

# Ein Beitrag zur Bemessung von Holzrahmenbauwänden mit der Methode der Finiten Elemente

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor - Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Ulrich Meyer

aus Hamburg

Gutachter:

1. Prof. Dr.-Ing. Karl Rautenstrauch
2. Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Burkhardt
3. Prof. Dr.-Ing. Martin Speich

Tag der Disputation: 20. Dezember 2004

## **Danksagung**

Für ihre wertvollen Hinweise und die Begutachtung meiner Arbeit danke ich den Herren Prof. Dr.-Ing. Karl Rautenstrauch, Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Burkhardt und Prof. Dr.-Ing. Martin Speich.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, ohne deren Unterstützung diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Hamburg im Januar 2005

Ulrich Meyer

## Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1.	Einführung	1
1.1	Zielsetzung	1
1.2	Holzrahmenbau	5
1.2.1	Grundprinzip des Holzrahmenbaus	5
1.2.2	Holzrahmenbau in Geschichte und Gegenwart	6
1.2.3	Vor- und Nachteile der Bauweise	8
1.2.4	Normenlage / Nachweismethode	8
1.3	Methode der Bemessung mit Finiten Elementen	9
1.3.1	Grundprinzip	9
1.3.2	Geschichte der FEM	10
1.3.3	Allgemeine Vorgehensweise	11
1.3.4	Bemerkungen zur Anwendung der FEM	12
1.4	Stand der Forschung	15
1.4.1	Zur Verwendung der FEM zur Bemessung von Holzrahmenbauteilen	15
1.4.2	Zur Bemessung von Elementen des Holzrahmenbaus	16
1.5	Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Berechnung der Systeme mit der FE-Methode	18
2.	Übersicht der betrachteten Systeme	20
2.1	System 1 – Einrastertafel aus [39]	20
2.1.1	Wandaufbau	20
2.1.2	Versuchsergebnisse	22
2.2	System 2 – Zweirastertafel aus [39]	23
2.2.1	Wandaufbau	23
2.2.2	Versuchsergebnisse	25
2.3	System 3 – Mehrrastertafel aus [42]	26
2.3.1	Wandaufbau	26
2.3.2	Versuchsergebnisse	29
3.	Konstruktionsdetails der betrachteten System	30
3.1	Materialien	30
3.1.1	Vollholz, Materialkennwerte nach DIN 1052 und Eurocode 5	30
3.1.2	Holzwerkstoffe	32
3.1.2.1	Materialkennwerte nach DIN 1052 und Eurocode 5 für Flachpressplatten nach DIN 68763	32
3.1.2.2	Materialkennwerte nach [42] für Beplankung System 3	32
3.1.2.3	Elastizitätsmoduln nach eigenen Versuchen	33
3.2	Verbindungen – Normwerte und nichtlineare Last-Verformungskennlinien	36
3.2.1	Rahmenverbindungen Vertikalrippe - Horizontalrippe	36
3.2.1.1	Last-Verformungswerte nach DIN 1052	38
3.2.1.2	Last-Verformungswerte nach Eurocode 5	38
3.2.1.3	Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Raschper [39]	40
3.2.1.4	Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Jenkel [26]	41
3.2.1.5	Last-Verformungskennlinien nach Versuchsauswertung System 1 und 2 [39]	41

3.2.1.6	Last-Verformungskennlinien nach Versuchsauswertung System 3 [42]	42
3.2.1.7	Wertediskussion	43
3.2.2	Nagelverbindungen Beplankung – Rahmen	49
3.2.2.1	Last-Verformungswerte nach DIN 1052 und Möhler [35] für Abscherbelastung	49
3.2.2.2	Last-Verformungswerte nach Eurocode 5 für Abscherbelastung	49
3.2.2.3	Last-Verformungskennlinie nach Modell Raschper [39] für Abscherbelastung	51
3.2.2.4	Last-Verformungskennlinie nach Versuchen von Padberg [38] für Abscherbelastung	51
3.2.2.5	Wertediskussion der Last-Verformungskennlinien für Abscherbelastung	52
3.2.2.6	Last-Verformungswert für Ausziehbelastung	54
3.2.3	Verbindungen Wand - Unterkonstruktion	55
3.2.3.1	Vertikale Bettung der Fußrippe	55
3.2.3.2	Vertikale Zuganschlüsse	56
3.2.3.3	Horizontalaufleger	58
3.2.4	Sonstige Verbindungen	59
3.2.4.1	Systeme 1 und 2 – Anschluß des Lasteinleitungsriegels	59
3.2.4.2	System 3 – Anschluß des Lasteinleitungsriegels	60
3.3.	Imperfektionen der Rahmenelemente	61
4.	Arbeitsmittel, Berechnungsmodelle und Modellbildung	64
4.1	Hardware	64
4.2	Software	64
4.3	Modellierung der einzelnen Tragwerksteile	64
4.3.1	Rahmenkonstruktion	64
4.3.2	Beplankung	65
4.3.3	Kontaktstöße der Rippen	65
4.3.4	Nagelverbindung Beplankung – Rahmen	65
4.3.5	Vertikale Bettung der Fußrippe	65
4.3.6	Vertikale Zuganschlüsse	66
4.3.7	Horizontalaufleger	66
4.3.8	Sonstige Verbindungen	66
4.3.8.1	Systeme 1, 2, 10, 20, 100 und 200 – Anschluß des Lasteinleitungsriegels	66
4.3.8.2	Systeme 3, 30 und 300 – Anschluß des Lasteinleitungsriegels	66
5.	Nachweis der Systeme nach DIN 1052 und Eurocode 5	67
5.1	System 1 - Einrastertafel	67
5.2	System 2 - Zweirastertafel	70
5.3	System 3 - Mehrrastertafel	73
5.3.1	Berechnung nach dem Verfahren von KESSEL [19]	73
5.3.2	Berechnung nach dem Verfahren von KÄLLSNER/GIRHAMMER/WU [28]	74
5.4	Ergebnisdiskussion	76
6.	Berechnung der Systeme mit der FE-Methode	77
6.1	Berechnungsmodelle	77

6.1.1	Berechnungsmodelle „System 1“, „System 2“ und „System 3“	78
6.1.2	Berechnungsmodelle „System 10“, „System 20“ und „System 30“	79
6.1.3	Berechnungsmodelle „System 100“, „System 200“ und „System 300“	80
6.2	Randbedingungen	81
6.2.1	Randbedingung „DIN 1052“	81
6.2.2	Randbedingung „EC 5“	82
6.2.3	Randbedingung „n.l. VM“	83
6.2.4	Randbedingung „n.l. VM(K)“	84
6.2.5	Randbedingung „n.l. VM+Mat“	85
6.2.6	Randbedingung „n.l. VM+Mat(K)“	85
6.3	Übersicht der Berechnungen, Berechnungsergebnisse	87
7.	Auswertung der Berechnungen der Kapitel 5 und 6 und Vergleich mit den Versuchsergebnissen aus [39] und [42]	88
7.1	System 1, 10 und 100 - Einrastertafel	90
7.2	System 2, 20 und 200 - Zweirastertafel	101
7.3	System 3, 30 und 300 - Mehrrastertafel	117
8.	Zusammenfassung und Ausblick	130
8.1	Ergebnisse der Untersuchungen der einzelnen Systeme	130
8.2	Zusammenfassung der Arbeit	134
8.3	Ausblick	135
	Verzeichnis der häufig verwendeten Formelzeichen	136
	Literatur- und Quellenverzeichnis	137
	Verzeichnis der Anhänge	141

## 1. Einführung

### 1.1 Zielsetzung

Ausgangspunkt dieser Arbeit war die grundsätzliche Betrachtung von Zugkraftanschlüssen im Holzrahmen- und Holztafelbau unter folgenden Aspekten:

1. Bei der bautechnischen Prüfung von Holzrahmenbauwerken fallen immer wieder Konstruktionen auf, bei denen die nach DIN 1052 erforderlichen Zugverankerungen, besonders der Zugstiele aussteifender Wandscheiben in der Unterkonstruktion fehlen oder nur sehr mangelhaft ausgeführt sind. Die Notwendigkeit solcher Verankerungen wird von den ausführenden Zimmereiunternehmen nicht selten bestritten, eine nachträgliche Ausführung ist mindestens sehr aufwendig, wenn auch technisch realisierbar.

Daraus ergibt sich folgende Frage:

Gibt es Möglichkeiten, Konstruktionen des Holzrahmen- und Holztafelbaus

- in ihrer Gesamtheit,
- mit vertretbarem ingenieurtechnischem Aufwand,
- unter Berücksichtigung aller vorhandenen Aussteifungselemente und
- unter Berücksichtigung der tatsächlichen Belastungszustände

zu berechnen und dabei die Standsicherheit der Gesamtkonstruktion, ohne bzw. mit den tatsächlich erforderlichen Zugkraftanschlüssen, unter Berücksichtigung der in Deutschland bzw. in Europa üblichen Sicherheiten nachzuweisen.

2. Im Ausland und hier besonders in Nordamerika und Skandinavien ist gerade für den Anschluß der resultierenden vertikalen Zuglasten, gegenüber den Ausführungsarten in Deutschland eine entscheidende konstruktive Vereinfachung möglich. Die Aufnahme der Zugkraft erfolgt nicht durch Verankerung des Zugstiels, sondern durch eine kontinuierliche Verankerung der Fußrippe der Wandscheibe. Diese Ausführungsart findet sich im Handbuch „Canadian Wood-Frame House Construction“ [18] und liegt auch dem Berechnungsverfahren von KÄLLSNER [28] zugrunde.

Dies führt zu folgender Frage:

Welche Möglichkeiten der rechnerischen Erfassung solcher konstruktiven Veränderungen gibt es, um befriedigende ingenieurtechnische Nachweise für Einzelbauteile oder Gesamtkonstruktionen zu führen ?

Bisher wurden die wesentlichen Erkenntnisse über das Tragverhalten von Holzrahmen- und Holztafelbaukonstruktionen in Versuchen an 1:1-Modellen gewonnen.

Diese Methode hat entscheidende Nachteile:

1. Die Größe der Versuchsmodelle ist begrenzt.  
Dies ist gerade im Hinblick auf die mögliche Mehrgeschossigkeit von Holzrahmenkonstruktionen nachteilig. Grundsätzlich gilt, je größer das Versuchsmodell, desto aufwendiger und teurer der Versuch.
2. Die aufnehmbare Datenmenge ist begrenzt.  
Selbstverständlich kann mit dem heutigen Stand der Technik eine Vielzahl von Daten gemessen und aufgezeichnet werden, allerdings gilt auch hier, je größer die Anzahl der aufzuzeichnenden Versuchswerte, desto aufwendiger und teurer der Versuch.  
Außerdem können Versuchswerte nicht nachträglich ermittelt werden. Wurde ein Wert nicht gemessen und aufgezeichnet, so ist er verloren.
3. Der Aussagegehalt der Versuchsergebnisse ist strenggenommen auf den konkreten Versuchsaufbau beschränkt. Verallgemeinerungen und Übertragungen auf Konstruktionen mit anderen Randbedingungen sind fehlerbehaftet.  
Der Wechsel von Randbedingungen wie Beplankungsmaterialien, Verbindungsmittel und Verbindungsmittelabstände ist nur durch den Bau eines neuen Versuchsmodells möglich.
4. Bei Mehrfachbelastung eines Versuchsmodells können unerkannte lokale Überlastungen beispielsweise der Nagelverbindungen zur Verfälschung der Messergebnisse führen.
5. Zuweilen beeinflussen bestimmte Konstruktionsdetails des Versuchsmodells die Messergebnisse entscheidend (z.B. Fugen in Kontaktstößen etc.).  
Günstigenfalls ist eine Schwankung der Messergebnisse bei Versuchsreihen mit mehreren Modellen feststellbar. Die Ursachen können jedoch in der Regel nur vermutet werden.
6. Notwendige Abweichungen des Versuchsmodells von tatsächlichen Konstruktionen, z.B. durch die Art der Lasteinleitung oder die Anordnung der Messeinrichtungen können ebenfalls Auswirkungen auf die Messergebnisse haben.
7. Grundsätzlich sind Parameterstudien, also die gezielte Veränderung des Tragverhaltens durch Veränderung eines Konstruktionsdetails, sehr aufwendig.

Für die Berechnung komplexer ingenieurtechnischer Probleme wird heute im allgemeinen die Methode der Berechnung mit Finiten Elementen verwendet. Auch für Elemente des Holzrahmenbaus wurden in unterschiedlichen Untersuchungen solche Berechnungen angestellt, siehe hierzu Kapitel 1.4 „Stand der Forschung“.

Unter der Voraussetzung, daß unter Ansatz der tatsächlichen Randbedingungen der Holzrahmenbaukonstruktion das reale Tragverhalten modelliert werden kann, wäre eine Modellbildung mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) ein möglicher Lösungsansatz für die eingangs erläuterten Problemstellungen und würde im Idealfall keine der für 1:1-Versuche genannten Nachteile beinhalten:

1. Modellgröße und Datenmenge sind durch heute verfügbare EDV-Anlagen kaum begrenzt, ihre Größe wird absehbar keine Rolle mehr spielen.
2. Für den Wechsel der Randbedingungen sind nur geringe Änderungen der Eingabedaten erforderlich.
3. Alle Kraft- und Spannungszustände sind erfassbar, lokale Überlastungen können erkannt werden.
4. Die Auswirkungen einzelner Konstruktionsdetails auf die Ergebnisse können erfasst und beschrieben werden, Parameterstudien sind möglich.
5. Die Modellbildung kann nahe an der Realität erfolgen.

Es bleibt die Frage, ob eine ausreichend exakte Modellierung von Elementen des Holzrahmenbaus mit der Methode der Finiten Elemente möglich ist.

Um diese Frage zu klären, werden in dieser Arbeit verschiedene Systeme von Holzrahmenbauwänden, für die in der Literatur Versuchsergebnisse publiziert sind, mit der FEM modelliert und nachgerechnet.

Dabei wurde ein FE-Programm verwendet, welches in der bauingenieurtechnischen Praxis Anwendung findet.

Solche Programme, welche für komplexe Probleme des Bauingenieurwesens entwickelt wurden (wie z.B. SOFiSTiK), unterliegen im Vergleich zu FE-Programmen aus dem Bereich der Forschung (z.B. ANSYS) deutlichen Einschränkungen. Die Auswahl erfolgte jedoch im Hinblick auf eine universelle Anwendbarkeit des Verfahrens für die bautechnische Praxis.

Außerdem sollen im Verlauf der Arbeit keine Berechnungsmodelle zur Beschreibung des vollständigen Versagensverlaufes der Konstruktionen erarbeitet werden, sondern die FE-Methode auf ihre Eignung für die Bemessung von Holzrahmenbauelementen und die Ermittlung der baupraktisch relevanten Verformungen hin überprüft werden.

Im Verlaufe der Arbeit trat die Frage auf, ob eigene Versuche an 1:1-Modellen von Wandtafeln durchgeführt werden sollten. Dabei hätte die Ausführung bestimmter Konstruktionsdetails genauer untersucht werden können und es hätten verschiedene Meßwerte festgehalten werden können, welche in der Literatur nicht publiziert sind. Letztendlich wurde auf die Durchführung solcher Versuche aus zwei Gründen verzichtet:

- Die Versuche hätten an Mehrrastertafeln durchgeführt werden müssen, für die im Rahmen dieser Arbeit keine ausreichenden Versuchseinrichtungen zur Verfügung standen
- und
- der Zeit- und Kostenaufwand hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

Die Arbeit gliedert sich in folgende Schritte:

1. Kapitel 2: Literaturrecherche zu Versuchen an Holzrahmenbauwänden
2. Kapitel 3: Ermittlung der Berechnungsgrundlagen  
Diese Grundlagenermittlung umfasst sowohl die Angaben zu Materialwerten und Last-Verformungskennlinien in den verschiedenen Normen als auch eigene Versuchsdurchführungen.
3. Kapitel 4: Modellbildung  
Dabei wurden für jedes Wandsystem verschiedene Modelle zur Erfassung des Einflusses der Elementierung gebildet.
4. Kapitel 5 und 6: Berechnung und Vergleich der Ergebnisse
5. Kapitel 7 und 8: Auswertung

**Ziel der Arbeit ist also die Beantwortung der Frage, ob eine für die baupraktische Bemessung ausreichend exakte Modellierung von Elementen des Holzrahmenbaus mit der Methode der Finiten Elemente möglich ist, welche Voraussetzungen dafür geschaffen werden müssen und wie die Ergebnisse zu bewerten sind.**

Die eingangs genannten ursprünglichen Fragen traten bei der Bearbeitung in den Hintergrund, werden jedoch bei der Auswertung berücksichtigt.

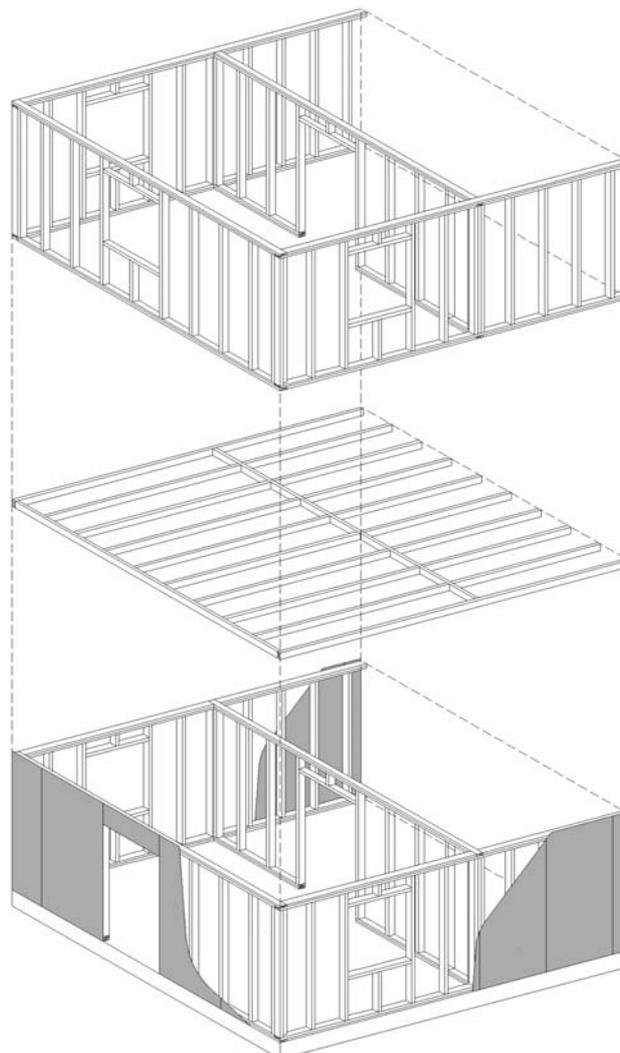
## 1.2 Holzrahmenbau

### 1.2.1 Grundprinzip des Holzrahmenbaus

Als Holzrahmenbau wird eine Tragwerkskonstruktion von Gebäuden bezeichnet, bei der Rippen-Konstruktionen aus Vollholz (Rahmen) den wesentlichen Vertikallastabtrag übernehmen und dabei durch Beplankungen (Holzwerkstoffplatten u.a.) ausgesteift werden. Dabei erfolgt die Anordnung der vertikalen Rippen in einem regelmäßigen Raster derart, daß die Vertikallasteinleitung aus Sparren und Deckenbalken jeweils direkt in eine Vertikalrippe erfolgt. Biegebelastete horizontale Wandbauteile finden sich im Regelfall nur in Sturzbereichen von Türen und Fenstern. Die Lastübertragung erfolgt durch Kontaktstoß zwischen den Rippen, jedoch sind Zugkraftanschlüsse für aus Wind- und Aussteifungslasten resultierende abhebende Lasten erforderlich.

Die Beplankung der Vollholzrahmen wird heute i.d.R. genagelt bzw. geklammert, seltener geklebt oder mit Holzschrauben befestigt.

Die Konstruktionsprinzipien können anschaulich der nachfolgenden Darstellung entnommen werden.



Als Grundraster für die Anordnung der Stiele und damit auch der Decken- und Dachbalken bzw. der Sparren wird häufig ein Maß von 62,5 cm verwendet. Dieses Maß korrespondiert mit den handelsüblichen Abmessungen der Beplankungswerkstoffe, kann aber selbstverständlich variiert werden.

Grundsätzlich können Holzrahmenbauten vor Ort aus den einzelnen Stielen, Riegeln und Beplankungen errichtet werden. Diese Art der Errichtung von Holzrahmenbauten ist vor allem in Nordamerika verbreitet, siehe hierzu auch die nachfolgenden Abschnitte.

In Deutschland findet sich die Bauweise vorwiegend bei der als Holztafelbau bezeichneten Art der Fertighausherstellung. Dabei werden Dach-, Decken- und Wandtafeln vorgefertigt und vor Ort lediglich zusammengebaut.

Heute findet man häufig Mischformen der beiden Konstruktionsarten, auch Mischformen mit konventionellen Baumethoden.

Die Errichtung von Holzrahmenbaukonstruktionen erfolgt i.d.R. mit geschoßhohen Stielen („platform frame“). Dies bietet sich vor allem bei der Errichtung vor Ort an, da die Bauteile insgesamt handhabbarer sind. Bei der Vorfertigung der Tafeln werden auch zweigeschossige Elemente gefertigt, da zur Errichtung ohnehin Hilfsmittel erforderlich sind und der Zusammenbau vor Ort zeitsparender erfolgen kann.

### **1.2.2 Holzrahmenbau in Geschichte und Gegenwart**

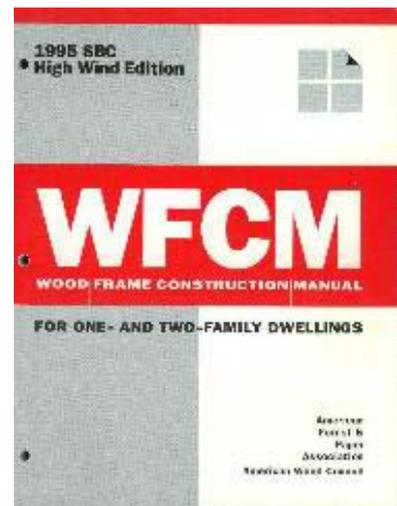
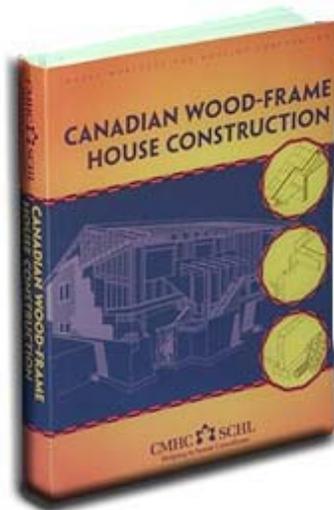
Die Geschichte des Holzrahmenbaus ist in der einschlägigen Literatur hinreichend dargestellt und soll hier nur kurz gestreift werden.

Die Bauweise entwickelte sich vor allem in Nordamerika und wird dort bereits seit rund 160 Jahren praktiziert und vervollkommnet.

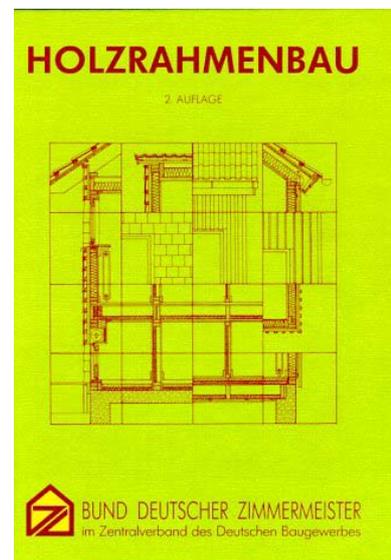
Einerseits haben bedeutende Architekten wie Rudolf Schindler und Frank Lloyd Wright Einfluß auf die Bauweise genommen, andererseits steht sie wie kaum eine andere Bauart für das „do-it-yourself“.

Konrad Wachsmann und Walter Gropius entwickelten ab 1941 für die von ihnen gegründete Firma „General Panel Corporation“ ein System für Fertigbauhäuser, welches unter dem Namen „Packaged House System“ bekannt wurde. Die universell einsetzbaren Bauelemente und der von Wachsmann eigens entwickelte universelle Standardknoten erlaubten es, mit fünf ungelerten Arbeitern in weniger als neun Stunden ein sofort beziehbares Haus einschließlich der Installationen zu errichten.

In Nordamerika machte die Einführung standardisierter Raster und Bauteilabmessungen und die Entwicklung besonderer „Bauanleitungen“, z.B. „Canadian Wood-Frame House Construction“ oder des „Wood Frame Construction Manual“ die Errichtung sogenannter „hypothekenfähiger“ Häuser durch Nichtfachleute möglich. Dabei umfassen die Bauanleitungen alle Abschnitte des Hausbaus, vom Ausheben der Baugrube bis zum Einbau der Installationen.



In Deutschland hat der Holzrahmenbau als Bauweise einen weit geringeren Stellenwert als in Nordamerika oder Skandinavien. Jedoch finden sich zahlreiche Zimmereibetriebe, welche Häuser in dieser Bauart errichten. Dabei wird in der Regel durch den Bauherren ein hoher Anteil an Eigenleistungen erbracht, wodurch die Baukosten gesenkt werden können. Die Möglichkeit eines Bauens nach Bauanleitung ohne fachkundige Betreuung gibt es in Deutschland nicht. Trotzdem finden sich etliche Publikationen, welche auf die verschiedenen Details eingehen und Konstruktions- und Dimensionierungshilfen bieten.



Von größerer Bedeutung ist die Bauweise als Holztafelbau bei der Errichtung vorgefertigter Gebäude. Dabei werden Dach-, Decken- und Wandelemente (Tafeln) inklusive der erforderlichen Dämmung und Installation vorgefertigt und vor Ort auf massiven Gründungsplatten bzw. Kellergeschossen zusammengebaut. Dadurch werden die Bauzeiten extrem verkürzt. Fertighaushersteller wie beispielsweise die Firma OKAL können auf jahrzehntelange Erfahrung im Fertighausbau verweisen.

Zukünftig besteht auch in Deutschland die Möglichkeit, Gebäude in Holzrahmen- bzw. Holztafelbauweise mit mehr als 2 Vollgeschossen zu errichten. Deshalb kommt der möglichst exakten Berechnung von Spannungen, Auflagerlasten und Verformungen aus den verschiedenen Belastungszuständen eine immer größere Bedeutung zu.

### 1.2.3 Vor- und Nachteile der Bauweise

Nachfolgend sollen einige der wesentlichen Vor- und Nachteile genannt werden.

- Vorteile:
- Verwendung nachwachsender Rohstoffe
  - hoher Vorfertigungsgrad ermöglicht kurze Bauzeiten (Holztafelbau), Kostenersparnis
- bzw.
- hohes Maß an Eigenleistung des Bauherren möglich (Holzrahmenbau), Kostenersparnis
- Nachteile:
- Hohe Schallschutzanforderungen erhöhen den Konstruktionsaufwand
  - Bauphysikalische Fehler, beispielsweise eine Beschädigung der innenliegenden Dampfbremse durch Installationsarbeiten, können zu erheblichen Schäden an der tragenden Konstruktion führen.
  - Die Wand- und Deckenelemente besitzen eine geringe Energiespeicherfähigkeit. Gerade nicht unterkellerte Gebäude erwärmen sich im Sommer schneller und kühlen im Winter schneller aus als massive Gebäude.

### 1.2.4 Normenlage / Nachweismethoden

Für die Bemessung von Wandscheiben aus Tafeln gilt derzeit noch die DIN 1052 (Stand 04/88), insbesondere Teil 1, Abschnitt 11.4 und Teil 3.

Außerdem liegen vor der Eurocode 5, welcher zusammen mit dem Nationalen Einführungsdokument angewendet werden kann, und der Entwurf der neuen DIN 1052.

Da sich die Nachweise der neuen DIN 1052 zur Bemessung von Wandscheiben in den wesentlichen Punkten von denen des Eurocodes 5 nicht unterscheiden, werden in dieser Arbeit nur die DIN 1052, Stand 04/88 (im weiteren DIN 1052) und der Eurocode 5 verwendet.

Außerdem finden sich verschiedene weiterführende Nachweisverfahren in der Literatur, siehe hierzu Kapitel 1.4 „Stand der Forschung“.

Die einzelnen Berechnungsverfahren werden im Kapitel 5 „Nachweis der Systeme...“ angewendet und Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten aufgezeigt.

## 1.3 Methode der Berechnung mit Finiten Elementen

Die Methode der Bemessung mit Finiten Elementen, allgemein als FEM bezeichnet, ist heute zur Berechnung komplexer zwei- und dreidimensionaler Problemstellungen aus dem modernen Ingenieurbauwesen nicht mehr wegzudenken.

Mit ihr ist es möglich, Tragwerke mit beliebigen geometrischen Formen und aus verschiedenen Werkstoffen zu modellieren, diese mit unterschiedlichsten Lagerungsbedingungen zu versehen und auf die gewünschte Art und Weise zu belasten.

Dabei werden, richtige Handhabung der Methode und korrekte Modellbildung vorausgesetzt, i.d.R. Ergebnisse erzielt, welche eine sichere Bemessung der Tragwerke erlauben.

### 1.3.1 Grundprinzip

In Knothe, K., Wessels, H.: Finite Elemente [33], S. 9 wird das Grundprinzip der FE-Methode wie folgt erläutert:

„Bei der Finite-Elemente-Methode ist der Ausgangspunkt ein Variationsprinzip oder ein Prinzip der virtuellen Arbeit.

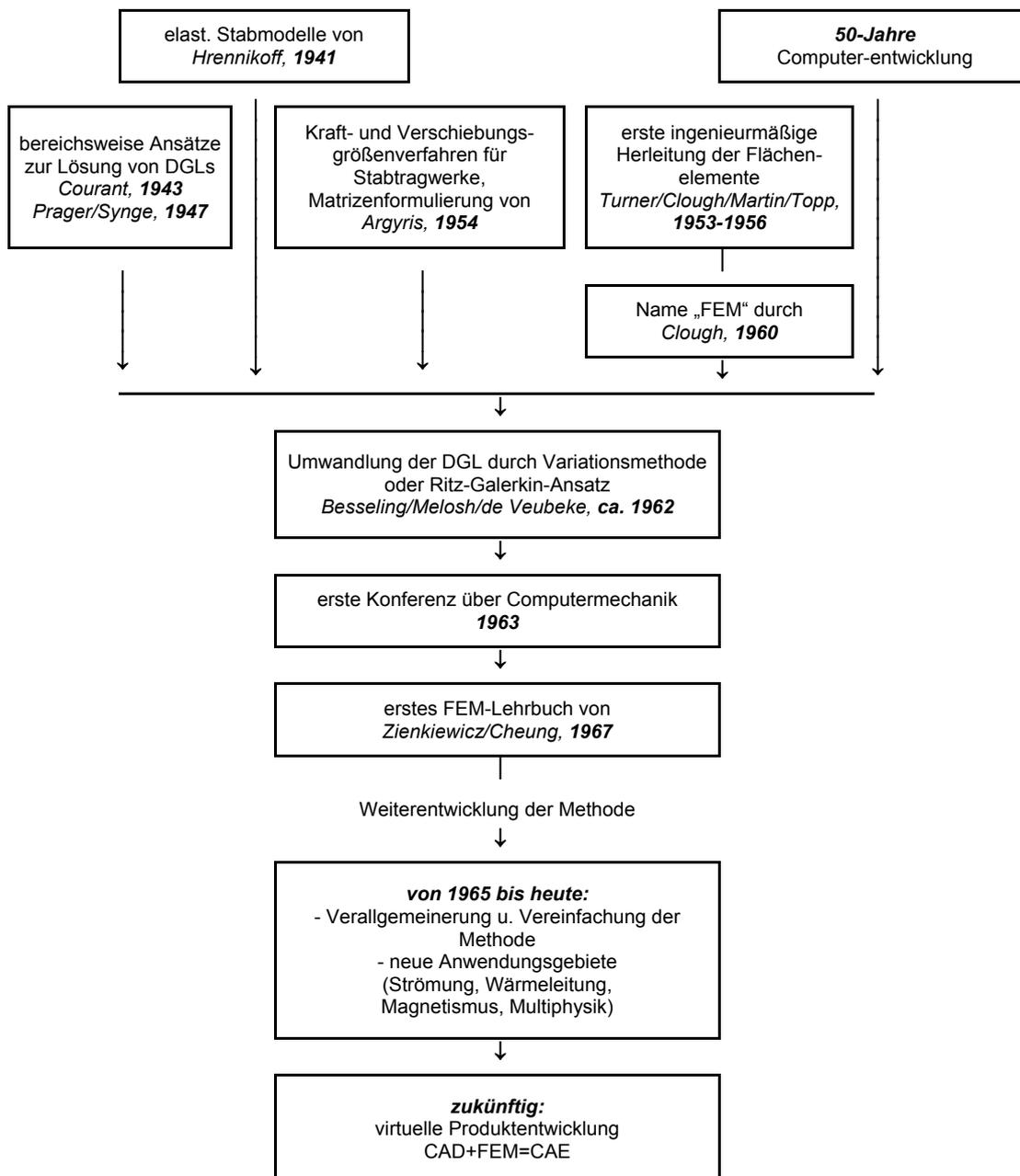
Ein derartiges Prinzip lässt sich aus der Differenzialgleichungsformulierung durch integrale Mittelwertbildung gewinnen.

Der Bereich wird mit einem Elementnetz überzogen (*Stab-, Platten-, Scheiben-, Schalen-, Volumenelemente*, Anm. d. Verf.).

In jedem der Elemente werden durch Einführung von Ansatzfunktionen, die mit den Funktionswerten in den Knoten gewichtet werden, die Integralausdrücke durch algebraische Ausdrücke ersetzt. Der Aufbau des Gleichungssystems für die Knotenfreiheitsgrade erfolgt elementweise, man erhält aber auch hier für jeden Knotenpunkt Gleichungen, in die wie bei der finiten Differenzenmethode die Freiheitsgrade des gerade betrachteten und der umliegenden Knoten eingehen.“

### 1.3.2 Geschichte der FEM

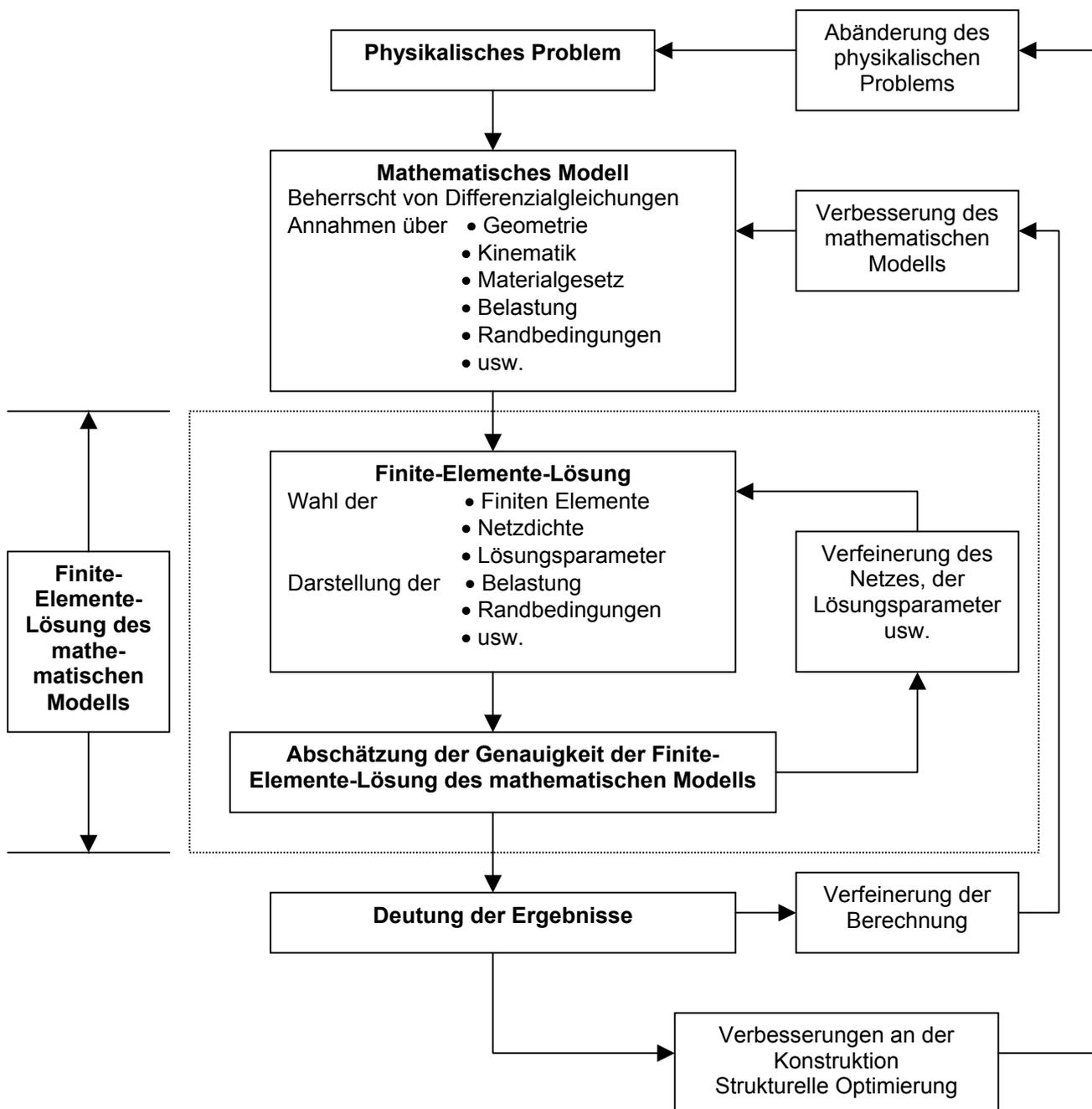
In Klein, B.: FEM-Grundlagen und Anwendungen der Finite-Elemente-Methode [32], S. 2 findet sich folgende Zeittafel der FE-Methode-Entwicklung nach CAD-FEM/Grafinng



Der letztgenannte Punkt ist mittlerweile ein selbstverständlicher Bestandteil der ingenieurtechnischen Praxis.

### 1.3.3 Allgemeine Vorgehensweise

Der Prozeß einer Finite-Elemente-Berechnung wird in Bathe, K.-J.: Finite-Elemente Methoden [11], S. 4 dargestellt.



### 1.3.4 Bemerkungen zur Anwendung der FEM

Grundsätzlich muß man sich der Tatsache bewusst sein, daß selbstverständlich auch die Berechnung von Tragwerken mit der FEM fehlerbehaftet sein kann. Dies wird bei statischen Berechnungen zuweilen übersehen. Die große Menge an Daten, welche bei der FEM in der Regel anfällt ist oft unübersichtlich, eine allumfassende Kontrolle der Ergebnisse zumeist schwierig, wenn auch punktuell möglich. Die Berechnungsmethode wird ja nicht zuletzt eingesetzt, um früher übliche Näherungsverfahren (z.B. Bemessung von Flachdecken über Tragstreifen) zu ersetzen und die Ergebnisse zu optimieren.

Trotzdem bleibt das Führen von Plausibilitätskontrollen oberstes Gebot, gerade dann, wenn die Berechnungsergebnisse nicht durch einen ausreichenden Erfahrungshintergrund gesichert sind.

Bei der in der vorliegenden Arbeit behandelten Problematik war eine Plausibilitätskontrolle bereits durch den Vergleich der Berechnungsergebnisse mit den Versuchsergebnissen gegeben. Die Suche nach möglichen Fehlern bei der Modellbildung war gerade bei der Mehrrastertafel ein wesentlicher Teil der Arbeit, siehe hierzu auch Kapitel 6.2.6 Randbedingungen „n.I. VM+Mat“ - Korrekturen System 3.

Fehler können zum einen anwender-, zum anderen programmbedingt sein. Im Folgenden soll kurz auf verschiedene Verfahrensweisen und typische Anwenderfehler eingegangen werden:

- **Idealisierung, Elementierung**

Die Idealisierung des zu berechnenden Tragwerks umfasst einerseits die stoffliche, andererseits die geometrische Modellbildung.

Materialdaten unterliegen unterschiedlich großen Streuungen. Bei den in Normen bzw. der Literatur angegebenen Werten handelt es sich in der Regel um 5%-Quantilwerte für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und 50%-Quantilwerte für die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, jeweils im ideal elastischen Bereich.

Die Gültigkeitsgrenzen werden nur in Sonderfällen überschritten, wodurch Untersuchungen zum Materialverhalten im plastischen Bereich erforderlich werden.

In dieser Arbeit wird ein nichtlinear-elastisches Verhalten des Bepankungsmateriales untersucht; dies umfasst sowohl die Ermittlung der Materialdaten, als auch die Modellierung.

Für die Idealisierung und Elementierung der einzelnen Tragwerksteile stehen verschiedene Elementtypen zur Verfügung.

Für die Problemstellungen des Bauingenieurwesens werden im Regelfall stabförmige Elemente zur Modellierung von Stützen, Riegeln und Balken verwendet und Flächenelemente zur Modellierung von Platten, Scheiben und Schalen.

Volumenelemente finden vor allem bei der Lösung geotechnischer Probleme Anwendung.

In der Regel bereitet die Wahl des richtigen Elementtyps für die genannten Bereiche keine Schwierigkeiten, solange es um die Berechnung globaler Tragwerke geht. Bei der zunehmenden Berechnung von Detailpunkten (Anschlussknoten, Verbindungsmitteln etc.) finden sich jedoch nach meiner Erfahrung nicht selten gravierende Fehler bei der Wahl des richtigen Elementes.

Die Elementierung der hier untersuchten Systeme wird in den entsprechenden Kapiteln beschrieben.

### • Verknüpfung der Elemente

Die Verknüpfung der einzelnen Elementtypen erfolgt in der Regel über Kopplungen, welche verschiedene Freiheitsgrade zulassen bzw. einschränken. Außerdem sind elastische Verbindungen der Elemente über Weg- und Drehfederelemente möglich.

Die Wahl der richtigen Elementverknüpfung ist für die Richtigkeit der erzielten Gesamtergebnisse von elementarer Bedeutung. Dabei werden zuweilen grobe Fehler bei der Wahl der eingeschränkten bzw. zugelassenen Freiheitsgrade gemacht. Beispielsweise sind bei dreidimensionalen Stabtragwerken rechnerisch Torsionseinspannungen zur Verhinderung der Stabrotation um die eigene Achse erforderlich, welche im ungünstigsten Fall zu real nicht vorhandenen Torsionsbeanspruchungen von Querschnitten und Anschlüssen führen.

Bei der Elementverknüpfung mit Weg- und Drehfederelementen muß einerseits auf die Verträglichkeit der an einem Knoten angreifenden Federwerte, andererseits auf die Gültigkeit des verwendeten Last-Verformungswertes geachtet werden. Zuweilen sind lineare Arbeitslinien von Verbindungsmitteln nur in sehr geringen Verformungsbereichen gültig.

Beispielhaft für diese Problematik ist die Ermittlung und Modellierung der Last-Verformungskennlinie der Nagelverbindung zwischen Beplankung und Rahmen an den hier untersuchten Systemen.

### • Vernetzung

Grundsätzlich ist es im Sinne der Optimierung der Ergebnisse zweckmäßig, in Bereichen von Spannungskonzentrationen (z.B. Stützungen, Verbindungen) engmaschige Netze zu erzeugen, in Bereichen gleichmäßiger Spannungen genügen grobmaschige Netze.

Die Befolgung einer solchen Regel setzt Überlegungen zum erwarteten Spannungsverlauf voraus, welche jedoch im Rahmen einer Plausibilitätskontrolle ohnehin angestellt werden sollten.

Allerdings treten bei zu engmaschigen Netzen zuweilen Singularitäten auf (z.B. Spannungsspitzen an Stützungen), welche zu erheblichen Überbemessungen führen können. Diesem kann durch realitätsnahe Modellbildung (z.B. Berücksichtigung der tatsächlichen Lasteinleitungsfläche bzw. Auflagerfläche) begegnet werden.

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluß der Vernetzung auf die ermittelte Beplankungsverformung untersucht und ausgewertet. Eine Betrachtung der an den Anschlusspunkten der Flächenelemente auftretenden lokalen Spannungen fand nicht statt, da das partiell auftretende Lochleibungsverhalten und die damit einhergehenden Verformungen bereits im Federwert der Verbindung enthalten waren.

Von den heute auf dem Markt befindlichen FEM-Berechnungsprogrammen werden für Flächenelemente in der Regel Dreieck- und Viereckformen zugelassen und Grenzen für Elementverzerrungen genannt.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, daß möglichst unverzerrte quadratische Elemente die größte Berechnungsgenauigkeit liefern.

#### • **Randbedingungen**

Die Modellierung der Randbedingungen stellt einen weiteren, für die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse entscheidenden Bereich dar.

Dies betrifft, wie bereits bei den Verknüpfungen beschrieben, die Wahl der eingeschränkten bzw. zugelassenen Freiheitsgrade und die Ermittlung der vorhandenen Nachgiebigkeiten.

Die Berücksichtigung der tatsächlichen Ausdehnung von Punkt- oder Linienauflagern kann zumindest für die Betrachtung der lokalen Spannungen wichtig sein; die Nachgiebigkeit der Lagerung kann sogar die globale Spannungsverteilung beeinflussen.

#### • **Belastungen**

Die Einwirkung äußerer Lasten auf das Tragwerk wird durch Einzel-, Linien und Flächenlasten modelliert. Dabei können auch verschiedene Formen der Lastfigur (Trapezlasten etc.) berücksichtigt werden.

Grundsätzlich muß der Tragwerksplaner entscheiden, mit welcher Genauigkeit er den tatsächlichen Verlauf der Lasteinleitung und die tatsächliche Größe der Lasteinleitungsflächen modelliert und wie er die daraus möglicherweise resultierenden Abweichungen der Berechnungsergebnisse berücksichtigt.

## 1.4 Stand der Forschung

Die Bemessung von Elementen des Holzrahmenbaus war und ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und Publikationen, eine vollständige Übersicht kann hier nicht geliefert werden.

Grundsätzlich bieten die Berichte der jährlich stattfindenden Meetings der Working Commission W18 - Timber Structures des International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB-W18) einen guten Überblick über den internationalen Forschungsstand im Bereich des Holzbaus allgemein.

### 1.4.1 Zur Verwendung der FE-Methode zur Bemessung von Holzrahmenbauteilen

- [39] Raschper, N.:  
Zur Berechnung von Wandscheiben in Holztafelbauart.  
Dissertation TU Braunschweig, 1990

Die Arbeit liefert einen guten Überblick über den Forschungsstand bis 1990. Die vorgestellten Versuchsergebnisse werden auch für diese Untersuchung verwendet (siehe Kapitel 2), die verwendeten Grundlagen vorgestellt und diskutiert (siehe Kapitel 3).

Die Berechnungen mit der FE-Methode sind stark geprägt vom damaligen Stand der Entwicklung und der Beschränkung durch die zur Verfügung stehende Rechentechnik, die Ergebnisse sind aus heutiger Sicht unbefriedigend.

- [27] Kasal, B., Leichti, R. J.:  
Nonlinear Finite-Element Model of Complete Light-Frame Wood Structures.  
in: Journal of the Structural Engineering, ASCE, 1994

Es wird ein dreidimensionales Berechnungsmodell vorgestellt, an welchem experimentelle Untersuchungen an Gesamttragwerken nachgerechnet werden.

Die Abweichungen der Berechnungsergebnisse von den Ergebnissen der numerischen Berechnung werden mit der Tatsache erklärt, daß einige der das Tragverhalten bestimmenden Variablen im Versuch nicht gemessen wurden und deshalb durch analytische Modelle ersetzt werden mussten.

Dieser Umstand spielt auch in dieser Arbeit eine Rolle. Er ist von elementarer Bedeutung für eine universelle Berechenbarkeit von Holzrahmenbauelementen, siehe hierzu Kapitel 3, 7 und 8.

- [34] Mettem, C.J., Bainbridge, R. J., Gordon, J. A.:  
A Limit State Design Approach To Timber Framed Walls.  
CIB-W18 Paper 31-1-1 (Meeting Savonlinna 1998),  
Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, 1998

- [10] Andreasson, S.:  
 Three-Dimensional Interaction In Stabilisation Of Multi-Storey Timber Frame Buildings.  
 CIB-W18 Paper 32-15-1 (Meeting Graz 1999),  
 Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, 1999

Beiden Arbeiten ist gemein, daß die verwendeten Modelle für die Berechnungen mit der FE-Methode an bestimmten Ergebnissen (z.B. der Kopfverschiebung) aus 1:1-Versuchen kalibriert wurden. Dabei wird eine bestimmte Randbedingung (in [10] das Last-Verformungsverhalten der Verbindung Beplankung-Riegel) so verändert, daß das gewünschte Ergebnis erzielt wird.

#### 1.4.2 Zur Bemessung von Elementen des Holzrahmenbaus

- [28] Källsner, B., Girhammar, U. A., Wu, L.:  
 A Simplified Plastic Model For Design Partially Anchored Wood-Framed Shear Walls.  
 CIB-W18 Paper 34-15-1 (Meeting Venedig 2001),  
 Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, 2001

Die Arbeit zeigt ein Bemessungsverfahren für den Entwurf von teilweise verankerten Holzrahmenbauwänden. Es basiert auf Versuchen an 1:1-Modellen, umfasst statische Lasten und kann nur verwendet werden, wenn die Verbindungsmittel zwischen Beplankung und Rahmen plastische Eigenschaften aufweisen. Es eignet sich zudem nur für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit, nicht für den Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

- [29] Källsner, B., Girhammar, U. A., Wu, L.:  
 A Plastic Design Model For Partially Anchored Wood-Framed Shear Walls With Openings.  
 CIB-W18 Paper 35-15-1 (Meeting Kyoto 2002),  
 Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, 2002

Die Arbeit stellt eine Erweiterung des in [28] vorgeschlagenen Bemessungsverfahrens auf Wandscheiben mit Öffnungen dar. Die dort genannten Voraussetzungen und Einschränkungen gelten auch für diese Erweiterung.

- [30] Källsner, B., Girhammar, U. A., Wu, L.:  
 On Test Methods For Determining Racking Strength And Stiffness Of Wood-Framed Shear Walls.  
 CIB-W18 Paper 35-15-2 (Meeting Kyoto 2002)  
 Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe, 2002

Zunächst werden unterschiedliche amerikanische und europäische Standards für die Untersuchung von Holzrahmenbauwandscheiben vorgestellt und verglichen.

Dann werden verschiedene Nachteile der einzelnen Testmethoden herausgearbeitet und Vorschläge für einen verbesserten europäischen Standard für die nachfolgend genannten Punkte gemacht:

- Berücksichtigung der Randabstände und Belastungsrichtungen bei der Versuchsanordnung zur Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens der Verbindung zwischen Beplankung und Rippen;
- Änderung der Hauptbelastungskonfiguration des Teststandards EN 594 zu einer reinen Schubbeanspruchung durch Lasteintrag in Richtung der Tafeldiagonalen;
- Regelung sonstiger praxisrelevanter Belastungskonfigurationen im Teststandard EN 594.

In Deutschland wurden in den letzten Jahren von KESSEL an der TU Braunschweig einige Forschungsvorhaben zum Thema Bemessung von Holzrahmenbauteilen durchgeführt. Von Bedeutung für diese Arbeit ist folgender Forschungsbericht:

- [19] Entwicklung eines Nachweisverfahrens für Scheiben auf der Grundlage von Eurocode 5 und DIN 1052 neu.  
Forschungsbericht der TU Braunschweig, Institut für Baukonstruktionen und Holzbau, 2001

Das Forschungsvorhaben umfasste das Tragverhalten aussteifender Scheiben des Holztafel- und Holzrahmenbaus und die Aufstellung von Bemessungsregeln, auch für Scheiben mit Öffnungen. Dafür wurde das Schubfeldverfahren eingeführt und weiterentwickelt.

Hinsichtlich der Bemessung von Wandscheiben können die Forschungsergebnisse folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Die Formeln des EC 5 bzw. der DIN 1052 neu zur Ermittlung der rechnerischen Belastung des Randdruckstieles und des Zuganschlusses von Einrastertafeln werden bestätigt.
- Es wird gezeigt, daß der Nachweis der Lasteinleitung aus der Kopfrippe in die Beplankung i.d.R. maßgebend gegenüber dem Nachweis der Schubtragfähigkeit der Beplankung ist.
- Die Überlastung der Verbindungsmittel zwischen unterem Beplankungsrand und Schwelle wird bestätigt (siehe hierzu Kapitel 5).
- Es wird eine Formel zur Ermittlung der Verformung einer Wandscheibe infolge Horizontalbelastung angegeben.
- Es wird ein Ersatzstabverfahren zur Berechnung von Schubfeldern mit Stabwerksprogrammen gezeigt (siehe hierzu Kapitel 5).

Sowohl die Berechnungsmethode von KÄLLSNER als auch die von KESSEL vorgestellte Methode werden im Kapitel 5 auf ihre Eignung zur Bemessung der in dieser Arbeit verwendeten Mehrresterwandtafel hin untersucht.

## 1.5 Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Berechnung der Systeme mit der FE-Methode

Bei der Bearbeitung wurde nach folgenden Prinzipien verfahren:

1. Wahl des Systems:  
Vom einfachen System (Einrastertafel) zum komplexen System (Mehrrastertafel);
2. Wahl des Berechnungsmodells:  
Vom Berechnungsmodell 1, 2 bzw. 3 (mittlerer Vernetzungsgrad der Beplankungsscheiben) zum Berechnungsmodell 10, 20 bzw. 30 (einfache Vernetzung) zum Berechnungsmodell 100, 200 bzw. 300 (hoher Vernetzungsgrad);  
(Erläuterungen siehe Kapitel 4.4 Berechnungsmodelle)
3. Wahl der Randbedingungen:  
Vom linearen Last-Verformungsverhalten aller Teile des Systems über das nichtlineare Last-Verformungsverhalten einzelner Teile zum nichtlinearen Last-Verformungsverhalten aller wesentlichen Teile des Systems.

DIN1052	lineares Last-Verformungsverhalten der Verbindungsmittel und der Materialien nach <u>DIN 1052</u> alt
EC5	lineares Last-Verformungsverhalten der Verbindungsmittel und der Materialien nach <u>Eurocode 5</u>
n.I.VM	<u>nichtlineares</u> Last-Verformungsverhalten der <u>Verbindungsmittel</u> gemäß Versuchen zum Kontaktstoß Stiel-Riegel und zur Nagelverbindung Beplankung-Rahmen (siehe Kapitel 3.2.1 und 3.2.2) lineares Last-Verformungsverhalten der Materialien nach DIN 1052 alt
n.I.VM(K)	Randbedingungen wie n.I.VM, jedoch <u>Korrektur</u> des Last-Verformungsverhaltens der Verbindungen Kontaktstoß Stiel-Riegel und Zuganschluß gemäß Angaben in [21] und [5] lineares Last-Verformungsverhalten der Materialien nach DIN 1052 alt
n.I.VM(B)	Randbedingungen wie n.I.VM bzw. n.I.VM(K), jedoch Berücksichtigung möglicher konstruktiver <u>Besonderheiten</u> : - Bettung des unteren Riegels - Nachgiebigkeit der Horizontallager - Kontaktstoß der Beplankung untereinander - Art des Anschlusses des Lasteinleitungsbalkens lineares Last-Verformungsverhalten der Materialien nach DIN 1052 alt

n.I.VM+Mat	<u>nichtlineares</u> Last-Verformungsverhalten der <u>Verbindungsmitel</u> gemäß Versuchen zum Kontaktstoß Stiel-Riegel und zur Nagelverbindung Beplankung-Rahmen und des <u>Beplankungsmaterials</u> gemäß Versuchen (siehe Kapitel 3.1.2) lineares Last-Verformungsverhalten des Rahmenmaterials nach DIN1052 alt
n.I.VM+Mat(K)	Randbedingungen wie n.I.VM+Mat, jedoch <u>Korrektur</u> des Last-Verformungsverhaltens der Verbindungen Kontaktstoß Stiel-Riegel und Zuganschluß gemäß Angaben in [21] und [5]
n.I.VM+Mat(B)	Randbedingungen wie n.I.VM+Mat bzw. n.I.VM+Mat(K), jedoch Berücksichtigung möglicher konstruktiver <u>Besonderheiten</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bettung des unteren Riegels</li> <li>- Nachgiebigkeit der Horizontallager</li> <li>- Kontaktstoß der Beplankung untereinander</li> <li>- Art des Anschlusses des Lasteinleitungsbalkens</li> </ul>

Zur Kontrolle der Qualität der Berechnungsergebnisse erfolgte jeweils ein Vergleich mit allen dokumentierten Versuchswerten, auch wenn diese nicht bemessungsrelevant waren.

Durch diese Vorgehensweise sollte sichergestellt werden, daß die Auswirkungen einer Veränderung der Randbedingungen immer zunächst am einfachsten System (Einrastertafel) betrachtet werden können.

## 2. Übersicht der betrachteten Systeme

Die für die vergleichenden Berechnungen herangezogenen experimentellen Untersuchungen von Wandsystemen wurden folgenden Arbeiten entnommen :

- System 1 und 2 : [39] Raschper, N.:  
Zur Berechnung von Wandscheiben in Holztafelbauart.  
Dissertation TU Braunschweig, 1990
- System 3 : [42] Das Trag- und Verformungsverhalten von Wandscheiben  
aus Holz und Holzwerkstoffen unter Schub-  
beanspruchung.  
Forschungsbericht Nr. 79501 im Auftrag der Entwicklungs-  
gemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen  
Gesellschaft für Holzforschung, München 1980

### 2.1 System 1 – Einrastertafel aus [39]

Bei dem in [39] beschriebenen Versuchen mit 1-Raster-Wandtafeln handelt es sich um Versuche der Firma OKAL aus den Jahren 1980 bis 1982.

#### 2.1.1 Wandaufbau

Ansicht, Schnitte und Details siehe Bild 2.1.1-1

Einrastertafel b/h = 1,25m/2,50m

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Rahmen                            | Querschnitte b/d=4/10cm Material ohne Angabe,<br>Annahme Nadelholz S10 (Gk II)                     |
| Beplankung                        | beidseitig Spanplatte d=13mm (ohne weitere Angabe),<br>Annahme Flachpreßplatte nach DIN 68763      |
| Verbindung<br>Beplankung – Rahmen | RiNä 28x50, Abstände siehe Bild 2.1.1-1  |
| Zugverankerung                    | 2 im Fundament fixierte Stahlstäbe, Anschluß an Zugstiel über<br>Profil U100 mit 70 Schrauben 6x40 |
| Horizontallager                   | Kontaktstoß an der Stirnfläche der Fußrippe  |
| Fußrippenlagerung                 | vollflächig auf der gesamten Tafelbreite   |
| Lasteinleitung                    | über lastverteilendes Kantholz b/d=4/9cm, Anschluß an<br>Kopfrippe mit 57 Nä 3,1x90                |
| Sonstiges                         | Anordnung einer Druckmessdose unter der druckbelasteten<br>Randrippe                               |

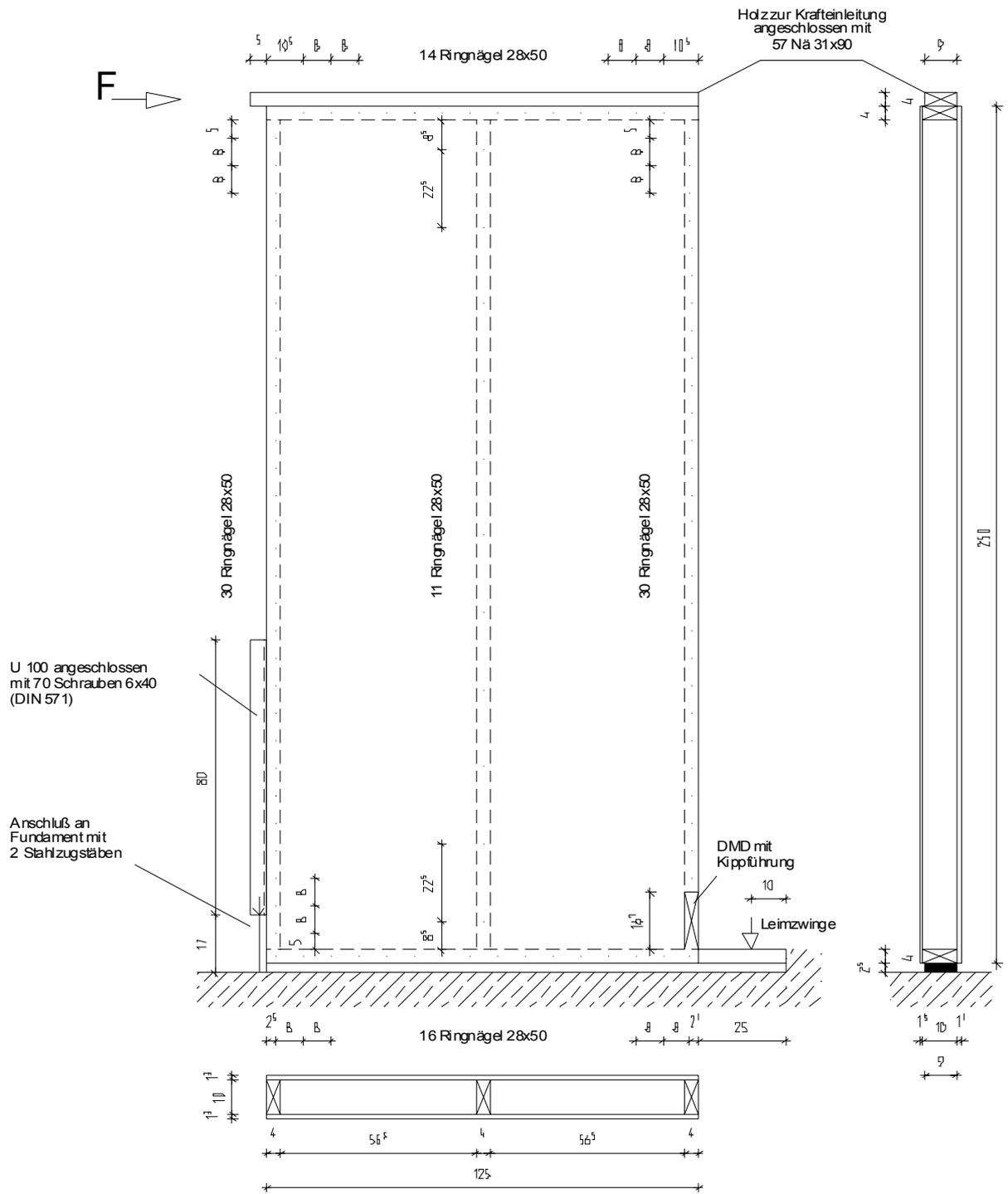


Bild 2.1.1-1 System 1: Ansicht, Schnitte und Details

## 2.1.2 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in [39] nur auszugsweise beschrieben, die Angabe der Stieldruckkraft erfolgte graphisch.

Grundsätzlich handelt es sich bei den Versuchsergebnissen um Mittelwerte aus Versuchen an einer unbekanntem Anzahl von Versuchskörpern.

Horizontal- last  $F_H$  [kN]	Auflagerkräfte		Verformungen				resultierende Last-Verformungskennwerte	
	D  [kN]	Z  [kN]	$s_{Dm}$  [mm]	$d_{Zr}$  [mm]	$d_{Dr}$  [mm]	$h_{Do}$  [mm]	Druckkontakt- stoß [kN/m]	Zugkontakt- stoß [kN/m]
2,5	k. A. <sup>(1)</sup>	4,6	-0,8	0,10	0,06	2,4	1425 <sup>(1)</sup>	siehe Kapitel 6
5,0	-2,0	9,1	-1,4	0,19 <sup>(3)</sup>	0,14	4,5	1430	
7,5	k. A. <sup>(2)</sup>	13,4	-1,6	0,28	0,20	6,2	3750 <sup>(2)</sup>	
10,0	-10,0	17,8	-1,8	0,36	0,27	8,0	5555	
15,0	-18,7	28,2	-2,6	0,47	0,42	12,5	7190	
20,0	-25,3	40,0	-4,0	0,63	0,59	19,2	6325	
25,0	-33,3	51,9	-6,3	0,77	0,80	29,1	5285	
30,0	-41,7	63,5	-9,0	0,89	1,01	41,7	4635	

Tabelle 2.1.2-1 Versuchsergebnisse für Einrastertafel nach [39]

- $F_H$  Horizontallast, Lastangriff am Lasteinleitungsriegel  
 $D$  Druckkraft in der rechten Randrippe, gemessen über Druckmessdose (in [39] graphisch angegeben, daher Ablesefehler möglich)  
 $Z$  Zugkraft an der linken Randrippe  
 $s_{Dm}$  Schwelleneindrückung unter rechter Randrippe  
 $d_{Zr}$  Längenänderung der „Zugdiagonale“ der Beplankung (links unten nach rechts oben)  
 $d_{Dr}$  Längenänderung der „Druckdiagonale“ der Beplankung (links oben nach rechts unten)  
 $h_{Do}$  horizontale Auslenkung der Druckrippe, gemessen 85mm unterhalb der Lasteinleitungsachse der Horizontalkraft

(1) Annahme  $D_{2,5}=1,14\text{kN}$  als linearer Zwischenwert

(2) Annahme  $D_{7,5}=6,0\text{kN}$  als linearer Zwischenwert

(3) Korrigierter Wert, in [39] 0,29

## 2.2 System 2 – Zweirastertafel aus [39]

Bei dem in [39] beschriebenen Versuch mit einer 2-Raster-Wandtafel handelt es sich um einen Versuch der Firma OKAL.

### 2.2.1 Wandaufbau

Ansicht, Schnitte und Details siehe Bild 2.2.1-1

Zweirastertafel b/h = 2,50m/2,50m

Rahmen	Querschnitte b/d=4/10cm Material ohne Angabe, Annahme Nadelholz S10 (Gk II)
Beplankung	beidseitig Spanplatte d=13mm (ohne weitere Angabe), Annahme Flachpreßplatte nach DIN 68763
Verbindung Beplankung – Rahmen	RiNä 28x50, Abstände siehe Bild 2.2.1-1
Zugverankerung	ohne Angabe, Annahme wie System 1
Horizontallager	Kontaktstoß an der Stirnfläche der Fußrippe
Fußrippenlagerung	vollflächig auf der gesamten Tafelbreite
Lasteinleitung	ohne Angabe, Annahme wie System 1
Sonstiges	Anordnung von Druckmessdosen unter den Vertikalrippen 1, 2, 3 und 4 (Zählung vom rechten, druckbelasteten Rand)



## 2.2.2 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse sind in [39] nur auszugsweise beschrieben. Grundsätzlich handelt es sich bei den Versuchsergebnissen um Werte aus Versuchen an einem Versuchskörper.

Belastung $F_H$ [kN]	Auflagerkräfte					Verformungen				resultierende Last-Verformungskennwerte	
	$Z_A$	$D_4$	$D_3$	$D_2$	$D_1$	$d_u$	$d_z$	$d_D$	$f_H$	Druckkontaktstoß [kN/m]	Zugkontaktstoß [kN/m]
	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
15,0	12,2	-	-2,0	-3,7	-6,6	-1,5	0,3	0,1	4,4	4400	siehe Kapitel 6
40,0	38,9	-	-1,4	-10,7	-21,1	-3,8	0,7	0,4	12,5	5550	

Tabelle 2.2.2-1 Versuchsergebnisse für Zweirastertafel nach [39]

- $F_H$  Horizontallast, Lastangriff am Lasteinleitungsriegel
- $D_1$ - $D_4$  Druckkraft in Vertikalrippen 1 bis 4, (Zählung vom rechten, druckbelasteten Rand)
- $Z_A$  Zugkraft an der linken Randrippe
- $d_u$  Schwelleneindrückung unter der rechtem Randrippe
- $d_z$  Längenänderung der „Zugdiagonalen“ der Beplankung (links unten nach rechts oben)
- $d_D$  Längenänderung der „Druckdiagonale“ der Beplankung (links oben nach rechts unten)
- $f_H$  horizontale Tafelkopfverschiebung

## 2.3 System 3 – Mehrrastertafel aus [42]

Bei den in [42] beschriebenen Versuchen mit einer Mehrrasterwandtafel handelt es sich um eine Untersuchung des Institutes für Holzforschung an der Universität München aus dem Jahre 1980.

### 2.3.1 Wandaufbau

Ansicht, Schnitte und Details siehe Bild 2.3.1-1 und Bild 2.3.1-2

Mehrrastertafel b/h = 7,50m/2,50m

Rahmen	Querschnitte b/d=4/10cm Rippen an den Beplankungsstößen b/d=8/10cm Material Fichtenholz, Annahme Nadelholz S10 (Gk II)
Beplankung	beidseitig Spanplatte d=13mm (weitere Angaben siehe 3.1.2.2), Annahme Flachpreßplatte nach DIN 68763
Verbindung Beplankung – Rahmen	Nä 28x50, Abstände siehe Bild 2.3.1-1
Zugverankerung	Randrippe Zugverankerung über ein Profil U160, Anschluß mit 5 Geka- Dübeln $\varnothing$ 80 und Bolzen M20 an den Stiel Innenrippe Zugverankerung über zwei Profile U100, Anschluß mit je 3 Geka Dübeln $\varnothing$ 80 und Bolzen M20 an den Stiel
Horizontallager	Kontaktstoß an der Stirnfläche der Fußrippe Anschluß der Innenrippenzugverankerung an die Unterkonstruktion
Fußrippenlagerung	vollflächig auf der gesamten Tafelbreite
Lasteinleitung	über lastverteilenden BSH-Balken b/d=10/25cm, Anordnung siehe Bild 2.3.1-1 auf Kopfrippe aufgeleimt
Sonstiges	Anordnung von Druckmessdosen unter den Vertikalrippen 1 bis 8 (Zählung vom linken, druckbelasteten Rand)

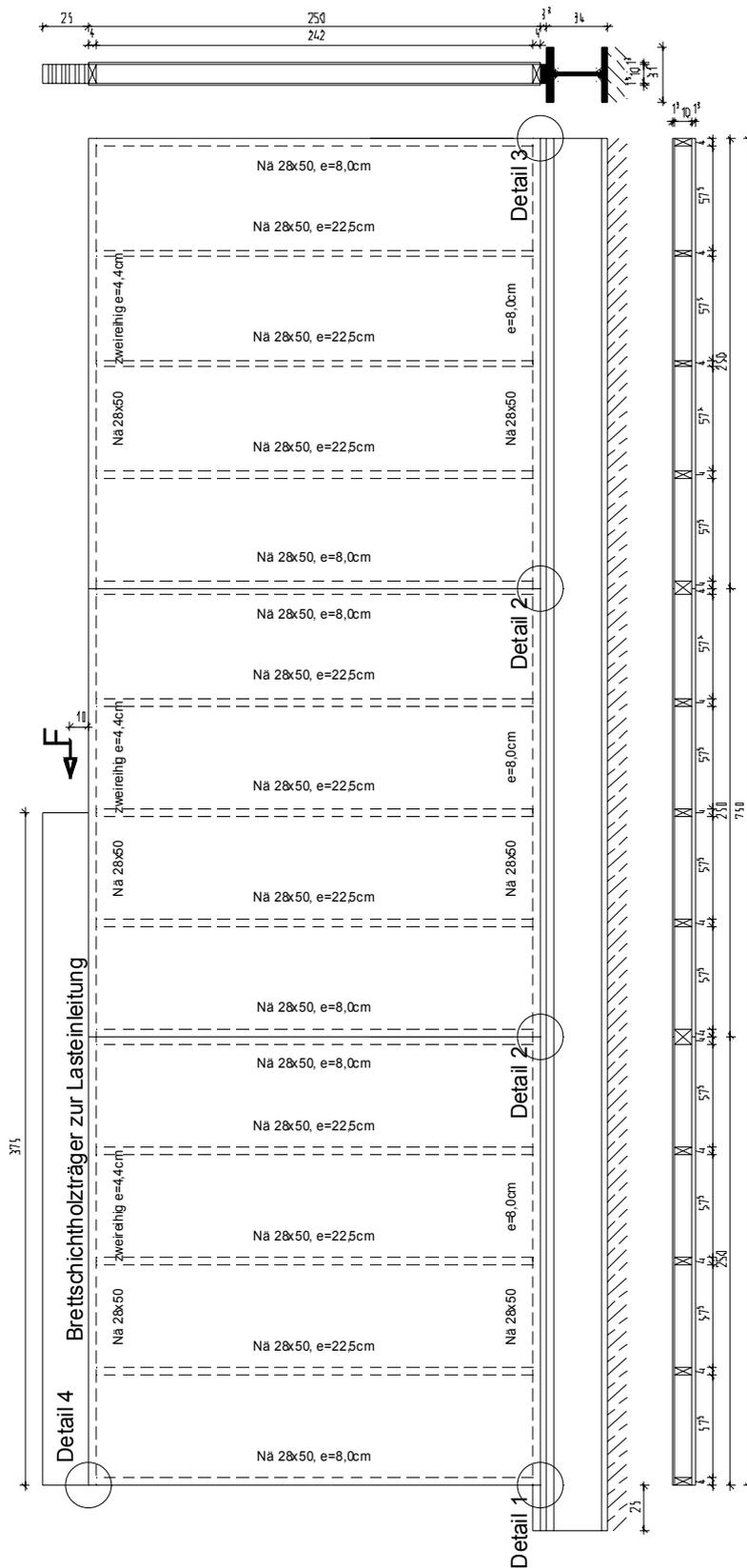


Bild 2.3.1-1 System 3: Ansicht und Schnitte

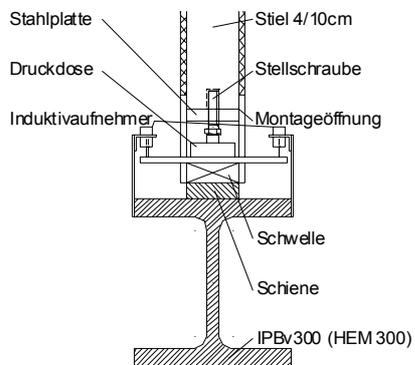


Bild 2.3.1-2 System 3: Detail 1

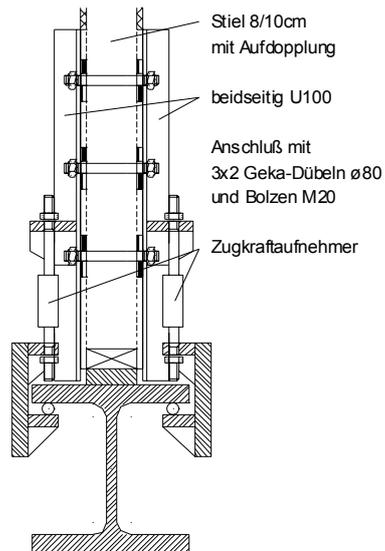


Bild 2.3.1-3 System 3: Detail 2

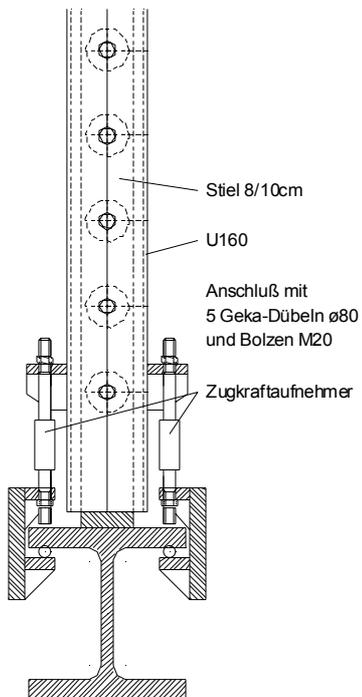


Bild 2.3.1-4 System 3: Detail 3

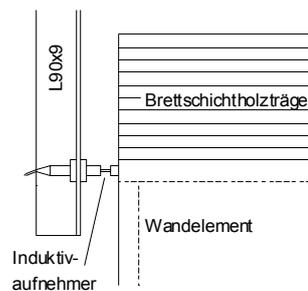


Bild 2.3.1-5 System 3: Detail 4

### 2.3.2 Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse werden hier nur auszugsweise wiedergegeben. Grundsätzlich handelt es sich bei den Versuchsergebnissen um Werte aus Versuchen an einem Versuchskörper. Weitere Versuchsergebnisse siehe Kapitel 6 und 7.

Werte aus Versuchsreihe V10

Versuchsergebnisse	Belastung $F_H$ [kN]	20	40	60	80	100
Kopfverschiebung [mm]		0,65	2,25	3,23	3,82	4,31
Schwelleneindrückung Stiel 1 [mm]		-0,565	-0,765	-0,785	-0,8	-0,83
Auflagerkräfte [kN]	Zug 1	3,338	7,185	11,574	16,144	20,422
	Zug 2	1,446	6,168	11,359	16,539	21,716
Stiendruckkräfte [kN]	Stiel 1	-1,532	-3,310	-5,621	-9,086	-12,983
	Stiel 2	-0,141	-0,599	-1,227	-1,880	-2,561
	Stiel 3	-0,610	-1,382	-2,243	-2,962	-3,628
	Stiel 4	-0,363	-0,683	-0,953	-1,129	-1,271
	Stiel 5	-0,004	-0,004	-0,004	-0,009	-0,020
	Stiel 6	0,085	0,151	0,185	0,193	0,195
	Stiel 7	0,148	0,229	0,258	0,261	0,257
	Stiel 8	0,044	0,071	0,083	0,074	0,070

Tabelle 2.3.2-1 Versuchsergebnisse für Mehrrastertafel nach [42]

Zählung der Stiele vom linken, druckbelasteten Rand

Kopfverschiebung gemessen an der druckrandseitigen Stirnfläche der Kopfriple  
 Zug 1 Zugverankerung Stiel 13 (rechte Randrippe)  
 Zug 2 Zugverankerung Stiel 9 (Innenrippe)

Für den Druckkontaktstoß der Vertikalrippe 1 mit der Fußrippe ergibt sich unter Beachtung der dokumentierten Werte für die Druckkraft und die Schwelleneindrückung an der Randrippe eine Last-Verformungskennlinie, welche trilinear mit folgenden Federwerten modelliert werden kann:

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 2712 \text{ kN/m} && \text{bis } v = 0,565 \text{ mm} \\
 C_2 &= 8890 \text{ kN/m} && \text{bis } v = 0,765 \text{ mm} \\
 C_3 &= 148815 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Sie wird bei Verwendung dieser Last-Verformungskennlinie in den FE-Modellen für die Kontaktstöße der Vertikalrippen 1 bis 4 angenommen.

### 3. Konstruktionsdetails der betrachteten Systeme

In diesem Abschnitt werden die konstruktiven Details der betrachteten Systeme beschrieben und die für die Berechnung erforderlichen Werte wie Elastizitäts- und Schubmodul der Materialien und Last-Verformungswerte bzw. –kennlinien der Verbindungen nach den jeweiligen Normen und gegebenenfalls nach entsprechenden Versuchen angegeben.

#### 3.1 Materialien

Die verwendeten Materialien waren bei allen drei betrachteten Systemen gleich.

Rahmenkonstruktion: Vollholz aus Nadelholz  
Annahme: Nadelholz S10 (Gk II)  
Rippenquerschnitte jeweils  $b/d=4/10\text{cm}$   
Vertikalrippen an den Beplankungsstößen bei System 3  
 $b/d=8/10\text{cm}$

Beplankung: beidseitig Flachpreßplatten mit  $d=13\text{mm}$   
Annahme: Flachpreßplatte nach DIN 68763

##### 3.1.1 Vollholz, Materialkennwerte nach DIN 1052 und Eurocode 5

Über die tatsächlichen Eigenschaften der bei den jeweiligen Wandkonstruktionen verwendeten Hölzer lassen sich im nachhinein keine Aussagen machen. Es muß hier davon ausgegangen werden, daß sie im wesentlichen den Anforderungen der Norm entsprachen, da anderenfalls der Aussagegehalt der Versuchsergebnisse auch grundsätzlich zweifelhaft wäre.

Da die Rahmenquerschnitte in den Rechenmodellen als Stäbe modelliert wurden, spielt hier nur der Elastizitätsmodul längs zur Faser eine Rolle. Der Einfluß des Elastizitätsmoduls quer zur Faser auf das Last-Verformungsverhalten von Lagerungen und Kontaktstößen wird in späteren Kapiteln beschrieben.

Zur Elastizität des Holzes siehe [37], Bild 1.17.

Die angegebene Quelle zeigt, daß die Spannungsdehnungslinie für Nadelholz bei Beanspruchung in Faserlängsrichtung

- für Zugbeanspruchung nahezu linear bis zur Zugfestigkeit  $\beta_Z$  (für NH 80-100  $\text{N/mm}^2$ ),
- für Druckbeanspruchung nahezu linear bis etwa 65-85 % der Druckfestigkeit  $\beta_D$  (für NH 40-50  $\text{N/mm}^2$ ) verläuft.

Der Betrag beider Werte liegt weit über den zulässigen Spannungen für Nadelholz nach DIN 1052, welche in allen hier beschriebenen und nachgerechneten Versuchen nicht überschritten werden.

Für die Berechnungen wird daher von einem linear-elastischen Verhalten der Rahmenquerschnitte ausgegangen.

- Elastizitätsmodul, Schubmodul

Materialkennwert	nach DIN 1052 [N/mm <sup>2</sup> ]	nach EC5 [N/mm <sup>2</sup> ]	
	Mittelwert	Mittelwert	5%-Fraktilwert
Elastizitätsmodul II zur Faser	10000	11000	7400
Elastizitätsmodul $\perp$ zur Faser	300	370	250
Schubmodul	500	690	460

Tabelle 3.1.1.1-1 Materialwerte

- Querdehnzahl

Die Querdehnzahl ist für die hier durchgeführten Berechnungen irrelevant, da die Querdehnung der Rippen keinen relevanten Verformungsbeitrag liefert.

- Eigengewicht

Das Eigengewicht beträgt 4,0 bis 6,0 kN/m<sup>3</sup> je nach Holzart und Holzfeuchte, es wird ein Rechenwert von 5,0 kN/m<sup>3</sup> verwendet. Der Einfluß des Holzeigengewichtes auf die Berechnungsergebnisse ist, schon auf Grund der geringen Holzquerschnitte, vernachlässigbar klein.

### 3.1.2 Holzwerkstoffe

Auch über die tatsächlichen Eigenschaften der bei den jeweiligen Wandkonstruktionen verwendeten Beplankungen lassen sich im Nachhinein keine Aussagen machen.

Es wird davon ausgegangen, daß sie im wesentlichen den Anforderungen der DIN 68763 an Flachpressplatten entsprechen.

#### 3.1.2.1 Materialkennwerte nach DIN 1052 und Eurocode 5 für Flachpressplatten nach DIN 68763

- Elastizitätsmodul, Schubmodul (für Platten  $d \leq 13\text{mm}$ )

Materialkennwert	nach DIN 1052 [N/mm <sup>2</sup> ]	nach EC5 [N/mm <sup>2</sup> ]
	Mittelwert	Mittelwert
Elastizitätsmodul in Plattenebene	2200	2200
Schubmodul	1100	1100

Tabelle 3.1.2.1-1 Materialwerte Flachpressplatten  $d \leq 13\text{mm}$

- Querdehnzahl Keine Angaben
- Eigengewicht Flachpressplatten 6-13mm 6,5 kN/m<sup>3</sup>

#### 3.1.2.2 Materialkennwerte nach [42] für Beplankung System 3

- Biege-E-Modul in Plattenebene  $E_{Bx,z}$ 

	2500 N/mm <sup>2</sup>
⊥	1900 N/mm <sup>2</sup>
Mittelwert	2200 N/mm <sup>2</sup>
- Querdehnzahl  
(Wird für die Berechnung aller System verwendet.)  $\mu = 0,19$
- Rohdichte 0,685 g/cm<sup>3</sup>

### 3.1.2.3 Elastizitätsmoduln nach eigenen Versuchen

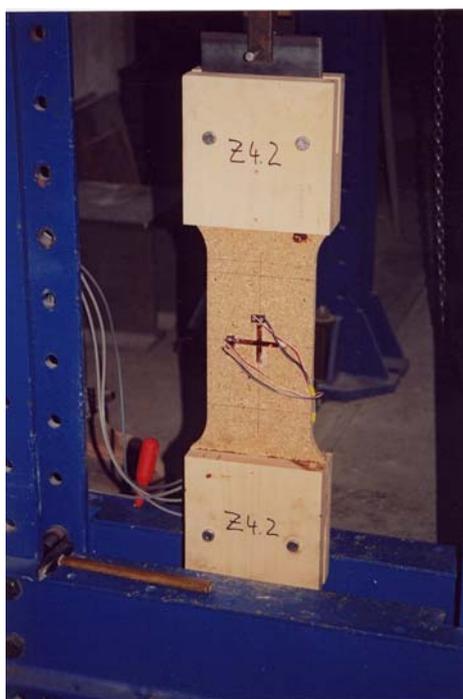
Bei den im Rahmen dieser Arbeit von mir an der Bauhaus-Universität Weimar durchgeführten Versuchen wurde das Last-Verformungsverhalten von Flachpressplatten in der hier relevanten Dicke von 13 mm untersucht.

Die Versuchsdurchführung entsprach der DIN EN 789 „Holzbauwerke, Prüfverfahren, Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Holzwerkstoffen“.

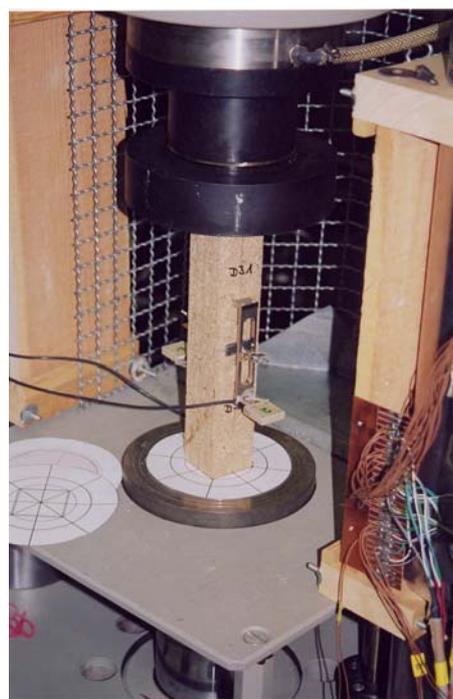
- **Probekörper**

Bei den Abmessungen der Probekörper für die Zugversuche mussten wegen der Größe des Prüfrahmens Einschränkungen hinsichtlich der Länge der Probekörper hingenommen werden. Deshalb wurde der Radius der Querschnittsverminderungen kleiner als in der DIN vorgeschrieben gewählt. Es muß deshalb davon ausgegangen werden, daß die Spannungsverteilung im Meßbereich noch nicht über die gesamte Querschnittsbreite konstant war.

Auf die Auswirkung dieses möglichen Meßfehlers wird bei der Auswertung der Meßwerte näher eingegangen.



Probekörper Zugversuch



Probekörper Druckversuch

Die Probekörperabmessungen finden sich im Anhang 1, Bilder 3.1.2.3-1 und 3.1.2.3-2.

Es wurden 5 Flachpreßplatten nach DIN 68763 mit den Abmessungen 13 x 925 x 2025 mm verwendet.

Die Lage der Proben in den einzelnen Platten ist im Anhang 1, Bild 3.1.2.3-3, dargestellt.

- **Versuchsergebnisse**

Die ermittelten Versuchswerte sind den Tabellen 3.1.2.3-1 bis 3.1.2.3-3 des Anhangs 1 zu entnehmen.

Für die Auswertung und Weiterverarbeitung der Meßwerte wurden die in den Tabellen dargestellten Spannungswerte verwendet. Für Spannungswerte, für die keine direkte Messung des zugehörigen Dehnungswertes erfolgte, wurden die gemessenen Dehnungen jeweils linear zwischen den nächstgelegenen Werten interpoliert.

- **Auswertung**

Die Auswertung der Versuchsergebnisse macht zwei Sachverhalte deutlich:

1. Im unteren Spannungsbereich bis etwa  $0,005 \text{ kN/cm}^2 = 0,05 \text{ N/mm}^2$  ist eine sinnvolle Auswertung der Versuchsergebnisse nicht möglich, da die Variationskoeffizienten größer als 25% sind.  
Die Berechnungen der einzelnen Systeme zeigen, daß die Membranspannungen der Beplankung für bautechnisch relevante Belastungen des Gesamtsystems zwischen  $-0,06 \text{ kN/cm}^2 = -0,6 \text{ N/mm}^2$  und  $+0,06 \text{ kN/cm}^2 = +0,6 \text{ N/mm}^2$  liegen.  
Eine genauere Messung der Spannungs-Dehnungs-Beziehungen in diesem Bereich ist mit den in der DIN EN 789 genannten Vorgaben (Probekörpergröße) nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand möglich.
2. Grundsätzlich ist die Drucksteifigkeit der untersuchten Flachpreßplatten je Plattenrichtung größer als ihre Zugsteifigkeit. Die Abweichung liegt für die Mittelwerte bei etwa 10%.  
Sie kann jedoch in Extremfällen und in Bereichen geringer Spannungen auch größer sein.  
Eine Korrektur des unter 3.1.2.3 erwähnten Meßfehlers bei der Ermittlung des Zugelastizitätsmoduls würde im Meßbereich zu größeren Dehnungen und damit zu einer weiteren Vergrößerung der Abweichung zwischen den E-Moduln führen.

Für die Berechnungen wird der in der Beplankung der Wandscheiben bei der jeweiligen Horizontallaststufe auftretende Membranspannungsbereich jeweils gedrittelt und die Mittelwerte der Zug- und der Druck-E-Moduln gebildet. Diese Gruppen von jeweils drei Zug- und drei Druck-E-Moduln werden als Materialwertsätze bezeichnet. Jeder Materialwertsatz deckt also einen bestimmten Spannungsbereich ab (z.B. MW12: Spannungsbereich  $-0,12 \text{ kN/cm}^2$  bis  $0,12 \text{ kN/cm}^2$ ).

Es werden Materialwertsätze sowohl für die über alle Proben gemittelten E-Moduln, als auch für extrem drucksteife bzw. extrem zugsteife Probenkombinationen gebildet. Entsprechend den Eingabebedingungen des verwendeten Berechnungsprogramms müssen für die extremen Materialwertsätze die Versuchswerte der jeweils orthogonalen Proben kombiniert werden. Selbstverständlich wurden nur solche Probenkombinationen gewählt, bei denen die Proben auch tatsächlich zu derselben Flachpreßplatte gehörten.

Spannung [kN/m <sup>2</sup> ]	mittlere		Materialwerte Mittelwerte				Materialwert- satzbezeichnung			
	Zug- E-Modul	Druck- E-Modul	MW 10		MW 12		MW 13		MW 14	
	[kN/m <sup>2</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	Zug- E-Modul [kN/m <sup>2</sup> ]	Druck- E-Modul [kN/m <sup>2</sup> ]						
0,000	0,0	0,0								
0,005	248,7	-373,5								
0,010	243,7	-332,3								
0,015	244,0	-320,5								
0,020	242,0	-318,2								
0,025	238,3	-318,2								
0,030	237,1	-315,4						291	-320	
0,035	238,2	-309,1								
0,040	235,5	-308,5								
0,045	231,7	-308,5								
0,050	230,3	-304,2								
0,055	233,7	-301,5								
0,060	237,4	-299,7	295	-312				291	-305	-303
0,065	236,1	-298,7								
0,070	235,2	-298,0								
0,075	233,9	-298,1								
0,080	233,2	-298,5								
0,085	232,3	-294,5								
0,090	231,3	-292,2								
0,095	230,7	-291,1								
0,100	228,9	-290,9								
0,105	228,2	-290,4								
0,110	228,5	-289,5								
0,115	227,7	-288,4								
0,120	227,2	-287,2	275	-295	275	-291				
0,125	226,5	-286,5								
0,130	226,0	-286,3								
0,135	225,4	-285,5								
0,140	224,5	-284,5								
0,145	224,3	-283,5								
0,150	223,7	-283,4								
0,155	223,2	-282,5								
0,160	222,5	-282,0								
0,165	222,3	-281,1								
0,170	221,5	-281,1								
0,175	221,4	-280,7								
0,180	220,5	-280,1	264	-285						

Die Darstellung zeigt schematisch die Ermittlung der verschiedenen E-Moduln und die jeweils zugehörigen Spannungsbereiche.

Die Materialwertsätze sind dem Anhang 1, Tabellen 3.1.2.3-4 bis 3.1.2.3-6 zu entnehmen.

verwendete E-Modul

zugehöriger Spannungsbereich

Mittelwertbildung

gemittelter Zug- bzw. Druck-E-Modul

### 3.2 Verbindungen – Normwerte und nichtlineare Last-Verformungskennlinien

Im folgenden Abschnitt werden die Verbindungsdetails der in den angeführten Versuchen verwendeten Holzrahmenbaukonstruktionen beschrieben.

Die Angaben zu den Systemen 1, 2 und 3 gelten gleichermaßen auch für die Systeme 100, 200 und 300 und in Abhängigkeit von den modellierten Abständen der Nagelung zwischen Beplankung und Rahmen auch für die Systeme 10, 20 und 30.

#### 3.2.1 Rahmenverbindungen Vertikalrippe – Horizontalrippe

- Drucklastübertragung

Sie erfolgt über den Kontaktstoß. Für die Modellierung werden lineare Last-Verformungswerte nach DIN 1052 bzw. EC5 und nichtlineare Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Raschper [39] und Jenkel [26] ermittelt.

Der Einfluß von Fugen wird berücksichtigt.

Untersuchungen zum Einfluß konstruktiver Verbindungsmittel liegen nicht vor.

- Zuglastübertragung

Sie ist durch konstruktiv angeordnete Verbindungsmittel möglich, jedoch in [42] und [39] zumindest nicht dokumentiert und findet daher keine Berücksichtigung.

Nach [26] werden heute i.d.R. Wellennägeln o.ä. angeordnet. In [20] und [41] wird über Untersuchungen des Last-Verformungsverhaltens berichtet, die im Auftrag der Firma Haubold durchgeführt wurden.

- Biegesteifigkeit

Sie ist ebenfalls durch konstruktiv angeordnete Verbindungsmittel möglich, siehe [20] und [41].

Berechnungen an Vergleichssystemen zeigen, daß die aufgenagelte Beplankung eine wesentlich größere Steifigkeit der Rahmenverbindung bewirkt als eventuell vorhandene Verbindungsmittel. Die Biegesteifigkeit wird daher nicht berücksichtigt.

- Lastübertragung rechtwinklig zur Stielachse

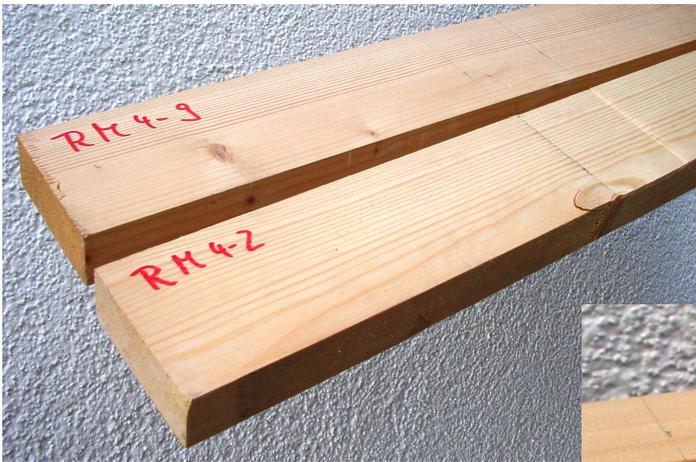
Infolge der Vertikallastübertragung am unteren Kontaktstoß der druckbelasteten Stiele und der daraus resultierenden Eindrückung des Stieles in den Riegelquerschnitt sind auch Lastübertragungen quer zur Stielachse möglich.

Nach DIN 1052 und Eurocode 5 wird für Druckkontaktstöße senkrecht zur Faser der Nachweis der Einhaltung der zulässigen Druckspannung senkrecht zur Faser (hier am Riegelquerschnitt) geführt. Tatsächlich handelt es sich um einen Nachweis der Begrenzung der Eindrückung im senkrecht zur Faser gedrückten Querschnitt.

„Bei Versätzen und Kontaktanschlüssen (z.B. Druckstabanschlüsse senkrecht zur Faser) ist mit zul.  $v = 1,5\text{mm}$ , bei faserparallelen Paßstößen mit zul.  $v = 1,0\text{mm}$  zu rechnen.“  
aus [35]

Dabei wird die Lage (Neigung) der Jahrringe im senkrecht zur Faser gedrückten Querschnitt nicht berücksichtigt.

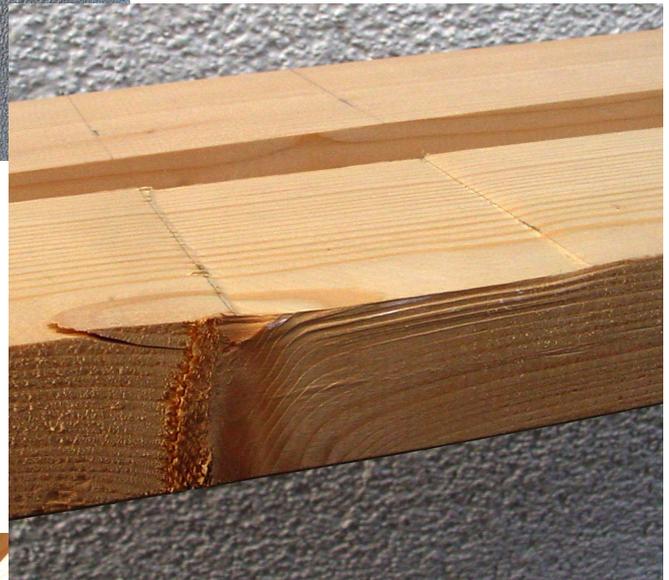
Die Versuchsergebnisse bei Raschper [39] und Jenkel [26] zeigen und berücksichtigen den Einfluß der Jahrringneigung.



Probekörper der Versuchsreihe von Jenkel  
(Stiel 8/10cm auf Riegel 4/10cm)

Bei gleicher Prüflast zeigt  
Probe RM4-2 mit Jahrringneigung  $<45^\circ$   
deutliche Eindrückung,

Probe RM4-9 mit Jahrringneigung  $90^\circ$   
nur geringe, visuell kaum wahrnehmbare  
Eindrückung



Die Ermittlung der Last-Verformungsmoduln nach Normen und Versuchen erfolgt für die in den nachgerechneten Wandtafelbelastungsversuchen vorhandenen Querschnittskombinationen:

- Stiel 4/10cm auf Riegelende 4/10cm
- Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm
- Stiel 8/10cm auf Riegelmitte 4/10cm

### 3.2.1.1 Last-Verformungswerte nach DIN 1052

Möhler [35] stellt fest:

„Bei Versätzen und Kontaktanschlüssen (z.B. Druckstabanschlüsse senkrecht zur Faser) ist mit  $zul\ v = 1,5\text{mm}$ , bei faserparallelen Paßstößen mit  $zul\ v = 1,0\text{mm}$  zu rechnen.“

- allgemein: 
$$C = \frac{zul.\sigma_{D\perp} \cdot A_{Stiel}}{1,5\text{mm}}$$
- Stiel 4/10cm auf Riegelende 4/10cm:  $\ddot{u}=0$   
 $\Rightarrow k_{D\perp}=0,8 \Rightarrow zul.\sigma_{\perp}=1,6\text{N/mm}^2$   

$$C = \frac{1,6\text{N/mm}^2 \cdot 40\text{mm} \cdot 100\text{mm}}{1,5\text{mm}} = 4267\text{N/mm}$$
- Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm:  $\ddot{u} \geq 75\text{mm}$  bei  $h=40\text{mm}$  und  $l=40\text{mm}$   
 $\Rightarrow k_{D\perp} = \sqrt[4]{\frac{150}{40}} = 1,39 \Rightarrow zul.\sigma_{\perp}=2,78\text{N/mm}^2$   

$$C = \frac{2,78\text{N/mm}^2 \cdot 40\text{mm} \cdot 100\text{mm}}{1,5\text{mm}} = 7422\text{N/mm}$$
- Stiel 8/10cm auf Riegelmitte 4/10cm:  $\ddot{u} \geq 75\text{mm}$  bei  $h=40\text{mm}$  und  $l=80\text{mm}$   
 $\Rightarrow k_{D\perp} = \sqrt[4]{\frac{150}{80}} = 1,17 \Rightarrow zul.\sigma_{\perp}=2,34\text{N/mm}^2$   

$$C = \frac{2,34\text{N/mm}^2 \cdot 80\text{mm} \cdot 100\text{mm}}{1,5\text{mm}} = 12482\text{N/mm}$$

### 3.2.1.2 Last-Verformungswerte nach Eurocode 5

Der Eurocode 5 unterscheidet bei der Berechnung von Verschiebungen von Verbindungen eine elastische Anfangsverschiebung und eine Endverschiebung, bei der das Kriechverhalten der verbundenen Materialien berücksichtigt wird.

(Formelzeichen für Last-Verformungsmodul hier: K)

Windlasten sind in die Klasse der Lasteinwirkungsdauer „kurz“ einzuordnen. Die Verschiebung wird unter Gebrauchslast berechnet. Der zulässige Wert der Gebrauchslast errechnet sich aus dem Quotienten des Bemessungswertes und des Lastbeiwertes.

Für den Wert der Anfangsverschiebung  $u_{inst}$  wird der Wert von 1,5mm aus [35] übernommen.

- elastische Anfangsverschiebung  $u_{inst} = \frac{F}{K_{ser}}$
- Endverschiebung  $u_{fin} = u_{inst} \cdot (1 + k_{def})$

Der Wert des Deformationsfaktors  $k_{def}$  ist für kurzzeitig einwirkende Lasten nicht zu berücksichtigen. Im folgenden wird daher nur die elastische Verschiebung betrachtet.

- allgemein:  $K = \frac{S_{c,90,k}}{1,5mm}$   $S_{c,90,k} = \frac{S_{c,90,d}}{\gamma_Q}$   
 $S_{c,90,d} = \sigma_{c,90,d} \cdot A_{Stiel}$   
 $\sigma_{c,90,d} = k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$   
 $f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$

mit:  $\gamma_Q=1,5$  (veränderliche Einwirkung)  
 $k_{mod}=0,9$  (kurze Lasteinwirkung, Nutzungsklasse 2)  
 $\gamma_M=1,3$  (Tragfähigkeit, Holz)

- Stiel 4/10cm auf Riegelende 4/10cm:  $l=40mm$  bei  $l_1 > 150mm$  und  $a=0$   
 $\Rightarrow k_{c,90}=1$

$$f_{c,90,d} = \frac{5,0 N/mm^2 \cdot 0,9}{1,3} = 3,46 N/mm^2$$

$$S_{c,90,d} = 1,0 \cdot 3,46 N/mm^2 \cdot 40 \cdot 100mm^2 = 13846N$$

$$S_{c,90,k} = \frac{13846N}{1,5} = 9231N$$

$$K = \frac{9231N}{1,5mm} = 6154 N/mm$$

- Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm:  $l=40mm$  bei  $l_1 > 150mm$  und  $a > 100mm$

$$\Rightarrow k_{c,90} = 1 + \frac{150 - 40}{170} = 1,65$$

$$S_{c,90,d} = 1,65 \cdot 3,46 N/mm^2 \cdot 40 \cdot 100mm^2 = 22846N$$

$$S_{c,90,k} = \frac{22846N}{1,5} = 15231N$$

$$K = \frac{15231N}{1,5mm} = 10154 N/mm$$

- Stiel 8/10cm auf Riegelmitte 4/10cm:  $l=80\text{mm}$  bei  $l_1 > 150\text{mm}$  und  $a > 100\text{mm}$

$$\Rightarrow k_{c,90} = 1 + \frac{150 - 80}{170} = 1,41$$

$$S_{c,90,d} = 1,41 \cdot 3,46 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 80 \cdot 100 \text{mm}^2 = 39046 \text{N}$$

$$S_{c,90,k} = \frac{39046 \text{N}}{1,5} = 26031 \text{N}$$

$$K = \frac{26031 \text{N}}{1,5 \text{mm}} = 17354 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

### 3.2.1.3 Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Raschper [39]

Zur Modellierung des Kontaktstoßes zwischen Stiel und Riegel und dessen lastabhängiger Verformung wird in [39] ein Stabelement mit den Querschnittsabmessungen der Rippe und einer Länge gleich der halben Schwellenhöhe verwendet, für das ein trilineares Materialgesetz hergeleitet wird. Dabei wird nur die Übertragung von Druckkräften betrachtet, eine Übertragung von Zugkräften ausgeschlossen.

Die Bereiche der Druckübertragung des Materialgesetzes sind wie folgt definiert:

- „Eingleitbereich ( $-0,32 \text{N/mm}^2 \leq \sigma_{D\perp} \leq 0 \text{N/mm}^2$ )

Im Bereich  $-0,32 \text{N/mm}^2 \leq \sigma_{D\perp} \leq 0 \text{N/mm}^2$  wird ein Schlupf von 1mm überwunden, so daß bei  $\sigma_{D\perp} = -0,32 \text{N/mm}^2$  eine Stauchung von  $\varepsilon = 1/(0,5h)$  vorhanden ist (Ersatzstablänge = 0,5h).

- Elastischer Bereich ( $\sigma_2 \leq \sigma_{D\perp} < -0,32 \text{N/mm}^2$ )

Im elastischen Bereich bestimmt der ideale E-Modul  $E_{i\perp}$  das Steifigkeitsverhalten des Ersatzstabes. Da der Ersatzstab mit halber Schwellenhöhe als Stablänge die gleiche Verformung wie der Kontaktstoß aufweisen soll, muß der Elastizitätsmodul des Stabes mit 0,5  $E_{i\perp}$  angesetzt werden. Für  $E_{i\perp}$  und  $\sigma_2$  werden die Mittelwerte aus den drei unterschiedlichen Jahrringneigungen  $\varphi$  der Tabelle 3.9 verwendet

- Plastischer Bereich ( $\sigma_3 \leq \sigma_{D\perp} < \sigma_2$ )

Wie im elastischen Bereich werden für  $E_{pl}$  und  $\sigma_3$  die Mittelwerte aus den drei Jahrringneigungen der Tabelle 3.9 eingesetzt.“

Die aus den Angaben in [39] für die in dieser Arbeit verwendeten Kombinationen von Stielen und Riegeln hergeleiteten Last-Verformungsmoduln sowie ihre graphische Darstellung finden sich im Anhang 2.

### 3.2.1.4 Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Jenkel [26]

Bei den Versuchen von Jenkel wurde das Last-Verformungsverhalten von Stiel – Riegel – Kontaktstößen untersucht. Dabei wurden unter anderem die für diese Arbeit relevanten Kombinationen

Stiel 4/10cm auf Riegelende 4/10cm  
 Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm  
 Stiel 8/10cm auf Riegelmitte 4/10cm

verwendet. Die Jahrringneigung im Riegelquerschnitt blieb dabei zunächst unberücksichtigt. Sie wurde erst nachträglich aufgenommen und die Versuche den einzelnen Jahrringneigungen zugeordnet. Dadurch erklärt sich die unterschiedliche Anzahl der Versuche je Stiel – Riegel - Kombination bezüglich der Jahrringneigung bzw. das Fehlen bestimmter Kombinationen.

Tabellarische und graphische Darstellung der Versuchswerte siehe Tabellen 3.2.1.4-1 bis 3.2.1.4-3 und Diagramme 3.2.1.4-1 bis 3.2.1.4-3 im Anhang 3.

### 3.2.1.5 Last-Verformungskennlinien nach Versuchsauswertung System 1 und 2 [39]

Die Versuchsauswertung in [39] umfasst unter anderem auch die Schwelleneindrückung unter dem druckbelasteten Randstiel. Wegen der vorhandenen Vorholzlänge der unteren Schwelle von 25cm wird von einem Kontaktstoß in Riegelmitte ausgegangen.

Zwischen Stiel und Schwelle war eine Druckmessdose angeordnet. Für System 1 erfolgt die Angabe der Stieldruckkraft lediglich graphisch. Wegen der möglichen Ablesefehler werden die Werte nur zu Vergleichszwecken herangezogen.

- System 1 Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm

Laststufe $F_H$ [kN]	Stieldruckkraft rechter Randstiel [kN]	Schwellenzusammendrückung [mm]
5,0	-2,0	1,4
10,0	-10,0	1,8
15,0	-18,7	2,6
20,0	-25,3	4,0
25,0	-33,3	6,3
30,0	-41,7	9,0

Tabelle 3.2.1.5-1

- System 2 Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm

Laststufe $F_H$ [kN]	Stildruckkraft rechter Randstiel [kN]	Schwellenzusammendrückung [mm]
15,0	-6,6	1,5
40,0	-21,1	3,8

Tabelle 3.2.1.5-2

### 3.2.1.6 Last-Verformungskennlinien nach Versuchsauswertung System 3 [42]

Die Versuchsauswertung in [42] umfasst unter anderem auch die Schwelleneindrückung unter dem druckbelasteten Randstiel. Wegen der vorhandenen Vorholzlänge der unteren Schwelle von 25cm wird von einem Kontaktstoß in Riegelmitte ausgegangen.

Zwischen Stiel und Schwelle war eine Druckmessdose angeordnet, welche gegen den Stielquerschnitt vorgespannt war.

- Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm

Laststufe $F_H$ [kN]	Stildruckkraft, Stiel 1 [kN]	Schwellenzusammendrückung [mm]
20	-1,532	0,565
40	-3,310	0,765
60	-5,621	0,785
80	-9,086	0,800
100	-12,983	0,830

Tabelle 3.2.1.6-1

Graphische Darstellung siehe Anhang, Bild 3.2.1-1

### 3.2.1.7 Wertediskussion

Nachfolgend werden die Last-Verformungskennlinien der einzelnen Normen und Versuche gegenübergestellt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden an einigen Stellen für die graphische Darstellung der Versuchsergebnisse von Raschper und Jenkel jeweils die Mittelwerte verwendet, um die Lage der Last-Verformungskennlinien zu beschreiben.

Streng genommen sind Mittelwertbildungen für die Beschreibung der Arbeitslinie dieses Konstruktionsdetails unzulässig, da die Anzahl der Kontaktstöße statistisch gesehen relativ klein ist und jeder einzelne Kontaktstoß sich entsprechend seiner Jahrringneigung im Riegel verhält. Die graphische Auswertung der Daten von Raschper und Jenkel zeigt jedoch, daß die einzelnen Arbeitslinien im zulässigen Verformungsbereich relativ eng beieinander liegen und erst oberhalb dieses Bereiches größere Klaffungen auftreten.

Die Versuchswerte bei Jenkel zeigen aber auch, daß die Wertestreuung selbst innerhalb der Meßreihen mit gleicher Jahrringneigung relativ groß ist. In [24] wird für Versuche im Holzbau ein Variationskoeffizient von 20-25% angegeben. Dieser Wert ist bei Jenkel, gerade in den unteren Lastbereichen, zum Teil deutlich überschritten.

- **Stiel 4/10cm auf Riegelende 4/10cm**

Diese Kombination findet sich bei allen betrachteten Systemen jeweils an den Enden des oberen Riegels und am zuglagerseitigen Ende des unteren Riegels.

Die Vertikallasteinleitung aus dem oberen Riegel in die Stiele ist, wie die Berechnungen zeigen, gering. Am zuglagerseitigen Ende des unteren Riegels werden signifikante Kräfte übertragen, welche jedoch in jedem Fall im Bereich der zulässigen Belastung (bzw. der zulässigen Verformung) bleiben.

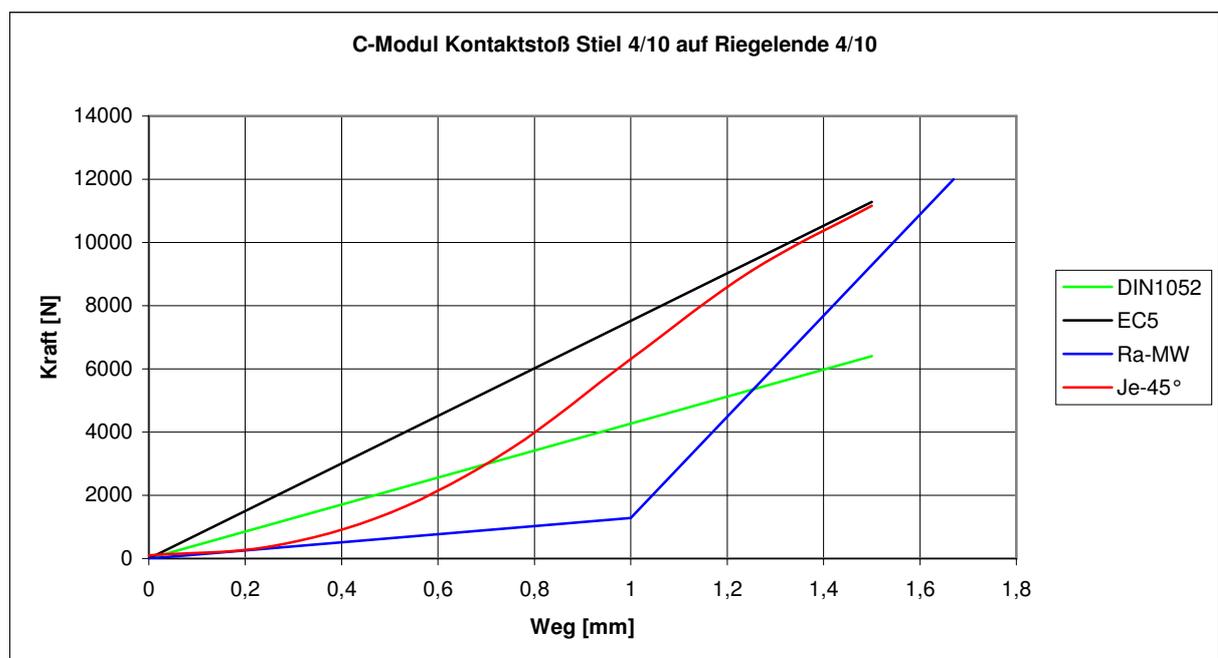


Diagramm 3.2.1.7-1

Auswertung : Die Arbeitslinie von Raschper zeigt im betrachteten Bereich einen bilinearen, die von Jenkel einen ansatzweise trilinearen Verlauf, jedoch sind die einzelnen Abschnitte bei Raschper deutlicher ausgeprägt. Die von Raschper definierte „Eingleitphase“ wird in dieser Form von den Werten nach Jenkel nicht bestätigt. Im Bereich oberhalb der Grenze der zulässigen Verformung liegen die Arbeitslinien gut beieinander. Der nach den Angaben der DIN 1052 berechnete Wert der Last bei zulässiger Verformung scheint hier eher zu gering, der Wert nach EC 5 wird von der Arbeitslinie nach Jenkel bestätigt.

Für die Berechnung der Systeme mit nichtlinearen Last-Verformungskennlinien wird die Arbeitslinie nach Jenkel verwendet. Sie wird als trilineare Arbeitslinie modelliert.

$$C_1 = \frac{376,0N}{0,25mm} = 1500 N/mm = 1500 kN/m \quad \text{bis } F = 0,376kN$$

$$C_2 = \frac{2000,0N - 376,0N}{0,57mm - 0,25mm} = 5080 N/mm = 5080 kN/m \quad \text{bis } F = 2,0kN$$

$$C_3 = \frac{11160,0N - 2000,0N}{1,50mm - 0,57mm} = 9850 N/mm = 9850 kN/m$$

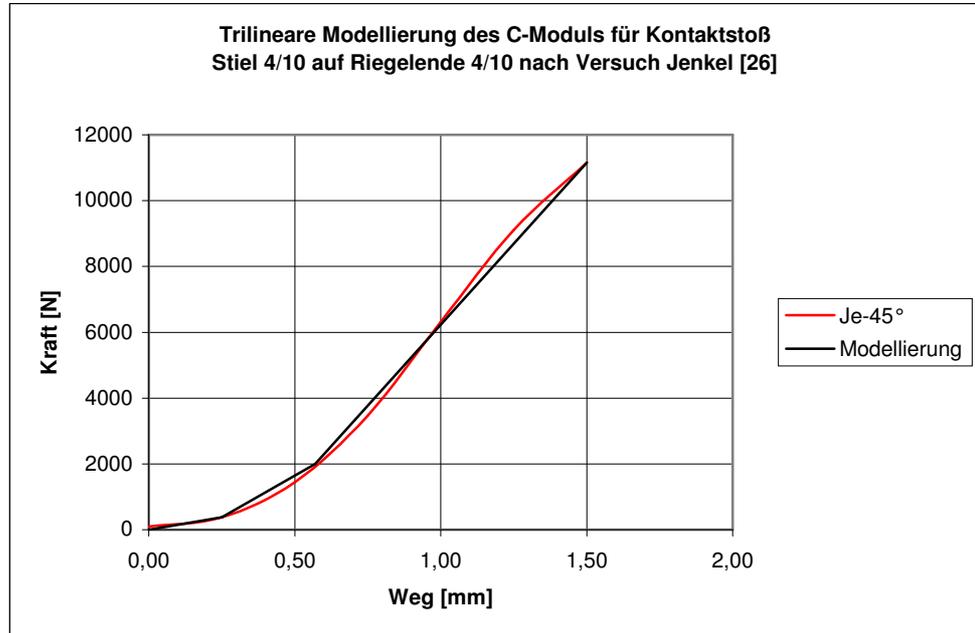


Diagramm 3.2.1.7.-2

- **Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm**

Diese Kombination stellt den Regelfall der Rahmenkontaktstoßausführung bei den betrachteten Systemen dar.

Auch der untere Kontaktstoß des äußeren Druckrandstieles gehört wegen der vorhandenen Vorhölzer ( $l=25cm$ ), in diese Gruppe. Das Last-Verformungsverhalten

dieses Kontaktstoßes ist in allen drei Versuchsauswertungen enthalten. Der dokumentierte Lastbereich geht zum Teil weit über die zulässigen Werte nach DIN 1052 bzw. EC 5 hinaus (z.B. System 1 :  $F_{\text{Stiel}}=41,7\text{kN}$  bei  $v=9,0\text{mm}$ ).

Für die Auswertung wird ein Verformungsbereich bis etwa  $4,0\text{mm}$  betrachtet. Dieser Bereich wird von den meisten der Arbeitslinien abgedeckt.

Für die graphische Darstellung der Versuchsergebnisse von Raschper und Jenkel wird jeweils die Arbeitslinie für die Jahrringneigung  $90^\circ$  verwendet, sie ist bei beiden mit der Mittelwertlinie im wesentlichen deckungsgleich.

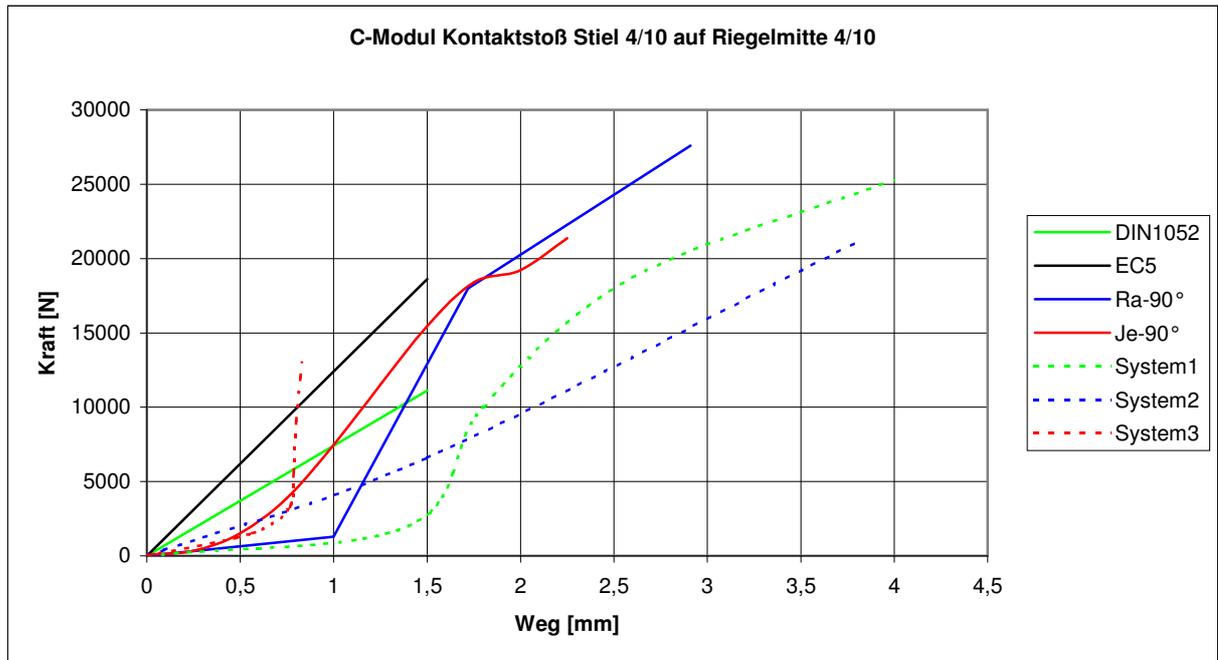


Diagramm 3.2.1.7-3

**Auswertung :** Die Arbeitslinien von Raschper und Jenkel zeigen grundsätzlich den gleichen trilinearen Verlauf, jedoch sind die einzelnen Abschnitte bei Raschper deutlicher ausgeprägt. Die von Raschper definierte „Eingleitphase“ wird in dieser Form von den Werten nach Jenkel nicht bestätigt. Im Bereich oberhalb der Grenze der zulässigen Verformung liegen die Arbeitslinien gut beieinander.

Der nach den Angaben der DIN 1052 berechnete Wert der Last bei zulässiger Verformung wird von der Arbeitslinie nach Raschper bestätigt, der Wert nach EC 5 scheint hier eher zu hoch.

Die Verläufe der in den Versuchsauswertungen der Systeme 1, 2 und 3 dokumentierten Arbeitslinien zeigen, daß konkrete Detailpunkte in ihrem Verhalten von den mit Versuchsreihen ermittelten Last-Verformungskennlinien, erheblich abweichen können. System 1 zeigt ein deutlich „weicheres“, System 3 jedoch ein deutlich „steiferes“ Tragverhalten als die Arbeitslinien von Raschper oder Jenkel. Dies kann auch auf den Einfluß von Mehrfachbelastungen bzw. von angeordneten Druckmeßdosen zurückzuführen sein.

Für die Berechnung der Systeme mit nichtlinearen Last-Verformungskennlinien wird eine Kombination der  $90^\circ$ -Arbeitslinien nach Raschper und Jenkel verwendet. Sie wird als pentalineare Arbeitslinie moduliert.

$$C_1 = \frac{335,0N}{0,25mm} = 1340 N/mm = 1340 kN/m \quad \text{bis } F = 0,335kN$$

$$C_2 = \frac{1532,0N - 335,0N}{0,50mm - 0,25mm} = 4790 N/mm = 4790 kN/m \quad \text{bis } F = 1,532kN$$

$$C_3 = \frac{3893,0N - 1532,0N}{0,75mm - 0,50mm} = 9440 N/mm = 9440 kN/m \quad \text{bis } F = 3,893kN$$

$$C_4 = \frac{18406,0N - 3893,0N}{1,75mm - 0,75mm} = 14510 N/mm = 14510 kN/m \quad \text{bis } F = 18,406kN$$

$$C_5 = \frac{27600,0N - 18406,0N}{2,90mm - 1,75mm} = 8000 N/mm = 8000 kN/m$$

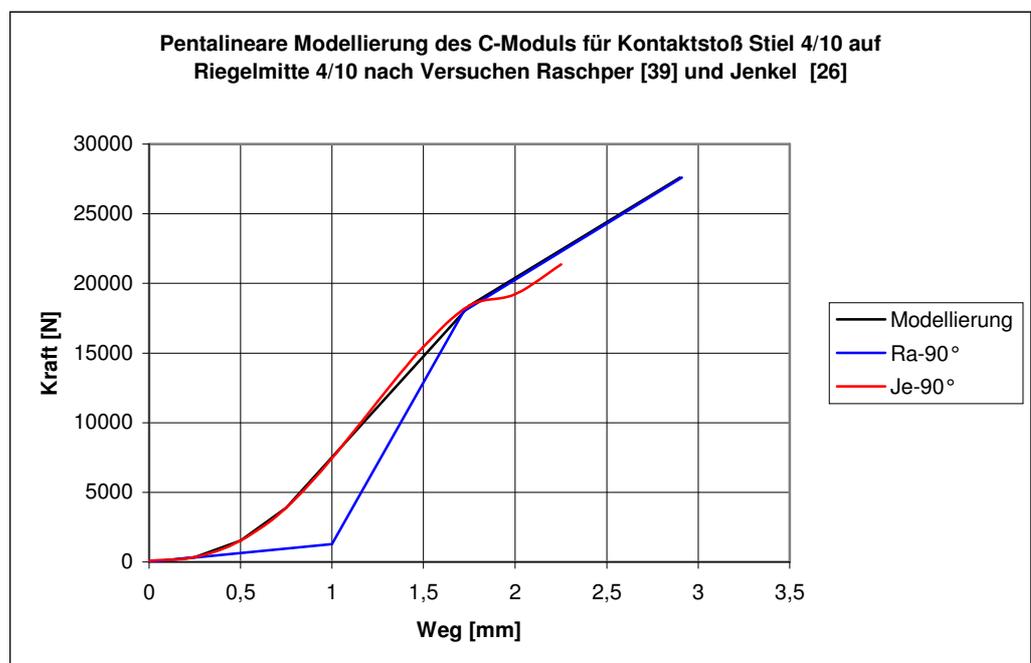


Diagramm 3.2.1.7-4

- **Stiel 8/10cm auf Riegelmitte 4/10cm**

Diese Kombination findet sich nur am System 3, und zwar an den oberen und unteren Kontaktstößen der Stiele am Plattenstoß. Die Vertikallasteinleitung ist an allen Punkten gering. Deshalb werden die Arbeitslinien nur im Bereich der zulässigen Verformungen betrachtet.

Für die graphische Darstellung der Versuchsergebnisse von Raschper und Jenkel wird jeweils die Arbeitslinie für die Jahrringneigung 90° verwendet; sie ist bei beiden mit der Mittelwertlinie im wesentlichen deckungsgleich.

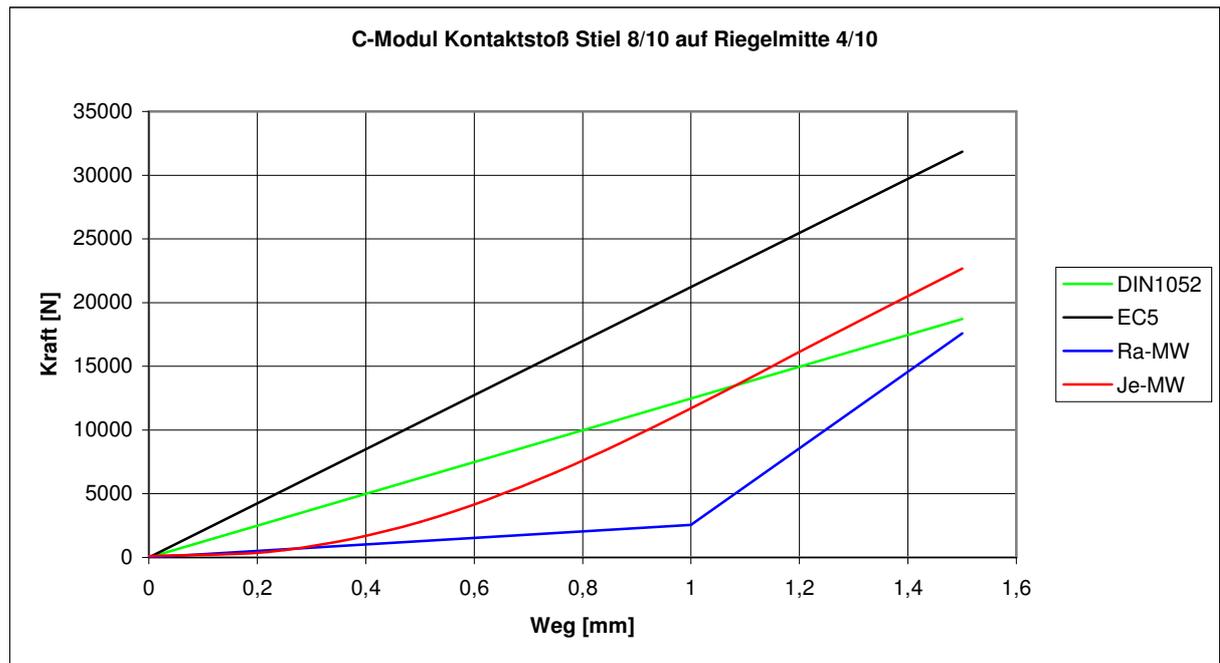


Diagramm 3.2.1.7-5

**Auswertung :** Die Arbeitslinien von Raschper und Jenkel zeigen im betrachteten Bereich einen bilinearen Verlauf, jedoch sind die einzelnen Abschnitte bei Raschper deutlicher ausgeprägt. Die von Raschper definierte „Eingleitphase“ wird in dieser Form von den Werten nach Jenkel nicht bestätigt.

Der nach den Angaben der DIN 1052 berechnete Wert der Last bei zulässiger Verformung 5 wird von der Arbeitslinien nach Raschper und Jenkel bestätigt, der Wert nach EC 5 scheint hier eher zu hoch.

Für die Berechnung der Systeme mit nichtlinearen Last-Verformungskennlinien wird die Arbeitslinie nach Jenkel verwendet. Sie wird als trilineare Arbeitslinie moduliert.

$$C_1 = \frac{1900,0N}{0,40mm} = 4750 \frac{N}{mm} = 4750 \frac{kN}{m} \quad \text{bis } F = 1,90kN$$

$$C_2 = \frac{6730,0N - 1900,0N}{0,75mm - 0,40mm} = 13800 \frac{N}{mm} = 13800 \frac{kN}{m} \quad \text{bis } F = 6,73kN$$

$$C_3 = \frac{24530,0N - 6730,0N}{1,50mm - 0,75mm} = 23730 \frac{N}{mm} = 23730 \frac{kN}{m}$$

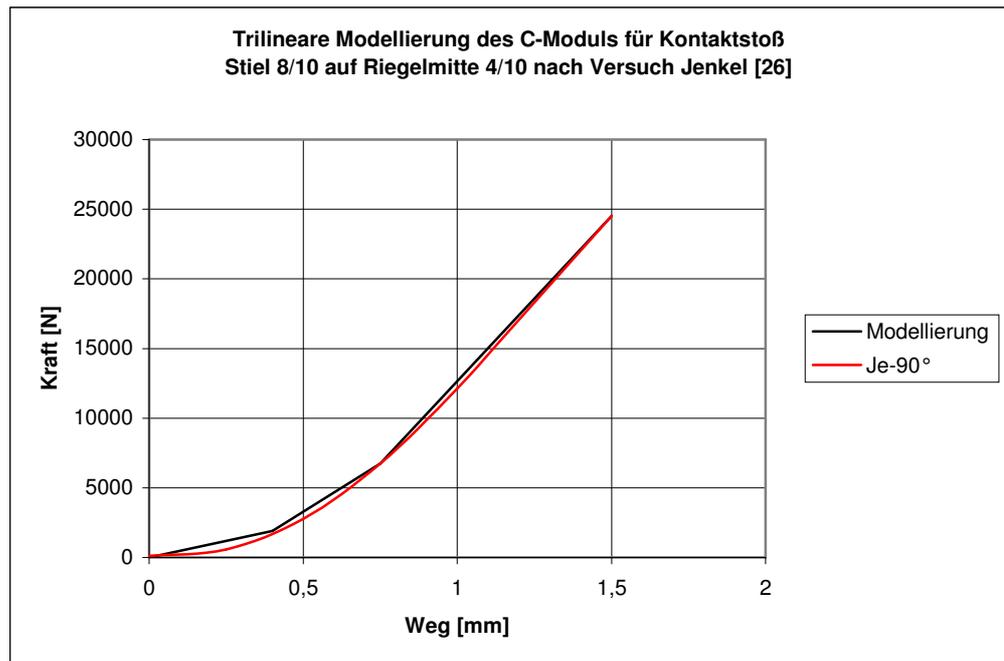


Diagramm 3.2.1.7-6

- **Lastübertragung rechtwinklig zur Stielachse**

Die Beschreibung der Art und Weise des Einbaus der Druckmessdosen an den unteren Druckstielenden für System 3, siehe [42], lässt darauf schließen, daß hier auch eine Lastübertragung quer zur Stielachse möglich war.

Auch ohne den Einbau von Druckmessdosen entsteht infolge der Eindrückung des Stieles in den Riegelquerschnitt und der Rauigkeit der Querschnittsoberfläche die Möglichkeit der Querlastübertragung.

Zum Last-Verformungsverhalten einer solchen Verbindung liegen keine Untersuchungen vor. Bei der Berechnung der Systeme wird deshalb eine starre Kopplung der Verschiebung des unteren Stielendes an den Kontaktstoßpunkt des Riegels für die Querrichtung längs des Riegels angeordnet.

### 3.2.2 Nagelverbindung Beplankung – Rahmen

In diesem Abschnitt werden die Last-Verformungsmoduln nach Normen und Versuchen für die Nagelverbindung ermittelt, die in den Systemen 1, 2 und 3 für den Anschluß der Beplankung an den Vollholzrahmen verwendet wurde.

Flachpreßplatte nach DIN 68763, d=13mm an Vollholz mit Nä 28x50

#### 3.2.2.1 Last-Verformungswerte nach DIN 1052 und Möhler [35] für Abscherbelastung

Die Ermittlung der Rechenwerte für den Verschiebungsmodul C in N/mm sowie für die Verschiebungen v in mm bei zul. N von Verbindungsmitteln in Anschlüssen und Stößen erfolgt nach DIN 1052, Teil 2, Abschn. 13, Tab. 13.

Für einschnittige Nagelverbindungen von Flachpreß- und Holzfaserplatten mit Nadelholz gilt:

$$\text{zul.}N = \frac{500 \cdot d_n^2}{10 + d_n} \quad C = 6,7 \cdot \frac{\text{zul.}N}{d_n} \quad v(\text{zul.}N) = 0,15 \cdot d_n$$

für Flachpreßplatte nach DIN 68763, d=13mm an Vollholz mit Nä 28x50

$$\text{zul.}N=306N \quad C=730N/mm \quad v(\text{zul.}N)=0,42mm$$

Als Quelle für DIN 1052, Teil 2, Abschn. 13 wird in den Erläuterungen genannt: Möhler, K.: Verschiebungsgrößen mechanischer Holzverbindungen der DIN 1052 [35]. Der C-Modul ist dort definiert als geradlinige Last-Verschiebungslinie

$$\text{zul.}C = \frac{\text{zul.}N}{\text{zul.}v}$$

Für Nagelverbindungen Holzspanplatten – Vollholz wird vorgeschlagen:

$$C = 8,3 \cdot \frac{\text{zul.}N}{d_n} \quad v(\text{zul.}N) = 0,12 \cdot d_n$$

für Flachpreßplatte nach DIN 68763, d=13mm an Vollholz mit Nä 28x50

$$\text{zul.}N=306N \quad C=908N/mm \quad v(\text{zul.}N)=0,336mm$$

#### 3.2.2.2 Last-Verformungswerte nach Eurocode 5 für Abscherbelastung

Die im Entwurf vorliegende neue DIN 1052, basierend auf dem Eurocode 5, unterscheidet bei der Berechnung von Verschiebungen von Verbindungen eine elastische Anfangsverschiebung und eine Endverschiebung, bei der das Kriechverhalten der verbundenen Materialien berücksichtigt wird.

(Formelzeichen für Last-Verformungsmodul hier: K).

Windlasten sind in die Klasse der Lasteinwirkungsdauer „kurz“ einzuordnen.

- elastische Anfangsverschiebung  $u_{inst} = \frac{F}{K_{ser}}$
- Endverschiebung  $u_{fin} = u_{inst} \cdot \sqrt{(1 + k_{def,1}) \cdot (1 + k_{def,2})}$

Deformationsfaktor  $k_{def}$  für kurzzeitig einwirkende Lasten

- Flachpreßplatte nach DIN 68763  $k_{def,1} = 0,40$
- Vollholz S10  $k_{def,2} = 0$

Anfangsverschiebungsmodul  $K_{ser}$ , für Nagelverbindungen (Nä 28x50, für Flachpreßplatte nach DIN 68763, d=13mm an Vollholz)

$$K_{ser} = \frac{\rho_k^{1,5}}{25} \cdot d^{0,8} = 1010 \text{ N/mm}$$

Die Gebrauchslast  $F$  ergibt sich als Quotient aus Bemessungswert  $R_d$  und Lastbeiwert  $\gamma_Q$  für Flachpreßplatte nach DIN 68763, d=13mm an Vollholz mit Nä 28x50 (KLED „kurz“, NK 2, maßgebend Versagensmechanismus 3 nach Johansen)

$$R_d = 619 \text{ N} \quad \text{mit } \gamma_Q = 1,5 \text{ für veränderliche Einwirkungen} \quad F = 412 \text{ N}$$

- elastische Anfangsverschiebung  $u_{inst} = \frac{412}{1010} = 0,41 \text{ mm}$
- Endverschiebung  $u_{fin} = \frac{412}{1010} \cdot \sqrt{(1 + 0,4) \cdot (1 + 0)} = 0,48 \text{ mm}$

Wegen des geringen Anteils der Kriechverformung wird ein geradliniger Verlauf der Last-Verschiebungslinie angenommen.

$$K = \frac{F}{u_{fin}} = \frac{412}{0,48} = 854 \text{ N/mm}$$

Tabelle 3.2.2.2-1 des Anhangs 4 zeigt die Berechnung von Last-Verformungswerten unter Berücksichtigung anderer Klassen der Lasteinwirkungsdauer und anderer Nutzungsklassen. Dabei fällt auf, daß für mittlere bis ständig wirkende Lasten der Versagensmechanismus 2 nach Johansen maßgebend wird. Dieser Versagensmechanismus wurde auch bei den Versuchen von Padberg [38] beobachtet.

### 3.2.2.3 Last-Verformungskennlinie nach Modell von Raschper [39] für Abscherbelastung

Nach Auswertung einer Vielzahl von Versuchen zur Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens von Nagelverbindungen gibt Raschper die Funktion

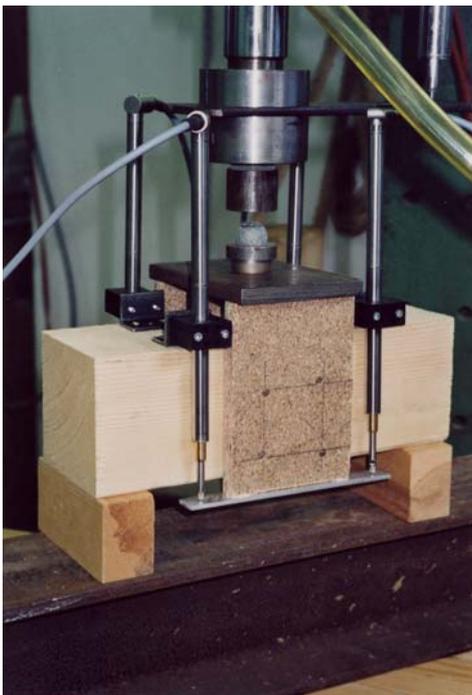
$$N = 500 \cdot \sqrt[3]{s} \quad \text{mit} \quad \begin{array}{ll} N & \text{Nagelkraft [N]} \\ s & \text{Nagelverschiebung [mm]} \end{array}$$

an. Diese Gleichung wird in seiner Arbeit für die Beschreibung des Last-Verformungsverhaltens einer Verbindung von Flachpreßplatten nach DIN 68763  $d=13\text{mm}$  an Vollholz mit Nä 28x50 verwendet. Wegen der Vielzahl und Unterschiedlichkeit der von Raschper zur Herleitung dieser Funktion verwendeten Untersuchungen von Last-Verformungskennlinien wird diese Arbeitslinie nur zu Vergleichszwecken herangezogen.

### 3.2.2.4 Last-Verformungskennlinie nach Versuchen von Padberg [38] für Abscherbelastung

Padberg führt Versuche zur Ermittlung von Last-Verformungskennlinien auf der Grundlage der DIN EN 26891, DIN EN 1380 für die Verbindung von Flachpreßplatten nach DIN 68763,  $d=13\text{mm}$  an Vollholz mit Nä 28x65 (Nä 28x50 derzeit nicht mehr lieferbar) durch.

Die Versuche wurden für Druckbelastung parallel und quer zur Faser mit je 10 Prüfkörpern durchgeführt. Die Prüfkörper entsprachen in Abmessungen und Verbindungsmittelanzahl (jeweils 8 Nägel) den Vorgaben in DIN EN 1380. Die Aufzeichnung der Werte für Belastung und Verformung erfolgte mit Hilfe einer Mehrstellenmeßanlage in Tabellen- und Diagrammform.



Versuchskörper Belastung  $\perp$  zur Faser



Versuchskörper Belastung  $\parallel$  zur Faser

Ausgewählte Versuchswerte siehe Anhang 5, Tabellen 3.2.2.4-1 bis 3.2.2.4-4.

Graphische Darstellung siehe 3.2.2.5 Wertediskussion.

### 3.2.2.5 Wertediskussion der Last-Verformungskennlinien für Abscherbelastung

Nachfolgend werden die Last-Verformungskennlinien der einzelnen Normen und Versuche gegenübergestellt.

Zur besseren Übersicht wurden zum einen der Wertebereich bis zu einer Verformung von 0,5mm, zum anderen der gesamte durch die Versuche von Padberg [38] abgedeckte Bereich bis zu einer Verformung von 15,0mm dargestellt.

Die Last-Verformungswerte nach DIN 1052, Möhler [35] und Eurocode 5 liegen gut beieinander, die von Padberg ermittelte Tragfähigkeit bei zulässiger Verformung lag jedoch um etwa 30% höher.

Die graphische Darstellung der Last-Verformungskennlinien nach Padberg im Verformungsbereich bis 2,0mm zeigt auch, daß der lineare und damit elastische Bereich bereits weit unterhalb der nach DIN 1052 und Eurocode 5 zulässigen Verformung endet.

Es muß also davon ausgegangen werden, daß sich für die untersuchte Nagelverbindung bereits im zulässigen Verformungsbereich Plastifizierungen einstellen. Dies wird auch durch den Verlauf der nach DIN EN 1380 in den Versuchsablauf zu integrierenden Hystereseschleife bestätigt. Sie liegt in der Regel kurz oberhalb der zulässigen Verformung und zeigt, daß die bis dahin eingetragenen Verformungen zum großen Teil irreversibel sind.

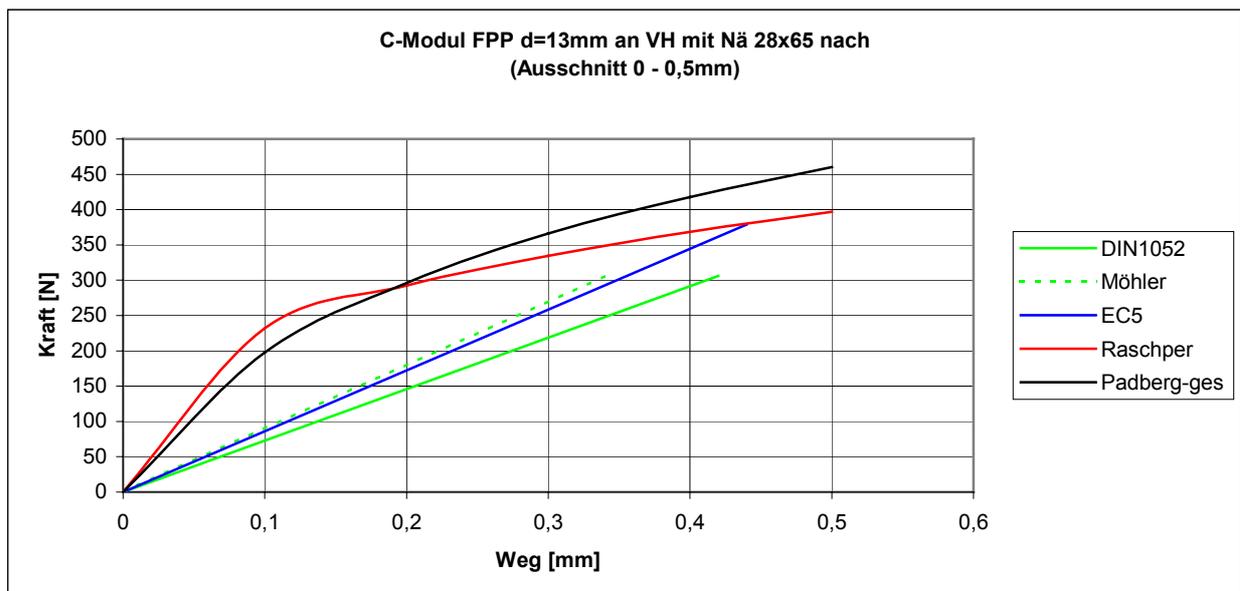


Diagramm 3.2.2.5-1

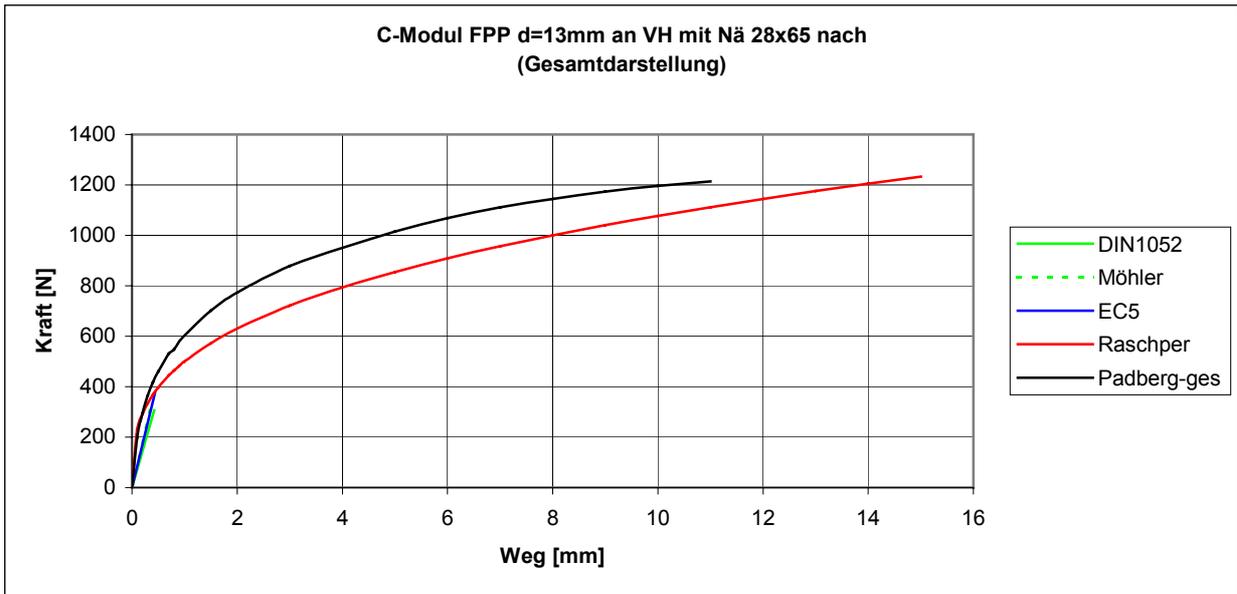


Diagramm 3.2.2.5-2

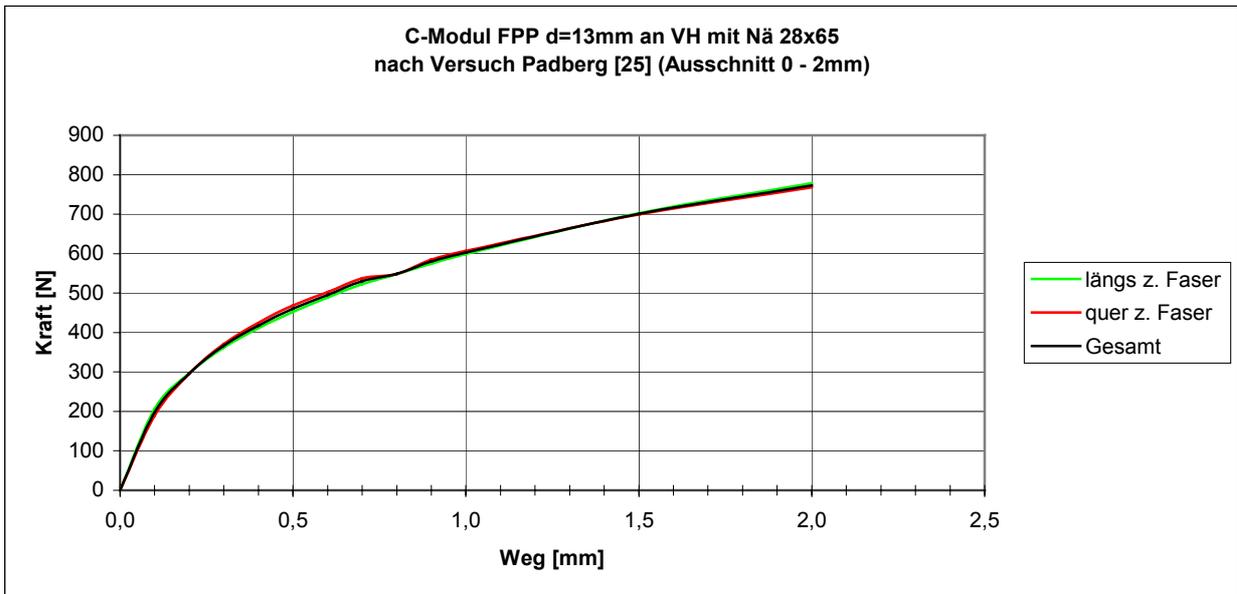


Diagramm 3.2.2.5-3

Für die Berechnung der Systeme mit nichtlinearen Last-Verformungskennlinien wird die Arbeitslinie für die Gesamtheit der durchgeführten Versuche nach Padberg verwendet. Die Unterschiede zwischen den Arbeitslinien der Proben mit Belastung längs zur Faser und der Proben mit Belastung quer zur Faser sind für die Bemessung nicht relevant.

Die Last-Verformungskennlinie wird als abschnittsweise lineare Arbeitslinie modelliert, die Abschnitte entsprechen den in der tabellarischen Zusammenstellung der Versuchsergebnisse nach Padberg verwendeten Verformungsabschnitten.

$C_1 = 1975 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,1 \text{ mm}$	$C_{12} = 387 \text{ kN/m}$	bis $v = 2,0 \text{ mm}$
$C_2 = 1481 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,2 \text{ mm}$	$C_{13} = 293 \text{ kN/m}$	bis $v = 3,0 \text{ mm}$
$C_3 = 1221 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,3 \text{ mm}$	$C_{14} = 238 \text{ kN/m}$	bis $v = 4,0 \text{ mm}$
$C_4 = 1045 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,4 \text{ mm}$	$C_{15} = 203 \text{ kN/m}$	bis $v = 5,0 \text{ mm}$
$C_5 = 921 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,5 \text{ mm}$	$C_{16} = 178 \text{ kN/m}$	bis $v = 6,0 \text{ mm}$
$C_6 = 826 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,6 \text{ mm}$	$C_{17} = 159 \text{ kN/m}$	bis $v = 7,0 \text{ mm}$
$C_7 = 757 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,7 \text{ mm}$	$C_{18} = 143 \text{ kN/m}$	bis $v = 8,0 \text{ mm}$
$C_8 = 686 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,8 \text{ mm}$	$C_{19} = 130 \text{ kN/m}$	bis $v = 9,0 \text{ mm}$
$C_9 = 645 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,9 \text{ mm}$	$C_{20} = 120 \text{ kN/m}$	bis $v = 10,0 \text{ mm}$
$C_{10} = 603 \text{ kN/m}$	bis $v = 1,0 \text{ mm}$	$C_{21} = 110 \text{ kN/m}$	
$C_{11} = 467 \text{ kN/m}$	bis $v = 1,5 \text{ mm}$		

### 3.2.2.6 Last-Verformungswert für Ausziehbelastung

Eine Belastung der Nagelverbindung zwischen Beplankung und Rahmen auf Herausziehen ist durch Imperfektionen, beispielsweise einer Vorverkrümmung der Rahmenstiele, möglich.

Für das System 3 sind solche Vorverkrümmungen in der Versuchsauswertung dokumentiert. Sie liegen in einem Bereich von  $\pm 4,0 \text{ mm}$ .

Da solche Imperfektionen für die Systeme 1 und 2 nicht dokumentiert sind, werden sie bei der Berechnung der Wandsysteme vernachlässigt. Weitergehende Untersuchungen werden unter 3.3 angestellt.

Da die Berechnungen der Wandsysteme mit einem räumlichen System erfolgen, müssen die Federn in Nagellängsrichtung mit einem Wert belegt werden. Hierfür wird der Wert für zul.N nach DIN 1052 verwendet, für zul.v wird ein Wert von  $0,1 \text{ mm}$  angenommen.

Nach DIN 1052 mit Mindesteinschlagtiefe  $12d_n$  für Nä 28x65

$$12d_n = 33,6 \text{ mm}$$

$$\text{mit } v = 0,1 \text{ mm}$$

$$\text{zul. } N_z = 1,3 \cdot 2,8 \cdot 52 = 189,3 \text{ N}$$

$$C_z = 1900 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 1900 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 3.2.3 Verbindungen Wand – Unterkonstruktion

Nachfolgend werden die für die System 1, 2 und 3 verwendeten Lagerungen der Wandscheiben auf der Unterkonstruktion betrachtet.

#### 3.2.3.1 Vertikale Bettung der Fußrippe

Für die Berechnung der Wandsysteme könnte mit einer starren vertikalen Lagerung der Fußrippe gerechnet werden. Bei den Versuchen zur Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens der Kontaktstöße Stiel - Riegel ist, bedingt durch den Versuchsaufbau, der Anteil der Verformung der Riegelunterseite im Messwert der Gesamtverformung bereits enthalten.

In den übrigen Bereichen der Fußrippe ist die „Bettung“ der Beplankung in Richtung der Plattenebene durch die Nagelung an die Fußrippe bedeutend „weicher“ als die Bettung der Fußrippe auf die Unterkonstruktion, so daß hier der Anteil aus der Verformung der Rippe unbedeutend ist (Anteil der Lochleibungsverformung im Federwert der Nagelung enthalten).

Allerdings kann bei dem verwendeten Berechnungsprogramm ein Zugbettungsausfall für die Lagerung eines Stabes (Fußrippe) nur bei der Verwendung von Federn definiert werden. Da die Federn der vertikalen Lagerung an den gleichen Stabknoten der Fußrippe angreifen wie die Federn der Nagelung der Beplankung, darf der Federwert der vertikalen Lagerung im Vergleich zum Federwert der Nagelung nicht zu groß werden, da sonst numerische Probleme bei der Berechnung auftreten.

Ermittelt wird nach DIN 1052 ein Federwert aus dem E-Modul des Vollholzes  $\perp$  zur Faser (NH, Gk II bzw. S10) für die halbe Höhe des Riegelquerschnittes.

$$\Delta s = \frac{\sigma \cdot s}{E} \quad \Rightarrow \quad \sigma = \frac{\Delta s \cdot E}{s} = \frac{1,0\text{mm} \cdot 300 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{20\text{mm}} = 15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$C_{\text{Fläche}} = 15,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} / \text{mm}$$

Bei einer Querschnittsbreite von 100mm ergibt sich

$$C_{\text{Linie}} = 1500,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}} / \text{mm}$$

Für einen Knotenabstand von 80mm ergibt sich

$$C = 120000,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 120000,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### 3.2.3.2 Vertikale Zuganschlüsse

- **System 1 und 2**

Bei Raschper [39] wird die Zugverankerung wie folgt beschrieben:

„Die Zugverankerung bestand aus zwei im Fundament fixierten Stahlstäben. Der Anschluß an die Tafel erfolgte über ein Profil U100, das mit 70 Schrauben 6x40mm an der Zugrippe befestigt war.“

Zum Last-Verformungsverhalten dieses Anschlusses liegen keine Untersuchungen vor. Es wird deshalb der Lastverformungswert für die Schraubenverbindung nach DIN 1052 und Eurocode 5 ermittelt. Der Einfluß der elastischen Verformung der Stahlteile wird dabei vernachlässigt.

- Nach DIN 1052

für einschnittige Schraubenverbindungen von Stahlteilen mit Holz:

$$zul.N = ef \cdot n \cdot 1,25 \cdot 17 \cdot d_s^2 \quad ef \cdot n = 10 + (n - 10) \cdot \frac{2}{3} = 10 + (70 - 10) \cdot \frac{2}{3} = 50$$

$$zul.N = 50 \cdot 1,25 \cdot 17 \cdot 6^2 = 38250,0N$$

$$v(zul.N) = 1,4mm \quad C = \frac{zul.N}{v(zul.N)} = \frac{38250}{1,4} = 27320 \frac{N}{mm}$$

für Stahlteile an Vollholz mit 70 Schrauben 6x40mm:

**zul.N=38,25kN**

**C=27320kN/m**

**v(zul.N)=1,4mm**

- Nach Eurocode 5

Anfangsverschiebungsmodul  $K_{ser}$ , für einschnittige Schraubenverbindungen mit  $d \leq 8mm$  von Stahlteilen mit Holz:

$$K_{ser} = \frac{\rho_k^{1,5}}{20} \cdot d$$

für Stahl-Holz-Verbindung mit Schrauben 6x40

$$K_{ser} = 2222N/mm$$

Zur Berücksichtigung des Lochleibungsspieles im Stahlteil wird ein korrigierter Anfangsverschiebungsmodul  $K_{ser}'$  eingeführt mit

$$K_{ser}' = \frac{F}{u_{inst}}$$

Die Gebrauchslast  $F$  ergibt sich als Quotient aus Bemessungswert  $R_d$  und Lastbeiwert  $\gamma_Q$ .

für Stahlteil,  $d=4\text{mm}$  an Vollholz mit Schrauben 6x40 (KLED „kurz“, NK 2)

$$R_d=1814,5\text{N}$$

mit  $\gamma_Q=1,5$  für veränderliche Einwirkungen

$$F=1210,0\text{N}$$

$$u_{inst} = 1\text{mm} + \frac{F}{K_{ser}} = 1 + \frac{1210}{2222} = 1,54\text{mm}$$

$$K'_{ser} = \frac{F}{u_{inst}} = \frac{1210}{1,54} = 783,5\text{N/mm}$$

für Stahlteile an Vollholz mit 70 Schrauben 6x40mm

$$F=84,70\text{kN}$$

$$K_{ser}'=54840\text{kN/m}$$

$$u_{inst}=1,54\text{mm}$$

- **System 3, Randstiel**

nach [42]: Zugverankerung der Tafel am Randstiel über ein Profil U160, das mit 5 Geka-Dübeln  $\varnothing 80$  und Bolzen M20 an den Stiel angeschlossen war.

Zum Last-Verformungsverhalten dieses Anschlusses liegen keine Untersuchungen vor. Deshalb wird der Last-Verformungswert für die Dübelverbindung nach DIN 1052 (in Eurocode 5 keine Änderung) ermittelt. Der Einfluß der elastischen Verformung des Stahlteiles wird dabei vernachlässigt.

für einseitige Einpressdübel Typ D (Geka)  $\varnothing 85$  (für :  $\varnothing 80$  keine Angaben)

$$zul.N = ef \cdot n \cdot 17000 \quad ef \cdot n = 2 + (1 - \frac{n}{20}) \cdot (n - 2) = 2 + (1 - \frac{5}{20}) \cdot (5 - 2) = 4,25$$

$$zul.N = 4,25 \cdot 17000 = 72250,0\text{N}$$

$$v(zul.N) = 1,0\text{mm} \quad C = \frac{zul.N}{v(zul.N)} = \frac{72250}{1,0} = 72250\text{N/mm}$$

$$zul.N=72,25\text{kN}$$

$$C=72250\text{kN/m}$$

$$v(zul.N)=1,0\text{mm}$$

- **System 3, Innenstiel**

nach [42]: Zugverankerung der Tafel am Innenstiel über zwei Profile U100, die mit je 3 Geka-Dübeln  $\varnothing 80$  und Bolzen M20 an den Stiel angeschlossen waren.

Zum Last-Verformungsverhalten dieses Anschlusses liegen keine Untersuchungen vor. Deshalb wird der Last-Verformungswert für die Dübelverbindung nach DIN 1052

ermittelt. Der Einfluß der elastischen Verformung des Stahlteiles wird dabei vernachlässigt.

für einseitige Einpressdübel Typ D (Geka)  $\varnothing 85$  (für :  $\varnothing 80$  keine Angaben)

$$zul.N = 2 \cdot ef \cdot n \cdot 17000$$

$$ef \cdot n = 2 + (1 - \frac{n}{20}) \cdot (n - 2) = 2 + (1 - \frac{3}{20}) \cdot (3 - 2) = 2,85$$

$$zul.N = 2 \cdot 2,85 \cdot 17000 = 96900,0N$$

$$v(zul.N) = 1,0mm \quad C = \frac{zul.N}{v(zul.N)} = \frac{96900}{1,0} = 96900 N/mm$$

**zul.N=96,90kN**

**C=96900kN/m**

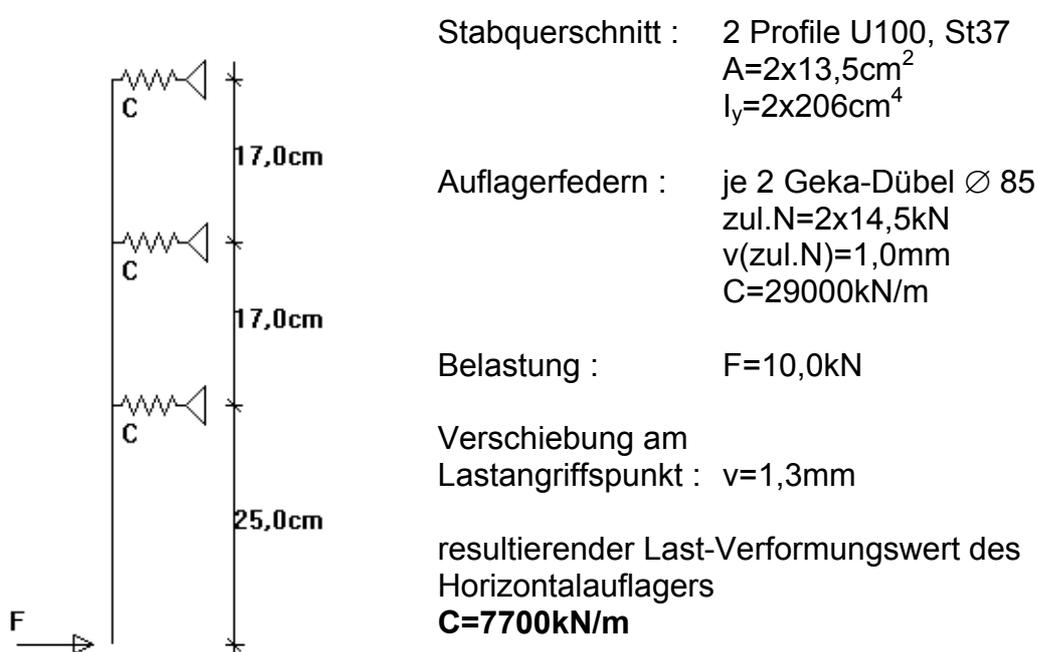
**v(zul.N)=1,0mm**

### 3.2.3.3 Horizontalaufleger

Alle Systeme sind horizontal am druckseitigen Ende des unteren Riegels über einen Kontaktstoß der Stirnfläche gegen eine feste Lagerung gehalten. Bei System 3 wurden zusätzliche Horizontallager an den mit einer vertikalen Zugverankerung versehenen Innenstielen angeordnet. Dabei erfolgte die Horizontallastübertragung über die seitlich angeschlossenen U-Profile direkt in die Unterkonstruktion. Zum Last-Verformungsverhalten dieser Anschlüsse liegen keine Untersuchungen vor.

Für die Stirnflächenlagerungen der Systeme 1, 2 und 3 kann ein festes Auflager angenommen werden. Die Nachgiebigkeit der Lagerung ergibt sich aus der Elastizität des Holzes II zur Faser. Dies wird in der Berechnung berücksichtigt.

Für die zusätzlichen Horizontallager des Systems 3 wurde ein Vergleichssystem untersucht.



### 3.2.4 Sonstige Verbindungen

In diesem Abschnitt erfolgt die Ermittlung von Last-Verformungswerten für alle bisher nicht betrachteten Verbindungen an den Systemen 1, 2 und 3.

#### 3.2.4.1 Systeme 1 und 2 – Anschluß des Lasteinleitungsriegels

Raschper [39] beschreibt diesen Anschluß auf der S. 58 wie folgt:

„... lastverteilendes Kantholz b/h=40/90mm ... Dieses Kantholz war durch 57 Nägel 3,1x90mm mit der Kopfschwelle ... verbunden.“

Zum Last-Verformungsverhalten dieses Anschlusses liegen keine Untersuchungen vor. Es wird deshalb der Lastverformungswert nach DIN 1052 und Eurocode 5 berechnet. Der Last-Verformungswert für die Ausziehbelastung wird nur nach DIN 1052, unter Annahme einer zulässigen Verformung von 0,1mm, ermittelt.

- Nach DIN 1052 für Abscherbelastung

für einschnittige Nagelverbindungen von Holz mit Holz (Vernachlässigung von  $e_f$ ):

$$zul.N = \frac{500 \cdot d_n^2}{10 + d_n} \quad C = 5,0 \cdot \frac{zul.N}{d_n} \quad v(zul.N) = 0,2 \cdot d_n$$

für jeweils 3 Nä 3,1x90

$$C=1770N/mm$$

$$v(zul.N)=0,62mm$$

- Nach DIN 1052 für Ausziehbelastung

$$zul.N_z = 1,3 \cdot d_n \cdot s = 1,3 \cdot 3,1 \cdot 40 = 160N \quad \text{mit } v(zul.N)=0,1mm$$

für jeweils 3 Nä 3,1x90

$$C_z=4800N/mm$$

$$v(zul.N)=0,1mm$$

- Nach Eurocode 5 für Abscherbelastung

Anfangsverschiebungsmodul  $K_{ser}$ , für einschnittige Nagelverbindungen von Holz mit Holz:

$$K_{ser} = \frac{\rho_k^{1,5}}{25} \cdot d^{0,8}$$

für jeweils 3 Nä 3,1x90

$$K_{ser}=2200N/mm$$

### 3.2.4.2 System 3 - Anschluß des Lasteinleitungsriegels

Die Beschreibung des Anschlusses in [42], S. 8 lautet:

„... wurde die Horizontalkraft in Wandmitte über einen aufgeleimten Brettschichtträger 100mm x 250mm in die Wand eingetragen.“

Das Last-Verformungsverhalten und die zulässigen Spannungen dieses Anschlusses werden im wesentlichen durch die jeweiligen Werte der verbundenen Bauteile bestimmt.

Die Kopfrippe wurde als Stab, der Lasteinleitungsbalken als Scheibe mit Flächenelementen modelliert. Die Elastizitätsmoduln parallel zur Holzfasern werden also in der Berechnung berücksichtigt.

Deshalb wird dieser Anschluß als steife Kopplung des unteren Randes des Lasteinleitungsbalkens an die Kopfrippe angenommen.

Eine Modellierung der Verbindungen als Feder führt, wegen der sehr unterschiedlichen Größen der Federwerte dieser Verbindung und der Federwerte der Nagelverbindung zwischen Kopfrippe und Beplankung, zu numerischen Problemen bei der Berechnung, da die Federn notwendigerweise am gleichen Stabknotenpunkt angreifen.

### 3.3 Imperfektionen der Rahmenelemente

In diesem Abschnitt wird die Auswirkung eventuell vorhandener Vorverformungen der Rahmenelemente auf das Tragverhalten des Gesamtsystems untersucht. Solche Vorverformungen sind beispielsweise in [42] für das System 3 dokumentiert. Sie wirken sich vor allem auf das Knickverhalten gedrückter Rahmenquerschnitte aus.

Gegen das Knicken in Wandebene („weiche“ Querschnittsachse) sind die Rahmenelemente durch die Beplankung gehalten. Betrachtet wird daher nur das Knicken rechtwinklig zur Wandebene.

- Knicknachweis nach dem  $\omega$ -Verfahren (DIN 1052 – alt)

Pendelstab mit  $s_k = 2,50\text{m}$  Rechteckquerschnitt 4/10cm

$$W = 66,7\text{cm}^3 \quad A = 40,0\text{cm}^2$$

$$\lambda = \frac{s_k}{i} = \frac{250}{0,289 \cdot 10} = 86 \quad \omega = 2,42$$

$$\text{zul.}F = \frac{\text{zul.}\sigma_D \cdot A}{\omega} = \frac{0,85 \cdot 40}{2,42} = 14,05\text{kN}$$

Eine solche Drucklast tritt bei den betrachteten Systemen ausschließlich am äußeren Druckstiel auf.

Der Nachweis gilt für einen Eintrag der Gesamlast am oberen Stabende. Bei den betrachteten Wandsystemen wird die Last jedoch über die Stielhöhe verteilt eingetragen. Für die weiteren Untersuchungen wird deshalb von einer gleichmäßigen Lastverteilung über die Stabhöhe ausgegangen.

- Untersuchungen nach Theorie II. Ordnung nach DIN 1052 (alt) am Einzelstiel

für Pendelstab mit  $s_k = 2,50\text{m}$  und Rechteckquerschnitt 4/10cm

Vorkrümmungswerte nach DIN 1052 Teil 1

$$e = \eta \cdot k \cdot \frac{s}{i} = 0,006 \cdot 1,67 \cdot \frac{250}{2,89} = 0,86\text{cm}$$

Die Vorkrümmung wird parabelförmig in Richtung der steiferen Querschnittsachse angesetzt. Es werden nur die Verformungsbedingungen für die Einhaltung des Nachweises herangezogen.

Es muß gelten

$$\frac{f''(\gamma_2)}{f''(\gamma_1)} \leq 4,5$$

Betrachtet werden die Verformungen für  $\gamma_1$ -fache und  $\gamma_2$ -fache Last, mit  $\gamma_1 = 2,0$  und  $\gamma_2 = 3,0$ .

Verformung in Stabmitte	$\gamma_1 \times F = 2,0 \times 30,0\text{kN}$	$f''(\gamma_1) = 11,153\text{mm}$
	$\gamma_2 \times F = 3,0 \times 30,0\text{kN}$	$f''(\gamma_2) = 55,205\text{mm}$

zul.F < 30,0kN (iterative, EDV-gestützte Ermittlung)

- Untersuchungen nach Theorie II. Ordnung nach DIN 1052 (alt) am Gesamtsystem

Um die Auswirkungen der Vertikallast auf die Druckstiele bei Annahme einer Vorkrümmung der Stielachse rechtwinklig zur Wandebene auf das Gesamtsystem und hier vor allem auf die Belastung der Nagelverbindung zwischen Stiel und Beplankung zu untersuchen, wird das Rechenmodell für System 1 mit Material- und Last-Verformungswerten nach DIN 1052 (alt) verwendet und für die Berechnung nach Theorie II. Ordnung entsprechend modifiziert (keine Federn mit Risslasten etc.).

Vorkrümmungswerte nach DIN 1052 Teil 1

$$e = \eta \cdot k \cdot \frac{s}{i} = 0,006 \cdot 1,67 \cdot \frac{250}{2,89} = 0,86 \text{ cm}$$

Dieser Wert wird auch von den in [42] dokumentierten Imperfektionswerten nicht überschritten. Die Vorkrümmung wird parabelförmig am Druckstiel angesetzt, die Vertikallast gleichmäßig über die Stablänge verteilt aufgebracht.

Es muß gelten 
$$\frac{f''(\gamma_2)}{f''(\gamma_1)} \leq 4,5$$

Betrachtet werden die Verformungen für  $\gamma_1$ -fache und  $\gamma_2$ -fache Last, mit  $\gamma_1 = 2,0$  und  $\gamma_2 = 3,0$ .

Verformung in Stabmitte	$F(\gamma_1) = 2,0 \times 40,0 \text{ kN}$	$f^{\text{II}}(\gamma_1) = 15,186 \text{ mm}$
	$F(\gamma_2) = 3,0 \times 40,0 \text{ kN}$	$f^{\text{II}}(\gamma_2) = 69,050 \text{ mm}$
Verformung am Stabkopf	$F(\gamma_1) = 2,0 \times 40,0 \text{ kN}$	$f^{\text{II}}(\gamma_1) = 2,783 \text{ mm}$
	$F(\gamma_2) = 3,0 \times 40,0 \text{ kN}$	$f^{\text{II}}(\gamma_2) = 8,357 \text{ mm}$

zul.F  $\approx$  40,0kN (iterative, EDV-gestützte Ermittlung)

Ausziehbelastung der Nägel zwischen Beplankung und Rahmen

bei Laststufe 60,0kN:	am Stielkopf	$F_z = 0,126 \text{ kN}$
	in Stielmitte	$F_z < 0,001 \text{ kN}$

- Auswertung der Untersuchungen

Bis zu einer Stieldrucklast von annähernd 30,0kN (als Gleichstreckenlast über Stielhöhe) ist der Nachweis der Tragsicherheit der Stiele zumindest für die Verformungsbedingungen erbracht. Darüber hinaus kann der Tragsicherheitsnachweis nur noch bei Berücksichtigung einer Stabilisierung des Druckstieles durch das Gesamtsystem erbracht werden, das heißt, daß für den Nachweis der Tragfähigkeit des Gesamtsystems spätestens ab einer Stieldrucklast von 30,0kN von einer Beeinflussung des Gesamttragverhaltens durch eine Vorkrümmung der Druckstiele ausgegangen werden muß.

Bei den Versuchen am System 1 wurden die zulässigen Drucklasten von 30,0 bzw. 40,0kN zum Teil deutlich überschritten. Abgesehen von der Einhaltung des Tragfähigkeitsnachweises muß sich das Gesamtsystem im Grenzbereich der Tragfähigkeit befunden haben.

Dieser Bereich spielt jedoch für die praktische Anwendung keine Rolle, da sowohl die Grenze der Gebrauchstauglichkeit überschritten ist, als auch einzelne Systemkomponenten, beispielsweise die Nagelverbindung zwischen Beplankung und Rahmen im Druckauflagerbereich, deutlich plastische Verformungen aufweisen.

Für die Versuche an den Systemen 2 und 3 liegen die dokumentierten Stieldrucklasten im wesentlichen unterhalb der für den Tragfähigkeitsnachweis zulässigen Belastung, so daß davon ausgegangen werden kann, daß die Knicksicherheit der Stiele rechtwinklig zur Wandebene auch ohne Aussteifung durch das Gesamtsystem gegeben war.

Für eine Vertikalbelastung des Druckstieles am System 1 von 60,0kN wurden die dabei auftretenden Ausziehkräfte der Nagelverbindung zwischen Beplankung und Rahmen ermittelt. Sie liegen unterhalb der zulässigen Werte ( nach DIN 1052 zul.F<sub>z</sub> = 189,3N).

**Für die weiteren Berechnungen der Systeme 1, 2 und 3 wird der Einfluß der Imperfektionen vernachlässigt.**

## **4.           Arbeitsmittel, Berechnungsmodelle und Modellbildung**

### **4.1           Hardware**

Für die Berechnungen wurde ein PC mit folgender Konfiguration verwendet:

CPU :	AMD K6 II 500MHz
Arbeitsspeicher :	312 MB
Festplatte :	DIE IBM DJNA-371350 13.5GB 2MB 7200rpm

Die angegebenen Rechenzeiten gelten für diesen PC.

### **4.2           Software**

Betriebssystem:	MS Windows 98
Textverarbeitung:	MS Word 2000
Tabellenkalkulation:	MS Excel 2000
CAD:	Nemetschek C3
FEM-Programm:	SOFiSTiK, Versionen 1.x-98 bis 12/2002

Die SOFiSTiK Statik-Software wird von der SOFiSTiK AG entwickelt und vertrieben. Sie zeichnet sich vor allem durch ihren modularen Aufbau und ihre offenen Schnittstellen aus, welche es erlauben, sehr komplexe Tragkonstruktionen zu berechnen.

Mit Hilfe der Eingabesprache CADiNP ist der Nutzer unter Verwendung der angebotenen Elementarten (QUAD, Stäbe, Federn etc.) und Programmmodule (GENF, ASE etc.) in der Lage, Problemlösungen zu entwickeln, welche durch keinerlei „geführte Eingabe“ begrenzt werden.

Weiterführende Erläuterungen sind den SOFiSTiK-Handbüchern zu entnehmen.

### **4.3           Modellierung der einzelnen Tragwerksteile**

Nachfolgend wird die Art und Weise der Modellierung der einzelnen Teile der Tragwerke angegeben. Dabei wird versucht, die Arbeitsweise der verwendeten Software darzustellen.

#### **4.3.1       Rahmenkonstruktion**

Modellierung als Stab mit Element STAB, abschnittsweise entsprechend der Nagelung zwischen Beplankung und Rahmen:

Hierbei ergeben sich bei den Systemen 1, 2, 3, 100, 200 und 300 Stablängen (8 cm), welche kleiner als eine Querschnittsabmessung (10 cm) sind. Dies wird akzeptiert, da die Schubverformung der Stäbe irrelevant ist.

### **4.3.2 Beplankung**

Modellierung als Flächenelement mit Element QUAD, Rasterung siehe Abschnitt 6.1.:

Wegen der geringen Plattendicke von 13 mm sind die Elementabmessungen in Länge und Breite immer deutlich größer als die Elementdicke.

Für die Berechnungen mit nichtlinearem Last-Verformungsverhalten des Beplankungsmaterials werden die lokalen Koordinatensysteme der Flächenelemente in einem programmierten iterativen Prozess in die Richtung der jeweiligen Hauptspannungen gedreht. Damit wirken die eingegebenen Elastizitätsmoduln immer in Richtung der Hauptspannungen, die Eingabe des Schubmoduls wird irrelevant. Eine experimentelle Ermittlung des Schubmoduls des Beplankungsmaterials kann entfallen.

### **4.3.3 Kontaktstöße der Rippen**

Modellierung als Koppeldruckfeder (Ausfall auf Zug) mit Element FEDE, Beanspruchung in axialer Richtung:

Die Kontaktstöße werden entweder als Einzelfeder (Berechnung nach DIN und EC) modelliert, oder als Kombination mehrerer Federn (Berechnung mit nichtlinearen Verbindungen) unter Verwendung von Risslasten, Flieslasten und Federschlupf. Federwerte siehe Abschnitt 3.2.1.

### **4.3.4 Nagelverbindung Beplankung - Rahmen**

Modellierung als Koppelfeder mit Element FEDE, Beanspruchung in Querrichtung. Die Nagelungen werden als Einzelfeder modelliert:

Da der Verlauf der Last-Verformungskennlinie dieser Verbindung bei den Berechnungen mit nichtlinearen Verbindungen sehr genau modelliert werden sollte, wurde eine Verwendung von Federkombinationen verworfen. Statt dessen erfolgt die Berechnung der jeweiligen Federsteifigkeit als programmierter iterativer Prozess mit mehreren Generierungsmodulen GENF und Berechnungsmodulen ASE. Dabei wird jeweils die berechnete Verformung der Nagelverbindung ausgelesen und in Abhängigkeit von diesem Wert der neue Federkennwert gewählt. Dieser Verfahren führte bei allen Systemen nach maximal 10 Iterationen zu einem stabilen Zustand. Federwerte siehe Abschnitt 3.2.2.

### **4.3.5 Vertikale Bettung der Fußrippe**

Modellierung als Druckfeder gegen Festpunkt (Ausfall auf Zug) mit Element FEDE, Beanspruchung in axialer Richtung. Die Bettungen werden als Einzelfeder modelliert: Der Riegel wird jeweils an den Stabknoten (siehe Kapitel 4.3.1) „gebettet“. Federwerte siehe Abschnitt 3.2.3.1.

#### **4.3.6 Vertikale Zuganschlüsse**

Modellierung als Feder gegen Festpunkt mit Element FEDE, Beanspruchung in axialer Richtung. Die Anschlüsse werden als Einzelfeder modelliert: Der Zugstiel wird aus rechentechnischen Gründen oberhalb des Kontaktstoßes zum Riegel angeschlossen.  
Federwerte siehe Abschnitt 3.2.3.2.

#### **4.3.7 Horizontalaufleger**

Bei den Systemen 1, 2, 10, 20, 100, und 200 werden die Horizontalaufleger als festes Auflager eingegeben, da jeweils nur ein Horizontalaufleger vorhanden ist. Da bei den Systemen 3, 30 und 300 mehrere Horizontalaufleger vorhanden sind, erfolgt die Modellierung der Lager als Feder gegen einen Festpunkt mit Element FEDE (Beanspruchung in axialer Richtung). Die Auflager werden als Einzelfeder modelliert.  
Federwerte siehe Abschnitt 3.2.3.3.

#### **4.3.8 Sonstige Verbindungen**

##### **4.3.8.1 Systeme 1, 2, 10, 20, 100 und 200 – Anschluß des Lasteinleitungsriegels**

Modellierung als Koppelfeder mit Element FEDE, Beanspruchung in Querrichtung. Die Nagelungen werden als Einzelfeder modelliert.  
Federwerte siehe Abschnitt 3.2.4.1.

##### **4.3.8.2 Systeme 3, 30 und 300 – Anschluß des Lasteinleitungsriegels**

Modellierung als starre Kopplung der benachbarten Knoten, siehe Abschnitt 3.2.4.2.

## 5. Nachweis der Systeme nach DIN 1052 und Eurocode 5

In diesem Kapitel werden kurz die erforderlichen Nachweise nach den unterschiedlichen Normen dargestellt und die aus den Nachweisen resultierenden zulässigen Belastungen ermittelt.

### 5.1 System 1 - Einrastertafel

#### • DIN 1052

„Abschnitt 11.4.2 Bemessung von Wandscheiben für die waagerechte Last  $F_H$  in Tafelebene

Abschnitt 11.4.2.1 Wandscheiben aus Einraster-Tafeln

a) Druckkraft  $D_1$  der Randrippe im Schwellenbereich

$$D_1 = \alpha_1 \cdot F_H \cdot \frac{h}{b_{s1}} \quad \text{mit } \alpha_1=2/3 \text{ für beidseitige Beplankung und } b>1,20\text{m}''$$

Aus der zulässigen Pressung  $\perp$  zur Faser am Kontaktstoß Stiel-Riegel ergibt sich:

$$\text{zul.}D_1 = \sqrt[4]{15/4} \cdot 0,2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 4 \cdot 10 \text{ cm}^2 = 11,1 \text{ kN}$$

$$\text{zul.}F_H = \frac{11,1 \text{ kN} \cdot (1,25 - 2 \cdot 0,02) \text{ m}}{2/3 \cdot 2,5 \text{ m}} = 7,8 \text{ kN}$$

„b) Anker-Zugkraft

$$Z_A = F_H \cdot \frac{h}{b_{s1}}$$

c) Die Beplankung sowie ihr Anschluß brauchen bei beidseitig beplankten Tafeln mit einer Breite  $b$  von mindestens 1,0m nicht nachgewiesen zu werden.

Die zulässige Auslenkung der Tafeln im Kopfbereich beträgt 1/500 der Tafelhöhe  $h$ . Der Nachweis darf entfallen, wenn das Verhältnis Höhe zu Breite der Tafel  $\leq 3,0$  ist.

Abschnitt E 11.4.2.1

Neben den unter a) und b) aufgeführten Nachweisen sollten auch bei genagelten Tafeln mit beidseitiger Beplankung die Verbindungsmittel für die Einleitung von  $F_H$  am Kopfpunkt (und Fußpunkt) aus der waagerechten Rippe in die Beplankung nachgewiesen werden. (...) dabei (ist) weder die zulässige Nagelbelastung (...) abzumindern, noch (...) die wirksame Nagelanzahl (...) zu begrenzen.“

Aus der zulässigen Belastung der Nagelreihen zwischen Beplankung und oberem Riegel ergibt sich:

$$\text{zul.}F_H = 2 \cdot 14 \cdot 0,306 \text{ kN} = 8,60 \text{ kN}$$

**Der Nachweis der Einrastertafel aus [39] ergibt nach DIN 1052 eine zulässige Horizontalbelastung von  $F_H=7,80\text{kN}$ .**

• **Eurocode 5**

„Abschnitt 5.4.3

Wandscheiben

(4) Der Bemessungswert der Wandscheibentragfähigkeit  $F_{v,d}$  sollte berechnet werden zu:

$$F_{v,d} = \sum F_{f,d} (b_i / b_1)^2 b_1 / s$$

hierin bedeuten:

$F_{f,d}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Abscheren pro Verbindungsmittel
$b_1$	größte Breite einer Holzwerkstoffplatte
$b_i$	Breiten der übrigen Holzwerkstoffplatten ( $b_2, b_3, \dots$ )
$s$	Abstand der Verbindungsmittel untereinander

Entlang den Rändern der Holzwerkstoffplatten dürfen die in Abschnitt 6 angegebenen Werte der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel um 20% erhöht werden.“

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Verbindungsmittel wurde unter 3.2.2.2 nach Eurocode 5 ermittelt als Bemessungswert  $R_d$ , für den Anschluß von Flachpreßplatten nach DIN 68763,  $d=13\text{mm}$  an Vollholz mit Nä 28x50. (KLED „kurz“, NK 2, maßgebend Versagensmechanismus 3 nach Johansen)

$$F_{f,d} = R_d = 619\text{N}$$

$$F_{v,d} = 2 \cdot (1,2 \cdot 0,619\text{kN} \cdot 125/8) = 23,2\text{kN}$$

Der charakteristische Wert der Wandscheibentragfähigkeit  $F_{v,k}$  ergibt sich damit zu:

$$F_{v,k} = F_{v,d} / \gamma_Q = 23,2\text{kN} / 1,5 = 15,5\text{kN}$$

„(6) Die gedrückten Rippen sollten für die folgende Druckkraft bemessen werden:

$$F_d = 0,67 \cdot F_{v,d} \cdot h/b$$

Aus dem Nachweis der Druckbelastung  $\perp$  zur Faserrichtung am Kontaktstoß ergibt sich ein Bemessungswert der Wandscheibentragfähigkeit von:

$$F_{v,d} = \frac{1,65 \cdot 0,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot 0,9 \cdot 4\text{cm} \cdot 10\text{cm} \cdot 1,25\text{m}}{1,3 \cdot 0,67 \cdot 2,5\text{m}} = 17,0\text{kN}$$

Der charakteristische Wert der Wandscheibentragfähigkeit  $F_{v,k}$  ergibt sich damit zu

$$F_{v,k} = 17,0\text{kN} / 1,5 = 11,4\text{kN}$$

**Der Nachweis der Einrastertafel aus [39] ergibt nach Eurocode 5 einen charakteristischen Wert der Wandscheibentragfähigkeit von  $F_H=11,40\text{kN}$ . Dieser Wert ist der zulässigen Horizontalbelastung nach DIN 1052 vergleichbar.**

*(7) Die gezogenen Rippen sollten unmittelbar in der Unterkonstruktion verankert und für die folgende Zugkraft  $F_d$  bemessen werden:*

$$F_d = F_{v,d} \cdot h/b$$

Auf diesen Nachweis wird an dieser Stelle verzichtet.

- **DIN 1052 neu**

Grundsätzlich ist der Nachweis der Wandscheibentragfähigkeit nach Eurocode 5 und DIN 1052 neu gleich.

Abweichungen ergeben sich z.B. beim Nachweis der Druckspannung  $\perp$  zur Faserrichtung am Kontaktstoß Druckstiel – Riegel, da die Bemessungsvorschriften der DIN 1052 neu eine Vergrößerung der Pressfläche vorsehen. Der Nachweis ist jedoch nicht maßgebend; auf eine weitere Betrachtung wird deshalb verzichtet.

## 5.2 System 2 - Zweirastertafel

- **DIN 1052**

„Abschnitt 11.4.2 Bemessung von Wandscheiben für die waagerechte Last  $F_H$  in Tafelebene

Abschnitt 11.4.2.2 Wandscheiben aus Mehrraster-Tafeln

Mehrraster-Tafeln mit  $n$  Rastern werden sinngemäß nach Abschnitt 11.4.2.1 bemessen.

Die Druckkräfte  $D_i$  der Rippen im Schwellenbereich ergeben sich aus

$$D_1 = \alpha_1 \cdot F_H \cdot \frac{h}{b_s} \text{ „}$$

mit  $\alpha_1=2/3$  für die Randrippe bei beidseitiger Beplankung

mit  $\alpha_i=1/5$  für übrige Rippen bei beidseitiger Beplankung

Aus der zulässigen Pressung  $\perp$  zur Faser am Kontaktstoß Stiel-Riegel ergibt sich:

$$\text{zul.}D_1 = \sqrt[4]{\frac{15}{4}} \cdot 0,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot 4 \cdot 10 \text{cm}^2 = 11,1 \text{kN}$$

$$\text{zul.}F_H = \frac{11,1 \text{kN} \cdot (2,5 - 2 \cdot 0,02) \text{m}}{\frac{2}{3} \cdot 2,5 \text{m}} = 16,4 \text{kN}$$

$$\text{vorh.}D_i = \frac{1}{5} \cdot 16,4 \text{kN} \cdot \frac{2,5 \text{m}}{(2,5 - 2 \cdot 0,02) \text{m}} = 3,3 \text{kN}$$

„Die Anker-Zugkraft

$$Z_A = F_H \cdot \frac{h}{b_s}$$

braucht nur am zugbeanspruchten Rand der Gesamttafel aufgenommen zu werden.

Werden Mehrraster-Tafeln durch Zusammenfügen von Einraster-Tafeln gebildet, so ist deren Verbindung schubsteif auszubilden. Sofern kein genauere Nachweis erfolgt, sind die Verbindungsmittel für die Schubkraft  $T=Z_A$  zu bemessen.“

Aus der Verbindungsmittellanzahl am Plattenstoß ergibt sich:

$$\text{zul.}T = 2 \cdot 30 \cdot 0,306 \text{kN} = 18,4 \text{kN}$$

$$\text{zul.}F_H = \frac{18,4 \text{kN} \cdot (2,5 - 2 \cdot 0,02) \text{m}}{2,5 \text{m}} = 18,1 \text{kN}$$

„Ferner sind im Kopf- und erforderlichenfalls auch im Fußbereich durchgehende Gurte anzuordnen, deren Anschlüsse für die Weiterleitung der waagerechten Last  $F_H$  zu bemessen sind.“

Aus der zulässigen Belastung der Nagelreihen zwischen Beplankung und oberem Riegel ergibt sich:

$$zul.F_H = 2 \cdot 28 \cdot 0,306kN = 17,1kN$$

**Der Nachweis der Zweirastertafel aus [39] ergibt nach DIN 1052 eine zulässige Horizontalbelastung von  $F_H=16,40kN$ .**

- **Eurocode 5**

„(4) Der Bemessungswert der Wandscheibentragfähigkeit  $F_{v,d}$  sollte berechnet werden zu:

$$F_{v,d} = \sum F_{f,d} (b_i/b_1)^2 b_1/s$$

hierin bedeuten:

$F_{f,d}$	Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Abscheren pro Verbindungsmittel
$b_1$	größte Breite einer Holzwerkstoffplatte
$b_i$	Breiten der übrigen Holzwerkstoffplatten ( $b_2, b_3, \dots$ )
$s$	Abstand der Verbindungsmittel untereinander

Entlang den Rändern der Holzwerkstoffplatten dürfen die in Abschnitt 6 angegebenen Werte der Tragfähigkeit der Verbindungsmittel um 20% erhöht werden.“

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit pro Verbindungsmittel wurde unter 3.2.2.2 nach Eurocode 5 ermittelt als Bemessungswert  $R_d$ , für den Anschluß von Flachpreßplatten nach DIN 68763,  $d=13mm$  an Vollholz mit Nä 28x50. (KLED „kurz“, NK 2, maßgebend Versagensmechanismus 3 nach Johansen)

$$F_{f,d} = R_d = 619N$$

$$F_{v,d} = 2 \cdot 2 \cdot (1,2 \cdot 0,619 \cdot 125/8) = 46,4kN$$

Der charakteristische Wert der Wandscheibentragfähigkeit  $F_{v,k}$  ergibt sich damit zu

$$F_{v,k} = F_{v,d} / \gamma_Q = 46,4/1,5 = 31,0kN$$

„(6) Die gedrückten Rippen sollten für die folgende Druckkraft bemessen werden:

$$F_d = 0,67 \cdot F_{v,d} \cdot h/b$$

Aus dem Nachweis Druckbelastung  $\perp$  zur Faserrichtung am Kontaktstoß ergibt sich ein Bemessungswert der Wandscheibentragfähigkeit von:

$$F_{v,d} = \frac{1,65 \cdot 0,5 \frac{kN}{cm^2} \cdot 0,9 \cdot 4cm \cdot 10cm \cdot 2,5m}{1,3 \cdot 0,67 \cdot 2,5m} = 34,1kN$$

Der charakteristische Wert der Wandscheibentragfähigkeit  $F_{v,k}$  ergibt sich damit zu

$$F_{v,k} = 34,1kN / 1,5 = 22,7kN$$

**Der Nachweis der Zweirastertafel aus [39] ergibt nach Eurocode 5 einen charakteristischen Wert der Wandscheibentragfähigkeit von  $F_H=22,70kN$ . Dieser Wert ist der zulässigen Horizontalbelastung nach DIN 1052 vergleichbar.**

*„(7) Die gezogenen Rippen sollten unmittelbar in der Unterkonstruktion verankert und für die folgende Zugkraft  $F_d$  bemessen werden:*

$$F_d = F_{v,d} \cdot h/b \text{“}$$

Auf diesen Nachweis wird an dieser Stelle verzichtet.

- **DIN 1052 neu**

siehe Kapitel 5.1

### 5.3 System 3 - Mehrrastertafel

Der Aufbau der in [42] beschriebenen Mehrrasterwandscheibe weicht in entscheidenden Punkten von den Konstruktionsprinzipien der DIN 1052 und des Eurocode 5 ab:

- Anordnung und Anzahl der Verbindungsmittel zwischen Kopfrippe und Beplankung sind auf die Einleitung der maximalen Versuchslast ausgelegt ( $e=4,4\text{cm}$  bei zwei Verbindungsmittelreihen) und unterscheiden sich deutlich von der Ausführung an der Fußrippe ( $e=8,0\text{cm}$  bei einer Verbindungsmittelreihe).
- Die Horizontallagerung findet nicht ausschließlich durch Lagerung der Fußrippe statt, sondern wird durch Horizontallagerung der Fußpunkte der Vertikalrippen an den Beplankungsstößen ergänzt.
- Die Zugverankerung findet nicht nur an der Randrippe statt, sondern zusätzlich an der zugrandnahen Vertikalrippe im Bereich des Beplankungsstoßes.

Die genannten Details führen zu einem Tragverhalten unter Horizontalbelastung, welches mit den Berechnungsgleichungen der Normen nicht erfassbar ist.

Eine Berechnung nach DIN 1052 alt bzw. Eurocode 5 ist deshalb nicht möglich.

#### 5.3.1 Berechnung nach dem Verfahren von KESSEL [19]

Das Nachweisverfahren von Kessel beruht auf den Berechnungsverfahren des Eurocodes 5 und der im Entwurf vorliegenden neuen DIN 1052.

Üblicherweise wird zur Bemessung der Scheiben im Holzrahmenbau ein Fachwerkmodell benutzt, bei dem die tatsächlich vorhandene Beplankung durch Zugdiagonalen (eventuell auch gekreuzte Diagonalen) ersetzt wird. Dieses Modell ist leicht handhabbar, hat jedoch einen Nachteil: Die Lastübertragung zwischen Rahmenrippen und Diagonalen erfolgt beim Fachwerkmodell an den Anschlußpunkten der Diagonalen, den Rahmenecken. Tatsächlich erfolgt aber gerade an diesen Punkten keine Lastübertragung zwischen Beplankung und Rippen.

Bei dem Verfahren nach Kessel wird die Bemessung der Wandscheibe mit dem Modell des Schubfeldträgers (Schubfeldverfahren) durchgeführt. Dabei werden die sich kreuzenden Einzeldiagonalen des Fachwerkmodells durch eine Schar von unter  $45^\circ$  geneigten Diagonalen ersetzt, welche jeweils eine konstante Zugkraft bzw. eine betragsmäßig gleich große Druckkraft haben. Daraus ergibt sich für die Beplankung eine, bezogen auf die Ränder bzw. die Richtung der Rippen, konstante Schubbeanspruchung in Längsrichtung der Rippen. Das Verfahren erlaubt auch die Bemessung von Beplankungsstößen, für die nach dem Fachwerkmodell keine sinnvolle Bemessung möglich war.

Für die Anwendung des Schubfeldverfahrens sind unter anderem folgende Voraussetzungen nötig:

- Umlaufend annähernd gleicher Abstand der stiftförmigen Verbindungsmittel an den Beplankungsrändern, welcher ein Versagen der Verbindung vor dem Versagen der Beplankung sicherstellt.
- Gleichmäßige Einleitung der Horizontallast aus der Kopfrippe in die Beplankung und ebenso gleichmäßiger Lastabtrag aus der Beplankung in die Fußrippe.

Sowohl das Fachwerk- als auch das Schubfeldmodell setzen eine grundfeste Verankerung der Zugrandrippe voraus. Weitere Zugverankerungen von Vertikalrippen an den Beplankungsstößen sind nach beiden Modellen lastfrei und damit nicht erforderlich.

Vertikale Rippen zwischen den Beplankungsstößen sind nach dem Schubfeldmodell ebenfalls frei von planmäßiger Belastung.

Ein Vergleich der Konstruktionsprinzipien der Mehrrastertafel nach [42] mit den genannten Voraussetzungen zeigt, daß das Verfahren von Kessel hier nicht anwendbar ist, bzw. keine sinnvollen Ergebnisse liefern kann:

- Die Anordnung der Verbindungsmittel an der Kopfrippe weicht stark von der Anordnung an der Fußrippe ab. Zudem ist nicht auszuschließen, daß ein Versagen der Beplankung vor einem Versagen der Verbindungsmittel eingetreten ist.
- Die Horizontallagerung erfolgte teilweise am Fußpunkt der vertikalen Innenrippen, über die tatsächliche Lastverteilung macht [42] keine Angaben.
- Das in [42] dokumentierte Verhältnis der Zugbelastungen der beiden vorhandenen Verankerungen war in allen Horizontallaststufen etwa 50:50.
- Die vertikale Druckbelastung der Zwischenrippen war ein entscheidendes qualitatives Merkmal des Tragverhaltens der untersuchten Mehrrastertafel.

### **5.3.2 Berechnung nach dem Verfahren KÄLLSNER / GIRHAMMAR / WU [28]**

In [28] wird eine Methode zur Bemessung von Aussteifungswänden des Holzrahmenbaus gezeigt, welche folgende Bedingungen erfüllen soll:

- Sie soll für unterschiedliche Verbindungssituationen zwischen Wandscheibe und Untergrund verwendbar sein.
- Die Methode soll für eine Handrechnung verwendbar sein.
- Sie soll das Tragvermögen der Wandscheibe im Grenzzustand der Tragfähigkeit erfassen.

- Der Einfluß angrenzender Wand- und Deckenscheiben soll berücksichtigt werden.
- Die Methode soll Ergebnisse auf der sicheren Seite liefern.
- Sie soll zu ökonomischen Konstruktionen führen.

Gleichzeitig werden folgende Grenzen des Bemessungsmodells definiert:

- Das Modell kann nur für Aussteifungswände verwendet werden, bei denen die Beplankung am Rahmen durch mechanische Verbindungsmittel mit plastischem Tragverhalten befestigt ist.
- Es umfasst nur statische Lasten im Grenzzustand der Tragfähigkeit und kann nicht zur Bestimmung von Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit verwendet werden.
- Das Risiko von Sprödbbruchversagen der Beplankung bedingt durch zu geringe Verbindungsmittelabstände muß ausgeschlossen sein.

In [28] werden verschiedene Modelle vorgestellt, welche auf einander aufbauen und jeweils eine Verfeinerung des Vorgängermodells darstellen, um letztendlich zu einer Methode zu gelangen, welche die vorgenannten Bedingungen erfüllt.

Für die Untersuchung der Mehrrastertafel aus [42] war vor allem die Erfassung unterschiedlicher Verbindungssituationen zwischen Wandscheibe und Untergrund interessant.

Tatsächlich wird in [28] jedoch unterschieden zwischen:

- einem vollverankerten Randstiel,
- einer vollverankerten Fußrippe, ohne Verankerung des Randstiels.

Die Verankerung einer Innenrippe wird von den gezeigten Modellen nicht erfaßt.

Außerdem wird, wie bei dem Verfahren nach Kessel, eine Lastfreiheit der vertikalen Rippen zwischen den Beplankungsstößen unterstellt.

Aus den genannten Gründen sind die von Källsner / Girhammar / Wu entwickelten Modelle für die Berechnung der Mehrrastertafel aus [42] ungeeignet.

## 5.4 Ergebnisdiskussion

Die Nachweismethoden nach DIN 1052 und Eurocode 5 sind grundsätzlich gleich, liefern jedoch nach Eurocode 5 deutlich höhere charakteristische Wandtragfähigkeiten der Einrastertafel.

Unabhängig davon implizieren alle Normen eine Überlastung der Nagelverbindung zwischen Beplankung und Fußrippe am Druckrand.

- Die Horizontallast wird aus der horizontalen Kopfrippe in die Beplankung eingeleitet.  
Die Bemessung erfolgt allgemein mit:

$$\text{zul.}F_H = \text{Nagelanzahl} \times \text{zul. Nagelbelastung}$$

jeweils für den oberen und den unteren Rand der Wandtafel.  
Damit sind die Nagelverbindungen an den horizontalen Rändern ausgelastet; selbst bei Anordnung zusätzlicher Nägel ist die Lastreserve gering.

- Der überwiegende Teil der resultierenden vertikalen Drucklast wird durch die druckseitige Randrippe über einen Kontaktstoß auf die vertikal gebettete Fußrippe übertragen.  
Die Bemessung erfolgt für beidseitig beplankte Tafeln allgemein mit:

$$D_{\text{Randstiel}} = 2/3 \times F_H \times h/b.$$

Die Übertragung der übrigen resultierenden vertikalen Drucklast muß über die Innenrippen und die Nagelverbindung Beplankung - Fußrippe erfolgen. Dies muß streng genommen randnah erfolgen, da ansonsten unter Berücksichtigung der nachfolgenden Gleichung kein Gleichgewicht besteht.

- Die resultierende vertikale Zuglast wird durch die grundfest verankerte zugseitige Randrippe abgetragen.  
Es gilt allgemein:

$$Z = F_H \times \text{Wandhöhe } h / \text{Wandbreite } b.$$

Über die tatsächliche Größe und Auswirkung der Überlastung der Nagelverbindung zwischen Beplankung und Fußrippe am Druckrand werden keine Aussagen gemacht.

Für eine Berechnung von Wandtafeln mit abweichenden Konstruktionsprinzipien, wie beispielsweise die Mehrrastertafel nach [42], konnten keine geeigneten vereinfachten Bemessungsverfahren gefunden werden. Auch die Verfahren nach Kessel [19] und Källsner / Girhammar / Wu [28] sind hierfür nicht geeignet.

Darüber hinaus ist eine Berechnung der Drucklasten der zwischen den Beplankungsstößen angeordneten Vertikalrippen mit keinem der genannten Verfahren möglich.

## **6. Berechnung der Systeme mit der FE-Methode**

Die Systeme werden unter Verwendung verschiedener Berechnungsmodelle und mit verschiedenen Randbedingungen berechnet.

### **6.1 Berechnungsmodelle**

Zur Ermittlung des Einflusses von verschiedenen Arten und Rasterungen bei der Modellbildung werden die Systeme mit jeweils drei verschiedenen Berechnungsmodellen untersucht.

- System 1 – Einrastertafel aus [39]: Berechnungsmodelle „System 1“, „System 10“ und „System 100“
- System 2 – Zweirastertafel aus [39]: Berechnungsmodelle „System 2“, „System 20“ und „System 200“
- System 3 – Mehrrastertafel aus [42]: Berechnungsmodelle „System 3“, „System 30“ und „System 300“

### 6.1.1 Berechnungsmodelle „System 1“, „System 2“ und „System 3“

Bei den Berechnungsmodellen mit den Bezeichnungen „System 1“, „System 2“ bzw. „System 3“ werden grundsätzlich alle vorhandenen Nagelungen zwischen Beplankung und Rahmen als Punktfeder erfasst. Daraus resultieren eine große Anzahl von Einzelfedern und, wegen der ungleichen Nagelabstände an Rand- und Zwischenstielen, eine sehr aufwendige und in Teilbereichen sehr kleinteilige Elementierung der Beplankung. Insgesamt erfordern diese Modelle einen relativ hohen Eingabe- und Berechnungsaufwand.

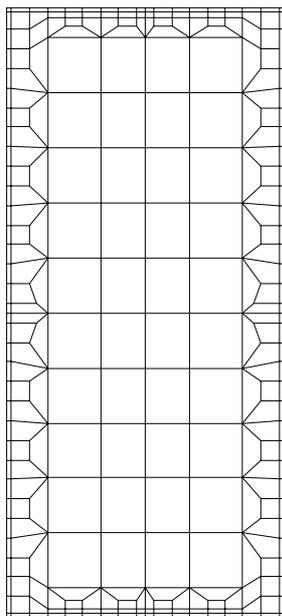


Bild 6.1.1-1  
Elementierung der  
Beplankung „System 1“

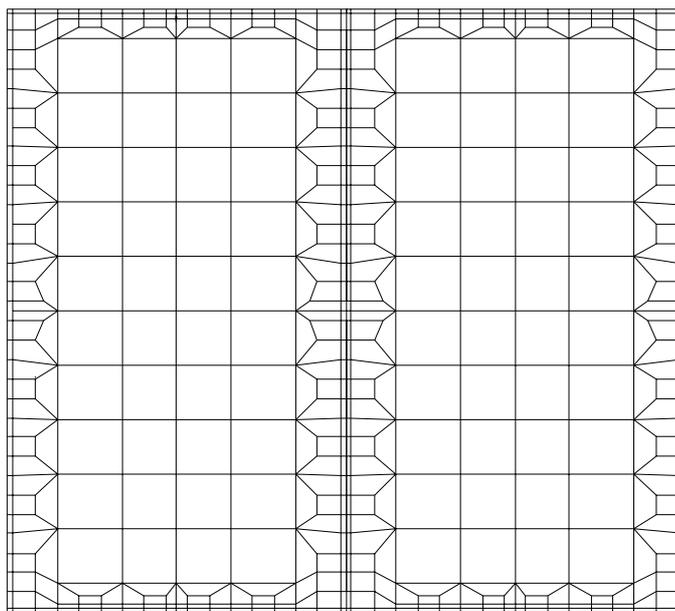


Bild 6.1.1-2  
Elementierung der  
Beplankung „System 2“

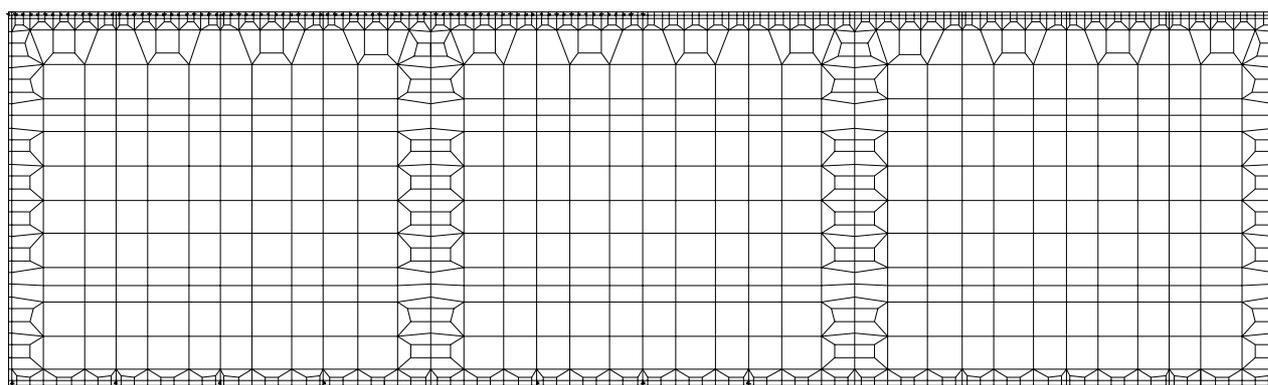


Bild 6.1.1-3  
Elementierung der Beplankung „System 3“

Sonstige graphische Darstellungen der Systeme siehe Anhang 6, Bilder 6.1-1 und 6.1-2, Bilder 6.1-7 und 6.1-8, Bilder 6.1-13 und 6.1-14

## 6.1.2 Berechnungsmodell „System 10“, „System 20“ und „System 30“

Vereinfachend zu den Berechnungsmodellen unter 6.1.1 werden bei den Berechnungsmodellen mit der Bezeichnung „System 10“, „System 20“ bzw. „System 30“ die Beplankungen mit einem quadratischen Raster mit der Seitenlänge 15,625 cm (125/8 cm bzw. 250/16 cm) elementiert.

Die Last-Verformungswerte bzw. -kennlinien der Nagelung zwischen Beplankung und Rahmen werden entsprechend dem Verhältnis zwischen tatsächlichem und modelliertem Nagelabstand umgerechnet.

Daraus ergibt sich ein entsprechend geringerer Eingabe- und Berechnungsaufwand und eine höhere Flexibilität bei der Verwendung der Berechnungsmodelle für Systeme mit unterschiedlichen Nagelabständen bzw. bei der Optimierung der Nagelabstände.

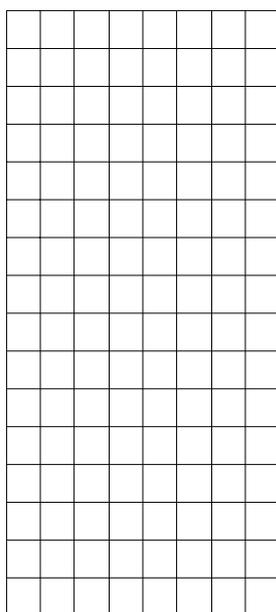


Bild 6.1.2-1  
Elementierung der  
Beplankung „System 10“

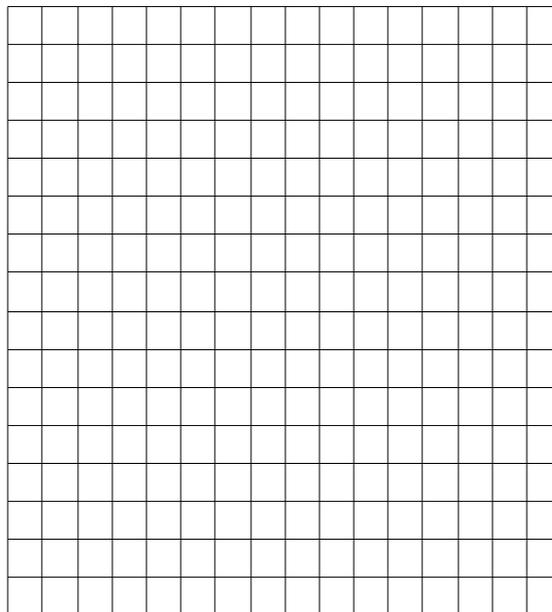


Bild 6.1.2-2  
Elementierung der  
Beplankung „System 20“

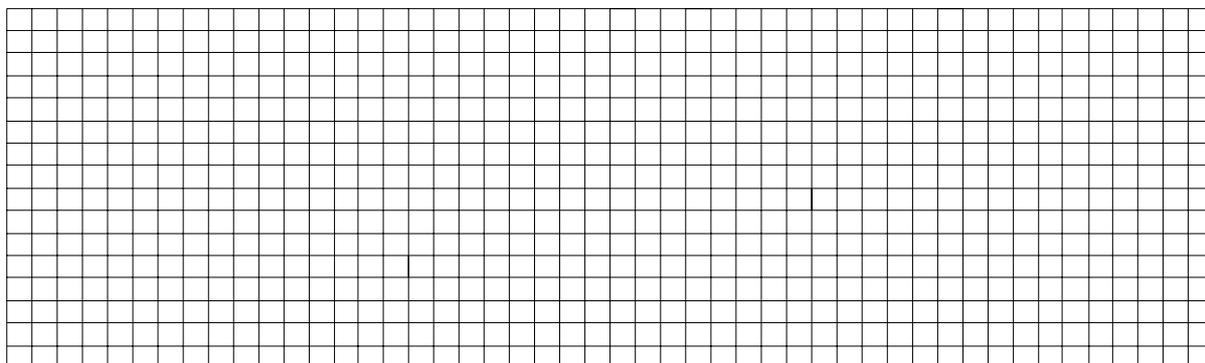


Bild 6.1.2-3  
Elementierung der Beplankung „System 30“

Sonstige graphische Darstellungen der Systeme siehe Anhang 6, Bilder 6.1-3 und 6.1-4, Bilder 6.1-9 und 6.1-10, Bilder 6.1-15 und 6.1-16

### 6.1.3 Berechnungsmodell „System 100“, „System 200“ und „System 300“

Bei den Berechnungsmodellen „System 100“, „System 200“ und „System 300“ werden die Beplankungen mit einem Raster modelliert, welches dem Nagelabstand an den Randstielen entspricht.

An diesen Modellen soll gezeigt werden, ob die nichtlineare Modellierung des Last-Verformungsverhaltens der Beplankung durch das Elementraster beeinflusst wird. Bedingt durch eine, im Vergleich zum „System 1“, „System 2“ bzw. „System 3“ gleichmäßige Rasterung der Beplankung, ist der Eingabeaufwand bei Verwendung der durch das Programm gegebenen Möglichkeiten geringer, allerdings ergeben sich längere Berechnungszeiten.

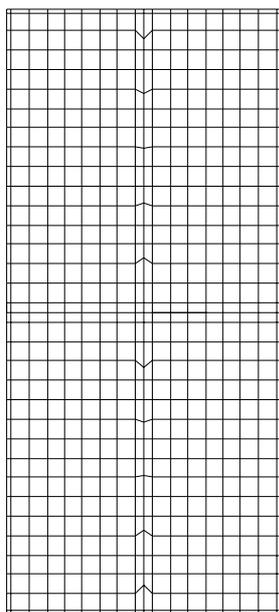


Bild 6.1.3-1  
Elementierung der  
Beplankung „System 100“

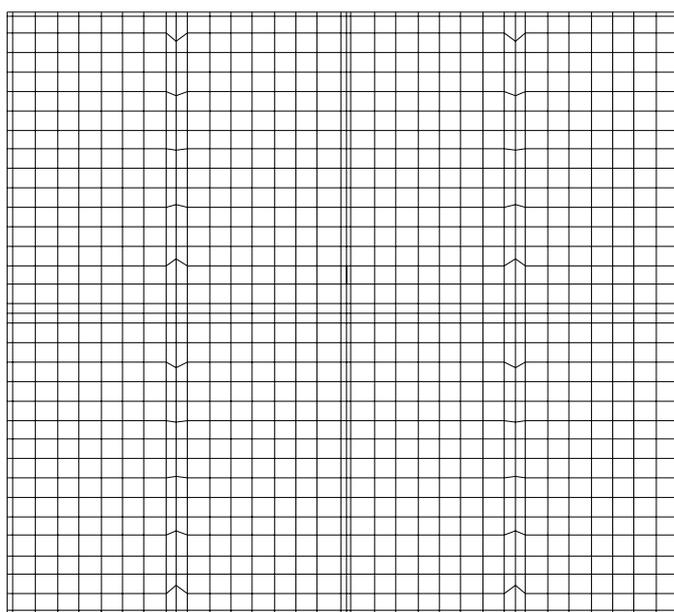


Bild 6.1.3-2  
Elementierung der  
Beplankung „System 200“

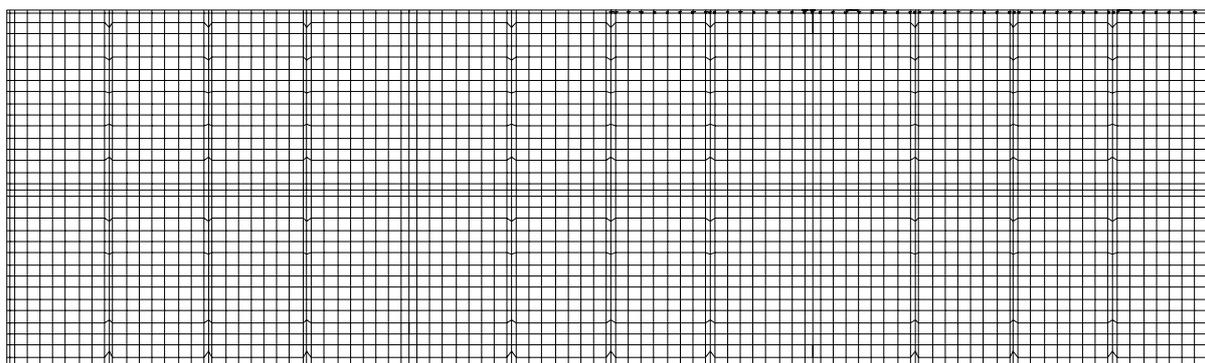


Bild 6.1.3-3  
Elementierung der Beplankung „System 300“

Sonstige graphische Darstellungen der Systeme siehe Anhang 6, Bilder 6.1-5 und 6.1-6, Bilder 6.1-11 und 6.1-12, Bilder 6.1-17 und 6.1-18

## 6.2 Randbedingungen

Zur Ermittlung des Einflusses der Modellierung der Randbedingungen werden die Berechnungsmodelle nach Kapitel 6.1 mit den in Kapitel 3 nach Normen bzw. Versuchen ermittelten Last-Verformungsverhalten der Materialien und der Verbindungen berechnet.

### 6.2.1 Randbedingung „DIN 1052“ Material- und Last-Verformungswerte nach DIN 1052 alt

		Berechnungsmodelle System 1, 2, 3 System 100, 200, 300	Berechnungsmodelle System 10, 20, 30
<b>Materialwerte</b>			
Vollholz	E-Modul II zur Faser	$E_{II} = 10000,0 \text{ N/mm}^2$	
	Eigengewicht	$5,0 \text{ kN/m}^3$	
Brettschichtholz	E-Modul II zur Faser	$E_{II} = 11000,0 \text{ N/mm}^2$	
	E-Modul $\perp$ zur Faser	$E_{\perp} = 300,0 \text{ N/mm}^2$	
	G-Modul	$G = 500,0 \text{ N/mm}^2$	
	Eigengewicht	$5,0 \text{ kN/m}^3$	
Flachpreßplatte d=13mm	E-Modul in	$E_{PI} = 2200,0 \text{ N/mm}^2$	
	G-Modul in	$G_{PI} = 1100,0 \text{ N/mm}^2$	
	Eigengewicht	$6,5 \text{ kN/m}^3$	
<b>Last-Verformungswerte der Verbindungen</b>		$e_{\text{korr},1} = 15,625/2,2$ $e_{\text{korr},2} = 15,625/8,0$ $e_{\text{korr},3} = 15,625/22,5$	
Kontaktstoß Vertikal- auf Horizontalrippe	Rippe 4/10cm auf Rippe 4/10cm	$C = 4270 \text{ kN/m}$	
	Rippe 4/10cm auf Rippe 4/10cm	$C = 7420 \text{ kN/m}$	
	Rippe 8/10cm auf Rippe 4/10cm	$C = 12480 \text{ kN/m}$	
zusätzliche Kopplungen	Rippenenden auf Fußrippe	für Horizontalverschiebung	
Nagelung Beklankung-Rahmen	für $e = 4,4\text{cm}$ , zweireihig	$C_{\text{quer}} = 2 \times 730 \text{ kN/m} (*)$	$C_{\text{quer}} = 730 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korr},1}$
	für $e = 8,0\text{cm}$	$C_{\text{quer}} = 730 \text{ kN/m}$	$C_{\text{quer}} = 730 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korr},2}$
	für $e = 22,5 \text{ cm}$	$C_{\text{quer}} = 730 \text{ kN/m}$	$C_{\text{quer}} = 730 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korr},3}$
Zuganschlüsse	System 1 und 2	$C_{\text{längs}} = 27320 \text{ kN/m}$	
	System 3, Randrippe	$C_{\text{längs}} = 72250 \text{ kN/m}$	
	System 3, Innenrippe	$C_{\text{längs}} = 96900 \text{ kN/m}$	
Horizontallager	Kontaktstoß Stirnfläche	fest	
	System 3, Rippen	$C_{\text{quer}} = 7700 \text{ kN/m}$	
Anschluß Lastriegel	System 1 und 2 (je 3 Nä/Knoten)	$C_{\text{quer}} = 1770 \text{ kN/m}$ $C_{\text{längs}} = 4800 \text{ kN/m}$	$C_{\text{quer}} = 1770 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korr},2}$ $C_{\text{längs}} = 4800 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korr},2}$
	System 3	fest	
sonstige Anschlüsse	Bettung Fußrippe	$C_{\text{Bett}} = 15 \text{ N/mm}^3$	

(\*) zweireihige Nagelung als einreihig modelliert

## 6.2.2 Randbedingung „EC 5“ Material- und Last-Verformungswerte nach Eurocode 5

		Berechnungsmodelle System 1, 2, 3 System 100, 200, 300	Berechnungsmodelle System 10, 20, 30
<b>Materialwerte</b>			
Vollholz	E-Modul II zur Faser	$E_{II} = 11000,0 \text{ N/mm}^2$	
	Eigengewicht	$5,0 \text{ kN/m}^3$	
Brettschichtholz	E-Modul II zur Faser	$E_{II} = 11500,0 \text{ N/mm}^2$	
	E-Modul $\perp$ zur Faser	$E_{\perp} = 380,0 \text{ N/mm}^2$	
	G-Modul	$G = 720,0 \text{ N/mm}^2$	
	Eigengewicht	$5,0 \text{ kN/m}^3$	
Flachpreßplatte d=13mm	E-Modul in	$E_{PI} = 2200,0 \text{ N/mm}^2$	
	G-Modul in	$G_{PI} = 1100,0 \text{ N/mm}^2$	
	Eigengewicht	$6,5 \text{ kN/m}^3$	
<b>Last-Verformungswerte der Verbindungen</b>		$e_{\text{korrr},1} = 15,625/2,2$ $e_{\text{korrr},2} = 15,625/8,0$ $e_{\text{korrr},3} = 15,625/22,5$	
Kontaktstoß Vertikal- auf Horizontalrippe	Rippe 4/10cm auf Rippe 4/10cm	$K = 6150 \text{ kN/m}$	
	Rippe 4/10cm auf Rippe 4/10cm	$K = 10150 \text{ kN/m}$	
	Rippe 8/10cm auf Rippe 4/10cm	$K = 17350 \text{ kN/m}$	
zusätzliche Kopplungen	Rippenenden auf Fußrippe	für Horizontalverschiebung	
Nagelung Beplankung-Rahmen	für e= 4,4cm, zweireihig	$K_{\text{quer}} = 2 \times 854 \text{ kN/m}$	$K_{\text{quer}} = 854 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korrr},1}$
	für e= 8,0cm	$K_{\text{quer}} = 854 \text{ kN/m}$	$K_{\text{quer}} = 854 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korrr},2}$
	für e= 22,5 cm	$K_{\text{quer}} = 854 \text{ kN/m}$	$K_{\text{quer}} = 854 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korrr},3}$
Zuganschlüsse	System 1 und 2	$K_{\text{längs}} = 54840 \text{ kN/m}$	
	System 3, Randrippe	$K_{\text{längs}} = 72250 \text{ kN/m}$	
	System 3, Innenrippe	$K_{\text{längs}} = 96900 \text{ kN/m}$	
Horizontallager	Kontaktstoß Stirnfläche	fest	
	System 3, Rippen	$K_{\text{quer}} = 7700 \text{ kN/m}$	
Anschluß Lastriegel	System 1 und 2 (je 3 Nä/Knoten)	$K_{\text{quer}} = 2200 \text{ kN/m}$ $K_{\text{längs}} = 4800 \text{ kN/m}$	$K_{\text{quer}} = 2200 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korrr},2}$ $K_{\text{längs}} = 4800 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korrr},2}$
	System 3	fest	
	sonstige Anschlüsse	Bettung Fußrippe	$K_{\text{Bett}} = 15 \text{ N/mm}^3$

### 6.2.3 Randbedingung „n.I. VM“ nichtlineare Last-Verformungskennlinien der Verbindungsmittel Materialwerte nach DIN 1052 alt

		Berechnungsmodelle System 1, 2, 3 System 100, 200, 300	Berechnungsmodelle System 10, 20, 30
<b>Materialwerte</b>		wie Randbedingung „DIN 1052“	
<b>Last-Verformungswerte der Verbindungen</b>		$e_{\text{korr},1} = 15,625/2,2$ $e_{\text{korr},2} = 15,625/8,0$ $e_{\text{korr},3} = 15,625/22,5$	
Kontaktstoß Vertikal- auf Horizontalrippe	Rippe 4/10cm auf Rippe 4/10cm	$C_1 = 1500 \text{ kN/m bis } F = 0,376 \text{ kN bzw. } v = 0,25 \text{ mm}$ $C_2 = 5080 \text{ kN/m bis } F = 2,000 \text{ kN bzw. } v = 0,57 \text{ mm}$ $C_3 = 9850 \text{ kN/m}$	
	Rippe 4/10cm auf Rippe 4/10cm	$C_1 = 1340 \text{ kN/m bis } F = 0,335 \text{ kN bzw. } v = 0,25 \text{ mm}$ $C_2 = 4790 \text{ kN/m bis } F = 1,532 \text{ kN bzw. } v = 0,57 \text{ mm}$ $C_3 = 9440 \text{ kN/m bis } F = 3,893 \text{ kN bzw. } v = 0,75 \text{ mm}$ $C_4 = 14510 \text{ kN/m bis } F = 18,406 \text{ kN bzw. } v = 1,75 \text{ mm}$ $C_5 = 8000 \text{ kN/m}$	
	Rippe 8/10cm auf Rippe 4/10cm	$C_1 = 4750 \text{ kN/m bis } F = 1,900 \text{ kN bzw. } v = 0,40 \text{ mm}$ $C_2 = 13800 \text{ kN/m bis } F = 6,730 \text{ kN bzw. } v = 0,75 \text{ mm}$ $C_3 = 23730 \text{ kN/m}$	
zusätzliche Kopplungen	Rippenenden auf Fußrippe	für Horizontalverschiebung	
Nagelung Bepankung-Rahmen	für $e = 4,4 \text{ cm}$ , zweireihig	C nach Kap. 3.2.2.5 mit Faktor 2	C nach Kap. 3.2.2.5 mit Faktor $e_{\text{korr},1}$
	für $e = 8,0 \text{ cm}$	C nach Kap. 3.2.2.5	C nach Kap. 3.2.2.5 mit Faktor $e_{\text{korr},2}$
	für $e = 22,5 \text{ cm}$	C nach Kap. 3.2.2.5	C nach Kap. 3.2.2.5 mit Faktor $e_{\text{korr},3}$
Zuganschlüsse	System 1 und 2	$C_{\text{längs}} = 27320 \text{ kN/m}$	
	System 3, Randrippe	$C_{\text{längs}} = 72250 \text{ kN/m}$	
	System 3, Innenrippe	$C_{\text{längs}} = 96900 \text{ kN/m}$	
Horizontallager	Kontaktstoß Stirnfläche	fest	
	System 3, Rippen	$C_{\text{quer}} = 7700 \text{ kN/m}$	
Anschluß Lastriegel	System 1 und 2 (je 3 Nä/Knoten)	$C_{\text{quer}} = 2200 \text{ kN/m}$ $C_{\text{längs}} = 4800 \text{ kN/m}$	$C_{\text{quer}} = 2200 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korr},2}$ $C_{\text{längs}} = 4800 \text{ kN/m} \cdot e_{\text{korr},2}$
	System 3	fest	
sonstige Anschlüsse	Bettung Fußrippe	$C_{\text{Bett}} = 15 \text{ N/mm}^3$	

#### **6.2.4 Randbedingung „n.l. VM(K)“ nichtlineare Last-Verformungskennlinien der Verbindungsmittel Materialwerte nach DIN 1052 alt Korrekturen**

Berechnungen mit diesen Randbedingungen erfolgten nur an den Berechnungsmodellen „System 1“, „System 10“, „System 2“ und „System 20“.

Am System 3 sind zwei Zugverankerungen mit unterschiedlichen Anschlußsteifigkeiten vorhanden. Zudem zeigt das Last-Verformungsverhalten des Kontaktstoßes zwischen Vertikalrippe und Fußrippe für die Randdruckrippe ein sehr steifes Tragverhalten, welches durch die in dieser Arbeit verwendeten Versuche ([26] und [39]) nicht belegt wird.

Deshalb wurde auf die Berechnungen mit Randbedingung „n.l. VM(K)“ an den Berechnungsmodellen „System 3“ und „System 30“ verzichtet.

**Materialwerte:** wie Randbedingung „DIN 1052“

**Last-Verformungswerte der Verbindungen:** wie Randbedingung „n.l. VM“

**Korrekturen:**

- Last-Verformungskennwerte des Kontaktstoßes Vertikal- auf Horizontalrippe entsprechend den dokumentierten Versuchswerten für die Rippendruckkraft und der daraus resultierenden Fußrippeneindrückung (siehe Kapitel 2.1.2 und 2.2.2).
- Last-Verformungskennwerte der Zugverankerung werden jeweils so korrigiert, daß der in der Versuchsauswertung für das System dokumentierte Wert der Zugauflagerlast bzw. der Kopfverschiebung der Wandtafel erreicht wird.

**6.2.5 Randbedingung „n.I. VM+Mat“  
 nichtlineare Last-Verformungskennlinien der Verbindungsmittel  
 nichtlineare Last-Verformungskennlinien des  
 Beplankungsmaterials  
 sonstige Materialwerte nach DIN 1052 alt**

		Berechnungsmodelle System 1, 2, 3 System 10, 20, 30 System 100, 200, 300
<b>Materialwerte</b>		
Vollholz	E-Modul II zur Faser	$E_{II} = 10000,0 \text{ N/mm}^2$
	Eigengewicht	$5,0 \text{ kN/m}^3$
Brettschichtholz	E-Modul II zur Faser	$E_{II} = 11000,0 \text{ N/mm}^2$
	E-Modul $\perp$ zur Faser	$E_{\perp} = 300,0 \text{ N/mm}^2$
	G-Modul	$G = 500,0 \text{ N/mm}^2$
	Eigengewicht	$5,0 \text{ kN/m}^3$
Flachpreßplatte d=13mm	E-Modul in	$E_{PI}$ nach Kap. 3.1.2.3
	G-Modul in	$G_{PI} = 1100,0 \text{ N/mm}^2$
	Eigengewicht	$6,5 \text{ kN/m}^3$
<b>Last-Verformungswerte der Verbindungen</b>		wie Randbedingung „n.I. VM“

**6.2.6 Randbedingung „n.I. VM+Mat(K)“  
 nichtlineare Last-Verformungskennlinien der Verbindungsmittel  
 nichtlineare Last-Verformungskennlinien des  
 Beplankungsmaterials  
 sonstige Materialwerte nach DIN 1052 alt  
 Korrekturen**

**Materialwerte:** wie Randbedingung „n.I. VM+Mat“

**Last-Verformungswerte der Verbindungen:** wie Randbedingung „n.I. VM“

**Korrekturen System 1 und 2:**

- Last-Verformungskennwerte des Kontaktstoßes Vertikal- auf Horizontalrippe entsprechend den dokumentierten Versuchswerten für die Rippendruckkraft und der daraus resultierenden Fußrippeneindrückung (siehe Kapitel 2.1.2 und 2.2.2).
- Last-Verformungskennwerte der Zugverankerung werden jeweils so korrigiert, daß der in der Versuchsauswertung für das System 1 dokumentierte Wert der Zugauflagerlast bzw. der Kopfverschiebung erreicht wird.
- Die Anordnung von Fugen (Federspiel/Schlupf von 1,0mm) in den Kontaktstößen zwischen Vertikal- und Horizontalrippen erfolgt jeweils in unterschiedlichen Kombinationen.

### Korrekturen System 3:

- Last-Verformungskennwerte des Kontaktstoßes Vertikal- auf Horizontalrippe der Vertikalrippen 1 bis 4 entsprechend den dokumentierten Versuchswerten für die Rippendruckkraft und der daraus resultierenden Fußrippeneindrückung (siehe Kapitel 2.3.2).
- Last-Verformungskennwert der Horizontallager wie folgt:
 

Kontaktstoß Stirnfläche	Fest
Rippen	$C = 10 \times 7700 \text{ kN/m}$
- Last-Verformungskennwert der Zuganschlüsse wie folgt:
 

Randrippe	$C = 2 \times 72250 \text{ kN/m}$
Innenrippe	$C = 2 \times 96900 \text{ kN/m}$
- Materialwerte Brettschichtholz wie folgt:
 

E-Modul $\parallel$ zur Faser	$E_{\parallel} = 5 \times 11000 \text{ N/mm}^2$
E-Modul $\perp$ zur Faser	$E_{\perp} = 5 \times 300 \text{ N/mm}^2$
G-Modul	$G = 5 \times 500 \text{ N/mm}^2$
- Last-Verformungskennwert der Nagelung Beplankung – Rahmen wie folgt:
 

$C_1 = 1,5 \times 1975 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,1 \text{ mm}$
$C_2 = 1,25 \times 1481 \text{ kN/m}$	bis $v = 0,2 \text{ mm}$
$C_3$ bis $C_{21}$ Randbedingung „n.I. VM“	

Zusätzlich wurden für die Laststufe 60,0 kN die Auswirkung folgender Korrekturen untersucht:

- Einleitung der Last als gleichmäßige Linienlast in den Lasteinleitungsbalken,
- Einleitung der Last als gleichmäßige Linienlast und Ansatz der Versatzmomente ohne Berücksichtigung der Steifigkeit des Lasteinleitungsbalkens,
- Lasteinleitungsbalken mit Riß in der Klebefuge zwischen Balken und Kopfrippe,
- Lastübertragung über Kontaktstoß der Beplankungen.

### 6.3 Übersicht der Berechnungen, Berechnungsergebnisse

Rand- bedingung	Berechnungsmodell								
	System 1	System 10	System 100	System 2	System 20	System 200	System 3	System 30	System 300
DIN 1052	X	X	-	X	X	-	X	X	-
EC 5	X	X	-	X	X	-	X	X	-
n.l. VM	X	X	-	X	X	-	X	X	-
n.l. VM(K)	X	X	-	X	X	-	-	-	-
n.l. VM+Mat	X	X	X	X	X	X	-	X	X
n.l. VM+Mat(K)	X	X	X	X	X	X	-	X	X

Eine ausführliche tabellarische Darstellung der Berechnungsergebnisse findet sich im Anhang 7.

## 7. Auswertung der Berechnungen der Kapitel 5 und 6 und Vergleich mit den Versuchsergebnissen aus [39] und [42]

Nachfolgende Diagramme werten die Berechnung der Systeme hinsichtlich folgender bemessungsrelevanter Ergebnisse aus:

- horizontale Verschiebung am oberen Rand (Kopfverschiebung),
  - Druckkraft in den druckbelasteten Vertikalrippen,
  - Zugkraft im vertikalen Zuganschluß
- und
- Belastung der druckrandnahen Nagelung zwischen Beplankung und Fußrippe.

Zusätzlich werden für die Systeme 1 und 2 auch die Berechnungsergebnisse der Diagonalverformung der Beplankung ausgewertet.

Bei der Auswertung wird unterschieden nach:

- dem Einfluß der Berechnungsmodelle (siehe hierzu Kapitel 6.1 Berechnungsmodelle),
- und
- dem Einfluß der Randbedingungen (siehe hierzu Kapitel 6.2 Randbedingungen).

Die im Kapitel 1.5 außerdem genannten Randbedingungen „n.I.VM(B)“ und „n.I.VM+Mat(B)“, welche die Berücksichtigung möglicher konstruktiver Besonderheiten enthalten, werden in diesem Kapitel nicht gesondert ausgewertet; sie werden jedoch nachfolgend aufgeführt.

- Für die Bettung des unteren Riegels wurden verschiedene Bettungsfedersteifigkeiten berücksichtigt (alle Systeme).
- Die Nachgiebigkeit der Horizontallager wurde durch Veränderung der Federsteifigkeit der Lager an den Innenrippen bzw. durch Berücksichtigung einer Fuge an der Stirnflächenlagerung der Fußrippe verändert, um die Auswirkung unterschiedlicher Horizontallastverteilungen auf das Gesamttragverhalten festzustellen (nur System 3).
- Es wurden die Auswirkungen einer möglichen Lastübertragung zwischen den Beplankungen (Kontaktstoß) untersucht (System 2 und 3).
- Die Art der Modellierung des Anschlusses des Lasteinleitungsbalkens wurde variiert (alle Systeme).

Für die Durchführung der beschriebenen Berechnungen war ein erheblicher Zeitaufwand erforderlich. Dennoch waren die Berechnungsergebnisse in der Regel nicht zielführend (im Sinne einer Annäherung der Berechnungsergebnisse an die Versuchswerte) bzw. die Änderungen der Berechnungsergebnisse waren nicht relevant.

Sie sind teilweise im Anhang aufgeführt.

Die Betrachtungen solcher möglicher Randbedingungen bei der gewählten Vorgehensweise der Nachrechnung dokumentierter Versuche an Wandtafeln sind zudem rein spekulativ und führen nicht zu verallgemeinerbaren Aussagen. Sie waren jedoch vor allem bei der Betrachtung des Systems 3 (Mehrrastertafel) von Bedeutung, um einen möglichen Einfluß solcher Randbedingungen auszuschließen.

## 7.1 System 1, 10 und 100 - Einrastertafel

- Kopfverschiebung**

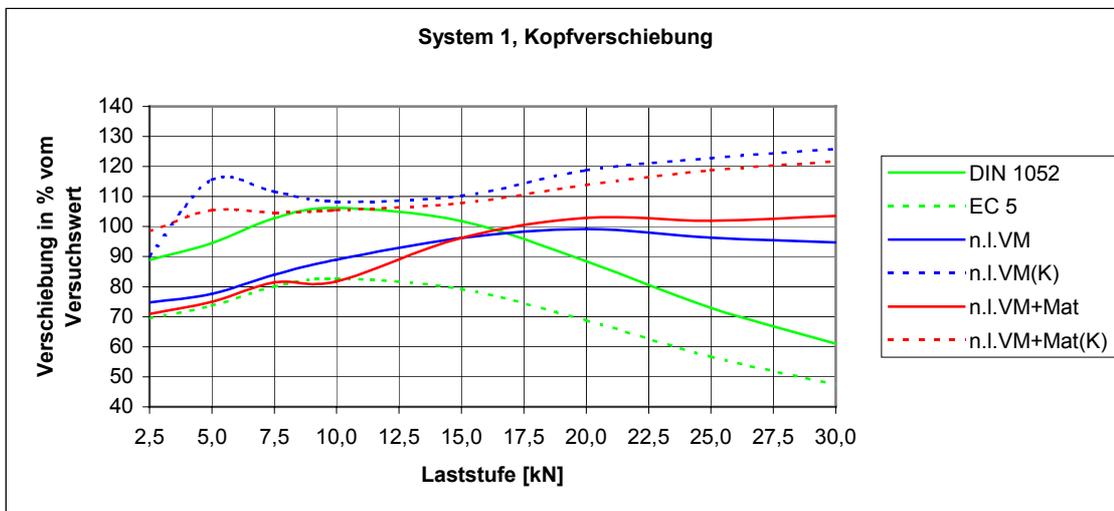


Diagramm 7.1-1

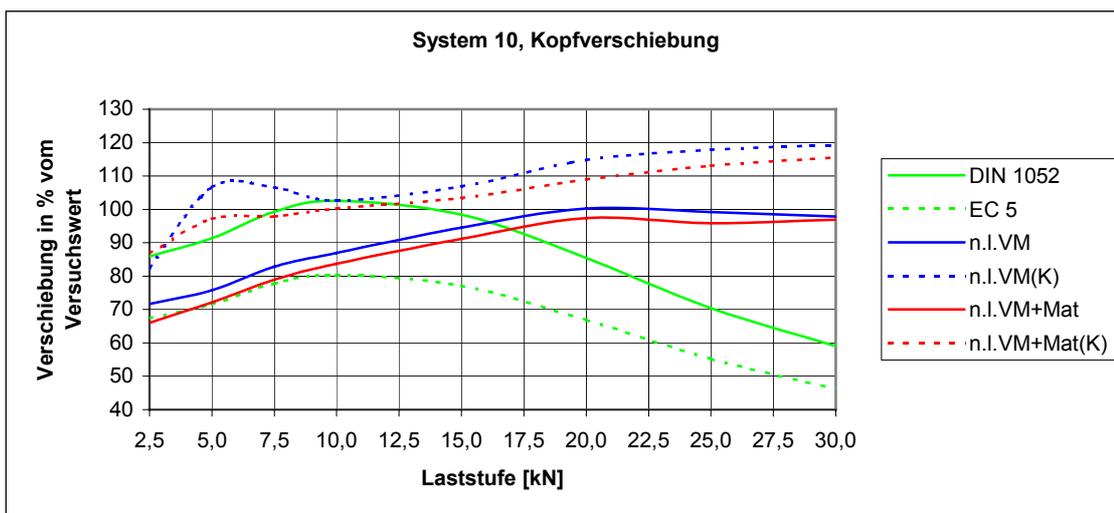


Diagramm 7.1-2

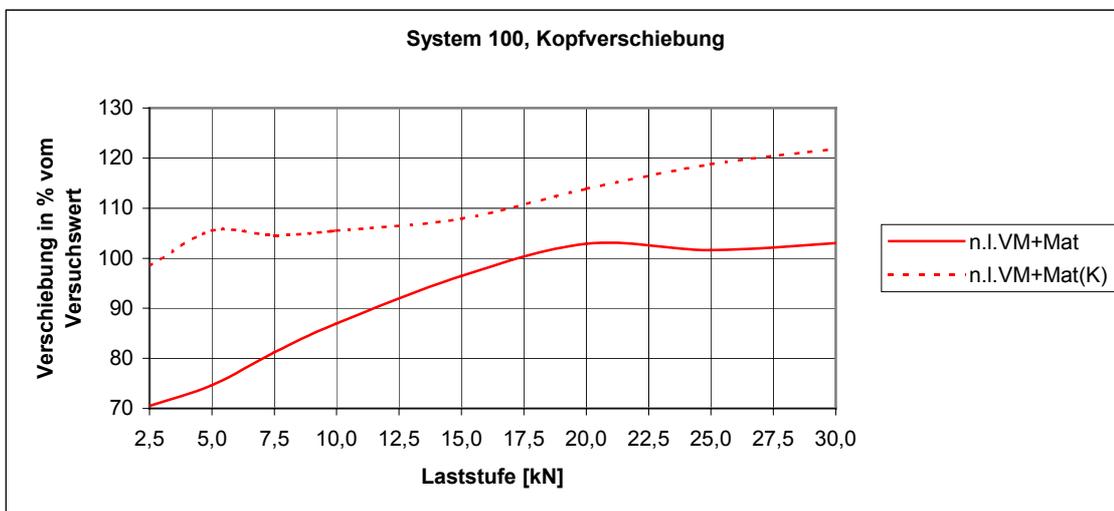


Diagramm 7.1-3

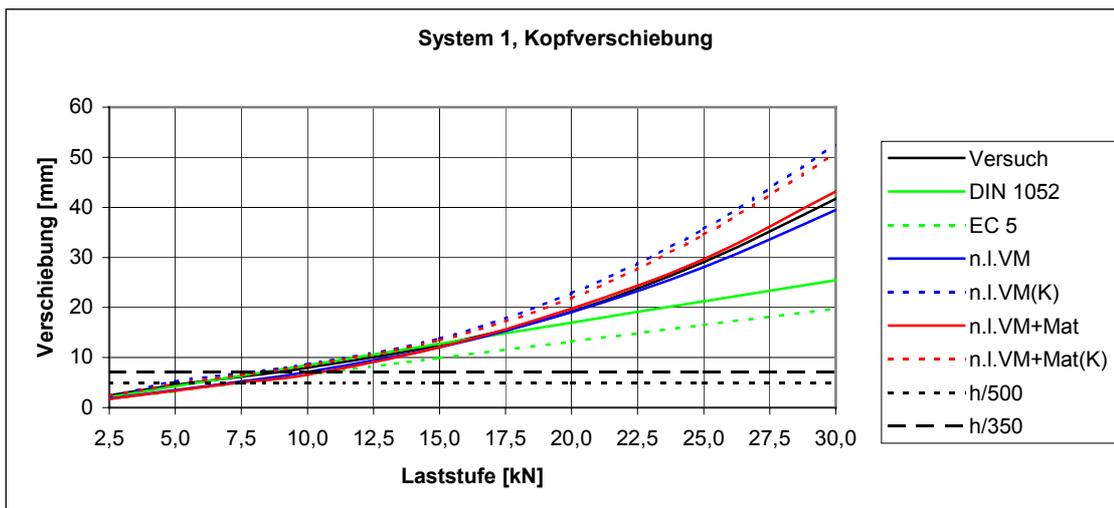


Diagramm 7.1-4

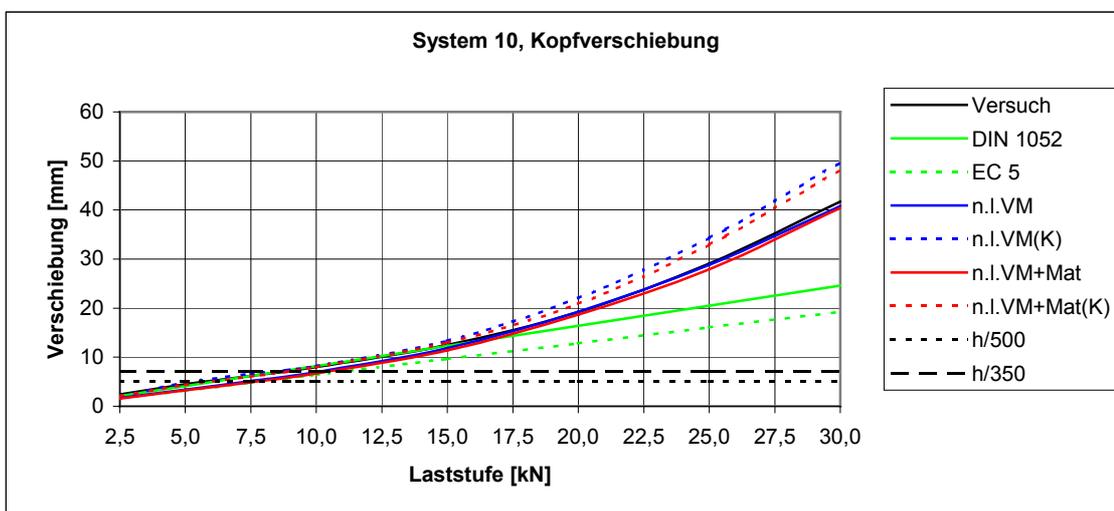


Diagramm 7.1-5

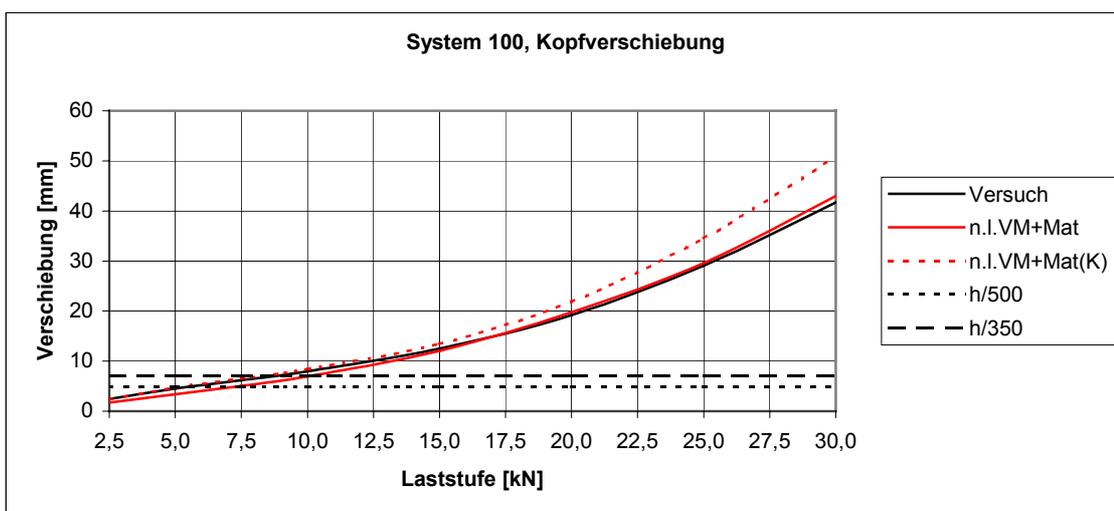


Diagramm 7.1-6

Prozentuale Darstellung:

- Eindruck einer starken Streuung der Berechnungsergebnisse um den Versuchswert,
- Streuungen nicht durch die Berechnungsmodelle, sondern durch die Randbedingungen verursacht;

Absolutwertdarstellung:

- geringe Schwankung der ermittelten Kopfverschiebung um den Versuchswert,
- gut beieinander liegende Werte im Bereich der zulässigen Horizontalbelastung (bis maximal  $F_H=11,4$  kN nach Eurocode 5),
- Ergebnisse für die Berechnung mit den Randbedingungen „n.I.VM+Mat“ im gesamten Belastungsbereich des nachgerechneten Versuches sehr gut bei den ermittelten Versuchswerten liegend.

Bei einer Begrenzung der zulässigen horizontalen Kopfverschiebung auf  $h/500$  zeigt sich eine Einhaltung dieses Wertes für die nach DIN 1052 alt ermittelte zulässige Horizontalbelastung der Wandscheibe von 7,80 kN und eine deutliche Überschreitung dieses Grenzwertes bei einer zulässigen Horizontalbelastung der Wandscheibe von 11,40 kN nach Eurocode 5. Für diesen wird nach [19] die Kopfverschiebung allerdings auf  $h/350$  begrenzt.

Für das System 100 („n.I.VM+Mat(K)“) wurde auch der Einfluß von Fugen am unteren Kontaktstoß der Druckstiele untersucht. Die Berechnungsergebnisse finden sich im Anhang. Sie zeigen eine rechnerische Vergrößerung der Kopfverschiebung von bis zu 30 %.

- **Randstieldruckkraft**

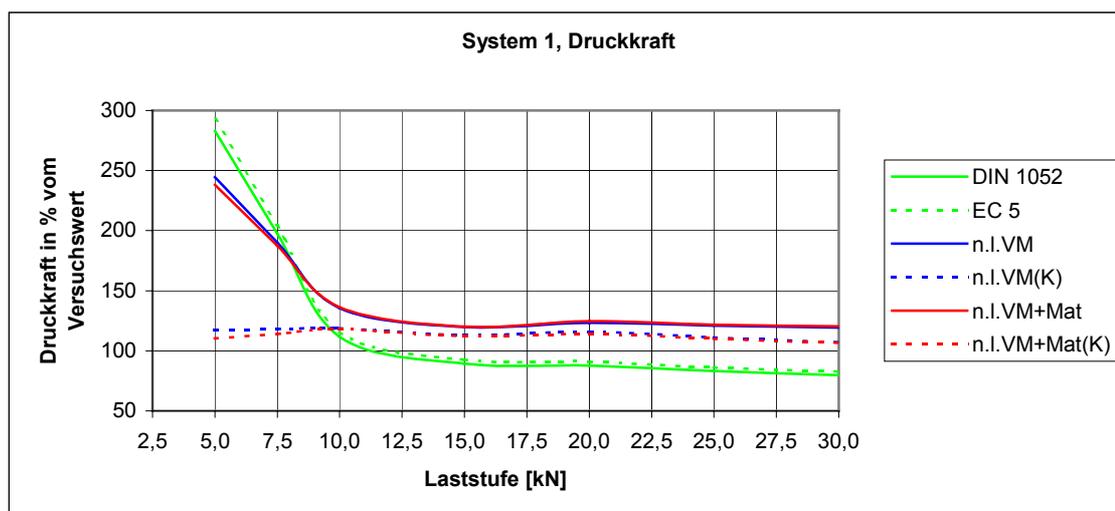


Diagramm 7.1-7

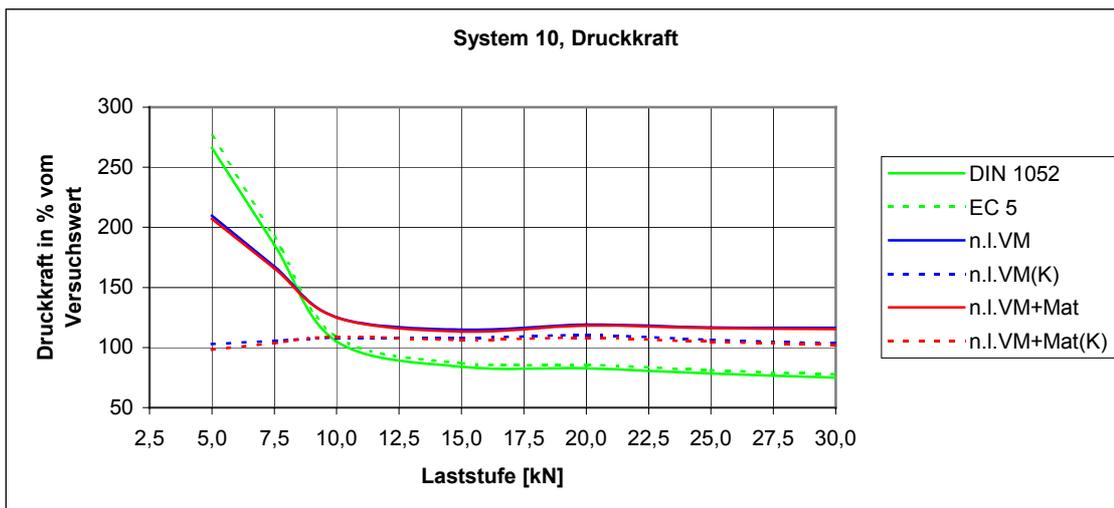


Diagramm 7.1-8

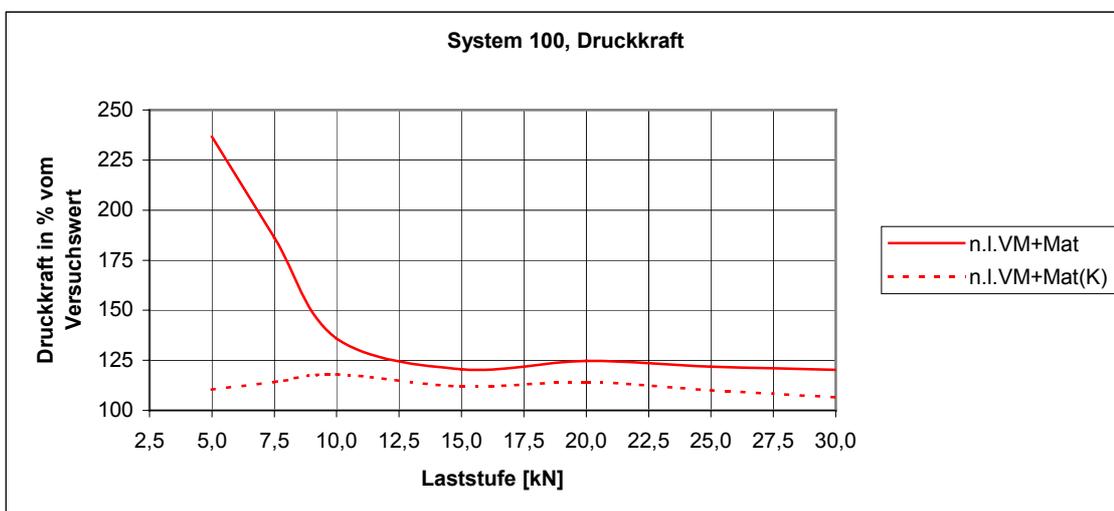


Diagramm 7.1-9

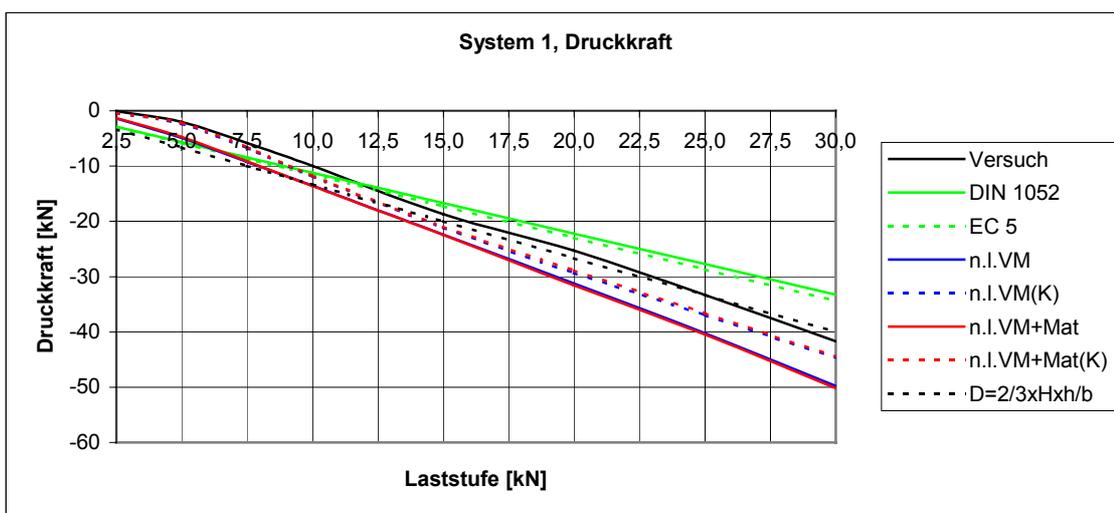


Diagramm 7.1-10

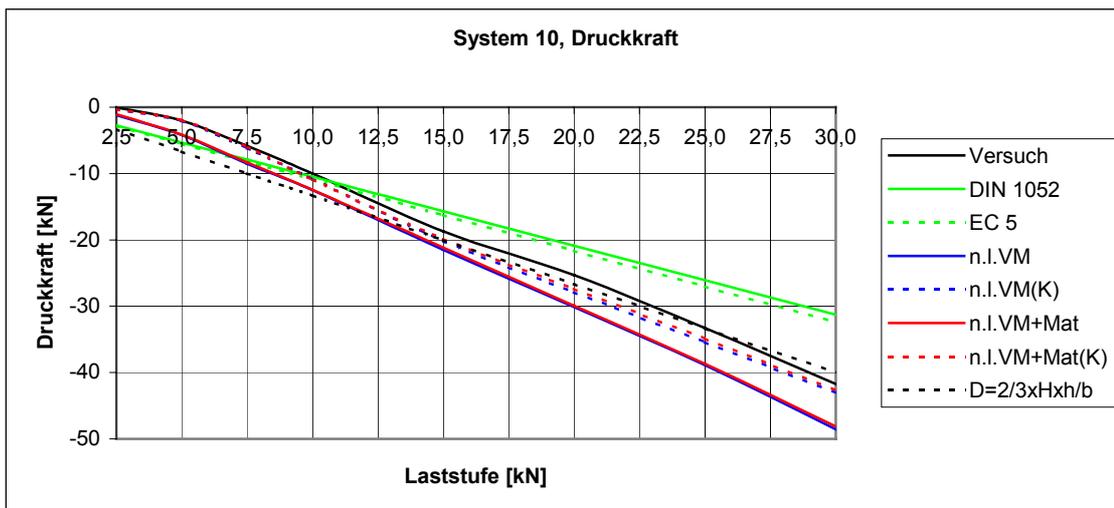


Diagramm 7.1-11

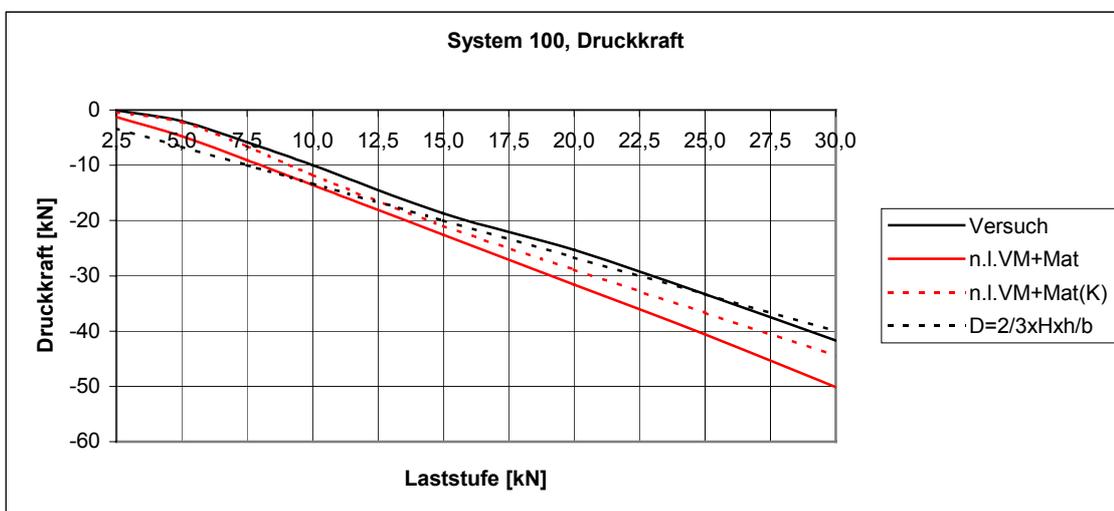


Diagramm 7.1-12

#### Prozentuale Darstellung:

- Eindruck einer starken Streuung der Berechnungsergebnisse um den Versuchswert im Lastbereich bis etwa 10,0 kN,
- ab 10,0 kN prozentuale Abweichungen konstant,
- Streuungen wiederum durch die Randbedingungen verursacht;

#### Absolutwertdarstellung:

- im Lastbereich 0 bis 10,0 kN Ergebnisse zwischen den Versuchswerten und dem Normwert ( $D=2/3 \times H \times h/b$ ) liegend,
- im Lastbereich oberhalb 15,0 kN Versuchs- und Normwert gut beieinander, etwa den Mittelwert der Berechnungsergebnisse bildend.

Eine Korrektur der Last-Verformungskennlinie des Kontaktstoßes Druckstiel-Riegel unter Verwendung der dokumentierten Versuchsergebnisse für die Schwelleneindrückung liefert gute Ergebnisse auch im Lastbereich unter 10,0 kN. Dies macht den Einfluß des Tragverhaltens dieses Konstruktionsdetails für die Ergebnisse der Berechnung der Druckstiellast deutlich.

Durch den Einfluß von Fugen am unteren Kontaktstoß der Druckstiele (Berechnungsergebnisse im Anhang) ergibt sich eine rechnerische Verminderung der Stieldrucklast von bis zu 50 % im unteren Horizontallastbereich. Im Bereich der horizontalen Grenzbelastung der Wandtafel nach Eurocode 5 ist die Drucklastveränderung deutlich geringer und für die Bemessung ohne Bedeutung.

- **Zugkraft**

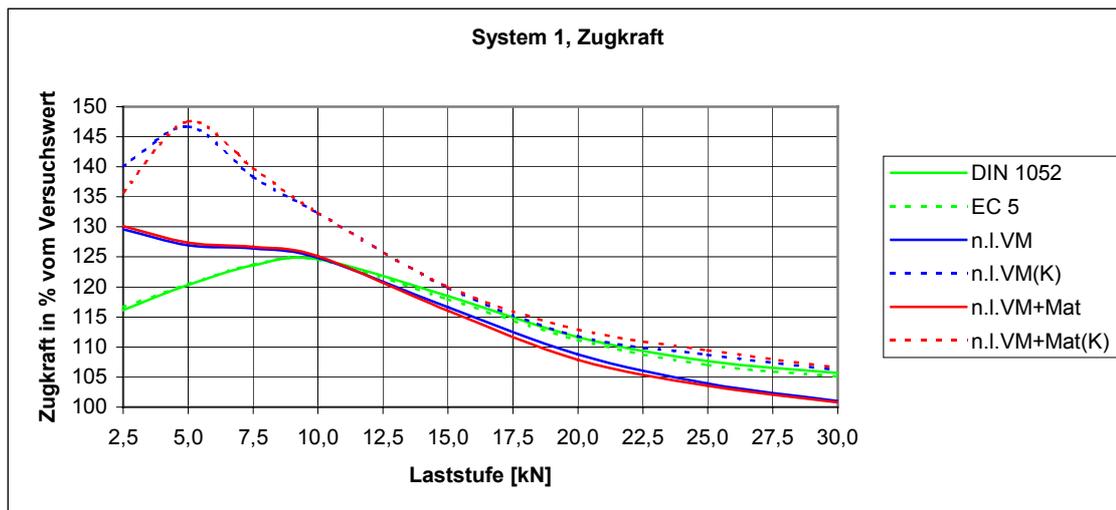


Diagramm 7.1-13

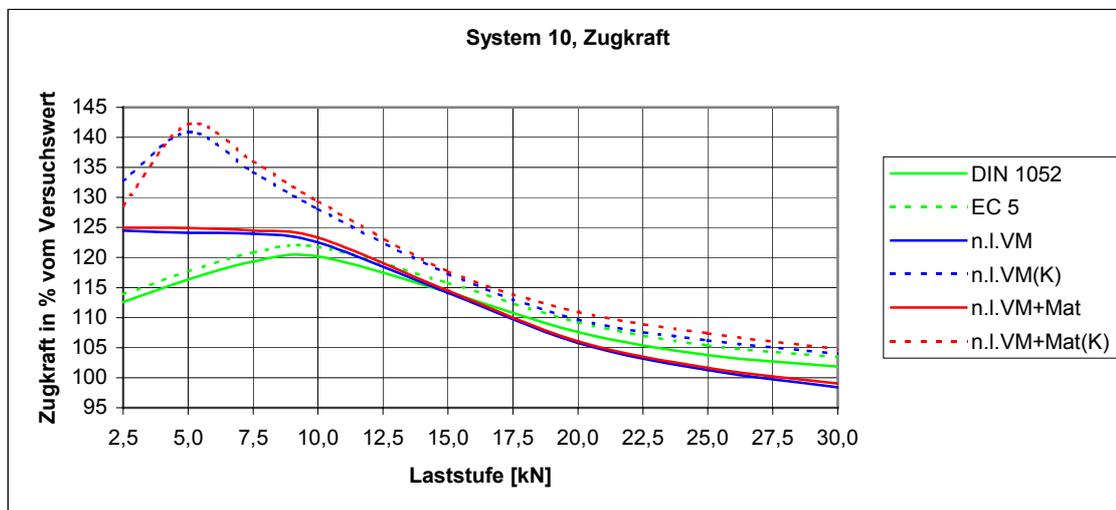


Diagramm 7.1-14

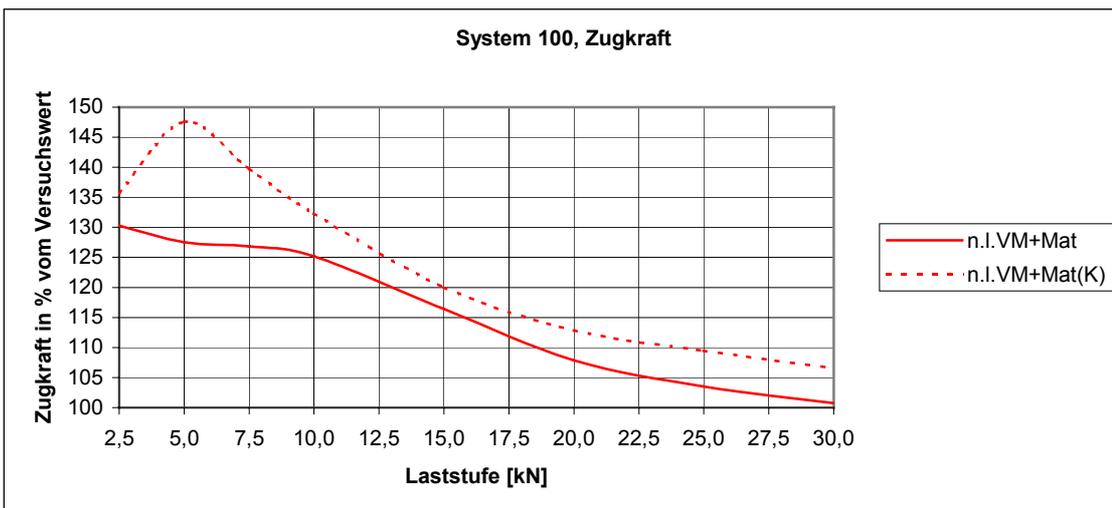


Diagramm 7.1-15

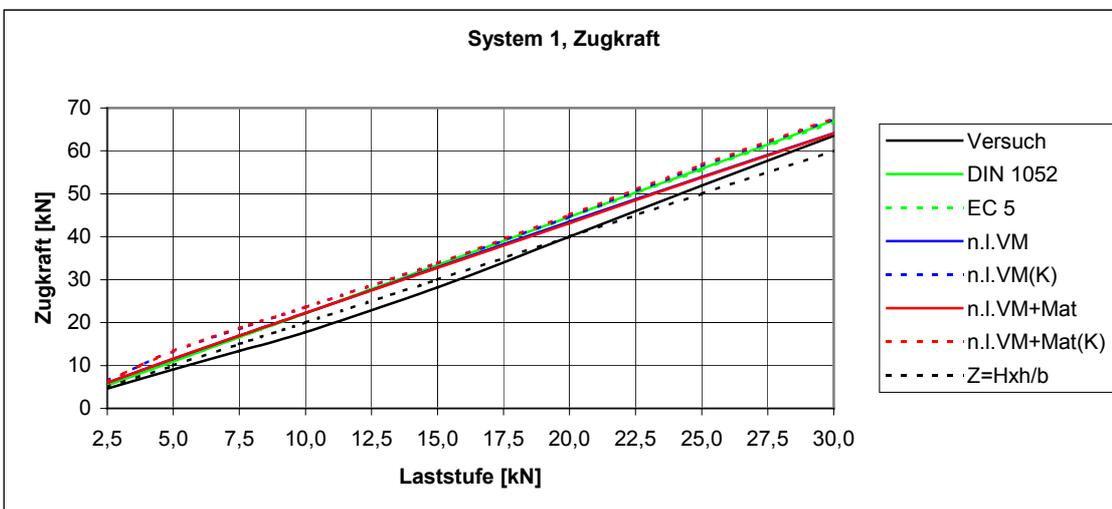


Diagramm 7.1-16

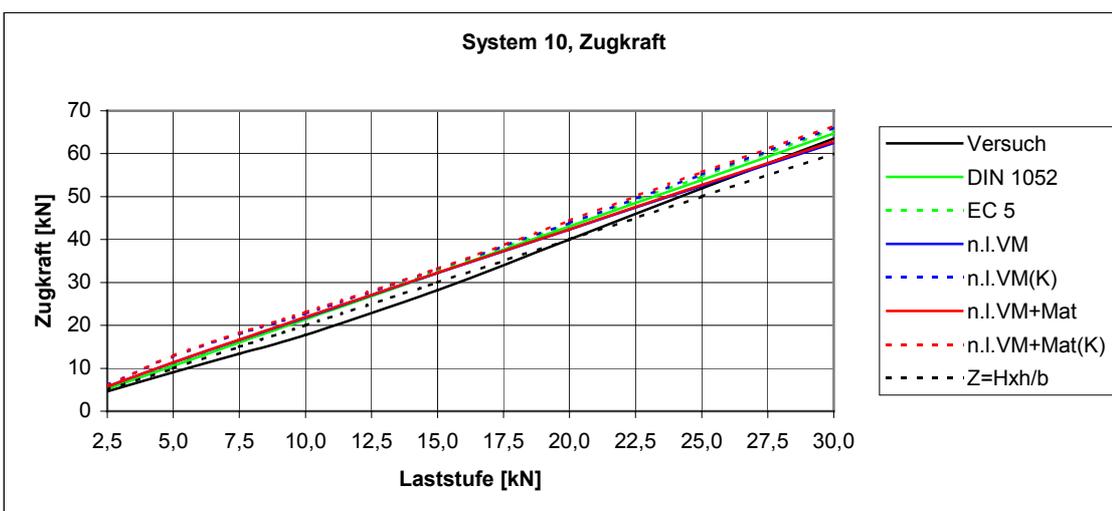


Diagramm 7.1-17

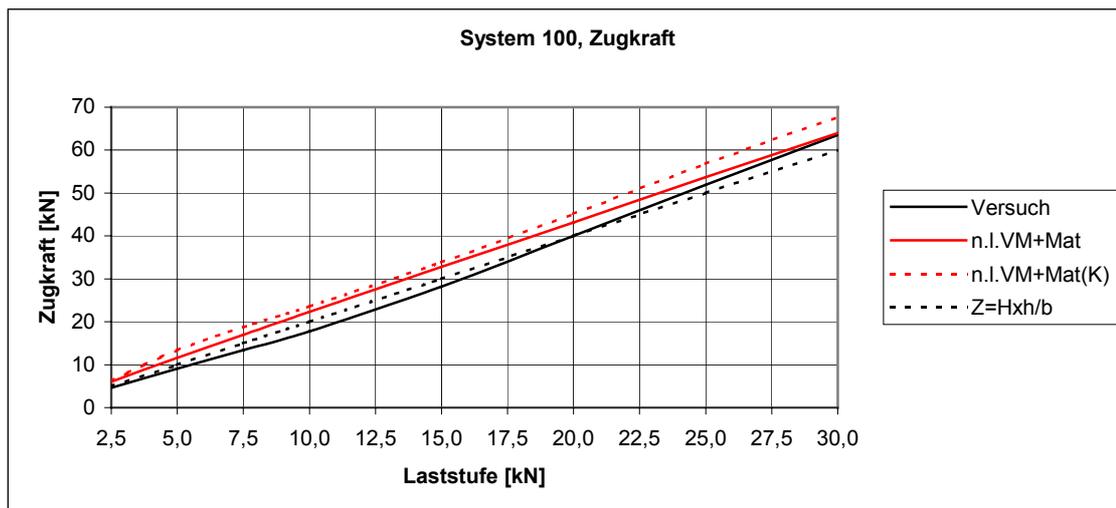


Diagramm 7.1-18

Prozentuale Darstellung:

- große Anfangsabweichung aller Systeme und Randbedingungen mit guter Annäherung an Versuchswert zur Belastungsgrenze hin;

Absolutwertdarstellung:

- Ergebnisse für alle System und Randbedingungen geringfügig oberhalb der Versuchs- und Normwerte ( $Z = H \times h/b$ ) liegend.

Zur Bestimmung des Last-Verformungsverhaltens der Zugverankerungen wurden keine Versuche durchgeführt, sondern auf die Werte nach DIN 1052 alt bzw. Eurocode 5 zurückgegriffen.

Die Korrektur dieser Randbedingung erfolgte hinsichtlich einer Optimierung des Ergebnisses der Kopfverschiebung (100 % des Versuchswertes) unter Berücksichtigung eines Last-Verformungsverhaltens des Kontaktstoßes Stiel-Riegel nach dokumentierten Versuchsergebnissen.

Im Bereich der horizontalen Grenzbelastung der Wandtafel nach Eurocode 5 sind die Korrekturen für die Bemessung ohne Bedeutung.

• **Belastung und Verformung des randdruckstielnächsten Nagels**

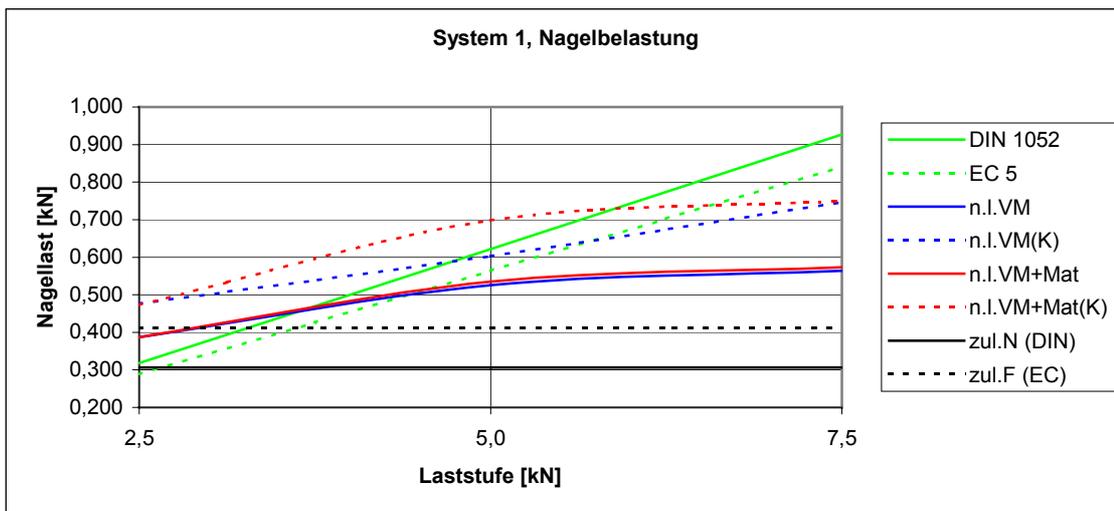


Diagramm 7.1-19

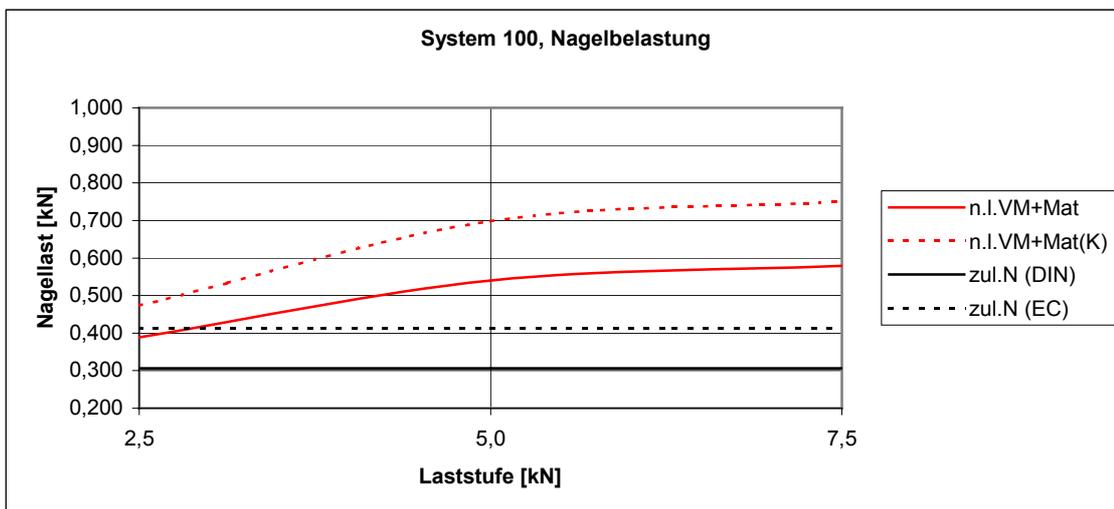


Diagramm 7.1-20

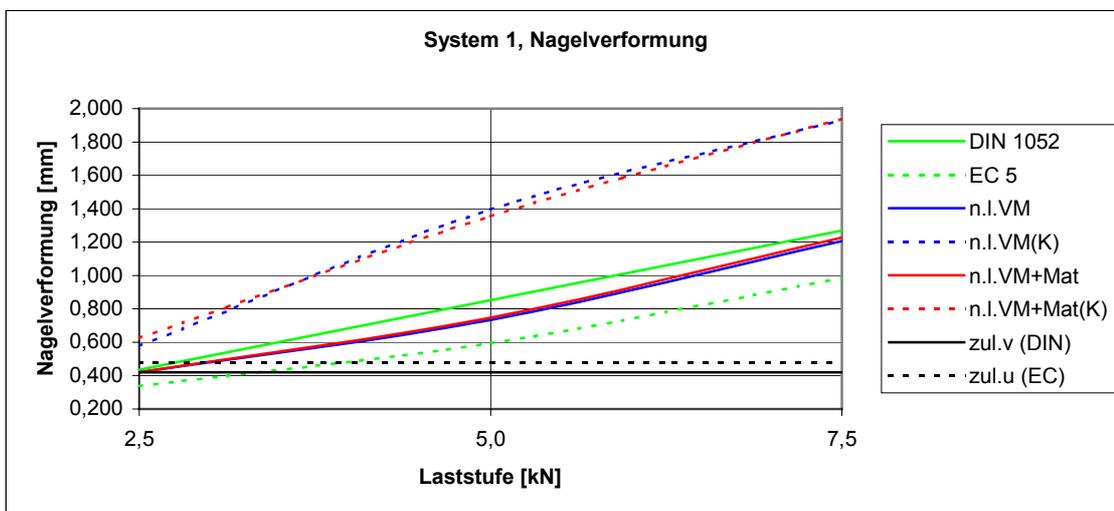


Diagramm 7.1-21

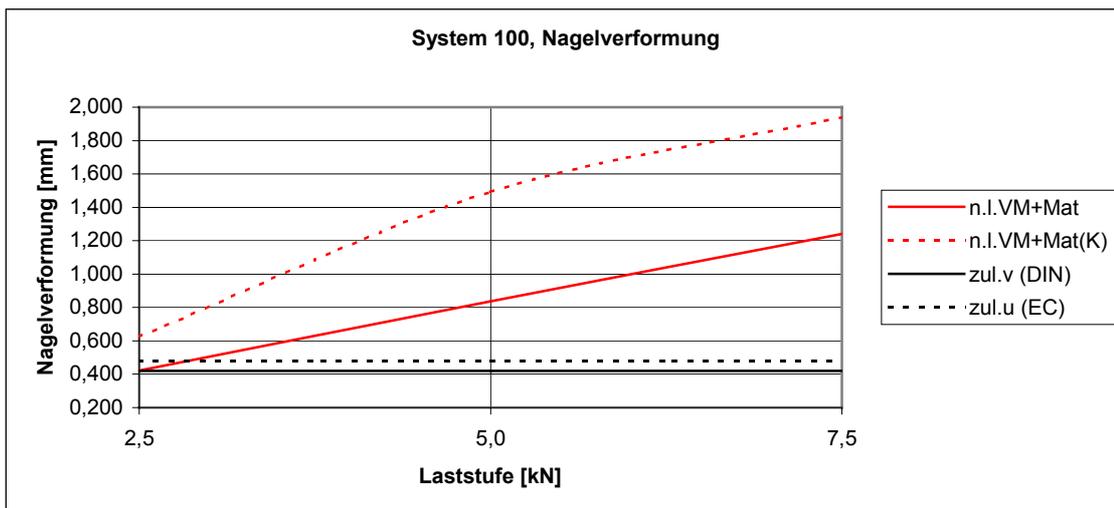


Diagramm 7.1-22

Die Belastungs- und Verformungswerte wurden nur bis zur Horizontallaststufe von 7,5kN dokumentiert. Es zeigt sich für alle Systeme und Randbedingungen eine deutliche Überschreitung der zulässigen Grenzwerte sowohl nach DIN 1052 alt als auch nach Eurocode 5 bereits im unteren Lastbereich.

- **Schwelleneindrückung unter Randdruckstiel**

Das Maß der Schwelleneindrückung unter dem Randdruckstiel wurde bei der Korrektur des Last-Verformungsverhaltens des Kontaktstoßes Stiel-Riegel nach dokumentierten Versuchsergebnissen verwendet (siehe Bemerkungen zur Randstieldruckkraft).

- **Diagonalverformung der Beplankung**

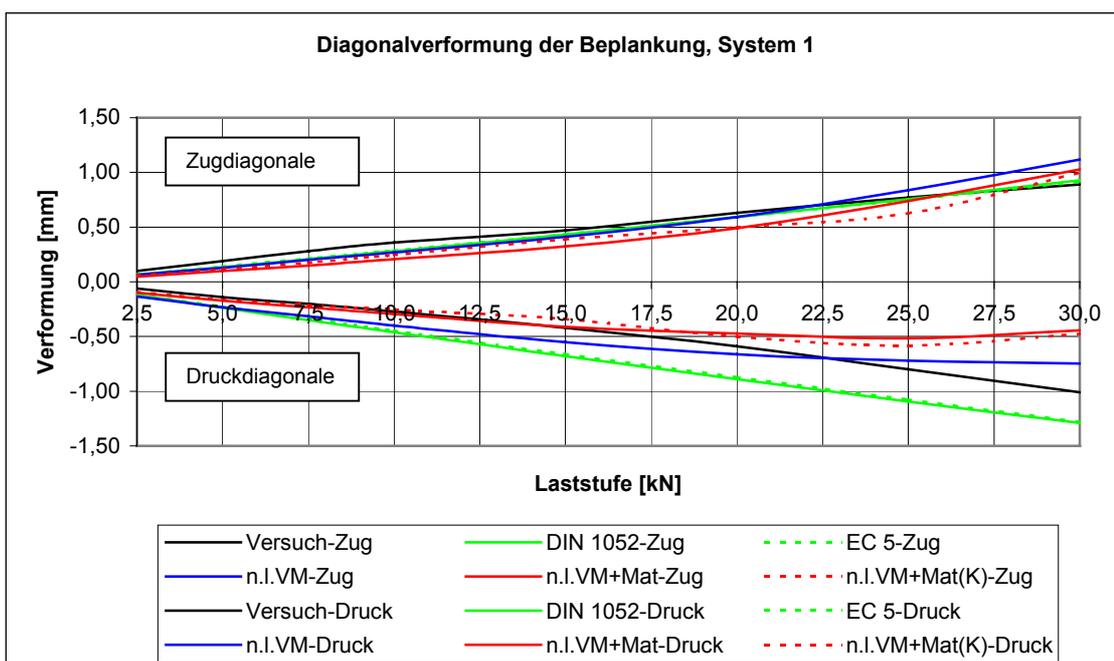


Diagramm 7.1-23

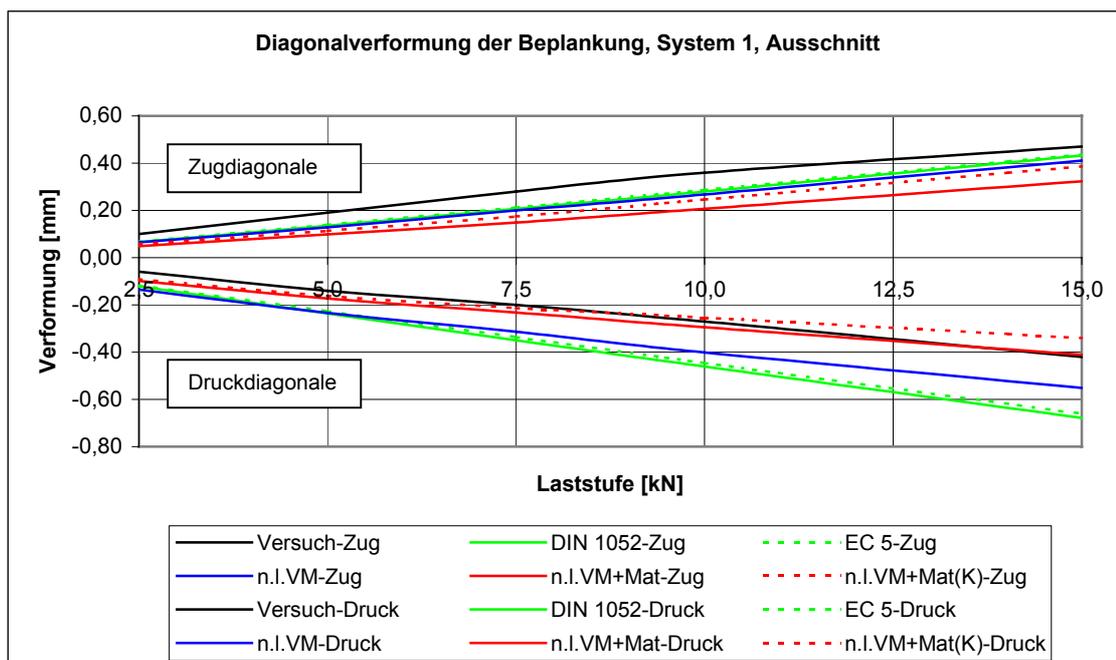


Diagramm 7.1-24

Die Versuchswerte zeigen im Lastbereich bis 20,0kN eine gegenüber der Zugverformung betragsmäßig deutlich geringere Druckverformung.

Dieses Verformungsbild lässt sich durch keine Randbedingung befriedigend modellieren.

Die Randbedingung „n.I.VM+Mat“ erlaubt bei Auswahl bestimmter Materialsätze bereichsweise eine gute Näherung an die Versuchswerte der diagonalen Druckverformung.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, daß die in den Versuchen an der Einrastertafel gemessenen Verformungswerte wegen der verwendeten Meßmethode (diagonal an der Beplankung befestigte Gestänge mit Mikrometeruhren) und der Größe der Verformungen fehlerbehaftet sein können.

Dennoch bleibt festzustellen, daß:

- nach den verwendeten Normen der Zug-Elastizitätsmodul gleich dem Druck-Elastizitätsmodul ist,
  - bei geometrischer Betrachtung einer reiner Schubverformung die Längenänderung der Zugdiagonalen kleiner als die der Druckdiagonalen ist
- und
- Effekte aus Imperfektionen (Plattenbeulen) ebenfalls zu einer höheren Druckverformung führen würden.

## 7.2 System 2, 20 und 200 - Zweirastertafel

### • Kopfverschiebung

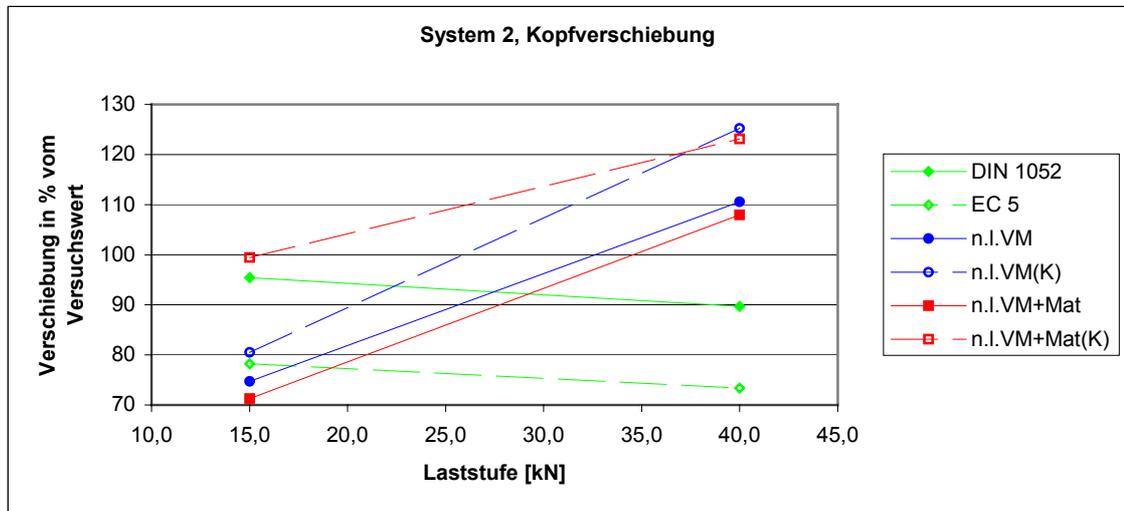


Diagramm 7.2-1

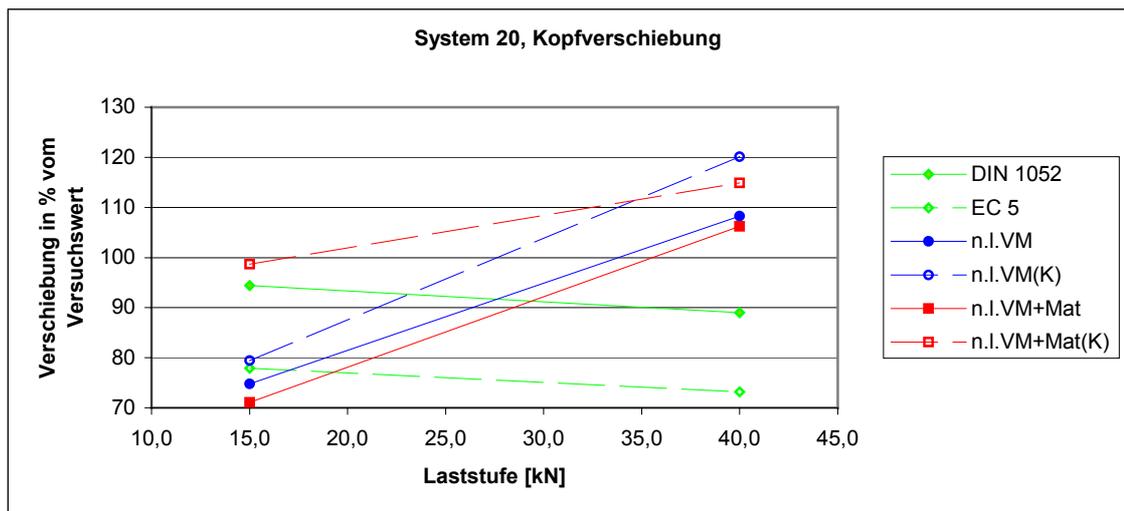


Diagramm 7.2-2

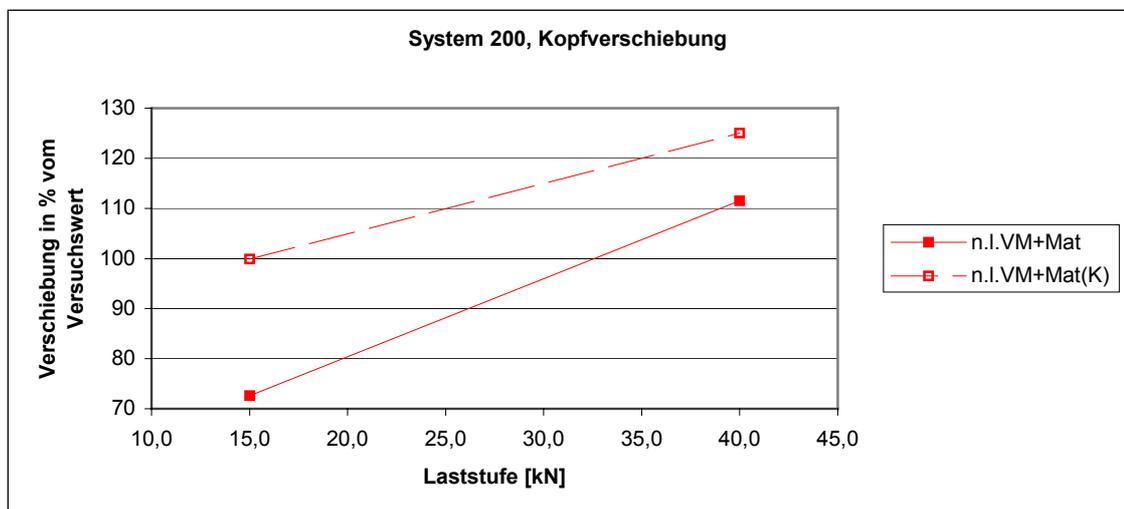


Diagramm 7.2-3

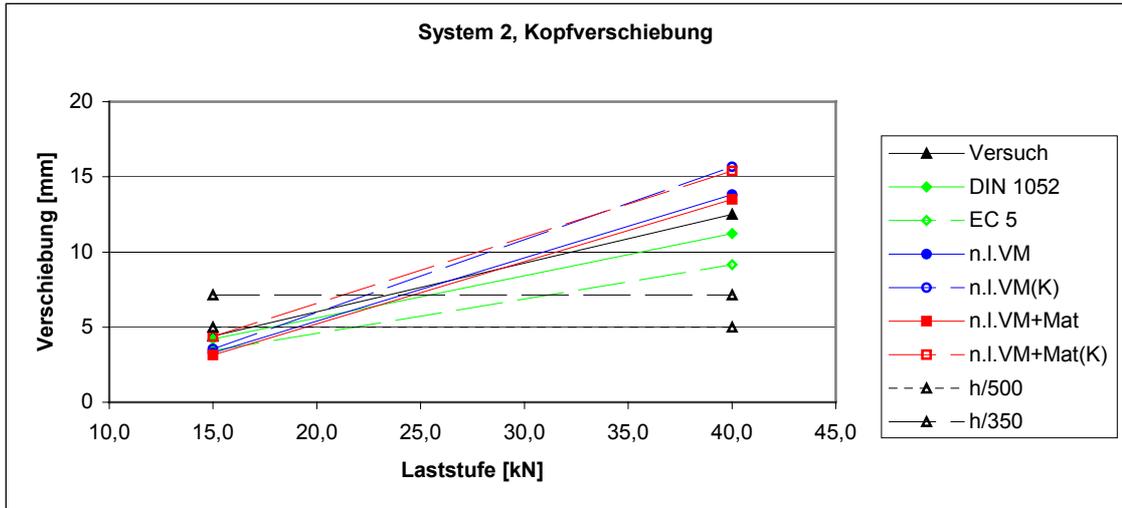


Diagramm 7.2-4

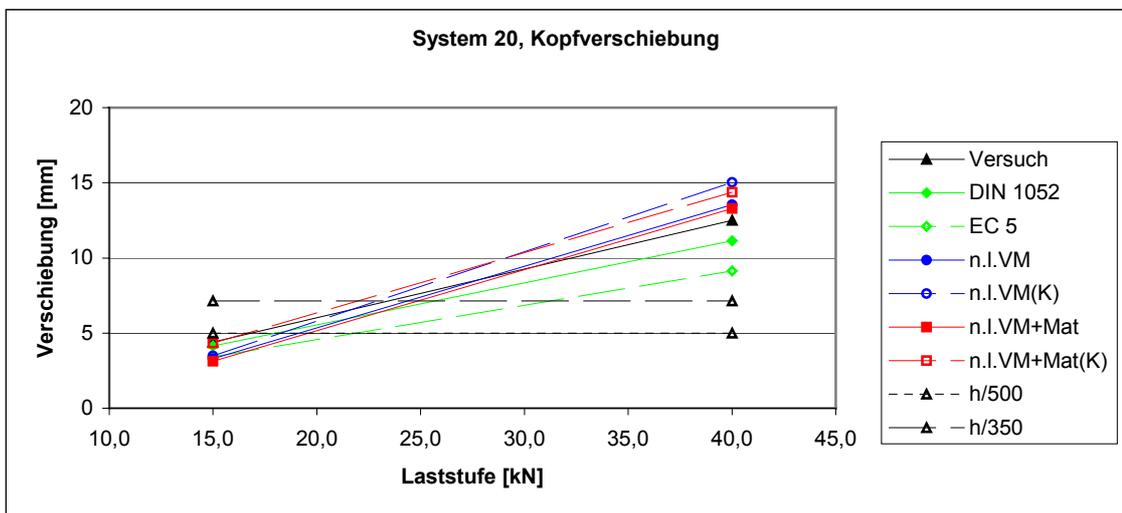


Diagramm 7.2-5

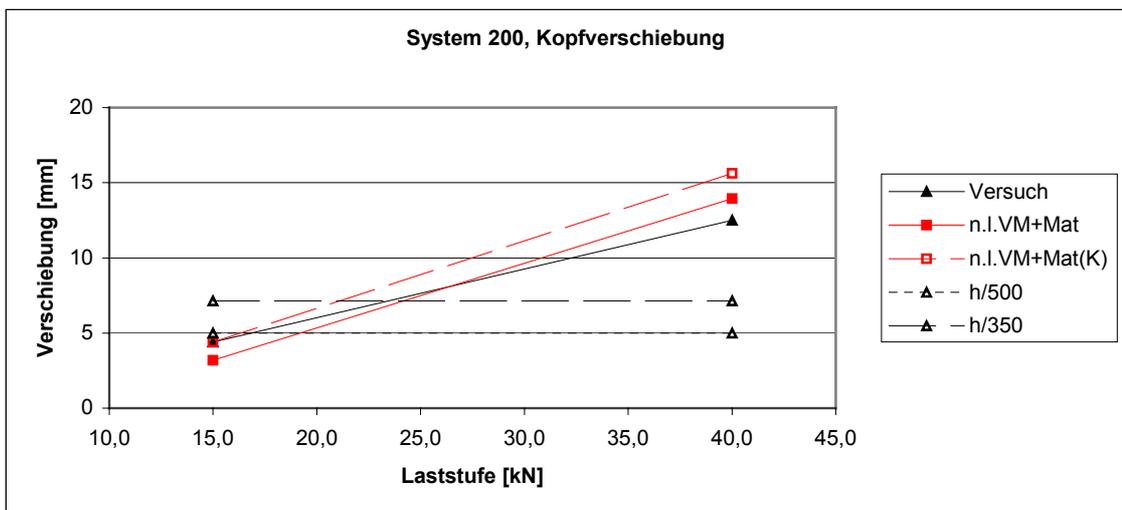


Diagramm 7.2-6

Prozentuale Darstellung:

- Eindruck einer starken Streuung der Berechnungsergebnisse um den Versuchswert,
- Streuungen nicht durch die Berechnungsmodelle, sondern durch die Randbedingungen verursacht;

Absolutwertdarstellung:

- Schwankung der ermittelten Kopfverformung um den Versuchswert gering,
- im Bereich der zulässigen Horizontalbelastung (bis maximal 22,7 kN nach Eurocode 5) alle Werte gut beieinander liegend,
- Ergebnisse für die Berechnung mit den Randbedingungen „n.I.VM+Mat“ im mittleren bis oberen Belastungsbereich des nachgerechneten Versuches gut bei den ermittelten Versuchswerten.

Bei einer Begrenzung der zulässigen horizontalen Kopfverschiebung auf  $h/500$  zeigt sich eine Einhaltung dieses Wertes für die nach DIN 1052 alt ermittelte zulässige Horizontalbelastung der Wandscheibe von 16,40 kN und eine Überschreitung dieses Grenzwertes bei einer zulässigen Horizontalbelastung der Wandscheibe von 22,70 kN nach Eurocode 5.

Für das System 200 („n.I.VM+Mat“) wurde auch der Einfluß von Fugen am unteren Kontaktstoß der Druckstiele untersucht. Die Berechnungsergebnisse finden sich im Anhang. Sie zeigen eine rechnerische Vergrößerung der Kopfverschiebung von bis zu 15 %.

- **Randstieldruckkraft  $D_1$**

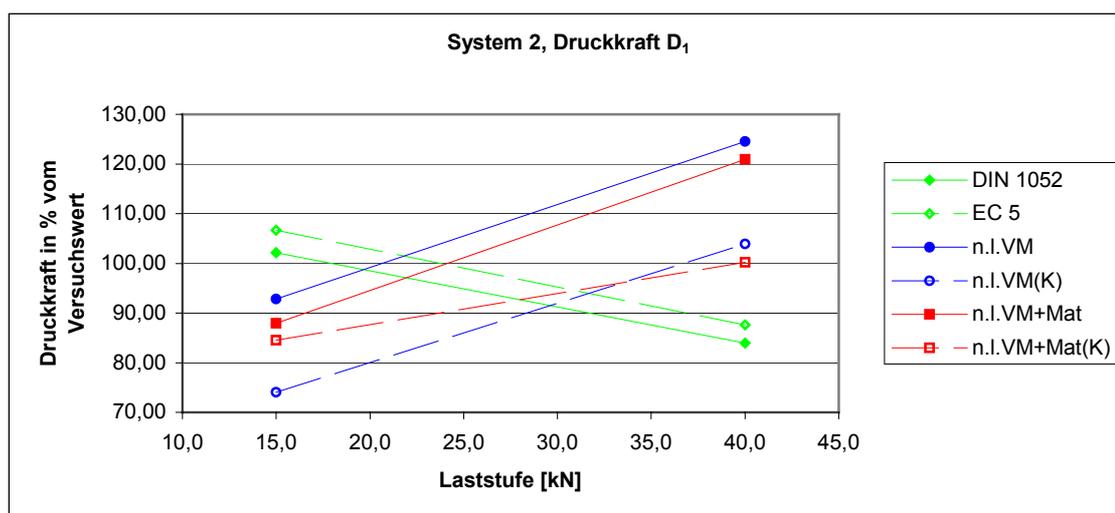


Diagramm 7.2-7

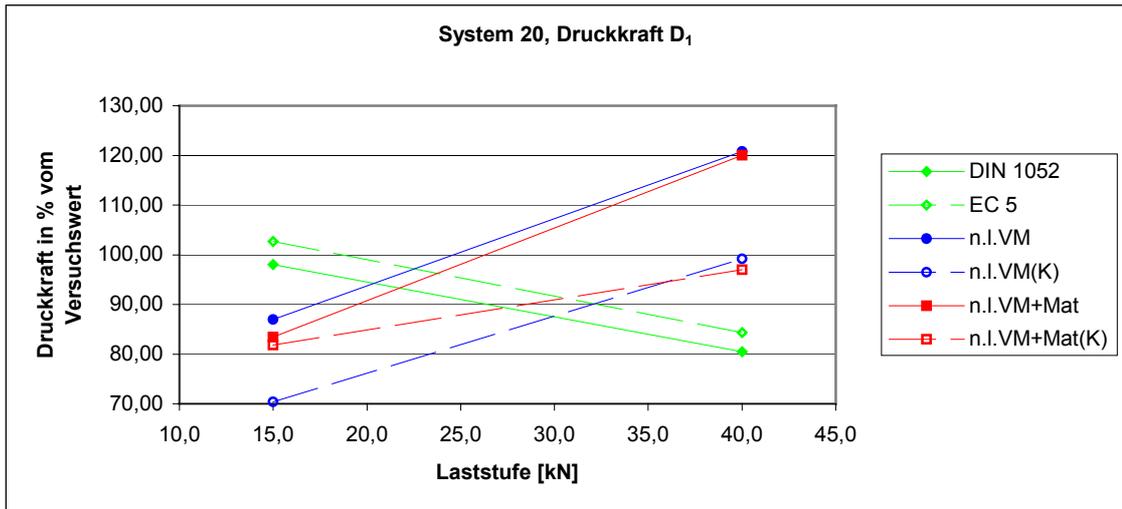


Diagramm 7.2-8

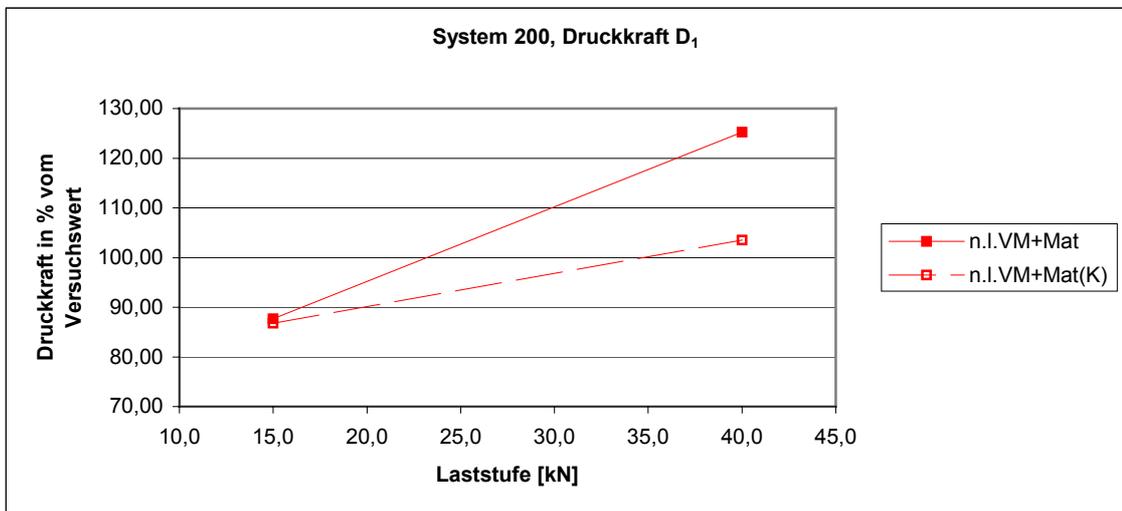


Diagramm 7.2-9

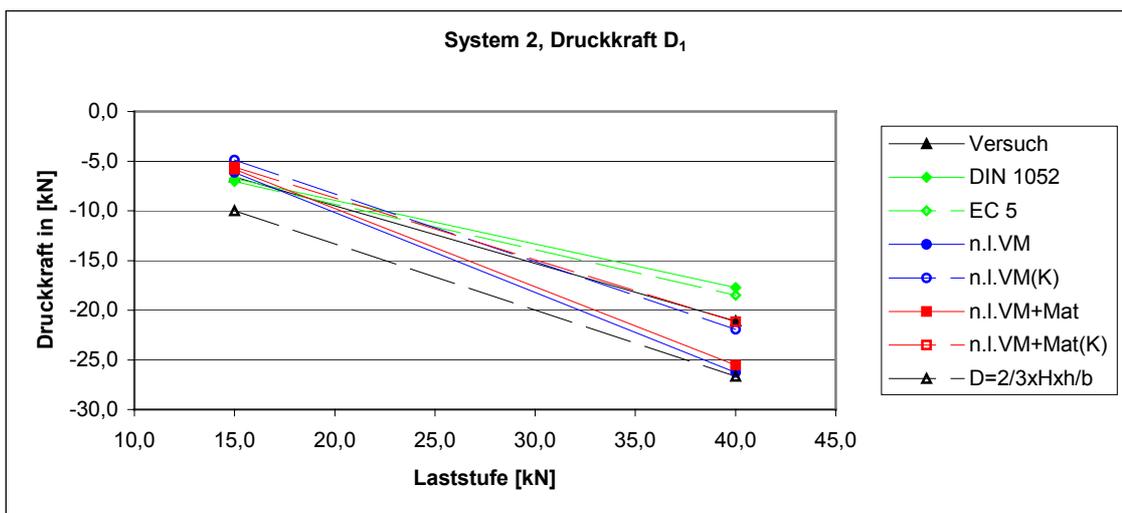


Diagramm 7.2-10

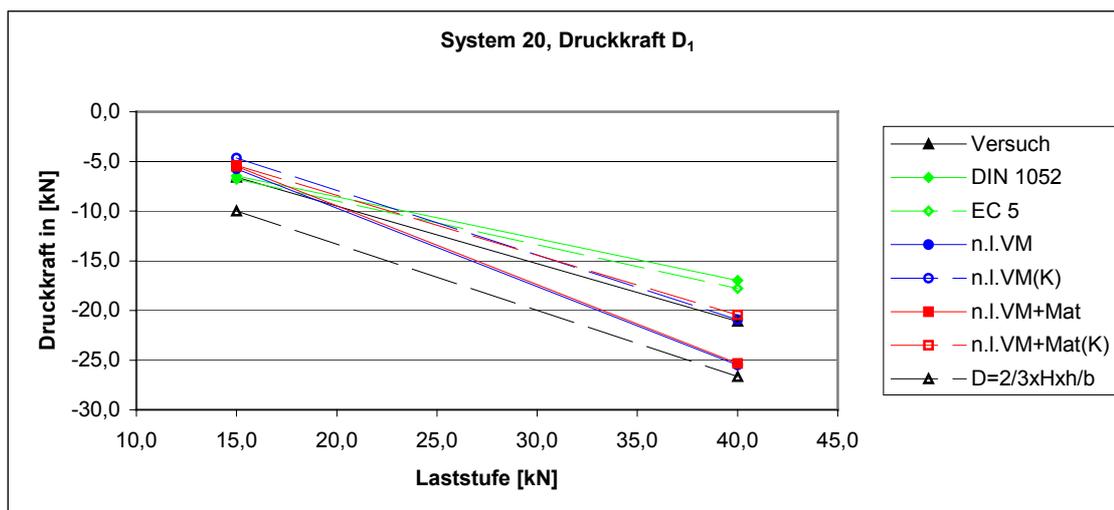


Diagramm 7.2-11

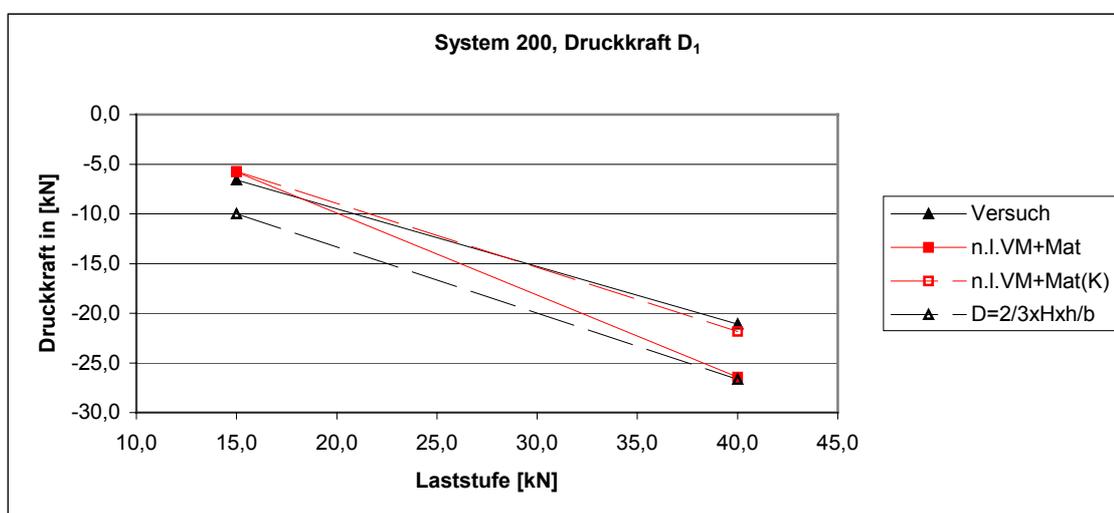


Diagramm 7.2-12

Prozentuale Darstellung:

- Eindruck einer starken Streuung der Berechnungsergebnisse um den Versuchswert,
- Streuungen durch die Randbedingungen verursacht;

Absolutwertdarstellung:

- im Lastbereich 0 bis 20,0 kN Ergebnisse um den Versuchswert und betragsmäßig geringer als der Normwert ( $D=2/3 \times H \times h/b$ ),
- im Lastbereich oberhalb 20,0 kN streuende Berechnungsergebnisse, aber betragsmäßig geringer als der Normwert.

Eine Korrektur der Last-Verformungskennlinie des Kontaktstoßes Druckstiel-Riegel unter Verwendung der dokumentierten Versuchsergebnisse für die Schwelleneindrückung liefert sehr gute Ergebnisse im gesamten Lastbereich. Dies macht den Einfluß des Tragverhaltens dieses Konstruktionsdetails für die Ergebnisse der Berechnung der Druckstiellast deutlich.

• **Randstieldruckkraft  $D_2$**

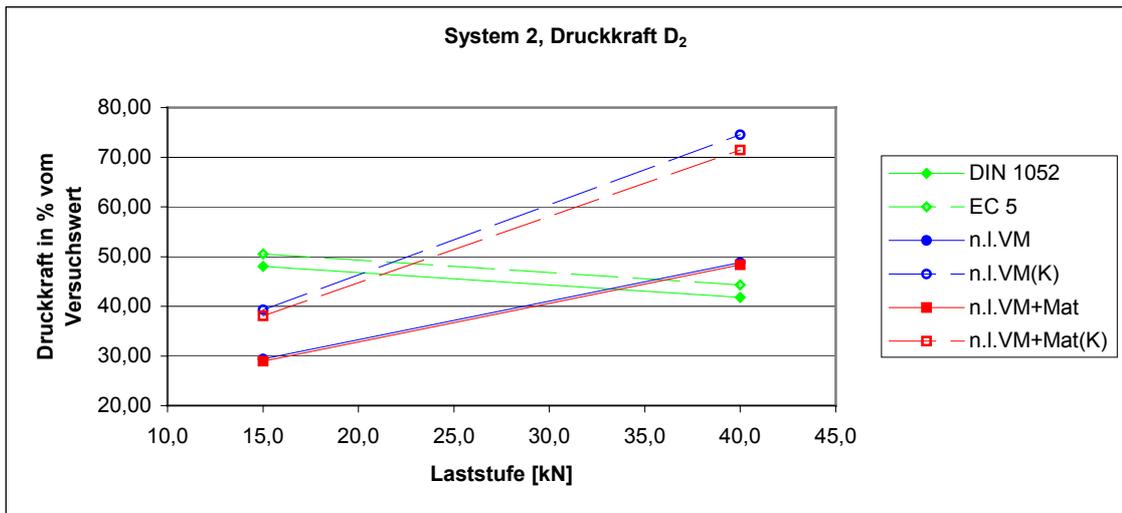


Diagramm 7.2-13

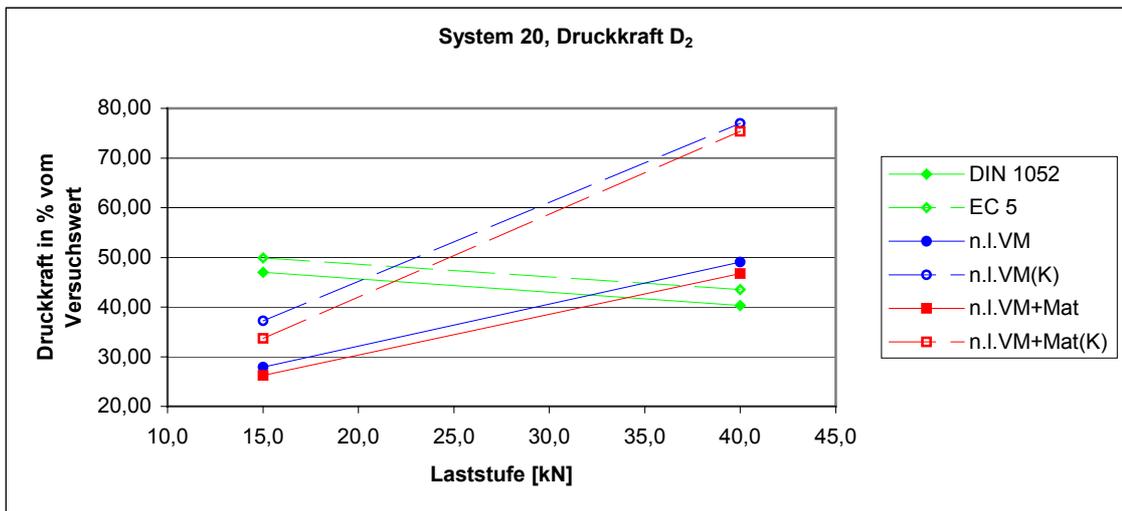


Diagramm 7.2-14

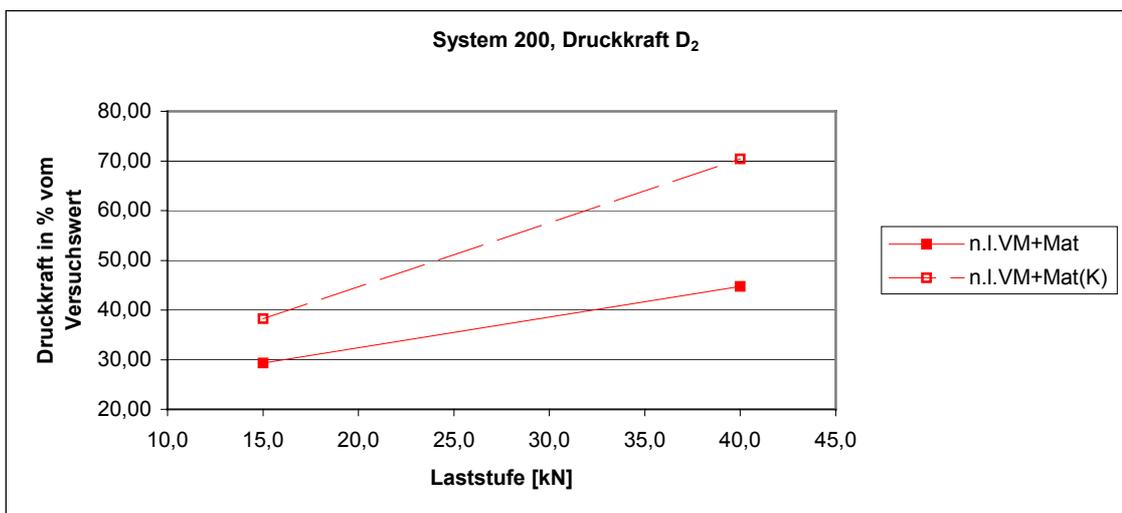


Diagramm 7.2-15

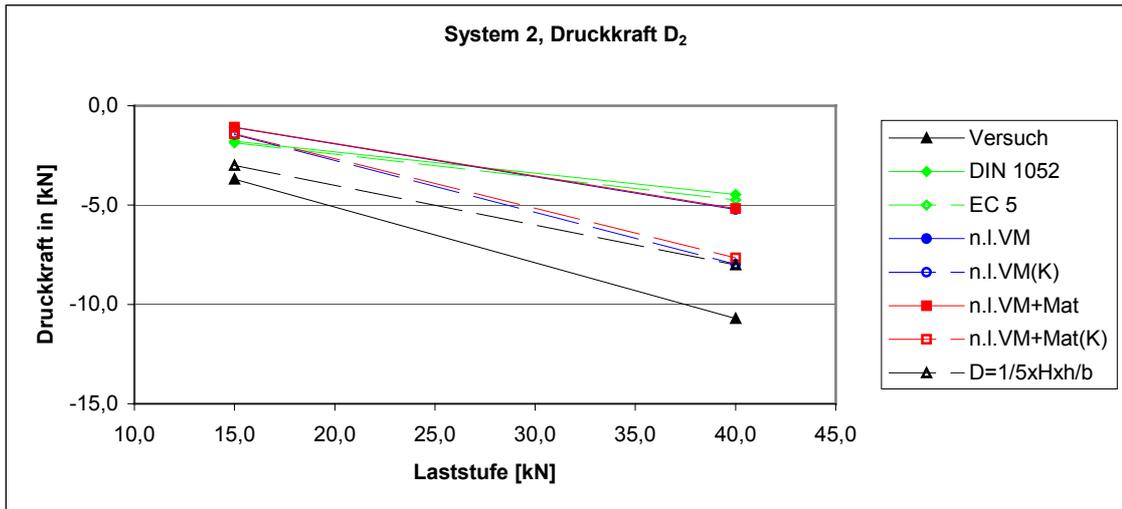


Diagramm 7.2-16

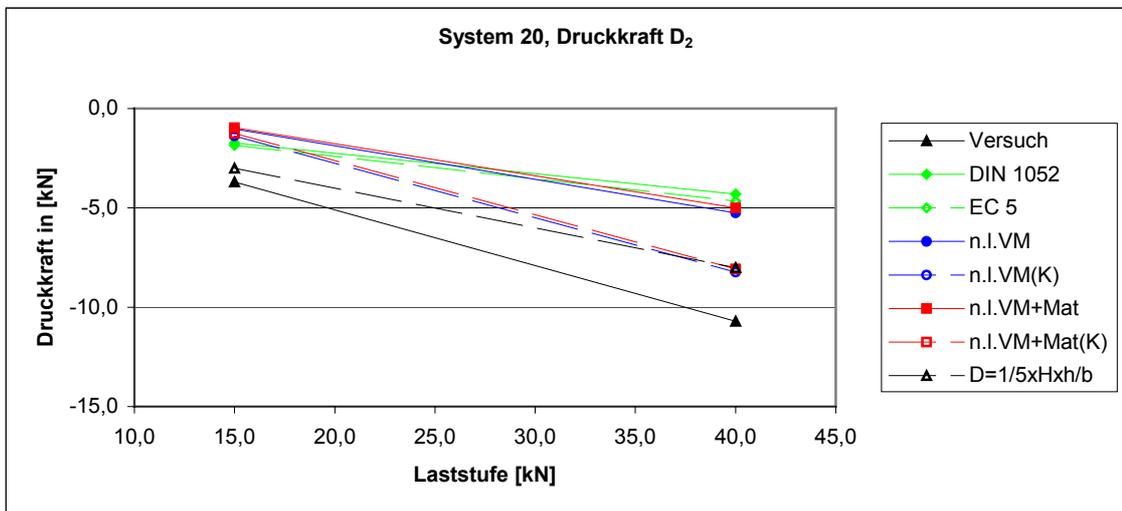


Diagramm 7.2-17

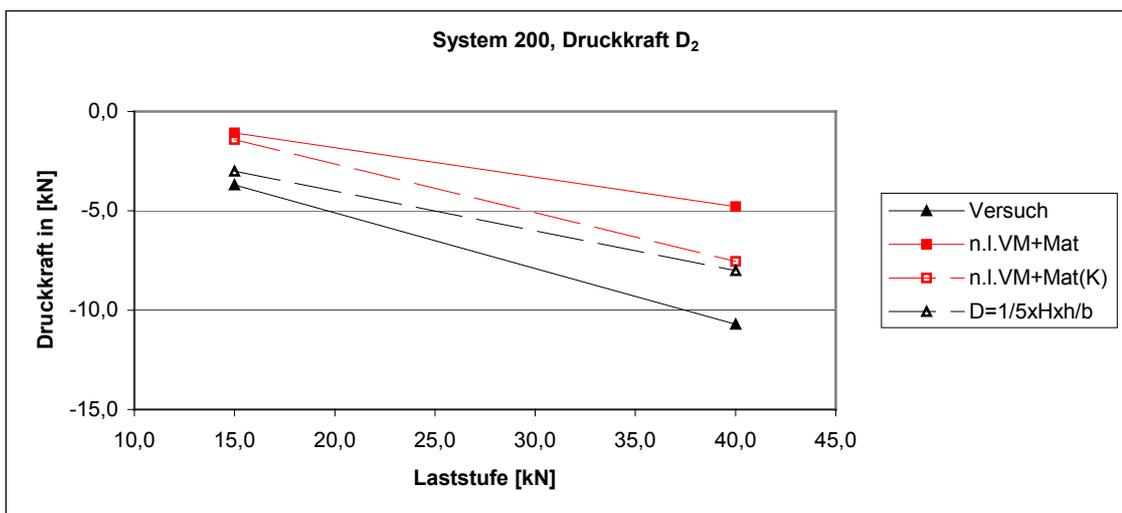


Diagramm 7.2-18

Prozentuale Darstellung:

- Eindruck einer starken Streuung der Berechnungsergebnisse zum Teil weit unterhalb des Versuchswertes,
- Streuungen durch die Randbedingungen verursacht;

Absolutwertdarstellung:

- im gesamten Lastbereich Berechnungsergebnisse betragsmäßig unterhalb des Normwertes ( $D=1/5 \times H \times h/b$ ), Normwert geringer als der Versuchswert,
- im mittleren und oberen Lastbereich Streuung der Berechnungsergebnisse zunehmend.

Eine Korrektur der Last-Verformungskennlinie des Kontaktstoßes Druckstiel-Riegel unter Verwendung der dokumentierten Versuchsergebnisse für die Schwelleneindrückung liefert gute, im oberen Lastbereich sehr gute Ergebnisse.

Durch den Einfluß von Fugen am unteren Kontaktstoß der Druckstiele (Berechnungsergebnisse im Anhang) ergibt sich eine rechnerische Schwankung der Stieldrucklast von bis zu 35 % im unteren Horizontallastbereich.

- **Randstieldruckkraft  $D_3$**

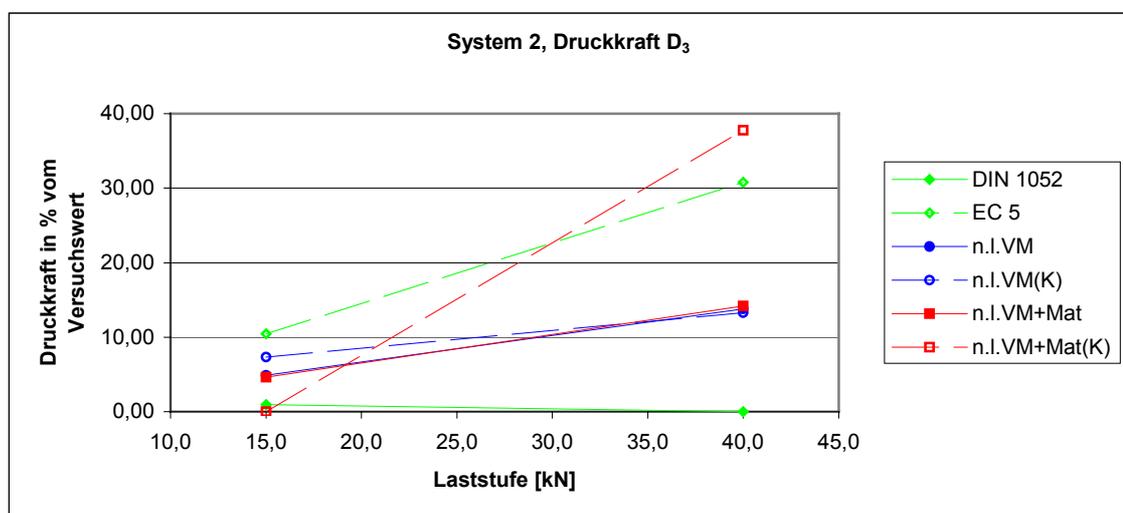


Diagramm 7.2-19

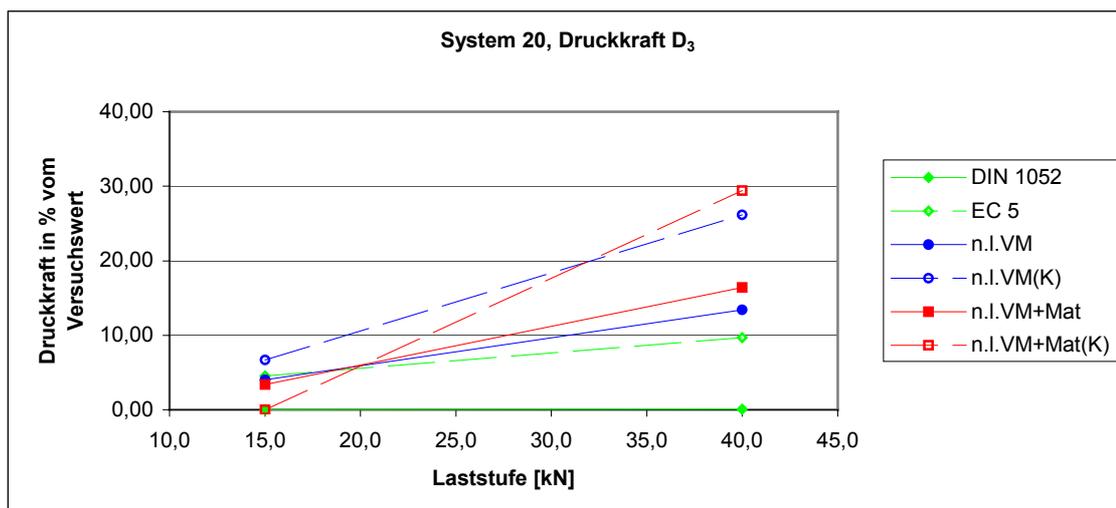


Diagramm 7.2-20

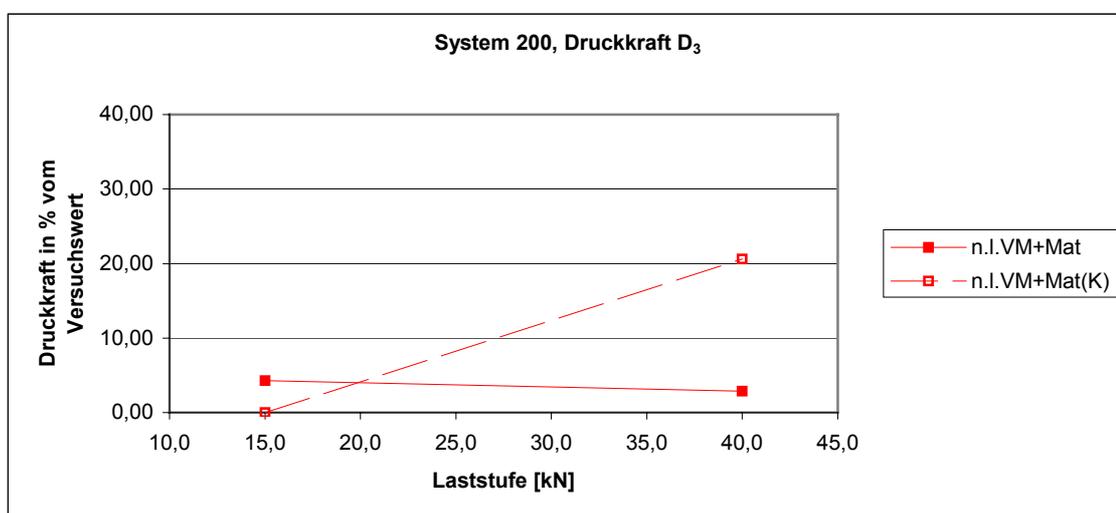


Diagramm 7.2-21

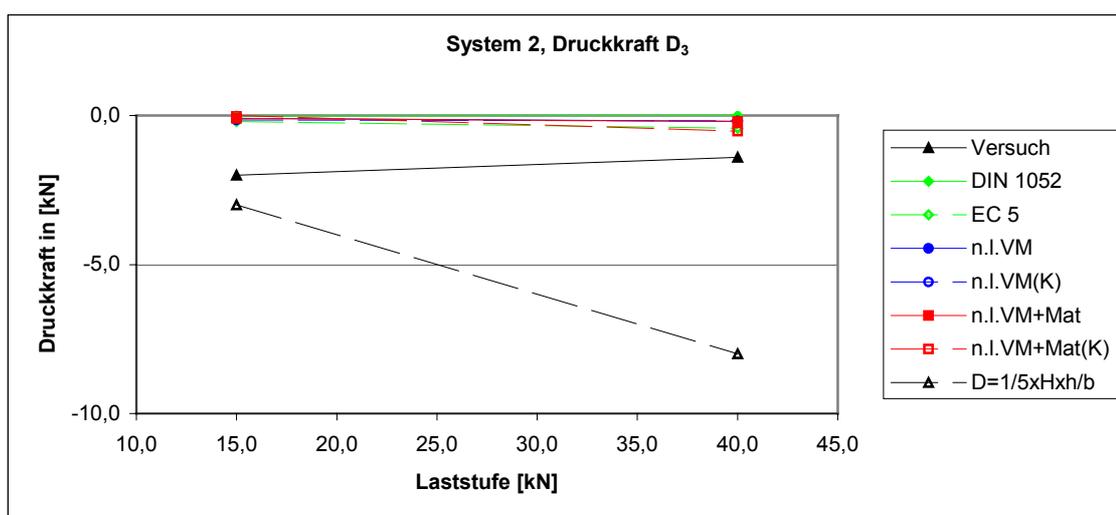


Diagramm 7.2-22

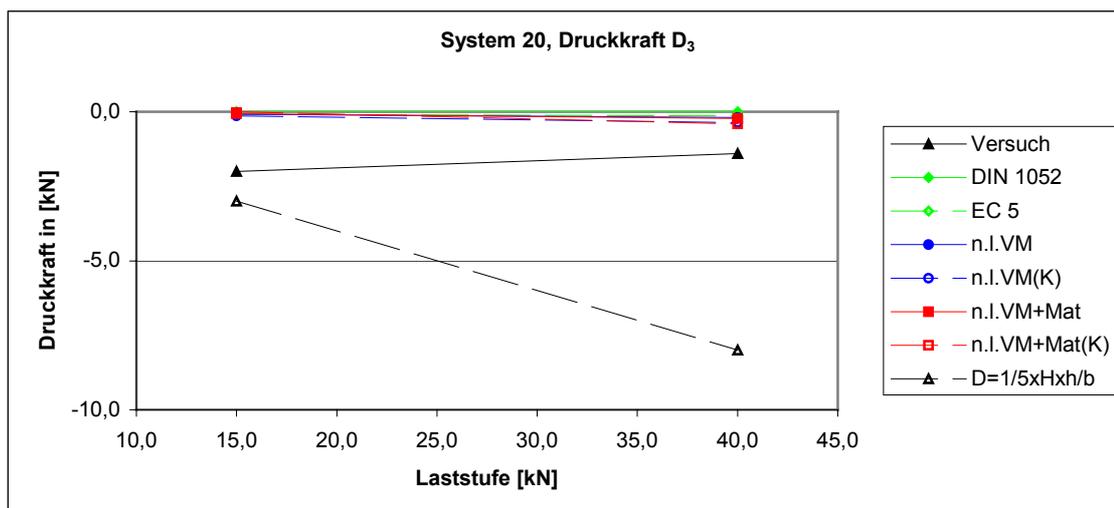


Diagramm 7.2-23

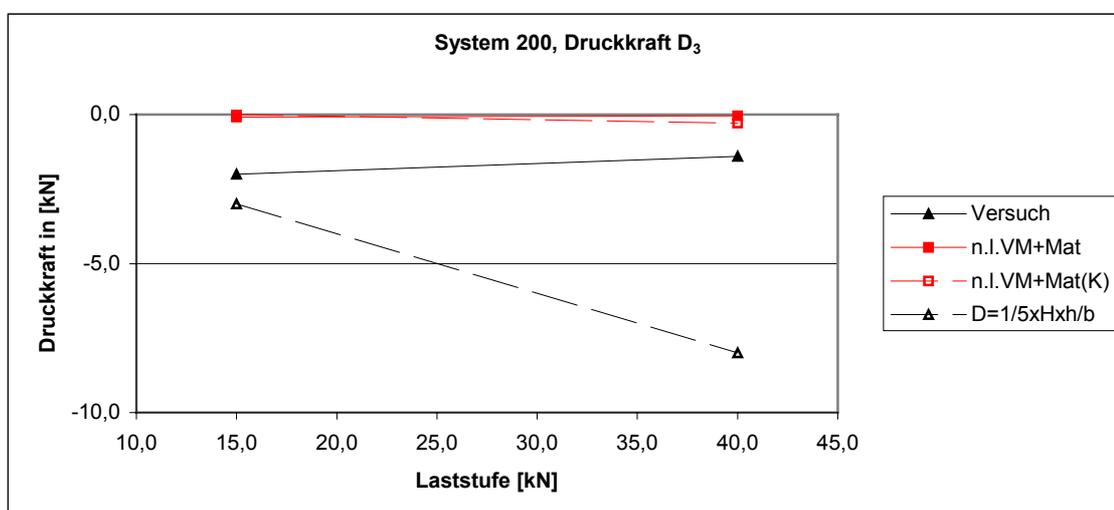


Diagramm 7.2-24

Prozentuale Darstellung:

- Eindruck einer starken Streuung der Berechnungsergebnisse weit unterhalb des Versuchswertes,
- Streuungen durch die Randbedingungen verursacht;

Absolutwertdarstellung:

- im gesamten Lastbereich Berechnungsergebnisse betragsmäßig weit unterhalb des Versuchswertes liegend, Versuchswert deutlich geringer als der Normwert ( $D=1/5 \times H \times h/b$ ).

Eine Korrektur der Last-Verformungskennlinie des Kontaktstoßes Druckstiel-Riegel unter Verwendung der dokumentierten Versuchsergebnisse für die Schwelleneindrückung liefert keine signifikante Verbesserung der Ergebnisse.

Durch den Einfluß von Fugen am unteren Kontaktstoß der Druckstiele (Berechnungsergebnisse im Anhang) ergibt sich eine zum Teil deutliche Erhöhung der Stieldrucklast im oberen Horizontallastbereich.

- Zugkraft**

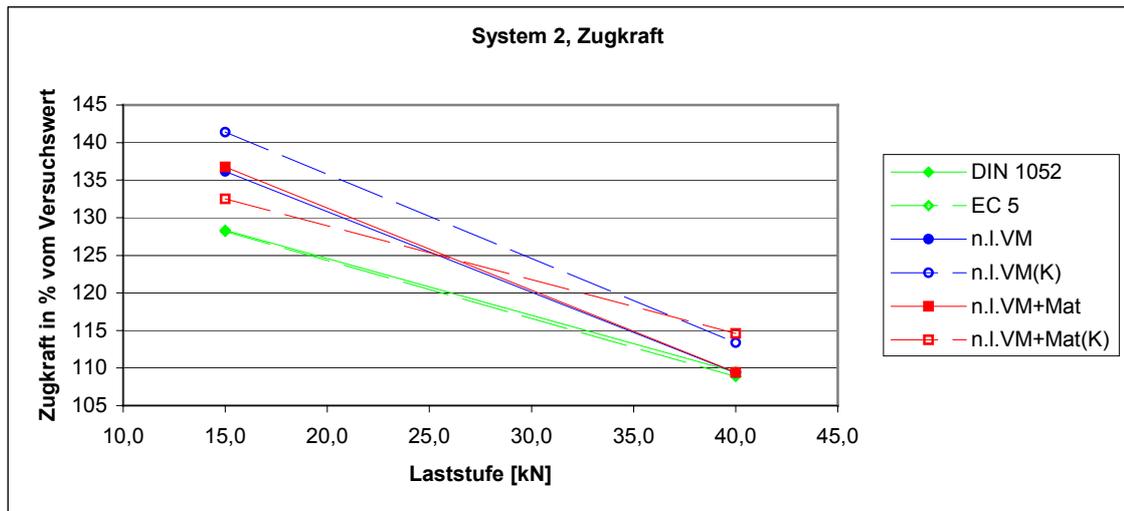


Diagramm7.2-25

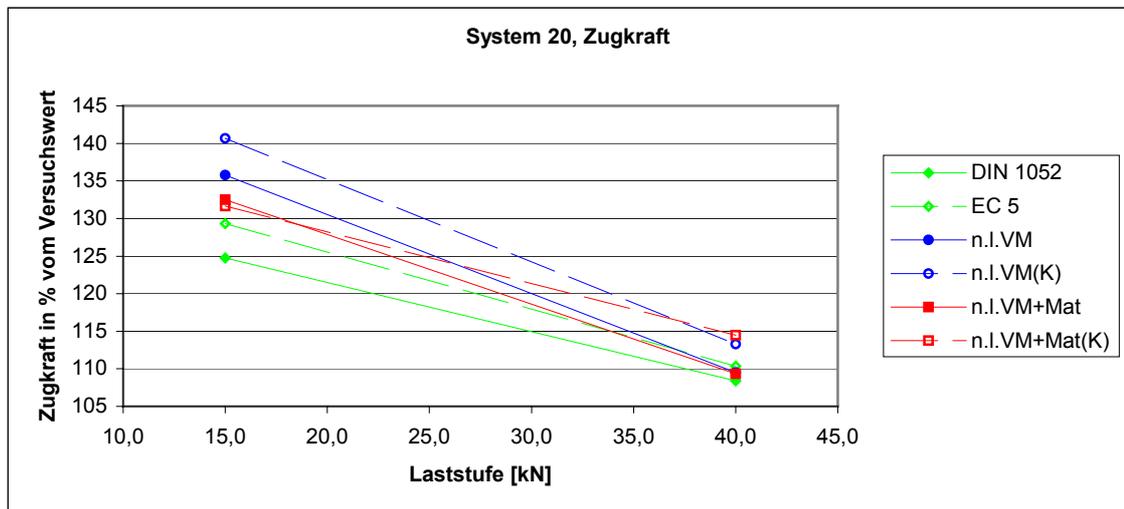


Diagramm7.2-26

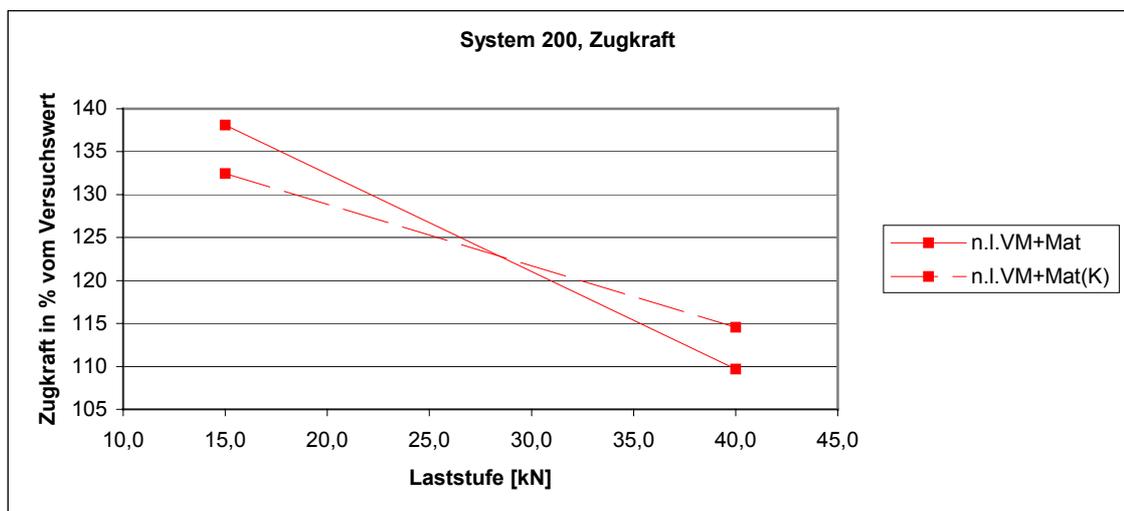


Diagramm7.2-27

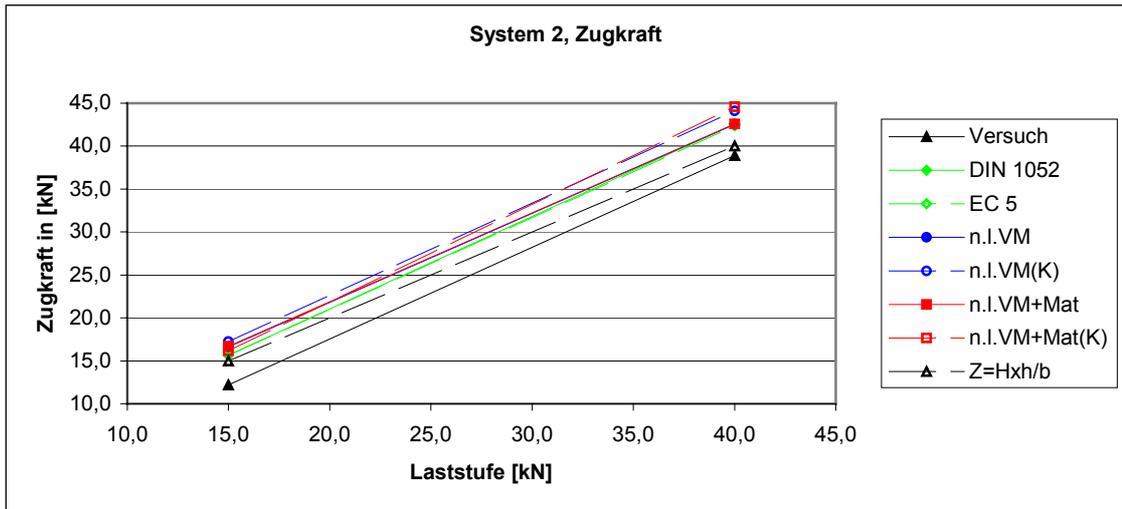


Diagramm7.2-28

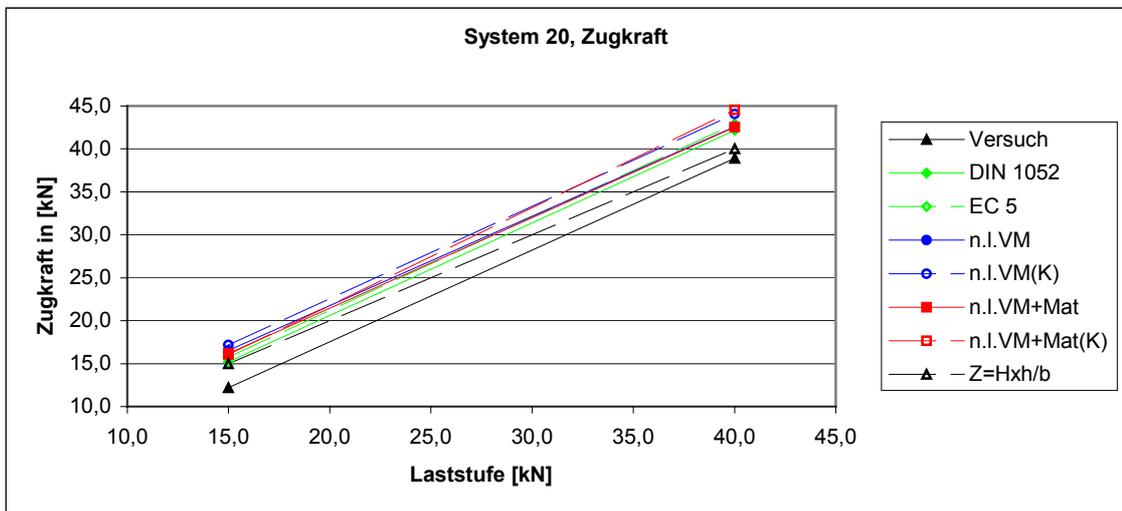


Diagramm7.2-29

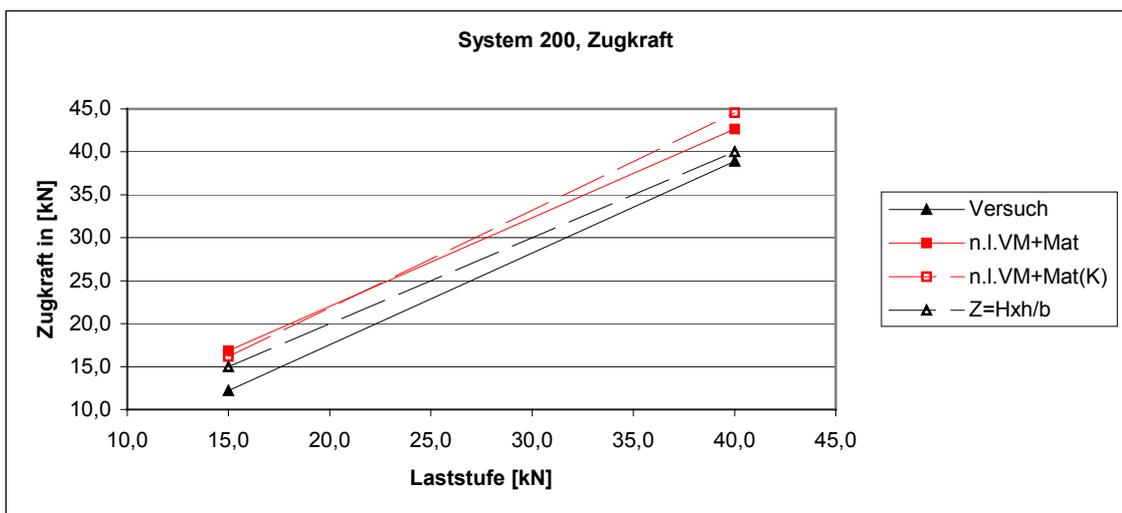


Diagramm7.2-30

Prozentuale Darstellung:

- große Anfangsabweichung aller System und Randbedingungen mit deutlicher Überschreitung des Versuchsergebnisses, Annäherung an Versuchswert im oberen Lastbereich;

Absolutwertdarstellung:

- Ergebnisse für alle System und Randbedingungen oberhalb der Versuchs- und Normwerte ( $Z = H \times h/b$ ) liegend.

Zur Bestimmung des Last-Verformungsverhaltens wurden keine Versuche durchgeführt, sondern auf die Werte nach DIN 1052 alt bzw. Eurocode 5 zurückgegriffen.

Die Korrektur dieser Randbedingung erfolgte hinsichtlich einer Optimierung des Ergebnisses der Kopfverschiebung (100 % des Versuchswertes) unter Berücksichtigung eines Last-Verformungsverhaltens des Kontaktstoßes Stiel-Riegel nach dokumentierten Versuchsergebnissen.

Die Korrekturen sind für die Bemessung ohne Bedeutung.

- **Belastung und Verformung des randdruckstielnächsten Nagels**

(Lage siehe S.24, Bild 2.2.1-1 Aufbau der Zweirastertafel)

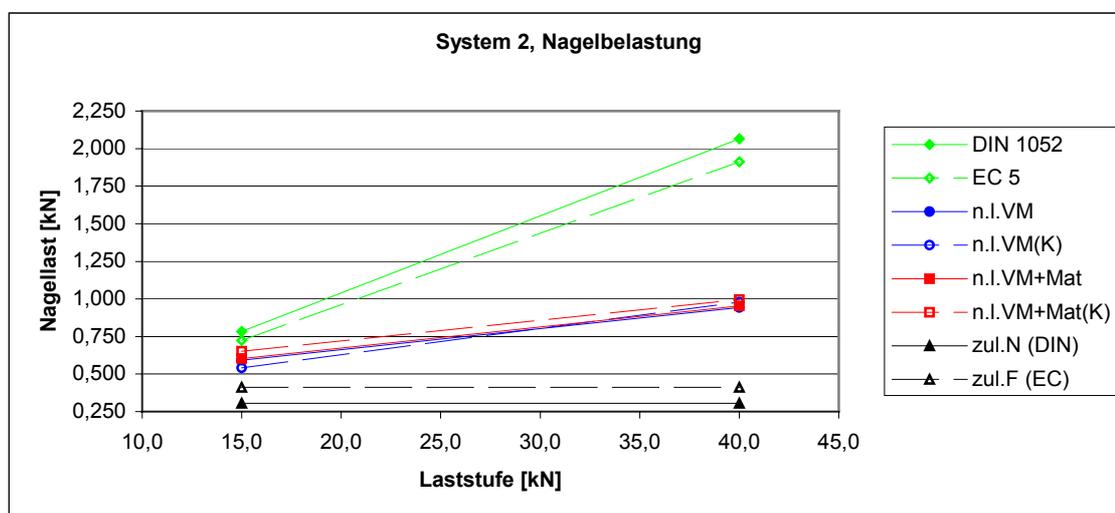


Diagramm 7.2-31

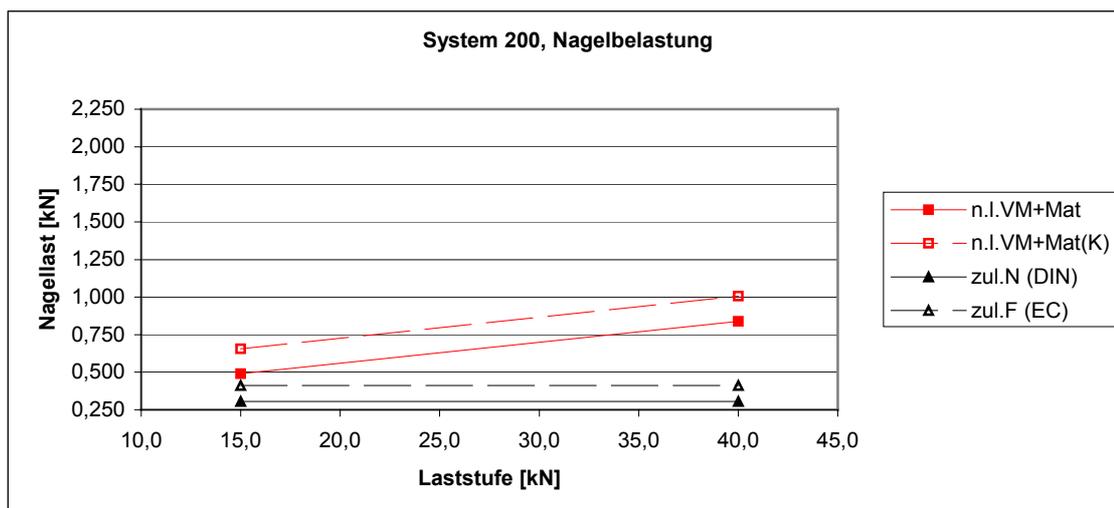


Diagramm 7.2-32

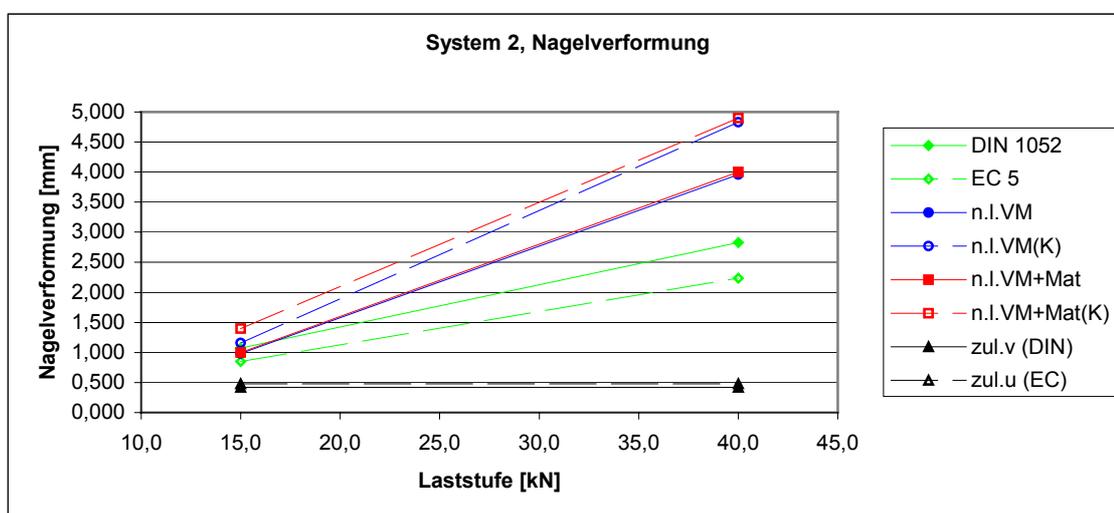


Diagramm 7.2-33

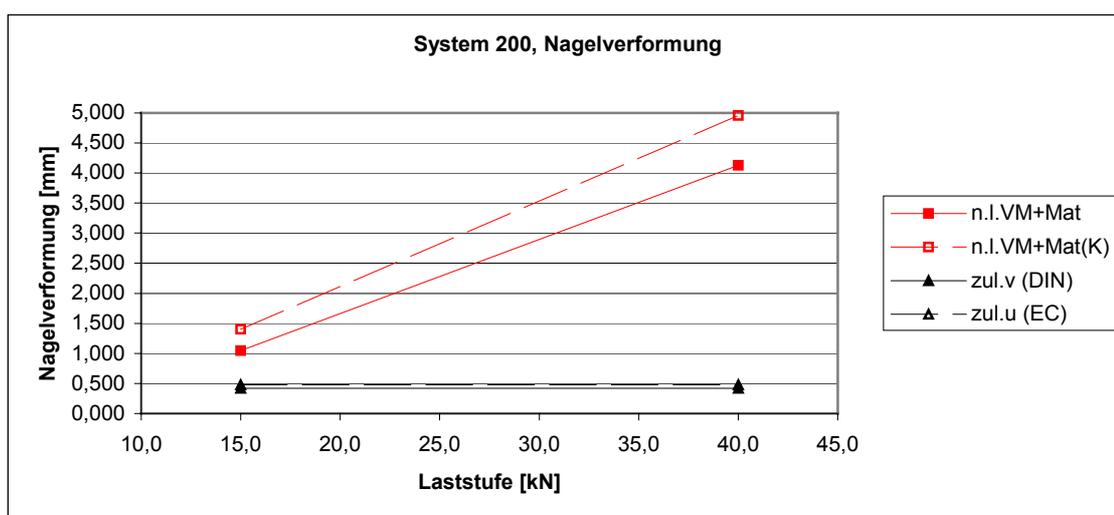


Diagramm 7.2-34

Es zeigt sich für alle Systeme und Randbedingungen eine deutliche Überschreitung der zulässigen Grenzwerte sowohl nach DIN 1052 alt als auch nach Eurocode 5 bereits im unteren Lastbereich.

- **Schwelleneindrückung unter Randdruckstiel**

Das Maß der Schwelleneindrückung unter dem Randdruckstiel wurde bei der Korrektur des Last-Verformungsverhaltens des Kontaktstoßes Stiel-Riegel nach dokumentierten Versuchsergebnissen berücksichtigt (siehe Bemerkungen zur Randstieldruckkraft).

- **Diagonalverformung der Beplankung**

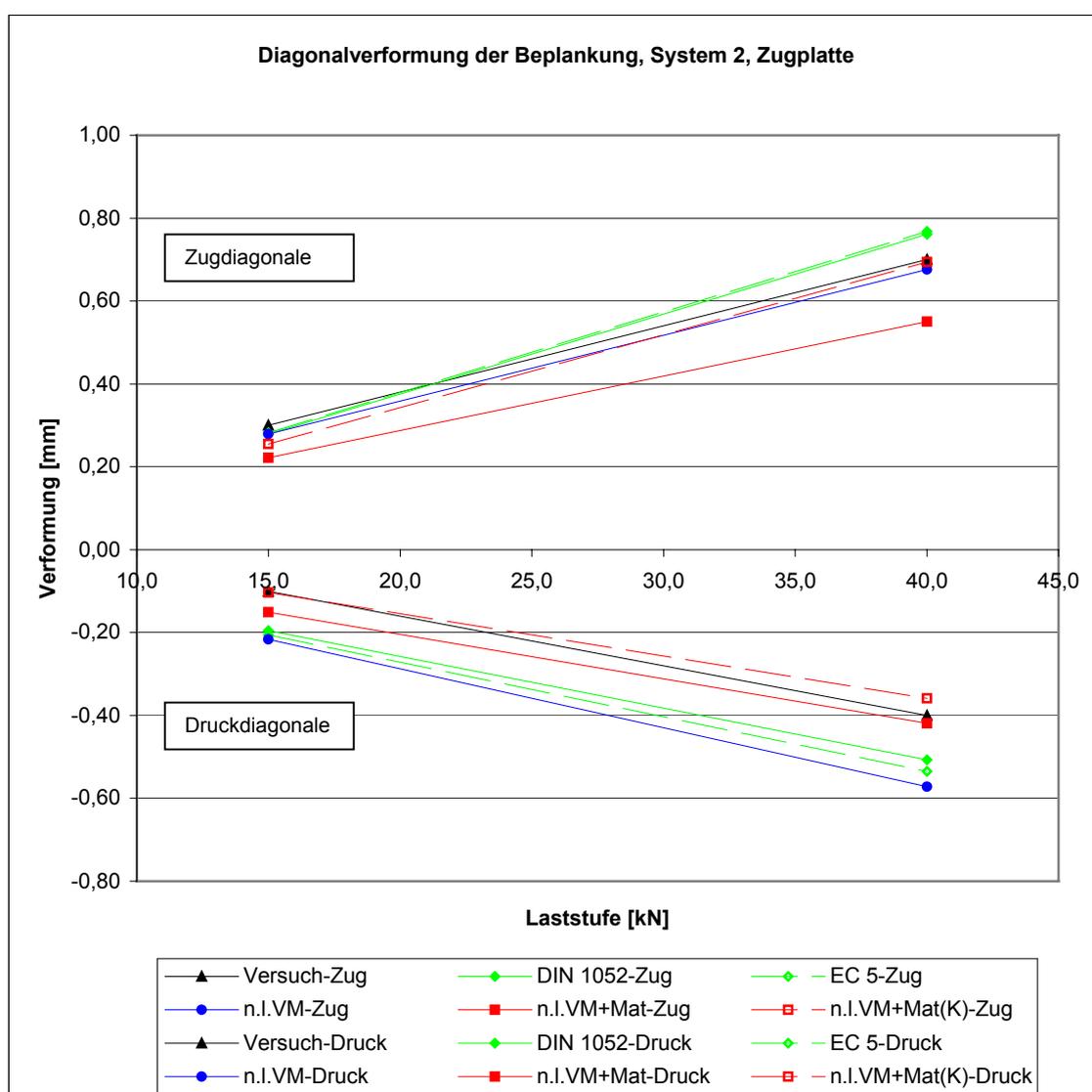


Diagramm 7.2-35

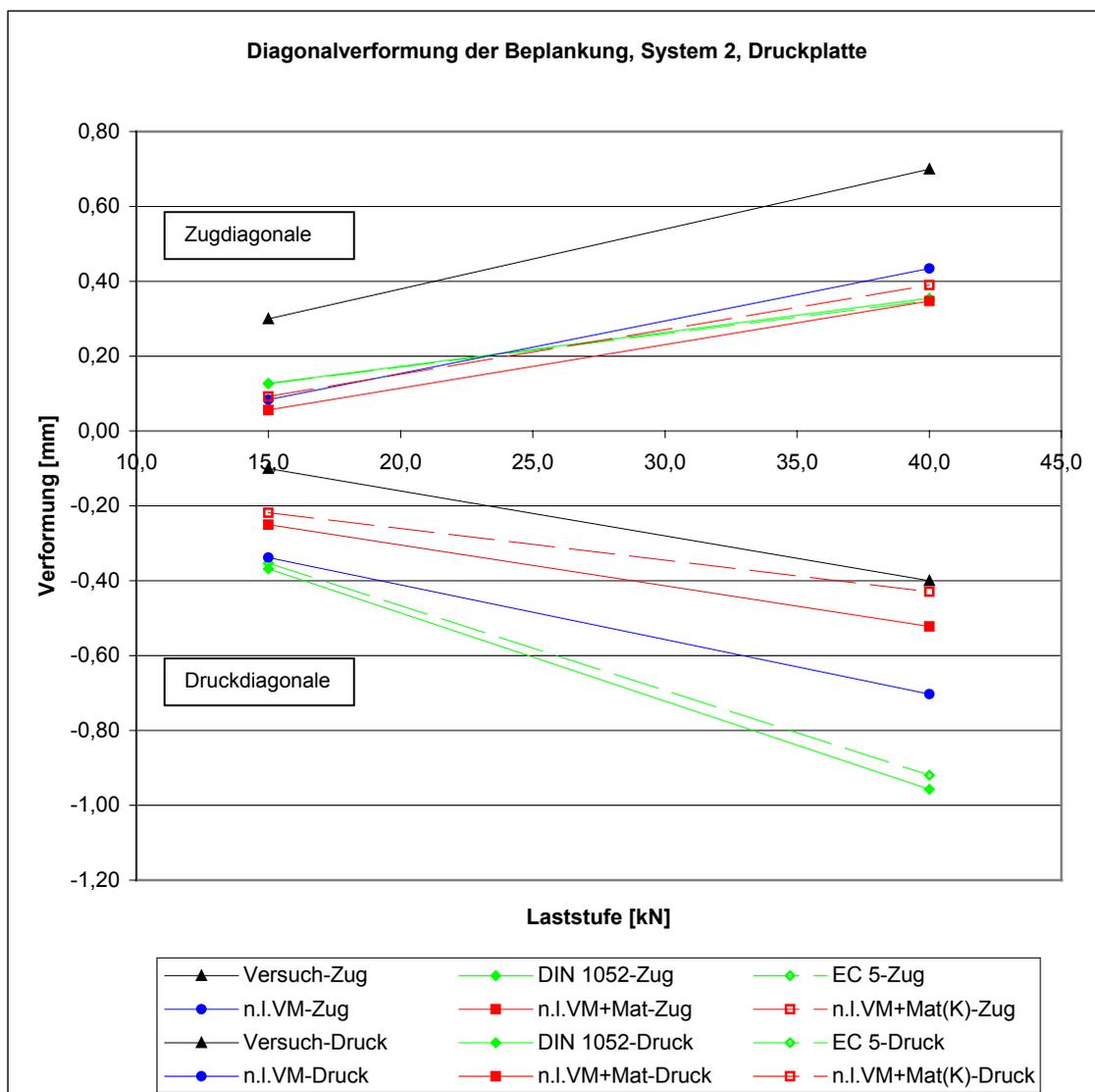


Diagramm 7.2-36

- Platte am Zugauflager - „Zugplatte“

Die Versuchswerte zeigen eine gegenüber der Zugverformung betragsmäßig deutlich geringere Druckverformung.

Dieses Verformungsbild lässt sich durch keine Randbedingung befriedigend modellieren.

Die Randbedingung „n.I.VM+Mat“ erlaubt bei Auswahl bestimmter Materialsätze bereichsweise eine gute Näherung an die Versuchswerte der diagonalen Druckverformung.

- Platte am Druckauflager - „Druckplatte“

Auch hier zeigen die Versuchswerte eine gegenüber der Zugverformung betragsmäßig deutlich geringere Druckverformung.

Die Ergebnisse der Modellierung des Verformungsbildes sind insgesamt völlig unbefriedigend.

## 7.3 System 3, 30 und 300 - Mehrrastertafel

### • Kopfverschiebung

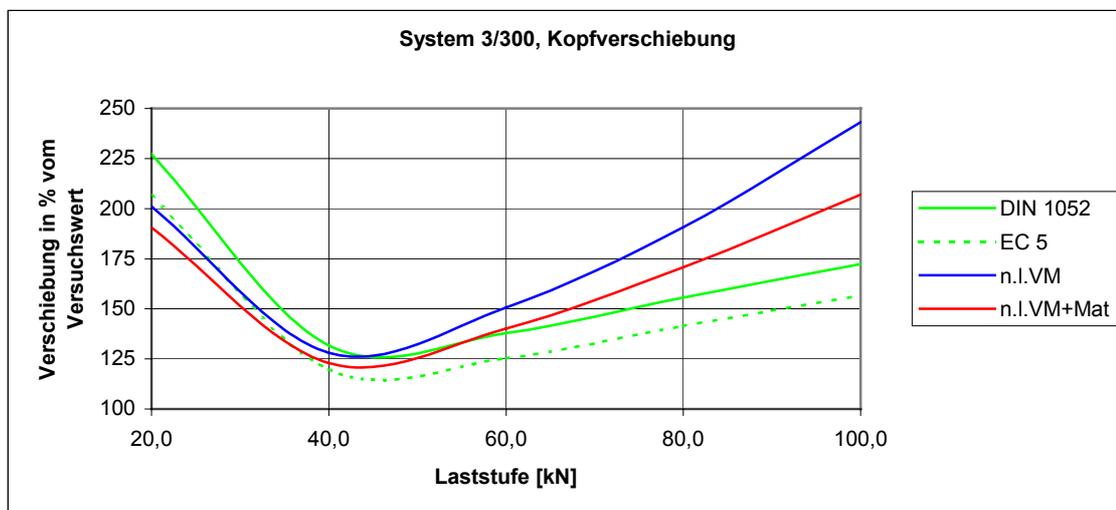


Diagramm 7.3-1

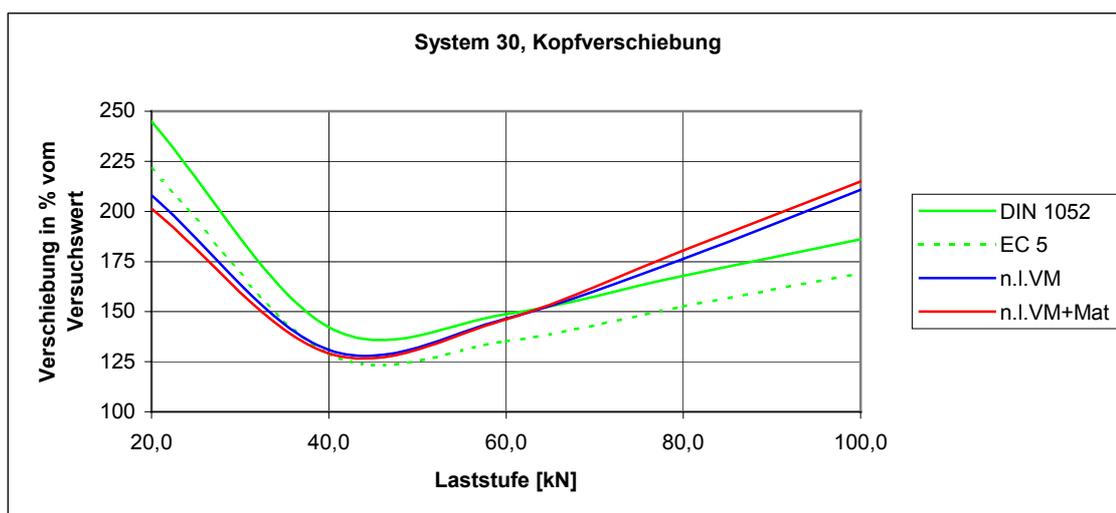


Diagramm 7.3-2

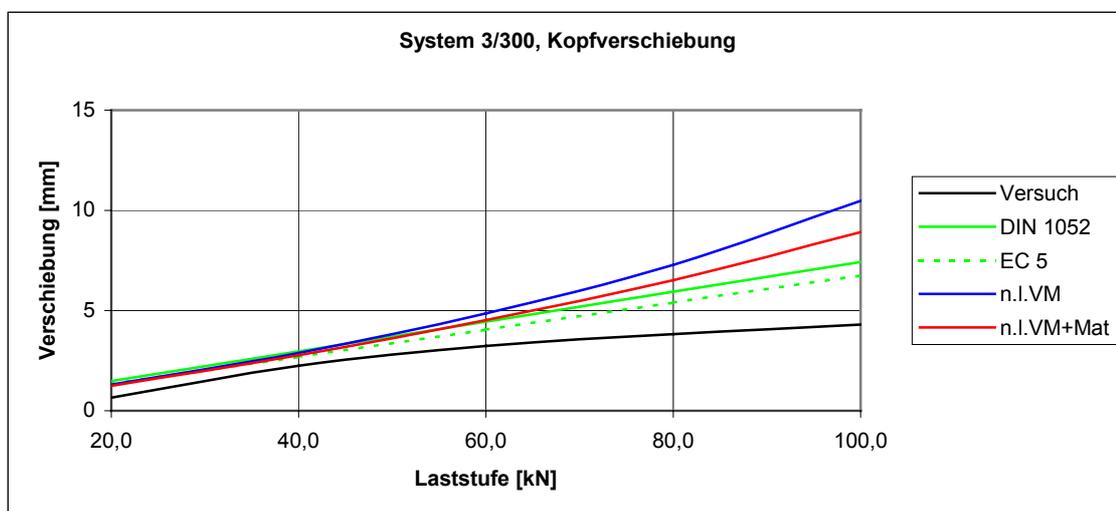


Diagramm 7.3-3

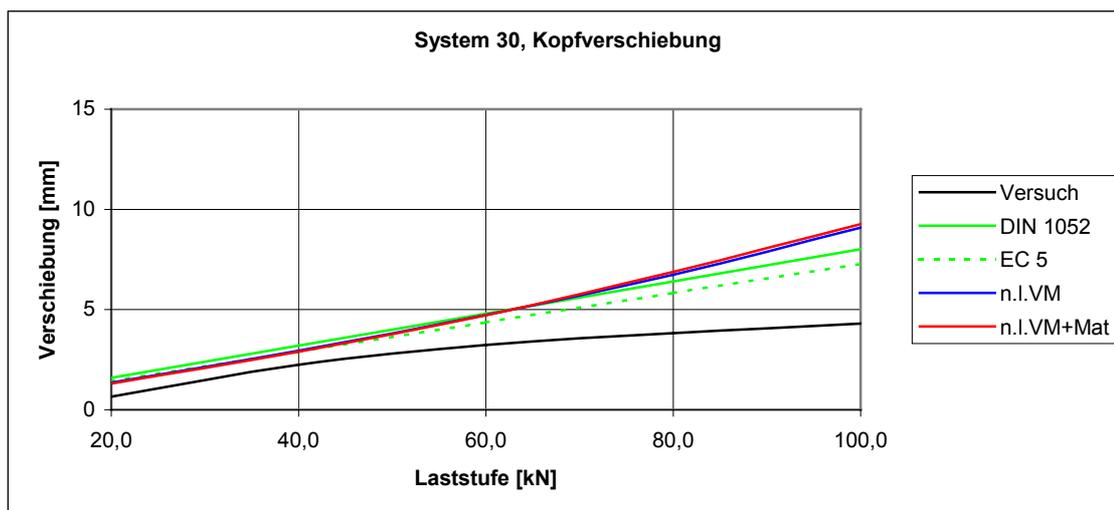


Diagramm 7.3-4

#### Prozentuale Darstellung:

- große Anfangsabweichung der Berechnungsergebnisse (über 200%) mit geringer Streuung,
- gute Annäherung der Ergebnisse aller Berechnungsmodelle und Randbedingungen an den Versuchswert bei einer Horizontallast von 40,0kN,
- oberhalb der Horizontallast von 40,0kN Zunahme der Streuung und der Abweichungen (über 200%),
- Streuungen und Abweichung durch die Berechnungsmodelle und die Randbedingungen verursacht;

#### Absolutwertdarstellung:

- nahezu konstante Abweichung der Berechnungsergebnisse vom Versuchswert bis zu einer Horizontallast von 40,0kN,
- oberhalb der Horizontallast von 40,0kN größer werdende Spreizung zwischen Berechnungsergebnissen und Versuchswerten infolge steiler werdender Ergebniskurve und verflachender Versuchswertkurve.

**Die Verringerung des Anstieges der Versuchswertkurve oberhalb einer Horizontallast von 40,0kN wird durch keines der gewählten Berechnungsmodelle und keine der gewählten Randbedingungen richtig modelliert.**

Ursächlich hierfür kann die Modellierung der Zuganschlüsse als Feder mit linearem Last-Verformungsverhalten sein, bei der der konstruktionsbedingte Anfangsschlupf einseitiger Einpreßdübel an Stahl-Holzverbindungen nicht berücksichtigt wurde.

• **Randstieldruckkraft  $D_1$**

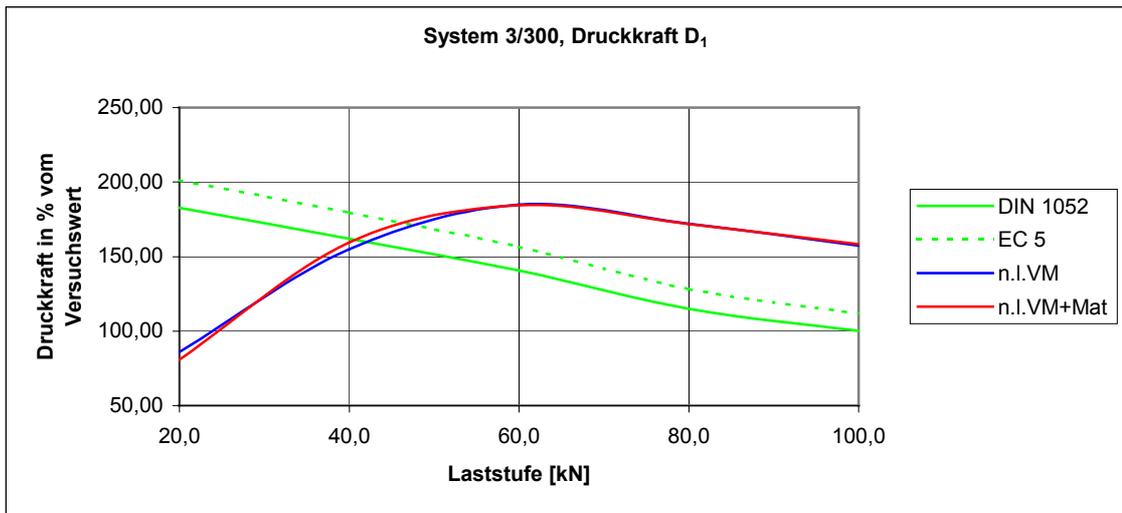


Diagramm 7.3-5

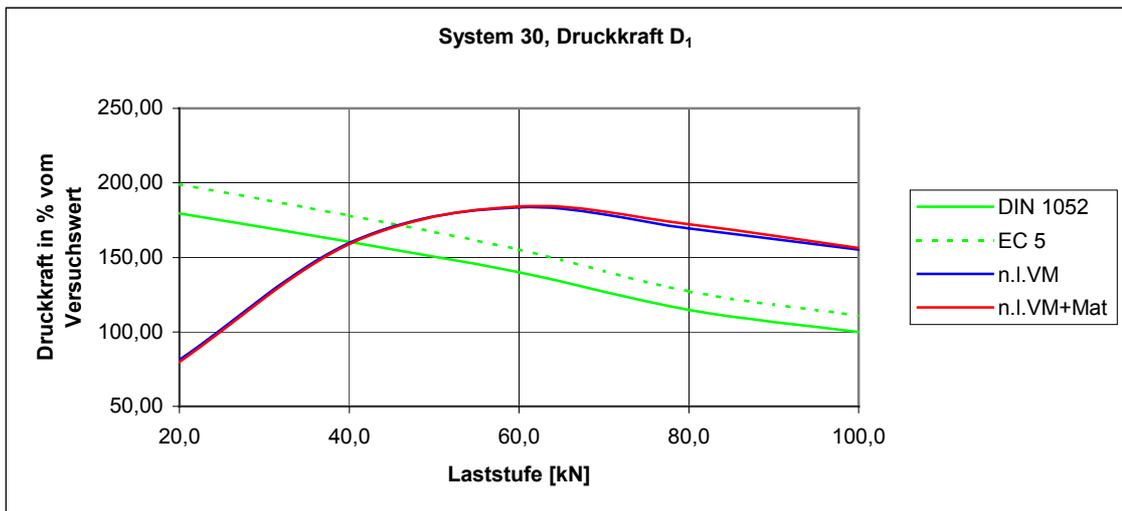


Diagramm 7.3-6

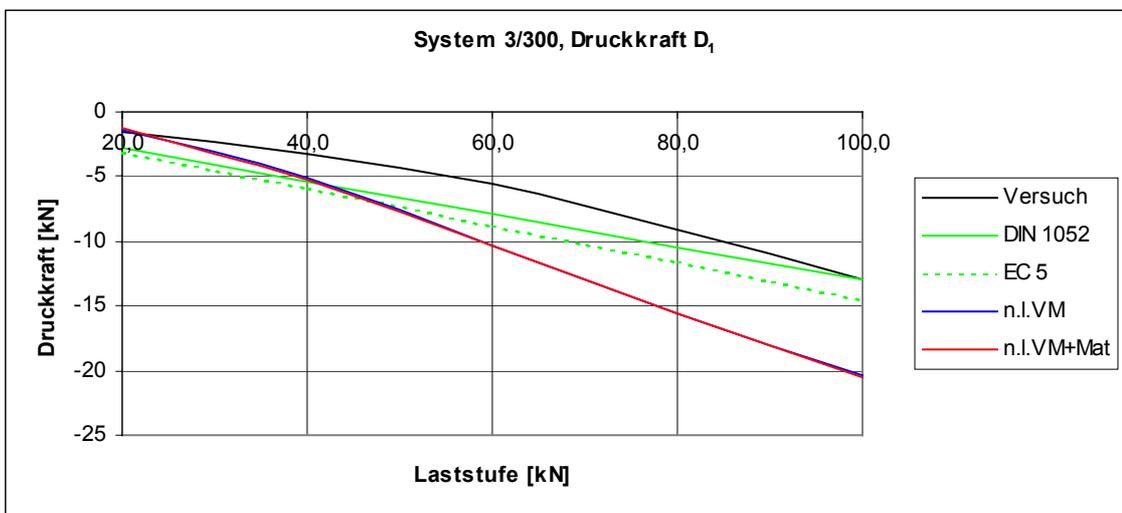


Diagramm 7.3-7

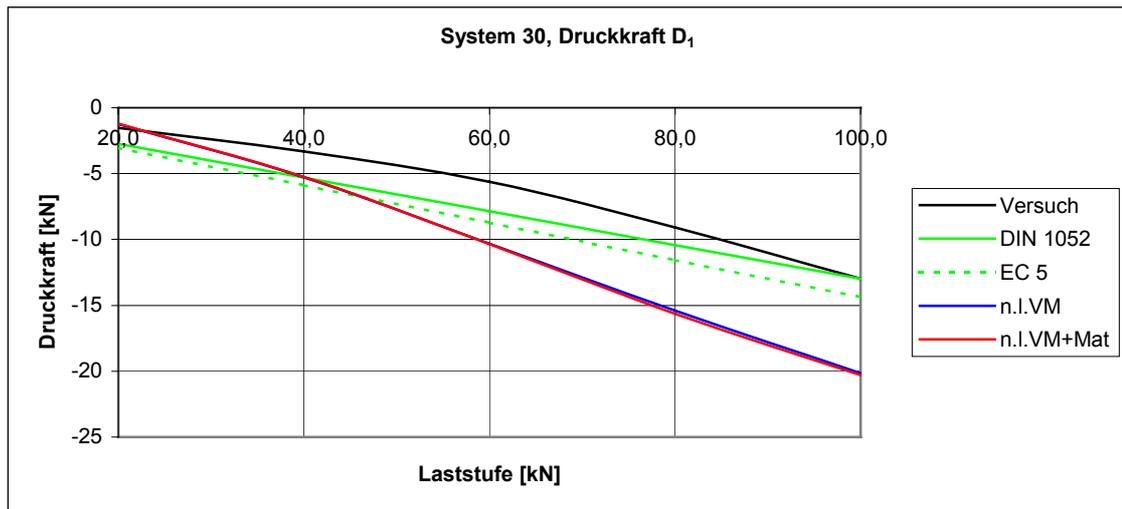


Diagramm 7.3-8

#### Prozentuale Darstellung:

- annähernd geradliniger Verlauf der Ergebniskurve für Randbedingungen „DIN 1052“ und „EC 5“ mit Abweichung der Berechnungsergebnisse von 200% am Belastungsanfang bis zu 100% am Belastungsende,
- für Randbedingungen „n.I.VM“ und „n.I.VM+Mat“ gute Näherung am Belastungsanfang (80%) mit zunehmender Abweichung im mittleren Lastbereich (180%) und geringfügiger Verbesserung am Belastungsende (150%);

#### Absolutwertdarstellung:

- gute bis sehr gute Näherung an die Ergebniskurve für Randbedingungen „DIN 1052“ und „EC 5“,
- für Randbedingungen „n.I.VM“ und „n.I.VM+Mat“ gute Näherung am Belastungsanfang (80%) mit stark zunehmender Abweichung zum Belastungsende.

Die Berechnungsergebnisse liegen betragsmäßig über den Versuchswerten. Der Verlauf der Versuchswertkurve wurde qualitativ durch alle Randbedingungen richtig modelliert; quantitativ können die Ergebnisse nur für die Randbedingungen „DIN 1052“ und „EC 5“ überzeugen.

• **Randstieldruckkraft  $D_2$**

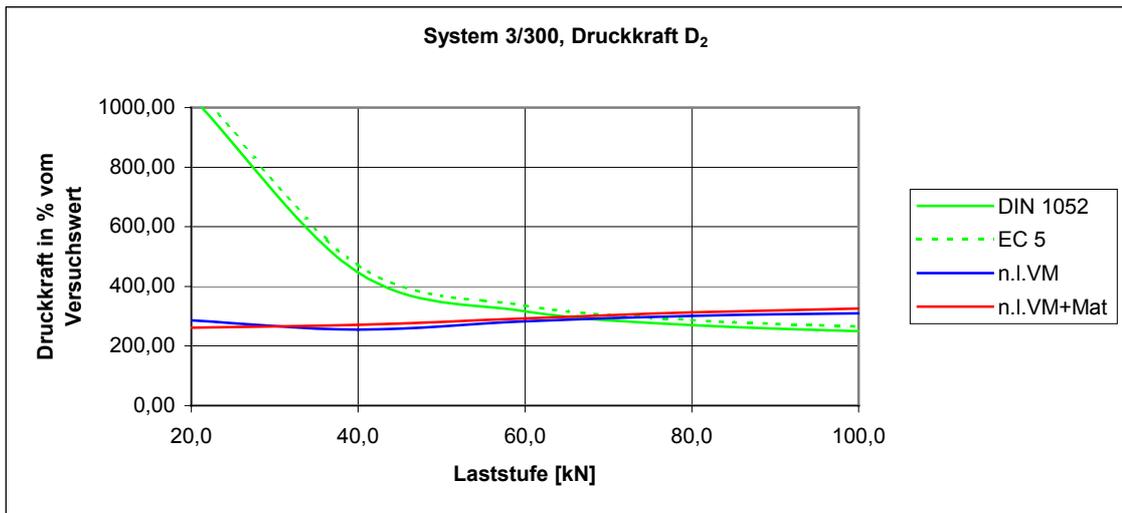


Diagramm 7.3-9

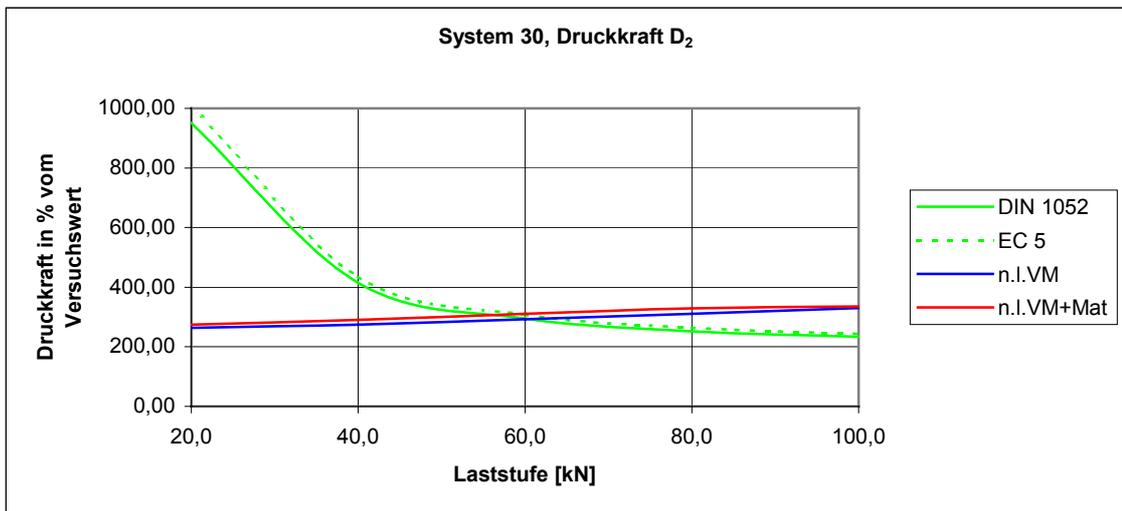


Diagramm 7.3-10

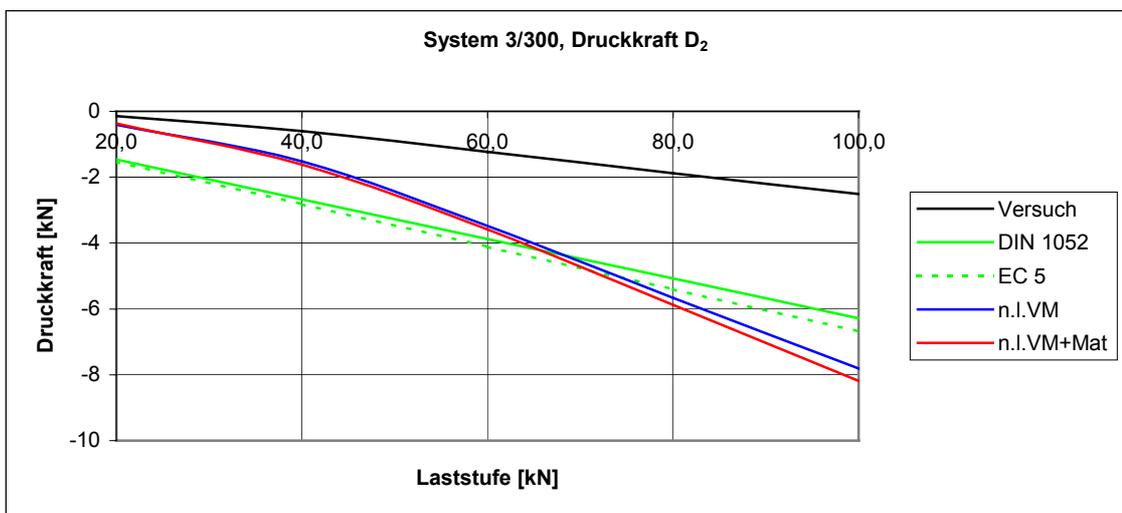


Diagramm 7.3-11

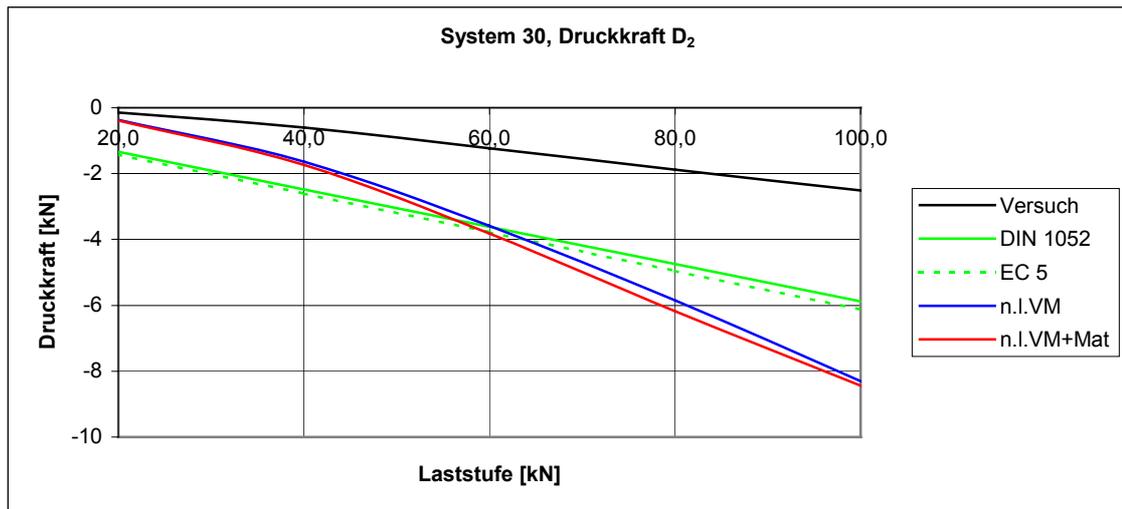


Diagramm 7.3-12

Prozentuale Darstellung:

- hohe Anfangsabweichung für Randbedingungen „DIN 1052“ und „EC 5“ (1000%), ab Horizontallaststufe 60,0kN in etwa gradliniger Verlauf mit etwa 300% Abweichung,
- für Randbedingungen „n.I.VM“ und „n.I.VM+Mat“ in etwa gradliniger Verlauf mit Abweichung um 300%;

Absolutwertdarstellung:

- Berechnungsergebnisse aller Berechnungsmodelle und Randbedingungen betragsmäßig weit oberhalb der Versuchswertkurve mit zunehmender Abweichung zur Belastungsgrenze.

Die Berechnungsergebnisse aller Berechnungsmodelle und Randbedingungen liegen betragsmäßig weit oberhalb der Versuchswertkurve; eine korrekte Modellierung wurde nicht erreicht.

• **Randstieldruckkraft  $D_3$**

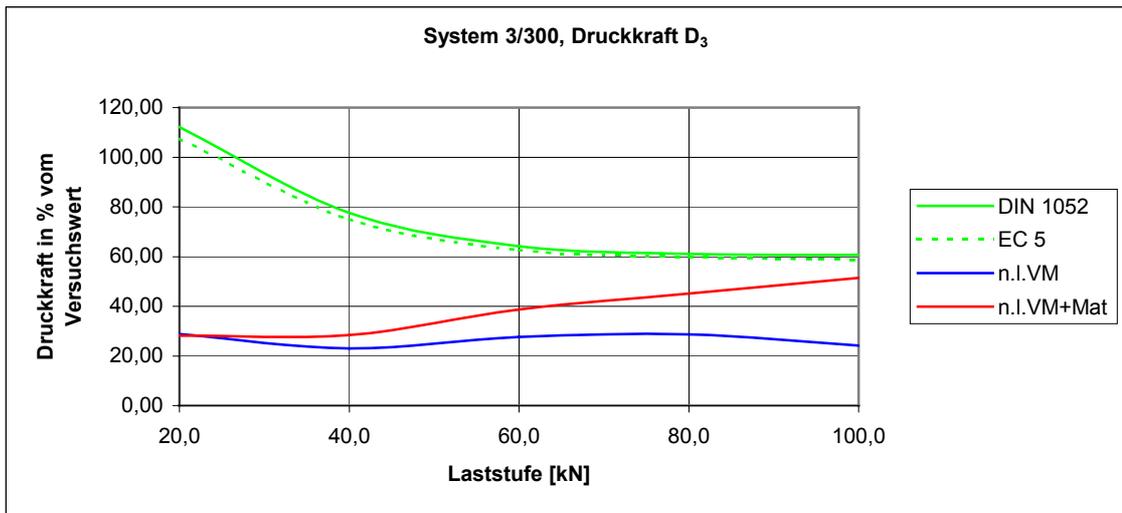


Diagramm 7.3-13

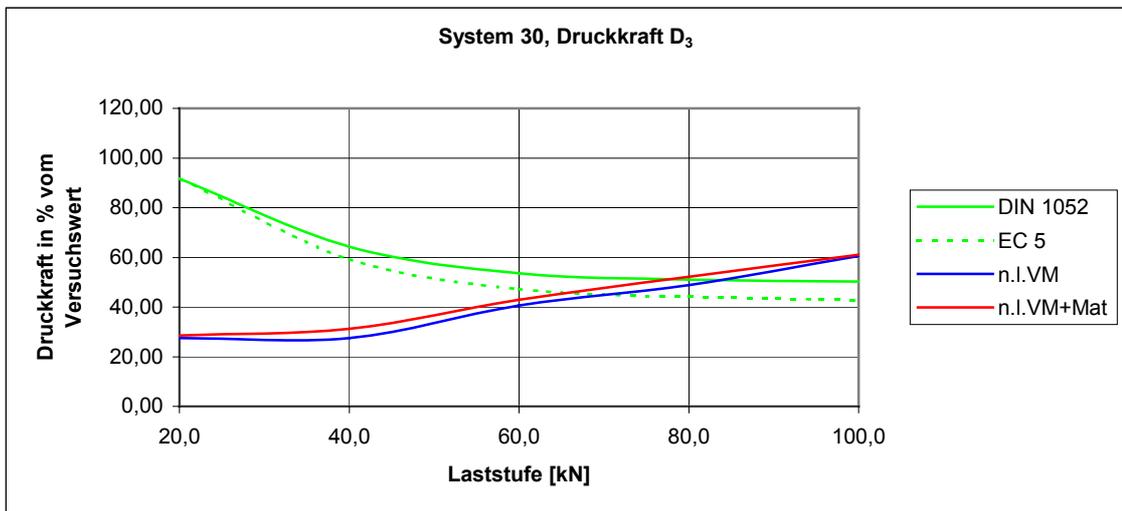


Diagramm 7.3-14

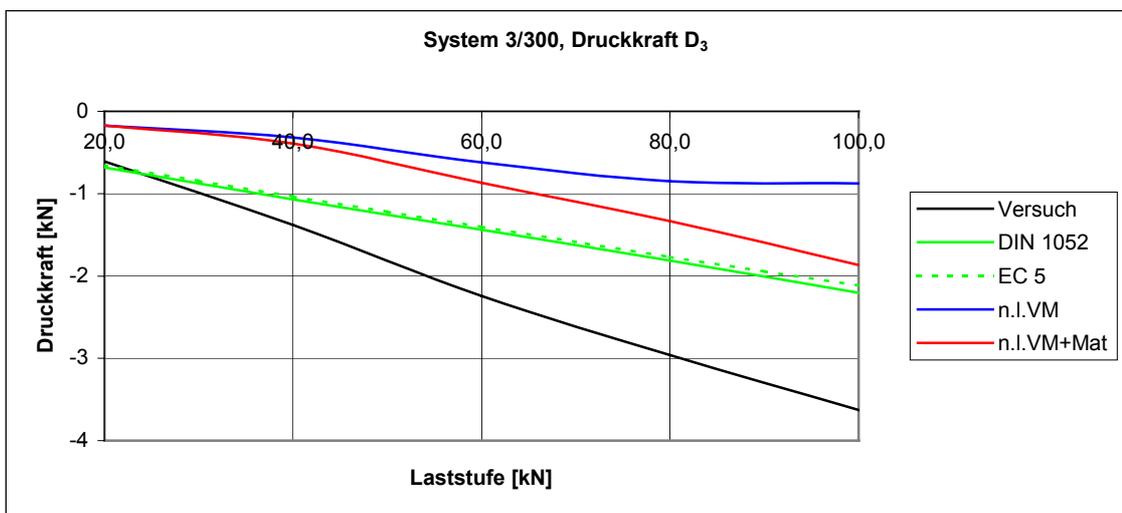


Diagramm 7.3-15

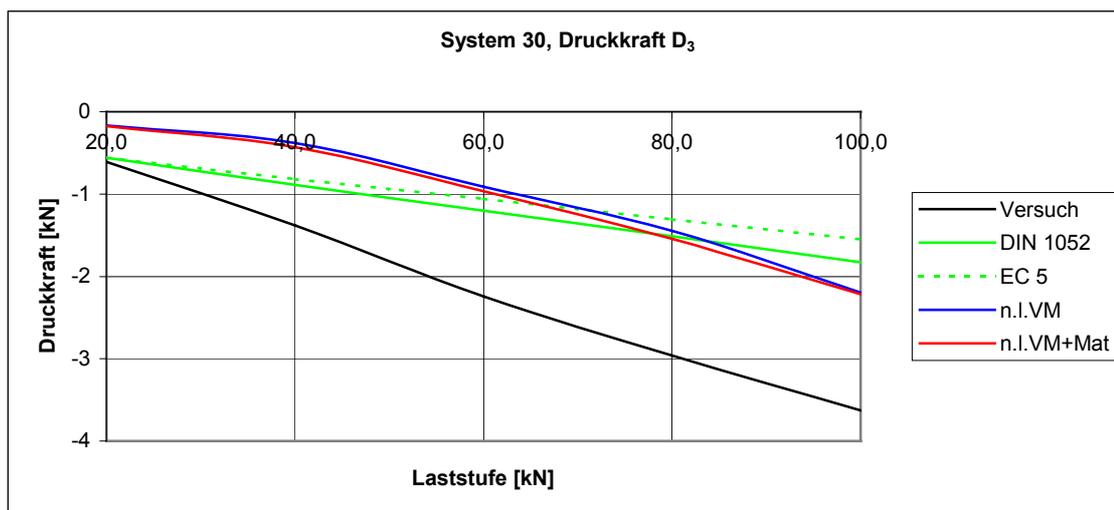


Diagramm 7.3-16

Prozentuale Darstellung:

- gute Anfangsnäherung für Randbedingungen „DIN 1052“ und „EC 5“, ab Horizontallaststufe 60,0kN in etwa gradliniger Verlauf mit etwa 60% Abweichung,
- für Randbedingungen „n.I.VM“ und „n.I.VM+Mat“ Schwankung der Ergebnisse um 40% der Versuchswerte;

Absolutwertdarstellung:

- Berechnungsergebnisse aller Berechnungsmodelle und Randbedingungen betragsmäßig unterhalb der Versuchswertkurve mit zunehmender Abweichung zur Belastungsgrenze.

Die Berechnungsergebnisse aller Berechnungsmodelle und Randbedingungen liegen betragsmäßig unterhalb der Versuchswertkurve, eine korrekte Modellierung wurde nicht erreicht.

**Das besondere qualitative Merkmal der im Versuch ermittelten Lastverteilung in den ersten drei Druckstielen:**

**D<sub>2</sub> kleiner D<sub>3</sub>**

**konnte durch kein Berechnungsmodell und durch keine Randbedingung richtig modelliert werden.**

Die Bemessungsgleichungen der DIN 1052 und des Eurocode 5 sind ebenso wie die Bemessungsverfahren nach Kessel [19] und Källsner / Girhammar / Wu [28] nicht auf die hier untersuchte Mehrrastertafel anwendbar. Es besteht somit keine Möglichkeit der rechnerischen Plausibilitätskontrolle der Versuchsergebnisse aus [42].

Es kann hier nicht geklärt werden, ob das dokumentierte Tragverhalten der Mehr rasterwandscheibe durch die verschiedenen Konstruktionsdetails oder durch Fehler im Versuchsaufbau verursacht wurde.

- **Zugkraft  $Z_1$  (Randrippe)**

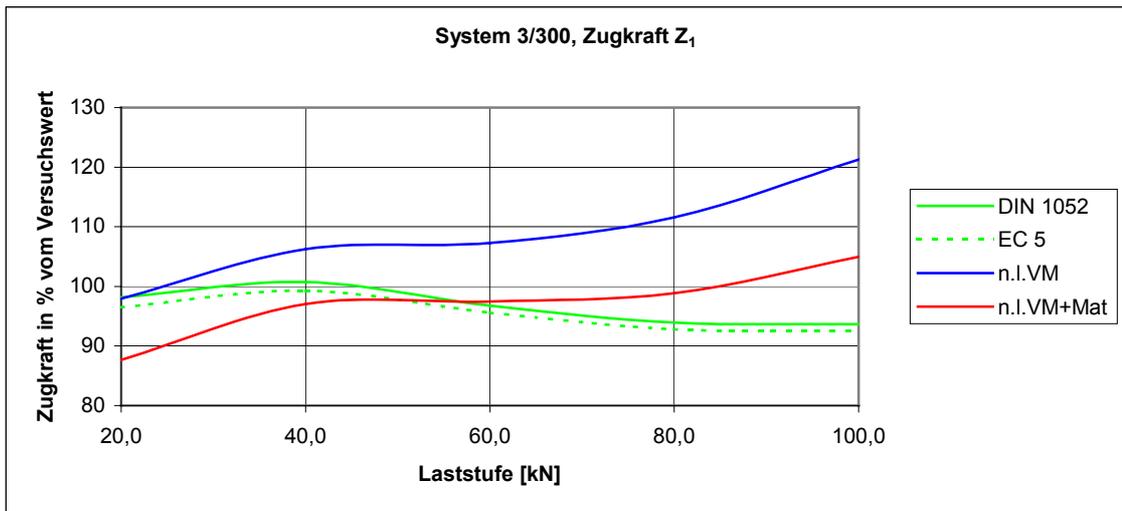


Diagramm 7.3-17

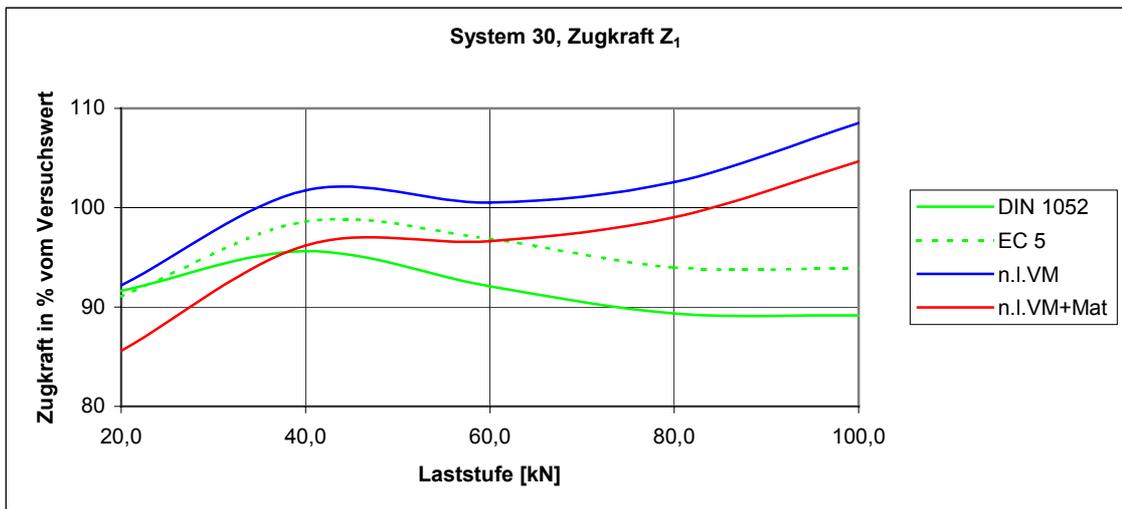


Diagramm 7.3-18

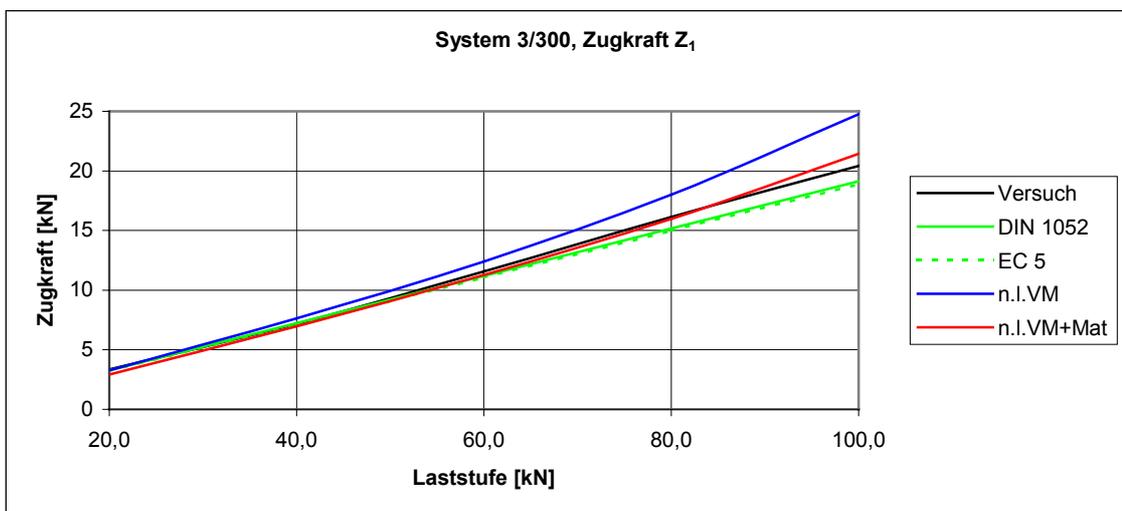


Diagramm 7.3-19

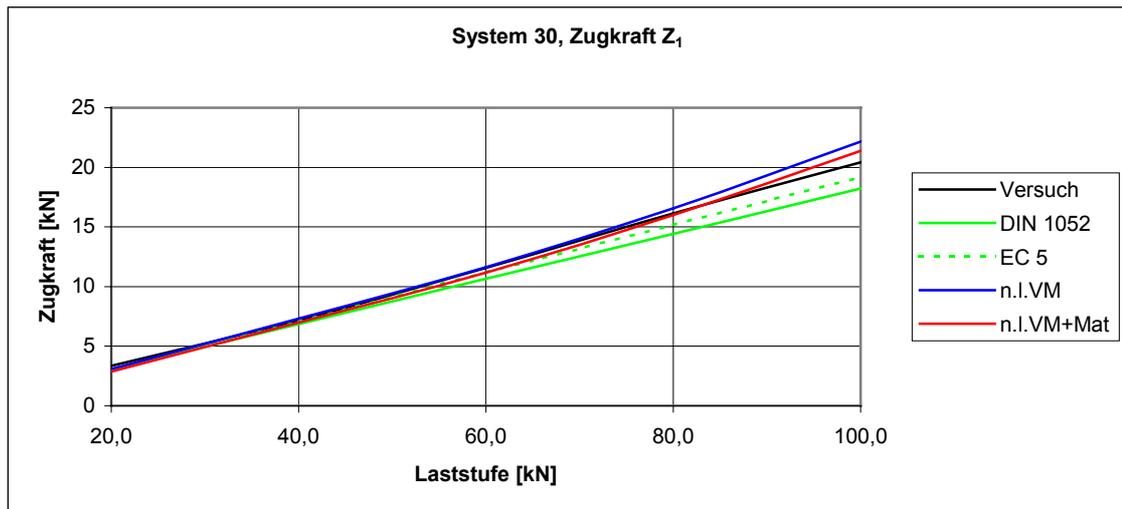


Diagramm 7.3-20

Prozentuale Darstellung:

- gute Annäherung an Versuchswert im gesamten Lastbereich für alle Berechnungsmodelle und alle Randbedingungen;

Absolutwertdarstellung:

- gute Annäherung an Versuchswert im unteren und mittleren Lastbereich für alle Berechnungsmodelle und alle Randbedingungen.

Zur Bestimmung des Last-Verformungsverhaltens wurden keine Versuche durchgeführt, sondern auf die Werte nach DIN 1052 alt bzw. Eurocode 5 zurückgegriffen.

Die Berechnungsergebnisse sind unter allen gewählten Bedingungen ausreichend genau.

- **Zugkraft  $Z_2$  (Innenrippe)**

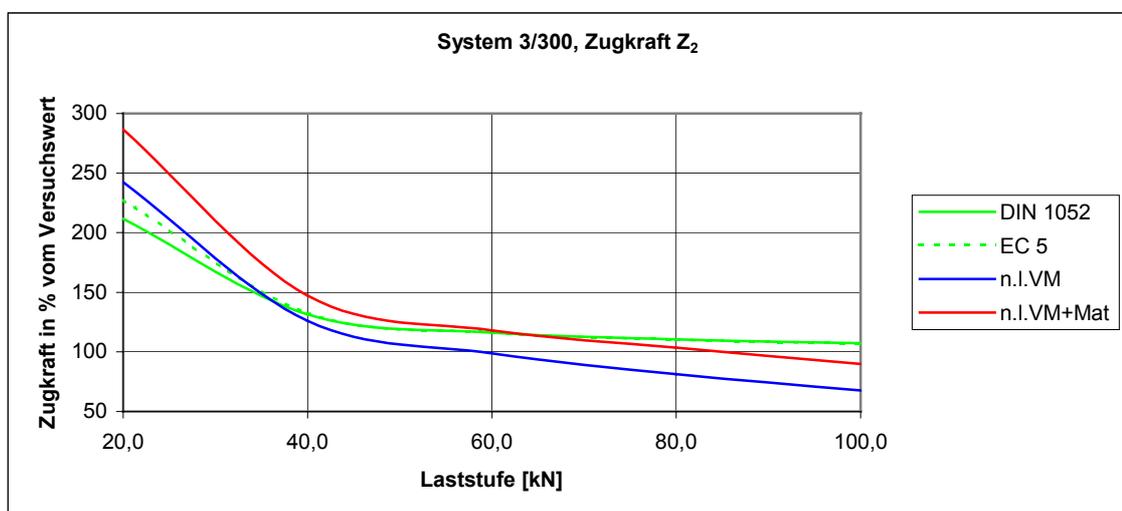


Diagramm 7.3-21

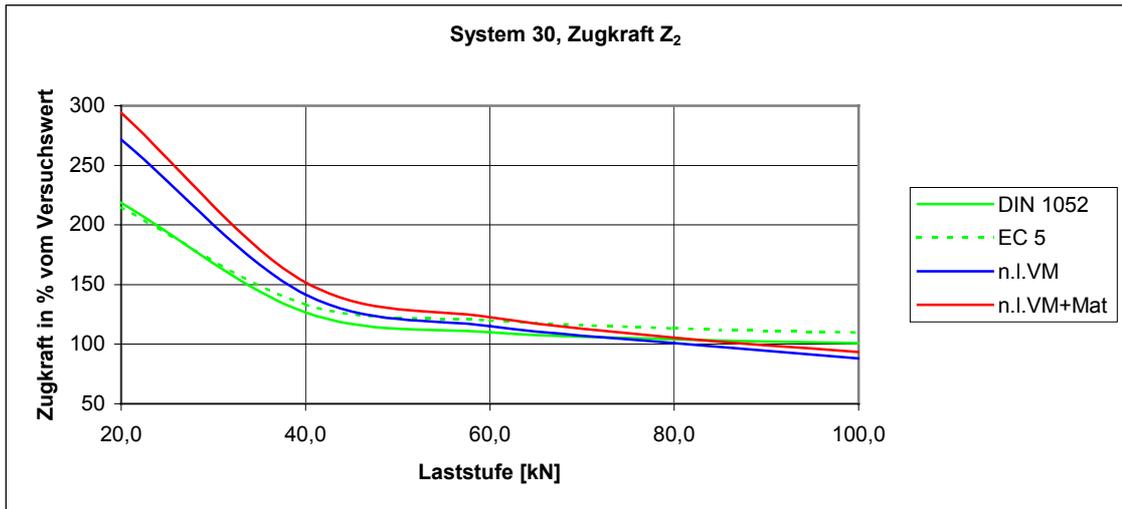


Diagramm 7.3-22

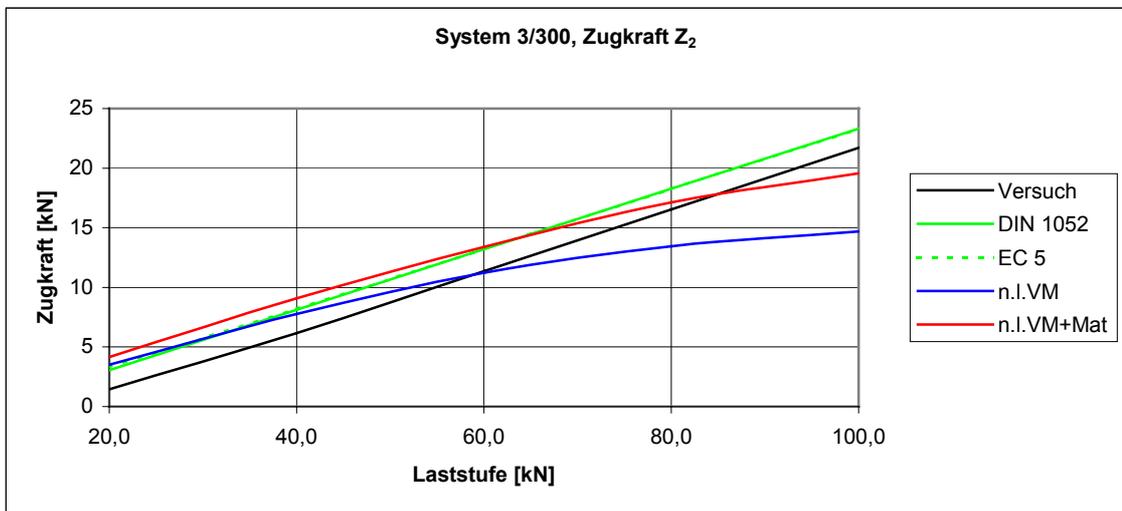


Diagramm 7.3-23

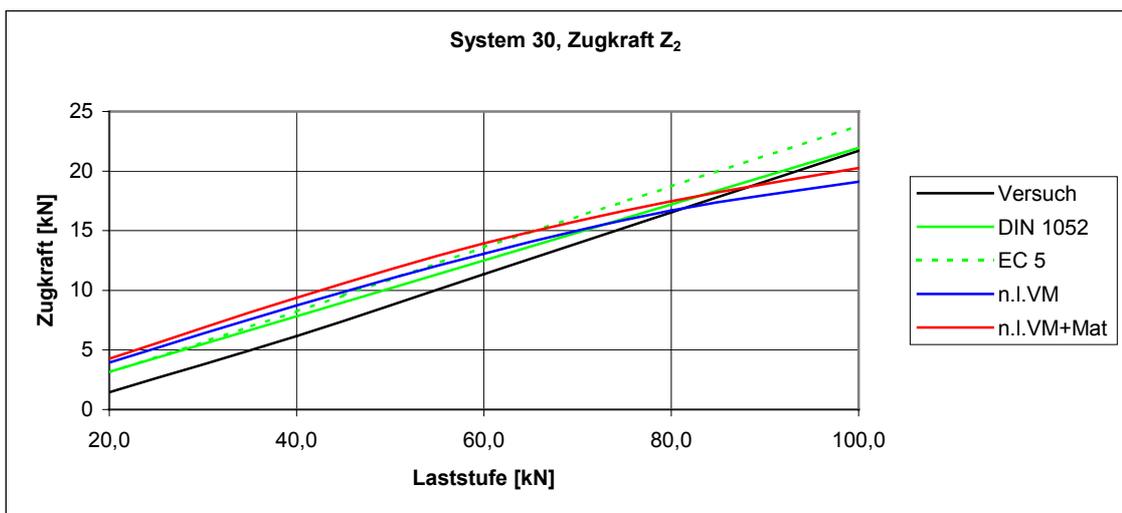


Diagramm 7.3-24

Prozentuale Darstellung:

- hohe Anfangsabweichung für alle Berechnungsmodelle und alle Randbedingungen mit guter Annäherung an Versuchswert ab Horizontallaststufe von 40,0kN;

Absolutwertdarstellung:

- in etwa konstante Abweichung vom Versuchswert für alle Berechnungsmodelle und alle Randbedingungen bis Horizontallaststufe von 60,0kN, im Lastbereich oberhalb 60,0kN stärkere Streuung.

Zur Bestimmung des Last-Verformungsverhaltens wurden keine Versuche durchgeführt, sondern auf die Werte nach DIN 1052 alt bzw. Eurocode 5 zurückgegriffen.

Die Berechnungsergebnisse liegen unter allen gewählten Bedingungen bis zu einer Horizontallaststufe von 60,0kN oberhalb der Versuchswerte. Im darüberliegenden Lastbereich ist eine Streuung mit teilweiser Unterschreitung des Versuchswertes zu beobachten.

- **Belastung und Verformung des randdruckstielnächsten Nagels**

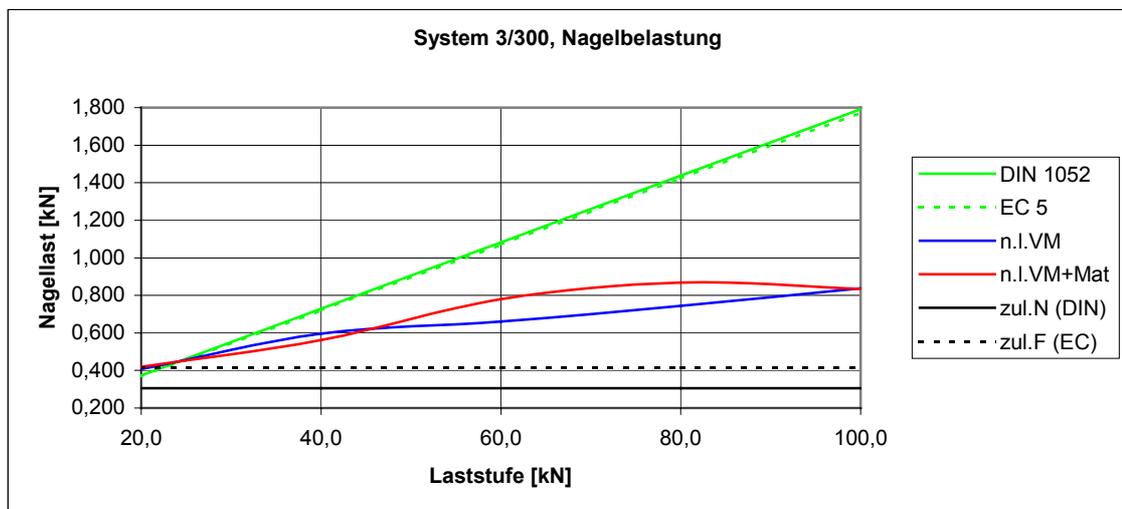


Diagramm 7.3-25

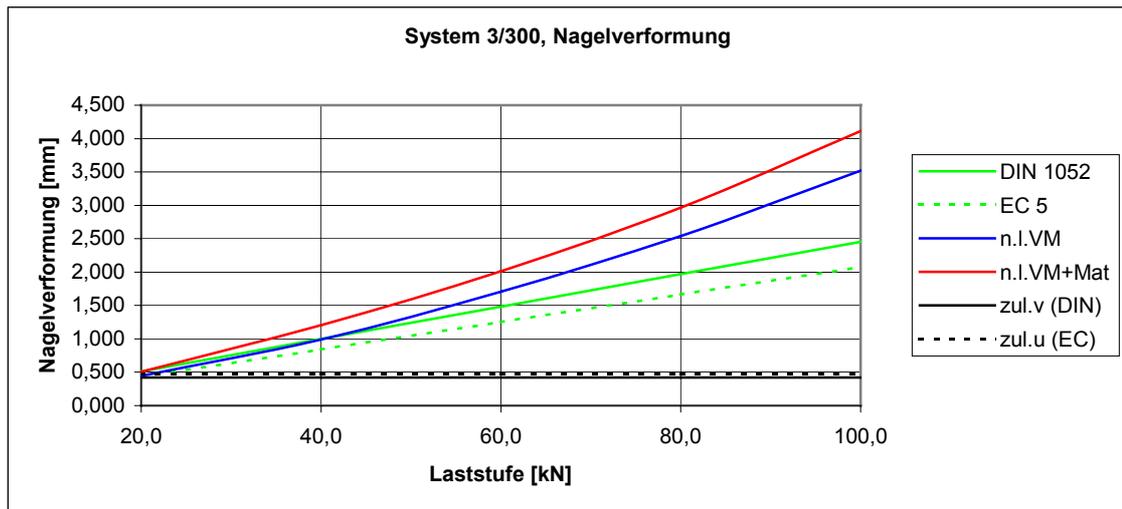


Diagramm 7.3-26

Es zeigt sich für alle Systeme und Randbedingungen eine deutliche Überschreitung der zulässigen Grenzwerte sowohl nach DIN 1052 als auch nach Eurocode 5 bereits im unteren Lastbereich.

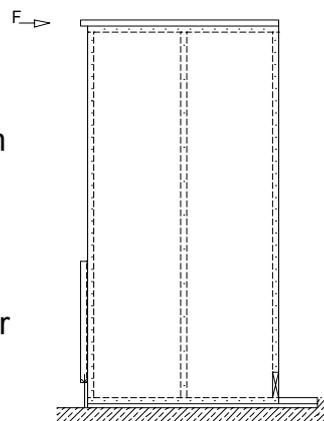
## 8. Zusammenfassung und Ausblick

### 8.1 Ergebnisse der Untersuchungen der einzelnen Systeme

- **System 1, 10 und 100 - Einrastertafel**

Das in den Versuchen aus [39] und den Berechnungen in Kapitel 5 behandelte System der Einrastertafel stellt im Prinzip das kleinste Grundsystem im Holzrahmen- bzw. Holztafelbau dar.

Die mit den Bemessungsgleichungen nach DIN 1052 bzw. Eurocode 5 berechneten Werte für die Drucklast der vertikalen Randrippe und die Zuglast zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Versuchswerten nach [39].



Die Einhaltung der Grenzen der Kopfverschiebung von  $h/500$  nach DIN 1052 bzw.  $h/350$  nach Eurocode 5 wird durch den Versuch für die jeweiligen Horizontallastgrenzen bestätigt.

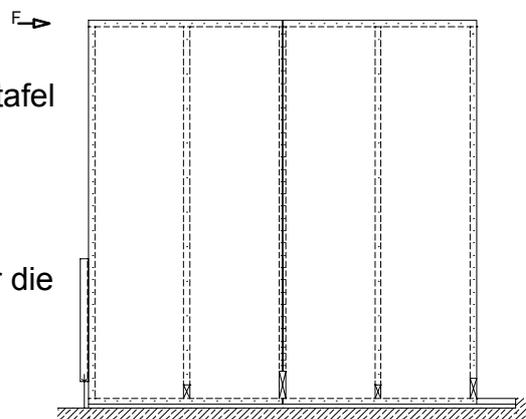
Insgesamt liegen die Ergebnisse der FEM-Berechnungen für Kopfverschiebung, Stieldrucklast und Zuglast gut bei den Versuchswerten. Unterhalb der Horizontallastgrenze des Systems nach Eurocode 5 gilt dies auch für die Berechnungen mit den Randbedingungen nach DIN bzw. Eurocode (lineares Last-Verformungsverhalten für Verbindungsmittel und Material).

- **System 2, 20 und 200 - Zweirastertafel**

Das in den angeführten Versuchen und den Berechnungen behandelte System der Zweirastertafel stellt ebenso wie die Einrastertafel ein häufig zu findendes Aussteifungselement des Holzrahmen-, Holztafelbaus dar.

Ein Vergleich der im Versuch ermittelten Werte für die Druckbelastung der Vertikalrippen mit den Werten nach den Bemessungsgleichungen der DIN 1052 bzw. des Eurocode 5 zeigt deutlich höhere Werte nach Norm für die Drucklast  $D_1$ , jedoch geringere Werte nach Norm für die Drucklast  $D_2$ .

Dies zeigt, daß die Drucklastverteilung in den Vertikalrippen von den Bemessungsgleichungen der Normen nur unzureichend erfasst wird. Der Vergleich der Werte für die Zuglast liefert eine gute Übereinstimmung.



Die Einhaltung der Kopfverschiebungsgrenzen der Normen wird unter Einhaltung der jeweiligen Horizontallastgrenze bestätigt.

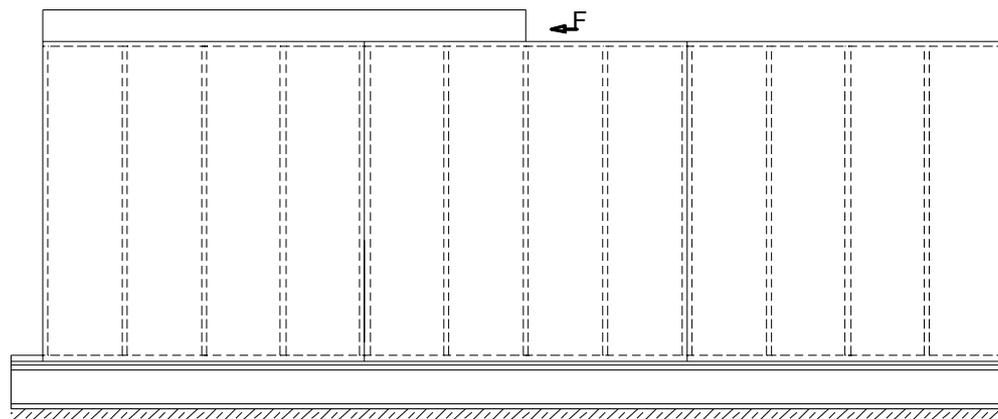
Insgesamt liegen die Ergebnisse der FEM-Berechnungen für Kopfverschiebung, Drucklasten der Vertikalrippen und Zuglast nicht für alle Werte bzw. nicht in allen Bereichen gut bei den Versuchswerten.

Für die Kopfverschiebung liefern die Randbedingungen nach DIN 1052 alt und die Randbedingungen mit nichtlinearem Last-Verformungsverhalten der Verbindungsmittel gute Näherungen.

Die Berechnungswerte für die Rippendruckkraft  $D_1$  sind befriedigend, für die Rippendruckkraft  $D_2$  zu gering und für die Rippendruckkraft  $D_3$  völlig ungenügend. Für die Zugkraft liegen die Berechnungsergebnisse durchweg über den Versuchswerten, stellen aber eine gute Näherung dar.

- **System 3, 30 und 300 - Mehrrastertafel**

Das in den angeführten Versuchen und den Berechnungen behandelte System einer Mehrrastertafel stellt ein Beispiel für die Ausführung einer relativ langen geschlossenen Wandscheibe dar.



Die Nachweisführungen der DIN 1052 alt und des Eurocodes 5 lassen sich auf solche komplexen Systeme mit mehrfachen Horizontallagerungen unterschiedlicher Steifigkeit und mehrfachen Zuganschlüssen nicht anwenden.

Auch die Berechnungsverfahren nach Kessel [19] und Källsner / Girhammar / Wu [28] stellen keine Möglichkeit dar, die genannten Bedingungen zu erfassen.

Es besteht somit keine Möglichkeit der rechnerischen Plausibilitätskontrolle der Versuchsergebnisse aus [42].

Die Einhaltung einer Kopfverschiebungsgrenze von  $h/500$  wird durch den Versuch über den gesamten untersuchten Lastbereich bestätigt. Dies zeigt, daß die Kopfverschiebung für solche Systeme kein Nachweiskriterium ist.

Die Ergebnisse der FEM-Berechnungen zeigen keine befriedigende Modellierung des qualitativen Tragverhaltens der untersuchten Wandscheibe.

- Die Verringerung des Anstieges der Versuchswertkurve für die Kopfverschiebung oberhalb einer Horizontallast von 40,0kN wird durch keines der gewählten Berechnungsmodelle und keine der gewählten Randbedingungen richtig modelliert.
- Der Betrag der Berechnungsergebnisse für die Randstieldruckkraft  $D_1$  liegt über den Versuchswerten. Der Verlauf der Versuchswertkurve wurde qualitativ durch alle Randbedingungen richtig modelliert; quantitativ liegen lediglich die Ergebnisse für die Randbedingungen nach DIN 1052 alt und Eurocode 5 im gesamten Lastbereich des Versuches gut bei den Versuchswerten.

- Der Betrag der Berechnungsergebnisse für die Randstieldruckkraft  $D_2$  aller Berechnungsmodelle und Randbedingungen liegt weit oberhalb der Versuchswertkurve, der der Berechnungsergebnisse für die Randstieldruckkraft  $D_3$  liegt unterhalb der Versuchswertkurve. Eine korrekte Modulation wurde nicht erreicht.

**Das besondere qualitative Merkmal der im Versuch ermittelten Lastverteilung in den ersten drei Druckstielen:**

**$D_2$  kleiner  $D_3$**

**konnte durch kein Berechnungsmodell und durch keine Randbedingung richtig modelliert werden.**

- Die Berechnungsergebnisse für die Zugkräfte  $Z_1$  und  $Z_2$  sind größtenteils befriedigend.

Für die ungenügende Modellierung können folgende Gründe verantwortlich sein:

- Fehler im Versuchsaufbau (z.B. Horizontallastabtrag über Kopfhalterungen der Wandkonstruktion),
- Änderung des Tragverhaltens des Gesamtsystems durch den in Teilbereichen der Kopfrippe aufgeleiteten Lasteinleitungsriegel,
- Änderung des Tragverhaltens des Gesamtsystems bei Mehrfachbelastung durch plastische Verformung der druckrandnahen Nagelung zwischen Beplankung und Fußrippe,
- ungenügende Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens der Beplankung für die tatsächlich vorhandenen Membranspannungszustände (Versuchsdurchführung nach DIN 789 ist auf eine Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens im Grenzbereich der zulässigen Spannungen ausgelegt),
- unzutreffende Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens der Nagelverbindung zwischen Beplankung und Riegel bei Versuchsdurchführung nach DIN EN 1380.

Die Einführung der Randbedingungen mit nichtlinearem Last-Verformungsverhalten der Verbindungen und des Materials verbessert die Ergebnisse teilweise, führt jedoch insgesamt nicht zu einer befriedigenden Modellierung des im Versuch ermittelten Tragverhaltens.

- **alle Systeme**

Der hohe Aufwand bei der experimentellen Untersuchung des nichtlinearen Last-Verformungsverhaltens der Verbindungen und des Materials ist für die Systeme 1 und 2 nicht gerechtfertigt, verbessert jedoch erwartungsgemäß die Ergebnisse auch für jene dokumentierten Versuchswerte, welche für das Gesamttragverhalten der Systeme von sekundärer Bedeutung sind (Diagonalverformung der Beplankung). Vor allem die in [39] für die Systeme 1 und 2 dokumentierte diagonale Verformung der Beplankung konnte mit den nichtlinearen Last-Verformungswerten für das Beplankungsmaterial zumindest bereichsweise gut modelliert werden.

Dabei muß festgestellt werden, daß gerade die experimentelle Ermittlung der nichtlinearen Materialwerte des Beplankungsmaterials aufwendig ist. Die Berechnungen zeigen, daß die Beplankung in Plattenebene überwiegend weit unterhalb der zulässigen Zug- und Druckspannungen belastet ist. Die Versuchsdurchführung nach DIN 789 ist jedoch auf eine Ermittlung des Last-Verformungsverhaltens im Grenzbereich der zulässigen Spannungen ausgelegt. Die Dehnungsmessungen im unteren Lastbereich zeigen daher große Streuungen. Genauere Messungen würden daher größere Versuchskörper bzw. sensiblere Meß- und Belastungseinrichtungen erfordern.

Die Berechnungen zeigen jedoch deutlich den Einfluß des Last-Verformungsverhaltens des Kontaktstoßes zwischen druckbelasteter Vertikalrippe und Fußrippe bzw. des bautoleranzbedingten Vorhandenseins von Fugen an diesem Kontaktstoß.

Diese nicht verallgemeinerbaren konstruktiven Besonderheiten führen zu Streuungen der Berechnungsergebnisse der FEM-Berechnung, welche den gegenüber den Normen erhöhten Berechnungsaufwand, zumindest für allgemeine Bemessungen, als nicht sinnvoll erscheinen lassen.

Erst eine Ausführungsart des Kontaktstoßes zwischen Vertikalrippe und Fußrippe, welche ein verallgemeinerbares Last-Verformungsverhalten zulässt, würde die mögliche Berechnungsgenauigkeit verbessern.

Denkbar wäre hier die Untersuchung des Einflusses von Verbindungsmitteln wie beispielsweise Wellennägeln, welche ohnehin zur Fixierung des Vollholzrahmens bei Transport und Aufbau verwendet werden.

Diese Verbindungsmittel können unter Umständen die Tragfähigkeit des Kontaktstoßes erhöhen und den Einfluß der Jahrringneigung des Riegelquerschnittes auf das Last-Verformungsverhalten der Verbindung reduzieren.

Zudem implizieren die Nachweise nach DIN 1052 und Eurocode 5 eine Überlastung der Nagelung zwischen Beplankung und Fußrippe im Bereich des Druckrandes.

Auf diese Überlastung wird in den Normen nicht eingegangen. Bei genauerer Berechnung (beispielsweise mit der FE-Methode) stellt sich jedoch die Frage nach der einzuhaltenden Grenze der Nagelbelastung bzw. Nagelverformung.

Grundsätzlich ist zu erwarten, daß die plastische Verformung des genannten Nagelanschlusses und sein dadurch verändertes Tragverhalten bei erneuter Belastung zu Veränderungen im Tragverhalten des Gesamtsystems führt. Um dieses Last-Verformungsverhalten der Nagelung in die Berechnungsmodelle einführen zu können, wären zusätzliche Versuche an Nagelverbindungen mit Mehrfachbelastungen im plastischen Bereich erforderlich.

## 8.2 Zusammenfassung der Arbeit

Die Ergebnisse dieser Arbeit können wie folgt zusammengefasst werden:

- Unter den derzeitigen Bedingungen stellt die Methode der Berechnung mit Finiten Elementen für die Bemessung von Ein- und Zweirastertafeln vor allem für die bautechnische Praxis keine sinnvolle Alternative zu den in den Normen genannten Berechnungsverfahren dar. Verschiedene Konstruktionsdetails und hier vor allem der Kontaktstoß der Vertikal- und Horizontalrippen beeinflussen das Gesamttragverhalten stark. Eine genaue Ermittlung des Gesamttragverhaltens der Wandscheibe setzt die Kenntnis des konkreten Last-Verformungsverhaltens der einzelnen Kontaktstöße voraus.
- Für Ein- und Zweirastersysteme sind die Nachweisverfahren der DIN 1052 bzw. des Eurocode 5 ausreichend. Sie können jedoch vor allem durch das Berechnungsverfahren nach Kessel [19] sinnvoll ergänzt werden (Verformungsberechnung, Bemessung von Beplankungsstößen).
- Die Drucklastverteilung in den Vertikalrippen wird von den Bemessungsgleichungen der Normen nur unzureichend erfasst, dies gilt auch für die anderen genannten Berechnungsverfahren.
- Für Konstruktionen wie die in dieser Arbeit untersuchte Mehrrastertafel stehen derzeit keine geeigneten Berechnungsverfahren zur Verfügung.
- Die Anwendbarkeit der FE-Methode für die Nachrechnung bestehender Konstruktionen mit eventuell von der Norm abweichenden Konstruktionsdetails konnte in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. Die Untersuchung des Tragverhaltens der Mehrrastertafel mit der FE-Methode liefert keine befriedigenden Ergebnisse.
- Für die FE-Modellbildung von Wandscheiben des Holzrahmenbaus wurden verschiedenen Detaillösungen gezeigt, z.B. für die Modellierung der Beplankung unter Berücksichtigung eines nichtlinearen Last-Verformungsverhaltens.
- Es wurde gezeigt, welche Konstruktionsdetails der Wandscheiben signifikante Auswirkungen auf das Gesamttragverhalten haben.
- Die Versuchsdurchführungen nach den jeweiligen DIN-Normen zur Ermittlung beispielsweise der E-Moduln der Beplankung sind zur Ermittlung der für die FE-Modellbildung notwendigen Werte teilweise untauglich.
- Die FE-Methode kann in der in dieser Arbeit verwendeten Form zur Vorbereitung von Versuchen an 1:1-Modellen dienen und wertvolle Hinweise zum Einfluß verschiedener Konstruktionsdetails auf das Gesamttragverhalten der Wandtafel liefern, um gezielt Veränderungen vornehmen zu können. Insofern stellen Berechnungen mit der FE-Methode eine sinnvolle Ergänzung dar.

### 8.3.           **Ausblick**

Um die Anwendbarkeit der FE-Methode für die Berechnung von Elementen des Holzrahmen- und Holztafelbaus zu verbessern sind Untersuchungen zu folgenden Themenkomplexen erforderlich:

- Konstruktion eines Kontaktstoßes zwischen Vertikal- und Horizontalrippe mit einem verallgemeinerbaren und sicher reproduzierbaren Last-Verformungsverhalten.

Hierzu sollte der Einfluss von Verbindungsmitteln (z.B. Wellennägeln) untersucht werden, welche ohnehin zur konstruktiven Sicherung des Kontaktstoßes verwendet werden.

- Untersuchung der Veränderung des Last-Verformungsverhaltens der Nagelverbindungen zwischen Rahmen und Beplankung bei Mehrfachbelastung und plastischer Verformung der Verbindung.

Bei diesen Versuchen müssten, jeweils für eine repräsentative Anzahl von Versuchskörpern, Mehrfachbelastungen bis zu einer bestimmten Lastgrenze (mit Verformungen im plastischen Bereich) erfolgen. Die Lastgrenze muß innerhalb der Versuchskörpergruppe konstant sein, daß heißt, für jede gewählte Lastgrenze muß eine Probekörpergruppe untersucht werden.

- Entwicklung eines Verfahrens zur Bestimmung des Last-Verformungsverhaltens der Beplankungswerkstoffe bei Belastungen in Plattenebene, welche maximal die Hälfte der zulässigen Zug- bzw. Druckspannungen in der Plattenebene erzeugen.

## Verzeichnis der häufig verwendeten Formelzeichen

- Abmessungen:
 

b	Wandtafelbreite
h	Wandtafelhöhe
d	Dicke der Beplankung
A	Querschnittsfläche
$d_n$	Durchmesser stiftförmiger Verbindungsmittel
  
- Materialwerte:
 

$\rho_k$	Rohdichte (Eurocode 5)
E	Elastizitätsmodul
G	Schubmodul
  
- Kräfte, allgemein:
 

F	Kraftgröße allgemein
N	Normalkraft
D	Druckkraft
Z	Zugkraft
  
- DIN 1052:
 

C	Verschiebungsmodul
v	Verschiebung
$\sigma$	Spannung
  
- Eurocode 5:
 

K	Verschiebungsmodul
$K_{ser}$	Anfangsverschiebungsmodul
u	Verschiebung
$u_{inst}$	elastische Anfangsverschiebung
$u_{fin}$	Endverschiebung
S	Schnittgröße, Schnittkraft
$k_{mod}$	Modifikationsfaktor
$k_{def}$	Deformationsbeiwert

## Literatur- und Quellenverzeichnis

### • Normen und Normenkommentare

- [1] DIN 1052 (04/88) Holzbauwerke Teil 1 bis 3,  
Ausgabe April 1988
- [2] Holzbauwerke: eine ausführliche Erläuterung zu DIN 1052, Teil 1 bis 3  
(„Beuth-Kommentare“); Beuth Verlag GmbH Berlin, Berlin Köln 1988;  
Bauverlag GmbH Wiesbaden Berlin 1989
- [3] Informationsdienst Holz - Holzbauwerke nach Eurocode 5, Step 4,  
Eurocode 5 mit Nationalem Anwendungsdokument  
Fachverlag Holz der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf 1995
- [4] Informationsdienst Holz - Holzbauwerke nach Eurocode 5, Step 1 bis 3  
Fachverlag Holz der Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf 1995
- [5] DIN 1052 (Entwurf) Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken  
Ausgabe August 2003
- [6] DIN EN 26 891 Holzbauwerke  
Verbindungen mit mechanischen Verbindungsmitteln  
Allgemeine Grundsätze für die Ermittlung der  
Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens  
Ausgabe Juli 1991
- [7] DIN EN 1380 Holzbauwerke  
Prüfverfahren - Tragende Nagelverbindungen  
Ausgabe März 2000
- [8] DIN 68 763 Spanplatten; Flachpreßplatten für das Bauwesen  
Ausgabe September 1990
- [9] DIN EN 789 Holzbauwerke  
Prüfverfahren - Bestimmung der mechanischen  
Eigenschaften von Holzwerkstoffen  
Ausgabe Juli 1996

### • wissenschaftliche Literatur

- [10] Andreasson, S.:  
Three-Dimensional Interaction In Stabilisation Of Multi-Storey Timber Frame  
Buildings,  
CIB-W18 Paper 32-15-1 (Meeting Graz 1999),  
Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität  
Karlsruhe, 1999
- [11] Bathe, K.-J.:  
Finite-Elemente-Methoden,  
Springer-Verlag, Berlin 2002

- [12] Blaß, H. J.:  
Untersuchung über die Variation des Last-Verschiebungsverhaltens in  
Nagelverbindungen, Variation in Faserrichtung,  
in : Holz als Roh- und Werkstoff 48 (1990), S. 327-332
- [13] Blaß, H. J.:  
Untersuchung über die Variation des Last-Verschiebungsverhaltens in  
Nagelverbindungen, Variation rechtwinklig zur Faserrichtung,  
in : Holz als Roh- und Werkstoff 48 (1990), S. 449-452
- [14] Blaß, H. J.:  
Traglastberechnung von Nagelverbindungen,  
in : Holz als Roh- und Werkstoff 48 (1990), S. 91-98
- [15] Blaß, H. J.:  
Untersuchungen zur Lastverteilung in Nagelverbindungen,  
in : Holz als Roh- und Werkstoff 49 (1991), S. 21-26
- [16] Blaß, H. J., Laskewitz, B.:  
Tragfähigkeit von Verbindungen an Holztafelementen,  
Forschungsbericht der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Abteilung  
Ingenieurholzbau der Universität Karlsruhe, 2000
- [17] Bochmann, F.:  
Statik im Bauwesen, Band 2, Festigkeitslehre,  
VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1988
- [18] Canadian Wood-Frame House Construction,  
CMHC 1997
- [19] Entwicklung eines Nachweisverfahrens für Scheiben auf der Grundlage von  
Eurocode 5 und DIN 1052 neu,  
Forschungsbericht der TU Braunschweig, Institut für Baukonstruktionen und  
Holzbau  
Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2001
- [20] Ermittlung der Drehfedersteifigkeit der konstruktiven Verbindung von  
Holzquerschnitten (Eckverbindung, T-Stoß) unter Verwendung von Jumbo-  
Wellennägeln mit verkürzter Schenkellänge,  
Prüfbericht der VHT Darmstadt, 1999
- [21] Henrici, D.:  
Vereinfachte Theorie der Verankerung schubbeanspruchter Wandscheiben  
aus Holz und Holzwerkstoffen,  
in : Die Bautechnik 1/1981, S. 6-10
- [22] Henrici, D.:  
Verankerung schubbeanspruchter Wandscheiben aus Holz und  
Holzwerkstoffen nach Versuchen,  
in : Die Bautechnik 5/1981, S. 163-167

- [23] Henrici, D.:  
Praktische Berechnung der Stieldruckkräfte im Fußbereich  
schubbeanspruchter Wandscheiben aus Holz und Holzwerkstoffen,  
in : Bauen mit Holz 2/1982, S. 82-86
- [24] HOLZBAU-PRAXIS, Hinweise für die Ausführung nach DIN 1052,  
Bund Deutscher Zimmermeister, Bruderverlag, Karlsruhe 1991
- [25] Holzrahmenbau, Teil 1; Bund Deutscher Zimmermeister im Zentralverband  
des Deutschen Baugewerbes; Bruderverlag, Karlsruhe 1992
- [26] Jenkel, Ch.:  
Nachgiebige Anschlüsse im Holzrahmenbau, Diplomarbeit FH Lübeck 2001
- [27] Kasal, B., Leichti, R. J.:  
Nonlinear Finite-Element Model of Complete Light-Frame Wood Structures,  
in: Journal of the Structural Engineering, ASCE 1994, S. 100-119
- [28] Källsner, B., Girhammar, U. A., Wu, L.:  
A Simplified Plastic Model For Design Partially Anchored Wood-Framed Shear  
Walls,  
CIB-W18 Paper 34-15-1 (Meeting Venedig 2001),  
Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität  
Karlsruhe, 2001
- [29] Källsner, B., Girhammar, U. A., Wu, L.:  
A Plastic Design Model For Partially Anchored Wood-Framed Shear Walls  
With Openings,  
CIB-W18 Paper 35-15-1 (Meeting Kioto 2002),  
Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität  
Karlsruhe, 2002
- [30] Källsner, B., Girhammar, U. A., Wu, L.:  
On Test Methods For Determining Racking Strength And Stiffness Of Wood-  
Framed Shear Walls,  
CIB-W18 Paper 35-15-2 (Meeting Kioto 2002)  
Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität  
Karlsruhe, 2002
- [31] Kessel, M. H., Drücker, K.:  
Zur Verankerung der Wandscheiben von Holzhäusern bei Windeinwirkung,  
in: Bauen mit Holz 10/1996, S. 779-782
- [32] Klein, B.:  
FEM-Grundlagen und Anwendungen der Finite-Elemente-Methode,  
Vieweg-Verlag, Wiesbaden 2003
- [33] Knothe, K., Wessels, H.:  
Finite Elemente,  
Springer-Verlag, Berlin 1991

- [34] Mettem, C.J., Bainbridge, R. J., Gordon, J. A.:  
A Limit State Design Approach To Timber Framed Walls,  
CIB-W18 Paper 31-1-1 (Meeting Savonlinna 1998),  
Hrsg.: Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität  
Karlsruhe, 1998
- [35] Möhler, K.:  
Verschiebungsgrößen mechanischer Holzverbindungen der DIN 1052, Teil 2  
(Entwurf 1984),  
in: Bauen mit Holz 4/1986, S. 206-214
- [36] Muszala, W.:  
Wandscheiben aus Holz und Holzwerkstoffen, Dissertation TU Berlin 1987
- [37] Neuhaus, H.:  
Lehrbuch des Ingenieurholzbaus,  
Verlag B.G. Teubner, Stuttgart 1994
- [38] Padberg, Ch.:  
Berechnung und Konstruktion eines Ausstellungspavillons in Holzbauweise,  
Diplomarbeit FH Minden 2001
- [39] Raschper, N.:  
Zur Berechnung von Wandscheiben in Holztafelbauart,  
Dissertation TU Braunschweig 1990
- [40] Schulze, H.:  
Holzhäuser in Tafelbauart,  
in: Holzbau-Taschenbuch Band 1, Ernst Verlag, Berlin 1986, S. 325-372
- [41] Stabilität (Drehfedersteifigkeit) der konstruktiven Verbindung von  
Holzquerschnitten (Eckverbindung, T-Stoß) mittels Jumbo-Wellennägeln mit  
verkürzter Schenkellänge, abhängig von der Anzahl und Anordnung der  
Wellennägel und dem Material der Holzquerschnitte,  
Gutachterliche Stellungnahme der VHT Darmstadt, 1999
- [42] Das Trag- und Verformungsverhalten von Wandscheiben aus Holz und  
Holzwerkstoffen unter Schubbeanspruchung,  
Forschungsbericht Nr. 79501 im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft  
Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung,  
München 1980
- [43] Untersuchungen zur Entwicklung eines Verfahrens zur wirtschaftlicheren  
Bemessung von Mehrresterwandscheiben, auch mit Öffnungen, in  
Holztafelbauart,  
Forschungsbericht im Auftrag der Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH)  
in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München 09/1994
- [44] Zienkiewicz, O. C.:  
Methode der finiten Elemente,  
Carl Hanser Verlag, München 1984

**Verzeichnis der Anhänge**

	Seite
Anhang 1    zu Kapitel 3.1.2.3 Elastizitätsmoduln von FPP nach eigenen Versuchen	142
Anhang 2    zu Kapitel 3.2.1.3 Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Raschper [39]	150
Anhang 3    zu Kapitel 3.2.1.4 Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Jenkel [26]	154
Anhang 4    zu Kapitel 3.2.2.2 Last-Verformungswerte nach Eurocode 5 für Abscherbelastung	158
Anhang 5    zu Kapitel 3.2.2.4 Last-Verformungskennlinie nach Versuchen von Padberg [38] für Abscherbelastung	159
Anhang 6    zu Kapitel 6.1 Berechnungsmodelle	162
Anhang 7    zu Kapitel 6.3 Übersicht der Berechnungen, Berechnungsergebnisse	181

## Anhang 1 zu Kapitel 3.1.2.3 Elastizitätsmodul von FFP nach eigenen Versuchen

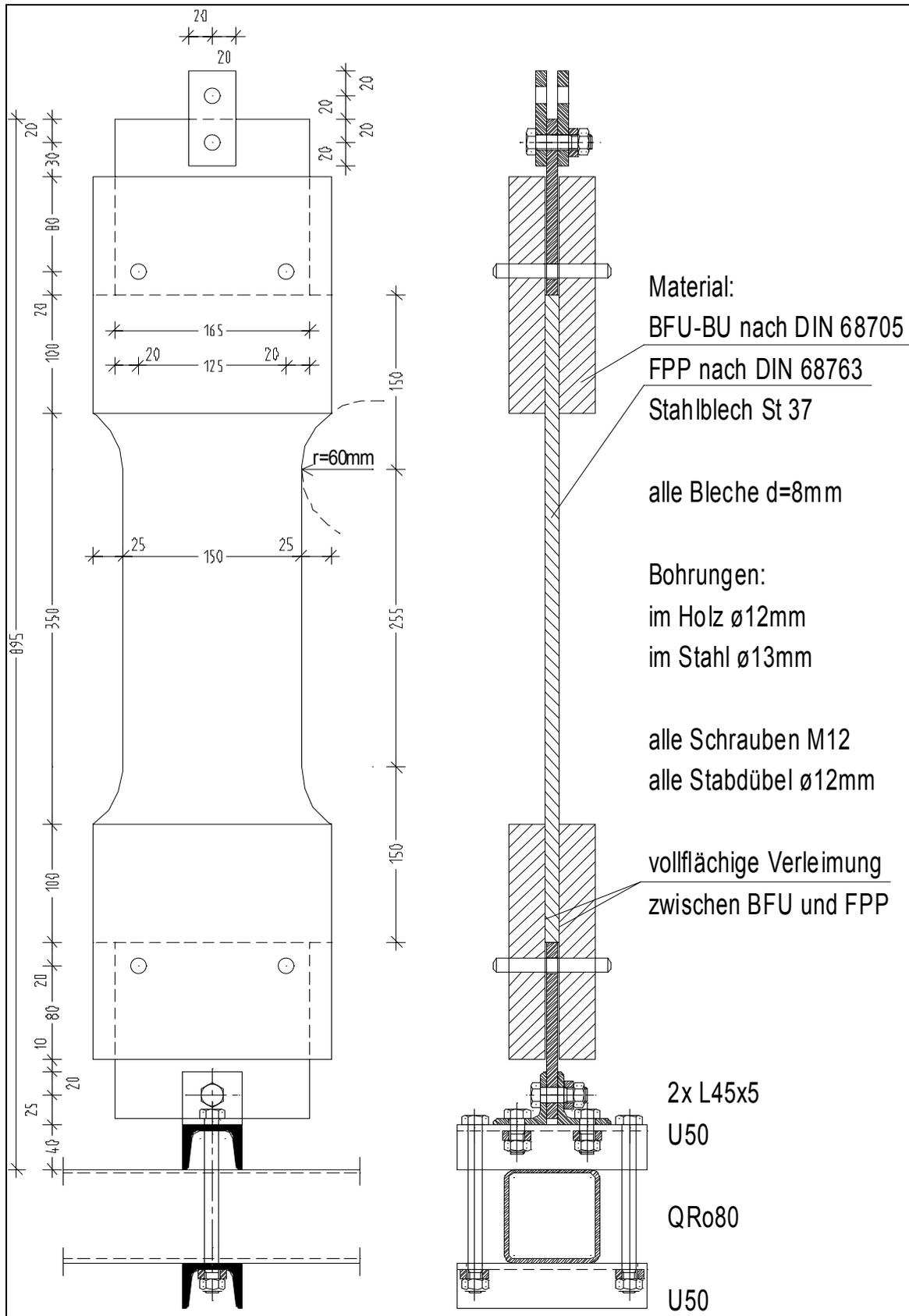


Bild 3.1.2.3-1 Probekörper Zugelastizitätsmodul

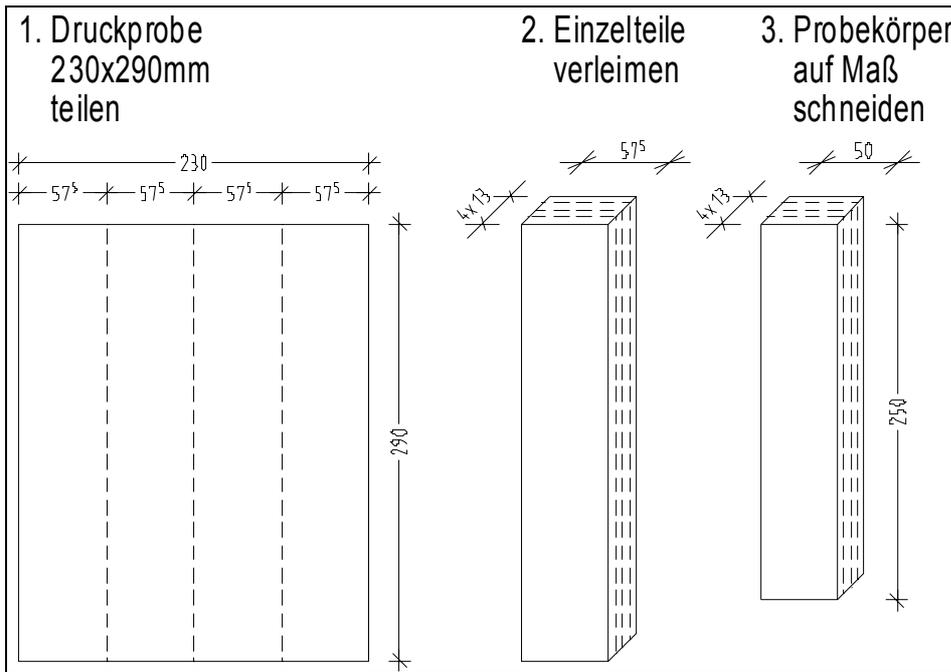


Bild 3.1.2.3-2 Herstellung Probekörper Druckelastizitätsmodul

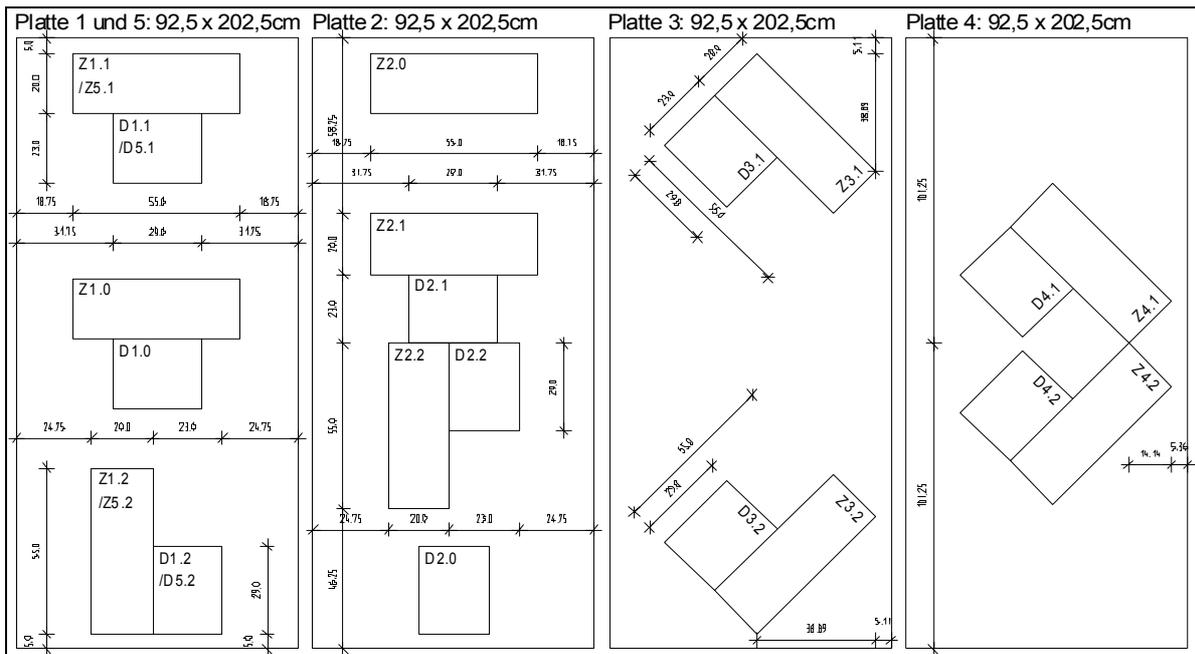


Bild 3.1.2.3-3 Schnittplan der Proben

Tabelle 3.1.2.3-1: Zugelastizitätsmoduln für FPP nach DIN 68763 mit d=13mm nach eigenen Versuchen

Spannung [kN/cm <sup>2</sup> ]	Zugelastizitätsmoduln Probe									
	Z 1.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 1.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 2.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 2.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 3.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 3.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 4.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 4.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 5.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Z 5.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,005	263,0	277,6	243,8	267,5	224,8	237,4	230,2	219,7	201,5	291,7
0,010	301,0	317,0	297,5	317,8	260,8	291,9	272,4	282,9	249,9	346,2
0,015	292,9	313,1	300,5	319,8	257,9	289,7	276,1	280,6	250,0	359,6
0,020	286,4	313,4	299,0	315,2	254,3	281,3	276,5	281,7	248,0	364,3
0,025	281,0	312,9	293,1	312,1	250,5	275,1	276,7	282,3	244,9	364,2
0,030	278,7	311,6	288,5	312,0	248,0	271,2	275,0	281,8	242,2	361,7
0,035	277,1	310,7	284,1	309,6	244,1	269,8	275,7	280,4	241,0	359,8
0,040	275,0	308,8	282,0	309,1	242,9	268,1	272,9	280,3	238,6	357,2
0,045	273,1	307,3	279,1	306,0	241,5	266,8	271,9	278,5	238,0	355,2
0,050	272,4	304,8	277,4	303,1	239,7	265,8	271,4	278,5	236,9	352,6
0,055	270,6	302,1	275,8	299,7	238,6	265,3	269,7	279,3	236,0	349,8
0,060	269,0	300,3	274,7	297,3	237,4	264,9	268,7	278,6	235,2	348,4
0,065	267,7	298,0	273,8	295,4	236,6	263,7	267,5	278,5	234,3	345,6
0,070	267,2	296,3	273,1	293,6	235,8	263,3	266,6	278,4	233,7	344,3
0,075	265,8	294,6	271,7	291,7	235,1	262,7	265,3	276,8	232,8	342,7
0,080	264,6	293,5	271,0	290,4	234,7	262,0	264,5	276,5	232,4	342,0
0,085	263,7	292,2	270,0	289,3	234,0	261,5	263,7	276,1	231,9	340,3
0,090	262,3	290,9	269,3	287,6	233,5	260,9	262,7	275,9	231,1	339,2
0,095	261,5	289,8	268,9	286,6	233,1	260,1	262,1	275,8	230,6	338,0
0,100	260,7	288,6	268,8	285,3	232,6	259,1	261,4	275,8	230,0	337,1
0,105	259,9	287,8	268,0	284,1	232,3	258,7	260,6	275,5	229,4	336,0
0,110	258,7	287,2	267,6	282,9	232,0	257,7	259,9	275,1	228,9	335,0
0,115	257,7	286,6	266,8	282,0	231,5	257,1	259,1	274,1	228,5	333,9
0,120	257,1	285,8	266,4	281,1	231,3	256,6	258,7	273,8	228,0	333,6
0,125	256,1	284,7	266,1	280,4	230,8	256,2	257,8	273,6	227,9	332,1
0,130	255,5	284,0	265,5	279,4	230,5	255,5	257,1	273,6	227,4	331,1
0,135	254,6	283,1	265,6	278,4	230,2	254,8	256,5	273,4	227,0	330,3
0,140	253,9	282,8	264,7	277,6	229,6	254,3	255,9	273,2	226,5	329,4
0,145	253,3	282,0	264,3	277,1	229,4	253,8	255,6	272,7	226,1	328,3
0,150	252,3	281,5	263,9	276,3	229,1	253,1	255,1	272,3	226,0	327,5
0,155	251,6	280,6	263,7	275,8	228,7	252,9	254,7	271,6	225,4	326,7
0,160	251,0	280,3	263,4	275,1	228,4	252,4	254,3	271,6	225,3	325,8
0,165	250,0	279,6	263,0	274,6	228,2	251,9	253,9	271,4	225,1	325,1
0,170	249,5	279,1	262,6	274,1	228,0	251,5	253,7	271,2	224,6	324,4
0,175	248,9	278,5	262,3	273,4	227,5	250,9	253,3	271,0	224,1	323,8
0,180	248,1	278,0	261,9	272,8	227,2	250,5	252,9	270,9	223,9	323,2
0,185	247,6	277,7	261,6	272,4	227,0	249,9	252,5	270,2	223,7	322,5
0,190	247,0	277,1	261,3	271,8	226,6	249,5	252,0	270,0	223,3	321,6
0,195	246,5	276,7	260,9	271,3	226,4	249,1	251,5	269,8	223,0	320,9
0,200	245,8	276,3	260,7	270,7	226,1	248,7	251,2	269,3	222,6	320,5
0,205	245,2	275,7	260,3	270,2	225,8	248,3	250,7	269,2	222,2	319,8
0,210	244,7	275,4	260,0	269,7	225,4	247,9	250,2	269,0	222,0	319,7
0,215	244,2	274,8	259,6	269,2	225,2	247,4	249,8	268,8	221,8	318,8
0,220	243,5	274,5	259,3	268,9	224,8	247,0	249,5	268,6	221,4	318,7
0,225	243,0	274,3	259,2	268,4	224,6	246,6	249,2	268,4	221,0	318,2
0,230	242,3	273,9	258,6	268,0	224,3	246,3	248,8	267,6	220,8	318,2
0,235	242,0	273,3	258,3	267,5	224,0	245,9	248,3	267,4	220,4	317,4
0,240	241,3	272,9	258,1	267,1	223,9	245,5	247,9	267,1	220,1	317,1
0,245	240,8	272,4	257,7	266,6	223,5	245,1	247,7	266,9	219,7	316,9
0,250	240,3	272,1	257,4	266,3	223,1	244,6	247,2	266,7	219,4	316,5

Tabelle 3.1.2.3-2: Druckelastizitätsmoduln für FPP nach DIN 68763 mit d=13mm nach eigenen Versuchen

Spannung [kN/cm <sup>2</sup> ]	Druckelastizitätsmoduln Probe									
	D 1.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 1.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 2.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 2.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 3.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 3.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 4.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 4.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 5.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	D 5.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,005	-524,7	-399,5	-261,5	-321,9	-276,7	-347,2	-476,2	-316,5	-294,5	-515,9
0,010	-376,6	-327,6	-283,8	-319,6	-273,5	-344,8	-394,9	-314,5	-289,0	-398,7
0,015	-323,8	-310,6	-290,7	-315,7	-271,7	-337,8	-354,1	-321,3	-279,3	-403,2
0,020	-309,1	-303,6	-300,8	-319,2	-279,2	-335,2	-346,5	-309,2	-288,9	-389,9
0,025	-304,1	-317,3	-292,1	-317,7	-275,9	-332,4	-333,3	-319,7	-279,6	-390,3
0,030	-298,7	-312,5	-295,9	-326,8	-280,6	-323,8	-329,3	-316,9	-273,2	-375,9
0,035	-294,6	-317,0	-292,8	-318,5	-274,1	-317,0	-321,8	-311,9	-276,0	-366,9
0,040	-290,6	-315,4	-291,0	-320,5	-271,7	-316,0	-319,0	-311,5	-277,8	-367,5
0,045	-290,0	-309,9	-288,9	-313,2	-271,0	-315,9	-319,1	-309,9	-272,2	-366,2
0,050	-286,8	-307,0	-286,7	-314,5	-270,4	-314,2	-314,9	-310,7	-272,8	-363,6
0,055	-281,4	-306,6	-284,7	-312,4	-271,4	-312,1	-313,9	-304,3	-272,2	-359,2
0,060	-279,5	-307,1	-283,8	-310,6	-264,6	-309,6	-313,5	-302,8	-268,8	-356,9
0,065	-279,2	-306,9	-282,9	-307,8	-265,4	-306,9	-308,6	-303,5	-268,0	-357,5
0,070	-279,0	-306,0	-277,5	-309,2	-263,0	-304,9	-308,2	-297,8	-266,0	-357,4
0,075	-275,7	-305,3	-277,7	-309,3	-262,8	-302,8	-304,7	-299,2	-265,4	-357,8
0,080	-276,2	-305,4	-276,9	-308,8	-263,3	-300,6	-304,6	-300,2	-263,5	-355,7
0,085	-275,1	-305,8	-276,8	-307,8	-263,5	-299,9	-304,1	-298,6	-260,3	-352,6
0,090	-272,2	-303,6	-274,2	-308,6	-261,1	-298,2	-300,6	-294,1	-260,1	-348,8
0,095	-271,3	-303,3	-273,6	-308,6	-260,0	-298,2	-301,5	-294,2	-256,0	-350,3
0,100	-272,3	-305,3	-271,4	-305,8	-257,7	-295,0	-297,7	-296,6	-256,8	-350,9
0,105	-273,1	-302,2	-273,0	-306,5	-259,0	-294,3	-297,9	-292,1	-255,8	-350,0
0,110	-269,9	-302,5	-271,8	-307,6	-258,7	-294,0	-296,1	-291,7	-255,5	-346,9
0,115	-270,0	-302,8	-270,1	-305,7	-257,2	-292,4	-294,6	-292,0	-255,1	-344,1
0,120	-268,8	-300,5	-268,8	-305,8	-256,8	-288,2	-293,9	-290,6	-253,5	-344,8
0,125	-266,4	-299,8	-267,8	-306,5	-257,5	-289,6	-293,0	-289,8	-253,5	-343,9
0,130	-266,2	-300,7	-267,4	-306,9	-257,7	-289,7	-290,4	-288,7	-253,1	-341,7
0,135	-266,7	-299,0	-267,1	-304,0	-257,0	-288,7	-290,1	-288,6	-252,9	-342,0
0,140	-265,5	-299,5	-265,6	-303,9	-256,4	-286,8	-288,4	-286,2	-250,7	-341,6
0,145	-265,8	-299,4	-266,2	-304,9	-253,9	-285,3	-287,8	-286,0	-250,2	-339,1
0,150	-265,7	-298,3	-265,8	-302,6	-254,7	-285,7	-287,0	-285,6	-250,4	-338,5
0,155	-265,2	-297,8	-266,3	-302,9	-254,5	-284,9	-286,4	-284,6	-248,6	-338,1
0,160	-263,5	-298,0	-265,3	-303,1	-253,2	-281,9	-286,4	-284,3	-248,4	-335,9
0,165	-263,3	-297,4	-265,1	-301,8	-253,4	-282,2	-285,3	-284,3	-247,8	-336,4
0,170	-262,5	-295,8	-263,6	-301,7	-253,3	-282,4	-284,6	-282,9	-248,0	-336,0
0,175	-261,4	-296,8	-263,1	-301,4	-253,0	-282,4	-283,6	-282,8	-246,3	-335,7
0,180	-260,8	-296,7	-263,3	-301,3	-252,8	-280,3	-283,1	-281,6	-246,0	-334,5
0,185	-260,8	-296,1	-262,0	-300,9	-251,9	-279,3	-283,3	-281,5	-245,9	-333,5
0,190	-260,6	-294,5	-261,7	-301,6	-251,1	-279,0	-281,8	-279,8	-245,1	-332,3
0,195	-259,4	-295,5	-261,2	-301,0	-251,7	-278,7	-281,9	-280,4	-244,8	-332,7
0,200	-259,3	-294,8	-260,3	-301,1	-251,6	-278,8	-280,0	-281,0	-244,5	-331,1
0,205	-259,3	-293,2	-260,0	-299,7	-251,6	-276,7	-279,9	-279,8	-244,4	-331,3
0,210	-258,8	-293,3	-259,8	-299,9	-250,5	-276,0	-279,8	-279,6	-243,6	-331,4
0,215	-257,4	-293,5	-258,8	-298,4	-250,5	-275,6	-278,6	-278,2	-242,9	-329,4
0,220	-257,7	-292,4	-258,8	-299,8	-250,3	-275,9	-278,2	-278,5	-242,8	-329,9
0,225	-256,5	-292,1	-258,8	-298,8	-249,3	-274,5	-277,4	-278,2	-242,5	-328,9
0,230	-256,1	-292,3	-258,4	-298,3	-249,5	-274,2	-277,1	-276,5	-242,0	-328,8
0,235	-256,0	-291,9	-257,7	-297,6	-248,8	-273,8	-277,5	-276,4	-241,0	-327,8
0,240	-255,9	-290,6	-257,7	-297,0	-248,4	-273,2	-276,3	-276,3	-240,5	-326,8
0,245	-255,3	-290,1	-256,9	-297,5	-248,4	-272,7	-276,5	-275,4	-239,9	-326,7
0,250	-255,5	-290,2	-257,1	-297,4	-247,9	-272,0	-276,5	-275,2	-239,4	-326,5

Tabelle 3.1.2.3-3: Mittlere Elastizitätsmodul für FPP nach DIN 68763 mit d=13mm nach eigenen Versuchen

Spannung [kN/cm <sup>2</sup> ]	Zugelastizitätsmodul			Druckelastizitätsmodul			Abweichung der Moduln Zug/Druck [%]
	Mittlerer E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]	Standard- abweichung	Variations- koeffizient [%]	Mittlerer E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]	Standard- abweichung	Variations- koeffizient [%]	
0,000	<b>0,0</b>	0		<b>0,0</b>	0	0	
0,005	<b>245,7</b>	28,45	11,58	<b>-373,5</b>	99,50	-26,64	152,0
0,010	<b>293,7</b>	28,90	9,84	<b>-332,3</b>	45,52	-13,70	113,1
0,015	<b>294,0</b>	31,85	10,83	<b>-320,8</b>	38,54	-12,01	109,1
0,020	<b>292,0</b>	33,53	11,48	<b>-318,2</b>	32,13	-10,10	109,0
0,025	<b>289,3</b>	34,41	11,90	<b>-316,2</b>	32,92	-10,41	109,3
0,030	<b>287,1</b>	34,69	12,08	<b>-313,4</b>	29,21	-9,32	109,2
0,035	<b>285,2</b>	34,76	12,19	<b>-309,1</b>	26,91	-8,71	108,4
0,040	<b>283,5</b>	34,68	12,23	<b>-308,1</b>	27,44	-8,91	108,7
0,045	<b>281,7</b>	34,30	12,17	<b>-305,6</b>	27,69	-9,06	108,5
0,050	<b>280,3</b>	33,72	12,03	<b>-304,2</b>	27,16	-8,93	108,5
0,055	<b>278,7</b>	33,01	11,85	<b>-301,8</b>	26,25	-8,70	108,3
0,060	<b>277,4</b>	32,76	11,81	<b>-299,7</b>	27,07	-9,03	108,0
0,065	<b>276,1</b>	32,14	11,64	<b>-298,7</b>	26,84	-8,99	108,2
0,070	<b>275,2</b>	31,83	11,57	<b>-296,9</b>	27,67	-9,32	107,9
0,075	<b>273,9</b>	31,54	11,52	<b>-296,1</b>	27,90	-9,42	108,1
0,080	<b>273,2</b>	31,40	11,49	<b>-295,5</b>	27,51	-9,31	108,2
0,085	<b>272,3</b>	31,08	11,42	<b>-294,5</b>	27,16	-9,22	108,2
0,090	<b>271,3</b>	30,91	11,39	<b>-292,2</b>	26,74	-9,15	107,7
0,095	<b>270,7</b>	30,68	11,34	<b>-291,7</b>	27,93	-9,57	107,8
0,100	<b>269,9</b>	30,55	11,32	<b>-290,9</b>	28,11	-9,66	107,8
0,105	<b>269,2</b>	30,35	11,28	<b>-290,4</b>	27,52	-9,48	107,9
0,110	<b>268,5</b>	30,20	11,25	<b>-289,5</b>	27,21	-9,40	107,8
0,115	<b>267,7</b>	30,03	11,22	<b>-288,4</b>	26,74	-9,27	107,7
0,120	<b>267,2</b>	29,99	11,22	<b>-287,2</b>	27,16	-9,46	107,5
0,125	<b>266,6</b>	29,69	11,14	<b>-286,8</b>	27,11	-9,45	107,6
0,130	<b>266,0</b>	29,54	11,11	<b>-286,3</b>	26,70	-9,33	107,6
0,135	<b>265,4</b>	29,40	11,08	<b>-285,6</b>	26,53	-9,29	107,6
0,140	<b>264,8</b>	29,32	11,07	<b>-284,5</b>	26,95	-9,48	107,4
0,145	<b>264,3</b>	29,10	11,01	<b>-283,9</b>	26,73	-9,42	107,4
0,150	<b>263,7</b>	28,96	10,98	<b>-283,4</b>	26,21	-9,25	107,5
0,155	<b>263,2</b>	28,86	10,97	<b>-282,9</b>	26,37	-9,32	107,5
0,160	<b>262,8</b>	28,71	10,93	<b>-282,0</b>	26,24	-9,31	107,3
0,165	<b>262,3</b>	28,60	10,90	<b>-281,7</b>	26,30	-9,34	107,4
0,170	<b>261,9</b>	28,50	10,88	<b>-281,1</b>	26,22	-9,33	107,3
0,175	<b>261,4</b>	28,48	10,89	<b>-280,7</b>	26,59	-9,47	107,4
0,180	<b>260,9</b>	28,40	10,88	<b>-280,1</b>	26,38	-9,42	107,3
0,185	<b>260,5</b>	28,27	10,85	<b>-279,5</b>	26,29	-9,41	107,3
0,190	<b>260,0</b>	28,15	10,83	<b>-278,7</b>	26,17	-9,39	107,2
0,195	<b>259,6</b>	28,06	10,81	<b>-278,7</b>	26,38	-9,46	107,4
0,200	<b>259,2</b>	28,03	10,82	<b>-278,3</b>	26,11	-9,38	107,4
0,205	<b>258,7</b>	27,94	10,80	<b>-277,6</b>	25,93	-9,34	107,3
0,210	<b>258,4</b>	28,01	10,84	<b>-277,3</b>	26,25	-9,47	107,3
0,215	<b>258,0</b>	27,85	10,80	<b>-276,3</b>	25,92	-9,38	107,1
0,220	<b>257,6</b>	27,95	10,85	<b>-276,4</b>	26,11	-9,45	107,3
0,225	<b>257,3</b>	27,93	10,86	<b>-275,7</b>	26,04	-9,44	107,1
0,230	<b>256,9</b>	27,97	10,89	<b>-275,3</b>	26,05	-9,46	107,2
0,235	<b>256,4</b>	27,85	10,86	<b>-274,8</b>	26,02	-9,47	107,2
0,240	<b>256,1</b>	27,84	10,87	<b>-274,3</b>	25,77	-9,39	107,1
0,245	<b>255,7</b>	27,90	10,91	<b>-273,9</b>	25,95	-9,47	107,1
0,250	<b>255,4</b>	27,90	10,93	<b>-273,8</b>	26,03	-9,51	107,2

Tabelle 3.1.2.3-4: Zusammenstellung der für die Berechnung verwendeten Elastizitätsmoduln für FPP nach DIN 68763 mit d=13mm nach eigenen Versuchen

Materialwertsätze „MW“: gemittelte E-Moduln aus mittleren E-Moduln über alle Proben für dargestellte Spannungsbereiche

Spannung [kN/cm <sup>2</sup> ]	mittlerer Zug- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]	mittlerer Druck- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]	Materialsätze Mittelwerte							
			MW18		MW12		MW09		MW06	
			Zug- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]	Druck- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]						
0,000	0,0	0,0								
0,005	245,7	-373,5								
0,010	293,7	-332,3								
0,015	294,0	-320,8								
0,020	292,0	-318,2							293	-324
0,025	289,3	-316,2								
0,030	287,1	-313,4					291	-320		
0,035	285,2	-309,1								
0,040	283,5	-308,1			289	-317			286	-312
0,045	281,7	-305,6								
0,050	280,3	-304,2								
0,055	278,7	-301,8								
0,060	277,4	-299,7	286	-312			281	-305	280	-303
0,065	276,1	-298,7								
0,070	275,2	-296,9								
0,075	273,9	-296,1								
0,080	273,2	-295,5			277	-300				
0,085	272,3	-294,5								
0,090	271,3	-292,2					274	-296		
0,095	270,7	-291,7								
0,100	269,9	-290,9								
0,105	269,2	-290,4								
0,110	268,5	-289,5								
0,115	267,7	-288,4								
0,120	267,2	-287,2	271	-293	270	-291				
0,125	266,6	-286,8								
0,130	266,0	-286,3								
0,135	265,4	-285,6								
0,140	264,8	-284,5								
0,145	264,3	-283,9								
0,150	263,7	-283,4								
0,155	263,2	-282,9								
0,160	262,8	-282,0								
0,165	262,3	-281,7								
0,170	261,9	-281,1								
0,175	261,4	-280,7								
0,180	260,9	-280,1	264	-283						

Tabelle 3.1.2.3-5: Zusammenstellung der für die Berechnung verwendeten Elastizitätsmoduln für FPP nach DIN 68763 mit d=13mm nach eigenen Versuchen

Materialwertsätze „ED“: gemittelte E-Moduln aus E-Moduln der extremal drucksteifen Probenkombination Z5.1 / D5.2 für dargestellte Spannungsbereiche

Spannung [kN/cm <sup>2</sup> ]	Zug- E-Modul Pr. Z 5.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Druck- E-Modul Pr. D 5.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Materialsätze Extremal Druck							
			ED18		ED12		ED09		ED06	
			Zug- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]	Druck- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]						
0,000	0,0	0,0								
0,005	201,5	-515,9								
0,010	249,9	-398,7								
0,015	250,0	-403,2								
0,020	248,0	-389,9							249	-397
0,025	244,9	-390,3								
0,030	242,2	-375,9					247	-392		
0,035	241,0	-366,9								
0,040	238,6	-367,5			245	-385			242	-375
0,045	238,0	-366,2								
0,050	236,9	-363,6								
0,055	236,0	-359,2								
0,060	235,2	-356,9	242	-376			238	-363	237	-361
0,065	234,3	-357,5								
0,070	233,7	-357,4								
0,075	232,8	-357,8								
0,080	232,4	-355,7			235	-359				
0,085	231,9	-352,6								
0,090	231,1	-348,8					233	-355		
0,095	230,6	-350,3								
0,100	230,0	-350,9								
0,105	229,4	-350,0								
0,110	228,9	-346,9								
0,115	228,5	-344,1								
0,120	228,0	-344,8	231	-351	230	-349				
0,125	227,9	-343,9								
0,130	227,4	-341,7								
0,135	227,0	-342,0								
0,140	226,5	-341,6								
0,145	226,1	-339,1								
0,150	226,0	-338,5								
0,155	225,4	-338,1								
0,160	225,3	-335,9								
0,165	225,1	-336,4								
0,170	224,6	-336,0								
0,175	224,1	-335,7								
0,180	223,9	-334,5	226	-339						

Tabelle 3.1.2.3-6: Zusammenstellung der für die Berechnung verwendeten Elastizitätsmoduln für FPP nach DIN 68763 mit d=13mm nach eigenen Versuchen

Materialwertsätze „EZ“: gemittelte E-Moduln aus E-Moduln der extremal zugsteifen Probenkombination Z5.2 / D5.1 für dargestellte Spannungsbereiche

Spannung [kN/cm <sup>2</sup> ]	Zug- E-Modul Pr. Z 5.2 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Druck- E-Modul Pr. D 5.1 [kN/cm <sup>2</sup> ]	Materialsätze Extremal Zug							
			EZ18		EZ12		EZ09		EZ06	
			Zug- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]	Druck- E-Modul [kN/cm <sup>2</sup> ]						
0,000	0,0	0,0								
0,005	291,7	-294,5								
0,010	346,2	-289,0								
0,015	359,6	-279,3								
0,020	364,3	-288,9							357	-286
0,025	364,2	-279,6								
0,030	361,7	-273,2					359	-282		
0,035	359,8	-276,0								
0,040	357,2	-277,8			359	-281			361	-277
0,045	355,2	-272,2								
0,050	352,6	-272,8								
0,055	349,8	-272,2								
0,060	348,4	-268,8	356	-277			354	-273	352	-271
0,065	345,6	-268,0								
0,070	344,3	-266,0								
0,075	342,7	-265,4								
0,080	342,0	-263,5			348	-269				
0,085	340,3	-260,3								
0,090	339,2	-260,1					342	-264		
0,095	338,0	-256,0								
0,100	337,1	-256,8								
0,105	336,0	-255,8								
0,110	335,0	-255,5								
0,115	333,9	-255,1								
0,120	333,6	-253,5	339	-260	337	-257				
0,125	332,1	-253,5								
0,130	331,1	-253,1								
0,135	330,3	-252,9								
0,140	329,4	-250,7								
0,145	328,3	-250,2								
0,150	327,5	-250,4								
0,155	326,7	-248,6								
0,160	325,8	-248,4								
0,165	325,1	-247,8								
0,170	324,4	-248,0								
0,175	323,8	-246,3								
0,180	323,2	-246,0	327	-250						

## Anhang 2 zu Kapitel zu 3.2.1.3 Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Raschper [39]

Für die Ermittlung der Last-Verformungsmoduln nach [39] werden die Werte der folgenden Tabelle verwendet. Sie ist in [39] mit Tabelle 3.9 bezeichnet und wurde von mir um die Mittelwerte ergänzt.

φ	0°		45°		90°		Mittelwert	
	eins.	beids.	eins.	beids.	eins.	beids.	eins.	beids.
Überstand								
$\sigma_1$ [N/mm <sup>2</sup> ]	0,32						0,32	0,32
$\varepsilon_1$	0,0167						0,0167	0,0167
$E_1$ [N/mm <sup>2</sup> ]	20						20	20
$\sigma_2$ [N/mm <sup>2</sup> ]	3,26	5,27	2,52	3,94	3,38	4,50	3,0	4,60
$\varepsilon_2$	0,0347	0,0386	0,0332	0,0367	0,0331	0,0347	0,0337	0,0367
$E_{i\perp}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	163	226	133	181	187	232	160	215
$\sigma_3$ [N/mm <sup>2</sup> ]	6,21	7,0	5,08	6,78	5,46	6,90	5,60	6,90
$\varepsilon_3$	0,1103	0,0551	0,1445	0,0959	0,1101	0,0643	0,1216	0,0718
$E_{pl}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	39	105	23	48	27	81	30	80

Tabelle 3.2.1.3-1 : Trilinearer  $\sigma$ - $\varepsilon$ -Verlauf für Kontaktstöße mit  $b/h=1,0$  und Mittelwerte (A.d.V.:  $b/h$  bezeichnet hier Stielbreite zu Schwellenhöhe)

Für abweichende Verhältnisse  $b/h$  (z.B. Stielbreite 8cm, Schwellenhöhe 4cm) sind in [39] Bemessungsdiagramme für den dadurch beeinflussten ideellen Elastizitätsmodul  $E_{i\perp}$  (=E<sub>2</sub>) angegeben.

Es können folgende Last-Verformungsmoduln hergeleitet werden:

- Stiel 4/10cm auf Riegelende 4/10cm ( $b/h=1$ ):

Bei Verwendung der Mittelwerte aus Tabelle 3.2.1.3-1

$$\sigma_1=0,32\text{N/mm}^2 \quad v_1 = \Delta s_1 = 1,0\text{mm}$$

bei  $F=1,28\text{kN}$

$$\sigma_2=3,0\text{N/mm}^2 \text{ mit } E_2=160\text{N/mm}^2 \quad v_2 = \Delta s_2 + v_1 = \frac{(3,0 - 0,32) \cdot 40}{160} + 1,0 = 1,67\text{mm}$$

bei  $F=12,0\text{kN}$

$$\sigma_3=5,60\text{N/mm}^2 \text{ mit } E_3=30\text{N/mm}^2 \quad v_3 = \Delta s_3 + v_2 = \frac{(5,60 - 3,0) \cdot 40}{30} + 1,67 = 5,14\text{mm}$$

bei  $F=22,4\text{kN}$

resultierende C-Moduln

$$C_{MW,1} = 1280\text{N/mm bis } v=1,00\text{mm}$$

$$C_{MW,2} = 16000\text{N/mm bis } v=1,67\text{mm}$$

$$C_{MW,3} = 3000\text{N/mm}$$

Bei Verwendung der Werte für Jahrringneigung  $\varphi$  aus Tabelle 3.2.1.3-1

resultierende C-Moduln	$C_{0^\circ,1} = 1280\text{N/mm}$ bis $v=1,00\text{mm}$
	$C_{0^\circ,2} = 16300\text{N/mm}$ bis $v=1,72\text{mm}$
	$C_{0^\circ,3} = 3900\text{N/mm}$
	$C_{45^\circ,1} = 1280\text{N/mm}$ bis $v=1,00\text{mm}$
	$C_{45^\circ,2} = 13300\text{N/mm}$ bis $v=1,66\text{mm}$
	$C_{45^\circ,3} = 2300\text{N/mm}$
	$C_{90^\circ,1} = 1280\text{N/mm}$ bis $v=1,00\text{mm}$
	$C_{90^\circ,2} = 18700\text{N/mm}$ bis $v=1,65\text{mm}$
	$C_{90^\circ,3} = 2700\text{N/mm}$

- Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm ( $b/h=1$ ):

Bei Verwendung der Mittelwerte aus Tabelle 3.2.1.3-1

$\sigma_1 = 0,32\text{N/mm}^2$	$v_1 = \Delta s_1 = 1,0\text{mm}$ bei $F = 1,28\text{kN}$
$\sigma_2 = 4,6\text{N/mm}^2$ mit $E_2 = 215\text{N/mm}^2$	$v_2 = \Delta s_2 + v_1 = \frac{(4,60 - 0,32) \cdot 40}{215} + 1,0 = 1,80\text{mm}$ bei $F = 18,4\text{kN}$
$\sigma_3 = 6,90\text{N/mm}^2$ mit $E_3 = 80\text{N/mm}^2$	$v_3 = \Delta s_3 + v_2 = \frac{(6,90 - 4,60) \cdot 40}{80} + 1,80 = 2,95\text{mm}$ bei $F = 27,6\text{kN}$

resultierende C-Module	$C_{MW,1} = 1280\text{N/mm}$ bis $v=1,00\text{mm}$
	$C_{MW,2} = 21500\text{N/mm}$ bis $v=1,80\text{mm}$
	$C_{MW,3} = 8000\text{N/mm}$

Bei Verwendung der Werte für Jahrringneigung  $\varphi$  aus Tabelle 3.2.1.3-1

resultierende C-Moduln	$C_{0^\circ,1} = 1280\text{N/mm}$ bis $v=1,00\text{mm}$
	$C_{0^\circ,2} = 22600\text{N/mm}$ bis $v=1,88\text{mm}$
	$C_{0^\circ,3} = 10500\text{N/mm}$
	$C_{45^\circ,1} = 1280\text{N/mm}$ bis $v=1,00\text{mm}$
	$C_{45^\circ,2} = 18100\text{N/mm}$ bis $v=1,80\text{mm}$
	$C_{45^\circ,3} = 4800\text{N/mm}$
	$C_{90^\circ,1} = 1280\text{N/mm}$ bis $v=1,00\text{mm}$
	$C_{90^\circ,2} = 23200\text{N/mm}$ bis $v=1,72\text{mm}$
	$C_{90^\circ,3} = 8100\text{N/mm}$

- Stiel 8/10cm auf Riegelmitte 4/10cm (b/h=2):

Bei Verwendung der Mittelwerte aus Tabelle 3.2.1.3-1 (mit  $E_2$  für b/h=2)

$$\sigma_1 = 0,32 \text{ N/mm}^2$$

$$v_1 = \Delta s_1 = 1,0 \text{ mm}$$

bei  $F = 2,56 \text{ kN}$

$$\sigma_2 = 4,6 \text{ N/mm}^2 \text{ mit } E_2 = 150 \text{ N/mm}^2 \quad v_2 = \Delta s_2 + v_1 = \frac{(4,60 - 0,32) \cdot 40}{150} + 1,0 = 2,14 \text{ mm}$$

bei  $F = 36,8 \text{ kN}$

$$\sigma_3 = 6,90 \text{ N/mm}^2 \text{ mit } E_3 = 80 \text{ N/mm}^2 \quad v_3 = \Delta s_3 + v_2 = \frac{(6,90 - 4,60) \cdot 40}{80} + 2,14 = 3,29 \text{ mm}$$

bei  $F = 55,2 \text{ kN}$

resultierende C-Module

$$C_{MW,1} = 2560 \text{ N/mm bis } v = 1,00 \text{ mm}$$

$$C_{MW,2} = 30000 \text{ N/mm bis } v = 2,14 \text{ mm}$$

$$C_{MW,3} = 16000 \text{ N/mm}$$

Bei Verwendung der Werte für Jahrringneigung  $\varphi$  aus Tabelle 3.2.1.3-1

resultierende C-Moduln

$$C_{0^\circ,1} = 2560 \text{ N/mm bis } v = 1,00 \text{ mm}$$

$$C_{0^\circ,2} = 32000 \text{ N/mm bis } v = 2,24 \text{ mm}$$

$$C_{0^\circ,3} = 21000 \text{ N/mm}$$

$$C_{45^\circ,1} = 2560 \text{ N/mm bis } v = 1,00 \text{ mm}$$

$$C_{45^\circ,2} = 26000 \text{ N/mm bis } v = 2,11 \text{ mm}$$

$$C_{45^\circ,3} = 9600 \text{ N/mm}$$

$$C_{90^\circ,1} = 2560 \text{ N/mm bis } v = 1,00 \text{ mm}$$

$$C_{90^\circ,2} = 33000 \text{ N/mm bis } v = 2,01 \text{ mm}$$

$$C_{90^\circ,3} = 16200 \text{ N/mm}$$

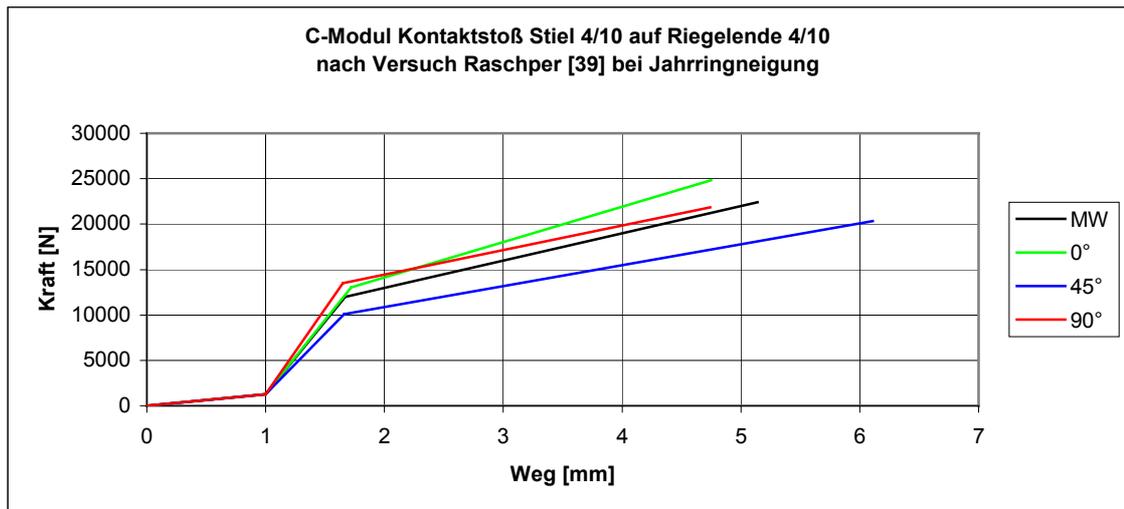


Diagramm 3.2.1.3-1

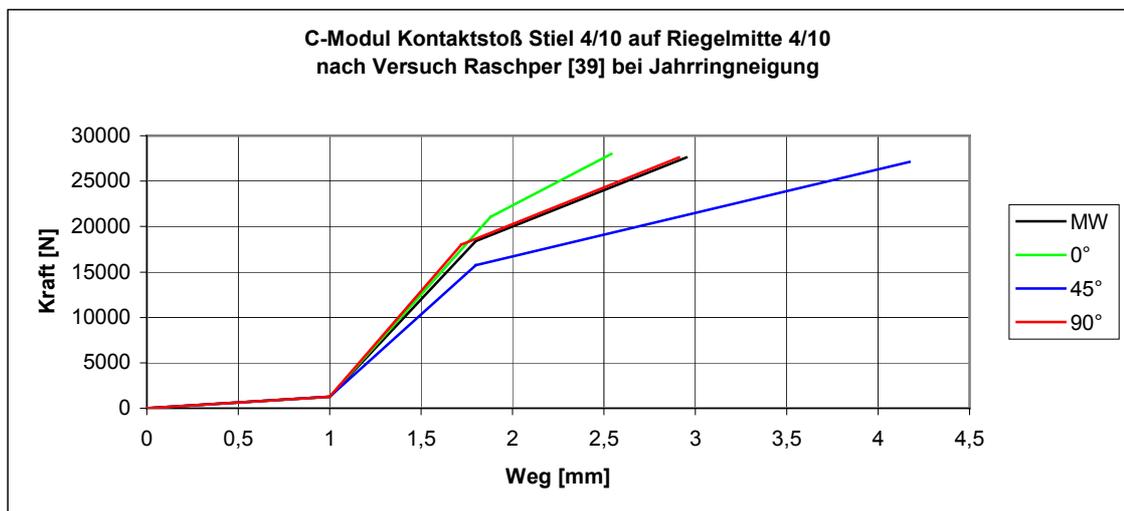


Diagramm 3.2.1.3-2

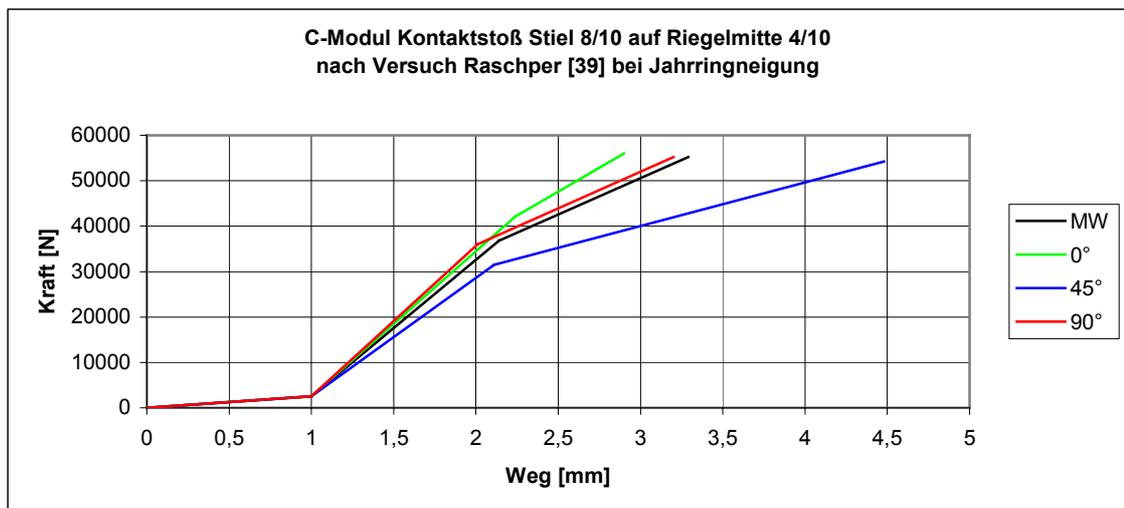


Diagramm 3.2.1.3-3

**Anhang 3 zu Kapitel zu 3.2.1.4  
Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Jenkel [26]**

Versuch- Jahr- neigung	1 45°	2 45°	3 45°	4 45°	5 45°	6 45°	7 45°	8 45°	9 45°	10 45°	Mittelwert	Standard- abweichung	Variations- koeffizient
Weg [mm]	Kraft [N]		[%]										
<b>0,00</b>	132,8	90,4	80,8	79,2	89,6	112,8	83,2	102,4	102,4	93,6	<b>97</b>	16,56	17,12
<b>0,25</b>	423,2	206,4	215,2	346,4	241,6	431,2	589,6	339,2	439,2	524,8	<b>376</b>	129,94	34,59
<b>0,50</b>	1940,8	918,4	720,8	828,8	708,8	1862,4	2036,8	1303,2	1704,0	2470,4	<b>1449</b>	635,28	43,83
<b>0,75</b>	4502,4	2505,6	1678,4	2100,8	1753,6	4163,2	4444,8	3888,0	4083,2	5504,0	<b>3462</b>	1339,34	38,68
<b>1,00</b>	7635,2	4905,6	3363,2	4540,8	3875,2	6841,6	7596,8	7270,4	7475,2	9606,4	<b>6311</b>	2015,36	31,93
<b>1,25</b>	10515,2	8121,6	6361,6	7936,0	6867,2	9587,2	11129,6	10528,0	10905,6		<b>9106</b>	1818,48	19,97
<b>1,50</b>		11225,6	10598,4	11539,2	10092,8	12345,6					<b>11160</b>	867,19	7,77

Tabelle 3.2.1.4-1: Versuchsergebnisse Probenreihe S4RE4  
Stiel 4/10cm auf Riegelende 4/10cm

Versuch Jahr- neigung	1 45°	2 45°	3 45°	4 45°	5 45°	9 45°	10 45°	6 90°	7 90°	8 90°	Mittel 45°	Stand.- abw.	Var.- koeff.	Mittel 90°	Stand.- abw.	Var.- koeff.
Weg [mm]	Kraft [N]		[%]	Kraft [N]		[%]										
<b>0,00</b>	98,4	61,6	100,0	93,6	88,0	99,2	72,8	86,4	74,4	83,2	88	14,92	17,02	81	6,21	7,64
<b>0,25</b>	308,0	196,8	336,0	486,4	371,2	653,6	183,2	254,4	282,4	468,0	362	165,05	45,57	335	116,09	34,66
<b>0,50</b>	1844,8	585,6	1350,4	2465,6	2502,4	2427,2	1603,2	1485,6	838,4	2272,0	1826	712,14	39,01	1532	717,93	46,86
<b>0,75</b>	4819,2	2043,2	3318,4	5660,8	6153,6	4940,8	4083,2	4448,0	1814,4	5417,6	4431	1411,31	31,85	3893	1864,54	47,89
<b>1,00</b>	8345,6	5084,8	6272,0	9484,8	10291,2	7776,0	7660,8	8908,8	3513,6	9920,0	7845	1782,09	22,72	7447	3444,14	46,25
<b>1,25</b>	11833,6	8774,4	9548,8	13081,6	12704,0	10662,4	11340,8	13632,0	6108,8	14873,6	11135	1586,04	14,24	11538	4742,75	41,10
<b>1,50</b>	14745,6	12236,8	12512,0	15692,8	14041,6	13580,8	14758,4	17664,0	9536,0	19161,6	13938	1256,35	9,01	15454	5179,44	33,52
<b>1,75</b>	16896,0	14604,8	14848,0	16921,6	14963,2	15936,0	16844,8	20032,0	13491,2	21696,0	15859	1047,20	6,60	18406	4337,24	23,56
<b>2,00</b>	18393,6	16166,4	16499,2	17715,2	15564,8	17305,6	17804,8	20940,8	17510,4		17064	1014,18	5,94	19226	2425,66	12,62
<b>2,25</b>	19251,2	16908,8	17395,2	18227,2	16281,6	17996,8	18547,2	21670,4	21056,0		17801	1012,35	5,69	21363	434,45	2,03
<b>2,50</b>	19724,8	17369,6	17984,0	18688,0	16972,8	18572,8	19161,6				18353	975,06	5,31			
<b>2,75</b>	20096,0	17779,2	18444,8	19059,2	17676,8	19097,6	19788,8				18849	933,28	4,95			
<b>3,00</b>	20467,2	18278,4	18816,0	19507,2	18240,0	19584,0	20390,4				19326	919,39	4,76			
<b>3,25</b>	20825,6	18675,2	19251,2	19891,2	18905,6	20096,0	20915,2				19794	890,46	4,50			
<b>3,50</b>	21248,0	19097,6	19673,6	20339,2	19443,2	20633,6	21427,2				20266	898,73	4,43			
<b>3,75</b>	21568,0	19571,2	20006,4	20697,6	20032,0	21004,8	21926,4				20687	870,88	4,21			
<b>4,00</b>	21926,4	20070,4	20390,4	21158,4	20723,2	21529,6					20966	702,77	3,35			
<b>4,25</b>	22272,0	20480,0	20787,2	21568,0	21312,0	22041,6					21410	697,04	3,26			

Tabelle 3.2.1.4-2: Versuchsergebnisse Probenreihe S4RM4  
Stiel 4/10cm auf Riegelmitte 4/10cm

Versuch Jahring- neigung	2 45°	3 45°	5 45°	6 45°	7 45°	8 45°	9 45°	1 90°	4 90°	10 90°	Mittel 45°	Stand.- abw.	Var.- koeff.	Mittel 90°	Stand.- abw.	Var.- koeff.
Weg [mm]	Kraft [N]		[%]	Kraft [N]		[%]										
<b>0,00</b>	108,8	128,8	68,0	92,0	106,4	116,0	108,8	97,6	125,6	121,6	<b>104</b>	19,37	18,60	<b>115</b>	15,14	13,18
<b>0,25</b>	680,8	767,2	1018,4	390,4	428,8	336,8	449,6	400,8	416,0	909,6	<b>582</b>	249,11	42,82	<b>575</b>	289,47	50,30
<b>0,50</b>	2936,0	3689,6	3344,0	1728,0	2843,2	2835,2	1940,8	2600,0	2126,4	3616,0	<b>2760</b>	705,32	25,56	<b>2781</b>	761,08	27,37
<b>0,75</b>	6944,0	8134,4	6707,2	4809,6	7174,4	7526,4	4838,4	6988,8	5411,2	7788,8	<b>6591</b>	1289,74	19,57	<b>6730</b>	1209,81	17,98
<b>1,00</b>	11603,2	13619,2	10528,0	8966,4	12364,8	12704,0	8940,8	12953,6	10316,8	13120,0	<b>11247</b>	1833,18	16,30	<b>12130</b>	1572,60	12,96
<b>1,25</b>	16537,6	19276,8	14348,8	13542,4	17510,4	18227,2	13824,0	19353,6	16217,6	19353,6	<b>16181</b>	2292,74	14,17	<b>18308</b>	1810,57	9,89
<b>1,50</b>	21209,6	24499,2	18086,4	18048,0	22105,6	23244,8	18496,0	25331,2	22489,6	25779,2	<b>20813</b>	2638,75	12,68	<b>24533</b>	1784,04	7,27
<b>1,75</b>	24140,8	27622,4	21299,2	22182,4	25868,8	25817,6	22374,4	30080,0	28211,2	31667,2	<b>24187</b>	2342,89	9,69	<b>29986</b>	1729,91	5,77
<b>2,00</b>	25715,2	30412,8	23296,0	25548,8	28544,0	28185,6	25177,6	33305,6	32972,8	36172,8	<b>26697</b>	2435,58	9,12	<b>34150</b>	1759,34	5,15
<b>2,25</b>	26931,2	31974,4	24588,8	27904,0	30796,8	30028,8	26803,2	34944,0	35737,6		<b>28432</b>	2602,72	9,15	<b>35341</b>	561,16	1,59
<b>2,50</b>	28134,4	33049,6	25612,8	29772,8	32332,8	31360,0	27648,0	35558,4	37350,4		<b>29701</b>	2716,60	9,15	<b>36454</b>	1267,14	3,48
<b>2,75</b>	29286,4	33792,0	26444,8	31052,8	33587,2	32307,2	28185,6	36172,8			<b>30665</b>	2799,48	9,13			
<b>3,00</b>	30105,6	34508,8	27238,4	31795,2	34457,6	32972,8	28723,2	37068,8			<b>31400</b>	2822,62	8,99			
<b>3,25</b>	30976,0	35430,4	27904,0	32358,4	35046,4	33459,2	29286,4				<b>32066</b>	2842,09	8,86			
<b>3,50</b>	31795,2	36249,6	28492,8	32972,8	35430,4	33894,4	29824,0				<b>32666</b>	2838,37	8,69			
<b>3,75</b>	32435,2	36787,2	29107,2	33382,4	35840,0	34508,8	30336,0				<b>33200</b>	2802,45	8,44			
<b>4,00</b>	33100,8	37324,8	29696,0	33792,0	36096,0	35046,4	30848,0				<b>33701</b>	2745,49	8,15			
<b>4,25</b>	33792,0		30233,6	34201,6	36377,6	35532,8	31411,2				<b>33591</b>	2365,27	7,04			
<b>4,50</b>	34304,0		30720,0	34636,8	36659,2	36070,4	32000,0				<b>34065</b>	2306,03	6,77			
<b>4,75</b>	34432,0		31334,4	35046,4	36992,0	36531,2	32486,4				<b>34470</b>	2223,03	6,45			
<b>5,00</b>	34918,4		31641,6	35456,0	37299,2	36915,2	33024,0				<b>34876</b>	2202,71	6,32			

Tabelle 3.2.1.4-3: Versuchsergebnisse Probenreihe S8RM4  
Stiel 8/10cm auf Riegelmitte 4/10cm

C-Modul Kontaktstoß Stiel 4/10 auf Riegelende 4/10  
nach Versuch Jenkel [23] bei Jahrringneigung



Diagramm 3.2.1.3-1

C-Modul Kontaktstoß Stiel 4/10 auf Riegelmitte 4/10  
nach Versuch Jenkel [26] bei Jahrringneigung

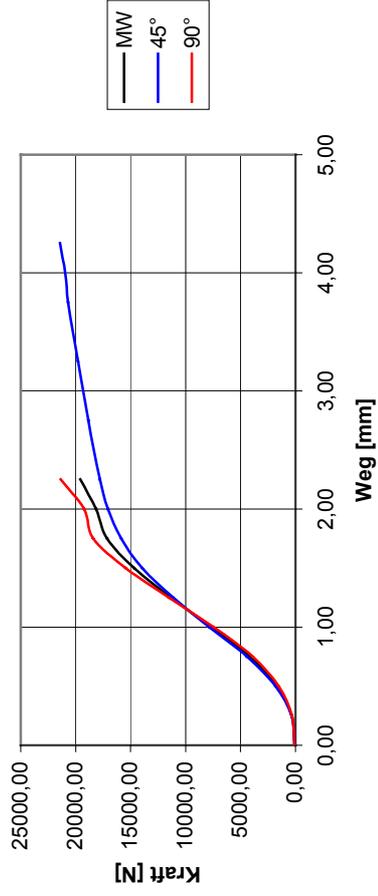


Diagramm 3.2.1.3-2

C-Modul Kontaktstoß Stiel 8/10 auf Riegelmitte 4/10  
nach Versuch Jenkel [26] bei Jahrringneigung

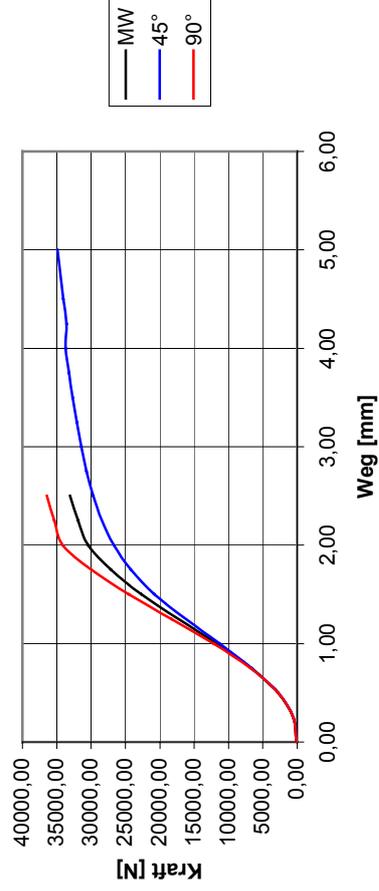


Diagramm 3.2.1.3-3

## Anhang 4 zu Kapitel zu 3.2.2.2

### Last-Verformungswerte nach Eurocode 5 für Abscherbelastung

k <sub>mod</sub> und k <sub>def</sub> für	KLED	"sehr kurz"		"kurz"		"mittel"		"lang"		"ständig"		"sehr kurz"		"kurz"		"mittel"		"lang"		"ständig"				
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2			
Nagel	d =	[mm]	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8		
	l =	[mm]	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65	
Vollholzrahmen	ρ <sub>k</sub> =	[kg/m <sup>3</sup> ]	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380	
	k <sub>mod,1</sub> =		1,1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
	k <sub>def,2</sub> =		0	0	0,25	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
	f <sub>h,2,k</sub> =	[N/mm <sup>2</sup> ]	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	22,88	
Beplankung FPP	f <sub>h,2,d</sub> =	[N/mm <sup>2</sup> ]	19,36	15,84	14,08	12,32	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	
	t <sub>1</sub> =	[mm]	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	
	ρ <sub>k</sub> =	[kg/m <sup>3</sup> ]	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	650	
	k <sub>mod,1</sub> =		1,10	0,85	0,65	0,45	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
Teilsicherheitsbeiwert	k <sub>def,1</sub> =		0,00	0,00	0,75	1,50	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	
	f <sub>h,1,k</sub> =	[N/mm <sup>2</sup> ]	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	102,65	
	f <sub>h,1,d</sub> =	[N/mm <sup>2</sup> ]	86,85	67,11	51,32	35,53	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	23,69	
	γ <sub>w</sub> =		1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
Fließmoment	β =		0,22	0,24	0,27	0,35	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
	M <sub>v,k</sub> =	[Nmm]	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	2617,48	
	γ <sub>o</sub> =		1,5	1,5	1,5	1,5	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	
	t <sub>2</sub> / t <sub>1</sub> =		4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	
Bemessungswerte	M <sub>v,d</sub> =	[Nmm]	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	2013,45	
	a) R <sub>d</sub> =	[N]	3161	2443	1868	1293	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	862	
	b) R <sub>d</sub> =	[N]	2819	2306	2050	1794	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	1538	
	c) R <sub>d</sub> =	[N]	1196	967	834	700	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	576	
	d) R <sub>d</sub> =	[N]	905	734	612	487	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	
	e) R <sub>d</sub> =	[N]	1263	1040	921	798	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	676	
maßg. Bemessungswert	f) R <sub>d</sub> =	[N]	657	591	549	500	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	446	
	R <sub>d</sub> =	[N]	657	591	549	487	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	385	
	F =	[N]	438	394	366	325	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	285	
	K <sub>def</sub> =	[N/mm]	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	
	u <sub>inst</sub> =	[mm]	0,43	0,39	0,36	0,32	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
	u <sub>lim</sub> =	[mm]	0,43	0,39	0,54	0,62	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
K =	[N/mm]	1010	1010	683	522	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	443	

Tabelle 3.2.2.2-1: Bemessungswert der Tragfähigkeit für Nägel mit Beanspruchung rechtwinklig zur Nagelachse nach Eurocode 5 für Nā 28x65, Vollholz S10, Flachpressplatte d=13mm nach DIN 68763

## Anhang 5 zu Kapitel zu 3.2.2.4

### Last-Verformungskennlinien nach Versuchen von Padberg [38] für Abscherbelastung

Last-Verformungskennwerte für Flachpreßplatte nach DIN 68763, d=13mm an Vollholz mit Nä 28x65 nach Versuch Padberg [38]

Weg [mm]	Kraft Probe 1 [kN]	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7	Probe 8	Probe 9	Probe 10	Mittelwert [kN]	Standard-abweichung	Variations-koeffizient [%]
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0		
0,1	1,618	2,072	2,035	1,204	1,858	1,307	1,646	1,717	1,202	1,884	1,654	0,32	19,61
0,2	2,458	2,770	2,809	1,822	2,459	1,933	2,357	2,516	1,908	2,741	2,377	0,37	15,56
0,3	3,100	3,244	3,333	2,282	2,878	2,376	2,865	3,087	2,417	3,333	2,892	0,40	13,93
0,4	3,528	3,609	3,743	2,668	3,215	2,742	3,255	3,536	2,814	3,775	3,288	0,42	12,75
0,5	3,926	3,920	4,080	3,054	3,511	3,056	3,576	3,864	3,173	4,009	3,617	0,40	11,13
0,6	4,147	4,192	4,340	3,407	3,764	3,331	3,865	4,160	3,475	4,399	3,908	0,40	10,18
0,7	4,547	4,435	4,505	3,712	3,908	3,586	4,077	4,557	3,754	4,755	4,184	0,42	10,13
0,8	4,794	4,343	4,866	3,988	4,166	3,801	4,099	4,817	3,983	5,006	4,386	0,44	10,09
0,9	5,114	4,834	5,072	4,234	3,988	3,998	4,491	4,849	4,158	5,231	4,597	0,48	10,46
1,0	5,316	5,056	5,235	4,270	4,430	4,182	4,725	5,183	4,059	5,429	4,788	0,52	10,82
1,5	6,087	5,772	5,928	5,376	5,141	4,920	5,503	6,076	5,236	6,180	5,622	0,45	7,95
2,0	6,752	6,359	6,442	6,066	5,657	5,515	6,091	6,843	5,834	6,721	6,228	0,47	7,55
3,0	7,806	7,280	7,196	7,162	6,426	6,491	7,017	7,773	6,914	7,377	7,144	0,46	6,47
4,0	8,521	7,782	7,580	7,958	6,928	7,468	7,679	8,603	7,685	7,926	7,813	0,49	6,26
5,0	9,165	8,143	7,928	8,701	7,169	8,245	8,228	9,201	8,374	8,323	8,348	0,59	7,09
6,0	9,629	8,550	8,192	9,263	7,465	8,870	8,643	9,670	8,939	8,581	8,780	0,66	7,56
7,0	10,059	8,850	8,478	9,752	7,701	9,368	8,902	10,072	9,426	8,796	9,140	0,74	8,15
8,0	10,414	9,124	8,700	10,128	7,793	9,757	9,157	10,458	9,857	9,028	9,442	0,84	8,89
9,0	10,708	9,344	8,805	10,497	7,890	10,126	9,306	10,820	10,249	9,221	9,697	0,94	9,71
10,0	10,985	9,544	8,831	10,779	8,008	10,387	9,498	11,101	10,576	9,340	9,905	1,02	10,32
11,0	11,266	9,750	8,940	11,027	8,104	10,597	9,734	11,345	10,893	9,441	10,110	1,09	10,77
12,0	11,559	9,920	8,884	11,227	8,139	10,844	9,838	11,573	11,095	9,484	10,256	1,19	11,57
13,0	11,841	10,059	8,986	11,408	8,423	11,039	10,061	11,785	11,296	9,595	10,449	1,20	11,49
14,0	12,050	10,193	9,123	11,621	8,308	11,179	10,196	11,980	11,488	9,477	10,561	1,30	12,30
15,0	12,197	10,320	9,186	11,817	8,367	11,348	10,354	12,173	11,676	9,558	10,700	1,35	12,59

Tabelle 3.2.2.4-1: Probekörper mit Belastung längs zur Faser

Weg [mm]	Kraft [kN]										Mittelwert [kN]	Standardabweichung	Variationskoeffizient [%]	
	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	Probe 5	Probe 6	Probe 7	Probe 8	Probe 9	Probe 10				
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0		
0,1	1,023	1,432	1,407	2,191	2,003	1,349	1,276	1,654	1,280	1,440	1,506	0,35	23,43	
0,2	1,884	2,343	2,383	2,967	2,786	2,235	2,103	2,470	2,138	2,316	2,363	0,32	13,54	
0,3	2,453	2,948	3,072	3,502	3,287	2,848	2,788	3,206	2,742	2,835	2,968	0,30	10,26	
0,4	2,889	3,415	3,612	3,893	3,661	3,316	3,167	3,642	3,109	3,267	3,397	0,31	9,00	
0,5	3,240	3,804	4,031	4,171	4,003	3,676	3,563	3,858	3,526	3,621	3,749	0,28	7,45	
0,6	3,521	4,023	4,273	4,510	4,056	3,973	3,893	4,116	3,933	3,920	4,022	0,26	6,42	
0,7	3,769	4,262	4,674	4,678	4,496	4,113	4,194	4,513	4,142	4,150	4,299	0,29	6,69	
0,8	3,984	4,617	4,952	4,807	4,608	4,279	4,236	4,621	4,112	3,689	4,391	0,40	9,02	
0,9	4,153	4,851	5,185	4,960	4,844	4,626	4,446	4,888	4,542	4,348	4,684	0,32	6,74	
1,0	4,147	5,036	5,400	5,110	5,135	4,841	4,719	5,023	4,612	4,560	4,858	0,36	7,41	
1,5	5,099	5,780	6,266	5,701	5,663	5,501	5,669	5,634	5,264	5,393	5,597	0,32	5,69	
2,0	5,656	6,309	6,877	6,143	6,198	6,013	6,197	6,208	5,933	5,897	6,143	0,32	5,25	
3,0	6,624	7,045	7,781	6,757	6,974	6,775	7,003	7,036	6,525	6,648	6,917	0,36	5,16	
4,0	7,171	7,349	8,534	7,023	7,676	7,198	7,303	7,421	7,124	7,228	7,403	0,44	5,90	
5,0	7,778	7,711	9,188	7,432	8,215	7,730	7,715	7,791	7,503	7,790	7,885	0,50	6,37	
6,0	8,251	8,004	9,749	7,686	8,699	8,240	8,007	8,144	7,948	8,376	8,310	0,57	6,91	
7,0	8,577	8,362	10,231	7,864	9,032	8,646	8,137	8,407	8,335	8,833	8,642	0,65	7,52	
8,0	8,891	8,511	10,665	7,911	9,245	8,924	8,365	8,467	8,639	9,079	8,870	0,74	8,34	
9,0	9,099	8,753	11,044	7,985	9,442	9,237	8,389	8,655	8,931	9,295	9,083	0,82	9,02	
10,0	9,340	8,844	11,339	7,962	9,689	9,407	8,430	8,750	9,118	9,387	9,227	0,90	9,80	
11,0	9,468	8,914	11,373	8,049	9,855	9,577	8,456	8,692	9,247	9,588	9,322	0,92	9,85	

Tabelle 3.2.2.4-2: Probekörper mit Belastung quer zur Faser

Weg [mm]	längs zur Faser Mittelwert [kN]	quer zur Faser Mittelwert [kN]	Abweichnung [%]
0	0	0	
0,1	1,654	1,506	91,0
0,2	2,377	2,363	99,4
0,3	2,892	2,968	102,7
0,4	3,288	3,397	103,3
0,5	3,617	3,749	103,7
0,6	3,908	4,022	102,9
0,7	4,184	4,299	102,8
0,8	4,386	4,391	100,1
0,9	4,597	4,684	101,9
1	4,788	4,858	101,5
1,5	5,622	5,597	99,6
2	6,228	6,143	98,6
3	7,144	6,917	96,8
4	7,813	7,403	94,8
5	8,348	7,885	94,5
6	8,780	8,310	94,7
7	9,140	8,642	94,6
8	9,442	8,870	93,9
9	9,697	9,083	93,7
10	9,905	9,227	93,2
11	10,110	9,322	92,2

Tabelle 3.2.2.4-3:

Vergleich Mittelwerte längs/quer zur Faser

Weg [mm]	Mittelwert [kN]	Standard-abweichung	Variationskoeffizient [%]
0	0		
0,1	1,580	0,34	21,43
0,2	2,370	0,34	14,21
0,3	2,930	0,35	11,94
0,4	3,343	0,36	10,81
0,5	3,683	0,34	9,34
0,6	3,965	0,33	8,36
0,7	4,241	0,36	8,43
0,8	4,388	0,41	9,31
0,9	4,641	0,40	8,59
1	4,823	0,44	9,04
1,5	5,609	0,38	6,74
2	6,185	0,39	6,38
3	7,030	0,42	5,95
4	7,608	0,50	6,54
5	8,117	0,58	7,20
6	8,545	0,65	7,61
7	8,891	0,73	8,17
8	9,156	0,82	9,00
9	9,390	0,91	9,74
10	9,566	1,00	10,47
11	9,716	1,06	10,91

Tabelle 3.2.2.4-4:

Mittelwertbildung über alle Proben

## Anhang 6 zu Kapitel 6.1 Berechnungsmodelle

Nachfolgend werden die statischen Systeme der verschiedenen Berechnungsmodelle graphisch dargestellt.

- System 1 – Einrastertafel aus [39]:

Bild 6.1-1	„System 1“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-2	„System 1“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern
Bild 6.1-3	„System 10“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-4	„System 10“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern
Bild 6.1-5	„System 100“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-6	„System 100“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

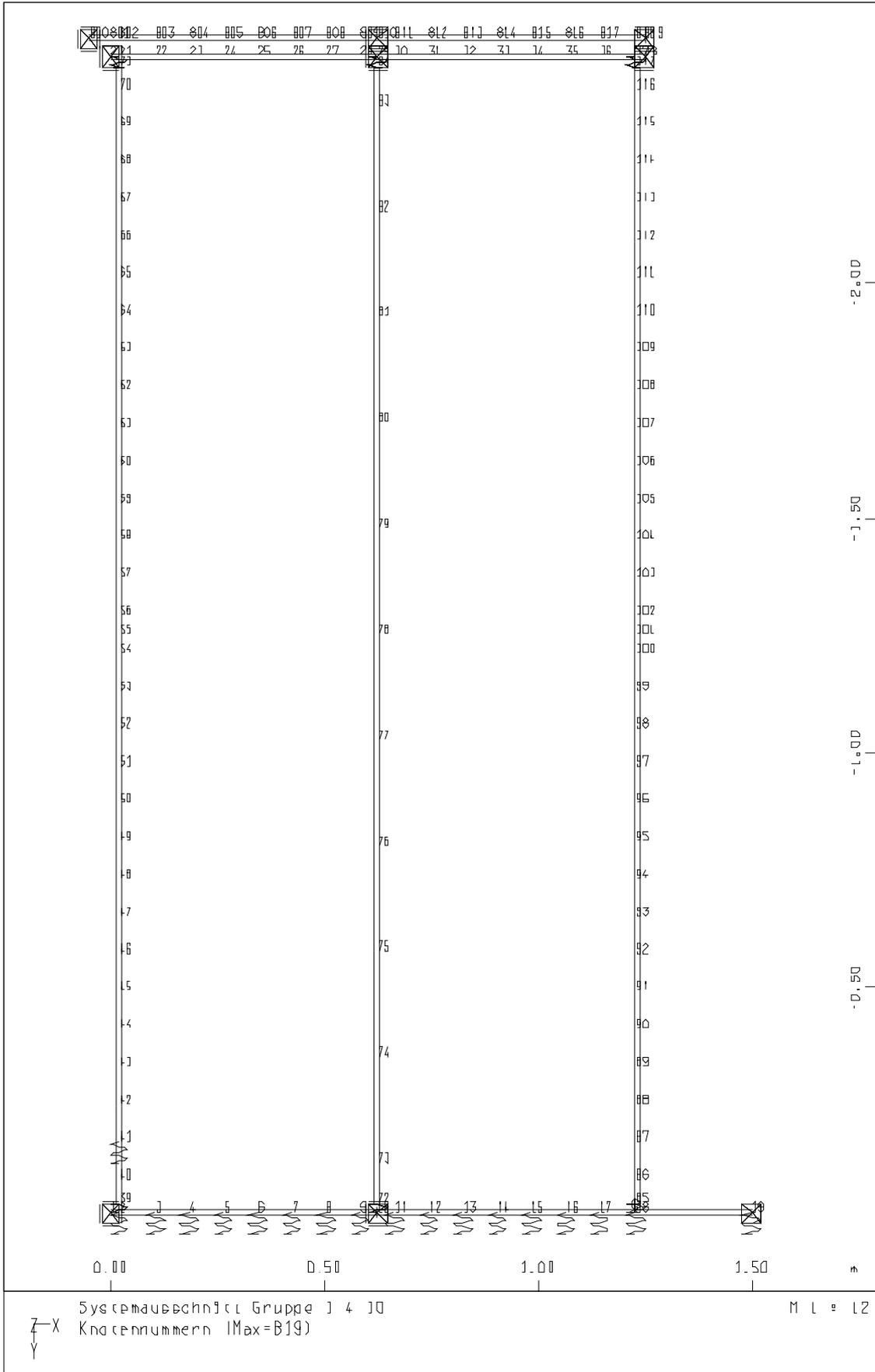
- System 2 – Zweirastertafel aus [39]:

Bild 6.1-7	„System 2“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-8	„System 2“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern
Bild 6.1-9	„System 20“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-10	„System 20“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern
Bild 6.1-11	„System 200“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-12	„System 200“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

- System 3 – Mehrrastertafel aus [42]:

Bild 6.1-13	„System 3“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-14	„System 3“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern
Bild 6.1-15	„System 30“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-16	„System 30“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern
Bild 6.1-17	„System 300“:	Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern
Bild 6.1-18	„System 300“:	Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

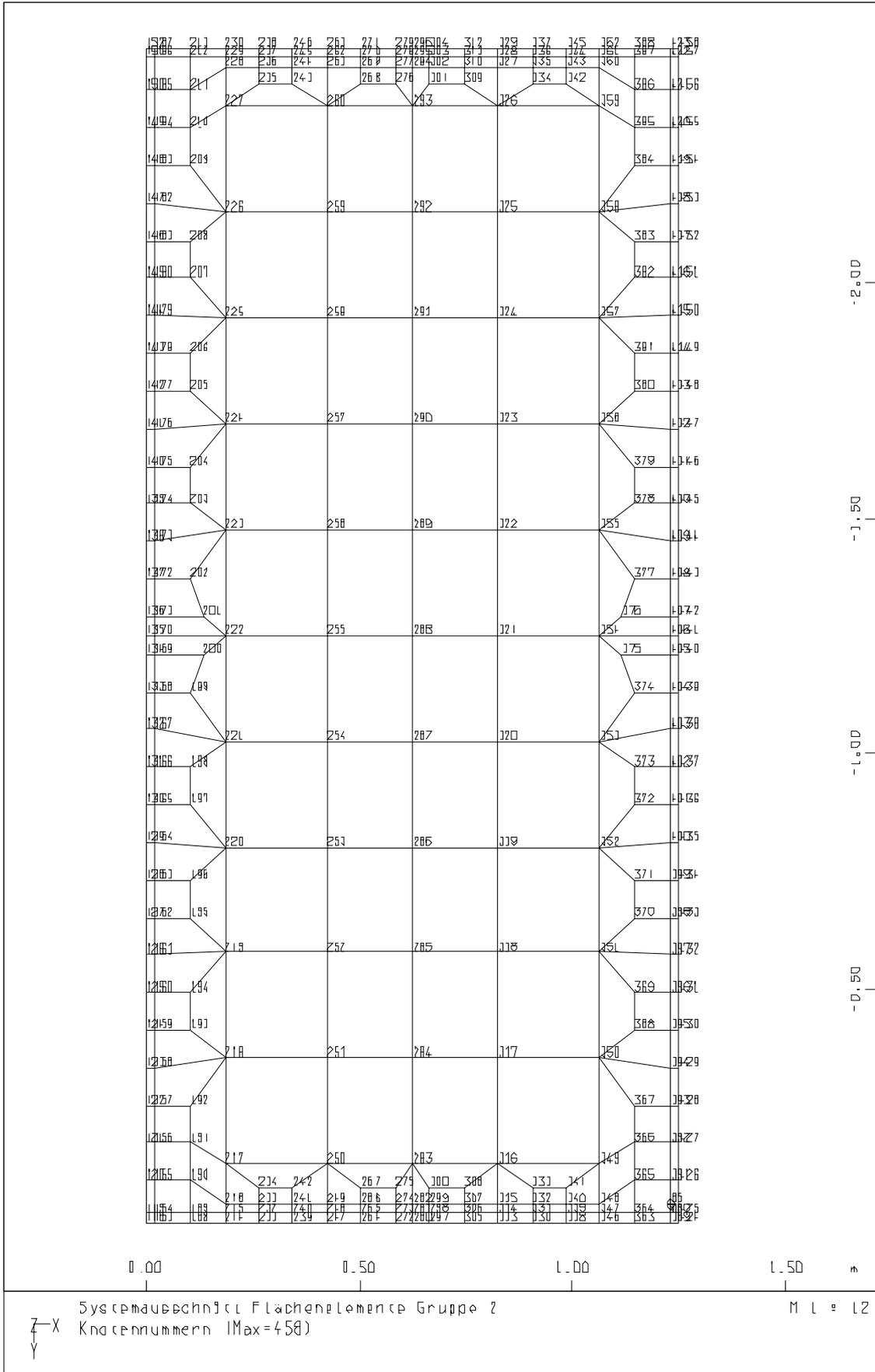
RENGRAF I VLL 63-991 22.01.2004



SYSTEM 1  
 Bild 6.1-1

„System 1“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern

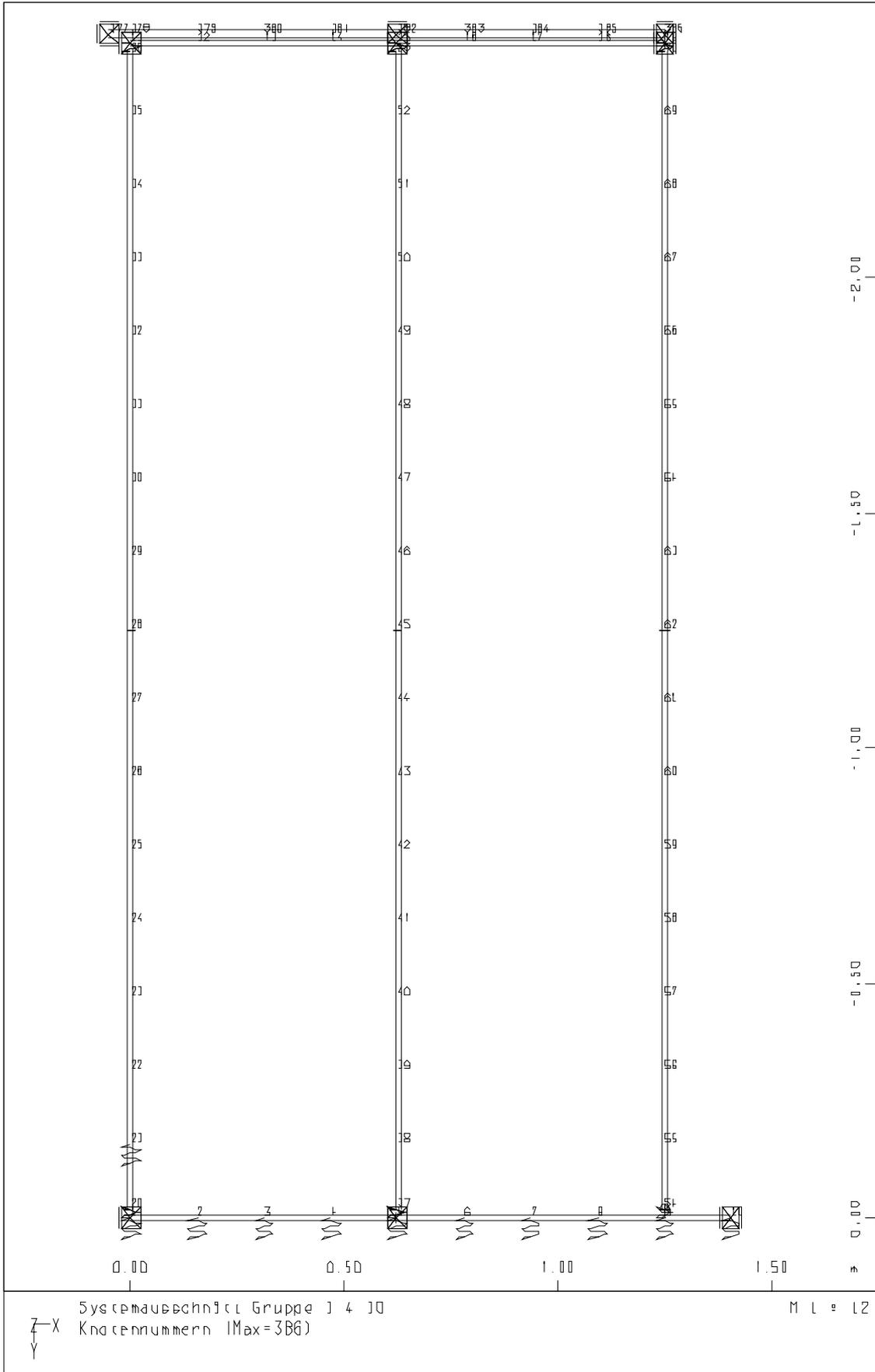
NEINGRAF I VLL 63-991 22.01.2004



SYSTEM 1  
 Bild 6.1-2

„System 1“: Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

RENGRAF I VLL 63-991 22.01.2004

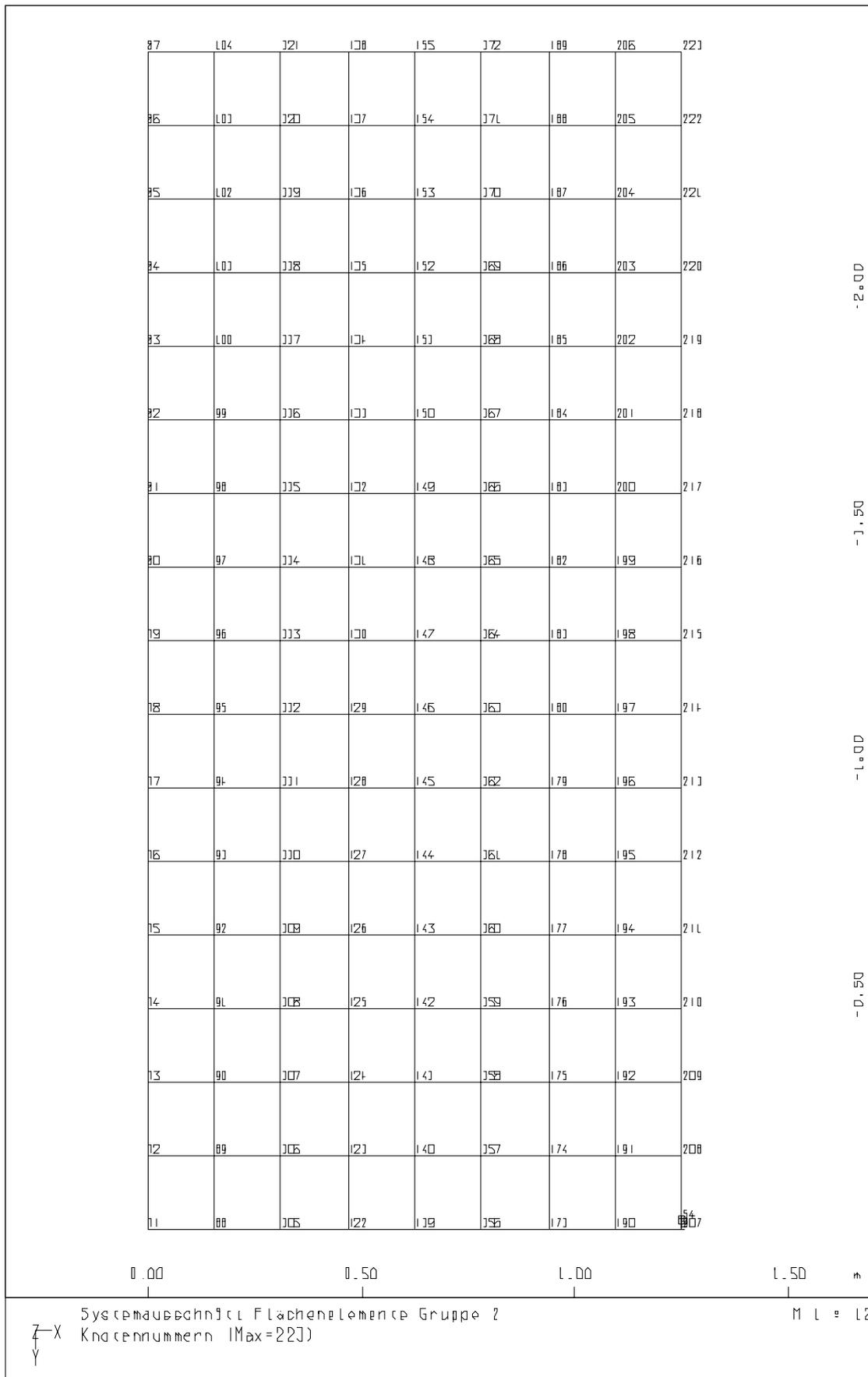


SYSTEM 10

Bild 6.1-3

„System 10“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern

NEINGRAF I V L L 63-991 22.01.2004

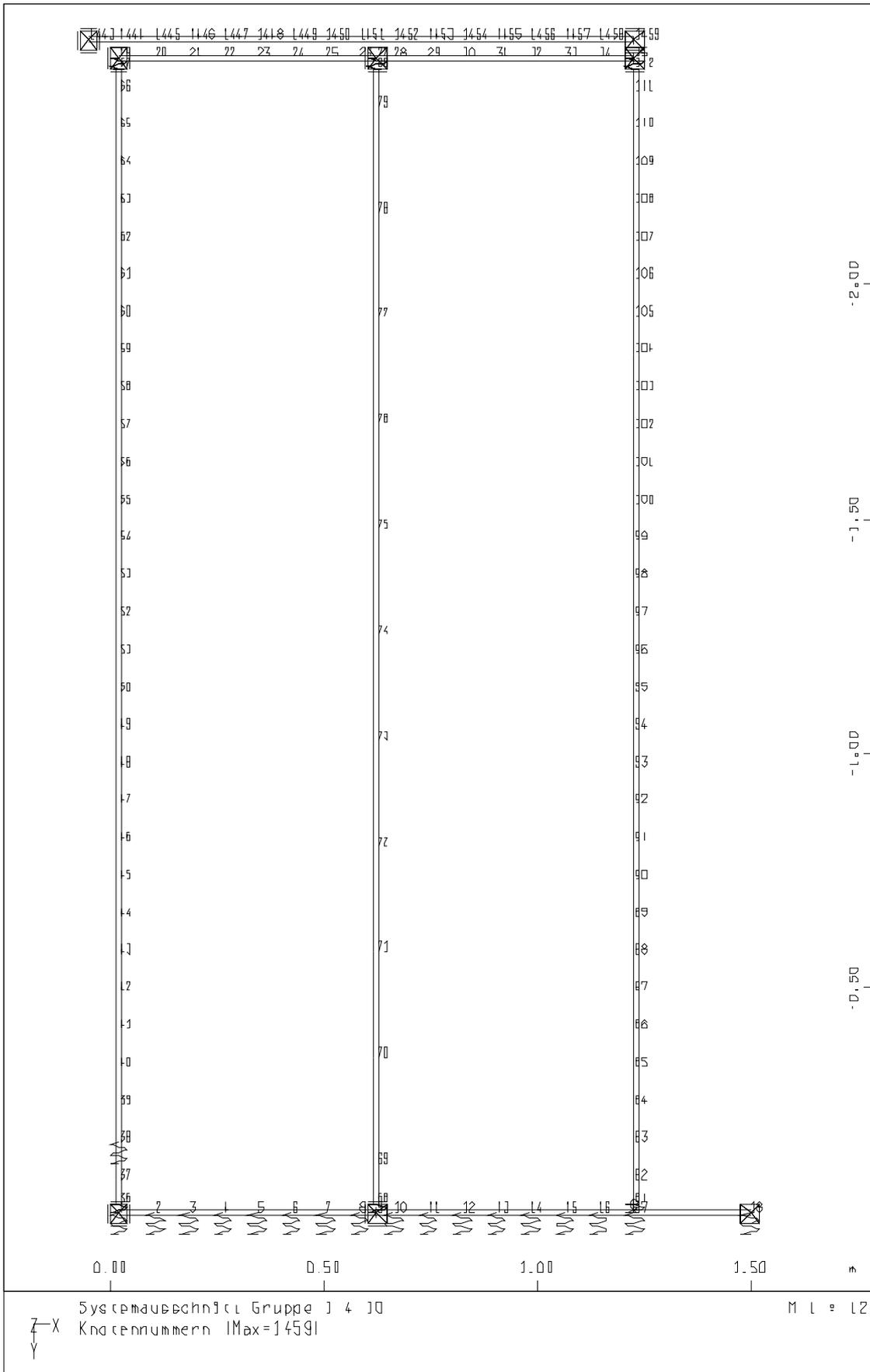


SYSTEM 10

Bild 6.1-4

„System 10“: Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

NEINGRAF IVLL 63-991 22.01.2004



SYSTEM 100

Bild 6.1-5 „System 100“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern

WENGRAF IVLL 63-991 22.01.2001

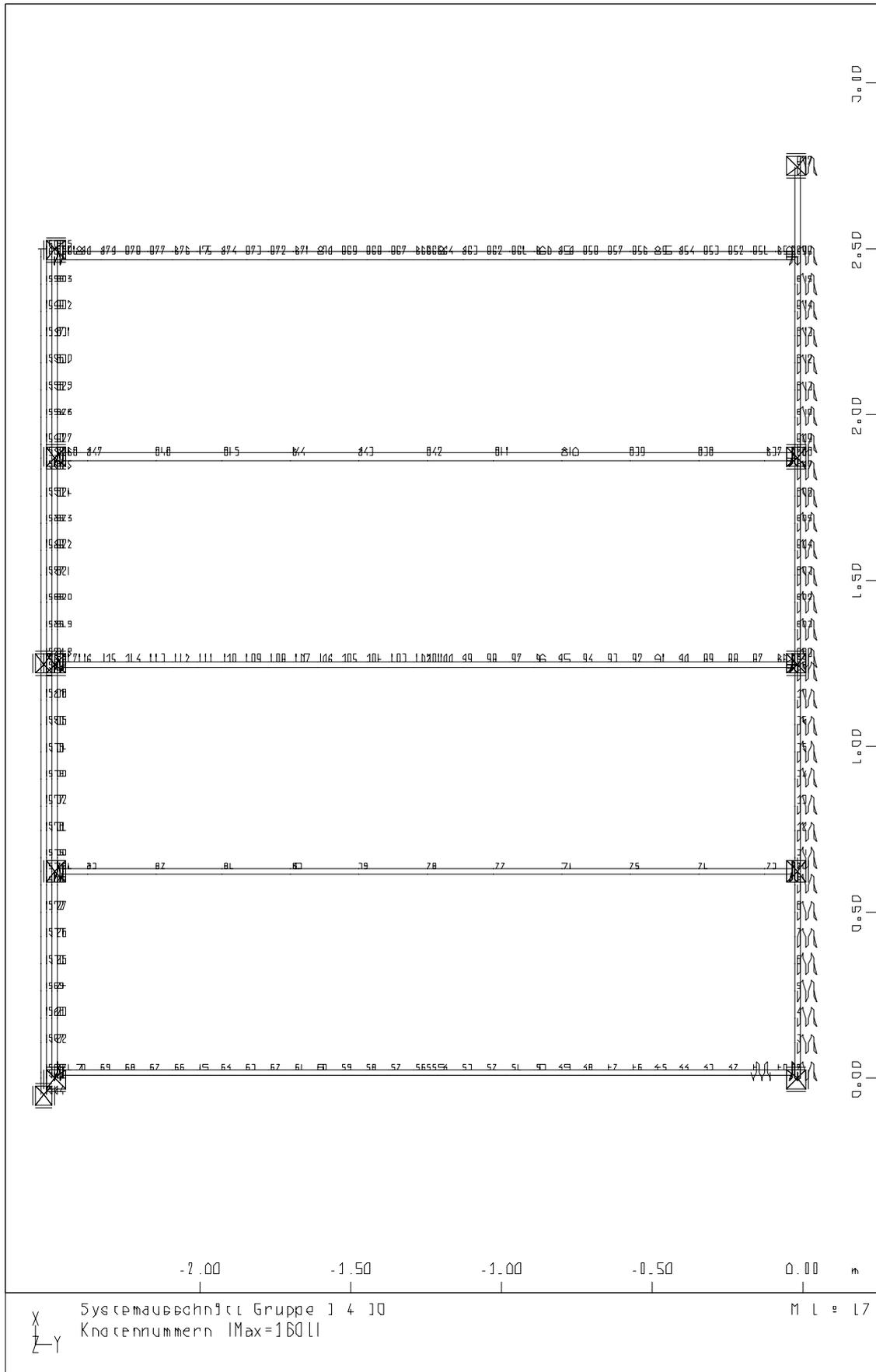
14482	211	252	287	322	357	392	427	462	497	532	567	602	637	672	707	742
14490	215	250	285	320	355	390	425	460	495	530	565	600	635	670	705	740
14479	214	249	284	319	354	389	424	459	494	529	564	599	634	669	704	739
14478	213	248	283	318	353	388	423	458	493	528	563	598	633	668	703	738
14477	212	247	282	317	352	387	422	457	492	527	562	597	632	667	702	737
14476	211	246	281	316	351	386	421	456	491	526	561	596	631	666	701	736
14475	210	245	280	315	350	385	420	455	490	525	560	595	630	665	700	735
13974	204	241	279	311	319	381	419	454	489	524	559	594	629	664	699	734
13973	208	243	280	313	318	383	418	453	488	523	558	593	628	663	698	733
13972	207	242	277	312	317	382	417	452	487	522	557	592	627	662	697	732
13971	206	241	276	311	316	381	416	451	486	521	556	591	626	661	696	731
13970	205	240	275	310	315	380	415	450	485	520	555	590	625	660	695	730
13969	204	239	274	309	314	379	414	449	484	519	554	589	624	659	694	729
13968	203	238	273	308	313	378	413	448	483	518	553	588	623	658	693	728
13967	202	237	272	307	312	377	412	447	482	517	552	587	622	657	692	727
13966	201	236	271	306	311	376	411	446	481	516	551	586	621	656	691	726
13965	200	235	270	305	310	375	410	445	480	515	550	585	620	655	690	725
12964	199	234	269	304	309	374	409	444	479	514	549	584	619	654	689	724
12963	198	233	268	303	308	373	408	443	478	513	548	583	618	653	688	723
12962	197	232	267	302	307	372	407	442	477	512	547	582	617	652	687	722
12961	196	231	266	301	306	371	406	441	476	511	546	581	616	651	686	721
12960	195	230	265	300	305	370	405	440	475	510	545	580	615	650	685	720
12959	194	229	264	299	304	369	404	439	474	509	544	579	614	649	684	719
12958	193	228	263	298	303	368	403	438	473	508	543	578	613	648	683	718
12957	192	227	262	297	302	367	402	437	472	507	542	577	612	647	682	717
12956	191	226	261	296	301	366	401	436	471	506	541	576	611	646	681	716
12955	190	225	260	295	300	365	400	435	470	505	540	575	610	645	680	715
11954	189	224	259	294	299	364	399	434	469	504	539	574	609	644	679	714
11953	188	223	258	293	298	363	398	433	468	503	538	573	608	643	678	713
11952	187	222	257	292	297	362	397	432	467	502	537	572	607	642	677	712
11951	186	221	256	291	296	361	396	431	466	501	536	571	606	641	676	711
11950	185	220	255	290	295	360	395	430	465	500	535	570	605	640	675	710
11949	184	219	254	289	294	359	394	429	464	499	534	569	604	639	674	709
11948	183	218	253	288	293	358	393	428	463	498	533	568	603	638	673	708
0.00					0.50					1.00				1.50		m
Systemausschnitt Flächenelemente Gruppe 2																
Z-X Knotennummern (Max=777)																
Y																
M L 12																

SYSTEM 100

Bild 6.1-6

„System 100“: Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

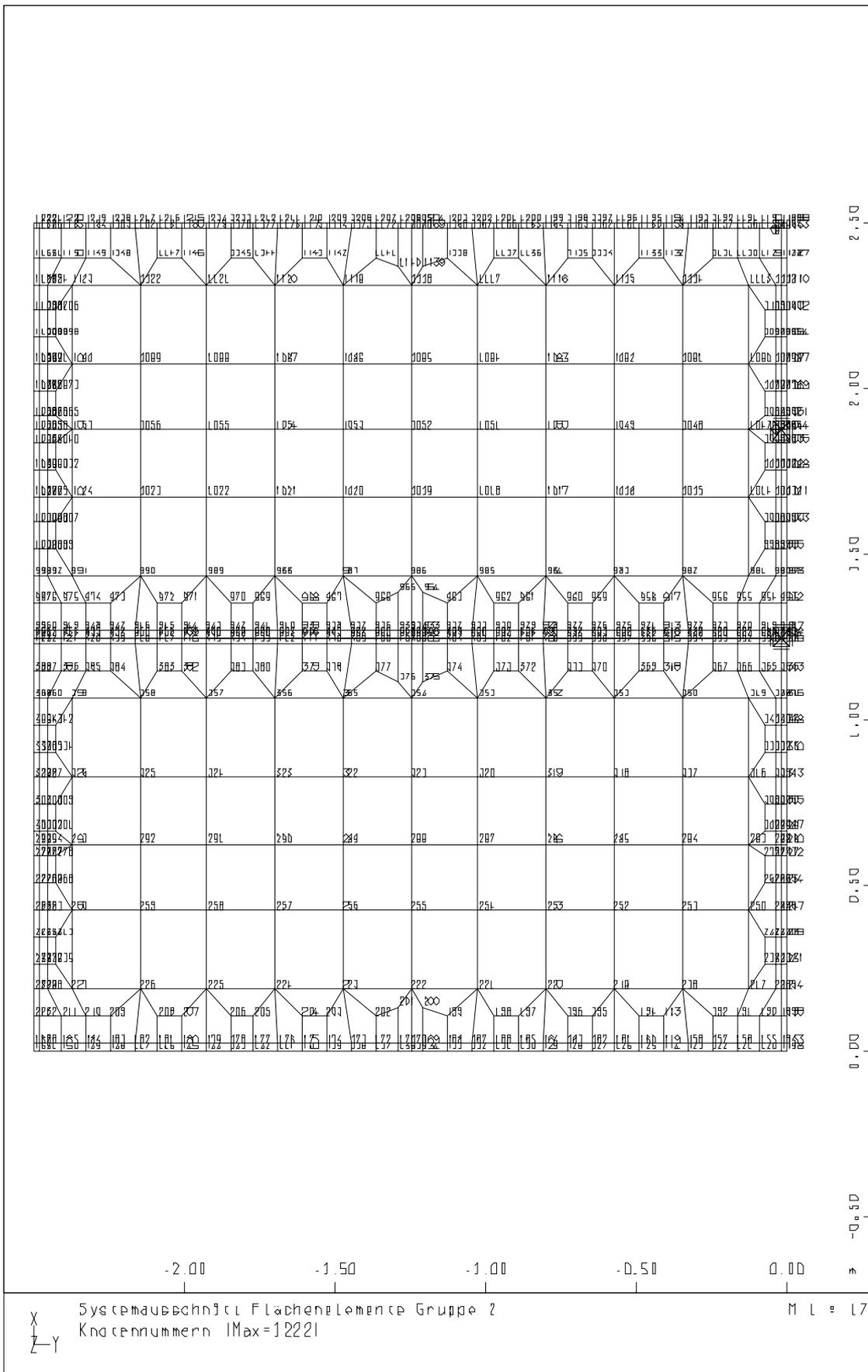
WEINGRAF IVLL 63-991 22.01.2001



SYSTEM 2  
 Bild 6.1-7

„System 2“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern

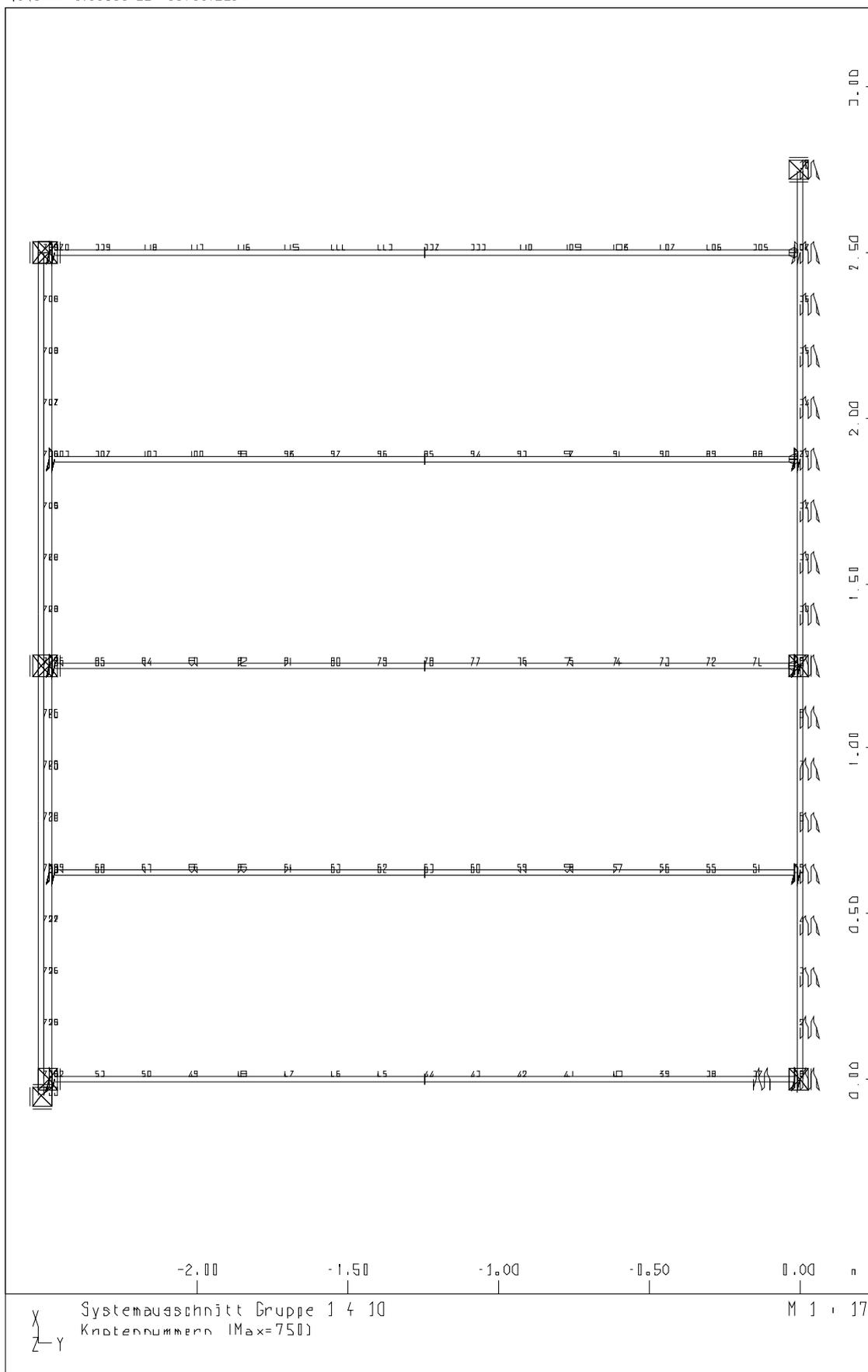
WENGRAF I VLL 63-991 22.01.2001



SYSTEM 2  
 Bild 6.1-8

„System 2“: Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

VJNGRAF [VJ].61-99) 22.01.2004

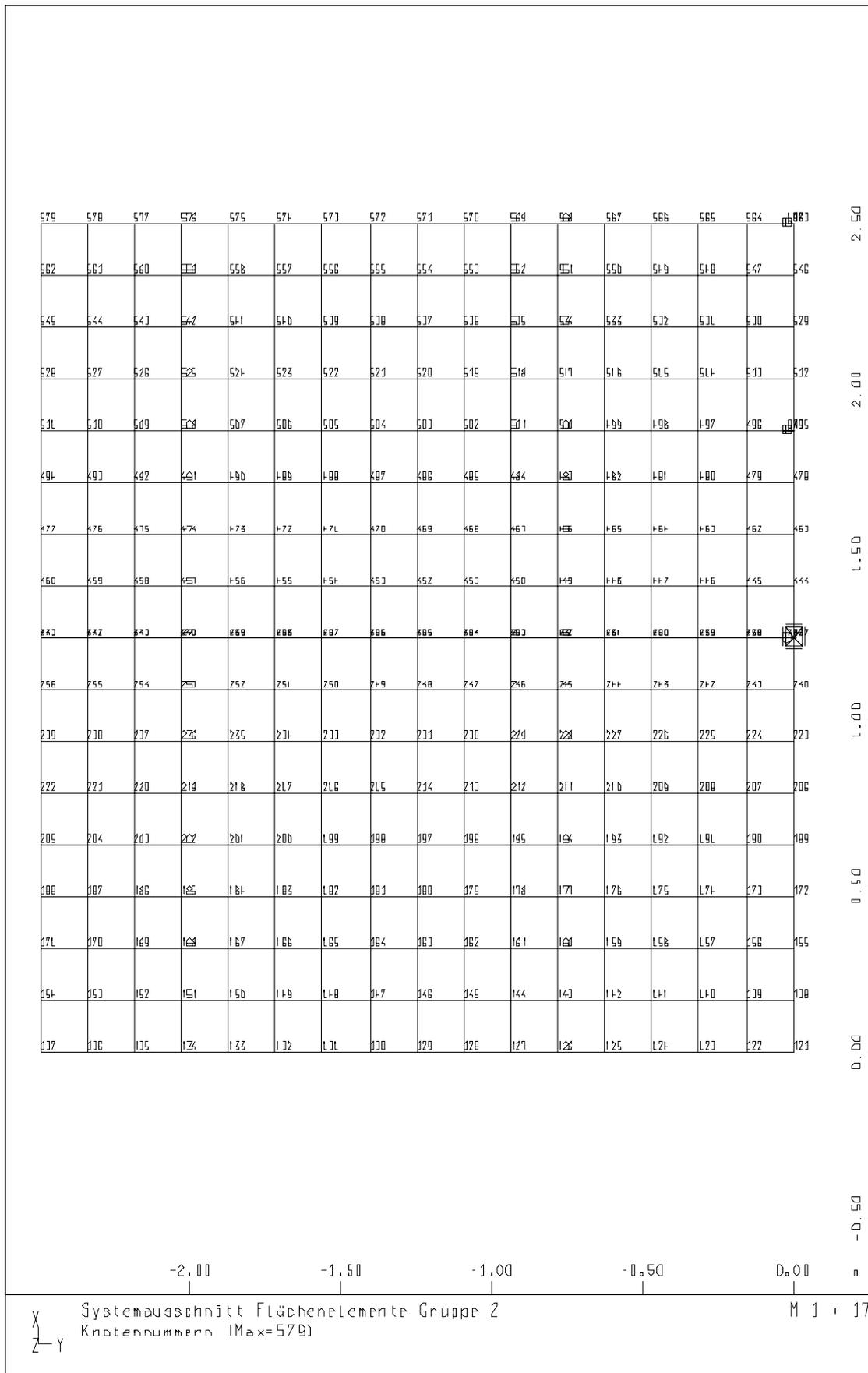


SYSTEM 2D

Bild 6.1-9

„System 20“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern

VJNGRAF [VJ].6]-99] 22.01.2004

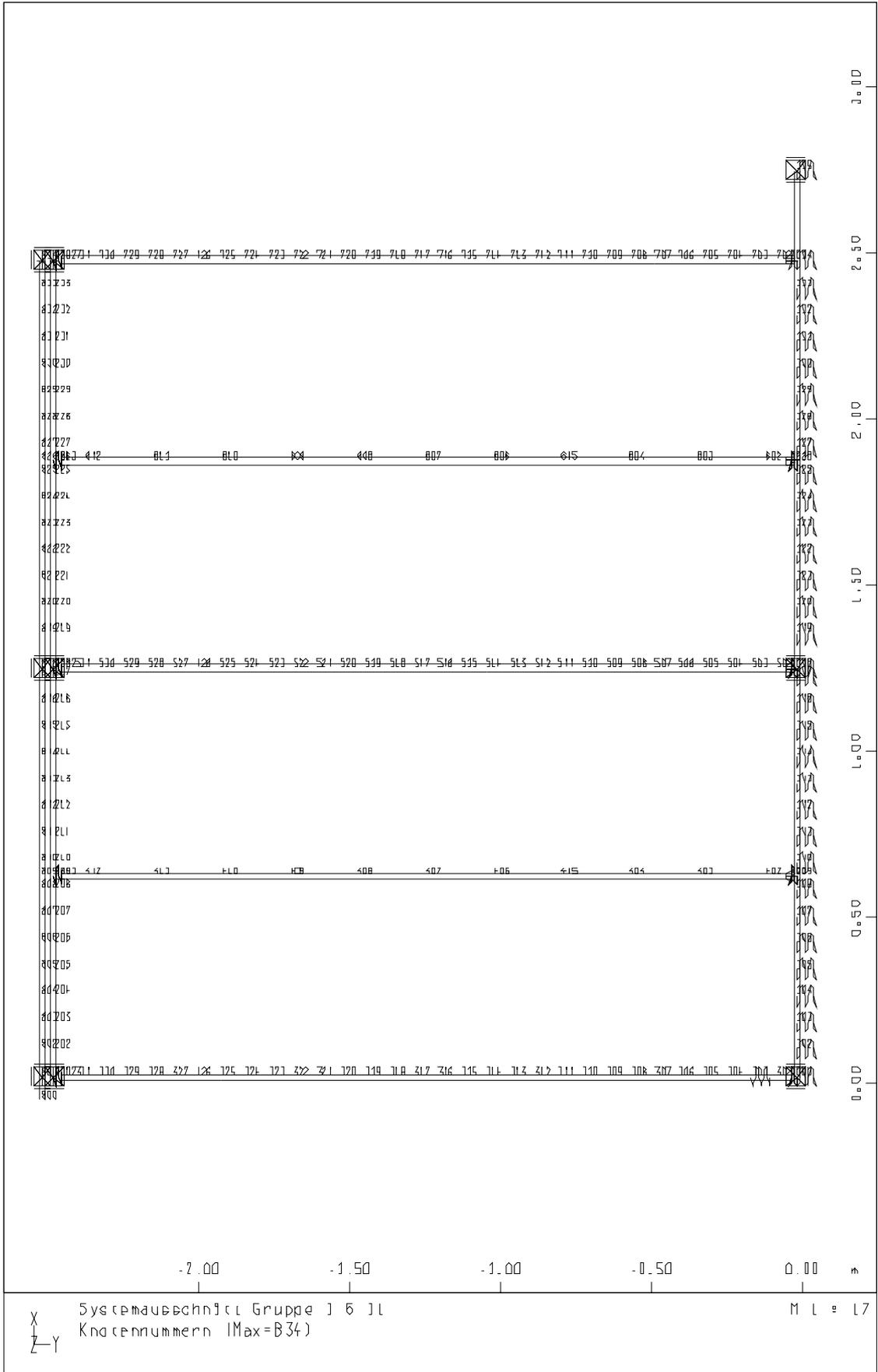


SYSTEM 20

Bild 6.1-10

„System 20“: Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern

NEINGRAF IVLL 63-991 22.01.2004



SYSTEM 200

Bild 6.1-11 „System 200“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern



VINGR HF IV11.6J-99I 23.01.2004

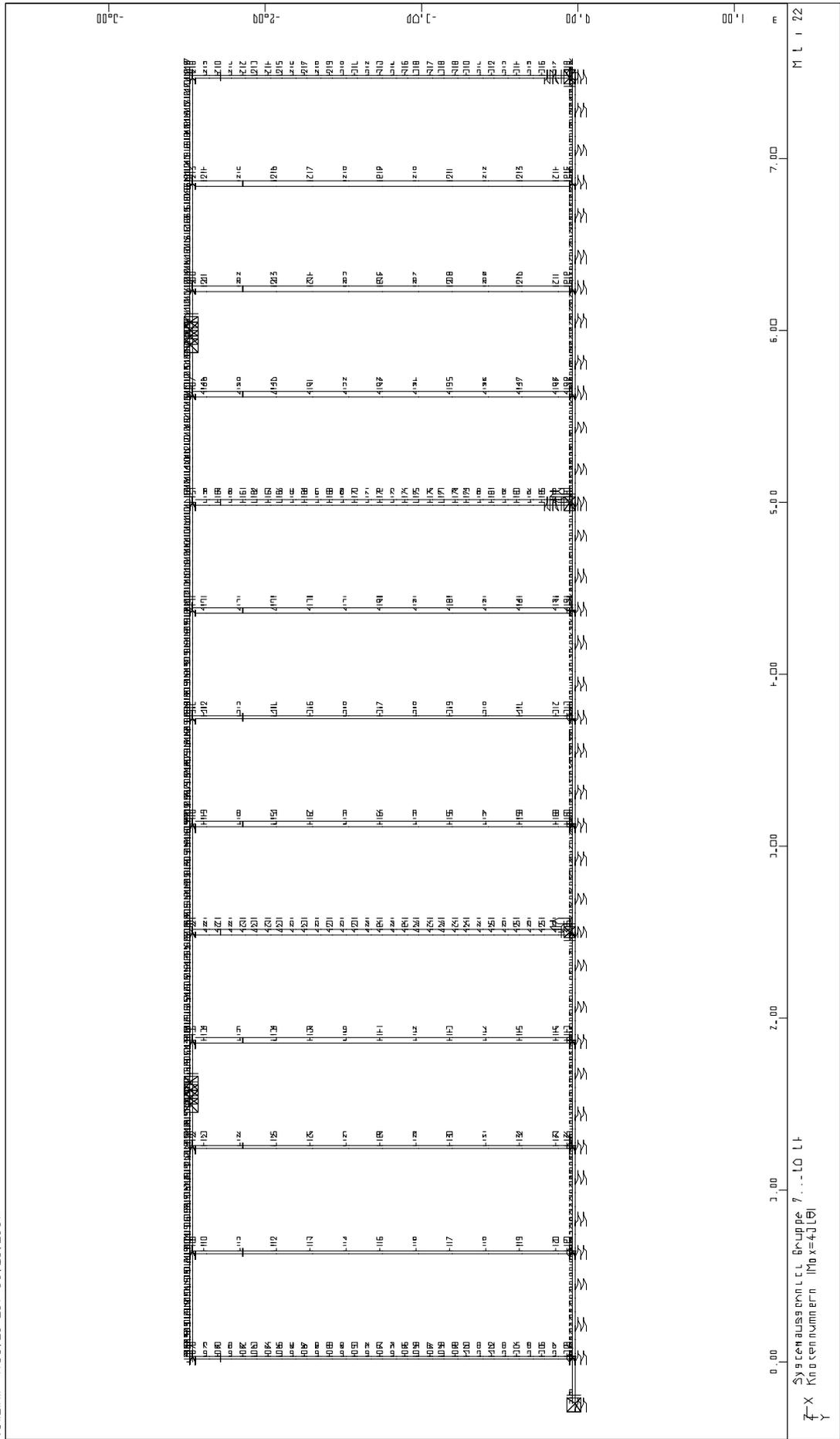
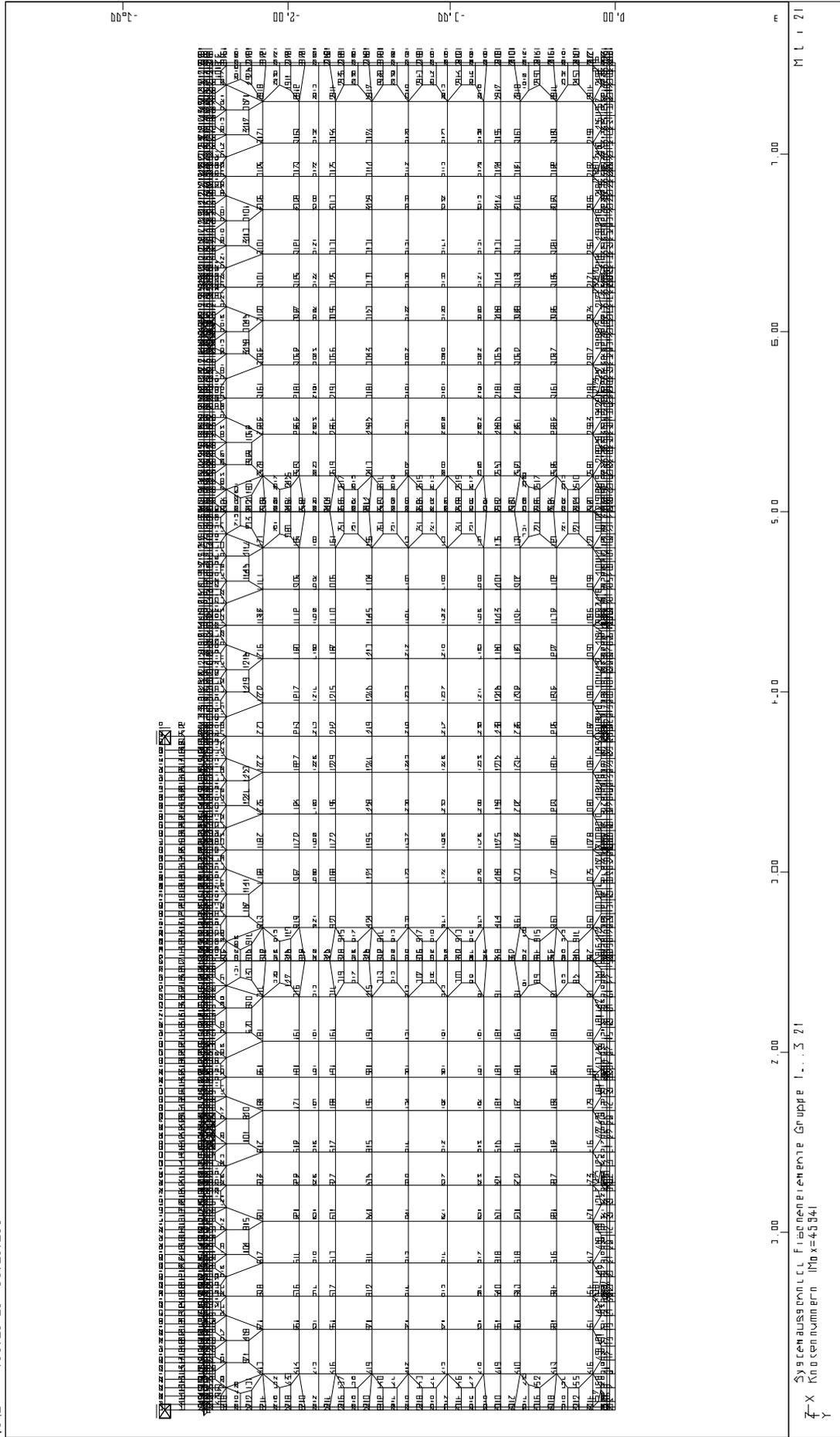


Bild 6.1-13 „System 3“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern

V1NGR BF IV111.63-991 21.01.2014

Bild 6.1-14

„System 3“: Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern



Systemausschnitt Flächenelemente Gruppe 1...3 21

Knotennummer Mtx=45941

SYSTEM 3

M t i 21





V:\INGR\BF IV111.63-991 23.01.2014

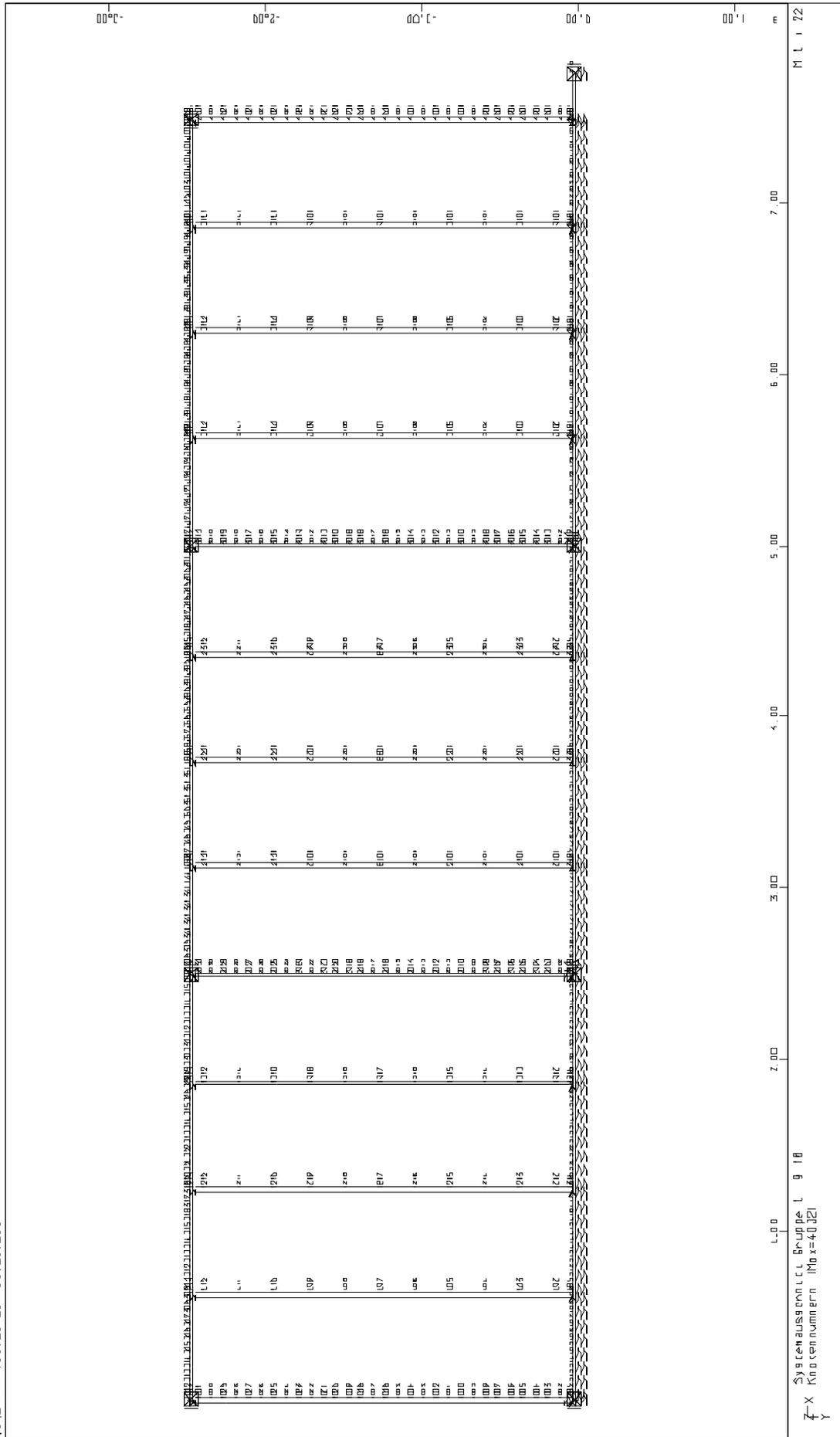


Bild 6.1-17 „System 300“: Systemausschnitt Stäbe, Knotennummern

M L I 22

7.00

6.00

5.00

4.00

3.00

2.00

1.00

0.00

1.00

2.00

3.00

4.00

5.00

6.00

7.00

8.00

9.00

10.00

11.00

12.00

13.00

14.00

15.00

16.00

17.00

18.00

19.00

20.00

21.00

22.00

23.00

24.00

25.00

26.00

27.00

28.00

29.00

30.00

31.00

32.00

33.00

34.00

35.00

36.00

37.00

38.00

39.00

40.00

41.00

42.00

43.00

44.00

45.00

46.00

47.00

48.00

49.00

50.00

51.00

52.00

53.00

54.00

55.00

56.00

57.00

58.00

59.00

60.00

61.00

62.00

63.00

64.00

65.00

66.00

67.00

68.00

69.00

70.00

71.00

72.00

73.00

74.00

75.00

76.00

77.00

78.00

79.00

80.00

81.00

82.00

83.00

84.00

85.00

86.00

87.00

88.00

89.00

90.00

91.00

92.00

93.00

94.00

95.00

96.00

97.00

98.00

99.00

100.00

101.00

102.00

103.00

104.00

105.00

106.00

107.00

108.00

109.00

110.00

111.00

112.00

113.00

114.00

115.00

116.00

117.00

118.00

119.00

120.00

121.00

122.00

123.00

124.00

125.00

126.00

127.00

128.00

129.00

130.00

131.00

132.00

133.00

134.00

135.00

136.00

137.00

138.00

139.00

140.00

141.00

142.00

143.00

144.00

145.00

146.00

147.00

148.00

149.00

150.00

151.00

152.00

153.00

154.00

155.00

156.00

157.00

158.00

159.00

160.00

161.00

162.00

163.00

164.00

165.00

166.00

167.00

168.00

169.00

170.00

171.00

172.00

173.00

174.00

175.00

176.00

177.00

178.00

179.00

180.00

181.00

182.00

183.00

184.00

185.00

186.00

187.00

188.00

189.00

190.00

191.00

192.00

193.00

194.00

195.00

196.00

197.00

198.00

199.00

200.00

201.00

202.00

203.00

204.00

205.00

206.00

207.00

208.00

209.00

210.00

211.00

212.00

213.00

214.00

215.00

216.00

217.00

218.00

219.00

220.00

221.00

222.00

223.00

224.00

225.00

226.00

227.00

228.00

229.00

230.00

231.00

232.00

233.00

234.00

235.00

236.00

237.00

238.00

239.00

240.00

241.00

242.00

243.00

244.00

245.00

246.00

247.00

248.00

249.00

250.00

251.00

252.00

253.00

254.00

255.00

256.00

257.00

258.00

259.00

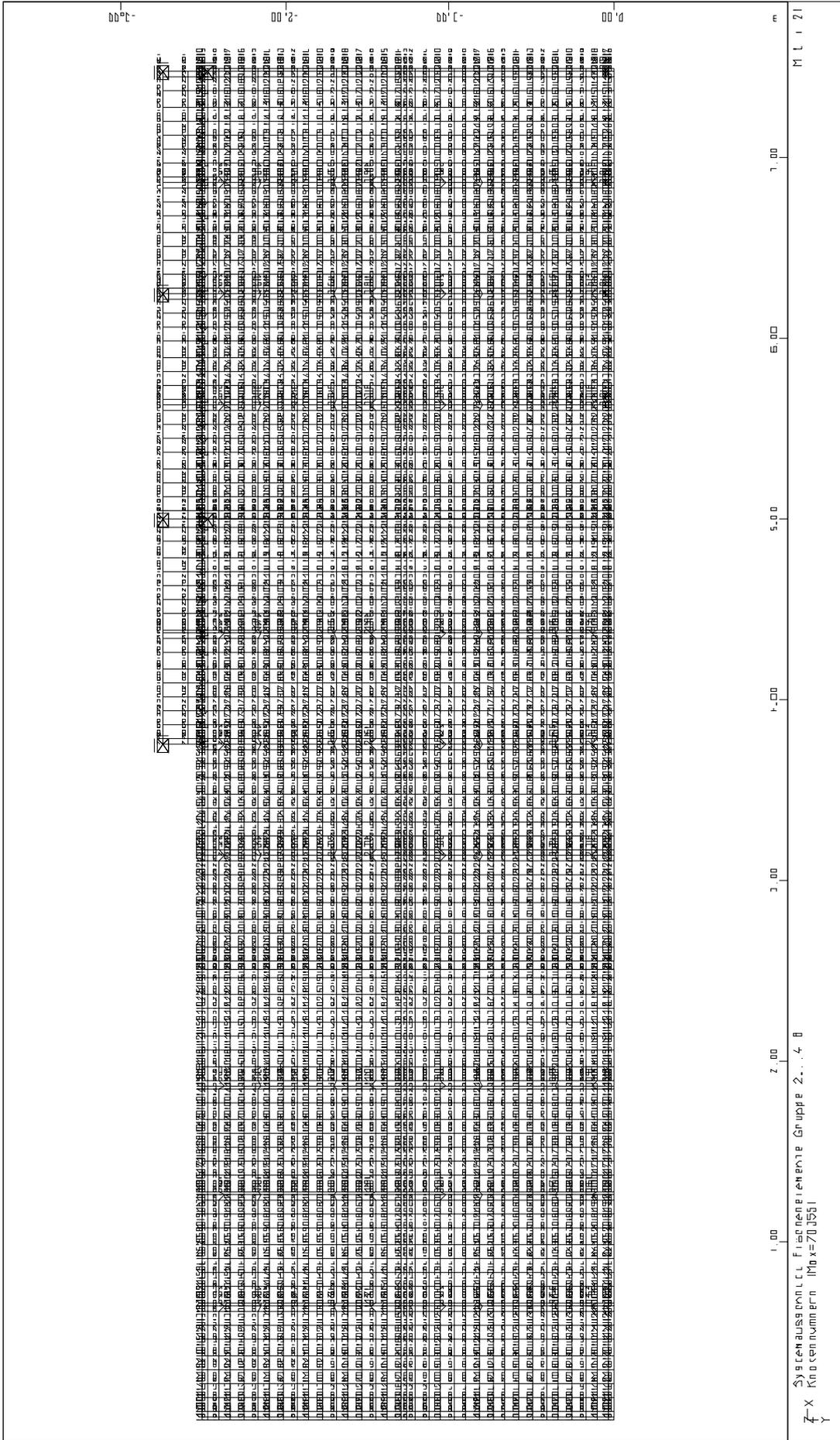
260.00

261.00

262.00

V13MGH BF IV11.63-991 23.01.2014

Bild 6.1-18 „System 300“: Systemausschnitt Flächenelemente, Knotennummern



SYSTEMAUSSCHNITT FLÄCHENELEMENTE

Knotennummern (Mox=70,355)

M I 1 2 I

7.00

6.00

5.00

1.00

3.00

7.00

1.00

1.00

7.00

6.00

5.00

1.00

3.00

7.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

**Anhang 7 zu Kapitel 6.3**  
**Übersicht der Berechnungen, Berechnungsergebnisse**



### System 1-Laststufe 2,5 kN

Berechnungsergebnisse		DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM+Mat.				n.I. VM+Mat.(K)							
					2,5+g <sub>e</sub>													
Laststufe [kN]	2,5+g <sub>e</sub>																	
<b>Nagelbelastung [kN]</b>																		
Nagel 7509		0,087	0,091	0,175	0,259	0,120	0,179	0,180	0,181	0,179	0,262	0,247	0,122					
Nagel 7510		0,113	0,115	0,228	0,275	0,186	0,234	0,235	0,237	0,234	0,278	0,277	0,191					
Nagel 7511		0,143	0,141	0,282	0,336	0,294	0,291	0,292	0,295	0,289	0,339	0,351	0,303					
Nagel 7512		0,176	0,169	0,285	0,345	0,384	0,292	0,292	0,295	0,290	0,346	0,367	0,395					
Nagel 7513		0,211	0,198	0,337	0,403	0,459	0,344	0,344	0,347	0,342	0,402	0,384	0,423					
Nagel 7514		0,247	0,229	0,337	0,411	0,480	0,342	0,342	0,344	0,340	0,406	0,445	0,489					
Nagel 7515		0,284	0,260	0,387	0,422	0,531	0,390	0,390	0,392	0,388	0,459	0,456	0,538					
Nagel 7516		0,318	0,288	0,387	0,476	0,556	0,388	0,387	0,389	0,386	0,462	0,473	0,561					
<b>Nagelverformung [mm]</b>																		
Nagel 7509		0,119	0,107	0,118	0,175	0,061	0,121	0,121	0,122	0,121	0,177	0,167	0,062					
Nagel 7510		0,155	0,135	0,154	0,225	0,126	0,158	0,159	0,160	0,158	0,228	0,227	0,129					
Nagel 7511		0,196	0,165	0,191	0,275	0,240	0,197	0,197	0,199	0,195	0,278	0,287	0,248					
Nagel 7512		0,242	0,198	0,233	0,330	0,368	0,239	0,239	0,242	0,238	0,331	0,351	0,378					
Nagel 7513		0,289	0,232	0,276	0,386	0,498	0,282	0,282	0,284	0,280	0,384	0,417	0,512					
Nagel 7514		0,338	0,268	0,322	0,446	0,634	0,327	0,327	0,330	0,325	0,441	0,483	0,646					
Nagel 7515		0,388	0,305	0,370	0,511	0,775	0,374	0,373	0,375	0,371	0,498	0,553	0,785					
Nagel 7516		0,436	0,337	0,420	0,576	0,922	0,421	0,420	0,422	0,419	0,559	0,625	0,931					

### System 1-Laststufe 5,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse										
Laststufe [kN]	5,0	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM+Mat				n.I. VM+Mat(K)		
Kräfte [kN]	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	10,951	10,961	11,553	11,422	11,590	11,592	11,606	11,580	13,325	13,427	11,436	
	120,34	120,45	126,96	146,73	127,36	127,38	127,54	127,25	146,43	147,55	125,67	
	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840
	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	0,1
Druckkraft D <sub>1</sub>	-5,658	-5,858	-4,892	-2,341	-4,761	-4,763	-4,729	-4,800	-2,298	-2,205	-3,364	
	282,90	292,90	244,60	117,05	238,05	238,15	236,45	240,00	114,90	110,25	168,20	
	7420	10150	n.I. Fe.	1430	n.I. Fe.	n.I. Fe.	n.I. Fe.	n.I. Fe.	1430	1430	1430	1430
<b>Verformungen [mm]</b>												
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-0,762	-0,577	-0,819	-1,637	-0,810	-0,810	-0,808	-0,813	-1,607	-1,542	-2,353	
	54,43	41,21	58,50	116,93	170,86	57,86	57,71	58,07	114,79	110,14	168,07	
Kopfverschiebung h <sub>pb</sub>	4,253	3,315	3,491	5,198	10,250	3,378	3,375	3,360	3,373	4,745	10,066	
	94,51	73,67	77,58	115,51	227,78	75,07	75,00	74,67	74,96	105,44	223,69	
	4,253	3,315	3,491	5,198	10,250	3,378	3,375	3,360	3,374	5,029	10,066	
	0,979	0,798	0,963	1,658	2,271	0,933	0,930	0,918	0,946	1,597	2,200	
	0,388	0,328	0,283	0,375	0,506	0,294	0,294	0,280	0,301	0,374	0,365	0,500
	-0,609	-0,391	-0,336	-0,372	-1,955	-0,346	-0,346	-0,352	-0,368	-0,302	-1,959	
Längenänderung d <sub>z</sub> (der Zugdiagonalen)	0,135	0,139	0,129	0,126	0,152	0,097	0,098	0,075	0,116	0,114	0,139	
	71,25	73,11	68,03	66,24	79,87	50,85	51,64	39,36	61,10	60,18	73,31	
	0,365	0,304	0,271	0,347	0,498	0,273	0,273	0,273	0,349	0,340	0,494	
	0,749	0,588	0,741	1,413	2,007	0,753	0,752	0,748	1,422	1,365	2,012	
	4,247	3,309	3,487	5,179	10,245	3,372	3,368	3,375	5,000	4,716	10,042	
	-0,728	-0,508	-0,442	-0,468	-2,072	-0,443	-0,443	-0,429	-0,480	-0,414	-2,086	
Längenänderung d <sub>b</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,237	-0,227	-0,234	-0,255	-0,243	-0,174	-0,173	-0,145	-0,193	-0,162	-0,145	
	169,14	162,21	166,95	182,04	173,57	124,39	123,87	137,65	115,69	115,92	103,55	
<b>Rechenzeit [sec]</b>	77	142	675	954	1592	1653	1575	1527	1548	1328	1984	

### System 1-Laststufe 5,0 kN

Berechnungsergebnisse		DIN 1052	EC 5	n.i. VM	n.i. VM(K)	n.i. VM+Mat				n.i. VM+Mat(K)			
Laststufe [kN]	5,0+g <sub>e</sub>												
<b>Nagelbelastung [kN]</b>													
Nagel 7509	0,166	0,176	0,288	0,433	0,295	0,301	0,301	0,301	0,305	0,300	0,455	0,454	0,300
Nagel 7510	0,215	0,221	0,325	0,500	0,434	0,337	0,338	0,338	0,343	0,336	0,521	0,514	0,440
Nagel 7511	0,274	0,271	0,403	0,547	0,520	0,418	0,418	0,418	0,376	0,416	0,534	0,522	0,528
Nagel 7512	0,340	0,327	0,431	0,568	0,496	0,445	0,445	0,445	0,452	0,442	0,585	0,569	0,502
Nagel 7513	0,408	0,385	0,457	0,511	0,636	0,470	0,470	0,470	0,477	0,467	0,522	0,505	0,643
Nagel 7514	0,480	0,446	0,486	0,580	0,647	0,498	0,497	0,503	0,503	0,494	0,590	0,569	0,652
Nagel 7515	0,553	0,508	0,503	0,652	0,767	0,513	0,512	0,518	0,518	0,509	0,659	0,633	0,772
Nagel 7516	0,622	0,564	0,526	0,603	0,678	0,535	0,535	0,540	0,540	0,532	0,606	0,698	0,680
<b>Nagelverformung [mm]</b>													
Nagel 7509	0,227	0,206	0,236	0,524	0,242	0,246	0,247	0,250	0,246	0,246	0,550	0,549	0,246
Nagel 7510	0,295	0,259	0,311	0,661	0,471	0,323	0,323	0,328	0,328	0,322	0,689	0,680	0,478
Nagel 7511	0,376	0,318	0,386	0,797	0,757	0,400	0,400	0,409	0,409	0,398	0,828	0,810	0,769
Nagel 7512	0,466	0,383	0,468	0,942	1,061	0,484	0,483	0,491	0,480	0,480	0,970	0,943	1,074
Nagel 7513	0,559	0,450	0,553	1,094	1,362	0,570	0,569	0,577	0,565	0,565	1,118	1,082	1,377
Nagel 7514	0,657	0,522	0,642	1,243	1,671	0,658	0,657	0,665	0,653	0,653	1,263	1,218	1,685
Nagel 7515	0,758	0,595	0,733	1,396	1,983	0,748	0,747	0,755	0,742	0,742	1,411	1,356	1,995
Nagel 7516	0,852	0,661	0,816	1,557	2,313	0,830	0,829	0,837	0,824	0,824	1,566	1,495	2,320

### System 1-Laststufe 7,5 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse											
DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM+Mat				n.I. VM+Mat(K)				
7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>
7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>
16,564	16,578	16,938	16,533	16,130	16,968	16,978	16,991	16,978	16,978	18,542	18,730	16,152	16,152
123,61	123,72	126,40	138,31	120,37	126,63	126,70	126,80	126,70	126,80	138,37	139,78	120,54	120,54
27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840
1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	0,1	0,1
-8,416	-8,715	-9,224	-6,739	-8,925	-9,138	-9,120	-9,088	-9,152	-9,152	-6,688	-6,587	-8,830	-8,830
7420	10150	n.I. Fe.	3490	3490	n.I. Fe.	3490	3490	3490	3490				
Schwellenzus-drückung													
-1,134	-0,859	-1,117	-1,931	-2,557	-1,112	-1,110	-1,108	-1,112	-1,112	-1,916	-1,887	-2,530	-2,530
70,88	53,69	69,81	120,69	159,81	69,50	69,38	69,25	69,50	69,50	119,75	117,94	158,13	158,13
6,374	4,965	5,210	6,918	13,212	5,051	5,049	5,042	5,035	5,035	6,737	6,483	13,007	13,007
102,81	80,08	84,03	111,58	213,10	81,47	81,44	81,32	81,21	81,21	108,66	104,56	209,79	209,79
6,375	4,966	5,209	6,918	13,212	5,051	5,048	5,041	5,035	5,035	6,737	6,482	13,007	13,007
1,455	1,187	1,372	2,064	2,533	1,341	1,340	1,320	1,357	1,357	2,008	1,985	2,462	2,462
0,582	0,493	0,466	0,570	0,703	0,470	0,470	0,461	0,475	0,475	0,566	0,565	0,696	0,696
-0,923	-0,591	-0,541	-0,579	-2,859	-0,553	-0,554	-0,541	-0,564	-0,564	-0,573	-0,484	-2,863	-2,863
0,207	0,212	0,200	0,194	0,233	0,150	0,149	0,180	0,117	0,117	0,178	0,175	0,212	0,212
74,08	75,65	71,31	69,36	83,25	53,72	53,28	64,32	41,85	41,85	63,53	62,67	75,77	75,77
0,548	0,455	0,456	0,547	0,714	0,455	0,453	0,457	0,450	0,450	0,550	0,548	0,710	0,710
1,114	0,874	1,085	1,752	2,215	1,108	1,104	1,113	1,099	1,099	1,783	1,761	2,233	2,233
6,365	4,956	5,203	6,905	13,208	5,041	5,039	5,011	5,040	5,040	6,700	6,444	12,985	12,985
-1,102	-0,769	-0,693	-0,717	-3,019	-0,690	-0,691	-0,708	-0,670	-0,670	-0,732	-0,639	-3,037	-3,037
-0,350	-0,337	-0,314	-0,339	-0,299	-0,230	-0,233	-0,196	-0,259	-0,259	-0,212	-0,214	-0,177	-0,177
174,88	168,71	157,16	169,33	149,30	115,24	116,61	98,22	129,30	129,30	106,03	106,91	88,57	88,57
78	95	559	920	1545	1424	1347	1492	1506	1506	1317	1491	1852	1852

### System 1-Laststufe 7,5 kN

Berechnungsergebnisse		DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM+Mat				n.I. VM+Mat(K)		
Laststufe [kN]	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub> MW18	7,5+g <sub>e</sub> MW06	7,5+g <sub>e</sub> ED06	7,5+g <sub>e</sub> EZ06	7,5+g <sub>e</sub> ED06	7,5+g <sub>e</sub> ED06	7,5+g <sub>e</sub> ED06					
<b>Nagelbelastung [kN]</b>													
Nagel 7509	0,246	0,261	0,374	0,490	0,297	0,390	0,388	0,394	0,384	0,384	0,516	0,486	0,301
Nagel 7510	0,318	0,328	0,430	0,530	0,400	0,448	0,445	0,452	0,441	0,441	0,555	0,568	0,408
Nagel 7511	0,406	0,402	0,479	0,601	0,512	0,458	0,495	0,462	0,491	0,487	0,487	0,493	0,522
Nagel 7512	0,504	0,485	0,530	0,552	0,489	0,500	0,497	0,504	0,493	0,572	0,574	0,497	0,497
Nagel 7513	0,606	0,571	0,534	0,638	0,664	0,551	0,549	0,556	0,545	0,658	0,656	0,656	0,675
Nagel 7514	0,713	0,663	0,577	0,603	0,701	0,594	0,591	0,598	0,587	0,619	0,614	0,710	0,710
Nagel 7515	0,823	0,756	0,510	0,677	0,646	0,522	0,520	0,526	0,517	0,691	0,684	0,653	0,653
Nagel 7516	0,927	0,841	0,564	0,747	0,759	0,575	0,573	0,579	0,569	0,761	0,750	0,766	0,766
<b>Nagelverformung [mm]</b>													
Nagel 7509	0,337	0,306	0,358	0,647	0,243	0,373	0,371	0,377	0,367	0,681	0,709	0,247	0,247
Nagel 7510	0,435	0,384	0,466	0,822	0,383	0,486	0,483	0,491	0,479	0,861	0,880	0,390	0,390
Nagel 7511	0,556	0,471	0,580	0,996	0,676	0,605	0,600	0,611	0,595	1,044	1,055	0,690	0,690
Nagel 7512	0,690	0,568	0,700	1,182	1,048	0,729	0,724	0,735	0,719	1,225	1,229	1,065	1,065
Nagel 7513	0,830	0,669	0,827	1,366	1,423	0,855	0,851	0,862	0,844	1,409	1,404	1,446	1,446
Nagel 7514	0,977	0,776	0,957	1,559	1,811	0,984	0,980	0,992	0,973	1,599	1,587	1,835	1,835
Nagel 7515	1,127	0,885	1,093	1,750	2,206	1,118	1,114	1,126	1,107	1,787	1,767	2,229	2,229
Nagel 7516	1,270	0,984	1,207	1,931	2,590	1,231	1,227	1,240	1,219	1,966	1,938	2,616	2,616



### System 1-Laststufe 15,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse									
DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)		n.l. VM+Mat			n.l. VM+Mat(K)			
15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>
Material											
15,0 Laststufe [kN]											
28,2 Zug , Knoten 41	33,410	32,884	33,802	31,037	32,732	32,835	32,729	33,847	30,999		
% des Versuchswertes	118,48	117,94	119,87	110,96	116,07	116,05	116,44	120,02	109,93		
mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840		
mit C <sub>2</sub> =n x C	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,10		
Stieldruckkräfte [kN]											
-18,7 Stiel 3, Stab 1581	-16,692	-17,283	-21,116	-23,937	-22,453	-22,457	-22,477	-20,952	-24,221		
% des Versuchswertes	89,26	92,42	119,87	112,92	120,07	120,09	120,20	112,04	129,52		
mit C <sub>p</sub> =	7420	10150	n.l. Fe.	7190	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	7190	7190		
Schwellenzus-drückung											
-2,6 unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-2,250	-1,703	-2,248	-2,937	-2,252	-2,253	-2,255	-2,914	-3,369		
(unter D <sub>1</sub> )	86,54	65,50	86,46	112,96	128,04	86,65	87,12	112,08	129,58		
% des Versuchswertes											
Kopfverschiebung [mm]											
12,5 Knoten 116, vx	12,738	9,908	12,031	13,779	24,029	12,016	12,021	11,990	23,981		
% des Versuchswertes	101,90	79,26	96,25	110,23	192,23	96,13	96,17	95,92	107,85		
Knotenverschiebung [mm]											
Knoten 386, vx	12,739	9,909	12,031	13,779	24,028	12,016	12,021	12,057	23,979		
Knoten 386, vy	2,884	2,352	2,929	3,511	3,692	2,914	2,913	2,896	3,426		
Knoten 190, vx	1,164	0,985	1,365	1,561	1,635	1,436	1,436	1,448	1,698		
Knoten 190, vy	-1,864	-1,190	-1,431	-1,554	-5,901	-1,506	-1,506	-1,475	-5,880		
0,47 Verformung Zugdiagonale	0,433	0,436	0,411	0,410	0,523	0,320	0,323	0,384	0,248	0,387	0,499
(der Zugdiagonalen)	92,12	92,65	87,35	87,31	111,27	68,16	68,79	81,61	52,70	82,29	106,14
Knotenverschiebung [mm]											
Knoten 365, vx	1,095	0,909	1,366	1,545	1,656	1,424	1,425	1,444	1,415	1,533	1,745
Knoten 365, vy	2,208	1,732	2,497	3,073	3,244	2,571	2,572	2,621	2,562	3,124	3,406
Knoten 211, vx	12,718	9,890	12,004	13,743	24,015	11,987	11,993	11,999	11,993	13,416	23,931
Knoten 211, vy	-2,225	-1,550	-1,640	-1,743	-6,160	-1,688	-1,687	-1,717	-1,643	-1,795	-6,164
-0,42 Verformung Druckdiagonale	-0,679	-0,661	-0,551	-0,561	-0,449	-0,409	-0,411	-0,334	-0,464	-0,340	-0,228
(der Druckdiagonalen)	161,66	157,38	131,17	133,63	106,95	97,38	97,86	79,41	110,58	80,87	54,24
% des Versuchswertes											
Rechenzeit [sec]	78	95	681	1127	1705	1593	1518	1509	1516	1503	1917

### System 1-Laststufe 20,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse												
		DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)		n.l. VM+Mat			n.l. VM+Mat(K)				
Laststufe [kN]	20,0	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>
Kräfte [kN]														
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	40,0	44,642	44,460	43,500	44,707	41,409	43,149	43,152	43,233	43,160	44,772	45,159	41,427	
		111,61	111,15	108,75	111,77	103,52	107,87	107,88	108,08	107,90	111,93	112,90	103,57	
		27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	
		1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	0,1	
Druckkraft D <sub>1</sub>	-25,3	-22,209	-23,000	-31,216	-29,324	-32,786	-31,567	-31,560	-31,591	-31,605	-29,188	-28,880	-32,681	
		87,78	90,94	123,38	115,91	129,59	124,77	124,74	124,87	124,92	115,37	114,15	129,17	
		7420	10150	n.l. Fe.	6325	6325	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	6325	6325	6325	
Verformungen [mm]														
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub>	-4,0	-2,993	-2,266	-3,348	-4,636	-5,184	-3,391	-3,390	-3,394	-3,396	-4,615	-4,566	-5,167	
(unter D <sub>1</sub> )		74,83	56,65	83,70	115,90	129,60	84,78	84,75	84,85	84,90	115,38	114,15	129,18	
Kopfverschiebung h <sub>pb</sub>	19,2	16,981	13,205	19,050	22,798	36,417	19,765	19,757	19,878	19,633	22,402	21,865	36,175	
		88,44	68,78	99,22	118,74	189,67	102,94	102,90	103,93	102,26	116,68	113,88	188,41	
		16,982	13,206	19,050	22,798	36,416	19,765	19,758	19,876	19,635	22,402	21,865	36,174	
		3,837	3,129	4,419	5,501	5,887	4,492	4,488	4,467	4,517	5,443	5,397	5,839	
		1,553	1,314	2,503	2,890	3,086	2,683	2,682	2,699	2,697	2,880	2,867	3,086	
		-2,492	-1,588	-2,418	-2,848	-8,452	-2,703	-2,705	-2,678	-2,724	-2,856	-2,664	-8,526	
Längenänderung d <sub>z</sub>	0,63	0,591	0,592	0,593	0,617	0,808	0,490	0,489	0,574	0,388	0,501	0,499	0,682	
(der Zugdiagonalen)		93,76	94,02	94,09	97,86	128,28	77,70	77,59	91,19	61,56	79,54	79,24	108,32	
		1,460	1,212	2,477	2,842	3,090	2,651	2,652	2,708	2,638	2,833	2,814	3,092	
		2,938	2,305	3,930	5,000	5,421	4,124	4,125	4,200	4,092	5,041	4,996	5,480	
		16,954	13,180	19,023	22,754	36,404	19,737	19,729	19,807	19,639	22,357	21,816	36,154	
		-2,974	-2,070	-2,694	-3,089	-8,730	-2,938	-2,937	-2,985	-2,847	-3,075	-2,882	-8,750	
Längenänderung d <sub>br</sub>	-0,59	-0,889	-0,872	-0,661	-0,673	-0,457	-0,478	-0,474	-0,370	-0,556	-0,493	-0,501	-0,284	
(der Druckdiagonalen)		150,72	147,72	112,10	114,08	77,42	80,99	80,37	62,79	94,27	83,49	84,91	48,21	
		81	104	687	1166	1731	1690	1621	1688	1630	1579	1595	2121	

### System 1-Laststufe 25,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen

85 und 115% des Versuchswertes)

#### Versuchsergebnisse Berechnungsergebnisse

Laststufe [kN]	25,0	Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM+Mat				n.I. VM+Mat(K)	
						25,0+g <sub>e</sub>		25,0+g <sub>e</sub>					
Kräfte [kN]													
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	51,9	Zug, Knoten 41	55,873	55,555	53,930	51,887	53,759	53,760	53,675	53,724	56,414	56,812	
		% des Versuchswertes	107,66	107,04	103,91	99,97	103,58	103,58	103,42	103,51	108,70	109,46	
		mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	
		mit C <sub>z</sub> =n x C	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	
		Stieldruckkräfte [kN]											
Druckkraft D <sub>1</sub>	-33,3	Stiel 3, Stab 1581	-27,726	-28,711	-40,264	-36,968	-40,493	-40,492	-40,533	-40,591	-36,952	-36,634	
		% des Versuchswertes	83,26	86,22	120,91	111,02	124,92	121,60	121,72	121,89	110,97	110,01	
		mit C <sub>D</sub> =	7420	10150	n.I. Fe.	5285	5285	n.I. Fe.	n.I. Fe.	n.I. Fe.	5285	5285	
Verformungen [mm]		Schwellenzus-drückung											
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub>	-6,3	(unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 : (unter D <sub>1</sub> ))	-3,737	-2,829	-4,479	-6,995	-7,871	-4,507	-4,512	-4,520	-6,992	-6,932	
		% des Versuchswertes	59,32	44,90	71,10	111,03	124,94	71,54	71,54	71,62	71,75	110,98	
Kopfverschiebung h <sub>po</sub>	29,1	Knoten 116, vx	21,224	16,499	28,041	35,737	53,214	29,677	29,677	29,866	29,579	34,566	
		% des Versuchswertes	72,93	56,70	96,36	122,81	182,87	101,98	101,98	102,63	101,65	121,31	
		Knotenverschiebung [mm]											
		Knoten 386, vx	21,225	16,500	28,041	35,739	53,215	29,678	29,678	29,864	29,582	34,569	
		Knoten 386, vy	4,789	3,906	6,148	8,408	9,226	6,408	6,410	6,373	6,444	8,338	
		Knoten 190, vx	1,941	1,642	4,015	4,890	5,255	4,480	4,480	4,461	4,499	4,933	
		Knoten 190, vy	-3,120	-1,987	-3,851	-4,678	-11,516	-4,240	-4,239	-4,225	-4,312	-4,496	
Längenänderung d <sub>z</sub>	0,77	Verformung Zugdiagonale	0,757	0,750	0,837	0,899	1,228	0,738	0,737	0,869	0,592	0,624	
(der Zugdiagonalen)		% des Versuchswertes	98,25	97,46	108,68	116,69	159,44	95,85	95,73	112,90	76,86	82,72	
		Knotenverschiebung [mm]											
		Knoten 365, vx	1,825	1,515	3,961	4,810	5,241	4,416	4,416	4,433	4,402	4,798	
		Knoten 365, vy	3,668	2,877	5,657	7,848	8,690	6,044	6,044	6,055	5,994	7,873	
		Knoten 211, vx	21,190	16,468	28,021	35,681	53,191	29,638	29,638	29,787	29,588	34,556	
		Knoten 211, vy	-3,723	-2,590	-4,194	-5,005	-11,829	-4,534	-4,535	-4,710	-4,461	-4,669	
Längenänderung d <sub>br</sub>	-0,80	Verformung Druckdiagonale	-1,093	-1,078	-0,720	-0,680	-0,356	-0,518	-0,517	-0,371	-0,616	-0,569	
(der Druckdiagonalen)		% des Versuchswertes	136,59	134,79	89,99	84,96	44,44	64,70	64,59	46,42	77,00	71,07	
Rechenzeit [sec]			80	93	771	1194	1708	1925	1759	1715	1788	1621	

### System 1-Laststufe 30,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

		Berechnungsergebnisse									
		DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)		n.l. VM+Mat			n.l. VM+Mat(K)	
Laststufe [kN]	30,0	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>
<b>Kräfte [kN]</b>											
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	63,5	Zug, Knoten 41	66,744	64,137	62,340	64,015	64,014	64,049	63,987	67,525	67,632
		% des Versuchswertes	105,68	105,11	98,17	100,81	100,81	100,86	100,77	106,34	106,51
		mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>z</sub> =n x C	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5
		Stieldruckkräfte [kN]									
Druckkraft D <sub>1</sub>	-41,7	Stiel 3, Stab 1581	-33,243	-34,425	-49,789	-44,720	-50,174	-50,071	-50,129	-44,592	-44,490
		% des Versuchswertes	79,72	82,55	119,40	107,24	120,32	120,07	120,21	106,94	106,69
		mit C=	7420	10150	n.l. Fe.	4635	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	4635	4635
<b>Verformungen [mm]</b>											
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub>	-9,0	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-4,480	-3,392	-5,669	-9,648	-10,674	-5,717	-5,704	-9,621	-9,599
(unter D <sub>1</sub> )		% des Versuchswertes	49,78	37,69	62,99	107,20	118,60	63,52	63,38	63,46	106,66
		Kopfverschiebung [mm]									
Kopfverschiebung h <sub>pb</sub>	41,7	Knoten 116, vx	25,466	19,796	39,484	52,474	72,195	43,189	43,299	51,759	50,750
		% des Versuchswertes	61,07	47,47	94,69	125,84	173,13	103,57	103,93	103,00	124,12
		Knotenverschiebung [mm]									
		Knoten 386, vx	25,468	19,798	39,485	52,478	72,195	43,189	43,297	42,955	50,756
		Knoten 386, vy	5,741	4,684	8,238	11,967	12,861	8,912	8,914	8,863	11,931
		Knoten 190, vx	2,330	1,970	6,177	7,492	7,836	6,934	6,933	6,937	7,496
		Knoten 190, vy	-3,748	-2,386	-5,749	-7,273	-15,041	-6,545	-6,546	-6,491	-7,342
Längenänderung d <sub>z</sub>	0,89	Verformung Zugdiagonale	0,929	0,913	1,118	1,316	1,833	1,031	1,028	1,169	0,980
(der Zugdiagonalen)		% des Versuchswertes	104,35	102,63	125,62	147,82	205,91	115,84	115,48	131,31	110,11
		Knotenverschiebung [mm]									
		Knoten 365, vx	2,190	1,817	6,084	7,378	7,793	6,863	6,865	6,923	7,353
		Knoten 365, vy	4,397	3,450	7,729	11,305	12,284	8,554	8,556	8,633	8,477
		Knoten 211, vx	25,426	19,759	39,446	52,412	72,173	43,154	43,152	43,202	42,981
		Knoten 211, vy	-4,472	-3,111	-6,128	-7,719	-15,416	-6,891	-6,890	-6,967	-7,549
Längenänderung d <sub>br</sub>	-1,01	Verformung Druckdiagonale	-1,290	-1,281	-0,746	-0,592	-0,445	-0,443	-0,298	-0,551	-0,477
(der Druckdiagonalen)		% des Versuchswertes	127,77	126,82	73,84	58,60	44,10	43,86	29,54	54,60	48,86
<b>Rechenzeit [sec]</b>			78	92	724	1312	1881	1946	1710	1735	1586

### System 10-Laststufe 2,5 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse						
Laststufe [kN]	2,5 Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM +Mat	n.I. VM +Mat(K)
<b>Kräfte [kN]</b>								
Anker-Zugkraft $Z_A$	4,6	5,178	5,238	5,726	6,104	5,350	5,748	5,917
	% vom Versuchswert	112,57	113,87	124,48	132,70	116,30	124,96	128,63
	mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840
	mit $C_z=n \times C$	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	0,5
	Stieldruckkräfte [kN]							
Druckkraft $D_1$	k.A.	-2,722	-2,829	-1,190	-0,339	-0,509	-1,076	-0,334
	% vom Versuchswert							
	mit $C_D=$	7420	10150	n.I. Fe.	600	600	n.I. Fe.	600
<b>Verformungen [mm]</b>								
Schwelleneindrückung $d_u$								
(unter $D_1$ )	-0,8	-0,367	-0,279	-0,429	-0,564	-0,849	-0,405	-0,557
	% vom Versuchswert	45,88	34,88	53,63	70,50	106,13	50,63	69,63
	Kopfverschiebung [mm]							
Kopfverschiebung $h_{p0}$	2,4	2,061	1,617	1,719	1,979	4,241	1,584	2,082
	% vom Versuchswert	85,88	67,38	71,63	82,46	176,71	66,00	86,75
	Knotenverschiebung [mm]							
	Knoten 386, vx	1,947	1,528	1,591	1,837	3,974	1,493	1,963
	Knoten 386, vy	0,423	0,348	0,434	0,534	0,687	0,395	0,501
	Knoten 190, vx	0,238	0,196	0,170	0,188	0,325	0,158	0,189
	Knoten 190, vy	-0,249	-0,159	-0,123	-0,123	-0,824	-0,125	-0,208
Längenänderung $d_z$	0,10	0,056	0,059	0,048	0,046	0,052	0,048	0,048
(der Zugdiagonalen)	% vom Versuchswert	56,25	59,12	48,28	46,36	51,86	48,36	47,91
	Knotenverschiebung [mm]							
	Knoten 365, vx	0,230	0,188	0,160	0,177	0,316	0,150	0,181
	Knoten 365, vy	0,317	0,251	0,306	0,393	0,537	0,306	0,398
	Knoten 211, vx	1,945	1,525	1,583	1,828	3,967	1,487	1,957
	Knoten 211, vy	-0,297	-0,206	-0,168	-0,167	-0,873	-0,182	-0,266
Längenänderung $d_b$	-0,06	-0,111	-0,106	-0,124	-0,135	-0,139	-0,078	-0,089
(der Druckdiagonalen)	% vom Versuchswert	184,20	177,01	207,34	225,01	231,65	129,51	147,56
<b>Rechenzeit [sec]</b>		34	30	285	246	309	497	439

### System 10-Laststufe 5,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse						
Laststufe [kN]	5,0	Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)	n.I. VM +Mat	n.I. VM +Mat(K)
Kräfte [kN]								
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	9,1	Zug , Knoten 41	10,591	10,710	11,294	12,818	11,010	11,368
		% vom Versuchswert	116,38	117,69	124,11	140,86	120,99	124,92
		mit C= [kN/m]	27320	54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>z</sub> =n x C n=	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0
		Stieldruckkräfte [kN]						
Druckkraft D <sub>1</sub>	-2,0	Stiel 3, Stab 1581	-5,319	-5,518	-4,192	-2,055	-2,863	-4,139
		% vom Versuchswert	265,95	275,90	209,60	102,75	143,15	206,95
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.I. Fe.	1430	1430	n.I. Fe.
Verformungen [mm]		Schwellenzus.-drückung						
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-1,4	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 : % vom Versuchswert	-0,717	-0,544	-0,771	-1,437	-2,002	-0,767
		Kopfverschiebung [mm]	51,21	38,86	55,07	102,64	143,00	54,79
Kopfverschiebung h <sub>po</sub>	4,5	Knoten 116, vx	4,110	3,220	3,408	4,801	9,358	3,244
		% vom Versuchswert	91,33	71,56	75,73	106,69	207,96	72,09
		Knotenverschiebung [mm]						
		Knoten 386, vx	3,883	3,042	3,153	4,473	8,778	3,062
		Knoten 386, vy	0,822	0,675	0,815	1,340	1,650	0,785
		Knoten 190, vx	0,476	0,392	0,357	0,480	0,740	0,343
		Knoten 190, vy	-0,512	-0,330	-0,278	-0,276	-1,687	-0,277
Längenänderung d <sub>z</sub> (der Zugdiagonalen)	0,19	Verformung Zugdiagonale % vom Versuchswert	0,119	0,122	0,099	0,091	0,115	0,097
		Knotenverschiebung [mm]	62,50	64,12	51,93	48,15	60,55	50,91
		Knoten 365, vx	0,461	0,376	0,348	0,469	0,741	0,339
		Knoten 365, vy	0,616	0,488	0,608	1,112	1,405	0,639
		Knoten 211, vx	3,878	3,036	3,138	4,454	8,763	3,049
		Knoten 211, vy	-0,612	-0,427	-0,350	-0,335	-1,768	-0,373
Längenänderung d <sub>br</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,14	Verformung Druckdiagonale % vom Versuchswert	-0,215	-0,205	-0,217	-0,236	-0,228	-0,136
		Rechenzeit [sec]	36	30	288	247	347	470
			153,25	146,54	154,77	168,57	162,82	96,85
								107,14
								431

### System 10-Laststufe 7,5 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

#### Versuchsergebnisse Berechnungsergebnisse

Laststufe [kN]	7,5 Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM +Mat	n.I. VM +Mat(K)
					7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>		
<b>Kräfte [kN]</b>								
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	13,4	15,987	16,192	16,610	17,983	15,790	16,682	18,227
	% vom Versuchswert	119,31	120,84	123,96	134,20	117,84	124,49	136,02
	mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840
	mit C <sub>z</sub> =n x C	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,5
	Stieldruckkräfte [kN]							
Druckkraft D <sub>1</sub>	k.A.	-7,913	-8,207	-8,529	-6,179	-8,191	-8,343	-5,962
	% vom Versuchswert							
	mit C <sub>D</sub> =	7420	10150	n.I. Fe.	3490	3490	n.I. Fe.	3490
<b>Verformungen [mm]</b>								
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub>	-1,6	-1,066	-0,809	-1,070	-1,770	-2,347	-1,057	-1,708
(unter D <sub>1</sub> )	% vom Versuchswert	66,63	50,56	66,88	110,63	146,69	66,06	106,75
	Kopfverschiebung [mm]							
Kopfverschiebung h <sub>po</sub>	6,2	6,157	4,824	5,135	6,608	12,755	4,891	6,066
	% vom Versuchswert	99,31	77,81	82,82	106,58	205,73	78,89	97,84
	Knotenverschiebung [mm]							
	Knoten 386, vx	5,817	4,556	4,761	6,154	11,941	4,619	5,733
	Knoten 386, vy	1,220	1,002	1,177	1,730	1,984	1,132	1,651
	Knoten 190, vx	0,715	0,588	0,586	0,718	1,066	0,559	0,687
	Knoten 190, vy	-0,776	-0,501	-0,447	-0,445	-2,508	-0,447	-0,358
Längenänderung d <sub>z</sub>	0,28	0,181	0,185	0,156	0,149	0,184	0,152	0,147
(der Zugdiagonalen)	% vom Versuchswert	64,81	66,20	55,76	53,36	65,77	54,27	52,62
	Knotenverschiebung [mm]							
	Knoten 365, vx	0,689	0,563	0,584	0,714	1,075	0,561	0,682
	Knoten 365, vy	0,915	0,724	0,919	1,446	1,701	0,943	1,446
	Knoten 211, vx	5,809	4,548	4,740	6,130	11,922	4,600	5,709
	Knoten 211, vy	-0,926	-0,647	-0,549	-0,533	-2,622	-0,587	-0,488
Längenänderung d <sub>br</sub>	-0,20	-0,319	-0,306	-0,284	-0,308	-0,271	-0,181	-0,197
(der Druckdiagonalen)	% vom Versuchswert	159,26	152,95	141,88	153,76	135,37	90,42	98,26
<b>Rechenzeit [sec]</b>		36	30	264	250	359	429	465

### System 10-Laststufe 10,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

#### Versuchsergebnisse Berechnungsergebnisse

Laststufe [kN]	10,0	Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)		n.I. VM +Mat	n.I. VM +Mat(K)
						10,0+g <sub>e</sub>	10,0+g <sub>e</sub>		
<b>Kräfte [kN]</b>									
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	17,8	Zug, Knoten 41	21,398	21,676	21,811	22,799	20,543	21,952	23,029
		% vom Versuchswert	120,21	121,78	122,53	128,08	115,41	123,33	129,38
		mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>z</sub> =n x C	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,0
		Stieldruckkräfte [kN]							
Druckkraft D <sub>1</sub>	-10,0	Stiel 3, Stab 1581	-10,509	-10,896	-12,520	-10,818	-13,351	-12,486	-10,908
		% vom Versuchswert	105,09	108,96	125,20	108,18	133,51	124,86	109,08
		mit C <sub>D</sub> =	7420	10150	n.I. Fe.	5555	5555	n.I. Fe.	5555
<b>Verformungen [mm]</b>		Schwellenzus-drückung							
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub>	-1,8	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-1,416	-1,074	-1,345	-1,948	-2,403	-1,342	-1,964
(unter D <sub>1</sub> )		% vom Versuchswert	78,67	59,67	74,72	108,22	133,50	74,56	109,11
		Kopfverschiebung [mm]							
Kopfverschiebung h <sub>po</sub>	8,0	Knoten 116, vx	8,206	6,427	6,960	8,209	15,648	6,699	8,018
		% vom Versuchswert	102,58	80,34	87,00	102,61	195,60	83,74	100,23
		Knotenverschiebung [mm]							
		Knoten 386, vx	7,753	6,070	6,442	7,623	14,652	6,331	7,580
		Knoten 386, vy	1,619	1,330	1,539	2,004	2,083	1,503	1,994
		Knoten 190, vx	0,954	0,784	0,837	0,968	1,373	0,817	0,950
		Knoten 190, vy	-1,040	-0,672	-0,637	-0,632	-3,373	-0,634	-0,627
Längenänderung d <sub>z</sub>	0,36	Verformung Zugdiagonale	0,245	0,249	0,215	0,209	0,259	0,215	0,213
(der Zugdiagonalen)		% vom Versuchswert	68,18	69,12	59,85	58,17	72,02	59,78	59,24
		Knotenverschiebung [mm]							
		Knoten 365, vx	0,919	0,751	0,840	0,968	1,386	0,829	0,958
		Knoten 365, vy	1,214	0,961	1,222	1,663	1,762	1,276	1,754
		Knoten 211, vx	7,742	6,060	6,415	7,592	14,628	6,302	7,547
		Knoten 211, vy	-1,241	-0,867	-0,766	-0,751	-3,518	-0,817	-0,803
Längenänderung d <sub>br</sub>	-0,27	Verformung Druckdiagonale	-0,420	-0,405	-0,362	-0,380	-0,321	-0,225	-0,235
(der Druckdiagonalen)		% vom Versuchswert	155,63	149,83	133,89	140,78	118,71	83,31	86,96
<b>Rechenzeit [sec]</b>			34	30	248	291	330	436	468

### System 10-Laststufe 15,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse						
Laststufe [kN]	15,0	Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)	n.I. VM +Mat	n.I. VM +Mat(K)
Kräfte [kN]								
Anker-Zugkraft $Z_A$	28,2	Zug , Knoten 41	32,221	32,644	32,186	33,091	30,496	32,294
		% vom Versuchswert	114,26	115,76	114,13	117,34	108,14	114,52
		mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840
		mit $C_z=n \times C$	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0
		Stieldruckkräfte [kN]						
Druckkraft $D_1$	-18,7	Stiel 3, Stab 1581	-15,699	-16,275	-21,491	-20,158	-22,737	-21,196
		% vom Versuchswert	83,95	87,03	114,93	107,80	121,59	113,35
		mit $C_D$ =	7420	10150	n.I. Fe.	7190	7190	n.I. Fe.
Verformungen [mm]		Schwellenzus.-drückung						
Schwelleneindrückung $d_u$ (unter $D_1$ )	-2,6	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-2,116	-1,603	-2,131	-2,804	-3,162	-2,095
		% vom Versuchswert	81,38	61,65	81,96	107,85	121,62	80,58
		Kopfverschiebung [mm]						
Kopfverschiebung $h_{p0}$	12,5	Knoten 116, vx	12,304	9,634	11,815	13,355	23,504	11,391
		% vom Versuchswert	98,43	77,07	94,52	106,84	188,03	91,13
		Knotenverschiebung [mm]						
		Knoten 386, vx	11,625	9,099	10,993	12,454	22,010	10,790
		Knoten 386, vy	2,417	1,985	2,467	2,992	2,829	2,416
		Knoten 190, vx	1,431	1,176	1,629	1,837	2,299	1,567
		Knoten 190, vy	-1,568	-1,014	-1,200	-1,220	-5,249	-1,192
Längenänderung $d_z$ (der Zugdiagonalen)	0,47	Verformung Zugdiagonale	0,378	0,380	0,339	0,338	0,435	0,337
		% vom Versuchswert	80,42	80,76	72,21	71,95	92,55	71,79
		Knotenverschiebung [mm]						
		Knoten 365, vx	1,378	1,125	1,647	1,859	2,320	1,598
		Knoten 365, vy	1,812	1,434	2,103	2,603	2,467	2,149
		Knoten 211, vx	11,608	9,083	10,955	12,408	21,981	10,748
		Knoten 211, vy	-1,871	-1,308	-1,328	-1,340	-5,416	-1,422
Längenänderung $d_b$ (der Druckdiagonalen)	-0,42	Verformung Druckdiagonale	-0,620	-0,600	-0,492	-0,505	-0,405	-0,302
		% vom Versuchswert	147,58	142,79	117,24	120,16	96,43	71,87
Rechenzeit [sec]			34	30	295	284	313	469

### System 10-Laststufe 20,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

#### Versuchsergebnisse Berechnungsergebnisse

Laststufe [kN]	20,0 Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.i. VM	n.i. VM(K)		n.i. VM +Mat	n.i. VM +Mat(K)
					20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>		
<b>Kräfte [kN]</b>								
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	40,0 Zug , Knoten 41	43,044	43,703	42,307	40,871	40,729	42,411	44,375
	% vom Versuchswert	107,61	109,26	105,77	109,68	101,82	106,03	110,94
	mit C= [kN/m]	27320	54840	54840	54840	54840	54840	54840
	mit C <sub>z</sub> =n x C n=	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	1,5
	Stieldruckkräfte [kN]							
Druckkraft D <sub>1</sub>	-25,3 Stiel 3, Stab 1581	-20,890	-21,654	-30,129	-27,914	-31,388	-29,946	-27,398
	% vom Versuchswert	82,57	85,59	119,09	110,33	124,06	118,36	108,29
	mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.i. Fe.	6325	6325	n.i. Fe.	6325
<b>Verformungen [mm]</b>								
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-4,0 unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 : % vom Versuchswert	-2,815	-2,133	-3,212	-4,413	-4,963	-3,188	-4,332
	Kopfverschiebung [mm]	70,38	53,33	80,30	110,33	124,08	79,70	108,30
Kopfverschiebung h <sub>po</sub>	19,2 Knoten 116, vx % vom Versuchswert	16,402	12,846	19,257	22,033	35,343	18,706	20,913
	Knotenverschiebung [mm]	85,43	66,91	100,30	114,76	184,08	97,43	108,92
	Knoten 386, vx	15,497	12,133	17,910	20,566	33,097	17,757	19,846
	Knoten 386, vy	3,214	2,639	3,703	4,600	4,531	3,741	4,580
	Knoten 190, vx	1,908	1,569	3,060	3,300	3,874	2,968	3,174
	Knoten 190, vy	-2,096	-1,359	-2,174	-2,315	-7,460	-2,197	-2,167
Längenänderung d <sub>z</sub> (der Zugdiagonalen)	0,63 Verformung Zugdiagonale % vom Versuchswert	0,517	0,513	0,501	0,518	0,700	0,421	0,434
	Knotenverschiebung [mm]	82,06	81,49	79,59	82,24	111,04	66,84	68,87
	Knoten 365, vx	1,838	1,501	3,055	3,298	3,904	2,958	3,159
	Knoten 365, vy	2,411	1,907	3,343	4,191	4,161	3,388	4,202
	Knoten 211, vx	15,474	12,112	17,857	20,503	33,063	17,733	19,810
	Knoten 211, vy	-2,502	-1,752	-2,288	-2,448	-7,647	-2,402	-2,363
Längenänderung d <sub>br</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,59 Verformung Druckdiagonale % vom Versuchswert	-0,812	-0,790	-0,602	-0,604	-0,425	-0,445	-0,458
		137,58	133,96	102,11	102,34	72,06	75,50	77,58
<b>Rechenzeit [sec]</b>		34	34	294	303	342	489	473

### System 10-Laststufe 25,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse						
Laststufe [kN]	25,0	Laststufe [kN]	DIN 1052	EC 5	n.I. VM	n.I. VM(K)	n.I. VM +Mat	n.I. VM +Mat(K)
Kräfte [kN]								
Anker-Zugkraft $Z_A$	51,9	Zug, Knoten 41	53,867	54,694	52,553	55,126	51,029	52,757
		% vom Versuchswert	103,79	105,38	101,26	106,22	98,32	101,65
		mit C=	27320	54840	54840	54840	54840	54840
		mit $C_z=n \times C$	1,0	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0
		Stieldruckkräfte [kN]						
Druckkraft $D_1$	-33,3	Stiel 3, Stab 1581	-26,081	-27,033	-38,864	-35,427	-39,502	-38,670
		% vom Versuchswert	78,32	81,18	116,71	106,39	118,62	116,13
		mit $C_D$ =	7420	10150	n.I. Fe.	5285	5285	n.I. Fe.
Verformungen [mm]		Schwellenzus.-drückung						
Schwelleneindrückung $d_u$ (unter $D_1$ )	-6,3	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-3,515	-2,663	-4,303	-6,703	-7,474	-4,279
		% vom Versuchswert	55,79	42,27	68,30	106,40	118,63	67,92
Kopfverschiebung $h_{p0}$	29,1	Knoten 116, vx	20,500	16,054	28,856	34,305	51,240	27,889
		% vom Versuchswert	70,45	55,17	99,16	117,89	176,08	95,84
		Knotenverschiebung [mm]						
		Knoten 386, vx	19,368	15,163	26,740	32,038	47,902	26,512
		Knoten 386, vy	4,012	3,294	5,241	6,887	7,067	5,396
		Knoten 190, vx	2,385	1,961	4,871	5,623	6,291	4,741
		Knoten 190, vy	-2,624	-1,702	-3,452	-3,767	-10,085	-3,513
Längenänderung $d_z$ (der Zugdiagonalen)	0,77	Verformung Zugdiagonale	0,660	0,650	0,741	0,783	1,052	0,504
		% vom Versuchswert	85,75	84,45	96,20	101,70	136,56	65,40
		Knotenverschiebung [mm]						
		Knoten 365, vx	2,297	1,876	4,849	5,592	6,311	4,679
		Knoten 365, vy	3,009	2,381	4,905	6,510	6,708	4,957
		Knoten 211, vx	19,340	15,136	26,689	31,973	47,867	26,522
		Knoten 211, vy	-3,132	-2,193	-3,605	-3,946	-10,256	-3,655
Längenänderung $d_b$ (der Druckdiagonalen)	-0,80	Verformung Druckdiagonale	-1,000	-0,978	-0,666	-0,612	-0,354	-0,573
		% vom Versuchswert	125,05	122,26	83,24	76,54	44,26	71,62
Rechenzeit [sec]			34	34	297	294	309	481
			34	34	297	294	309	475



### System 100-Laststufe 2,5 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen  
85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM +Mat(K)	n.l. VM +Mat+Fuge		
<b>Laststufe [kN]</b>	2,5	Laststufe [kN]		2,5+g <sub>e</sub>	2,5+g <sub>e</sub>	2,5+g <sub>e</sub>	2,5+g <sub>e</sub>	2,5+g <sub>e</sub>
		Materialsatz		ED06	ED06	ED06	ED06	ED06
		Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]			0-0-0	0-0-1	0-1-0	0-1-1
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>						
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	4,6	Zug , Knoten 38		5,993	6,246	6,458	6,199	6,434
		% des Versuchswertes		130,28	135,78	140,39	134,76	139,87
		mit C= [kN/m]		54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>z</sub> =n x C n=		1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>						
Druckkraft D <sub>1</sub>	k.A.	Stiel 3, Stab 1577		-1,288	-0,410	0,000	-0,414	0,000
		% des Versuchswertes						
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]		n.l. Fe.	600	600	600	600
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>						
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-0,8	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :		-0,449	-0,683	-0,764	-0,691	-0,798
		% des Versuchswertes		56,13	85,38	95,50	86,38	99,75
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>						
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	2,4	Knoten 111, vx		1,692	2,363	2,530	2,373	2,596
		% des Versuchswertes		70,50	98,46	105,42	98,88	108,17
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 705, vx		1,691	2,363	2,529	2,373	2,596
		Knoten 705, vy		0,481	0,673	0,740	0,681	0,773
		Knoten 185, vx		0,132	0,155	0,161	0,155	0,164
		Knoten 185, vy		-0,154	-0,253	-0,259	-0,251	-0,256
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,10	Verformung Zugdiagonale		0,059	0,059	0,058	0,058	0,057
		% des Versuchswertes		58,83	59,34	58,35	57,96	57,22
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 675, vx		0,118	0,140	0,144	0,140	0,147
		Knoten 675, vy		0,384	0,564	0,626	0,571	0,656
		Knoten 215, vx		1,683	2,354	2,520	2,364	2,586
		Knoten 215, vy		-0,225	-0,326	-0,332	-0,322	-0,328
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,06	Verformung Druckdiagonale		-0,084	-0,092	-0,096	-0,094	-0,098
		% des Versuchswertes		139,84	154,00	160,74	156,24	164,03
<b>Rechenzeit [sec]</b>				3885	4364	4019	4162	3931
		<b>Nagelbelastung [kN]</b>						
		Nagel 7509		0,181	0,247	0,284	0,255	0,258
		Nagel 7510		0,237	0,277	0,315	0,283	0,338
		Nagel 7511		0,295	0,350	0,340	0,357	0,362
		Nagel 7512		0,295	0,367	0,410	0,372	0,384
		Nagel 7513		0,347	0,384	0,427	0,389	0,450
		Nagel 7514		0,344	0,445	0,444	0,450	0,466
		Nagel 7515		0,392	0,457	0,465	0,462	0,487
		Nagel 7516		0,389	0,473	0,524	0,479	0,498
		<b>Nagelverformung [mm]</b>						
		Nagel 7509		0,122	0,167	0,192	0,172	0,211
		Nagel 7510		0,160	0,227	0,258	0,232	0,277
		Nagel 7511		0,199	0,287	0,325	0,292	0,346
		Nagel 7512		0,241	0,351	0,393	0,356	0,417
		Nagel 7513		0,284	0,417	0,464	0,423	0,489
		Nagel 7514		0,330	0,483	0,538	0,489	0,564
		Nagel 7515		0,376	0,553	0,614	0,560	0,643
		Nagel 7516		0,422	0,625	0,692	0,633	0,726

### System 100-Laststufe 5,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen

85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse			n.l. VM +Mat		n.l. VM +Mat(K)		n.l. VM +Mat+Fuge	
<b>Laststufe [kN]</b>	<b>5,0</b>	Laststufe [kN]	5,0+g <sub>e</sub>	5,0+g <sub>e</sub>						
		Materialsatz	ED06	ED06						
		Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]	0-0-0	0-0-0	0-0-1	0-1-0	0-1-0	0-1-1	0-1-1	0-1-1
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>								
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	9,1	Zug , Knoten 38	11,604	13,426	14,225	13,236	13,850			
		% des Versuchswertes	127,52	147,54	156,32	145,45	152,20			
		mit C= [kN/m]	54840	54840	54840	54840	54840			
		mit C <sub>z</sub> =n x C n=	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5			
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>								
Druckkraft D <sub>1</sub>	-2,0	Stiel 3, Stab 1577	-4,731	-2,206	-1,238	-2,482	-1,673			
		% des Versuchswertes	236,55	110,30	61,90	124,10	83,65			
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	n.l. Fe.	1430	1430	1430	1430			
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>								
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub>	-1,4	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-0,808	-1,543	-1,865	-1,735	-2,170			
(unter D <sub>1</sub> )		% des Versuchswertes	57,71	110,21	133,21	123,93	155,00			
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>								
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	4,5	Knoten 111, vx	3,360	4,748	5,418	5,129	6,017			
		% des Versuchswertes	74,67	105,51	120,40	113,98	133,71			
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>								
		Knoten 705, vx	3,360	4,748	5,418	5,128	6,017			
		Knoten 705, vy	0,918	1,542	1,817	1,731	2,115			
		Knoten 185, vx	0,280	0,365	0,393	0,382	0,422			
		Knoten 185, vy	-0,336	-0,302	-0,315	-0,284	-0,282			
Längenänderung d <sub>Zr</sub>	0,19	Verformung Zugdiagonale	0,118	0,115	0,116	0,108	0,109			
(der Zugdiagonalen)		% des Versuchswertes	61,99	60,35	61,00	56,79	57,19			
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>								
		Knoten 675, vx	0,271	0,339	0,361	0,358	0,394			
		Knoten 675, vy	0,759	1,365	1,632	1,551	1,925			
		Knoten 215, vx	3,337	4,719	5,389	5,101	5,989			
		Knoten 215, vy	-0,454	-0,414	-0,434	-0,388	-0,386			
Längenänderung d <sub>Dr</sub>	-0,14	Verformung Druckdiagonale	-0,145	-0,164	-0,166	-0,166	-0,173			
(der Druckdiagonalen)		% des Versuchswertes	103,68	117,09	118,35	118,31	123,33			
<b>Rechenzeit [sec]</b>			4845	3803	3869	3778	3843			
		<b>Nagelbelastung [kN]</b>								
		Nagel 7509	0,305	0,454	0,507	0,499	0,549			
		Nagel 7510	0,343	0,514	0,533	0,548	0,614			
		Nagel 7511	0,376	0,522	0,591	0,568	0,558			
		Nagel 7512	0,451	0,568	0,531	0,509	0,639			
		Nagel 7513	0,476	0,505	0,605	0,578	0,599			
		Nagel 7514	0,503	0,569	0,679	0,647	0,669			
		Nagel 7515	0,518	0,633	0,627	0,597	0,739			
		Nagel 7516	0,540	0,698	0,692	0,656	0,617			
		<b>Nagelverformung [mm]</b>								
		Nagel 7509	0,250	0,549	0,670	0,659	0,850			
		Nagel 7510	0,328	0,679	0,827	0,798	1,019			
		Nagel 7511	0,409	0,810	0,979	0,941	1,194			
		Nagel 7512	0,490	0,943	1,138	1,090	1,368			
		Nagel 7513	0,576	1,081	1,295	1,237	1,549			
		Nagel 7514	0,665	1,218	1,454	1,386	1,727			
		Nagel 7515	0,755	1,355	1,621	1,542	1,910			
		Nagel 7516	0,837	1,494	1,789	1,695	2,106			

### System 100-Laststufe 7,5 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen  
85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM +Mat(K)	n.l. VM +Mat+Fuge		
<b>Laststufe [kN]</b>	7,5	Laststufe [kN]		7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>	7,5+g <sub>e</sub>
		Materialsatz		ED06	ED06	ED06	ED06	ED06
		Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]			0-0-0	0-0-1	0-1-0	0-1-1
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>						
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	13,4	Zug , Knoten 38		16,993	18,727	20,089	18,289	18,948
		% des Versuchswertes		126,81	139,75	149,92	136,49	141,40
		mit C= [kN/m]		54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>z</sub> =n x C n=		1,0	1,5	1,5	1,5	1,5
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>						
Druckkraft D <sub>1</sub>	k.A.	Stiel 3, Stab 1577		-9,086	-6,589	-5,212	-7,159	-6,139
		% des Versuchswertes						
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]		n.l. Fe.	3490	3490	3490	3490
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>						
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub>	-1,6	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :		-1,108	-1,888	-2,493	-2,051	-2,759
(unter D <sub>1</sub> )		% des Versuchswertes		69,25	118,00	155,81	128,19	172,44
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>						
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	6,2	Knoten 111, vx		5,037	6,484	7,777	6,799	8,267
		% des Versuchswertes		81,24	104,58	125,44	109,66	133,34
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 705, vx		5,036	6,483	7,777	6,798	8,266
		Knoten 705, vy		1,320	1,985	2,505	2,156	2,789
		Knoten 185, vx		0,461	0,566	0,638	0,582	0,669
		Knoten 185, vy		-0,540	-0,484	-0,511	-0,453	-0,447
Längenänderung d <sub>Zr</sub>	0,28	Verformung Zugdiagonale		0,179	0,175	0,180	0,171	0,168
(der Zugdiagonalen)		% des Versuchswertes		63,91	62,67	64,26	61,03	60,04
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 675, vx		0,456	0,547	0,609	0,568	0,652
		Knoten 675, vy		1,114	1,762	2,284	1,930	2,552
		Knoten 215, vx		5,012	6,445	7,733	6,763	8,229
		Knoten 215, vy		-0,708	-0,639	-0,663	-0,603	-0,586
Längenänderung d <sub>Dr</sub>	-0,20	Verformung Druckdiagonale		-0,196	-0,214	-0,213	-0,214	-0,223
(der Druckdiagonalen)		% des Versuchswertes		98,17	106,86	106,63	106,96	111,37
<b>Rechenzeit [sec]</b>				4460	4649	3833	3776	3801
		<b>Nagelbelastung [kN]</b>						
		Nagel 7509		0,395	0,486	0,569	0,527	0,535
		Nagel 7510		0,452	0,568	0,546	0,599	0,640
		Nagel 7511		0,462	0,493	0,646	0,550	0,620
		Nagel 7512		0,504	0,573	0,621	0,635	0,710
		Nagel 7513		0,555	0,656	0,707	0,600	0,608
		Nagel 7514		0,598	0,614	0,603	0,674	0,678
		Nagel 7515		0,526	0,684	0,670	0,747	0,748
		Nagel 7516		0,579	0,750	0,736	0,621	0,817
		<b>Nagelverformung [mm]</b>						
		Nagel 7509		0,378	0,709	0,944	0,817	1,146
		Nagel 7510		0,491	0,880	1,168	0,993	1,370
		Nagel 7511		0,610	1,055	1,383	1,177	1,602
		Nagel 7512		0,734	1,228	1,604	1,360	1,834
		Nagel 7513		0,861	1,404	1,827	1,551	2,076
		Nagel 7514		0,992	1,587	2,059	1,741	2,315
		Nagel 7515		1,126	1,767	2,287	1,931	2,554
		Nagel 7516		1,240	1,938	2,511	2,121	2,788

### System 100-Laststufe 10,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen  
85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM +Mat(K)	n.l. VM +Mat+Fuge		
<b>Laststufe [kN]</b>	<b>10,0</b>	Laststufe [kN] Materialsatz Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]		10,0+g <sub>e</sub> ED06	10,0+g <sub>e</sub> ED06 0-0-0	10,0+g <sub>e</sub> ED06 0-0-1	10,0+g <sub>e</sub> ED06 0-1-0	10,0+g <sub>e</sub> ED06 0-1-1
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>						
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	17,8	Zug , Knoten 38		22,282	23,553	24,762	22,874	23,639
		% des Versuchswertes		125,18	132,32	139,11	128,51	132,80
		mit C= [kN/m]		54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>						
Druckkraft D <sub>1</sub>	-10,0	Stiel 3, Stab 1577		-13,589	-11,797	-10,012	-12,510	-11,148
		% des Versuchswertes		135,89	117,97	100,12	125,10	111,48
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]		n.l. Fe.	5555	5555	5555	5555
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>						
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-1,8	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :		-1,418	-2,124	-2,802	-2,252	-3,007
		% des Versuchswertes		78,78	118,00	155,67	125,11	167,06
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>						
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	8,0	Knoten 111, vx		6,956	8,441	9,868	8,681	10,214
		% des Versuchswertes		86,95	105,51	123,35	108,51	127,68
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 705, vx		6,956	8,441	9,867	8,680	10,214
		Knoten 705, vy		1,767	2,366	2,918	2,513	3,156
		Knoten 185, vx		0,709	0,800	0,898	0,827	0,920
		Knoten 185, vy		-0,774	-0,804	-0,849	-0,757	-0,766
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,36	Verformung Zugdiagonale		0,246	0,246	0,250	0,243	0,243
		% des Versuchswertes		68,23	68,44	69,44	67,40	67,47
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 675, vx		0,711	0,796	0,882	0,829	0,914
		Knoten 675, vy		1,522	2,108	2,647	2,251	2,887
		Knoten 215, vx		6,921	8,401	9,824	8,644	10,175
		Knoten 215, vy		-0,984	-1,008	-1,058	-0,957	-0,953
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,27	Verformung Druckdiagonale		-0,245	-0,254	-0,259	-0,255	-0,264
		% des Versuchswertes		90,62	94,16	95,75	94,60	97,95
<b>Rechenzeit [sec]</b>				3824	3915	3800	3903	3928

### System 100-Laststufe 15,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen  
85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse	n.l. VM +Mat	n.l. VM +Mat(K)	n.l. VM +Mat+Fuge		
<b>Laststufe [kN]</b>	<b>15,0</b>	Laststufe [kN] Materialsatz Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]	15,0+g <sub>e</sub> ED09				
				0-0-0	0-0-1	0-1-0	0-1-1
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>					
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	28,2	Zug , Knoten 38	32,833	33,847	35,049	32,775	33,447
		% des Versuchswertes	116,43	120,02	124,29	116,22	118,61
		mit C= [kN/m]	54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>					
Druckkraft D <sub>1</sub>	-18,7	Stiel 3, Stab 1577	-22,555	-20,948	-19,352	-21,964	-20,786
		% des Versuchswertes	120,61	112,02	103,49	117,45	111,16
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	n.l. Fe.	7190	7190	7190	7190
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>					
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-2,6	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-2,265	-2,914	-3,691	-3,055	-3,891
		% des Versuchswertes	87,12	112,08	141,96	117,50	149,65
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>					
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	12,5	Knoten 111, vx	12,060	13,485	15,332	13,726	15,548
		% des Versuchswertes	96,48	107,88	122,66	109,81	124,38
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>					
		Knoten 705, vx	12,059	13,484	15,332	13,726	15,548
		Knoten 705, vy	2,897	3,427	4,079	3,617	4,341
		Knoten 185, vx	1,432	1,528	1,765	1,605	1,800
		Knoten 185, vy	-1,475	-1,544	-1,613	-1,438	-1,449
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,47	Verformung Zugdiagonale	0,383	0,388	0,398	0,379	0,384
		% des Versuchswertes	81,59	82,45	84,72	80,71	81,70
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>					
		Knoten 675, vx	1,445	1,533	1,747	1,622	1,801
		Knoten 675, vy	2,621	3,127	3,766	3,321	4,025
		Knoten 215, vx	12,000	13,419	15,255	13,667	15,483
		Knoten 215, vy	-1,717	-1,794	-1,865	-1,666	-1,679
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,42	Verformung Druckdiagonale	-0,334	-0,339	-0,345	-0,343	-0,349
		% des Versuchswertes	79,41	80,73	82,16	81,67	82,99
<b>Rechenzeit [sec]</b>			4688	4637	4679	4715	4298

### System 100-Laststufe 20,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen  
85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM +Mat(K)	n.l. VM +Mat+Fuge		
Laststufe [kN]	20,0	Laststufe [kN] Materialsatz Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]	20,0+g <sub>e</sub> MW09					
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>						
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	40,0	Zug , Knoten 38	43,148	45,152	46,136	43,499	44,543	
		% des Versuchswertes	107,87	112,88	115,34	108,75	111,36	
		mit C= [kN/m]	54840	54840	54840	54840	54840	
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>						
Druckkraft D <sub>1</sub>	-25,3	Stiel 3, Stab 1577	-31,567	-28,886	-27,714	-30,530	-29,044	
		% des Versuchswertes	124,77	114,17	109,54	120,67	114,80	
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	n.l. Fe.	6325	6325	6325	6325	
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>						
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-4,0	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-3,391	-4,567	-5,381	-4,827	-5,592	
		% des Versuchswertes	84,78	114,18	134,53	120,68	139,80	
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>						
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	19,2	Knoten 111, vx	19,755	21,867	24,049	22,461	24,047	
		% des Versuchswertes	102,89	113,89	125,26	116,98	125,24	
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 705, vx	19,755	21,868	24,050	22,461	24,048	
		Knoten 705, vy	4,488	5,398	6,062	5,762	6,378	
		Knoten 185, vx	2,682	2,867	3,215	3,123	3,190	
		Knoten 185, vy	-2,705	-2,663	-2,804	-2,457	-2,531	
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,63	Verformung Zugdiagonale	0,488	0,500	0,533	0,497	0,504	
		% des Versuchswertes	77,39	79,44	84,63	78,92	79,95	
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 675, vx	2,652	2,814	3,139	3,082	3,142	
		Knoten 675, vy	4,125	4,997	5,658	5,378	5,961	
		Knoten 215, vx	19,726	21,818	23,993	22,428	24,004	
		Knoten 215, vy	-2,937	-2,882	-3,051	-2,668	-2,738	
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,59	Verformung Druckdiagonale	-0,473	-0,501	-0,483	-0,485	-0,495	
		% des Versuchswertes	80,17	84,89	81,87	82,25	83,96	
<b>Rechenzeit [sec]</b>			5056	4746	4760	4657	4684	

### System 100-Laststufe 25,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen  
85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM +Mat(K)	n.l. VM +Mat+Fuge		
Laststufe [kN]	25,0	Laststufe [kN] Materialsatz Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]	25,0+g <sub>e</sub> EZ12					
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>						
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	51,9	Zug , Knoten 38	53,720	56,805	57,789	55,168	56,245	
		% des Versuchswertes	103,51	109,45	111,35	106,30	108,37	
		mit C= [kN/m]	54840	54840	54840	54840	54840	
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>						
Druckkraft D <sub>1</sub>	-33,3	Stiel 3, Stab 1577	-40,596	-36,642	-35,615	-38,122	-36,851	
		% des Versuchswertes	121,91	110,04	106,95	114,48	110,66	
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	n.l. Fe.	5285	5285	5285	5285	
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>						
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-6,3	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :	-4,520	-6,933	-7,739	-7,213	-7,973	
		% des Versuchswertes	71,75	110,05	122,84	114,49	126,56	
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>						
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	29,1	Knoten 111, vx	29,581	34,567	36,332	34,945	36,616	
		% des Versuchswertes	101,65	118,79	124,85	120,09	125,83	
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 705, vx	29,584	34,572	36,337	34,949	36,620	
		Knoten 705, vy	6,445	8,341	8,949	8,744	9,342	
		Knoten 185, vx	4,499	4,915	5,059	4,950	5,048	
		Knoten 185, vy	-4,313	-4,495	-4,600	-4,252	-4,364	
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,77	Verformung Zugdiagonale	0,591	0,624	0,659	0,622	0,641	
		% des Versuchswertes	76,73	81,00	85,62	80,83	83,21	
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 675, vx	4,402	4,798	4,934	4,850	4,942	
		Knoten 675, vy	5,995	7,808	8,433	8,211	8,791	
		Knoten 215, vx	29,589	34,557	36,319	34,951	36,612	
		Knoten 215, vy	-4,461	-4,668	-4,763	-4,422	-4,527	
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,80	Verformung Druckdiagonale	-0,616	-0,584	-0,569	-0,576	-0,570	
		% des Versuchswertes	76,94	72,99	71,11	71,97	71,24	
<b>Rechenzeit [sec]</b>			5597	5035	4811	4839	4770	

### System 100-Laststufe 30,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen  
85 und 115% des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM +Mat(K)	n.l. VM +Mat+Fuge		
<b>Laststufe [kN]</b>	<b>30,0</b>	Laststufe [kN]		30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>	30,0+g <sub>e</sub>
		Materialsatz		EZ12	EZ12	EZ12	EZ12	EZ12
		Fugenbild St.1-St.2-St.3 [mm]			0-0-0	0-0-1	0-1-0	0-1-1
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>						
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	63,5	Zug , Knoten 38		63,985	67,660	68,231	66,632	67,302
		% des Versuchswertes		100,76	106,55	107,45	104,93	105,99
		mit C= [kN/m]		54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=		1,0	1,5	1,5	1,5	1,5
		<b>Stiendruckkräfte [kN]</b>						
Druckkraft D <sub>1</sub>	-41,7	Stiel 3, Stab 1577		-50,133	-44,449	-43,673	-45,429	-44,281
		% des Versuchswertes		120,22	106,59	104,73	108,94	106,19
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]		n.l. Fe.	4635	4635	4635	4635
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>						
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-9,0	unter Stiel 3 [mm], Feder 6009 :		-5,712	-9,590	-10,422	-9,801	-10,554
		% des Versuchswertes		63,47	106,56	115,80	108,90	117,27
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>						
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	41,7	Knoten 111, vx		42,952	50,810	52,438	50,895	52,752
		% des Versuchswertes		103,00	121,85	125,75	122,05	126,50
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 705, vx		42,957	50,815	52,444	50,901	52,759
		Knoten 705, vy		8,947	11,735	12,279	12,219	12,821
		Knoten 185, vx		6,938	7,456	7,642	7,550	7,604
		Knoten 185, vy		-6,584	-7,091	-7,210	-6,663	-6,869
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,89	Verformung Zugdiagonale		0,864	0,997	1,012	0,943	0,981
		% des Versuchswertes		97,08	111,98	113,69	105,90	110,19
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>						
		Knoten 675, vx		6,817	7,300	7,477	7,418	7,465
		Knoten 675, vy		8,477	11,189	11,725	11,588	12,162
		Knoten 215, vx		42,983	50,820	52,435	50,888	52,742
		Knoten 215, vy		-6,798	-7,312	-7,409	-6,838	-7,058
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-1,01	Verformung Druckdiagonale		-0,552	-0,480	-0,461	-0,529	-0,507
		% des Versuchswertes		54,68	47,53	45,64	52,42	50,16
<b>Rechenzeit [sec]</b>				5315	4880	4760	4799	4740

### System 2-Laststufe 15,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115%  
des Versuchswertes)

		DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)		
Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse					
Laststufe [kN]	15,0	Laststufe [kN]	15,0+g <sub>e</sub>				
Kräfte [kN]		Auflagerkräfte [kN]					
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	12,2	Zug , Knoten 41	15,658	15,635	16,612	17,248	15,528
		% des Versuchswertes	128,34	128,16	136,16	141,38	127,28
		mit C= [kN/m]	27320	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=			1,0	1,0	0,1
Druckkraft D <sub>1</sub>	-6,6	Stildruckkräfte [kN]					
		Stiel 5, Stab 1661	-6,744	-7,038	-6,126	-4,889	-6,946
		% des Versuchswertes	102,18	106,64	92,82	74,08	105,24
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	4400	4400
Druckkraft D <sub>2</sub>	-3,7	Stiel 4, Stab 1649	-1,777	-1,870	-1,088	-1,454	-0,880
		% des Versuchswertes	48,03	50,54	29,41	39,30	23,78
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.
Druckkraft D <sub>3</sub>	-2,0	Stiel 3, Stab 1581	-0,019	-0,209	-0,098	-0,147	-0,002
		% des Versuchswertes	0,95	10,45	4,90	7,35	0,10
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.
Verformungen [mm]		Schwellenzus.-drückung					
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-1,5	unter Stiel 3 [mm], Feder 6019 :	-0,909	-0,693	-0,904	-1,111	-1,579
		% des Versuchswertes	60,60	46,20	60,27	74,07	105,27
		Kopfverschiebung [mm]					
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	4,4	Knoten 880, vx	4,199	3,441	3,289	3,542	6,377
		% des Versuchswertes	95,43	78,20	74,75	80,50	144,93
Platte 1 ("Zugplatte")		Knotenverschiebung [mm]					
		Knoten 386, vx	4,141	3,387	3,223	3,464	6,333
		Knoten 386, vy	0,206	0,243	0,200	0,268	-0,808
		Knoten 190, vx	0,881	0,780	0,747	0,775	0,823
		Knoten 190, vy	-0,952	-0,618	-0,606	-0,628	-2,987
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,30	Verformung Zugdiagonale	0,279	0,282	0,279	0,284	0,272
		% des Versuchswertes	93,06	94,07	92,89	94,64	90,81
		Knotenverschiebung [mm]					
		Knoten 365, vx	0,842	0,742	0,703	0,736	0,780
		Knoten 365, vy	0,153	0,182	0,138	0,182	-0,846
		Knoten 211, vx	4,161	3,408	3,243	3,483	6,356
		Knoten 211, vy	-1,118	-0,786	-0,762	-0,789	-3,141
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,10	Verformung Druckdiagonale	-0,195	-0,206	-0,216	-0,236	-0,180
		% des Versuchswertes	195,38	205,66	216,32	235,97	179,54
Platte 2 ("Druckplatte")		Knotenverschiebung [mm]					
		Knoten 1150, vx	4,200	3,441	3,289	3,542	6,377
		Knoten 1150, vy	1,193	0,970	1,097	1,257	1,704
		Knoten 954, vx	0,697	0,609	0,603	0,623	0,701
		Knoten 954, vy	-0,241	-0,163	-0,017	0,018	-0,711
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,30	Verformung Zugdiagonale	0,127	0,126	0,084	0,065	0,126
		% des Versuchswertes	42,40	42,13	27,95	21,80	41,86
		Knotenverschiebung [mm]					
		Knoten 1129, vx	0,613	0,526	0,526	0,540	0,653
		Knoten 1129, vy	0,937	0,739	0,877	1,041	1,450
		Knoten 975, vx	4,168	3,411	3,259	3,510	6,352
		Knoten 975, vy	-0,250	-0,166	0,024	0,075	-0,707
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,10	Verformung Druckdiagonale	-0,368	-0,353	-0,338	-0,332	-0,356
		% des Versuchswertes	368,31	352,53	337,99	331,52	355,65
Rechenzeit [sec]			334	288	6375	6193	6808

n.l. VM+Mat				n.l. VM+Mat(K)	
15,0+g <sub>e</sub> MW18	15,0+g <sub>e</sub> MW06	15,0+g <sub>e</sub> ED06	15,0+g <sub>e</sub> EZ06	15,0+g <sub>e</sub> ED06	15,0+g <sub>e</sub> ED06
16,731	16,683	16,751	16,682	17,331	16,164
137,14	136,75	137,30	136,74	142,06	132,49
54840	54840	54840	54840	54840	54840
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,25
<b>-5,884</b>	<b>-5,805</b>	<b>-5,839</b>	<b>-5,844</b>	-4,636	-5,580
89,15	87,95	88,47	88,55	70,24	84,55
n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	4400	4400
-1,088	-1,070	-1,060	-1,097	-1,394	-1,409
29,41	28,92	28,65	29,65	37,68	38,08
n.l. Fe.					
-0,095	-0,093	-0,088	-0,101	-0,141	0,000
4,75	4,65	4,40	5,05	7,05	0,00
n.l. Fe.					
-0,898	-0,891	-0,896	-0,892	-1,077	<b>-1,297</b>
59,87	59,40	59,73	59,47	71,80	86,47
<b>3,150</b>	<b>3,135</b>	<b>3,150</b>	<b>3,115</b>	<b>3,347</b>	<b>4,375</b>
71,59	71,25	71,59	70,80	76,07	99,43
3,083	3,070	3,076	3,057	3,262	4,310
0,192	0,189	0,167	0,213	0,210	-0,103
0,739	0,736	0,727	0,746	0,750	0,759
-0,619	-0,618	-0,607	-0,631	-0,628	-1,419
<b>0,220</b>	<b>0,220</b>	<b>0,256</b>	<b>0,176</b>	<b>0,264</b>	<b>0,255</b>
73,33	73,18	85,26	58,78	88,08	84,83
0,706	0,703	0,706	0,702	0,730	0,737
0,145	0,142	0,146	0,141	0,184	-0,104
3,096	3,083	3,073	3,084	3,257	4,309
-0,760	-0,758	-0,781	-0,737	-0,806	-1,589
<b>-0,151</b>	<b>-0,151</b>	<b>-0,121</b>	<b>-0,172</b>	<b>-0,129</b>	<b>-0,103</b>
150,54	151,03	121,07	171,93	128,85	103,13
3,150	3,135	3,150	3,115	3,346	4,374
1,068	1,062	1,052	1,074	1,189	1,410
0,599	0,596	0,596	0,597	0,611	0,649
-0,014	-0,016	-0,014	-0,016	0,025	-0,162
<b>0,058</b>	<b>0,056</b>	<b>0,073</b>	<b>0,037</b>	<b>0,058</b>	<b>0,092</b>
19,23	18,80	24,50	12,28	19,45	30,83
0,543	0,538	0,551	0,529	0,562	0,612
0,900	0,887	0,908	0,880	1,045	1,250
3,121	3,107	3,110	3,099	3,305	4,334
0,014	0,011	-0,009	0,033	0,046	-0,176
<b>-0,245</b>	<b>-0,250</b>	<b>-0,209</b>	<b>-0,277</b>	<b>-0,209</b>	<b>-0,218</b>
244,61	250,07	208,56	276,95	208,78	218,15
<b>7159</b>	<b>7135</b>	<b>7160</b>	<b>7194</b>	<b>6638</b>	<b>6352</b>

**System 2****Laststufe 15,0 kN****Berechnungsergebnisse**

	DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)		n.l. VM+Mat				n.l. VM+Mat(K)	
				15,0+g <sub>e</sub>							
Materialsatz						MW18	MW06	ED06	EZ06	ED06	ED06
Laststufe [kN]	15,0+g <sub>e</sub>										
Nagelbelastung [kN]											
Nagel 7611	0,331	0,317	0,415	0,441	0,434	0,439	0,433	0,446	0,427	0,465	0,489
Nagel 7612	0,390	0,371	0,431	0,467	0,474	0,455	0,449	0,462	0,443	0,490	0,484
Nagel 7613	0,449	0,422	0,488	0,526	0,536	0,472	0,466	0,480	0,460	0,500	0,526
Nagel 7614	0,511	0,479	0,503	0,536	0,571	0,528	0,521	0,487	0,515	0,525	0,561
Nagel 7615	0,576	0,537	0,510	0,561	0,522	0,532	0,525	0,540	0,519	0,580	0,490
Nagel 7616	0,644	0,599	0,531	0,581	0,602	0,552	0,545	0,560	0,538	0,596	0,545
Nagel 7617	0,716	0,665	0,547	0,498	0,683	0,567	0,559	0,574	0,552	0,507	0,600
Nagel 7618	0,784	0,725	0,592	0,541	0,633	0,476	0,603	0,481	0,595	0,547	0,652
Nagelverformung [mm]											
Nagel 7611	0,453	0,371	0,450	0,534	0,471	0,476	0,471	0,484	0,463	0,562	0,592
Nagel 7612	0,535	0,434	0,522	0,616	0,626	0,551	0,544	0,559	0,536	0,647	0,706
Nagel 7613	0,615	0,495	0,590	0,695	0,781	0,623	0,615	0,633	0,607	0,729	0,816
Nagel 7614	0,701	0,561	0,665	0,781	0,946	0,697	0,689	0,710	0,680	0,814	0,930
Nagel 7615	0,789	0,629	0,743	0,870	1,119	0,775	0,766	0,788	0,756	0,899	1,049
Nagel 7616	0,883	0,702	0,823	0,963	1,289	0,856	0,845	0,868	0,835	0,989	1,167
Nagel 7617	0,981	0,779	0,907	1,066	0,463	0,940	0,927	0,952	0,916	1,085	1,285
Nagel 7618	1,074	0,849	0,982	1,158	1,637	1,019	0,999	1,031	0,987	1,171	1,396

### System 2-Laststufe 40,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115%  
des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse					DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)	
Laststufe [kN]	40,0	Laststufe [kN] Materialsatz	40,0+g <sub>e</sub>								
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>									
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	38,9	Zug , Knoten 41	<b>42,585</b>	<b>42,356</b>	<b>42,549</b>	<b>44,110</b>	<b>41,591</b>				
		% des Versuchswertes	109,47	108,88	109,38	113,39	106,92				
		mit C= [kN/m]	27320	54840	54840	54840	54840				
		mit C <sub>z</sub> =n x C n=			1,0	1,0	0,1				
		<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>									
Druckkraft D <sub>1</sub>	-21,1	Stiel 5, Stab 1661	-17,709	<b>-18,486</b>	-26,278	<b>-21,920</b>	-26,236				
		% des Versuchswertes	83,93	87,61	124,54	103,89	124,34				
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	5550	5550				
Druckkraft D <sub>2</sub>	-10,7	Stiel 4, Stab 1649	-4,471	<b>-4,744</b>	-5,224	<b>-7,976</b>	-4,606				
		% des Versuchswertes	41,79	44,34	48,82	74,54	43,05				
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.				
Druckkraft D <sub>3</sub>	-1,4	Stiel 3, Stab 1581	0,001	<b>-0,431</b>	-0,193	<b>-0,186</b>	0,000				
		% des Versuchswertes	-0,07	30,79	13,79	13,29	0,00				
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.				
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>									
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-3,8	unter Stiel 3 [mm], Feder 6019 :	-2,387	<b>-1,821</b>	-2,730	<b>-3,950</b>	-4,727				
		% des Versuchswertes	62,82	47,92	71,84	103,95	124,39				
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>									
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	12,5	Knoten 880, vx	<b>11,213</b>	9,171	<b>13,821</b>	15,654	22,172				
		% des Versuchswertes	89,70	73,37	110,57	125,23	177,38				
Platte 1 ("Zugplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 386, vx	11,050	9,023	13,277	14,968	21,710				
		Knoten 386, vy	0,478	0,604	1,042	1,378	-1,563				
		Knoten 190, vx	2,359	2,085	3,096	3,409	3,285				
		Knoten 190, vy	-2,602	-1,676	-2,806	-3,042	-9,104				
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,70	Verformung Zugdiagonale	<b>0,761</b>	<b>0,768</b>	<b>0,676</b>	<b>0,725</b>	<b>0,733</b>				
		% des Versuchswertes	108,74	109,70	96,64	103,57	104,78				
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 365, vx	2,249	1,981	3,028	3,338	3,210				
		Knoten 365, vy	0,346	0,449	0,959	1,263	-1,623				
		Knoten 211, vx	11,102	9,075	13,288	14,979	21,732				
		Knoten 211, vy	-3,048	-2,133	-2,988	-3,272	-9,320				
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,40	Verformung Druckdiagonale	<b>-0,507</b>	<b>-0,535</b>	<b>-0,572</b>	<b>-0,593</b>	<b>-0,474</b>				
		% des Versuchswertes	126,67	133,65	142,88	148,24	118,47				
Platte 2 ("Druckplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 1150, vx	11,215	9,173	13,823	15,656	22,173				
		Knoten 1150, vy	3,128	2,545	3,669	4,573	5,394				
		Knoten 954, vx	1,855	1,622	2,534	2,649	2,856				
		Knoten 954, vy	-0,701	-0,472	-0,948	-0,869	-2,804				
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,70	Verformung Zugdiagonale	0,355	0,349	0,434	0,394	0,508				
		% des Versuchswertes	50,69	49,82	62,00	56,25	72,50				
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 1129, vx	1,633	1,401	2,456	2,543	2,806				
		Knoten 1129, vy	2,458	1,939	3,258	4,126	4,924				
		Knoten 975, vx	11,129	9,092	13,729	15,540	22,073				
		Knoten 975, vy	-0,729	-0,487	-0,994	-0,879	-2,870				
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,40	Verformung Druckdiagonale	<b>-0,957</b>	<b>-0,920</b>	<b>-0,703</b>	<b>-0,711</b>	<b>-0,684</b>				
		% des Versuchswertes	239,17	229,92	175,71	177,84	171,08				
<b>Rechenzeit [sec]</b>			359	290	5619	6168	7328				

n.l. VM+Mat				n.l. VM+Mat(K)	
40,0+g <sub>e</sub> MW18	40,0+g <sub>e</sub> MW09	40,0+g <sub>e</sub> ED09	40,0+g <sub>e</sub> EZ09	40,0+g <sub>e</sub> ED09	40,0+g <sub>e</sub> ED09
<b>42,561</b>	<b>42,565</b>	<b>42,680</b>	<b>42,579</b>	<b>44,377</b>	<b>44,588</b>
109,41	109,42	109,72	109,46	114,08	114,62
54840	54840	54840	54840	54840	54840
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5
-25,535	-25,518	-25,510	-25,561	<b>-21,332</b>	<b>-21,150</b>
121,02	120,94	120,90	121,14	101,10	100,24
n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	5550	5550
-5,167	-5,173	-5,087	-5,288	-7,573	-7,646
48,29	48,35	47,54	49,42	70,78	71,46
n.l. Fe.					
-0,198	-0,199	-0,171	-0,188	-0,382	-0,529
14,14	14,21	12,21	13,43	27,29	37,79
n.l. Fe.					
-2,717	-2,714	-2,717	-2,717	<b>-3,960</b>	<b>-3,926</b>
71,50	71,42	71,50	71,50	104,21	103,32
<b>13,503</b>	<b>13,495</b>	<b>13,120</b>	<b>13,452</b>	15,596	15,387
108,02	107,96	104,96	107,62	124,77	123,10
12,966	12,958	12,940	12,945	14,878	14,646
1,028	1,029	0,985	1,076	1,431	1,513
3,088	3,087	3,062	3,107	3,315	3,401
-2,815	-2,817	-2,762	-2,875	-3,030	-2,799
<b>0,556</b>	<b>0,550</b>	<b>0,643</b>	<b>0,441</b>	<b>0,689</b>	<b>0,694</b>
79,42	78,61	91,91	63,00	98,47	99,07
3,043	3,043	3,052	3,027	3,312	3,391
0,974	0,976	1,005	0,958	1,422	1,500
12,965	12,958	12,900	12,981	14,836	14,602
-2,986	-2,985	-3,018	-2,954	-3,324	-3,101
<b>-0,423</b>	<b>-0,419</b>	<b>-0,335</b>	<b>-0,480</b>	<b>-0,353</b>	<b>-0,359</b>
105,68	104,74	83,78	119,89	88,17	89,65
13,503	13,496	13,511	13,454	15,596	15,387
3,607	3,604	3,573	3,649	4,487	4,450
2,530	2,529	2,521	2,545	2,628	2,630
-0,962	-0,962	-0,922	-0,987	-0,934	-0,882
<b>0,347</b>	<b>0,347</b>	<b>0,421</b>	<b>0,260</b>	<b>0,397</b>	<b>0,390</b>
49,58	49,62	60,21	37,09	56,68	55,77
2,470	2,472	2,499	2,457	2,586	2,587
3,291	3,292	3,335	3,271	4,201	4,169
13,418	13,412	13,389	13,407	15,458	15,249
-1,011	-1,010	-1,052	-0,963	-1,056	-0,997
<b>-0,526</b>	<b>-0,522</b>	<b>-0,424</b>	<b>-0,589</b>	<b>-0,430</b>	<b>-0,429</b>
131,39	130,58	106,09	147,14	107,58	107,18
6431	6330	6858	6573	7271	6779

**System 2****Laststufe 40,0 kN****Berechnungsergebnisse**

	DIN	EC 5	n.I.	n.I.		n.I.				n.I.	
	1052		VM	VM(K)		VM+Mat				VM+Mat(K)	
	40,0+g <sub>e</sub>										
Materialsatz						MW18	MW09	ED09	EZ09	ED09	ED09
Nagelbelastung [kN]											
Nagel 7611	0,856	0,824	0,725	0,656	0,768	0,734	0,735	0,748	0,728	0,665	0,668
Nagel 7612	1,014	0,967	0,632	0,760	0,722	0,640	0,640	0,651	0,635	0,772	0,774
Nagel 7613	1,169	1,104	0,714	0,862	0,870	0,723	0,724	0,736	0,718	0,879	0,878
Nagel 7614	1,336	1,254	0,800	0,789	0,837	0,811	0,812	0,824	0,805	0,805	0,803
Nagel 7615	1,509	1,410	0,724	0,878	0,828	0,734	0,734	0,745	0,729	0,897	0,893
Nagel 7616	1,691	1,575	0,799	0,828	0,944	0,809	0,810	0,822	0,804	0,846	0,842
Nagel 7617	1,882	1,750	0,875	0,907	0,932	0,885	0,886	0,898	0,879	0,926	0,921
Nagel 7618	2,065	1,911	0,942	0,980	1,030	0,952	0,953	0,825	0,946	1,001	0,995
Nagelverformung [mm]											
Nagel 7611	1,173	0,965	1,874	2,240	1,985	1,897	1,899	1,932	1,882	2,269	2,279
Nagel 7612	1,388	1,132	2,157	2,595	2,463	2,184	2,186	2,223	2,168	2,636	2,641
Nagel 7613	1,601	1,293	2,436	2,943	2,969	2,469	2,470	2,511	2,451	2,999	2,998
Nagel 7614	1,831	1,469	2,732	3,314	3,515	2,768	2,770	2,813	2,749	3,381	3,374
Nagel 7615	2,068	1,651	3,043	3,689	4,078	3,083	3,084	3,131	3,061	3,767	3,754
Nagel 7616	2,317	1,844	3,358	4,080	4,652	3,401	3,402	3,452	3,378	4,166	4,147
Nagel 7617	2,579	2,049	3,675	4,468	5,234	3,719	3,721	3,774	3,694	4,562	4,537
Nagel 7618	2,828	2,237	3,957	4,829	5,786	4,002	4,003	4,064	3,973	4,933	4,901

### System 20-Laststufe 15,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115%  
des Versuchswertes)

#### Versuchsergebnisse

#### Berechnungsergebnisse

		DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)	
<b>Laststufe [kN]</b>	15,0	Laststufe [kN]	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>	15,0+g <sub>e</sub>
		Materialsatz				
<b>Kräfte [kN]</b>		Auflagerkräfte [kN]				
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	12,2	Zug , Knoten 37	15,223	15,775	16,564	17,163
		% des Versuchswertes	124,78	129,30	135,77	140,68
		mit C= [kN/m]	27320	54840	54840	54840
		mit C <sub>z</sub> =n x C n=			1,0	1,0
		Stieldruckkräfte [kN]				
Druckkraft D <sub>1</sub>	-6,6	Stiel 5, Stab 1598	<b>-6,470</b>	<b>-6,777</b>	<b>-5,741</b>	<b>-4,645</b>
		% des Versuchswertes	<b>98,03</b>	<b>102,68</b>	<b>86,98</b>	<b>70,38</b>
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	4400
Druckkraft D <sub>2</sub>	-3,7	Stiel 4, Stab 1582	<b>-1,740</b>	<b>-1,847</b>	<b>-1,032</b>	<b>-1,377</b>
		% des Versuchswertes	47,03	49,92	27,89	37,22
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.
Druckkraft D <sub>3</sub>	-2,0	Stiel 3, Stab 1566	0,003	-0,091	-0,081	-0,134
		% des Versuchswertes	-0,15	4,55	4,05	6,70
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.
<b>Verformungen [mm]</b>		Schwellenzus.-drückung				
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-1,5	unter Stiel 3 [mm], Feder 6019 :	<b>-0,872</b>	<b>-0,668</b>	<b>-0,877</b>	<b>-1,056</b>
		% des Versuchswertes	58,13	44,53	58,47	70,40
		Kopfverschiebung [mm]				
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	4,4	Knoten 120, vx	<b>4,153</b>	<b>3,428</b>	<b>3,290</b>	<b>3,494</b>
		% des Versuchswertes	<b>94,39</b>	<b>77,91</b>	<b>74,77</b>	<b>79,41</b>
Platte 1 ("Zugplatte")		Knotenverschiebung [mm]				
		Knoten 255, vx	3,913	3,229	3,089	3,272
		Knoten 255, vy	0,114	0,155	0,128	0,169
		Knoten 139, vx	0,949	0,832	0,802	0,834
		Knoten 139, vy	-0,870	-0,588	-0,574	-0,590
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,30	Verformung Zugdiagonale	<b>0,265</b>	<b>0,263</b>	<b>0,257</b>	<b>0,264</b>
		% des Versuchswertes	<b>88,39</b>	<b>87,54</b>	<b>85,61</b>	<b>88,03</b>
		Knotenverschiebung [mm]				
		Knoten 241, vx	0,920	0,802	0,767	0,799
		Knoten 241, vy	0,089	0,122	0,086	0,118
		Knoten 153, vx	3,925	3,239	3,101	3,282
		Knoten 153, vy	-1,013	-0,727	-0,705	-0,724
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,10	Verformung Druckdiagonale	<b>-0,169</b>	<b>-0,178</b>	<b>-0,191</b>	<b>-0,203</b>
		% des Versuchswertes	168,68	178,23	191,10	202,75
Platte 2 ("Druckplatte")		Knotenverschiebung [mm]				
		Knoten 561, vx	3,946	3,259	3,128	3,322
		Knoten 561, vy	1,055	0,861	0,992	1,123
		Knoten 445, vx	0,778	0,673	0,665	0,695
		Knoten 445, vy	-0,178	-0,122	0,013	0,056
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,30	Verformung Zugdiagonale	0,117	0,117	0,072	0,056
		% des Versuchswertes	39,02	38,92	23,95	18,60
		Knotenverschiebung [mm]				
		Knoten 547, vx	0,731	0,626	0,632	0,662
		Knoten 547, vy	0,816	0,646	0,779	0,912
		Knoten 459, vx	3,929	3,244	3,109	3,301
		Knoten 459, vy	-0,166	-0,106	0,076	0,135
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,10	Verformung Druckdiagonale	<b>-0,355</b>	<b>-0,339</b>	<b>-0,328</b>	<b>-0,324</b>
		% des Versuchswertes	354,83	338,55	328,21	323,81
<b>Rechenzeit [sec]</b>			99	88	781	758

n.l. VM+Mat	n.l. VM+Mat(K)		
	15,0+g <sub>e</sub> ED06	15,0+g <sub>e</sub> ED06	15,0+g <sub>e</sub> ED06
16,167	16,617		16,064
132,52	136,20		131,67
54840	54840		54840
1,0	1,0		0,25
-5,507	-5,507		-5,401
83,44	83,44		81,83
n.l. Fe.	4400		4400
-0,972	-0,972		-1,246
26,27	26,27		33,68
n.l. Fe.	n.l. Fe.		n.l. Fe.
-0,068	-0,068		0,000
3,40	3,40		0,00
n.l. Fe.	n.l. Fe.		n.l. Fe.
-0,861	-0,861		-1,228
57,40	57,40		81,87
3,127	3,127		4,342
71,07	71,07		98,68
2,930	2,930		4,089
0,096	0,096		-0,208
0,775	0,775		0,854
-0,573	-0,573		-1,342
0,235	0,235		0,234
78,35	78,35		78,16
0,761	0,761		0,840
0,087	0,087		-0,203
2,924	2,924		4,084
-0,725	-0,725		-1,492
-0,105	-0,105		-0,091
104,58	104,58		90,54
2,974	2,974		4,123
0,940	0,940		1,235
0,659	0,659		0,755
0,014	0,014		-0,122
0,062	0,062		0,082
20,70	20,70		27,40
0,630	0,630		0,735
0,794	0,794		1,080
2,945	2,945		4,094
0,035	0,035		-0,120
-0,213	-0,213		-0,218
213,05	213,05		217,54
986	1016		1272

### System 20-Laststufe 40,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115%  
des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse					DIN 1052	EC 5	n.l. VM	n.l. VM(K)	
Laststufe [kN]	40,0	Laststufe [kN] Materialsatz	40,0+g <sub>e</sub>								
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>									
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	38,9	Zug , Knoten 37	<b>42,175</b>	<b>42,921</b>	<b>42,590</b>	<b>44,071</b>	<b>41,538</b>				
		% des Versuchswertes	108,42	110,34	109,49	113,29	106,78				
		mit C= [kN/m]	27320	54840	54840	54840	54840				
		mit C <sub>z</sub> =n x C n=			1,0	1,0	0,1				
		<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>									
Druckkraft D <sub>1</sub>	-21,1	Stiel 5, Stab 1598	-16,981	-17,796	-25,492	<b>-20,935</b>	-25,539				
		% des Versuchswertes	80,48	84,34	120,82	99,22	121,04				
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	5550	5550				
Druckkraft D <sub>2</sub>	-10,7	Stiel 4, Stab 1582	-4,312	-4,656	-5,252	-8,239	-4,246				
		% des Versuchswertes	40,30	43,51	49,08	77,00	39,68				
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.				
Druckkraft D <sub>3</sub>	-1,4	Stiel 3, Stab 1566	-0,001	-0,136	-0,188	-0,366	0,000				
		% des Versuchswertes	0,07	9,71	13,43	26,14	0,00				
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]	7420	10150	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.				
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>									
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-3,8	unter Stiel 3 [mm], Feder 6019 :	-2,289	-1,753	-2,631	<b>-3,772</b>	-4,602				
		% des Versuchswertes	60,24	46,13	69,24	99,26	121,11				
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>									
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	12,5	Knoten 120, vx	<b>11,129</b>	9,146	<b>13,530</b>	15,016	22,085				
		% des Versuchswertes	89,03	73,17	108,24	120,13	176,68				
Platte 1 ("Zugplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 255, vx	10,478	8,608	12,591	13,911	20,789				
		Knoten 255, vy	0,201	0,364	0,808	0,963	-2,006				
		Knoten 139, vx	2,547	2,225	3,290	3,501	3,803				
		Knoten 139, vy	-2,436	-1,607	-2,489	-2,794	-8,604				
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,70	<b>Verformung Zugdiagonale</b>	<b>0,715</b>	<b>0,712</b>	<b>0,654</b>	<b>0,673</b>	<b>0,696</b>				
		% des Versuchswertes	102,14	101,72	93,40	96,16	99,46				
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 241, vx	2,464	2,143	3,240	3,451	3,747				
		Knoten 241, vy	0,133	0,282	0,743	0,905	-2,043				
		Knoten 153, vx	10,505	8,634	12,608	13,927	20,813				
		Knoten 153, vy	-2,814	-1,983	-2,698	-2,999	-8,823				
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,40	<b>Verformung Druckdiagonale</b>	<b>-0,586</b>	<b>-0,579</b>	<b>-0,673</b>	<b>-0,512</b>	<b>-0,728</b>				
		% des Versuchswertes	146,42	144,78	168,15	128,04	181,98				
Platte 2 ("Druckplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 561, vx	10,575	8,694	12,881	14,286	20,968				
		Knoten 561, vy	2,755	2,252	3,233	4,022	4,699				
		Knoten 445, vx	2,074	1,793	2,847	3,009	3,479				
		Knoten 445, vy	-0,552	-0,367	-0,672	-0,461	-2,383				
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,70	<b>Verformung Zugdiagonale</b>	<b>0,327</b>	<b>0,323</b>	<b>0,388</b>	<b>0,353</b>	<b>0,455</b>				
		% des Versuchswertes	46,65	46,09	55,38	50,37	64,95				
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>									
		Knoten 547, vx	1,950	1,667	2,821	2,978	3,478				
		Knoten 547, vy	2,133	1,692	2,847	3,597	4,253				
		Knoten 459, vx	10,530	8,654	12,808	14,194	20,891				
		Knoten 459, vy	-0,527	-0,330	-0,653	-0,413	-2,381				
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,40	<b>Verformung Druckdiagonale</b>	<b>-0,918</b>	<b>-0,883</b>	<b>-0,694</b>	<b>-0,703</b>	<b>-0,689</b>				
		% des Versuchswertes	229,53	220,71	173,41	175,68	172,22				
<b>Rechenzeit [sec]</b>			144	76	1056	950	1135				

n.l. VM+Mat	n.l. VM+Mat(K)	
40,0+g <sub>e</sub> ED09	40,0+g <sub>e</sub> ED09	40,0+g <sub>e</sub> ED09
<b>42,533</b>	<b>44,214</b>	<b>44,541</b>
109,34	113,66	114,50
54840	54840	54840
1,0	1,0	1,8
<b>-25,326</b>	<b>-20,914</b>	<b>-20,463</b>
120,03	99,12	96,98
n.l. Fe.	5550	5550
<b>-5,001</b>	<b>-8,134</b>	<b>-8,063</b>
46,74	76,02	75,36
n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.
<b>-0,230</b>	<b>-0,305</b>	<b>-0,412</b>
16,43	21,79	29,43
n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.
<b>-2,609</b>	<b>-3,768</b>	<b>-3,687</b>
68,66	99,16	97,03
<b>13,276</b>	<b>14,743</b>	<b>14,360</b>
106,21	117,94	114,88
12,349	13,463	13,256
0,740	0,907	1,012
3,268	3,462	3,461
-2,487	-2,780	-2,504
<b>0,631</b>	<b>0,574</b>	<b>0,649</b>
90,08	82,07	92,77
3,274	3,464	3,466
0,778	0,953	1,047
12,322	13,611	13,222
-2,781	-3,056	-2,782
<b>-0,435</b>	<b>-0,469</b>	<b>-0,475</b>
108,74	117,27	118,80
12,644	14,029	13,666
3,143	3,949	3,873
2,853	3,008	2,967
-0,675	-0,437	-0,383
<b>0,371</b>	<b>0,340</b>	<b>0,330</b>
52,96	48,51	47,21
2,853	3,001	2,955
2,920	3,688	3,608
12,547	13,917	13,550
-0,737	-0,483	-0,423
<b>-0,435</b>	<b>-0,438</b>	<b>-0,442</b>
108,71	109,41	110,39
1219	1104	1099

### System 200-Laststufe 15,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115%  
des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM+Mat(K)		n.l. VM+Mat(K) +Fuge		
Laststufe [kN]	15,0	Laststufe [kN] Materialsatz	15,0+g <sub>e</sub> ED06	15,0+g <sub>e</sub> ED06	15,0+g <sub>e</sub> ED06	15,0+g <sub>e</sub> ED06 0-0-1	15,0+g <sub>e</sub> ED06 0-1-0	15,0+g <sub>e</sub> ED06 0-1-1	
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>							
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	12,2	Zug , Knoten 41	16,851	17,371	16,158	17,053	16,040	17,042	
		% des Versuchswertes	138,12	142,39	132,44	139,78	131,48	139,69	
		mit C= [kN/m]	54840	54840	54840	54840	54840	54840	
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=	1,0	1,0	0,25	1,0	1,0	1,0	
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>							
Druckkraft D <sub>1</sub>	-6,6	Stiel 5, Stab 1661	-5,789	-4,775	-5,727	-3,204	-6,015	-3,865	
		% des Versuchswertes	87,71	72,35	86,77	48,55	91,14	58,56	
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	n.l. Fe.	4400	4400	4400	4400	4400	
Druckkraft D <sub>2</sub>	-3,7	Stiel 4, Stab 1649	-1,084	-1,380	-1,415	-2,569	0,000	0,000	
		% des Versuchswertes	29,30	37,30	38,24	69,43	0,00	0,00	
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	
Druckkraft D <sub>3</sub>	-2,0	Stiel 3, Stab 1581	-0,086	-0,126	0,000	0,000	0,000	-0,072	
		% des Versuchswertes	4,30	6,30	0,00	0,00	0,00	3,60	
		mit C <sub>D</sub> = [kN/m]	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	n.l. Fe.	
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>							
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-1,5	unter Stiel 3 [mm], Feder 6019 :	-0,893	-1,085	-1,302	-1,728	-1,367	-1,879	
		% des Versuchswertes	59,53	72,33	86,80	115,20	91,13	125,27	
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>							
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	4,4	Knoten 880, vx	3,195	3,402	4,397	4,958	4,453	5,122	
		% des Versuchswertes	72,61	77,32	99,93	112,68	101,20	116,41	
Platte 1 ("Zugplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 386, vx	3,111	3,313	4,328	4,869	4,388	5,038	
		Knoten 386, vy	0,166	0,225	-0,102	0,033	-0,057	0,113	
		Knoten 190, vx	0,740	0,762	0,767	0,811	0,768	0,821	
		Knoten 190, vy	-0,621	-0,638	-1,428	-1,503	-1,412	-1,496	
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,30	Verformung Zugdiagonale	0,253	0,257	0,249	0,262	0,247	0,261	
		% des Versuchswertes	84,31	85,81	83,16	87,34	82,42	86,92	
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 365, vx	0,712	0,736	0,738	0,783	0,738	0,796	
		Knoten 365, vy	0,147	0,192	-0,095	0,034	-0,051	0,106	
		Knoten 211, vx	3,106	3,306	4,326	4,866	4,386	5,034	
		Knoten 211, vy	-0,790	-0,811	-1,591	-1,669	-1,575	-1,662	
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,10	Verformung Druckdiagonale	-0,123	-0,135	-0,100	-0,112	-0,098	-0,116	
		% des Versuchswertes	122,96	134,53	99,61	112,33	98,50	116,12	
Platte 2 ("Druckplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 1150, vx	3,192	3,402	4,397	4,958	4,453	5,122	
		Knoten 1150, vy	1,068	1,197	1,415	1,748	1,491	1,919	
		Knoten 954, vx	0,607	0,622	0,662	0,695	0,669	0,714	
		Knoten 954, vy	-0,019	0,012	-0,167	-0,092	-0,119	-0,003	
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,30	Verformung Zugdiagonale	0,067	0,058	0,087	0,069	0,082	0,054	
		% des Versuchswertes	22,35	19,22	29,16	23,01	27,35	17,94	
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 1129, vx	0,555	0,567	0,620	0,641	0,628	0,664	
		Knoten 1129, vy	0,924	1,053	1,255	1,587	1,322	1,745	
		Knoten 975, vx	3,150	3,359	4,355	4,912	4,413	5,080	
		Knoten 975, vy	-0,008	0,030	-0,176	-0,083	-0,122	0,022	
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,10	Verformung Druckdiagonale	-0,210	-0,207	-0,219	-0,219	-0,227	-0,230	
		% des Versuchswertes	209,55	206,86	218,89	219,06	227,40	229,73	
<b>Rechenzeit [sec]</b>			15828	15410	18798	19488	18750	18801	

**System 200**  
**Laststufe 15,0 kN**

**Berechnungsergebnisse**

	n.l. VM +Mat	n.l. VM+Mat(K)		n.l. VM+Mat(K) +Fuge		
	15,0+g <sub>e</sub> ED06					
Laststufe [kN]						
Materialsatz						
Nagelbelastung [kN]						
Nagel 7611	0,453	0,464	0,493	0,534	0,500	0,557
Nagel 7612	0,469	0,490	0,488	0,554	0,528	0,496
Nagel 7613	0,487	0,502	0,530	0,493	0,568	0,559
Nagel 7614	0,494	0,527	0,564	0,555	0,600	0,623
Nagel 7615	0,548	0,546	0,492	0,619	0,522	0,688
Nagel 7616	0,569	0,600	0,548	0,684	0,578	0,627
Nagel 7617	0,583	0,510	0,603	0,624	0,633	0,684
Nagel 7618	0,490	0,552	0,655	0,680	0,686	0,740
Nagelverformung [mm]						
Nagel 7611	0,491	0,562	0,597	0,779	0,661	0,924
Nagel 7612	0,567	0,648	0,711	0,919	0,770	1,062
Nagel 7613	0,643	0,732	0,821	1,056	0,881	1,197
Nagel 7614	0,720	0,817	0,935	1,189	0,996	1,334
Nagel 7615	0,799	0,905	1,055	1,325	1,117	1,473
Nagel 7616	0,882	0,995	1,173	1,464	1,237	1,621
Nagel 7617	0,967	1,093	1,291	1,611	1,356	1,768
Nagel 7618	1,049	1,181	1,403	1,756	1,469	1,913

### System 200-Laststufe 40,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115%  
des Versuchswertes)

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		n.l. VM +Mat	n.l. VM+Mat(K)		n.l. VM+Mat(K) +Fuge		
Laststufe [kN]	40,0	Laststufe [kN] Materialsatz		40,0+g <sub>e</sub> ED09					
							0-0-1	0-1-0	0-1-1
<b>Kräfte [kN]</b>		<b>Auflagerkräfte [kN]</b>							
Anker-Zugkraft Z <sub>A</sub>	38,9	Zug , Knoten 41		<b>42,668</b>	<b>44,363</b>	<b>44,564</b>	45,334	<b>44,442</b>	45,371
		% des Versuchswertes		<b>109,69</b>	<b>114,04</b>	<b>114,56</b>	116,54	<b>114,25</b>	116,63
		mit C= [kN/m]		54840	54840	54840	54840	54840	54840
		mit C <sub>Z</sub> =n x C n=		1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5
		<b>Stildruckkräfte [kN]</b>							
Druckkraft D <sub>1</sub>	-21,1	Stiel 5, Stab 1661		-26,421	<b>-22,020</b>	<b>-21,838</b>	<b>-19,605</b>	<b>-23,281</b>	<b>-21,122</b>
		% des Versuchswertes		125,22	<b>104,36</b>	<b>103,50</b>	92,91	<b>110,34</b>	<b>100,10</b>
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]		n.l. Fe.	5550	5550	5550	5550	5550
Druckkraft D <sub>2</sub>	-10,7	Stiel 4, Stab 1649		-4,787	<b>-7,474</b>	<b>-7,538</b>	<b>-8,979</b>	<b>-3,584</b>	<b>-5,013</b>
		% des Versuchswertes		44,74	69,85	70,45	83,92	33,50	46,85
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]		n.l. Fe.					
Druckkraft D <sub>3</sub>	-1,4	Stiel 3, Stab 1581		-0,040	<b>-0,208</b>	<b>-0,289</b>	<b>-0,431</b>	<b>-0,556</b>	<b>-1,197</b>
		% des Versuchswertes		2,86	14,86	20,64	30,79	39,71	<b>85,50</b>
		mit C <sub>p</sub> = [kN/m]		n.l. Fe.					
<b>Verformungen [mm]</b>		<b>Schwellenzus.-drückung</b>							
Schwelleneindrückung d <sub>u</sub> (unter D <sub>1</sub> )	-3,8	unter Stiel 3 [mm], Feder 6019 :		-2,749	<b>-3,968</b>	<b>-3,935</b>	-4,532	<b>-4,195</b>	-4,806
		% des Versuchswertes		72,34	<b>104,42</b>	<b>103,55</b>	119,26	<b>110,39</b>	126,47
		<b>Kopfverschiebung [mm]</b>							
Kopfverschiebung h <sub>Do</sub>	12,5	Knoten 880, vx		<b>13,942</b>	15,849	15,628	16,472	15,783	16,750
		% des Versuchswertes		<b>111,54</b>	126,79	125,02	131,78	126,26	134,00
Platte 1 ("Zugplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 386, vx		13,357	15,122	14,882	15,575	15,063	15,889
		Knoten 386, vy		0,949	1,374	1,462	1,548	1,568	1,698
		Knoten 190, vx		3,076	3,385	3,452	3,556	3,458	3,571
		Knoten 190, vy		-2,995	-3,194	-2,964	-3,103	-2,947	-3,095
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,70	Verformung Zugdiagonale		<b>0,630</b>	<b>0,664</b>	<b>0,666</b>	<b>0,705</b>	<b>0,658</b>	<b>0,699</b>
		% des Versuchswertes		<b>90,05</b>	<b>94,84</b>	<b>95,17</b>	<b>100,70</b>	<b>93,93</b>	<b>99,91</b>
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 365, vx		3,048	3,348	3,413	3,516	3,421	3,532
		Knoten 365, vy		0,977	1,388	1,468	1,560	1,553	1,686
		Knoten 211, vx		13,319	15,074	14,833	15,522	15,012	15,834
		Knoten 211, vy		-3,245	-3,440	-3,217	-3,387	-3,202	-3,380
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,40	Verformung Druckdiagonale		-0,325	<b>-0,359</b>	<b>-0,366</b>	<b>-0,364</b>	<b>-0,372</b>	<b>-0,375</b>
		% des Versuchswertes		81,14	<b>89,85</b>	<b>91,59</b>	<b>90,95</b>	<b>92,89</b>	<b>93,66</b>
Platte 2 ("Druckplatte")		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 1150, vx		13,942	15,849	15,629	16,474	15,783	16,751
		Knoten 1150, vy		3,613	4,501	4,465	4,935	4,834	5,276
		Knoten 954, vx		2,620	2,727	2,727	2,761	2,817	2,830
		Knoten 954, vy		-1,041	-1,009	-0,953	-0,869	-0,624	-0,640
Längenänderung d <sub>Zr</sub> (der Zugdiagonalen)	0,70	Verformung Zugdiagonale		0,414	0,380	0,372	0,357	0,362	0,341
		% des Versuchswertes		59,14	54,22	53,16	50,97	51,75	48,72
		<b>Knotenverschiebung [mm]</b>							
		Knoten 1129, vx		2,574	2,672	2,670	2,697	2,768	2,778
		Knoten 1129, vy		3,365	4,225	4,193	4,638	4,535	4,972
		Knoten 975, vx		13,829	15,710	15,491	16,309	15,660	16,602
		Knoten 975, vy		-1,201	-1,109	-1,045	-0,949	-0,740	-0,696
Längenänderung d <sub>Dr</sub> (der Druckdiagonalen)	-0,40	Verformung Druckdiagonale		<b>-0,408</b>	<b>-0,427</b>	<b>-0,427</b>	<b>-0,427</b>	<b>-0,422</b>	<b>-0,439</b>
		% des Versuchswertes		<b>102,11</b>	<b>106,74</b>	<b>106,77</b>	<b>106,83</b>	<b>105,48</b>	<b>109,71</b>
<b>Rechenzeit [sec]</b>				15753	14033	15010	14435	14014	14030

**System 200**  
**Laststufe 40,0 kN**

**Berechnungsergebnisse**

	n.l. VM+Mat		n.l. VM+Mat(K)		n.l. VM+Mat(K) +Fuge	
	40,0+g <sub>e</sub> ED09					
Laststufe [kN]						
Materialsatz						
Nagelbelastung [kN]						
Nagel 7611	0,762	0,679	0,681	0,739	0,778	0,825
Nagel 7612	0,661	0,786	0,787	0,857	0,883	0,767
Nagel 7613	0,746	0,726	0,726	0,791	0,805	0,863
Nagel 7614	0,835	0,816	0,814	0,887	0,895	0,821
Nagel 7615	0,755	0,908	0,905	0,841	0,842	0,907
Nagel 7616	0,833	0,856	0,852	0,927	0,922	0,994
Nagel 7617	0,912	0,937	0,932	1,014	1,002	0,949
Nagel 7618	0,839	1,013	1,006	0,962	0,945	1,022
Nagelverformung [mm]						
Nagel 7611	1,968	2,316	2,326	2,524	2,656	2,815
Nagel 7612	2,255	2,681	2,686	2,923	3,015	3,224
Nagel 7613	2,546	3,051	3,050	3,322	3,384	3,628
Nagel 7614	2,850	3,427	3,419	3,726	3,760	4,044
Nagel 7615	3,173	3,814	3,801	4,144	4,149	4,467
Nagel 7616	3,502	4,217	4,197	4,568	4,542	4,898
Nagel 7617	3,831	4,617	4,590	4,994	4,937	5,334
Nagel 7618	4,131	4,992	4,957	5,407	5,309	5,744

### System 3/300 Laststufe 20,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder KontaktsöÙe Stiel(1-4)-Riegel nach Versuchsauswertung [5]  
 Ko2: Federn der Horizontallaufleger CH x 10,0 Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25  
 Ko3: Federn der Vertikallaufleger CV x 2,0 Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		DIN 1052	EC 5	n.i. VM	n.i. VM + Mat	n.i. VM + Mat	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>	20,0+g <sub>e</sub>
Laststufe [kN]		Laststufe [kN]		System 3	System 3	System 3	System 300	System 300	MMW06	MMW06	MMW06
		Materialsatz	Korrektur	20,0+g <sub>e</sub>	Ko2+3+6+7	Ko1+2+3+6+7					
<b>Zugkraft Z<sub>A</sub></b>		<b>Aufagerkräfte [kN]</b>									
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)	3,338	Zug , Knoten 1002		3,277	3,222	3,270	2,926	2,952	87,66	88,44	2,887
		% des Versuchswertes		98,17	96,52	97,96	87,66	88,44			86,49
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)	1,446	Zug , Knoten 2002		3,058	3,290	3,504	4,143	4,219	4,143	4,219	4,121
		% des Versuchswertes		211,48	227,52	242,32	286,51	291,77	286,51	291,77	284,99
Horizontal 1 (Stirn)	k.A.	Hor. 1, Knoten 210		13,381	13,574	12,961	-15,189	-13,786	-15,189	-13,786	-13,800
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A.	Hor. 2, Knoten 3001		2,940	2,845	3,118	-2,123	-2,849	-2,123	-2,849	-2,845
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A.	Hor. 3, Knoten 2001		3,680	3,581	3,920	-2,688	-3,365	-2,688	-3,365	-3,355
<b>Druckkraft D</b>		<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>									
Stiel 1	-1,532	Stiel 1, Stab 2301		-2,799	-3,080	-1,318	-1,238	-1,144	-1,238	-1,144	-1,106
		% des Versuchswertes		182,70	201,04	86,03	80,81	74,67	80,81	74,67	72,19
Stiel 2	-0,141	Stiel 2, Stab 2281		-1,464	-1,528	-0,404	-0,368	-0,336	-0,368	-0,336	-0,611
		% des Versuchswertes		1038,30	1083,69	286,52	260,99	238,30	260,99	238,30	433,33
Stiel 3	-0,610	Stiel 3, Stab 2261		-0,684	-0,656	-0,176	-0,172	-0,175	-0,172	-0,175	-0,312
		% des Versuchswertes		112,13	107,54	28,85	28,20	28,69	28,20	28,69	51,15
Stiel 4	-0,363	Stiel 4, Stab 2241		-0,091	-0,074	-0,043	-0,036	-0,048	-0,036	-0,048	-0,062
		% des Versuchswertes		25,07	20,39	11,85	9,92	13,22	9,92	13,22	17,08
Stiel 5	-0,004	Stiel 5, Stab 2201		0,005	-0,055	0,003	-0,007	-0,020	-0,007	-0,020	-0,010
		% des Versuchswertes		-125,00	1375,00	-75,00	175,00	500,00	-75,00	500,00	250,00
Stiel 6	0,085	Stiel 6, Stab 2181		-0,002	-0,016	-0,003	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,000
		% des Versuchswertes		-2,35	-18,82	-3,53	-1,18	0,00	-1,18	0,00	0,00
Stiel 7	0,148	Stiel 7, Stab 2161		-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes		-0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 8	0,044	Stiel 8, Stab 2141		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Verformungen [mm]</b>											
Schwelleneindrückung (unter D <sub>i</sub> )	-0,565	[mm], Feder 13501 :		-0,393	-0,316	-0,455	-0,438	-0,419	-0,438	-0,419	-0,409
		% des Versuchswertes		69,56	55,93	80,53	77,52	74,16	77,52	74,16	72,39
Kopferschiebung	0,65	Knoten 4031 , vx		1,477	1,342	1,307	1,239	1,152	1,307	1,152	1,146
		% des Versuchswertes		227,23	206,46	201,08	190,62	177,23	201,08	177,23	176,31
<b>Rechenzeit [sec]</b>				2481	3184	24756	38064	36791	24756	38064	36791

<b>System 3/300</b>		<b>DIN 1052</b>	<b>EC 5</b>	<b>n.I. VM</b>	<b>n.I. VM + Mat</b>	<b>n.I. VM + Mat (K)</b>	
<b>Laststufe 20,0 kN</b>		<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 300</b>	<b>System 300</b>	
<b>Laststufe [kN]</b>	<b>20,0+g<sub>e</sub></b>	<b>20,0+g<sub>e</sub></b>	<b>20,0+g<sub>e</sub></b>	<b>20,0+g<sub>e</sub></b>	<b>20,0+g<sub>e</sub></b>	<b>20,0+g<sub>e</sub></b>	
<b>Materialsatz</b>					<b>MW06</b>	<b>MW06</b>	
<b>Korrektur</b>					<b>Ko2+3+6+7</b>	<b>Ko1+2+3+6+7</b>	
<b>Nagelbelastung [kN]</b>							
Nagel 18032	0,373	0,368	0,408	0,408	0,420	0,436	0,428
Nagel 18031	0,338	0,332	0,401	0,401	0,426	0,398	0,390
Nagel 18030	0,328	0,322	0,391	0,391	0,389	0,412	0,403
Nagel 18029	0,290	0,283	0,325	0,325	0,404	0,380	0,370
Nagel 18028	0,268	0,261	0,341	0,341	0,372	0,350	0,340
Nagel 18027	0,263	0,256	0,347	0,347	0,342	0,323	0,363
Nagel 18026	0,237	0,230	0,301	0,301	0,364	0,345	0,333
Nagel 18025	0,220	0,213	0,279	0,279	0,331	0,314	0,302
Nagel 18024	0,209	0,202	0,261	0,261	0,311	0,296	0,284
Nagel 18023	0,195	0,189	0,282	0,282	0,290	0,277	0,266
Nagel 18022	0,188	0,182	0,276	0,276	0,266	0,255	0,294
Nagel 18021	0,168	0,164	0,228	0,228	0,293	0,281	0,270
Nagel 18020	0,156	0,152	0,206	0,206	0,267	0,257	0,247
Nagel 18019	0,149	0,145	0,210	0,210	0,243	0,235	0,226
Nagel 18018	0,134	0,131	0,181	0,181	0,220	0,214	0,205
Nagel 18017	0,123	0,120	0,163	0,163	0,196	0,191	0,182
<b>Nagelverformung [mm]</b>							
Nagel 18032	0,512	0,431	0,443	0,443	0,508	0,473	0,464
Nagel 18031	0,463	0,389	0,384	0,384	0,463	0,432	0,423
Nagel 18030	0,449	0,377	0,374	0,374	0,423	0,394	0,386
Nagel 18029	0,397	0,331	0,311	0,311	0,387	0,363	0,354
Nagel 18028	0,367	0,306	0,280	0,280	0,356	0,335	0,326
Nagel 18027	0,360	0,300	0,284	0,284	0,327	0,309	0,298
Nagel 18026	0,324	0,269	0,247	0,247	0,298	0,283	0,273
Nagel 18025	0,301	0,249	0,228	0,228	0,271	0,257	0,247
Nagel 18024	0,287	0,237	0,214	0,214	0,255	0,243	0,233
Nagel 18023	0,267	0,222	0,190	0,190	0,238	0,227	0,218
Nagel 18022	0,257	0,214	0,186	0,186	0,218	0,209	0,199
Nagel 18021	0,231	0,192	0,154	0,154	0,198	0,190	0,182
Nagel 18020	0,213	0,178	0,139	0,139	0,180	0,174	0,167
Nagel 18019	0,204	0,170	0,142	0,142	0,164	0,159	0,153
Nagel 18018	0,184	0,154	0,122	0,122	0,149	0,144	0,139
Nagel 18017	0,168	0,141	0,110	0,110	0,132	0,129	0,123

### System 3/300 Laststufe 40,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder KontaktsöÙe Stiel(1-4)-Riegel nach Versuchsauswertung [5]  
 Ko3: Federn der Vertikalaufleger CV x 2,0  
 Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0  
 Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		DIN 1052	EC 5	n.i. VM	n.i. VM + Mat	n.i. VM + Mat
Laststufe [kN]	40,0	Laststufe [kN]	40,0+g <sub>e</sub>	System 3	System 3	System 3	System 300	System 300
Materialsatz								
Korrektur								
<b>Zugkraft Z<sub>A</sub></b>		<b>Aufagerkräfte [kN]</b>						
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)	7,185	Zug , Knoten 1002	7,135	7,633	6,971	6,970	6,892	6,892
		% des Versuchswertes	99,30	106,24	97,02	97,01	95,92	95,92
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)	6,168	Zug , Knoten 2002	8,110	7,774	9,087	9,276	9,286	9,286
		% des Versuchswertes	131,49	132,88	147,32	150,39	150,55	150,55
Horizontal 1 (Stirn)	k.A.	Hor. 1, Knoten 210	26,675	27,090	-31,234	-29,458	-29,492	-29,492
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A.	Hor. 2, Knoten 3001	5,890	5,698	-3,977	-4,784	-4,772	-4,772
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A.	Hor. 3, Knoten 2001	7,435	7,212	-4,789	-5,758	-5,736	-5,736
<b>Druckkraft D</b>		<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>						
Stiel 1	-3,310	Stiel 1, Stab 2301	-5,358	-5,940	-5,280	-4,958	-5,467	-5,467
		% des Versuchswertes	161,87	179,46	159,52	149,79	165,17	165,17
Stiel 2	-0,599	Stiel 2, Stab 2281	-2,677	-2,824	-1,623	-1,544	-1,334	-1,334
		% des Versuchswertes	446,91	471,45	254,59	257,76	222,70	222,70
Stiel 3	-1,382	Stiel 3, Stab 2261	-1,071	-1,036	-0,393	-0,415	-0,646	-0,646
		% des Versuchswertes	77,50	74,96	28,44	30,03	46,74	46,74
Stiel 4	-0,683	Stiel 4, Stab 2241	-0,121	-0,137	-0,043	-0,057	-0,088	-0,088
		% des Versuchswertes	17,72	20,06	6,30	8,35	12,88	12,88
Stiel 5	-0,004	Stiel 5, Stab 2201	0,000	0,002	-0,011	-0,017	-0,011	-0,011
		% des Versuchswertes	0,00	-50,00	275,00	425,00	275,00	275,00
Stiel 6	0,151	Stiel 6, Stab 2181	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	-1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 7	0,229	Stiel 7, Stab 2161	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	3,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 8	0,071	Stiel 8, Stab 2141	-0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	-2,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Verformungen [mm]</b>								
Schwelleneindrückung (unter D <sub>i</sub> )	-0,765	[mm], Feder 13501 :	-0,752	-0,611	-0,844	-0,846	-0,823	-0,780
		% des Versuchswertes	98,30	79,87	110,33	110,59	107,58	101,96
Kopferschiebung	2,25	Knoten 4031, vx	2,965	2,695	2,882	2,767	2,632	2,614
		% des Versuchswertes	131,78	119,78	128,09	122,98	116,98	116,18
<b>Rechenzeit [sec]</b>			2480	2465	24976	36081	36393	36393

<b>System 3/300</b>		<b>DIN 1052</b>	<b>EC 5</b>	<b>n.I. VM</b>	<b>n.I. VM + Mat</b>	<b>n.I. VM + Mat (K)</b>
<b>Laststufe 40,0 kN</b>		<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 300</b>	<b>System 300</b>
		40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>
					MW06	MW06
					Ko2+3+6+7	Ko1+2+3+6+7
<b>Nagelbelastung [kN]</b>						
Laststufe [kN]		0,729	0,720	0,597	0,563	0,527
Materialsatz		0,659	0,648	0,577	0,524	0,490
Korrektur		0,636	0,626	0,554	0,487	0,584
		0,562	0,550	0,515	0,581	0,580
		0,519	0,507	0,519	0,576	0,538
		0,506	0,494	0,507	0,534	0,531
		0,456	0,444	0,490	0,524	0,491
		0,422	0,409	0,451	0,527	0,494
		0,400	0,389	0,425	0,498	0,467
		0,373	0,363	0,431	0,466	0,476
		0,356	0,347	0,411	0,468	0,438
		0,320	0,313	0,398	0,430	0,447
		0,295	0,289	0,359	0,437	0,408
		0,279	0,273	0,347	0,397	0,420
		0,252	0,248	0,349	0,404	0,378
		0,229	0,226	0,312	0,359	0,335
<b>Nagelverformung [mm]</b>						
		0,998	0,843	0,990	1,205	1,128
		0,902	0,756	0,894	1,123	1,049
		0,871	0,733	0,858	1,042	0,969
		0,770	0,645	0,750	0,964	0,899
		0,711	0,594	0,686	0,893	0,835
		0,693	0,579	0,669	0,828	0,774
		0,625	0,519	0,593	0,764	0,716
		0,577	0,479	0,546	0,696	0,653
		0,549	0,455	0,515	0,658	0,617
		0,511	0,425	0,468	0,616	0,576
		0,488	0,406	0,446	0,567	0,531
		0,438	0,366	0,381	0,521	0,486
		0,404	0,338	0,344	0,474	0,444
		0,382	0,320	0,332	0,431	0,402
		0,345	0,290	0,286	0,387	0,362
		0,313	0,264	0,256	0,344	0,321

### System 3/300 Laststufe 60,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder KontaktsöÙe Stiel(1-4)-Riegel nach Versuchsauswertung [5]  
 Ko3: Federn der Vertikalaufleger CV x 2,0  
 Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0  
 Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse				DIN 1052 System 3		EC 5 System 3		n.i. VM System 3		n.i. VM + Mat System 300		n.i. VM + Mat System 300	
Laststufe [kN]	60,0	Laststufe [kN]	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>									
Zugkraft Z <sub>A</sub>		Auflagerkräfte [kN]													
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)	11,574	Zug , Knoten 1002	11,199	11,061	12,417	11,280	11,055	10,556	97,46	95,52	91,20	13,903	13,901	122,38	122,38
		% des Versuchswertes	96,76	95,57	107,28	97,46	95,52	91,20	13,410	13,410	13,410	13,903	13,901	122,38	122,38
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)	11,359	Zug , Knoten 2002	13,202	13,206	11,226	11,226	11,226	11,226	98,83	98,83	98,83	118,06	122,40	122,40	122,38
		% des Versuchswertes	116,23	116,26	116,26	116,26	116,26	116,26	41,887	41,887	41,887	47,983	46,447	46,447	46,527
Horizontal 1 (Stirn)	k.A.	Hor. 1, Knoten 210	39,962	40,600	41,887	41,887	41,887	41,887	8,197	8,197	8,197	5,387	6,221	6,221	6,266
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A.	Hor. 2, Knoten 3001	8,842	8,552	8,197	8,197	8,197	8,197	10,848	10,848	10,848	6,631	7,332	7,332	7,207
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A.	Hor. 3, Knoten 2001	11,195	10,848	9,916	9,916	9,916	9,916							
<b>Druckkraft D</b>		<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>													
Stiel 1	-5,621	Stiel 1, Stab 2301	-7,905	-8,795	-10,392	-10,392	-10,392	-10,392	184,36	184,36	184,36	178,69	242,43	242,43	242,43
		% des Versuchswertes	140,63	156,47	184,88	184,88	184,88	184,88	-3,478	-3,478	-3,478	-3,513	-2,250	-2,250	-2,250
Stiel 2	-1,227	Stiel 2, Stab 2281	-3,876	-4,113	283,46	283,46	283,46	283,46	292,75	292,75	292,75	286,31	183,37	183,37	183,37
		% des Versuchswertes	315,89	335,21	335,21	335,21	335,21	335,21	-0,619	-0,619	-0,619	-0,925	-0,777	-0,777	-0,777
Stiel 3	-2,243	Stiel 3, Stab 2261	-1,441	-1,406	62,68	62,68	62,68	62,68	38,70	38,70	38,70	41,24	34,64	34,64	34,64
		% des Versuchswertes	64,24	62,68	62,68	62,68	62,68	62,68	-0,035	-0,035	-0,035	-0,061	-0,082	-0,082	-0,082
Stiel 4	-0,953	Stiel 4, Stab 2241	-0,202	-0,201	21,09	21,09	21,09	21,09	4,83	4,83	4,83	6,40	8,60	8,60	8,60
		% des Versuchswertes	21,20	21,09	21,09	21,09	21,09	21,09	0,023	0,023	0,023	0,023	-0,010	-0,010	-0,010
Stiel 5	-0,004	Stiel 5, Stab 2201	0,000	0,024	-600,00	-600,00	-600,00	-600,00	1075,00	1075,00	1075,00	575,00	250,00	250,00	250,00
		% des Versuchswertes	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Stiel 6	0,185	Stiel 6, Stab 2181	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Stiel 7	0,258	Stiel 7, Stab 2161	0,016	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	6,20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Stiel 8	0,083	Stiel 8, Stab 2141	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	-3,61	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Verformungen [mm]</b>															
Schwelleneindrückung (unter D <sub>i</sub> )	-0,785	[mm], Feder 13501 :	-1,111	-0,905	-1,213	-1,196	-1,196	-1,196	152,36	152,36	152,36	149,55	106,50	106,50	106,50
		% des Versuchswertes	141,53	115,29	154,52	154,52	154,52	154,52	4,866	4,866	4,866	4,362	4,238	4,238	4,238
Kopferschiebung	3,23	Knoten 4031, vx	4,455	4,049	125,36	125,36	125,36	125,36	140,22	140,22	140,22	135,05	131,21	131,21	131,21
		% des Versuchswertes	137,93	125,36	125,36	125,36	125,36	125,36	3094	3094	3094	37006	36587	36587	36587
<b>Rechenzeit [sec]</b>			2471	3094	25432	37006	37006	37006							

<b>System 3/300</b>		<b>DIN 1052</b>	<b>EC 5</b>	<b>n.I. VM</b>	<b>n.I. VM + Mat</b>	<b>n.I. VM + Mat (K)</b>
<b>Laststufe 60,0 kN</b>		<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 300</b>	<b>System 300</b>
<b>Laststufe [kN]</b>	<b>Materialsatz</b>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>
<b>Korrektur</b>	<b>Nagelbelastung [kN]</b>				MW09	MW09
					Ko2+3+6+7	Ko1+2+3+6+7
Nagel 18032	1,083	1,071	0,661	0,779	0,752	0,709
Nagel 18031	0,978	0,963	0,611	0,732	0,706	0,667
Nagel 18030	0,944	0,930	0,700	0,686	0,662	0,624
Nagel 18029	0,834	0,817	0,632	0,643	0,620	0,704
Nagel 18028	0,770	0,752	0,585	0,602	0,698	0,659
Nagel 18027	0,749	0,732	0,560	0,676	0,652	0,616
Nagel 18026	0,674	0,657	0,507	0,629	0,608	0,574
Nagel 18025	0,623	0,605	0,597	0,580	0,560	0,530
Nagel 18024	0,591	0,574	0,562	0,551	0,532	0,503
Nagel 18023	0,550	0,535	0,552	0,518	0,501	0,605
Nagel 18022	0,524	0,511	0,520	0,480	0,596	0,560
Nagel 18021	0,471	0,461	0,487	0,568	0,587	0,551
Nagel 18020	0,433	0,425	0,484	0,555	0,538	0,536
Nagel 18019	0,409	0,401	0,492	0,537	0,521	0,538
Nagel 18018	0,369	0,364	0,433	0,534	0,520	0,487
Nagel 18017	0,334	0,331	0,426	0,476	0,505	0,474
<b>Nagelverformung [mm]</b>						
Nagel 18032	1,484	1,255	1,709	2,012	1,942	1,831
Nagel 18031	1,340	1,128	0,579	1,891	1,825	1,722
Nagel 18030	1,293	1,089	1,499	1,772	1,709	1,613
Nagel 18029	1,143	0,957	1,353	1,661	1,601	1,502
Nagel 18028	1,054	0,881	1,253	1,554	1,495	1,411
Nagel 18027	1,025	0,857	1,198	1,448	1,397	1,319
Nagel 18026	0,924	0,769	1,085	1,347	1,301	1,228
Nagel 18025	0,853	0,708	0,989	1,241	1,199	1,134
Nagel 18024	0,810	0,672	0,932	1,180	1,140	1,077
Nagel 18023	0,753	0,627	0,856	1,109	1,072	1,003
Nagel 18022	0,718	0,599	0,805	1,027	0,989	0,928
Nagel 18021	0,645	0,540	0,710	0,942	0,910	0,854
Nagel 18020	0,593	0,498	0,640	0,861	0,835	0,781
Nagel 18019	0,560	0,470	0,596	0,782	0,760	0,711
Nagel 18018	0,505	0,426	0,524	0,705	0,686	0,643
Nagel 18017	0,458	0,388	0,463	0,629	0,612	0,574

### System 3/300 Laststufe 80,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder KontaktsöÙe Stiel(1-4)-Riegel nach Versuchsauswertung [5]  
 Ko2: Federn der Horizontallaufleger CH x 10,0 Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25  
 Ko3: Federn der Vertikallaufleger CV x 2,0 Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse				DIN 1052 System 3		EC 5 System 3		n.i. VM System 3		n.i. VM + Mat System 300		n.i. VM + Mat System 300	
Laststufe [kN]	80,0	Laststufe [kN]	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>									
<b>Zugkraft Z<sub>A</sub></b>															
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)	16,144	Zug , Knoten 1002	15,163	14,980	18,007	15,963	15,724	14,881	15,963	15,724	14,881	15,963	15,724	14,881	14,881
		% des Versuchswertes	93,92	92,79	111,54	98,88	97,40	92,18	98,88	97,40	92,18	98,88	97,40	92,18	92,18
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)	16,539	Zug , Knoten 2002	18,284	18,235	13,454	17,592	17,592	17,666	18,235	13,454	17,592	17,592	17,592	17,666	17,666
		% des Versuchswertes	110,55	110,25	81,35	103,56	106,37	106,81	103,56	106,37	106,81	103,56	106,37	106,81	106,81
Horizontal 1 (Stirn)	k.A.	Hor. 1, Knoten 210	53,250	54,107	57,239	-64,877	-63,416	-63,645	57,239	-64,877	-63,416	-64,877	-63,416	-63,645	-63,645
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A.	Hor. 2, Knoten 3001	11,795	11,406	10,325	-6,798	-7,595	-7,529	10,325	-6,798	-7,595	-6,798	-7,595	-7,529	-7,529
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A.	Hor. 3, Knoten 2001	14,955	14,487	12,435	-8,325	-8,989	-8,826	12,435	-8,325	-8,989	-8,325	-8,989	-8,826	-8,826
<b>Druckkraft D</b>		<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>													
Stiel 1	-9,086	Stiel 1, Stab 2301	-10,453	-11,645	-15,629	-15,614	-15,252	-21,031	-15,629	-15,614	-15,252	-15,614	-15,252	-21,031	-21,031
		% des Versuchswertes	115,05	128,16	172,01	171,85	167,86	231,47	172,01	171,85	167,86	171,85	167,86	231,47	231,47
Stiel 2	-1,880	Stiel 2, Stab 2281	-5,075	-5,398	-5,662	-5,875	-5,837	-3,873	-5,662	-5,875	-5,837	-5,875	-5,837	-3,873	-3,873
		% des Versuchswertes	269,95	287,13	301,17	312,50	310,48	206,01	301,17	312,50	310,48	312,50	310,48	206,01	206,01
Stiel 3	-2,962	Stiel 3, Stab 2261	-1,811	-1,770	-0,849	-1,336	-1,470	-0,897	-0,849	-1,336	-1,470	-1,336	-1,470	-0,897	-0,897
		% des Versuchswertes	61,14	59,76	28,66	45,10	49,63	30,28	28,66	45,10	49,63	45,10	49,63	30,28	30,28
Stiel 4	-1,129	Stiel 4, Stab 2241	-0,295	-0,264	-0,046	-0,054	-0,071	-0,087	-0,046	-0,054	-0,071	-0,054	-0,071	-0,087	-0,087
		% des Versuchswertes	26,13	23,38	4,07	4,78	6,29	7,71	4,07	4,78	6,29	4,78	6,29	7,71	7,71
Stiel 5	-0,009	Stiel 5, Stab 2201	0,041	0,034	-0,028	-0,109	-0,048	-0,048	-0,028	-0,109	-0,048	-0,109	-0,048	-0,048	-0,048
		% des Versuchswertes	-455,56	-377,78	311,11	1211,11	900,00	533,33	311,11	1211,11	900,00	1211,11	900,00	533,33	533,33
Stiel 6	0,193	Stiel 6, Stab 2181	-0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	-5,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 7	0,261	Stiel 7, Stab 2161	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	9,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 8	0,074	Stiel 8, Stab 2141	-0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	-8,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Verformungen [mm]</b>															
Schwelleneindrückung (unter D <sub>i</sub> )	-0,800	[mm], Feder 13501 :	-1,469	-1,198	-1,582	-1,558	-1,533	-0,886	-1,198	-1,582	-1,558	-1,533	-1,533	-0,886	-0,886
		% des Versuchswertes	183,63	149,75	197,75	194,75	191,63	110,75	149,75	197,75	194,75	191,63	191,63	110,75	110,75
Kopferschiebung	3,82	Knoten 4031, vx	5,944	5,403	7,287	6,521	6,336	6,103	5,403	7,287	6,521	6,336	6,336	6,103	6,103
		% des Versuchswertes	155,60	141,44	190,76	170,71	165,86	159,76	141,44	190,76	170,71	165,86	165,86	159,76	159,76
<b>Rechenzeit [sec]</b>			2565	3075	25626	36636	38599	9976	3075	25626	36636	38599	38599	9976	9976

<b>System 3/300</b>		<b>DIN 1052</b>	<b>EC 5</b>	<b>n.I. VM</b>	<b>n.I. VM + Mat</b>	<b>n.I. VM + Mat (K)</b>
<b>Laststufe 80,0 kN</b>		<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 300</b>	<b>System 300</b>
		80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>
					MW09	MW09
					Ko2+3+6+7	Ko1+2+3+6+7
<b>Nagelbelastung [kN]</b>						
Laststufe [kN]	1,438	1,422	0,744	0,869	0,852	0,795
Materialsatz	1,296	1,278	0,695	0,822	0,806	0,753
Korrektur	1,251	1,233	0,661	0,774	0,759	0,710
	1,106	1,084	0,606	0,730	0,716	0,669
	1,020	0,997	0,741	0,686	0,673	0,630
	0,991	0,969	0,703	0,644	0,632	0,778
	0,893	0,870	0,642	0,602	0,779	0,728
	0,824	0,801	0,592	0,734	0,721	0,677
	0,782	0,760	0,674	0,699	0,688	0,646
	0,726	0,708	0,623	0,659	0,650	0,608
	0,692	0,675	0,585	0,614	0,606	0,682
	0,622	0,609	0,527	0,685	0,677	0,634
	0,571	0,561	0,479	0,631	0,626	0,586
	0,538	0,529	0,565	0,579	0,575	0,539
	0,486	0,480	0,535	0,527	0,524	0,492
	0,440	0,436	0,505	0,610	0,608	0,572
<b>Nagelverformung [mm]</b>						
Nagel 18032	1,969	1,666	2,539	2,967	2,908	2,713
Nagel 18031	1,778	1,496	2,371	2,805	2,750	2,570
Nagel 18030	1,714	1,444	2,256	2,643	2,592	2,424
Nagel 18029	1,515	1,269	2,069	2,490	2,442	2,285
Nagel 18028	1,397	1,168	1,914	2,343	2,298	2,149
Nagel 18027	1,358	1,135	1,815	2,199	2,157	2,012
Nagel 18026	1,223	1,018	1,659	2,056	2,012	1,882
Nagel 18025	1,128	0,937	1,529	1,896	1,862	1,749
Nagel 18024	1,071	0,889	1,443	1,806	1,777	1,669
Nagel 18023	0,995	0,829	1,335	1,703	1,680	1,571
Nagel 18022	0,948	0,791	1,252	1,586	1,566	1,461
Nagel 18021	0,851	0,713	1,128	1,466	1,451	1,357
Nagel 18020	0,782	0,657	1,025	1,351	1,340	1,255
Nagel 18019	0,737	0,619	0,937	1,239	1,231	1,154
Nagel 18018	0,665	0,562	0,830	1,128	1,123	1,053
Nagel 18017	0,603	0,511	0,736	1,011	1,009	0,948

Korrekturen : Ko1: Feder Kontaktsöse Stiel(1-4)-Riegel Ko3: Federn der Vertikalaufleger CV x 2,0  
nach Versuchsauswertung [5] Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0

### System 3/300 Laststufe 100,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen

85 und 115% des Versuchswertes)

Ko2: Federn der Horizontalaufleger CH x 10,0 Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse		DIN 1052	EC 5	n.i. VM	n.i. VM + Mat	n.i. VM + Mat	
Laststufe [kN]	100,0	Laststufe [kN]	100,0+g <sub>e</sub>	System 3	System 3	System 3	System 300	System 300	System 300
<b>Zugkraft Z<sub>A</sub></b>		Materialsatz							
		Korrektur							
<b>Zug 1, Randstiel</b>	20,422	<b>Aufagerkräfte [kN]</b>							
(Stiel 13)		Zug , Knoten 1002	18,899	24,760	21,436	21,057	21,057	21,057	19,776
		% des Versuchswertes	92,54	121,24	104,97	103,11	103,11	103,11	96,84
<b>Zug 2, Innenstiel</b>	21,716	Zug , Knoten 2002	23,273	14,674	19,550	20,567	20,567	20,567	20,863
(Stiel 5)		% des Versuchswertes	107,34	67,57	90,03	94,71	94,71	94,71	96,07
Horizontal 1 (Stirn)	k.A.	Hor. 1, Knoten 210	64,614	73,430	-82,465	-80,614	-80,614	-80,614	-80,904
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A.	Hor. 2, Knoten 3001	14,744	12,117	-8,014	-8,790	-8,790	-8,790	-8,703
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A.	Hor. 3, Knoten 2001	18,707	14,453	-9,522	-10,596	-10,596	-10,596	-10,393
<b>Druckkraft D</b>		<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>							
Stiel 1	-12,983	Stiel 1, Stab 2301	-13,014	-20,446	-20,550	-20,076	-20,076	-20,076	-27,381
		% des Versuchswertes	100,24	157,48	158,28	154,63	154,63	154,63	210,90
Stiel 2	-2,516	Stiel 2, Stab 2281	-6,290	-7,806	-8,190	-8,078	-8,078	-8,078	-6,062
		% des Versuchswertes	250,00	310,25	325,52	321,07	321,07	321,07	240,94
Stiel 3	-3,628	Stiel 3, Stab 2261	-2,203	-2,133	-1,868	-2,187	-2,187	-2,187	-0,849
		% des Versuchswertes	60,72	58,79	51,49	60,28	60,28	60,28	23,40
Stiel 4	-1,271	Stiel 4, Stab 2241	-0,365	-0,327	-0,068	-0,080	-0,080	-0,080	-0,140
		% des Versuchswertes	28,72	25,73	5,35	6,29	6,29	6,29	11,01
Stiel 5	-0,020	Stiel 5, Stab 2201	0,038	0,043	-0,268	-0,248	-0,248	-0,248	-0,216
		% des Versuchswertes	-190,00	-215,00	1340,00	1240,00	1240,00	1240,00	1080,00
Stiel 6	0,195	Stiel 6, Stab 2181	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 7	0,257	Stiel 7, Stab 2161	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		% des Versuchswertes	5,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 8	0,070	Stiel 8, Stab 2141	-0,002	0,000	-0,003	-0,006	-0,006	-0,006	-0,002
		% des Versuchswertes	-2,86	0,00	-4,29	-8,57	-8,57	-8,57	-2,86
<b>Verformungen [mm]</b>									
Schwelleneindrückung	-0,830	[mm], Feder 13501 :	-1,829	-1,492	-2,015	-1,956	-1,956	-1,956	-0,930
(unter D <sub>i</sub> )		% des Versuchswertes	220,36	179,76	242,77	235,66	235,66	235,66	112,05
Kopferschiebung	4,31	Knoten 4031 , vx	7,432	6,756	8,917	8,606	8,606	8,606	8,242
		% des Versuchswertes	172,44	156,75	206,89	199,68	199,68	199,68	191,23
<b>Rechenzeit [sec]</b>			2462	3075	39283	39671	39671	39671	11138

<b>System 3/300</b>		<b>DIN 1052</b>	<b>EC 5</b>	<b>n.I. VM</b>	<b>n.I. VM + Mat</b>	<b>n.I. VM + Mat</b>	<b>n.I. VM + Mat (K)</b>
<b>Laststufe 100,0 kN</b>		<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 3</b>	<b>System 300</b>	<b>System 300</b>	<b>System 300</b>
<b>Laststufe [kN]</b>	<b>100,0+g<sub>e</sub></b>						
<b>Materialsatz</b>					<b>MW12</b>	<b>MW12</b>	<b>MW12</b>
<b>Korrektur</b>						<b>Ko2+3+6+7</b>	<b>Ko1+2+3+6+7</b>
<b>Nagelbelastung [kN]</b>							
Nagel 18032	1,792	1,773	0,838	0,835	0,952	0,952	0,878
Nagel 18031	1,618	1,593	0,785	0,927	0,903	0,903	0,834
Nagel 18030	1,559	1,537	0,746	0,876	0,854	0,854	0,789
Nagel 18029	1,378	1,350	0,845	0,827	0,807	0,807	0,746
Nagel 18028	1,270	1,424	0,788	0,780	0,762	0,762	0,866
Nagel 18027	1,234	1,206	0,747	0,734	0,882	0,882	0,816
Nagel 18026	1,111	1,082	0,687	0,846	0,829	0,829	0,767
Nagel 18025	1,025	0,996	0,634	0,786	0,772	0,772	0,716
Nagel 18024	0,972	0,945	0,601	0,752	0,739	0,739	0,685
Nagel 18023	0,903	0,880	0,732	0,711	0,700	0,700	0,647
Nagel 18022	0,860	0,839	0,683	0,664	0,656	0,656	0,797
Nagel 18021	0,772	0,757	0,617	0,618	0,611	0,611	0,743
Nagel 18020	0,709	0,697	0,675	0,753	0,746	0,746	0,690
Nagel 18019	0,668	0,656	0,618	0,693	0,688	0,688	0,638
Nagel 18018	0,603	0,595	0,553	0,634	0,631	0,631	0,707
Nagel 18017	0,546	0,541	0,493	0,692	0,691	0,691	0,647
<b>Nagelverformung [mm]</b>							
Nagel 18032	2,455	2,076	3,520	4,112	4,000	4,000	3,691
Nagel 18031	2,216	1,865	3,300	3,894	3,794	3,794	3,506
Nagel 18030	2,136	1,799	3,135	3,679	3,588	3,588	3,316
Nagel 18029	1,887	1,581	2,885	3,474	3,391	3,391	3,135
Nagel 18028	1,740	1,454	2,690	3,277	3,201	3,201	2,954
Nagel 18027	1,690	1,413	2,548	3,084	3,011	3,011	2,784
Nagel 18026	1,522	1,267	2,344	2,888	2,828	2,828	2,617
Nagel 18025	1,404	1,166	2,165	2,684	2,634	2,634	2,444
Nagel 18024	1,332	1,106	2,051	2,566	2,521	2,521	2,339
Nagel 18023	1,237	1,031	1,891	2,426	2,389	2,389	2,208
Nagel 18022	1,177	0,982	1,764	2,268	2,238	2,238	2,060
Nagel 18021	1,058	0,886	1,595	2,108	2,085	2,085	1,920
Nagel 18020	0,972	0,817	1,445	1,945	1,929	1,929	1,783
Nagel 18019	0,915	0,768	1,324	1,790	1,779	1,779	1,649
Nagel 18018	0,826	0,697	1,184	1,637	1,631	1,631	1,515
Nagel 18017	0,748	0,634	1,055	1,482	1,479	1,479	1,386

### System 30

### Laststufe 20,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen

85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder Kontaktsöße Stiel(1-4)-Riegel

nach Versuchsauswertung [5]

Ko2: Federn der Horizontallaufleger C<sub>H</sub> x 10

Ko3: Federn der Vertikallaufleger CV x 2,0

Ko4: mit LB, Lasteinleitung Linie

Ko5: ohne LB, Lasteinleitung Linie

Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0

Ko7: Feder NÄ: C1 x 1,5 C2 x 1,25

		n.i. VM+Mat.										n.i. VM+Mat.(K)									
		DIN 1052		EC 5		n.i. VM		n.i. VM+Mat.		20,0+g <sub>e</sub>											
		20,0+g <sub>e</sub>																			
		3,059		3,077		2,858		2,857		2,809		2,887		2,840		2,857		2,780		2,860	
		91,64		91,07		85,62		85,59		84,15		86,49		85,08		85,59		83,28		85,68	
		3,160		3,106		4,240		4,251		4,305		4,211		4,272		4,252		4,440		4,258	
		218,53		214,80		293,22		293,98		297,72		291,22		294,05		294,05		307,05		307,88	
		16,515		16,580		16,371		16,232		16,296		16,187		16,233		16,231		16,237		15,937	
		1,522		1,492		1,582		1,662		1,641		1,676		1,664		1,665		1,666		1,825	
		1,963		1,927		2,047		2,103		2,063		2,137		2,103		2,104		2,103		2,238	
		-2,748		-3,047		-1,246		-1,224		-1,201		-1,220		-1,166		-1,222		-1,210		-1,070	
		179,37		198,89		81,33		79,90		78,39		79,63		76,11		79,77		78,98		79,05	
		-1,341		-1,424		-0,372		-0,387		-0,376		-0,391		-0,654		-0,387		-0,383		-0,317	
		951,06		1009,93		263,83		274,47		266,67		277,30		463,83		274,47		271,63		224,82	
		-0,559		-0,560		-0,168		-0,174		-0,169		-0,178		-0,318		-0,174		-0,175		-0,150	
		91,64		91,80		27,54		28,52		27,70		29,18		52,13		28,52		28,69		24,59	
		-0,055		-0,052		-0,030		-0,035		-0,026		-0,042		-0,057		-0,035		-0,039		-0,031	
		15,15		14,33		8,26		9,64		7,16		11,57		15,70		9,64		10,74		8,54	
		-0,048		-0,048		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	
		1200,00		1200,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
		-0,111		-0,107		0,000		0,000		0,000		-0,007		-0,002		0,000		0,000		-0,003	
		-130,59		-125,88		0,00		0,00		0,00		-8,24		-2,35		0,00		0,00		-3,53	
		-0,041		-0,034		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	
		-27,70		-22,97		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
		0,044		0,001		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000		0,000	
		-52,27		2,27		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	
<b>Verformungen [mm]</b>																					
Schwelleneindrückung		-0,565		[mm]. Feder 13501 :		-0,370		-0,440		-0,435		-0,431		-0,430		-0,435		-0,433		-0,403	
(unter D <sub>1</sub> )		65,49		53,10		77,88		76,99		76,28		76,99		76,11		76,99		76,64		71,33	
Kopfverschiebung		0,65		Knoten 51, vx		-1,592		-1,439		1,309		1,296		1,306		1,309		1,300		1,219	
		-244,92		-221,38		-208,15		201,85		199,38		201,38		200,92		201,38		200,00		187,54	
<b>Rechenzeit [sec]</b>		205		186		2821		3839		4054		3873		3661		3926		3917		3618	

### System 30

### Laststufe 40,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder Kontaktsöße Stiel(1-4)-Riegel Ko3: Federn der Vertikalaufleger CV x 2,0 Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0  
nach Versuchsauswertung [5] Ko4: mit LB, Lasteinleitung Linie Ko7: Feder NÄ: C1 x 1,5 C2 x 1,25  
Ko2: Federn der Horizontalaufleger C<sub>H</sub> x 10 Ko5: ohne LB, Lasteinleitung Linie

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse															
		DIN 1052	EC 5	n.i. VM			n.i. VM+Mat.			n.i. VM+Mat.(K)							
Laststufe [kN]	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	40,0+g <sub>e</sub>	
Materialersatz	7,310	7,083	6,870	7,083	7,310	6,883	6,911	6,830	6,960	6,826	7,007	6,778	6,898	6,837	6,837	6,837	6,837
Korrektur	95,62	98,58	101,74	95,80	95,80	96,19	95,06	96,87	95,06	96,87	95,06	96,87	95,06	96,87	95,06	96,87	95,06
Zugkraft Z <sub>A</sub>	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185	7,185
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168	6,168
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Horizontal 1 (Stirn)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
<b>Druckkraft D</b>																	
Stiel 1	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310	-3,310
% des Versuchswertes	160,48	178,01	159,67	158,79	158,97	156,56	156,56	159,64	182,02	156,19	157,40	156,95	154,14	157,40	156,95	154,14	157,40
Stiel 2	-0,599	-2,484	-2,608	-1,643	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740	-1,740
% des Versuchswertes	414,69	435,39	274,29	290,48	290,48	284,64	284,64	294,49	233,06	287,65	289,48	289,32	290,15	289,48	289,32	290,15	289,48
Stiel 3	-1,382	-0,888	-0,820	-0,380	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434	-0,434
% des Versuchswertes	64,25	59,33	27,50	31,40	31,19	29,02	29,02	33,36	47,47	31,69	32,05	33,00	33,07	32,05	33,00	33,07	32,05
Stiel 4	-0,683	-0,078	-0,161	-0,043	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049	-0,049
% des Versuchswertes	11,42	23,57	6,30	7,17	7,17	5,42	5,42	8,93	11,27	7,47	7,61	8,35	9,22	7,61	8,35	9,22	7,61
Stiel 5	-0,004	0,014	-0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% des Versuchswertes	-350,00	1100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	625,00	0,00	-75,00	0,00	0,00	1650,00	0,00	0,00	1650,00	0,00
Stiel 6	0,151	-0,003	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% des Versuchswertes	-1,99	24,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 7	0,229	-0,071	-0,023	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% des Versuchswertes	-31,00	-10,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Stiel 8	0,071	-0,025	-0,048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
% des Versuchswertes	-35,21	-67,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Verformungen [mm]</b>																	
Schwelleneindrückung (unter D <sub>1</sub> )	-0,765	-0,716	-0,580	-0,846	-0,844	-0,844	-0,839	-0,846	-0,784	-0,838	-0,841	-0,840	-0,833	-0,841	-0,838	-0,840	-0,833
% des Versuchswertes	93,59	75,82	110,59	110,33	110,33	109,67	109,67	110,59	102,48	109,54	109,93	109,80	108,89	109,93	109,80	108,89	109,93
Kopfverschiebung	2,25	-3,199	-2,902	-2,947	2,906	2,887	2,887	2,902	2,884	2,840	2,886	2,894	2,802	2,886	2,894	2,802	2,886
% des Versuchswertes	-142,18	-128,98	-130,98	-129,16	129,16	128,31	128,31	128,98	128,18	126,22	128,27	128,62	124,53	128,27	128,62	124,53	128,27
<b>Rechenzeit [sec]</b>	205	190	2453	3591	3854	3754	3691	3538	3879	3766	3879	3766	3879	3766	3879	3766	3879

**System 30**

**Laststufe 60,0 kN**

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder Kontaktsöße Stiel(1-4)-Riegel Ko3: Federn der Vertikalaufleger CV x 2,0 Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0  
 nach Versuchsauswertung [5] Ko4: mit LB, Lasteinleitung Linie Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25  
 Ko2: Federn der Horizontalaufleger C<sub>H</sub> x 10 Ko5: ohne LB, Lasteinleitung Linie

Versuchsergebnisse		n.i. VM+Mat.										n.i. VM+Mat.(K)											
		DIN 1052		EC 5		n.i. VM		n.i. VM+Mat.		n.i. VM+Mat.(K)		60,0+g <sub>e</sub> MW09 Ko1		60,0+g <sub>e</sub> MW09 Ko2		60,0+g <sub>e</sub> MW09 Ko3		60,0+g <sub>e</sub> MW09 Ko6		60,0+g <sub>e</sub> MW09 Ko7			
<b>Berechnungsergebnisse</b>		60,0 Laststufe [kN]	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>	60,0+g <sub>e</sub>										
<b>Laststufe [kN]</b>		Materialsatz	10,660	11,210	11,634	11,155	11,184	11,171	11,231	10,667	11,248	11,027	11,085	11,415									
<b>Zugkraft Z<sub>A</sub></b>		Korrektur	92,10	96,86	100,52	96,38	96,63	96,52	97,04	92,16	97,18	95,27	95,78	98,63									
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)		Auflagerkräfte [kN]	12,511	13,625	13,083	13,984	13,923	14,023	13,848	13,968	13,856	14,192	14,144	13,580									
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)		% des Versuchswertes	49,491	49,689	50,589	50,161	50,160	50,201	50,078	50,312	48,997	50,160	50,189	50,203									
Horizontal 1 (Stirn)		% des Versuchswertes	4,576	4,488	4,231	4,428	4,427	4,431	4,452	4,375	5,029	4,430	4,418	4,404									
Horizontal 2 (Stiel 5)		Hor. 1, Knoten 1	5,932	5,842	5,180	5,410	5,412	5,368	5,470	5,313	5,974	5,410	5,394	5,393									
Horizontal 3 (Stiel 9)		Hor. 2, Knoten 168																					
<b>Druckkraft D</b>		Hor. 3, Knoten 236																					
Stiel 1		Stieldruckkräfte [kN]	-7,867	-8,724	-10,321	-10,349	-10,357	-10,337	-10,452	-13,961	-10,308	-10,281	-10,209	-10,368									
Stiel 2		% des Versuchswertes	139,96	155,20	183,62	184,11	184,26	183,90	185,95	248,37	183,38	182,90	181,62	184,45									
Stiel 3		-1,227 Stiel 2, Stab 1614	-3,616	-3,780	-3,590	-3,818	-3,819	-3,747	-3,734	-2,417	-3,811	-3,818	-3,816	-3,885									
Stiel 4		% des Versuchswertes	294,70	308,07	292,58	311,17	311,25	305,38	304,32	196,98	310,59	311,17	311,00	316,63									
Stiel 5		-2,243 Stiel 3, Stab 1630	-1,203	-1,059	-0,911	-0,967	-0,965	-0,994	-1,017	-0,777	-0,969	-0,990	-1,024	-0,977									
Stiel 6		% des Versuchswertes	53,63	47,21	40,62	43,11	43,02	44,32	45,34	34,64	43,20	44,14	45,65	43,56									
Stiel 7		-0,953 Stiel 4, Stab 1646	-0,118	-0,320	-0,051	-0,054	-0,055	-0,043	-0,072	-0,069	-0,055	-0,060	-0,071	-0,053									
Stiel 8		% des Versuchswertes	12,38	33,58	5,35	5,67	5,77	4,51	7,56	7,24	5,77	6,30	7,45	5,56									
Stiel 9		-0,004 Stiel 5, Stab 1662	-0,014	0,103	-0,008	-0,051	-0,052	0,000	-0,123	-0,044	-0,041	-0,051	-0,047	-0,129									
Stiel 10		% des Versuchswertes	350,00	-2575,00	200,00	1275,00	1300,00	0,00	3075,00	1100,00	1025,00	1275,00	1175,00	3225,00									
Stiel 11		0,185 Stiel 6, Stab 1678	-0,023	-0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000									
Stiel 12		% des Versuchswertes	-12,43	-22,16	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
Stiel 13		0,258 Stiel 7, Stab 1694	0,040	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000									
Stiel 14		% des Versuchswertes	15,50	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
Stiel 15		0,083 Stiel 8, Stab 1710	0,013	-0,163	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000									
Stiel 16		% des Versuchswertes	15,66	-196,39	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00									
<b>Verformungen [mm]</b>																							
Schwelleneindrückung (unter D <sub>1</sub> )		-0,785 [mm], Feder 13501 :	-1,060	-0,860	-1,193	-1,195	-1,195	-1,194	-1,202	-0,838	-1,192	-1,190	-1,185	-1,196									
Kopfverschiebung		% des Versuchswertes	135,03	109,55	151,97	152,23	152,23	152,10	153,12	106,75	151,85	151,59	150,96	152,36									
Rechenzeit [sec]		3,23 Knoten 51, vx	-4,806	-4,367	-4,733	4,721	4,722	4,731	4,715	4,577	4,664	4,689	4,690	4,638									
		% des Versuchswertes	-148,79	-135,20	-146,53	146,16	146,19	146,47	145,98	141,70	144,40	145,17	145,20	143,59									
			214	208	2451	3862	3833	3837	3839	5153	3702	3460	3743	3758									

### System 30

### Laststufe 80,0 kN

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen 85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder Kontaktsöße Stiel(1-4)-Riegel Ko3: Federn der Vertikalaufleger CV x 2,0 Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0  
nach Versuchsauswertung [5] Ko4: mit LB, Lasteinleitung Linie Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25  
Ko2: Federn der Horizontalaufleger C<sub>H</sub> x 10 Ko5: ohne LB, Lasteinleitung Linie

Versuchsergebnisse		Berechnungsergebnisse										n.i. VM+Mat. (K)											
		DIN 1052		EC 5		n.i. VM		n.i. VM+Mat.		80,0+g <sub>e</sub>													
Laststufe [kN]	80,0 Laststufe [kN]	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	80,0+g <sub>e</sub>	
Materialersatz	Korrektur																						
<b>Zugkraft Z<sub>A</sub></b>	<b>Auflagerkräfte [kN]</b>																						
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)	Zug 1, Knoten 305 % des Versuchswertes	14,428	15,172	16,559	15,967	15,991	15,840	15,937	14,893	16,006	15,893	15,810	16,210	16,210	16,210	16,210	16,210	16,210	16,210	16,210	16,210	16,210	16,210
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)	Zug 2, Knoten 237 % des Versuchswertes	89,37	93,98	102,57	98,90	99,05	98,12	98,72	92,25	99,15	98,45	97,93	100,41	100,41	100,41	100,41	100,41	100,41	100,41	100,41	100,41	100,41	100,41
Horizontal 1 (Stirn)	k.A. Hor. 1, Knoten 1	17,215	18,716	16,685	17,487	17,463	17,752	17,505	17,449	17,467	17,816	17,913	17,245	17,245	17,245	17,245	17,245	17,245	17,245	17,245	17,245	17,245	17,245
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A. Hor. 2, Knoten 168	104,09	113,16	100,88	105,73	105,59	107,33	105,84	105,59	105,61	107,72	108,31	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27	104,27
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A. Hor. 3, Knoten 236	65,976	66,212	67,955	68,111	68,114	68,155	68,106	68,338	66,559	68,112	68,156	68,212	68,212	68,212	68,212	68,212	68,212	68,212	68,212	68,212	68,212	68,212
<b>Druckkraft D</b>	<b>Stieldruckkräfte [kN]</b>																						
Stiel 1	-9,086 Stiel 1, Stab 1598	-10,419	-11,557	-15,399	-15,645	-15,636	-15,512	-15,724	-21,219	-15,552	-15,540	-15,410	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507	-15,507
Stiel 2	-1,800 Stiel 2, Stab 1614	114,67	127,20	169,48	172,19	172,09	170,72	173,06	233,54	171,16	171,03	169,60	170,67	170,67	170,67	170,67	170,67	170,67	170,67	170,67	170,67	170,67	170,67
Stiel 3	-2,962 Stiel 3, Stab 1630	4,745	4,954	5,844	6,193	6,183	6,106	6,140	4,291	6,049	6,172	6,159	6,366	6,366	6,366	6,366	6,366	6,366	6,366	6,366	6,366	6,366	6,366
Stiel 4	-1,129 Stiel 4, Stab 1646	252,39	263,51	310,85	329,41	328,88	324,79	326,60	228,24	321,76	328,30	327,61	338,62	338,62	338,62	338,62	338,62	338,62	338,62	338,62	338,62	338,62	338,62
Stiel 5	-0,009 Stiel 5, Stab 1662	-1,513	-1,306	-1,446	-1,553	-1,546	-1,509	-1,565	-0,936	-1,509	-1,593	-1,732	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499	-1,499
Stiel 6	0,193 Stiel 6, Stab 1678	51,08	44,09	48,82	52,43	52,19	50,95	52,84	31,60	50,95	53,78	58,47	50,61	50,61	50,61	50,61	50,61	50,61	50,61	50,61	50,61	50,61	50,61
Stiel 7	0,261 Stiel 7, Stab 1694	-0,177	-0,505	-0,062	-0,063	-0,061	-0,034	-0,087	0,008	-0,062	-0,064	-0,077	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056	-0,056
Stiel 8	0,074 Stiel 8, Stab 1710	15,68	44,73	5,49	5,58	5,40	3,01	7,71	-0,71	5,49	5,67	6,82	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96	4,96
<b>Verformungen [mm]</b>	<b>Schwelleneindrückung (unter D<sub>1</sub>)</b>	-0,019	0,112	-0,145	-0,261	-0,262	-0,196	-0,196	-0,134	-0,192	-0,278	-0,127	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203	-0,203
Kopfverschiebung	3,82 Knoten 51, vx	211,11	-1244,44	1611,11	2900,00	2911,11	2177,78	2177,78	1488,89	2133,33	3088,89	1411,11	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56	2255,56
Rechenzeit [sec]		-0,044	-0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		-22,80	-6,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,071	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		27,20	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,77	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		0,021	-0,237	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,024	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		28,38	-320,27	0,00	0,00	0,00	0,00	-32,43	16,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		-1,404	-1,139	-1,543	-1,560	-1,559	-1,551	-1,565	-0,888	-1,554	-1,553	-1,544	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550	-1,550
		175,50	142,38	192,88	195,00	194,88	193,88	195,63	111,00	194,25	194,13	193,00	193,75	193,75	193,75	193,75	193,75	193,75	193,75	193,75	193,75	193,75	193,75
		-6,413	-5,829	-6,736	6,889	6,892	6,869	6,820	6,578	6,735	6,851	6,826	6,737	6,737	6,737	6,737	6,737	6,737	6,737	6,737	6,737	6,737	6,737
		-167,88	-152,59	-176,34	180,34	180,42	179,82	178,53	172,20	176,31	179,35	178,69	176,36	176,36	176,36	176,36	176,36	176,36	176,36	176,36	176,36	176,36	176,36
		210	217	2889	3814	3871	3716	3722	5358	3830	3699	3994	3770	3770	3770	3770	3770	3770	3770	3770	3770	3770	3770

**System 30**

**Laststufe 100,0 kN**

(hinterlegte Werte im Bereich zwischen

85 und 115% des Versuchswertes)

Korrekturen : Ko1: Feder Kontaktsöse Stiel(1-4)-Riegel

nach Versuchsauswertung [5]

Ko2: Federn der Horizontalauflager C<sub>H</sub> x 10

Ko3: Federn der Vertikalaufleger CV x 2,0

Ko4: mit LB, Lasteinleitung Linie

Ko5: ohne LB, Lasteinleitung Linie

Ko6: Materialwerte LB mit Faktor 5,0

Ko7: Feder Nä: C1 x 1,5 C2 x 1,25

	Berechnungsergebnisse	n.i. VM+Mat.														
		DIN 1052	EC 5	n.i. VM		n.i. VM+Mat.			n.i. VM+Mat.(K)							
Laststufe [kN]	100,0	100,0+g <sub>e</sub>														
Zugkraft Z <sub>A</sub>																
Zug 1, Randstiel (Stiel 13)	20,422	Zug 1, Knoten 305	18,209	19,175	22,159	21,381	21,375	21,317	21,386	20,074	21,504	21,338	21,039	21,039	21,039	21,684
		% des Versuchswertes	89,16	93,89	108,51	104,70	104,67	104,38	104,72	98,30	105,30	104,49	103,02	103,02	106,18	
Zug 2, Innenstiel (Stiel 5)	21,716	Zug 1, Knoten 237	21,932	23,815	19,116	20,247	20,264	20,426	20,229	20,964	20,100	20,443	21,032	21,032	19,875	
		% des Versuchswertes	100,99	109,67	88,03	93,24	93,31	94,06	93,15	96,54	92,56	94,14	96,85	96,85	91,52	
Horizontal 1 (Stirn)	k.A.	Hor. 1, Knoten 1	82,461	82,755	85,717	85,674	85,679	85,709	85,381	85,472	83,998	85,675	85,498	85,498	85,678	
Horizontal 2 (Stiel 5)	k.A.	Hor. 2, Knoten 168	7,632	7,486	6,436	6,578	6,577	6,583	6,857	6,745	7,210	6,579	6,847	6,847	6,587	
Horizontal 3 (Stiel 9)	k.A.	Hor. 3, Knoten 236	9,907	9,759	7,848	7,748	7,744	7,708	7,762	7,783	8,792	7,745	7,655	7,655	7,735	
<b>Druckkraft D</b>																
Stiel 1	-12,983	Stiel 1, Stab 1598	-12,973	-14,389	-20,154	-20,309	-20,300	-20,293	-20,360	-27,296	-20,203	-20,225	-20,014	-20,014	-20,240	
		% des Versuchswertes	99,92	110,83	155,23	156,43	156,36	156,30	156,82	210,24	155,61	155,78	154,16	154,16	155,90	
Stiel 2	-2,516	Stiel 2, Stab 1614	-5,876	-6,127	-8,307	-8,446	-8,437	-8,423	-8,576	-6,569	-8,429	-8,427	-8,416	-8,416	-8,338	
		% des Versuchswertes	233,55	243,52	330,17	335,69	334,78	334,78	340,86	261,09	335,02	334,94	334,50	334,50	331,40	
Stiel 3	-3,628	Stiel 3, Stab 1630	-1,826	-1,552	-2,197	-2,208	-2,214	-2,180	-2,314	-0,860	-2,254	-2,282	-2,529	-2,529	-2,317	
		% des Versuchswertes	50,33	42,78	60,56	60,86	61,03	60,09	63,78	23,70	62,13	62,90	69,71	69,71	63,86	
Stiel 4	-1,271	Stiel 4, Stab 1646	-0,201	-0,616	-0,078	-0,073	-0,072	-0,039	-0,103	-0,100	-0,075	-0,075	-0,090	-0,090	-0,063	
		% des Versuchswertes	15,81	48,47	6,14	5,74	5,66	3,07	8,10	7,87	5,90	5,90	7,08	7,08	4,96	
Stiel 5	-0,020	Stiel 5, Stab 1662	-0,018	0,110	-0,245	-0,380	-0,374	-0,323	-0,531	-0,322	-0,419	-0,378	-0,313	-0,313	-0,398	
		% des Versuchswertes	90,00	550,00	1225,00	1900,00	1870,00	1615,00	2655,00	1610,00	2095,00	1890,00	1565,00	1565,00	1990,00	
Stiel 6	0,195	Stiel 6, Stab 1678	-0,054	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
		% des Versuchswertes	-27,69	6,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Stiel 7	0,257	Stiel 7, Stab 1694	0,082	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
		% des Versuchswertes	31,91	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Stiel 8	0,070	Stiel 8, Stab 1710	0,028	-0,308	-0,006	-0,012	-0,011	0,000	-0,042	-0,006	-0,010	-0,012	-0,012	-0,012	-0,011	
		% des Versuchswertes	40,00	-440,00	-8,57	-17,14	-15,71	0,00	-60,00	-8,57	-14,29	-17,14	-17,14	-17,14	-15,71	
<b>Verformungen [mm]</b>																
Schwelleneindrückung (unter D <sub>1</sub> )	-0,830	[mm], Feder 13501 :	-1,748	-1,418	-1,966	-1,986	-1,985	-1,984	-1,993	-0,929	-1,972	-1,975	-1,950	-1,950	-1,977	
		% des Versuchswertes	210,60	170,84	236,87	239,28	239,16	239,04	240,12	111,93	237,59	237,95	234,94	234,94	238,19	
Kopfverschiebung	4,31	Knoten 51, vx	-8,021	-7,292	-9,084	9,263	9,263	9,289	9,182	8,828	9,142	9,211	9,122	9,122	9,161	
		% des Versuchswertes	-186,10	-169,19	-210,77	214,92	214,92	215,52	213,04	204,83	212,11	213,71	211,65	211,65	212,55	
<b>Rechenzeit [sec]</b>			223	239	2880	3763	3734	3825	3774	5866	3798	3808	3830	3830	3869	