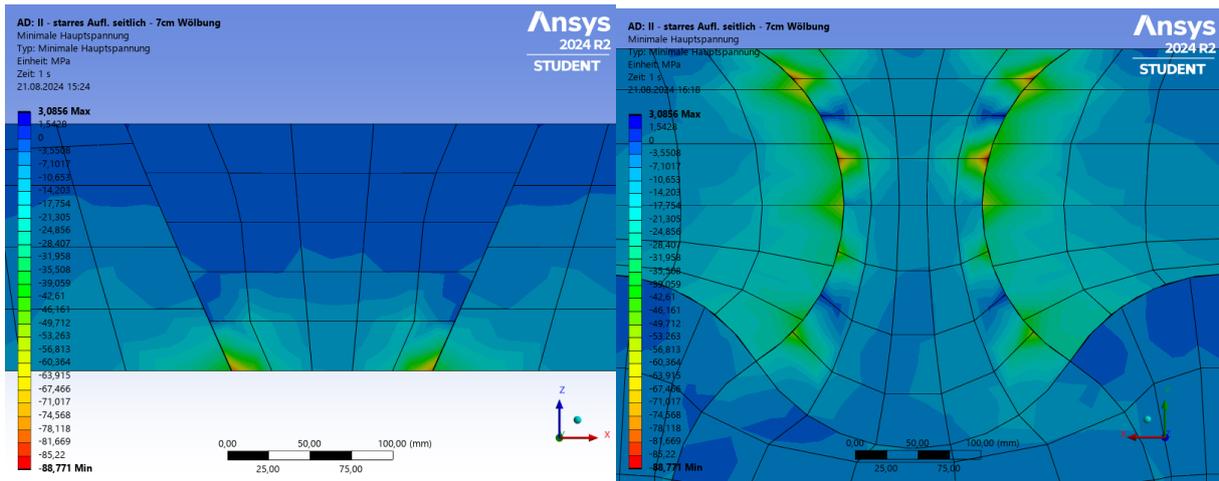


Abbildung 24 Spannungsverteilung an der Stelle maximal auftretender Druckspannungen; AS II/starr; Links Schnitt; Rechts Blick von unten auf die Decke
Eigene Darstellung

3.2.3.5 Zugspannungen

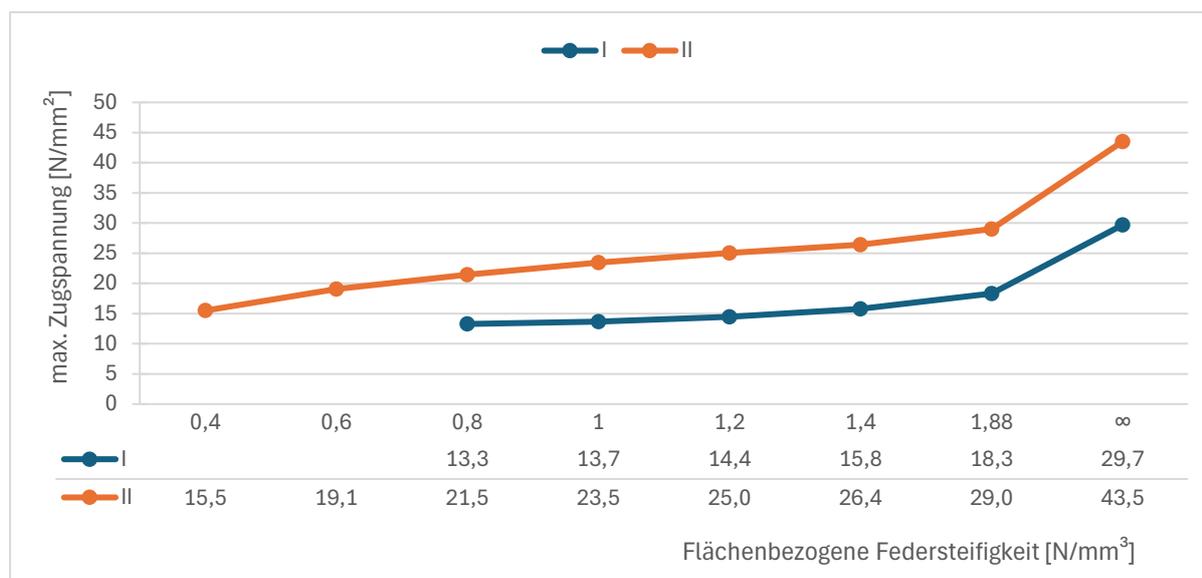


Abbildung 25 Größte auftretende Zugspannung in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung
Eigene Darstellung

Wie auch bei den Druckspannungen steigen die auftretenden Zugspannungen mit Erhöhung der Steifigkeit am horizontalen Lager an und erreichen bei AS I einen Höchstwert von 29,7 N/mm² und bei AS II einen Höchstwert von 43,5 N/mm². Die Spannungsverteilung ist ebenfalls der der Druckspannung ähnlich. Es sind ebenfalls erhöhte Spannungswerte an den Deckenrandbereichen erkennbar, weshalb auf eine erneute Darstellung verzichtet wird. In Abbildung 26 ist die Verteilung der höchsten Element-Zugspannungen an der maßgebenden Stelle, jeweils für AS I und AS II, mit starrem horizontalem Auflager und darunter mit elastischer horizontaler Lagerung von 0,8 N/mm³ bei AS I und 0,4 N/mm³ bei AS II dargestellt. Die in der Darstellung Rot gekennzeichneten Bereiche weisen eine Zugspannung am jeweiligen Element von ≥ 10 N/mm² auf. Die blauen Bereiche zeigen Druckspannungen an und sind an dieser Stelle nicht weiter von Belang.

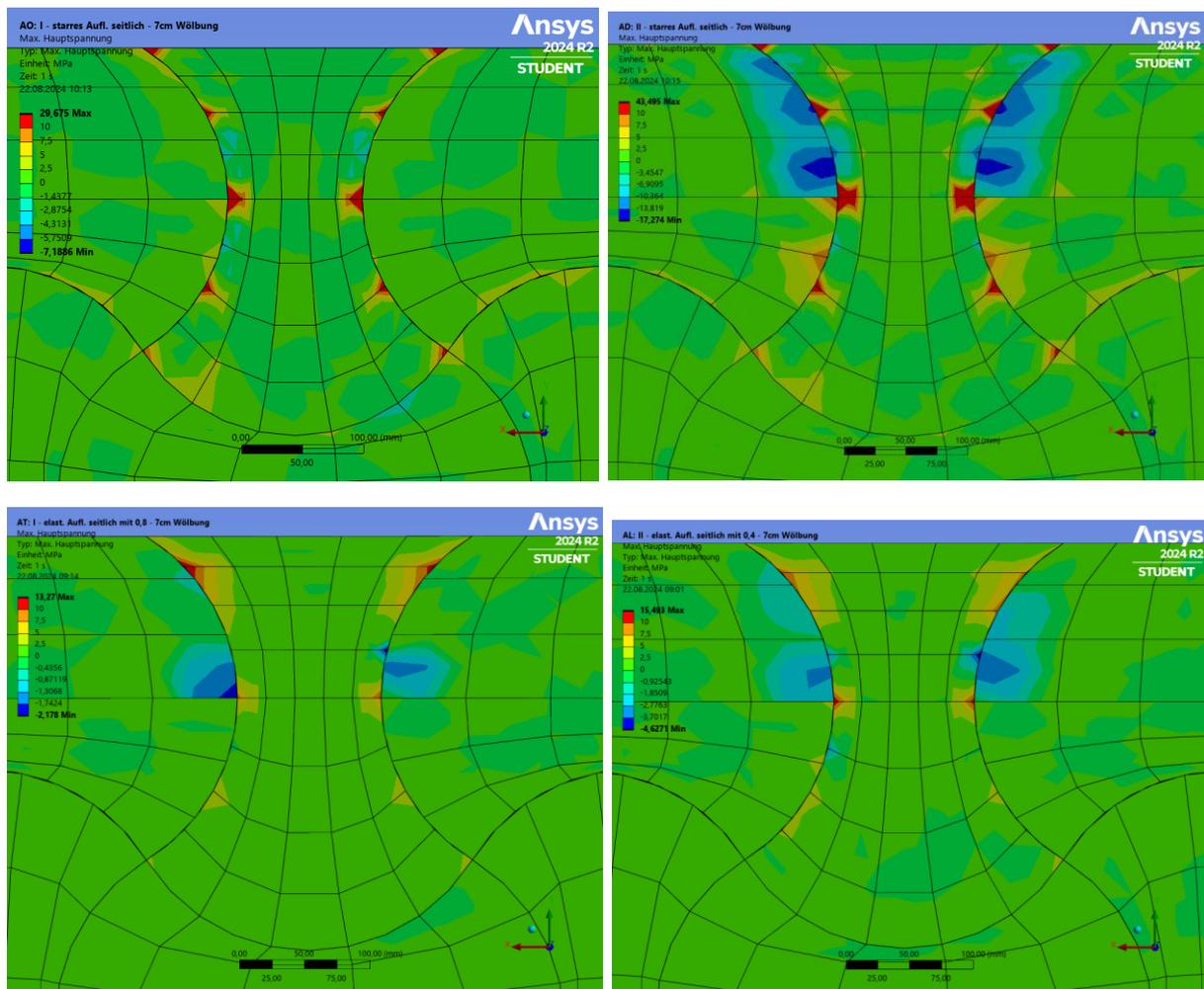


Abbildung 26 Spannungsverteilung an der Stelle maximal auftretender Zugspannungen; Links - AS I; Rechts – AS II
Eigene Darstellung

Der in Abbildung 27 dargestellte Schnitt verläuft durch die maßgebenden Spannungsspitzen im Berechnungsdurchlauf AS II/starr und zeigt die Elementbereiche mit der höchsten Zugspannung. Diese befinden sich an den Steinkanten auf der Deckenunterseite am Auflagerrand.

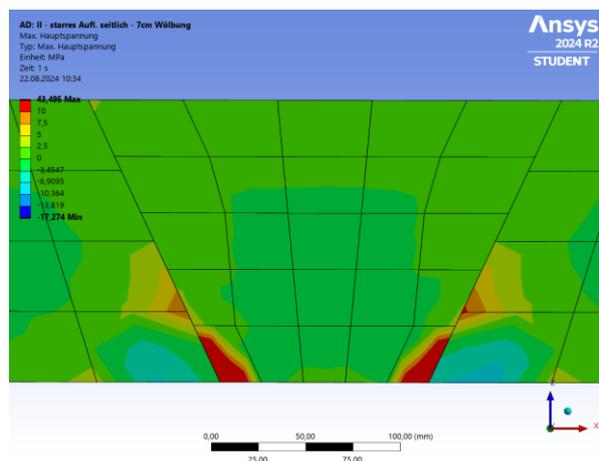


Abbildung 27 Schnitt durch den Randstein an der Stelle mit den höchsten auftretenden Zugspannungen; Berechnungsdurchlauf AS II/starr
 Eigene Darstellung

3.2.3.6 Verformung der Eckbereiche

In den Modellen der Auflagersituation I ist eine Verformung der Decke in positiver Z-Richtung möglich. In Abbildung 28 ist zu sehen, dass bei abnehmender Steifigkeit am horizontalen Auflager die Eckbereiche immer weiter abheben. Bei einer Definition der elastischen Lagerung mit $0,8 \text{ N/mm}^3$ lag der Wert der Abhebenden Ecke bei $1,62 \text{ mm}$. Selbst bei einem starren horizontalen Auflager wurde ein Abheben der Eckbereiche um $0,15 \text{ mm}$ errechnet.

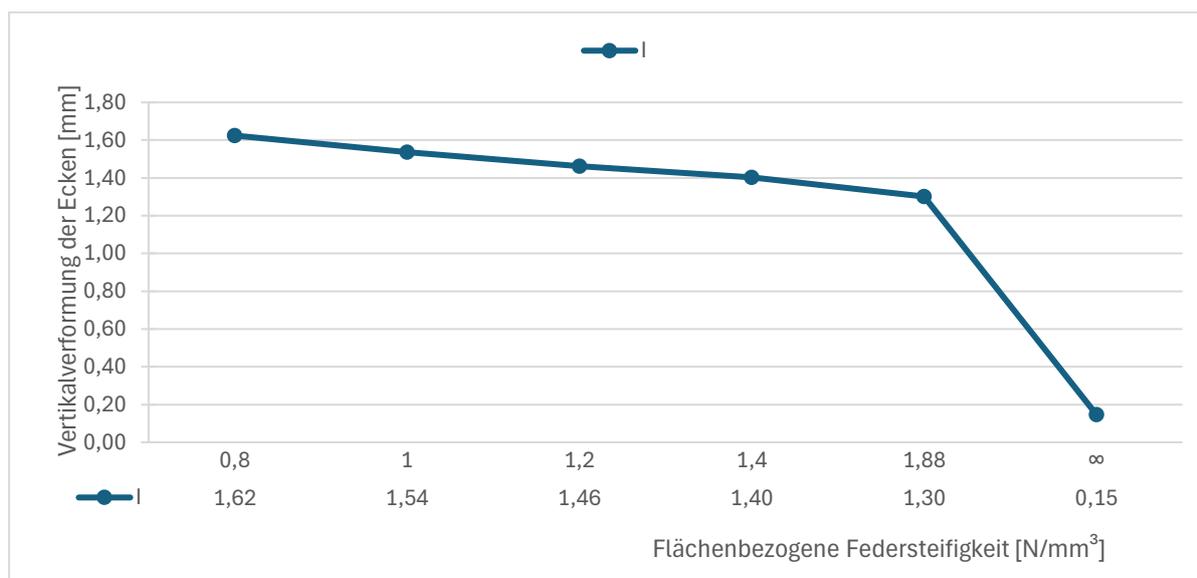


Abbildung 28 Verformung der Abhebenden Ecken in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung
 Eigene Darstellung

In Abbildung 29 ist deutlich das Schüsseln der Decke in Verbindung mit den abheben- den Eckbereichen erkennbar. Das Verformungsbild ähnelt dem einer zweiachsig gespannten Stahlbetondecke.

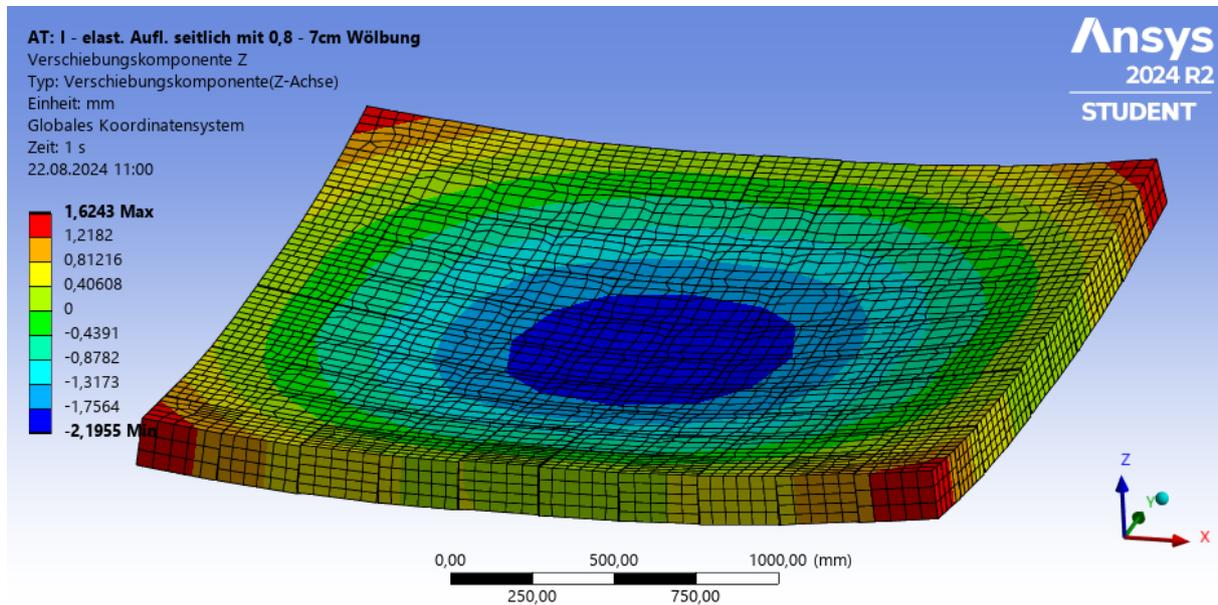


Abbildung 29 Verformungsfigur der Decke; AS I mit einer elastischen Lagerung in horizontaler Richtung von 0,8 N/mm; Darstellung 60-fach überhöht
 Eigene Darstellung

3.2.3.7 Vertikale Auflast im Auflagerbereich

In den Modellen der Auflagersituation II wurden, wie in Kapitel 3.1.2.1. beschrieben, die Randbedingungen so geändert, dass eine Verformung der Randbereiche in Vertikaler Richtung gänzlich verhindert wird. Da die nun definierten Starren Auflager auf der Oberseite der Randsteine dem Aufschüsseln der Randbereiche entgegenwirken, lässt sich bei diesen mittels definierter Stichproben die jeweilige Kraft je Deckenrand messen. In Abbildung 30 ist die resultierende Kraft in Abhängigkeit von der Steifigkeit der horizontalen Randbedingung dargestellt. Diese resultierende Kraft kann einer benötigten Auflast je Deckenrand gleichgesetzt werden, welche nötig wäre, um die Verformung der Randbereiche zu verhindern. Im Berechnungsdurchlauf mit einem starren Auflager als horizontale Randbedingung wurde eine Kraft von 615,4 kN errechnet. Es ist zu erkennen, dass die benötigte Auflast mit abnehmender Steifigkeit der horizontalen Randbedingung deutlich geringer wird. Im letzten Berechnungsdurchgang und einer Definition der elastischen Lagerung mit 0,4 N/mm³, lag das Berechnungsergebnis nur noch bei 105,6 kN. Die jeweilige Kraft ist die Resultierende der einzelnen Kraftgrößen der Randbedingungen an der Oberseite der Randsteine und bezieht sich auf die Seitenlänge von 2,50m der Seite D.

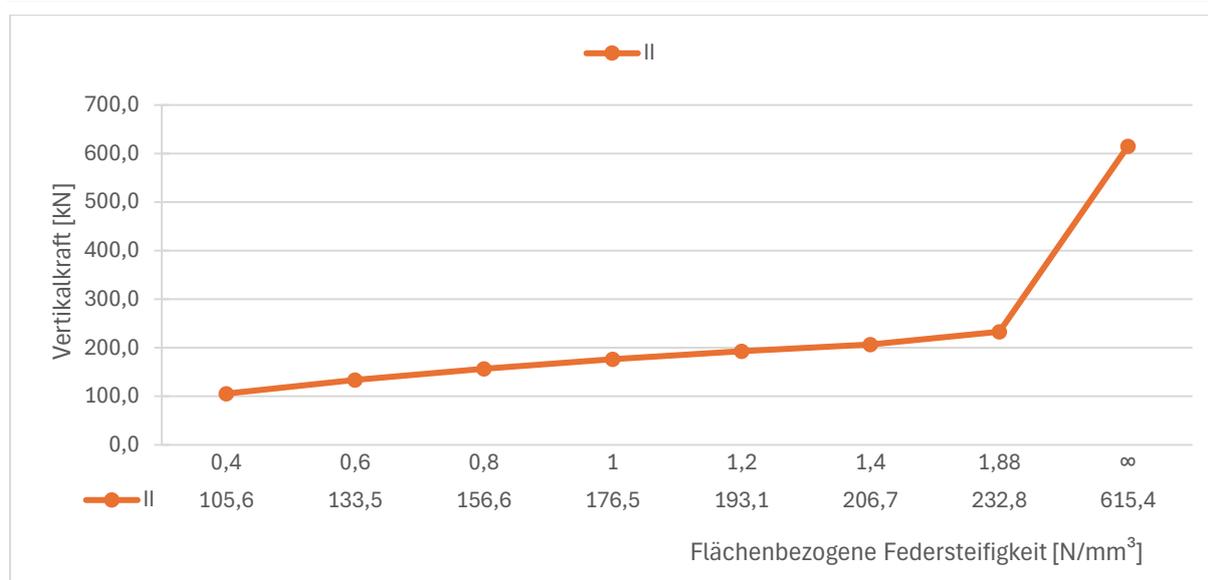


Abbildung 30 Benötigte resultierende Mindestauflast zur Verhinderung eines Abhebens der Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung
Eigene Darstellung

3.2.3.8 Horizontalkräfte je Randstein

In Abschnitt 3.2.3.1 wurden bereits die am Deckenrand wirkenden Horizontalkräfte beschrieben. Diese resultiert aus den Horizontalkräften, welche an den einzelnen Randsteinen wirken. In Abbildung 31 und Abbildung 32 ist zu sehen, dass auch hier die Kraftgröße mit zunehmender Steifigkeit der horizontalen Randbedingung zunimmt, jedoch nicht gleichmäßig auf alle Randsteine verteilt ist. Es ist zu erkennen, dass sowohl in Abbildung 31 wie auch in Abbildung 32 die Ecksteine D1 und D10 bei der Definition einer elastischen Lagerung in horizontaler Richtung des Deckenrandes stark belastet werden und die Belastung in der Mitte des Deckenrandes abnimmt. Hierbei nimmt die Differenz zwischen Eckbereich und Deckenrandmitte mit abnehmender Steifigkeit der elastischen Lagerung ab. Bei den Berechnungsdurchläufen mit starrer horizontaler Randbedingung ist bei AS I und AS II auch ein Anstieg der Horizontalkräfte in den Eckbereichen zu erkennen. Dieser ist nicht so gleichmäßig wie bei einer weniger steifen Lagerungsbedingung, es ist vielmehr ein steter Wechsel zwischen hoch und weniger hoch belasteten Randsteinen zu erkennen. Wobei die errechneten Kräfte hier ein sehr hohes Maß erreichen.

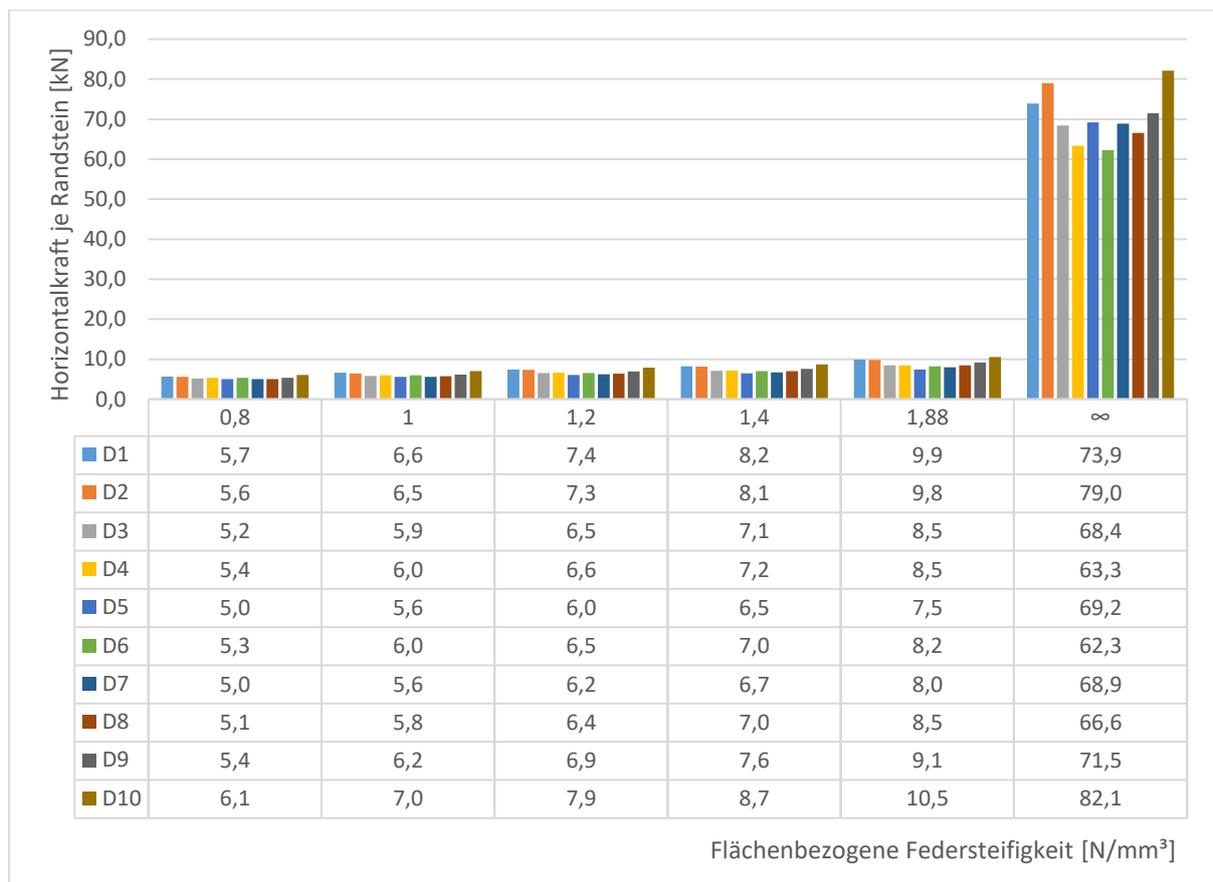


Abbildung 31 Verteilung der Horizontalkräfte auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation I
Eigene Darstellung

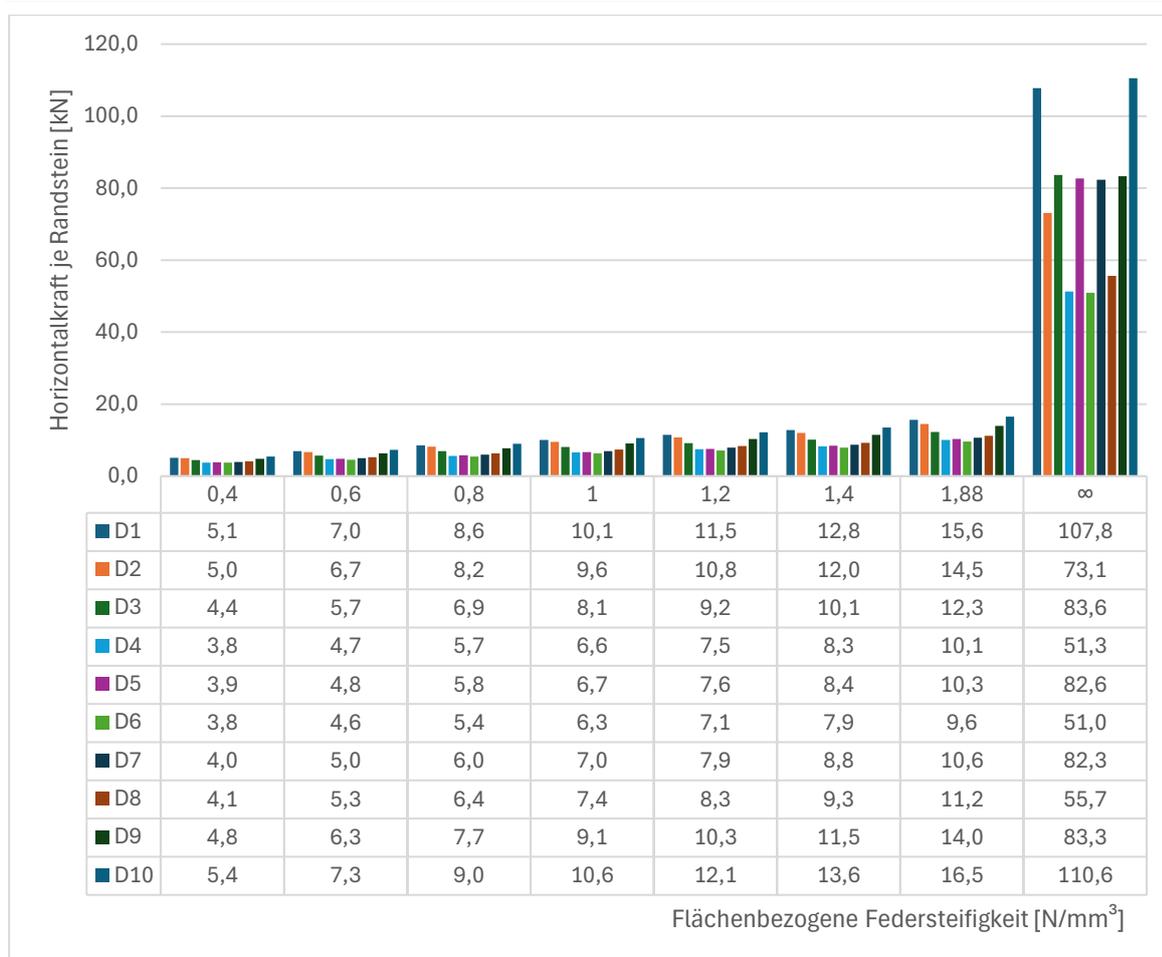


Abbildung 32 Verteilung der Horizontalkräfte auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation II
Eigene Darstellung

3.2.3.9 Vertikale Auflagerkraft je Randstein

In Abbildung 33 und Abbildung 34 sind die vertikalen Auflagerreaktionen, also in Richtung der Z-Achse, für AS I und AS II dargestellt. Bei AS I ist auffällig, dass die komplette Vertikallast der Decke über nur je zwei Randsteine je Seite an die Auflager übertragen wird. Dies ist dem in Abschnitt 3.2.3.6 bereits dargestellten Abheben einzelner Randsteine geschuldet. Lediglich beim Berechnungsdurchgang mit starren horizontalen Randbedingungen beteiligt sich ein weiterer Randstein am Lastabtrag. Die Erklärung hierfür ist die geringere Verformung der Decke und damit ein geringeres Anheben der Randsteine. In Summe bleibt die an die Auflager übertragene Kraft konstant, bei ca. 12,6 kN je Deckenseite.

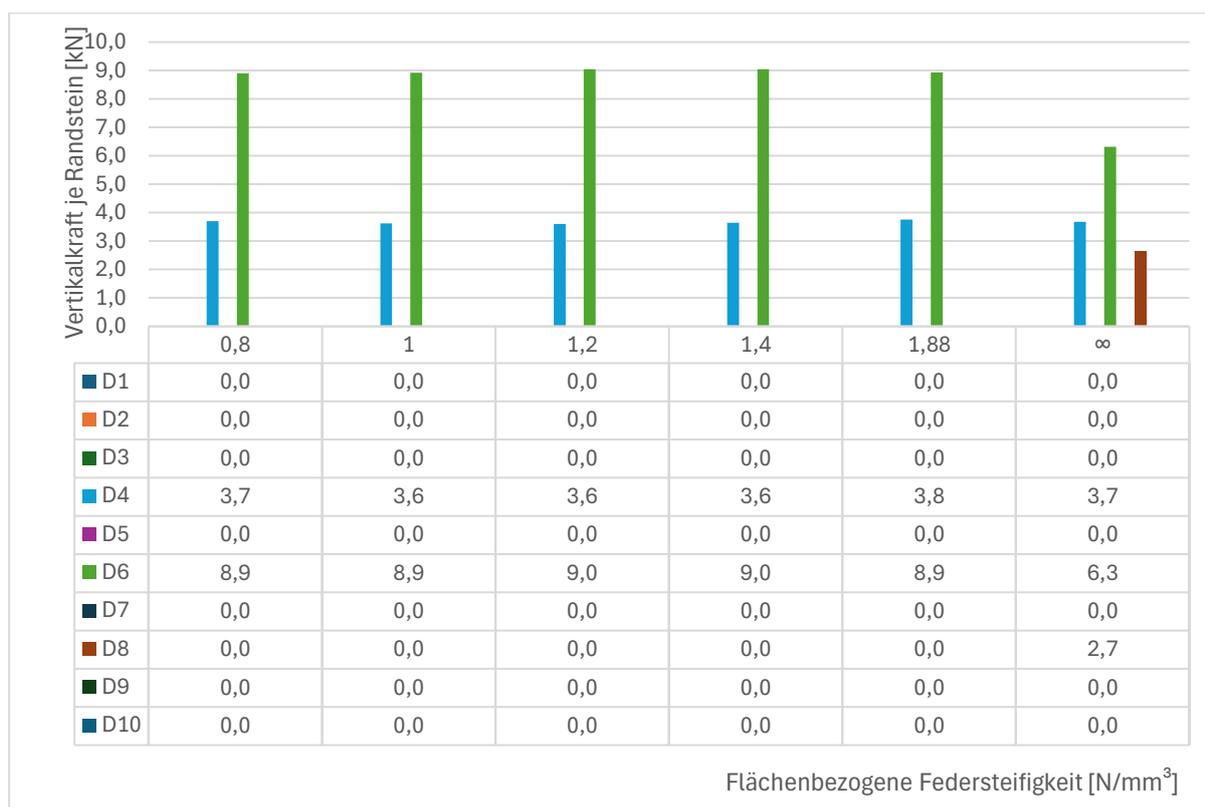


Abbildung 33 Vertikale Auflagerreaktionen auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation I
Eigene Darstellung

In Abbildung 34 sind positive und negative Auflagerreaktionen dargestellt. Die Erklärung hierfür liegt bei den Starren Auflagern, welche jeweils auf Ober- und Unterseite der Randsteine definiert wurden. Die von oben wirkenden Kraftreaktionen sind negativ, da sie entgegen der Z-Achse wirken. Umgekehrt wirkt die Kraftreaktion der Randbedingung an der Unterseite der Randsteine in Z-Richtung und ist deshalb positiv. Nimmt man die negativen Kraftreaktionen als Auflast an, müssen diese an das Auflager an der Unterseite des Randsteines übertragen werden. Dies ist auch hier der Fall, jedoch wird die Auflast an den benachbarten Stein übertragen und dieser gibt sie ans Auflager weiter. Bildet man die Summe aus positiven und negativen Kraftreaktionen, ergibt sich wieder eine aus dem Deckensystem stammende Vertikallast je Deckenseite von ca. 12,6 kN, welche sich mit der Handrechnung deckt. Durch die an allen Rändern gleichartige Stützung und den quadratischen Grundriss kann auch für die Handrechnung ein gleichmäßiger Lastabtrag auf allen vier Seiten angenommen werden. Die resultierende Auflagerkraft je Seite ergibt nach Formel 10.

Wie auch bereits in Abschnitt 3.2.3.7. dargestellt, erhöht sich mit zunehmender horizontaler Steifigkeit die Kraftreaktion der Randbedingung in negativer Z-Richtung und somit auch jene in positiver Z-Richtung.

$$A_V = B_V = C_V = D_V = \frac{g_k + q_{k,ges}}{4} = \frac{25,313 \text{ kN} + 25,313 \text{ kN}}{4} = 12,66 \text{ kN}$$

A_V = Vertikalkraft am Auflager A [kN]

B_V = Vertikalkraft am Auflager B [kN]

C_V = Vertikalkraft am Auflager C [kN]

D_V = Vertikalkraft am Auflager D [kN]

g_k = Eigengewicht der Decke nach Formel 4 [kN]

$q_{k,ges}$ = Nutzlast nach Formel 5 [kN]

Formel 10 Auflagerkraft je Deckenseite
Eigene Darstellung

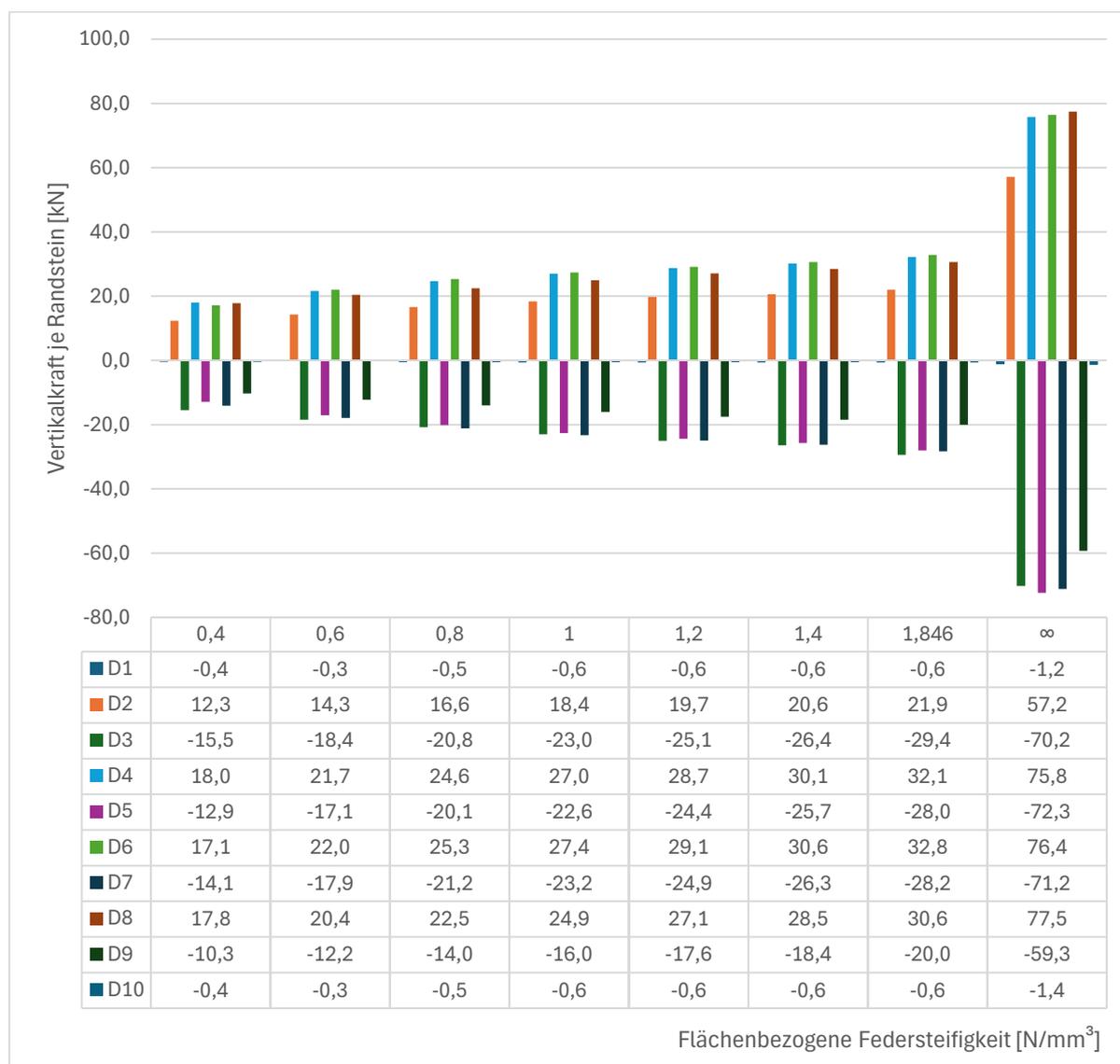


Abbildung 34 Vertikale Auflagerreaktionen auf die Randsteine je Deckenrand in Abhängigkeit unterschiedlicher Auflagersteifigkeiten in horizontaler Richtung - Auflagersituation II
Eigene Darstellung

4 Auswertung

In Kapitel 3 wurde auf die verwendeten Randbedingungen, Analyseeinstellungen und die damit erzielten Berechnungsergebnisse eingegangen. Die Auswertung kann nur bis zum Berechnungsdurchgang AS I/0,8 beziehungsweise AS II/0,4 erfolgen, da bei geringer definierter Steifigkeit der horizontalen Randbedingung keine konvergente Lösung gefunden werden konnte. Der Grund dafür könnte schlichtweg das Versagen des Bauteils, auf Grund zu großer Verformung sein. Dagegen spricht allerdings, dass in den konvergenten Berechnungsdurchläufen die Verformung sowohl in den Randbereichen, den Eckbereichen und in Deckenmitte nicht sehr groß ausfielen. Ein Versagen bei weiterer minimaler Verminderung der horizontalen Steifigkeit ist unwahrscheinlich, da sich vorher deutlicher Erkennbare Verformungszustände hätten einstellen müssen. In Abbildung 35 sind die Spaltbreiten in Deckenmitte zu sehen. Für die Darstellung wurde der Berechnungsdurchlauf AS I/0,8 gewählt, da dieser wie in Abschnitt 3.2.3.3 bereits dargelegt die größte Verformung in Deckenmitte und somit auch das größte Spaltmaß aufweist. In den roten Bereichen ist die Fuge geschlossen, während das Spaltmaß in den dunkelblauen Bereichen einen Maximalwert von 0,15mm erreicht. Auch dieses geringe Aufklaffen der Fugen deutet noch nicht auf baldiges Versagen hin.

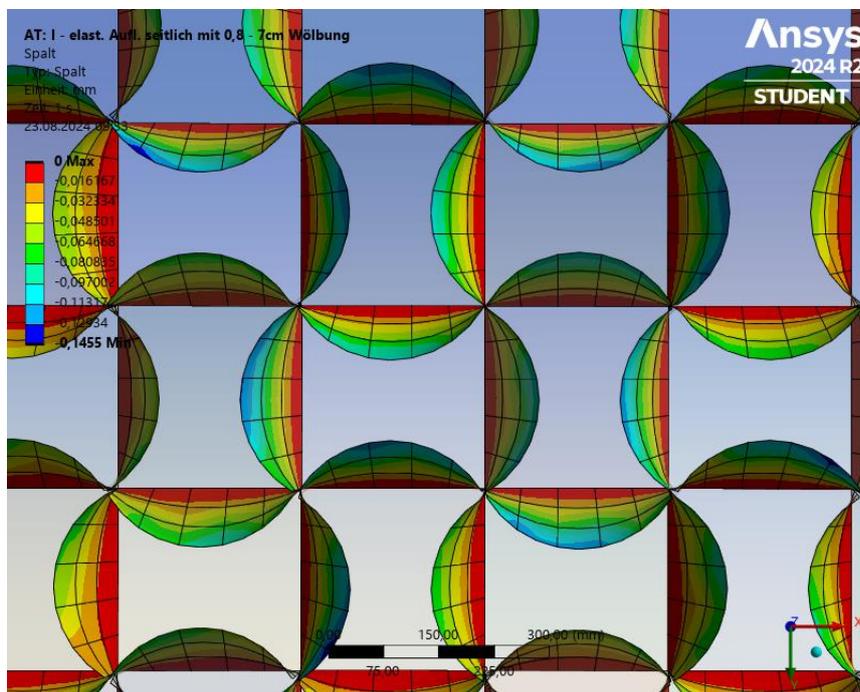


Abbildung 35 Spaltbreiten in Deckenmitte ; AS I/0,8
Eigene Darstellung

Eine weitere Möglichkeit zur Erklärung der Konvergenzprobleme ist der Status der Kontaktflächen. In Abschnitt 3.2.1 wurde bereits dargelegt, wie die Kontaktbereiche

definiert sind. Ansys bietet die Möglichkeit sich den Status der Kontaktflächen nach der Berechnung grafisch darstellen zu lassen. In Abbildung 36 ist der Kontaktflächenstatus des Berechnungsdurchganges AS I/0,8 dargestellt. Rote Bereiche zeigen haftenden Kontakt, orange Bereiche gleitenden und gelbe Bereiche nahen Kontakt an. Es ist zu erkennen, dass Kontaktbereiche zwischen zwei Steinen teilweise nur noch über gleitenden und nahen Kontakt miteinander verbunden sind. Sollte dies auf allen vier Seiten eines Steines im System geschehen, kann der Solver keine konvergente Lösung für das Modell finden. Für die Steine im Systeminneren wurden keine Randbedingungen definiert. Diese werden lediglich über den Kontakt zu ihren benachbarten Steinen gehalten. Geht dieser Kontakt zeitweilig verloren, schwebt der jeweilige Stein ohne Bezug im Raum und es kann keine numerische Lösung gefunden werden.

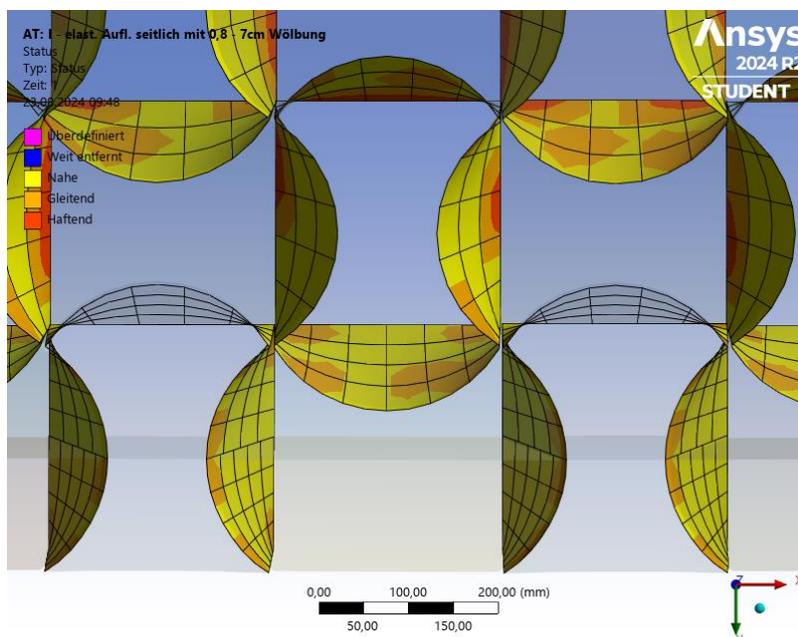


Abbildung 36 Kontaktflächenstatus; AS I/0,8; Randbereich
Eigene Darstellung

Auch wenn der Versagenszustand bisweilen nicht gefunden werden konnte, so lassen sich aus den durchgeführten Berechnungsdurchläufen doch einige Erkenntnisse gewinnen. Es wurde gezeigt, dass bei einer vollkommen starren Lagerung in horizontaler Richtung ein enorm hoher Horizontalschub aus dem Deckensystem wirkt, welcher vom seitlichen Auflager aufgenommen werden muss. Lässt man hingegen Verformung zu, so nehmen die horizontal wirkenden Kräfte immer weiter ab. Mit der horizontalen Verschiebung am Auflager nimmt gleichzeitig die Durchbiegung in Deckenmitte zu. Zulässig im Sinne der Gebrauchstauglichkeit wären für das hier betrachtete Deckensystem mit einer Stützweite von $l_{eff}=2375\text{mm}$, ein Durchhang f von 9,5mm in Deckenmitte, bei $f \leq l/250$. In Berechnungsdurchgang AS I/0,8 wurde lediglich ein Durchhang von 2,2mm in Deckenmitte erreicht. Es gilt hier einen Kompromiss zu finden, zwischen zulässiger

Durchbiegung in Deckenmitte im Sinne der Gebrauchstauglichkeit und der daraus resultierenden maximal zulässigen Horizontalverschiebung am Auflager. Damit lassen sich die horizontal wirkenden Kräfte deutlich reduzieren, bis auf ein mit dem Grenzzustand verträgliches Maß.

Die Berechnungsdurchläufe der Auflagersituation I wurden zuerst durchgeführt, da zunächst von Interesse war, wie sich die Decke verhält, wenn eine Verformung nach oben nicht behindert wird. Das Ergebnis ist am deutlichsten in Berechnungsdurchlauf AS I/0,8 sichtbar und in Abbildung 28 dargestellt. Die Decke schüsselt ähnlich einer zweiachsig-gespannten Stahlbetonplatte. Die Eckbereiche heben dabei um 1,62mm ab. Würde die Decke in der physischen Realität unter diesen Bedingungen eingebaut, wären sichtbare Risse an angrenzenden Bauteilen unvermeidbar. Bei Stahlbetonbauteilen begegnet man diesem Bauteilverhalten durch die Anordnung von Drillbewehrung, entsprechender Auflast in den Eckbereichen, oder einer Verankerung der Eckbereiche nach unten. Eine eventuelle Bewehrung des Deckensystems soll nicht Bestandteil dieser Arbeit sein. Stattdessen wird die Situation einer vertikalen Auflast in den Randbereichen näher betrachtet. Um diese simulieren und deren Größenordnung erfassen zu können wurden, wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben, entsprechend starre Auflager auf der Oberseite der Randsteine angeordnet und die Berechnungsergebnisse der so entstandenen Auflagersituation II der ersten gegenübergestellt. Das Abheben der Eckbereiche wurde dadurch unterbunden, wobei das Deckeninnere noch immer schüsselt und die Lasten zweiachsig abgetragen werden. Der Vergleich der Auflagersituationen zeigt, dass die Verformungen in Deckenmitte, genauso wie die Horizontalverschiebungen bei gleicher Steifigkeit der horizontalen Randbedingungen, bei AS II wesentlich geringer ausfallen als bei AS I. Gleichzeitig ist ein Anstieg der aus dem System resultierenden Kräfte bei AS II zu verzeichnen. Das Anbringen Starrer Auflager an der Oberseite der Randsteine ist einer Erhöhung der Auflagersteifigkeit in vertikaler Richtung gleichzusetzen. Hier liegt die Erklärung für die Veränderung der Werte. Wie auch durch die Veränderung der Steifigkeit der horizontalen Randbedingung in den Berechnungsergebnissen zu erkennen ist, geht mit höherer Auflagersteifigkeit immer auch eine Erhöhung der wirkenden Kräfte, sowie der Spannungen im Material, bei gleichzeitiger Verminderung der Verformung einher.

Betrachtet man die im System auftretenden Spannungen fällt auf, dass diese in Deckenmitte, zwischen den Auflagern keine kritischen Werte annehmen und eine Spannungs-konzentration viel mehr in den auflagernahen Randbereichen vorhanden ist. Dort nehmen sie, wie bereits erwähnt mit zunehmender Steifigkeit am Auflager ebenfalls immer weiter zu. Vergleicht man die in Abschnitt 3.2.3.4 dargestellten Druckspannungen im System mit der in Abschnitt 2.2 definierten maximalen Druckfestigkeit des Materials, wird diese auch im Berechnungsdurchlauf mit den höchsten auftretenden Spannungen AS II/starr an keiner Stelle überschritten. Betrachtet man die gesamte

Decke ist zu sehen, dass sich die maximal auftretenden Zugspannungen an den gleichen Stellen der Randbereiche konzentrieren wie die Druckspannungen. In Deckenmitte, zwischen den Auflagern sind nur Zugspannungen in unkritischem Maß vorhanden. In den maßgebenden Randbereichen ist erkennbar, dass die höchsten Zugspannungen in unmittelbarer Nähe der maximalen Druckspannungen auftreten. Dies lässt den Schluss zu, dass es sich hier um Querspannungen handelt. In Abbildung 25 und Abbildung 26 in Abschnitt 3.2.3.5 ist rot gekennzeichnet, in welchen Bereichen die auftretende Zugspannung in Berechnungsdurchgang AS II/starr die in Abschnitt 2.2 definierte maximale Zugspannung überschreitet. Eine Überschreitung der maximal zulässigen Zugspannung in diesen Bereichen ist in allen Berechnungsdurchläufen vorhanden. Eine Aussage über die Auswirkung des sich dort einstellenden Materialversagens lässt sich an dieser Stelle nicht genau treffen, da das Material nur sehr grob definiert ist. Wie in Kapitel 5 beschrieben, ist hier eine genaue Auswertung erst nach einer weiterführenden Analyse möglich. Durch die grobe Vernetzung des Modells ist die zur Auswertung erforderliche Genauigkeit an diesen Stellen ebenfalls kritisch zu hinterfragen.

Die Kraftgröße zur Verhinderung des Abhebens der Randbereiche, welche in Abschnitt 3.2.3.7 dargestellt ist, fällt bei starrer horizontaler Randbedingung mit 615,4 kN auf 2,50m Länge sehr hoch aus. Sie erreicht bei Berechnungsdurchgang AS II/0,4 einen Minimalwert von 105,6 kN auf einer Länge von 2,50m. Dies entspricht einer Streckenlast von 42,24 kN/m. Da es sich hier um die Decke eines sehr kleinen Raumes handelt ist fraglich, ob eine solche Last allein durch darüberliegende Bauteile aufgebracht werden kann.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die aus dem Deckensystem resultierenden Kräfte, wie auch die in den Komponenten der Decke wirkenden Spannungen stark von der Steifigkeit der Auflager abhängig sind. Die Grenzen des Systems in Bezug auf Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit konnten dabei auf Grund der eingeschränkten Simulationsergebnisse nicht betrachtet werden. Dafür lieferte die durchgeführte nichtlineare Finite-Elemente-Berechnung Erkenntnisse zum Tragverhalten innerhalb der Grenzen, in denen eine konvergente Lösung erreicht wurde.

5 Ausblick

Aufgrund des gesteckten zeitlichen Rahmens dieser Arbeit und dem Kenntnisstand des Autors zum Zeitpunkt der Bearbeitung, war es möglich, nur einen Teil des Tragverhaltens dieses Deckensystems näher zu betrachten. Auch ergaben sich während der Bearbeitung Fragestellungen, welche nicht hinreichend genau beantwortet werden konnten und somit Inhalt weiterer Arbeiten zu diesem Thema sein sollten. Diese sind in diesem Kapitel aufgeführt und motivieren gegebenenfalls die werte Leserschaft sich noch eingehender mit dem Tragverhalten einer scheinbaren Decke aus Naturstein zu beschäftigen.

Materialeigenschaften.

Die Definition des Materials mit den in Abschnitt 2.2 aufgeführten Eigenschaften ist für eine erste Analyse angemessen und ausreichend. Für eine detaillierte Einschätzung der Tragfähigkeit eines solchen Systems ist es aber zwingend nötig, das verwendete Material genau auf seine mechanischen Eigenschaften hin zu untersuchen und diese in das Berechnungsmodell einfließen zu lassen.

Bei einer realen Ausführung der Decke wären die Fugen der Systemsteine zu vermörteln. Dem wurde im zur Simulation definierten Modell durch die entsprechend modellierte Kontaktstelle und den Reibkoeffizienten Rechnung getragen. Gerade für eine detaillierte Auswertung der auftretenden Spannungen an den Rändern der Steine, ist eine Modellierung der Mörtelfugen und eine Zuweisung der entsprechenden mechanischen Eigenschaften empfehlenswert und würde genauere Ergebnisse zur Spannungsverteilung liefern.

Auflagersituation

Es wurden in den Berechnungsdurchläufen Randbedingungen definiert, welche zwei verschiedene Auflagersituationen simulieren. Das Verhalten der Decke bei Veränderung der Randbedingungen wurde dargestellt, ausgewertet und interpretiert. Offen bleibt die Frage nach der Praktischen Ausführung der im Berechnungsmodell definierten Randbedingungen. Es können an dieser Stelle auf Grundlage der Erkenntnisse aus der numerischen Simulation lediglich Hypothesen aufgestellt werden, wie diese auszubilden wären:

Vertikale Auflast

Es wurde gezeigt, dass mit verringerter Auflagersteifigkeit die Kraft, welche benötigt wird, um ein Abheben der Randsteine zu verhindern, immer weiter sinkt. Sollte mittels besserer Analyseinstellungen gezeigt werden können, dass die Steifigkeit der horizontalen Randbedingung weiter heruntersetzt werden kann, würde dies bedeuten, dass auch die Werte für die notwendige vertikale Auflast weiter fallen. Erhöht man

diese Kräfte zusätzlich, wird sich der Kraftvektor der resultierenden Horizontalkraft immer weiter in negative Richtung der Z-Achse verschieben. Mit dem Aufbringen zusätzlicher Last am Auflager nimmt auch die Steifigkeit zu. Damit steigen auch die Horizontalkräfte an. Die Auswirkungen einer zusätzlichen vertikalen Auflast wären demnach weiter zu ergründen.

Ringbalken

Mit Hilfe eines Ringbalkens könnten die auftretenden Horizontalkräfte aufgenommen werden, ohne dabei die Vertikalen Auflasten über das zur Verformungsverhinderung benötigte Maß erhöhen zu müssen. Da die Ecken des Ringbalkens seine jeweiligen Auflager darstellen, ist dort eine erhöhte Steifigkeit im Vergleich zur Feldmitte zu erwarten. Dies ist gerade in Anbetracht von Auflagersituation II kritisch zu betrachten, da in den Berechnungsdurchläufen die größten Horizontalverformungen in den Eckbereichen zu verzeichnen sind. Somit hätte die erhöhte Steifigkeit in den Eckbereichen wieder einen Anstieg der Horizontalkräfte, welche auf den Balken wirken zur Folge. Eine höhere Belastung auf den Ringbalken hätte eine Erhöhung des Bewehrungsgrades zur Folge, was wiederum die Steifigkeit in Feldmitte erhöht. Die Steifigkeit eines Ringbalkens und der Einfluss auf das Deckensystem wären auch hier weiterführend zu bearbeiten.

Quellenverzeichnis

CHRISTOF GEBHARDT: Praxisbuch FEM mit ANSYS Workbench – Einführung in die lineare und nichtlineare Mechanik. 3., aktualisierte Auflage. München, 2018

DEUTSCHER NATURWERKSTEIN-VERBAND E.V., (2012): Bautechnische Information Naturwerkstein – Fassadenbekleidung. Hg. v. Deutscher Naturwerkstein Verband e.V.

Europäische Norm, Dezember 2019: DIN EN 1996-1-1-NA

ISSLER, Lothar; RUOß, Hans; HÄFELE, PETER: FESTIGKEITSLEHRE - GRUNDLAGEN: SPRINGER EBOOK COLLECTION COMPUTER SCIENCE AND ENGINEERING. BERLIN, HEIDELBERG, 1995

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Berechnungsergebnisse AS I/0,8
Anlage 2	Berechnungsergebnisse AS I/1,0
Anlage 3	Berechnungsergebnisse AS I/1,2
Anlage 4	Berechnungsergebnisse AS I/1,4
Anlage 5	Berechnungsergebnisse AS I/1,88
Anlage 6	Berechnungsergebnisse AS I/starr
Anlage 7	Berechnungsergebnisse AS II/0,4
Anlage 8	Berechnungsergebnisse AS II/0,6
Anlage 9	Berechnungsergebnisse AS II/0,8
Anlage 10	Berechnungsergebnisse AS II/1,0
Anlage 11	Berechnungsergebnisse AS II/1,2
Anlage 12	Berechnungsergebnisse AS II/1,4
Anlage 13	Berechnungsergebnisse AS II/1,88
Anlage 14	Berechnungsergebnisse AS II/starr
Anlage 15	Meldungen

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,42	0,42	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,42	0,42	mm
Verschiebungskomponente Z	-2,20	1,62	mm
Gesamtverformung	0,01	2,20	mm
Normalspannung X	-14,29	8,20	MPa
Normalspannung Y	-14,35	8,09	MPa
Normalspannung Z	-5,35	8,17	MPa
Schubspannung XY	-11,38	11,38	MPa
Schubspannung YZ	-7,16	7,15	MPa
Schubspannung XZ	-7,13	7,15	MPa
Vergleichsspannung	0,01	22,94	MPa
Max. Hauptspannung	-2,18	13,27	MPa
Minimale Hauptspannung	-17,57	0,75	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	14,56	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	11,73	MPa
Spalt	-0,15	0,00	mm
Reibspannung	0,00	4,45	MPa
Gleitweg	0,00	0,07	mm

Vertikalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	0	N
Kraftreaktion 2	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	1	10	3687	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	25	8968	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	0	N
Seite A				12655	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	0	N
Kraftreaktion 11	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	-10	1	3805	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	-25	0	8823	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	0	N
Seite B				12627	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	0	N
Kraftreaktion 20	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	-1	-10	3693	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	-25	8908	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	0	N
Seite C				12601	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	0	N
Kraftreaktion 29	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	10	-1	3696	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	25	0	8904	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	0	N
Seite D				12600	N
Gesamt				50483	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	5713	-12	N
Kraftreaktion 38	A	0	5599	-12	N
Kraftreaktion 39	A	0	5176	-14	N
Kraftreaktion 40	A	0	5403	-15	N
Kraftreaktion 41	A	0	5036	-16	N
Kraftreaktion 42	A	0	5322	-15	N
Kraftreaktion 43	A	0	5013	-15	N
Kraftreaktion 44	A	0	5035	-13	N
Kraftreaktion 45	A	0	5358	-14	N
Kraftreaktion 46	A	0	6095	-14	N
Seite A			53751		N
Kraftreaktion 47	B	-5732	0	-12	N
Kraftreaktion 48	B	-5606	0	-12	N
Kraftreaktion 49	B	-5184	0	-14	N
Kraftreaktion 50	B	-5397	0	-14	N
Kraftreaktion 51	B	-5056	0	-16	N
Kraftreaktion 52	B	-5340	0	-15	N
Kraftreaktion 53	B	-4985	0	-14	N
Kraftreaktion 54	B	-5009	0	-13	N
Kraftreaktion 55	B	-5313	0	-14	N
Kraftreaktion 56	B	-6040	0	-14	N
Seite B		-53663			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-5627	-11	N
Kraftreaktion 58	C	0	-5566	-12	N
Kraftreaktion 59	C	0	-5179	-14	N
Kraftreaktion 60	C	0	-5417	-14	N
Kraftreaktion 61	C	0	-5071	-16	N
Kraftreaktion 62	C	0	-5371	-15	N
Kraftreaktion 63	C	0	-5042	-15	N
Kraftreaktion 64	C	0	-5072	-13	N
Kraftreaktion 65	C	0	-5375	-14	N
Kraftreaktion 66	C	0	-6033	-14	N
Seite C			-53751		N
Kraftreaktion 67	D	5712	0	-12	N
Kraftreaktion 68	D	5595	0	-12	N
Kraftreaktion 69	D	5167	0	-14	N
Kraftreaktion 70	D	5370	0	-14	N
Kraftreaktion 71	D	5013	0	-16	N
Kraftreaktion 72	D	5321	0	-15	N
Kraftreaktion 73	D	5006	0	-15	N
Kraftreaktion 74	D	5052	0	-13	N
Kraftreaktion 75	D	5363	0	-14	N
Kraftreaktion 76	D	6064	0	-14	N
Seite D		53663			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,38	0,38	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,38	0,38	mm
Verschiebungskomponente Z	-1,94	1,54	mm
Gesamtverformung	0,01	1,94	mm
Normalspannung X	-15,53	9,06	MPa
Normalspannung Y	-15,65	8,83	MPa
Normalspannung Z	-5,69	8,78	MPa
Schubspannung XY	-11,79	11,77	MPa
Schubspannung YZ	-7,52	7,47	MPa
Schubspannung XZ	-7,46	7,49	MPa
Vergleichsspannung	0,01	25,22	MPa
Max. Hauptspannung	-2,16	13,68	MPa
Minimale Hauptspannung	-19,15	0,98	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	15,85	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	12,69	MPa
Spalt	-0,12	0,00	mm
Reibspannung	0,00	4,89	MPa
Gleitweg	0,00	0,07	mm

Vertikalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	0	N
Kraftreaktion 2	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	1	9	3590	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	23	9010	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	0	N
Seite A				12600	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	0	N
Kraftreaktion 11	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	-9	2	3743	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	-22	0	8844	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	0	N
Seite B				12587	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	0	N
Kraftreaktion 20	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	-1	-9	3595	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	-23	8938	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	0	N
Seite C				12532	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	0	N
Kraftreaktion 29	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	9	-1	3622	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	22	0	8929	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	0	N
Seite D				12551	N
Gesamt				50271	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	6588	-12	N
Kraftreaktion 38	A	0	6499	-13	N
Kraftreaktion 39	A	0	5872	-15	N
Kraftreaktion 40	A	0	6067	-15	N
Kraftreaktion 41	A	0	5589	-16	N
Kraftreaktion 42	A	0	5947	-15	N
Kraftreaktion 43	A	0	5627	-15	N
Kraftreaktion 44	A	0	5753	-14	N
Kraftreaktion 45	A	0	6193	-15	N
Kraftreaktion 46	A	0	7038	-15	N
Seite A			61170		N
Kraftreaktion 47	B	-6609	0	-13	N
Kraftreaktion 48	B	-6523	0	-13	N
Kraftreaktion 49	B	-5909	0	-15	N
Kraftreaktion 50	B	-6074	0	-15	N
Kraftreaktion 51	B	-5619	0	-16	N
Kraftreaktion 52	B	-5995	0	-15	N
Kraftreaktion 53	B	-5619	0	-15	N
Kraftreaktion 54	B	-5716	0	-13	N
Kraftreaktion 55	B	-6116	0	-14	N
Kraftreaktion 56	B	-6967	0	-15	N
Seite B		-61147			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-6476	-12	N
Kraftreaktion 58	C	0	-6457	-13	N
Kraftreaktion 59	C	0	-5887	-14	N
Kraftreaktion 60	C	0	-6094	-15	N
Kraftreaktion 61	C	0	-5633	-16	N
Kraftreaktion 62	C	0	-6009	-16	N
Kraftreaktion 63	C	0	-5659	-15	N
Kraftreaktion 64	C	0	-5781	-14	N
Kraftreaktion 65	C	0	-6194	-15	N
Kraftreaktion 66	C	0	-6979	-15	N
Seite C			-61170		N
Kraftreaktion 67	D	6608	0	-12	N
Kraftreaktion 68	D	6509	0	-13	N
Kraftreaktion 69	D	5868	0	-15	N
Kraftreaktion 70	D	6030	0	-15	N
Kraftreaktion 71	D	5569	0	-16	N
Kraftreaktion 72	D	5959	0	-15	N
Kraftreaktion 73	D	5633	0	-15	N
Kraftreaktion 74	D	5766	0	-14	N
Kraftreaktion 75	D	6190	0	-15	N
Kraftreaktion 76	D	7015	0	-15	N
Seite D		61147			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,35	0,35	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,36	0,35	mm
Verschiebungskomponente Z	-1,74	1,46	mm
Gesamtverformung	0,01	1,74	mm
Normalspannung X	-16,72	9,72	MPa
Normalspannung Y	-16,96	9,47	MPa
Normalspannung Z	-5,95	9,23	MPa
Schubspannung XY	-12,07	12,07	MPa
Schubspannung YZ	-7,69	7,66	MPa
Schubspannung XZ	-7,63	7,67	MPa
Vergleichsspannung	0,01	26,95	MPa
Max. Hauptspannung	-2,17	14,45	MPa
Minimale Hauptspannung	-20,45	1,14	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	17,09	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	13,46	MPa
Spalt	-0,11	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,26	MPa
Gleitweg	0,00	0,07	mm

Vertikalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	0	N
Kraftreaktion 2	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	2	8	3535	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	21	9109	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	0	N
Seite A				12644	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	0	N
Kraftreaktion 11	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	-9	2	3756	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	-20	0	8891	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	0	N
Seite B				12647	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	0	N
Kraftreaktion 20	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	-2	-8	3573	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	-21	9046	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	0	N
Seite C				12619	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	0	N
Kraftreaktion 29	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	8	-2	3596	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	21	0	9045	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	0	N
Seite D				12640	N
Gesamt				50549	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	7395	-13	N
Kraftreaktion 38	A	0	7306	-14	N
Kraftreaktion 39	A	0	6536	-15	N
Kraftreaktion 40	A	0	6668	-15	N
Kraftreaktion 41	A	0	6065	-16	N
Kraftreaktion 42	A	0	6487	-15	N
Kraftreaktion 43	A	0	6182	-15	N
Kraftreaktion 44	A	0	6390	-14	N
Kraftreaktion 45	A	0	6955	-16	N
Kraftreaktion 46	A	0	7935	-16	N
Seite A			67918		N
Kraftreaktion 47	B	-7429	0	-13	N
Kraftreaktion 48	B	-7354	0	-14	N
Kraftreaktion 49	B	-6571	0	-15	N
Kraftreaktion 50	B	-6659	0	-15	N
Kraftreaktion 51	B	-6079	0	-16	N
Kraftreaktion 52	B	-6543	0	-15	N
Kraftreaktion 53	B	-6171	0	-15	N
Kraftreaktion 54	B	-6353	0	-14	N
Kraftreaktion 55	B	-6862	0	-15	N
Kraftreaktion 56	B	-7862	0	-16	N
Seite B		-67884			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-7272	-13	N
Kraftreaktion 58	C	0	-7281	-14	N
Kraftreaktion 59	C	0	-6561	-15	N
Kraftreaktion 60	C	0	-6708	-15	N
Kraftreaktion 61	C	0	-6094	-16	N
Kraftreaktion 62	C	0	-6557	-16	N
Kraftreaktion 63	C	0	-6222	-16	N
Kraftreaktion 64	C	0	-6426	-14	N
Kraftreaktion 65	C	0	-6936	-15	N
Kraftreaktion 66	C	0	-7861	-16	N
Seite C			-67918		N
Kraftreaktion 67	D	7416	0	-13	N
Kraftreaktion 68	D	7325	0	-14	N
Kraftreaktion 69	D	6533	0	-15	N
Kraftreaktion 70	D	6644	0	-15	N
Kraftreaktion 71	D	6039	0	-16	N
Kraftreaktion 72	D	6521	0	-15	N
Kraftreaktion 73	D	6201	0	-15	N
Kraftreaktion 74	D	6400	0	-14	N
Kraftreaktion 75	D	6917	0	-15	N
Kraftreaktion 76	D	7889	0	-16	N
Seite D		67884			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,33	0,33	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,33	0,33	mm
Verschiebungskomponente Z	-1,58	1,40	mm
Gesamtverformung	0,01	1,58	mm
Normalspannung X	-17,78	10,29	MPa
Normalspannung Y	-18,09	10,02	MPa
Normalspannung Z	-6,07	9,61	MPa
Schubspannung XY	-12,52	12,81	MPa
Schubspannung YZ	-7,83	7,86	MPa
Schubspannung XZ	-7,82	7,86	MPa
Vergleichsspannung	0,01	28,34	MPa
Max. Hauptspannung	-2,19	15,77	MPa
Minimale Hauptspannung	-21,60	1,20	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	18,32	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	14,16	MPa
Spalt	-0,11	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,57	MPa
Gleitweg	0,00	0,07	mm

Vertikalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	0	N
Kraftreaktion 2	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	2	8	3548	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	20	9116	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	0	N
Seite A				12664	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	0	N
Kraftreaktion 11	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	-8	2	3802	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	-19	0	8885	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	0	N
Seite B				12687	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	0	N
Kraftreaktion 20	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	-2	-8	3612	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	-19	9032	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	0	N
Seite C				12644	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	0	N
Kraftreaktion 29	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	8	-2	3644	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	19	0	9044	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	0	N
Seite D				12688	N
Gesamt				50682	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	8166	-14	N
Kraftreaktion 38	A	0	8080	-14	N
Kraftreaktion 39	A	0	7137	-16	N
Kraftreaktion 40	A	0	7198	-15	N
Kraftreaktion 41	A	0	6483	-17	N
Kraftreaktion 42	A	0	7000	-16	N
Kraftreaktion 43	A	0	6723	-16	N
Kraftreaktion 44	A	0	7025	-14	N
Kraftreaktion 45	A	0	7645	-16	N
Kraftreaktion 46	A	0	8755	-17	N
Seite A			74211		N
Kraftreaktion 47	B	-8182	0	-14	N
Kraftreaktion 48	B	-8124	0	-15	N
Kraftreaktion 49	B	-7180	0	-16	N
Kraftreaktion 50	B	-7204	0	-15	N
Kraftreaktion 51	B	-6485	0	-16	N
Kraftreaktion 52	B	-7042	0	-16	N
Kraftreaktion 53	B	-6719	0	-16	N
Kraftreaktion 54	B	-7009	0	-14	N
Kraftreaktion 55	B	-7563	0	-16	N
Kraftreaktion 56	B	-8696	0	-17	N
Seite B		-74204			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-8054	-14	N
Kraftreaktion 58	C	0	-8066	-14	N
Kraftreaktion 59	C	0	-7171	-16	N
Kraftreaktion 60	C	0	-7250	-15	N
Kraftreaktion 61	C	0	-6510	-17	N
Kraftreaktion 62	C	0	-7057	-16	N
Kraftreaktion 63	C	0	-6753	-16	N
Kraftreaktion 64	C	0	-7053	-14	N
Kraftreaktion 65	C	0	-7620	-16	N
Kraftreaktion 66	C	0	-8677	-17	N
Seite C			-74211		N
Kraftreaktion 67	D	8205	0	-14	N
Kraftreaktion 68	D	8117	0	-14	N
Kraftreaktion 69	D	7142	0	-16	N
Kraftreaktion 70	D	7192	0	-15	N
Kraftreaktion 71	D	6460	0	-16	N
Kraftreaktion 72	D	7025	0	-16	N
Kraftreaktion 73	D	6729	0	-16	N
Kraftreaktion 74	D	7024	0	-14	N
Kraftreaktion 75	D	7594	0	-16	N
Kraftreaktion 76	D	8715	0	-17	N
Seite D		74204			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,30	0,30	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,30	0,30	mm
Verschiebungskomponente Z	-1,30	1,30	mm
Gesamtverformung	0,01	1,36	mm
Normalspannung X	-19,61	11,40	MPa
Normalspannung Y	-19,78	11,13	MPa
Normalspannung Z	-6,28	10,54	MPa
Schubspannung XY	-13,83	14,07	MPa
Schubspannung YZ	-8,20	8,25	MPa
Schubspannung XZ	-8,21	8,23	MPa
Vergleichsspannung	0,01	31,38	MPa
Max. Hauptspannung	-2,21	18,34	MPa
Minimale Hauptspannung	-24,57	1,40	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	20,98	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	15,55	MPa
Spalt	-0,11	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,87	MPa
Gleitweg	0,00	0,07	mm

Vertikalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	0	N
Kraftreaktion 2	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	2	7	3639	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	-1	17	9072	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	0	N
Seite A				12711	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	0	N
Kraftreaktion 11	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	-7	2	3807	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	-17	-1	8869	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	0	N
Seite B				12676	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	0	N
Kraftreaktion 20	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	-2	-7	3706	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	1	-17	8961	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	0	N
Seite C				12667	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	0	N
Kraftreaktion 29	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	7	-2	3753	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	17	1	8931	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	0	N
Seite D				12684	N
Gesamt				50737	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	9911	-15	N
Kraftreaktion 38	A	0	9815	-16	N
Kraftreaktion 39	A	0	8527	-17	N
Kraftreaktion 40	A	0	8465	-16	N
Kraftreaktion 41	A	0	7440	-17	N
Kraftreaktion 42	A	0	8182	-16	N
Kraftreaktion 43	A	0	7940	-17	N
Kraftreaktion 44	A	0	8468	-16	N
Kraftreaktion 45	A	0	9174	-18	N
Kraftreaktion 46	A	0	10549	-19	N
Seite A			88471		N
Kraftreaktion 47	B	-9874	0	-16	N
Kraftreaktion 48	B	-9841	0	-16	N
Kraftreaktion 49	B	-8562	0	-17	N
Kraftreaktion 50	B	-8480	0	-16	N
Kraftreaktion 51	B	-7443	0	-17	N
Kraftreaktion 52	B	-8208	0	-16	N
Kraftreaktion 53	B	-7925	0	-17	N
Kraftreaktion 54	B	-8496	0	-15	N
Kraftreaktion 55	B	-9143	0	-18	N
Kraftreaktion 56	B	-10500	0	-19	N
Seite B		-88473			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-9776	-15	N
Kraftreaktion 58	C	0	-9791	-16	N
Kraftreaktion 59	C	0	-8556	-17	N
Kraftreaktion 60	C	0	-8523	-16	N
Kraftreaktion 61	C	0	-7500	-17	N
Kraftreaktion 62	C	0	-8222	-16	N
Kraftreaktion 63	C	0	-7976	-17	N
Kraftreaktion 64	C	0	-8530	-16	N
Kraftreaktion 65	C	0	-9145	-18	N
Kraftreaktion 66	C	0	-10451	-19	N
Seite C			-88471		N
Kraftreaktion 67	D	9896	0	-15	N
Kraftreaktion 68	D	9792	0	-16	N
Kraftreaktion 69	D	8499	0	-17	N
Kraftreaktion 70	D	8489	0	-16	N
Kraftreaktion 71	D	7457	0	-17	N
Kraftreaktion 72	D	8209	0	-16	N
Kraftreaktion 73	D	7951	0	-17	N
Kraftreaktion 74	D	8506	0	-16	N
Kraftreaktion 75	D	9146	0	-18	N
Kraftreaktion 76	D	10528	0	-19	N
Seite D		88473			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,08	0,08	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,08	0,08	mm
Verschiebungskomponente Z	-0,05	0,15	mm
Gesamtverformung	0,00	0,15	mm
Normalspannung X	-52,89	19,45	MPa
Normalspannung Y	-52,89	19,47	MPa
Normalspannung Z	-11,39	12,30	MPa
Schubspannung XY	-26,78	26,87	MPa
Schubspannung YZ	-9,46	9,72	MPa
Schubspannung XZ	-9,62	9,62	MPa
Vergleichsspannung	0,12	63,49	MPa
Max. Hauptspannung	-7,19	29,68	MPa
Minimale Hauptspannung	-69,82	2,46	MPa
Hauptspannungsvektor	0,03	66,09	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	48,75	MPa
Spalt	-0,06	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,70	MPa
Gleitweg	0,00	0,05	mm

Vertikalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	0	N
Kraftreaktion 2	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	4	0	3614	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	0	6170	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-3	0	2516	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	0	N
Seite A				12300	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	0	N
Kraftreaktion 11	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	0	4	3567	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	1	-1	6307	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	0	-3	2750	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	0	N
Seite B				12623	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	0	N
Kraftreaktion 20	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	-4	0	3538	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	0	6322	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	3	0	2722	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	0	N
Seite C				12582	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	0	N
Kraftreaktion 29	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	0	-4	3679	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	0	0	6321	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	0	3	2661	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	0	N
Seite D				12661	N
Gesamt				50166	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	74229	0	N
Kraftreaktion 38	A	1	78636	0	N
Kraftreaktion 39	A	-1	67983	-2	N
Kraftreaktion 40	A	0	64673	0	N
Kraftreaktion 41	A	-1	68580	-2	N
Kraftreaktion 42	A	0	62417	0	N
Kraftreaktion 43	A	-1	68187	-2	N
Kraftreaktion 44	A	0	68342	0	N
Kraftreaktion 45	A	-4	70786	-1	N
Kraftreaktion 46	A	-1	80656	0	N
Seite A			704489		N
Kraftreaktion 47	B	-72804	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-80264	1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-68332	-1	-2	N
Kraftreaktion 50	B	-63647	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-69071	-1	-2	N
Kraftreaktion 52	B	-62504	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-68762	-1	-2	N
Kraftreaktion 54	B	-67002	0	0	N
Kraftreaktion 55	B	-71726	-4	-1	N
Kraftreaktion 56	B	-80996	-1	0	N
Seite B		-705108			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-74370	0	N
Kraftreaktion 58	C	-1	-78355	0	N
Kraftreaktion 59	C	1	-68650	-2	N
Kraftreaktion 60	C	0	-62641	0	N
Kraftreaktion 61	C	1	-69293	-2	N
Kraftreaktion 62	C	0	-62457	0	N
Kraftreaktion 63	C	1	-68866	-2	N
Kraftreaktion 64	C	0	-66945	0	N
Kraftreaktion 65	C	4	-71783	-1	N
Kraftreaktion 66	C	1	-81128	0	N
Seite C			-704488		N
Kraftreaktion 67	D	73891	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	78995	-1	0	N
Kraftreaktion 69	D	68354	1	-2	N
Kraftreaktion 70	D	63347	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	69180	1	-2	N
Kraftreaktion 72	D	62274	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	68872	1	-2	N
Kraftreaktion 74	D	66585	0	0	N
Kraftreaktion 75	D	71507	4	-1	N
Kraftreaktion 76	D	82104	1	0	N
Seite D		705109			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,37	0,37	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,37	0,37	mm
Verschiebungskomponente Z	-1,38	0,11	mm
Gesamtverformung	0,01	1,38	mm
Normalspannung X	-17,62	11,06	MPa
Normalspannung Y	-17,88	10,84	MPa
Normalspannung Z	-8,06	4,93	MPa
Schubspannung XY	-11,90	11,85	MPa
Schubspannung YZ	-7,08	7,04	MPa
Schubspannung XZ	-7,02	7,02	MPa
Vergleichsspannung	0,00	24,35	MPa
Max. Hauptspannung	-4,63	15,49	MPa
Minimale Hauptspannung	-25,57	0,67	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	20,18	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	16,96	MPa
Spalt	-0,32	0,00	mm
Reibspannung	0,00	4,69	MPa
Gleitweg	0,00	0,16	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	3680	N
Kraftreaktion 2	A	2	0	22791	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	-1	-1	31103	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	514	N
Kraftreaktion 6	A	0	-1	29138	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-1	-1	30378	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	72	N
Seite A				117676	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	3756	N
Kraftreaktion 11	B	0	2	22906	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	1	-1	31044	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	1	0	30001	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	1	-1	30476	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	79	N
Seite B				118262	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	3719	N
Kraftreaktion 20	C	-2	0	22501	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	1	1	31284	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	1	29543	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	1	1	30543	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	59	N
Seite C				117648	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	3669	N
Kraftreaktion 29	D	0	-2	22677	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	-1	1	31276	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	-1	0	29651	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	-1	1	30406	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	82	N
Seite D				117761	N
Gesamt				471348	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-4102	N	-423	N
Kraftreaktion 78	A	0	0	-10440	N	12351	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-15417	N	-15417	N
Kraftreaktion 80	A	0	0	-13218	N	17885	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-12818	N	-12304	N
Kraftreaktion 82	A	0	0	-12309	N	16829	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-14202	N	-14202	N
Kraftreaktion 84	A	0	0	-12557	N	17821	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-10351	N	-10279	N
Seite A				-105414	N	12262	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-4036	N	-280	N
Kraftreaktion 87	B	0	0	-10485	N	12421	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-15515	N	-15515	N
Kraftreaktion 89	B	0	0	-13259	N	17785	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-12826	N	-12826	N
Kraftreaktion 91	B	0	0	-12626	N	17375	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-14374	N	-14374	N
Kraftreaktion 93	B	0	0	-12532	N	17944	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-10316	N	-10237	N
Seite B				-105969	N	12293	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-4095	N	-376	N
Kraftreaktion 96	C	0	0	-10320	N	12181	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-15298	N	-15298	N
Kraftreaktion 98	C	0	0	-13263	N	18021	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-12790	N	-12790	N
Kraftreaktion 100	C	0	0	-12489	N	17054	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-14134	N	-14134	N
Kraftreaktion 102	C	0	0	-12600	N	17943	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-10268	N	-10209	N
Seite C				-105257	N	12391	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-4101	N	-431	N
Kraftreaktion 105	D	0	0	-10332	N	12345	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-15488	N	-15488	N
Kraftreaktion 107	D	0	0	-13284	N	17992	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-12874	N	-12874	N
Kraftreaktion 109	D	0	0	-12504	N	17147	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-14107	N	-14107	N
Kraftreaktion 111	D	0	0	-12557	N	17849	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-10348	N	-10266	N
Seite D				-105595	N	12167	N
Gesamt				-422235	N	49113	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	5107	0	N
Kraftreaktion 38	A	0	5016	0	N
Kraftreaktion 39	A	-1	4410	0	N
Kraftreaktion 40	A	0	3785	0	N
Kraftreaktion 41	A	0	3860	0	N
Kraftreaktion 42	A	0	3758	0	N
Kraftreaktion 43	A	0	3963	0	N
Kraftreaktion 44	A	0	4115	0	N
Kraftreaktion 45	A	1	4826	0	N
Kraftreaktion 46	A	0	5442	0	N
Seite A			44281		N
Kraftreaktion 47	B	-5132	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-5058	0	0	N
Kraftreaktion 49	B	-4458	-1	0	N
Kraftreaktion 50	B	-3813	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-3865	0	0	N
Kraftreaktion 52	B	-3740	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-3936	0	0	N
Kraftreaktion 54	B	-4098	0	0	N
Kraftreaktion 55	B	-4790	1	0	N
Kraftreaktion 56	B	-5402	0	0	N
Seite B		-44293			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-5079	0	N
Kraftreaktion 58	C	0	-5000	0	N
Kraftreaktion 59	C	1	-4404	0	N
Kraftreaktion 60	C	0	-3782	0	N
Kraftreaktion 61	C	0	-3878	0	N
Kraftreaktion 62	C	0	-3781	0	N
Kraftreaktion 63	C	0	-3978	0	N
Kraftreaktion 64	C	0	-4134	0	N
Kraftreaktion 65	C	-1	-4827	0	N
Kraftreaktion 66	C	0	-5419	0	N
Seite C			-44281		N
Kraftreaktion 67	D	5128	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	5046	0	0	N
Kraftreaktion 69	D	4432	1	0	N
Kraftreaktion 70	D	3782	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	3871	0	0	N
Kraftreaktion 72	D	3770	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	3954	0	0	N
Kraftreaktion 74	D	4097	0	0	N
Kraftreaktion 75	D	4795	-1	0	N
Kraftreaktion 76	D	5417	0	0	N
Seite D		44293			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,34	0,34	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,34	0,34	mm
Verschiebungskomponente Z	-1,07	0,07	mm
Gesamtverformung	0,01	1,07	mm
Normalspannung X	-20,90	12,98	MPa
Normalspannung Y	-21,21	12,78	MPa
Normalspannung Z	-10,10	5,49	MPa
Schubspannung XY	-13,40	13,27	MPa
Schubspannung YZ	-8,76	8,72	MPa
Schubspannung XZ	-8,76	8,67	MPa
Vergleichsspannung	0,01	29,68	MPa
Max. Hauptspannung	-5,36	19,07	MPa
Minimale Hauptspannung	-31,54	0,84	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	25,07	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	21,16	MPa
Spalt	-0,27	0,00	mm
Reibspannung	0,00	4,79	MPa
Gleitweg	0,00	0,14	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	5035	N
Kraftreaktion 2	A	2	0	27735	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	-1	-1	38454	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	-1	-1	38243	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-2	-1	36015	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	317	N
Seite A				145799	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	5211	N
Kraftreaktion 11	B	0	2	27547	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	1	-1	38378	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	1	-1	38699	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	1	-2	35793	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	327	N
Seite B				145955	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	5125	N
Kraftreaktion 20	C	-2	0	27189	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	1	1	38165	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	1	1	38600	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	2	1	36173	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	322	N
Seite C				145575	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	5105	N
Kraftreaktion 29	D	0	-3	27496	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	-1	1	38473	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	-1	1	38557	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	-1	2	35979	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	349	N
Seite D				145958	N
Gesamt				583288	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-5348	N	-313	N
Kraftreaktion 78	A	0	0	-13284	N	14451	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-18419	N	-18419	N
Kraftreaktion 80	A	0	0	-16803	N	21651	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-16898	N	-16898	N
Kraftreaktion 82	A	0	0	-16410	N	21833	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-18010	N	-18010	N
Kraftreaktion 84	A	0	0	-15591	N	20424	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-12469	N	-12152	N
Seite A				-133232	N	12567	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-5357	N	-146	N
Kraftreaktion 87	B	0	0	-13208	N	14339	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-18501	N	-18501	N
Kraftreaktion 89	B	0	0	-16847	N	21531	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-17174	N	-17174	N
Kraftreaktion 91	B	0	0	-16574	N	22125	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-18008	N	-18008	N
Kraftreaktion 93	B	0	0	-15451	N	20342	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-12368	N	-12041	N
Seite B				-133488	N	12467	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-5359	N	-234	N
Kraftreaktion 96	C	0	0	-13112	N	14077	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-18026	N	-18026	N
Kraftreaktion 98	C	0	0	-16689	N	21476	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-17001	N	-17001	N
Kraftreaktion 100	C	0	0	-16632	N	21968	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-17914	N	-17914	N
Kraftreaktion 102	C	0	0	-15688	N	20485	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-12503	N	-12181	N
Seite C				-132924	N	12651	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-5364	N	-259	N
Kraftreaktion 105	D	0	0	-13182	N	14314	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-18443	N	-18443	N
Kraftreaktion 107	D	0	0	-16821	N	21652	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-17077	N	-17077	N
Kraftreaktion 109	D	0	0	-16606	N	21951	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-17866	N	-17866	N
Kraftreaktion 111	D	0	0	-15571	N	20408	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-12555	N	-12206	N
Seite D				-133485	N	12474	N
Gesamt				-533129	N	50159	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	6948	0	N
Kraftreaktion 38	A	-1	6694	0	N
Kraftreaktion 39	A	-1	5691	0	N
Kraftreaktion 40	A	0	4709	0	N
Kraftreaktion 41	A	0	4766	0	N
Kraftreaktion 42	A	0	4519	0	N
Kraftreaktion 43	A	0	4961	0	N
Kraftreaktion 44	A	1	5309	0	N
Kraftreaktion 45	A	1	6432	0	N
Kraftreaktion 46	A	0	7418	0	N
Seite A			57447		N
Kraftreaktion 47	B	-6974	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-6748	-1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-5737	-1	0	N
Kraftreaktion 50	B	-4712	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-4739	0	0	N
Kraftreaktion 52	B	-4491	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-4920	0	0	N
Kraftreaktion 54	B	-5283	1	0	N
Kraftreaktion 55	B	-6365	1	0	N
Kraftreaktion 56	B	-7335	0	0	N
Seite B		-57304			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-6863	0	N
Kraftreaktion 58	C	1	-6663	0	N
Kraftreaktion 59	C	1	-5705	0	N
Kraftreaktion 60	C	0	-4753	0	N
Kraftreaktion 61	C	0	-4803	0	N
Kraftreaktion 62	C	0	-4568	0	N
Kraftreaktion 63	C	0	-4997	0	N
Kraftreaktion 64	C	-1	-5348	0	N
Kraftreaktion 65	C	-1	-6415	0	N
Kraftreaktion 66	C	0	-7331	0	N
Seite C			-57447		N
Kraftreaktion 67	D	6957	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	6697	1	0	N
Kraftreaktion 69	D	5679	1	0	N
Kraftreaktion 70	D	4704	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	4791	0	0	N
Kraftreaktion 72	D	4566	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	4970	0	0	N
Kraftreaktion 74	D	5271	0	0	N
Kraftreaktion 75	D	6344	-1	0	N
Kraftreaktion 76	D	7327	0	0	N
Seite D		57304			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,31	0,31	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,32	0,31	mm
Verschiebungskomponente Z	-0,91	0,07	mm
Gesamtverformung	0,01	0,91	mm
Normalspannung X	-23,75	14,14	MPa
Normalspannung Y	-23,96	14,00	MPa
Normalspannung Z	-11,44	5,97	MPa
Schubspannung XY	-14,52	14,88	MPa
Schubspannung YZ	-9,80	9,75	MPa
Schubspannung XZ	-9,74	9,72	MPa
Vergleichsspannung	0,01	33,29	MPa
Max. Hauptspannung	-5,87	21,45	MPa
Minimale Hauptspannung	-35,44	0,95	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	28,74	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	23,82	MPa
Spalt	-0,24	0,00	mm
Reibspannung	0,00	4,97	MPa
Gleitweg	0,00	0,13	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	5931	N
Kraftreaktion 2	A	4	0	32749	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	0	-2	44588	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	-2	45069	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-2	-1	41147	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	329	N
Seite A				169813	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	6134	N
Kraftreaktion 11	B	0	4	32350	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	2	0	44802	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	2	0	45346	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	1	-2	40565	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	391	N
Seite B				169588	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	6000	N
Kraftreaktion 20	C	-4	0	32309	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	0	2	44327	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	2	44932	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	2	1	40943	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	372	N
Seite C				168883	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	5971	N
Kraftreaktion 29	D	0	-4	32443	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	-2	0	44402	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	-2	0	45032	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	-1	2	40845	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	366	N
Seite D				169059	N
Gesamt				677342	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-6445	N	-514	N
Kraftreaktion 78	A	0	0	-15918	N	16831	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-20942	N	-20942	N
Kraftreaktion 80	A	0	0	-19744	N	24844	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-20200	N	-20200	N
Kraftreaktion 82	A	0	0	-19621	N	25448	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-21491	N	-21491	N
Kraftreaktion 84	A	0	0	-18514	N	22633	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-14062	N	-13733	N
Seite A				-156937	N	12876	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-6477	N	-343	N
Kraftreaktion 87	B	0	0	-15925	N	16425	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-20971	N	-20971	N
Kraftreaktion 89	B	0	0	-19930	N	24872	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-20694	N	-20694	N
Kraftreaktion 91	B	0	0	-19776	N	25570	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-21061	N	-21061	N
Kraftreaktion 93	B	0	0	-18215	N	22350	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-14284	N	-13893	N
Seite B				-157333	N	12255	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-6444	N	-444	N
Kraftreaktion 96	C	0	0	-15829	N	16480	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-20645	N	-20645	N
Kraftreaktion 98	C	0	0	-19709	N	24618	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-20146	N	-20146	N
Kraftreaktion 100	C	0	0	-19645	N	25287	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-21096	N	-21096	N
Kraftreaktion 102	C	0	0	-18417	N	22526	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-14327	N	-13955	N
Seite C				-156258	N	12625	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-6493	N	-522	N
Kraftreaktion 105	D	0	0	-15864	N	16579	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-20757	N	-20757	N
Kraftreaktion 107	D	0	0	-19753	N	24649	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-20141	N	-20141	N
Kraftreaktion 109	D	0	0	-19698	N	25334	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-21180	N	-21180	N
Kraftreaktion 111	D	0	0	-18359	N	22486	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-14392	N	-14026	N
Seite D				-156637	N	12422	N
Gesamt				-627165	N	50177	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	8589	0	N
Kraftreaktion 38	A	-1	8168	0	N
Kraftreaktion 39	A	-1	6921	-1	N
Kraftreaktion 40	A	0	5655	0	N
Kraftreaktion 41	A	0	5739	-1	N
Kraftreaktion 42	A	0	5367	0	N
Kraftreaktion 43	A	0	5991	-1	N
Kraftreaktion 44	A	1	6470	0	N
Kraftreaktion 45	A	1	7895	0	N
Kraftreaktion 46	A	0	9096	0	N
Seite A			69891		N
Kraftreaktion 47	B	-8600	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-8218	-1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-6953	-1	-1	N
Kraftreaktion 50	B	-5648	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-5700	0	-1	N
Kraftreaktion 52	B	-5345	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-5944	0	-1	N
Kraftreaktion 54	B	-6415	1	0	N
Kraftreaktion 55	B	-7810	1	0	N
Kraftreaktion 56	B	-9071	0	0	N
Seite B		-69703			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-8523	0	N
Kraftreaktion 58	C	1	-8143	0	N
Kraftreaktion 59	C	1	-6910	-1	N
Kraftreaktion 60	C	0	-5671	0	N
Kraftreaktion 61	C	0	-5769	-1	N
Kraftreaktion 62	C	0	-5449	0	N
Kraftreaktion 63	C	0	-6044	-1	N
Kraftreaktion 64	C	-1	-6476	0	N
Kraftreaktion 65	C	-1	-7850	0	N
Kraftreaktion 66	C	0	-9057	0	N
Seite C			-69891		N
Kraftreaktion 67	D	8591	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	8195	1	0	N
Kraftreaktion 69	D	6922	1	-1	N
Kraftreaktion 70	D	5661	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	5765	0	-1	N
Kraftreaktion 72	D	5437	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	5993	0	-1	N
Kraftreaktion 74	D	6368	0	0	N
Kraftreaktion 75	D	7749	-1	0	N
Kraftreaktion 76	D	9022	0	0	N
Seite D		69703			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,30	0,30	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,30	0,30	mm
Verschiebungskomponente Z	-0,83	0,06	mm
Gesamtverformung	0,01	0,83	mm
Normalspannung X	-26,29	15,15	MPa
Normalspannung Y	-26,64	15,07	MPa
Normalspannung Z	-12,47	6,42	MPa
Schubspannung XY	-15,65	16,14	MPa
Schubspannung YZ	-10,61	10,54	MPa
Schubspannung XZ	-10,53	10,53	MPa
Vergleichsspannung	0,01	36,11	MPa
Max. Hauptspannung	-6,59	23,47	MPa
Minimale Hauptspannung	-38,49	0,92	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	31,99	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	25,88	MPa
Spalt	-0,22	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,32	MPa
Gleitweg	0,00	0,12	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	6904	N
Kraftreaktion 2	A	5	0	37000	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	0	-2	49656	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	-2	49946	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-2	-2	46335	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	175	N
Seite A				190016	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	7024	N
Kraftreaktion 11	B	0	5	36353	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	2	0	49837	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	2	0	50239	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	2	-2	45772	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	217	N
Seite B				189442	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	6883	N
Kraftreaktion 20	C	-5	0	36346	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	0	2	49248	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	2	49724	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	2	2	45848	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	214	N
Seite C				188263	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	6900	N
Kraftreaktion 29	D	0	-5	36377	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	-2	0	49439	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	-2	0	49858	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	-2	2	45834	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	237	N
Seite D				188645	N
Gesamt				756366	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-7455	N	-551	N
Kraftreaktion 78	A	0	0	-18187	N	18813	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-23396	N	-23396	N
Kraftreaktion 80	A	0	0	-22417	N	27239	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-22624	N	-22624	N
Kraftreaktion 82	A	0	0	-22454	N	27492	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-23704	N	-23704	N
Kraftreaktion 84	A	0	0	-21176	N	25159	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-15569	N	-15394	N
Seite A				-176982	N	13034	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-7485	N	-460	N
Kraftreaktion 87	B	0	0	-18134	N	18219	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-23528	N	-23528	N
Kraftreaktion 89	B	0	0	-22737	N	27100	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-22828	N	-22828	N
Kraftreaktion 91	B	0	0	-22530	N	27709	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-23189	N	-23189	N
Kraftreaktion 93	B	0	0	-20864	N	24908	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-16031	N	-15814	N
Seite B				-177326	N	12117	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-7463	N	-580	N
Kraftreaktion 96	C	0	0	-17992	N	18354	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-23034	N	-23034	N
Kraftreaktion 98	C	0	0	-22386	N	26862	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-22537	N	-22537	N
Kraftreaktion 100	C	0	0	-22397	N	27327	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-23151	N	-23151	N
Kraftreaktion 102	C	0	0	-20943	N	24905	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-15998	N	-15784	N
Seite C				-175901	N	12362	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-7513	N	-613	N
Kraftreaktion 105	D	0	0	-17988	N	18389	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-23019	N	-23019	N
Kraftreaktion 107	D	0	0	-22433	N	27006	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-22648	N	-22648	N
Kraftreaktion 109	D	0	0	-22472	N	27386	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-23243	N	-23243	N
Kraftreaktion 111	D	0	0	-20901	N	24933	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-16258	N	-16021	N
Seite D				-176475	N	12170	N
Gesamt				-706683	N	49683	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	10107	0	N
Kraftreaktion 38	A	-1	9539	0	N
Kraftreaktion 39	A	-2	8097	-1	N
Kraftreaktion 40	A	0	6604	0	N
Kraftreaktion 41	A	0	6739	-1	N
Kraftreaktion 42	A	0	6277	0	N
Kraftreaktion 43	A	0	7021	-1	N
Kraftreaktion 44	A	1	7513	0	N
Kraftreaktion 45	A	1	9213	0	N
Kraftreaktion 46	A	0	10644	0	N
Seite A			81754		N
Kraftreaktion 47	B	-10036	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-9566	-1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-8141	-2	-1	N
Kraftreaktion 50	B	-6618	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-6695	0	-1	N
Kraftreaktion 52	B	-6237	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-6939	0	-1	N
Kraftreaktion 54	B	-7423	0	0	N
Kraftreaktion 55	B	-9113	1	0	N
Kraftreaktion 56	B	-10662	0	0	N
Seite B		-81430			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-10033	0	N
Kraftreaktion 58	C	1	-9513	0	N
Kraftreaktion 59	C	2	-8063	-1	N
Kraftreaktion 60	C	0	-6599	0	N
Kraftreaktion 61	C	0	-6748	-1	N
Kraftreaktion 62	C	0	-6355	0	N
Kraftreaktion 63	C	0	-7078	-1	N
Kraftreaktion 64	C	-1	-7542	0	N
Kraftreaktion 65	C	-1	-9190	0	N
Kraftreaktion 66	C	0	-10632	0	N
Seite C			-81753		N
Kraftreaktion 67	D	10095	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	9550	1	0	N
Kraftreaktion 69	D	8077	2	-1	N
Kraftreaktion 70	D	6585	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	6721	0	-1	N
Kraftreaktion 72	D	6320	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	6990	0	-1	N
Kraftreaktion 74	D	7385	0	0	N
Kraftreaktion 75	D	9075	-1	0	N
Kraftreaktion 76	D	10634	0	0	N
Seite D		81431			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,28	0,28	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,28	0,28	mm
Verschiebungskomponente Z	-0,77	0,05	mm
Gesamtverformung	0,01	0,77	mm
Normalspannung X	-28,42	15,92	MPa
Normalspannung Y	-28,67	15,80	MPa
Normalspannung Z	-13,26	6,75	MPa
Schubspannung XY	-16,59	17,02	MPa
Schubspannung YZ	-11,25	11,21	MPa
Schubspannung XZ	-11,20	11,20	MPa
Vergleichsspannung	0,01	38,08	MPa
Max. Hauptspannung	-7,18	25,03	MPa
Minimale Hauptspannung	-40,63	0,88	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	34,51	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	27,33	MPa
Spalt	-0,21	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,36	MPa
Gleitweg	0,00	0,12	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	7868	N
Kraftreaktion 2	A	6	0	40087	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	-1	-2	53694	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	0	-2	54107	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-3	-2	50538	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	22	N
Seite A				206316	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	7980	N
Kraftreaktion 11	B	0	6	39451	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	2	-1	53827	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	2	-1	54168	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	2	-3	50090	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	72	N
Seite B				205587	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	7824	N
Kraftreaktion 20	C	-5	0	39469	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	0	2	53339	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	0	2	53944	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	2	2	50222	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	59	N
Seite C				204857	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	7872	N
Kraftreaktion 29	D	0	-6	39670	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	-2	1	53562	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	-2	1	53948	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	-2	2	50091	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	108	N
Seite D				205251	N
Gesamt				822011	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-8432	N	-564	N
Kraftreaktion 78	A	0	0	-20040	N	20047	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-25182	N	-25182	N
Kraftreaktion 80	A	0	0	-24801	N	28893	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-24389	N	-24389	N
Kraftreaktion 82	A	0	0	-24903	N	29204	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-25098	N	-25098	N
Kraftreaktion 84	A	0	0	-23405	N	27133	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-16929	N	-16907	N
Seite A				-193179	N	13137	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-8451	N	-471	N
Kraftreaktion 87	B	0	0	-20012	N	19439	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-25399	N	-25399	N
Kraftreaktion 89	B	0	0	-25058	N	28769	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-24563	N	-24563	N
Kraftreaktion 91	B	0	0	-24830	N	29338	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-24900	N	-24900	N
Kraftreaktion 93	B	0	0	-23058	N	27032	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-17367	N	-17295	N
Seite B				-193638	N	11950	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-8411	N	-586	N
Kraftreaktion 96	C	0	0	-19866	N	19603	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-24912	N	-24912	N
Kraftreaktion 98	C	0	0	-24788	N	28551	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-24295	N	-24295	N
Kraftreaktion 100	C	0	0	-24819	N	29125	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-24822	N	-24822	N
Kraftreaktion 102	C	0	0	-23124	N	27098	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-17447	N	-17388	N
Seite C				-192484	N	12374	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-8486	N	-614	N
Kraftreaktion 105	D	0	0	-19922	N	19748	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-25079	N	-25079	N
Kraftreaktion 107	D	0	0	-24840	N	28722	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-24387	N	-24387	N
Kraftreaktion 109	D	0	0	-24822	N	29126	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-24921	N	-24921	N
Kraftreaktion 111	D	0	0	-23003	N	27088	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-17667	N	-17559	N
Seite D				-193127	N	12124	N
Gesamt				-772427	N	49585	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	11493	0	N
Kraftreaktion 38	A	-1	10799	0	N
Kraftreaktion 39	A	-2	9198	-1	N
Kraftreaktion 40	A	0	7516	0	N
Kraftreaktion 41	A	0	7678	-1	N
Kraftreaktion 42	A	0	7127	0	N
Kraftreaktion 43	A	0	7947	-1	N
Kraftreaktion 44	A	1	8451	0	N
Kraftreaktion 45	A	1	10443	0	N
Kraftreaktion 46	A	0	12128	0	N
Seite A			92780		N
Kraftreaktion 47	B	-11376	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-10832	-1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-9244	-2	-1	N
Kraftreaktion 50	B	-7535	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-7634	0	-1	N
Kraftreaktion 52	B	-7069	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-7867	0	-1	N
Kraftreaktion 54	B	-8366	0	0	N
Kraftreaktion 55	B	-10339	1	0	N
Kraftreaktion 56	B	-12130	0	0	N
Seite B		-92391			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-11406	0	N
Kraftreaktion 58	C	1	-10781	0	N
Kraftreaktion 59	C	2	-9177	-1	N
Kraftreaktion 60	C	0	-7532	0	N
Kraftreaktion 61	C	0	-7699	-1	N
Kraftreaktion 62	C	0	-7207	0	N
Kraftreaktion 63	C	0	-7998	-1	N
Kraftreaktion 64	C	-1	-8472	0	N
Kraftreaktion 65	C	-1	-10409	0	N
Kraftreaktion 66	C	0	-12097	0	N
Seite C			-92777		N
Kraftreaktion 67	D	11479	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	10808	1	0	N
Kraftreaktion 69	D	9150	2	-1	N
Kraftreaktion 70	D	7464	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	7620	0	-1	N
Kraftreaktion 72	D	7130	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	7899	0	-1	N
Kraftreaktion 74	D	8350	-1	0	N
Kraftreaktion 75	D	10344	-1	0	N
Kraftreaktion 76	D	12148	0	0	N
Seite D		92392			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,27	0,27	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,27	0,27	mm
Verschiebungskomponente Z	-0,73	0,05	mm
Gesamtverformung	0,01	0,73	mm
Normalspannung X	-30,40	16,57	MPa
Normalspannung Y	-30,57	16,47	MPa
Normalspannung Z	-13,92	6,99	MPa
Schubspannung XY	-17,34	17,67	MPa
Schubspannung YZ	-11,78	11,73	MPa
Schubspannung XZ	-11,74	11,71	MPa
Vergleichsspannung	0,01	39,54	MPa
Max. Hauptspannung	-7,73	26,40	MPa
Minimale Hauptspannung	-42,22	0,88	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	36,82	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	28,42	MPa
Spalt	-0,20	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,22	MPa
Gleitweg	0,00	0,11	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	8785	N
Kraftreaktion 2	A	6	0	42476	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	-1	-3	57095	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	-1	-3	57577	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-3	-2	53806	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	55	N
Seite A				219794	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	8883	N
Kraftreaktion 11	B	0	6	41813	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	3	-1	57096	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	3	-1	57464	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	2	-3	53319	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	149	N
Seite B				218724	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	8734	N
Kraftreaktion 20	C	-6	0	41934	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	1	3	56761	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	1	3	57403	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	3	2	53614	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	135	N
Seite C				218581	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	8793	N
Kraftreaktion 29	D	0	-6	42218	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	-3	1	57022	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	-3	1	57423	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	-2	3	53420	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	174	N
Seite D				219050	N
Gesamt				876150	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-9385	N	-600	N
Kraftreaktion 78	A	0	0	-21697	N	20779	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-26388	N	-26388	N
Kraftreaktion 80	A	0	0	-26885	N	30210	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-25741	N	-25741	N
Kraftreaktion 82	A	0	0	-26989	N	30588	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-26280	N	-26280	N
Kraftreaktion 84	A	0	0	-25271	N	28535	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-17937	N	-17882	N
Seite A				-206573	N	13221	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-9377	N	-494	N
Kraftreaktion 87	B	0	0	-21629	N	20184	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-26551	N	-26551	N
Kraftreaktion 89	B	0	0	-27009	N	30087	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-25915	N	-25915	N
Kraftreaktion 91	B	0	0	-26854	N	30610	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-26106	N	-26106	N
Kraftreaktion 93	B	0	0	-24899	N	28420	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-18331	N	-18182	N
Seite B				-206671	N	12053	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-9353	N	-619	N
Kraftreaktion 96	C	0	0	-21524	N	20410	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-26243	N	-26243	N
Kraftreaktion 98	C	0	0	-26828	N	29933	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-25609	N	-25609	N
Kraftreaktion 100	C	0	0	-26847	N	30556	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-26125	N	-26125	N
Kraftreaktion 102	C	0	0	-25057	N	28557	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-18527	N	-18392	N
Seite C				-206113	N	12469	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-9424	N	-631	N
Kraftreaktion 105	D	0	0	-21654	N	20564	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-26405	N	-26405	N
Kraftreaktion 107	D	0	0	-26905	N	30117	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-25679	N	-25679	N
Kraftreaktion 109	D	0	0	-26846	N	30577	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-26250	N	-26250	N
Kraftreaktion 111	D	0	0	-24916	N	28504	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-18615	N	-18441	N
Seite D				-206694	N	12356	N
Gesamt				-826051	N	50099	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	12795	0	N
Kraftreaktion 38	A	-1	11989	0	N
Kraftreaktion 39	A	-2	10207	-1	N
Kraftreaktion 40	A	0	8336	0	N
Kraftreaktion 41	A	0	8510	-1	N
Kraftreaktion 42	A	0	7897	0	N
Kraftreaktion 43	A	0	8805	-1	N
Kraftreaktion 44	A	1	9342	0	N
Kraftreaktion 45	A	1	11596	-1	N
Kraftreaktion 46	A	0	13510	0	N
Seite A			102987		N
Kraftreaktion 47	B	-12651	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-12026	-1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-10274	-2	-1	N
Kraftreaktion 50	B	-8363	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-8465	0	-1	N
Kraftreaktion 52	B	-7844	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-8748	0	-1	N
Kraftreaktion 54	B	-9277	0	0	N
Kraftreaktion 55	B	-11484	1	-1	N
Kraftreaktion 56	B	-13484	0	0	N
Seite B		-102616			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-12722	0	N
Kraftreaktion 58	C	1	-11974	0	N
Kraftreaktion 59	C	2	-10195	-1	N
Kraftreaktion 60	C	0	-8355	0	N
Kraftreaktion 61	C	0	-8525	-1	N
Kraftreaktion 62	C	0	-7968	0	N
Kraftreaktion 63	C	0	-8851	-1	N
Kraftreaktion 64	C	-1	-9361	0	N
Kraftreaktion 65	C	-1	-11565	-1	N
Kraftreaktion 66	C	0	-13471	0	N
Seite C			-102987		N
Kraftreaktion 67	D	12800	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	11986	1	0	N
Kraftreaktion 69	D	10134	2	-1	N
Kraftreaktion 70	D	8274	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	8449	0	-1	N
Kraftreaktion 72	D	7888	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	8752	0	-1	N
Kraftreaktion 74	D	9259	-1	0	N
Kraftreaktion 75	D	11521	-2	-1	N
Kraftreaktion 76	D	13555	0	0	N
Seite D		102618			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,25	0,25	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,25	0,25	mm
Verschiebungskomponente Z	-0,63	0,03	mm
Gesamtverformung	0,00	0,63	mm
Normalspannung X	-35,16	17,69	MPa
Normalspannung Y	-35,18	17,74	MPa
Normalspannung Z	-15,23	7,53	MPa
Schubspannung XY	-18,60	18,89	MPa
Schubspannung YZ	-12,81	12,71	MPa
Schubspannung XZ	-12,75	12,68	MPa
Vergleichsspannung	0,02	42,28	MPa
Max. Hauptspannung	-8,72	28,99	MPa
Minimale Hauptspannung	-46,05	0,98	MPa
Hauptspannungsvektor	0,00	41,80	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	1,00	3,00	-
Druck	0,00	30,46	MPa
Spalt	-0,18	0,00	mm
Reibspannung	0,00	5,44	MPa
Gleitweg	0,00	0,12	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	0	0	10703	N
Kraftreaktion 2	A	8	0	47424	N
Kraftreaktion 3	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 4	A	-1	-3	63298	N
Kraftreaktion 5	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 6	A	-1	-3	64020	N
Kraftreaktion 7	A	0	0	0	N
Kraftreaktion 8	A	-3	-3	59739	N
Kraftreaktion 9	A	0	0	242	N
Seite A				245426	N
Kraftreaktion 10	AB	0	0	10818	N
Kraftreaktion 11	B	0	8	46444	N
Kraftreaktion 12	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 13	B	3	-1	63024	N
Kraftreaktion 14	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 15	B	3	-1	63817	N
Kraftreaktion 16	B	0	0	0	N
Kraftreaktion 17	B	3	-3	59491	N
Kraftreaktion 18	B	0	0	360	N
Seite B				243954	N
Kraftreaktion 19	BC	0	0	10730	N
Kraftreaktion 20	C	-7	0	46733	N
Kraftreaktion 21	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 22	C	1	3	62943	N
Kraftreaktion 23	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 24	C	1	3	63753	N
Kraftreaktion 25	C	0	0	0	N
Kraftreaktion 26	C	3	3	59653	N
Kraftreaktion 27	C	0	0	326	N
Seite C				244138	N
Kraftreaktion 28	CD	0	0	10781	N
Kraftreaktion 29	D	0	-7	46981	N
Kraftreaktion 30	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 31	D	-3	1	63203	N
Kraftreaktion 32	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 33	D	-3	1	64034	N
Kraftreaktion 34	D	0	0	0	N
Kraftreaktion 35	D	-3	3	59696	N
Kraftreaktion 36	D	0	0	384	N
Seite D				245079	N
Gesamt				978597	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-11354	N	-651	N
Kraftreaktion 78	A	0	0	-25225	N	22199	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-28202	N	-28202	N
Kraftreaktion 80	A	0	0	-31160	N	32138	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-28100	N	-28100	N
Kraftreaktion 82	A	0	0	-31182	N	32838	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-28151	N	-28151	N
Kraftreaktion 84	A	0	0	-29184	N	30555	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-19681	N	-19439	N
Seite A				-232239	N	13187	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-11328	N	-510	N
Kraftreaktion 87	B	0	0	-24913	N	21531	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-28442	N	-28442	N
Kraftreaktion 89	B	0	0	-30893	N	32131	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-28121	N	-28121	N
Kraftreaktion 91	B	0	0	-31015	N	32802	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-28177	N	-28177	N
Kraftreaktion 93	B	0	0	-28941	N	30550	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-20198	N	-19838	N
Seite B				-232028	N	11926	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-11339	N	-609	N
Kraftreaktion 96	C	0	0	-24856	N	21877	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-28173	N	-28173	N
Kraftreaktion 98	C	0	0	-30849	N	32094	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-28063	N	-28063	N
Kraftreaktion 100	C	0	0	-30952	N	32801	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-28168	N	-28168	N
Kraftreaktion 102	C	0	0	-29025	N	30628	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-20247	N	-19921	N
Seite C				-231672	N	12466	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-11406	N	-625	N
Kraftreaktion 105	D	0	0	-24958	N	22023	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-28427	N	-28427	N
Kraftreaktion 107	D	0	0	-30929	N	32274	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-28129	N	-28129	N
Kraftreaktion 109	D	0	0	-31075	N	32959	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-28377	N	-28377	N
Kraftreaktion 111	D	0	0	-28948	N	30748	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-20518	N	-20134	N
Seite D				-232767	N	12312	N
Gesamt				-928706	N	49891	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	15578	0	N
Kraftreaktion 38	A	-1	14478	0	N
Kraftreaktion 39	A	-2	12374	-1	N
Kraftreaktion 40	A	0	10163	0	N
Kraftreaktion 41	A	0	10377	-1	N
Kraftreaktion 42	A	0	9682	0	N
Kraftreaktion 43	A	0	10766	-1	N
Kraftreaktion 44	A	1	11395	0	N
Kraftreaktion 45	A	2	14078	-1	N
Kraftreaktion 46	A	0	16378	0	N
Seite A			125269		N
Kraftreaktion 47	B	-15427	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-14529	-1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-12469	-2	-1	N
Kraftreaktion 50	B	-10184	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-10325	0	-1	N
Kraftreaktion 52	B	-9581	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-10611	0	-1	N
Kraftreaktion 54	B	-11219	1	0	N
Kraftreaktion 55	B	-13970	2	-1	N
Kraftreaktion 56	B	-16455	0	0	N
Seite B		-124770			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-15633	0	N
Kraftreaktion 58	C	1	-14538	0	N
Kraftreaktion 59	C	2	-12376	-1	N
Kraftreaktion 60	C	0	-10127	0	N
Kraftreaktion 61	C	0	-10340	-1	N
Kraftreaktion 62	C	0	-9696	0	N
Kraftreaktion 63	C	0	-10754	-1	N
Kraftreaktion 64	C	-1	-11364	0	N
Kraftreaktion 65	C	-2	-14043	-1	N
Kraftreaktion 66	C	0	-16397	0	N
Seite C			-125268		N
Kraftreaktion 67	D	15618	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	14470	1	0	N
Kraftreaktion 69	D	12301	2	-1	N
Kraftreaktion 70	D	10079	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	10303	0	-1	N
Kraftreaktion 72	D	9636	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	10640	0	-1	N
Kraftreaktion 74	D	11239	-1	0	N
Kraftreaktion 75	D	13989	-2	-1	N
Kraftreaktion 76	D	16495	0	0	N
Seite D		124770			N

Gesamtsystem	Minimum	Maximum	Einheit
Verschiebungskomponente X	-0,07	0,07	mm
Verschiebungskomponente Y	-0,07	0,07	mm
Verschiebungskomponente Z	-0,06	0,01	mm
Gesamtverformung	0,00	0,09	mm
Normalspannung X	-74,22	24,57	MPa
Normalspannung Y	-74,28	24,40	MPa
Normalspannung Z	-27,84	12,95	MPa
Schubspannung XY	-25,66	25,67	MPa
Schubspannung YZ	-22,48	22,50	MPa
Schubspannung XZ	-22,48	22,46	MPa
Vergleichsspannung	0,05	70,92	MPa
Max. Hauptspannung	-17,27	43,50	MPa
Minimale Hauptspannung	-88,77	3,09	MPa
Hauptspannungsvektor	0,03	86,69	MPa

Kontaktflächen	Minimum	Maximum	Einheit
Status	0,00	3,00	-
Druck	0,00	57,65	MPa
Spalt	-42,11	0,00	mm
Reibspannung	0,00	3,39	MPa
Gleitweg	0,00	0,05	mm

Vertikalreaktionen U	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 1	AD	1	1	54764	N
Kraftreaktion 2	A	27	-3	117880	N
Kraftreaktion 3	A	0	1	2969	N
Kraftreaktion 4	A	0	-14	148220	N
Kraftreaktion 5	A	0	1	2909	N
Kraftreaktion 6	A	0	-14	148470	N
Kraftreaktion 7	A	0	1	2919	N
Kraftreaktion 8	A	-2	-14	146780	N
Kraftreaktion 9	A	-1	1	3259	N
Seite A				628170	N
Kraftreaktion 10	AB	-1	1	54360	N
Kraftreaktion 11	B	3	28	116510	N
Kraftreaktion 12	B	-1	0	2980	N
Kraftreaktion 13	B	14	0	147970	N
Kraftreaktion 14	B	-1	0	2923	N
Kraftreaktion 15	B	14	0	148500	N
Kraftreaktion 16	B	-1	0	2931	N
Kraftreaktion 17	B	14	-3	147000	N
Kraftreaktion 18	B	-1	-1	3285	N
Seite B				626459	N
Kraftreaktion 19	BC	-1	-1	54578	N
Kraftreaktion 20	C	-27	3	117580	N
Kraftreaktion 21	C	0	-1	2965	N
Kraftreaktion 22	C	0	14	148010	N
Kraftreaktion 23	C	0	-1	2911	N
Kraftreaktion 24	C	0	14	148530	N
Kraftreaktion 25	C	0	-1	2919	N
Kraftreaktion 26	C	2	13	147080	N
Kraftreaktion 27	C	1	-1	3264	N
Seite C				627836	N
Kraftreaktion 28	CD	0	-1	54471	N
Kraftreaktion 29	D	-3	-27	117710	N
Kraftreaktion 30	D	1	0	2965	N
Kraftreaktion 31	D	-14	0	148110	N
Kraftreaktion 32	D	1	0	2911	N
Kraftreaktion 33	D	-14	0	148560	N
Kraftreaktion 34	D	1	0	2923	N
Kraftreaktion 35	D	-13	2	147130	N
Kraftreaktion 36	D	1	1	3267	N
Seite D				628047	N
Gesamt				2510513	N

Vertikalreaktionen O	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit	Summe	Einheit
Kraftreaktion 77	AD	0	0	-56115	N	-1351	N
Kraftreaktion 78	A	0	1	-60749	N	57131	N
Kraftreaktion 79	A	0	0	-72958	N	-69989	N
Kraftreaktion 80	A	0	2	-72659	N	75561	N
Kraftreaktion 81	A	0	0	-75110	N	-72201	N
Kraftreaktion 82	A	0	2	-72566	N	75904	N
Kraftreaktion 83	A	0	0	-73648	N	-70729	N
Kraftreaktion 84	A	0	1	-70108	N	76672	N
Kraftreaktion 85	A	0	0	-62312	N	-59053	N
Seite A				-616225	N	11945	N
Kraftreaktion 86	AB	0	0	-55148	N	-788	N
Kraftreaktion 87	B	-1	0	-60005	N	56505	N
Kraftreaktion 88	B	0	0	-73065	N	-70085	N
Kraftreaktion 89	B	-2	0	-72196	N	75774	N
Kraftreaktion 90	B	0	0	-75305	N	-72382	N
Kraftreaktion 91	B	-2	0	-72040	N	76460	N
Kraftreaktion 92	B	0	0	-74287	N	-71356	N
Kraftreaktion 93	B	-1	0	-69529	N	77471	N
Kraftreaktion 94	B	0	0	-62398	N	-59113	N
Seite B				-613973	N	12486	N
Kraftreaktion 95	BC	0	0	-55995	N	-1417	N
Kraftreaktion 96	C	0	-1	-60367	N	57213	N
Kraftreaktion 97	C	0	0	-73012	N	-70047	N
Kraftreaktion 98	C	0	-2	-72396	N	75614	N
Kraftreaktion 99	C	0	0	-75071	N	-72160	N
Kraftreaktion 100	C	0	-2	-72151	N	76379	N
Kraftreaktion 101	C	0	0	-74077	N	-71158	N
Kraftreaktion 102	C	0	-1	-69744	N	77336	N
Kraftreaktion 103	C	0	0	-62426	N	-59163	N
Seite C				-615239	N	12597	N
Kraftreaktion 104	CD	0	0	-55680	N	-1209	N
Kraftreaktion 105	D	1	0	-60529	N	57181	N
Kraftreaktion 106	D	0	0	-73166	N	-70201	N
Kraftreaktion 107	D	2	0	-72323	N	75787	N
Kraftreaktion 108	D	0	0	-75238	N	-72327	N
Kraftreaktion 109	D	2	0	-72153	N	76407	N
Kraftreaktion 110	D	0	0	-74095	N	-71172	N
Kraftreaktion 111	D	1	0	-69627	N	77503	N
Kraftreaktion 112	D	0	0	-62544	N	-59277	N
Seite D				-615355	N	12692	N
Gesamt				-2460792	N	49721	N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 37	A	0	107970	0	N
Kraftreaktion 38	A	1	73007	0	N
Kraftreaktion 39	A	-2	83096	-2	N
Kraftreaktion 40	A	0	52646	0	N
Kraftreaktion 41	A	-1	82249	-2	N
Kraftreaktion 42	A	0	51194	0	N
Kraftreaktion 43	A	-1	81570	-2	N
Kraftreaktion 44	A	0	57436	0	N
Kraftreaktion 45	A	-6	83016	-1	N
Kraftreaktion 46	A	-1	108850	0	N
Seite A			781034		N
Kraftreaktion 47	B	-106120	0	0	N
Kraftreaktion 48	B	-74584	1	0	N
Kraftreaktion 49	B	-83747	-2	-2	N
Kraftreaktion 50	B	-51421	0	0	N
Kraftreaktion 51	B	-82293	-1	-2	N
Kraftreaktion 52	B	-51069	0	0	N
Kraftreaktion 53	B	-82424	-1	-2	N
Kraftreaktion 54	B	-55963	0	0	N
Kraftreaktion 55	B	-83527	-6	-1	N
Kraftreaktion 56	B	-109780	-1	0	N
Seite B		-780928			N

Horizontalreaktionen	Seite	X Betrag	Y Betrag	Z Betrag	Einheit
Kraftreaktion 57	C	0	-108070	0	N
Kraftreaktion 58	C	-1	-72549	0	N
Kraftreaktion 59	C	2	-83983	-2	N
Kraftreaktion 60	C	0	-50547	0	N
Kraftreaktion 61	C	1	-82335	-2	N
Kraftreaktion 62	C	0	-51071	0	N
Kraftreaktion 63	C	1	-82322	-2	N
Kraftreaktion 64	C	0	-56024	0	N
Kraftreaktion 65	C	6	-83637	-1	N
Kraftreaktion 66	C	1	-109720	0	N
Seite C			-780258		N
Kraftreaktion 67	D	107820	0	0	N
Kraftreaktion 68	D	73119	-1	0	N
Kraftreaktion 69	D	83640	2	-2	N
Kraftreaktion 70	D	51295	0	0	N
Kraftreaktion 71	D	82644	1	-2	N
Kraftreaktion 72	D	50963	0	0	N
Kraftreaktion 73	D	82340	1	-2	N
Kraftreaktion 74	D	55682	0	0	N
Kraftreaktion 75	D	83287	6	-1	N
Kraftreaktion 76	D	110560	1	0	N
Seite D		781350			N

Art der Meldung	Text	Berechnungsdurchlauf
Warnung	Mindestens ein Körper ist möglicherweise nicht mit genug Randbedingungen versehen, so dass sich Starrkörperbewegungen ergeben. Es wurden schwache Federn eingesetzt, um eine Lösung zu erzielen. Einzelheiten hierzu finden Sie im Hilfesystem unter "Problembhebung".	AS I/starr; AS I/1,88; AS I/1,4; AS I/1,2; AS I/1,0; AS I/0,8; AS II/starr; AS II/1,88; AS II/1,4; AS II/1,2; AS II/1,0; AS II/0,8; AS II/0,6; AS II/0,4
Warnung	Der Kontaktstatus hat sich plötzlich geändert. Überprüfen Sie die Ergebnisse sorgfältig auf eine mögliche Trennung von Kontaktflächen.	AS I/starr; AS I/1,88; AS I/1,4; AS I/1,2; AS I/1,0; AS I/0,8; AS II/1,88; AS II/1,4; AS II/1,2; AS II/1,0; AS II/0,8; AS II/0,6; AS II/0,4
Warnung	Es sind große Verformungseffekte aktiviert. Dadurch sind u. U. einige der zugeordneten Lagerungen, wie z. B. Verschiebung, zylindrische oder reibungslose Lagerungen oder starre Auflager, ungültig geworden. Einzelheiten hierzu finden Sie im Hilfesystem unter "Problembhebung".	AS I/starr; AS I/1,88; AS I/1,4; AS I/1,2; AS I/1,0; AS I/0,8; AS II/starr; AS II/1,88; AS II/1,4; AS II/1,2; AS II/1,0; AS II/0,8; AS II/0,6; AS II/0,4
Warnung	Der Referenzkonvergenzwert kann unter dem Schwellenwert liegen. Sie können den minimalen Referenzwert überschreiben, indem Sie ihn unter den nichtlinearen Kontrollen der Analyseinstellungen angeben.	AS I/1,88; AS I/1,4; AS I/1,2; AS I/1,0; AS I/0,8
Fehler	Das Element [...] in Körper [...] (und eventuell weitere) wurden stark verzerrt. Sie können das fehlerhafte Objekt und/oder die Geometrie wählen, indem Sie diese Meldung mit der rechten Maustaste anklicken. Starke Elementverzerrungen sind häufig ein Zeichen dafür, dass Korrekturen an einer anderen Stelle notwendig sind. Steigern Sie die Last langsamer (mehr Substeps oder kleinere Zeitschritte). Alternativ können Sie versuchen, Elemente mit günstigeren Abmessungsverhältnissen zu erzeugen. Kontrollieren Sie weiterhin Materialdaten, Kontakteinstellungen und/oder Kopplungsgleichungen. Falls diese Meldung bereits in der ersten Iteration des ersten Substeps erscheint, prüfen Sie die Elementqualität. Sie können benannte Auswahlen des verletzenden Elements erstellen, indem Sie die Option "Elementverletzungen ermitteln" unter den Lösungsinformationen aktivieren.	AS I/1,88; AS I/1,4; AS I/1,2; AS I/1,0; AS I/0,8; AS II/1,88; AS II/1,4; AS II/0,8; AS II/0,6; AS II/0,4
Fehler	Eine interne Lösungsgrößengrenze wurde überschritten. (Knotennummer [...], Körper [...], DOF UY) Bitte prüfen Sie die Randbedingungen hinsichtlich Lasten und unzureichenden Lagerungen. Sie können das Objekt und/oder die Geometrie auswählen, indem Sie die Meldung mit der rechten Maustaste anklicken. Bitte prüfen Sie den Abschnitt "Fehlerbehebung" im Hilfesystem auf weitere Informationen.	AS II/1,2; AS II/1,0

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt,

dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zustimmung des/der beteiligten Unternehmen/s zur Verwendung betrieblicher Unterlagen habe ich eingeholt.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form weder veröffentlicht noch einer anderen Prüfungsbehörde/-stelle vorgelegt.

Kunz, Christian

Name, Vorname Verfassender

Glauchau, 28.08.2024

Ort, Datum Abgabetermin



Unterschrift Verfassender

Erklärung zur Prüfung wissenschaftlicher Arbeiten

Die Bewertung wissenschaftlicher Arbeiten erfordert die Prüfung auf Plagiate. Die hierzu von der Staatlichen Studienakademie Glauchau eingesetzte Prüfungskommission nutzt sowohl eigene Software als auch diesbezügliche Leistungen von Drittanbietern. Dies erfolgt gemäß § 7 des Gesetzes zum Schutz der informationellen Selbstbestimmung im Freistaat Sachsen (Sächsisches Datenschutzgesetz – SächsDSG) vom 25. August 2003 (Rechtsbereinigt mit Stand vom 31. Juli 2011) im Sinne einer Datenverarbeitung im Auftrag.

Der Studierende bevollmächtigt die Mitglieder der Prüfungskommission hiermit zur Inanspruchnahme o.g. Dienste. In begründeten Ausnahmefällen kann der Datenschutzbeauftragte der Staatlichen Studienakademie Glauchau sowohl vom Verfasser der wissenschaftlichen Arbeit als auch von der Prüfungskommission in den Entscheidungsprozess einbezogen werden.

Name:	Kunz
Vorname:	Christian
Matrikelnummer:	4004534
Studiengang:	Bauingenieurwesen
Titel der Arbeit:	Untersuchungen zum Tragverhalten einer scheinrechten Decke aus Natursteinmauerwerk
Datum:	28.08.2024
Unterschrift:	