

Technische Universität München - Lehrstuhl für Tragwerksplanung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel

**Vergleichende Untersuchungen
von Deckensystemen
des Stahlbeton-Skelettbaus**

Kurt Stepan

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur der Technischen
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Barthel
2. Univ.-Prof. Dr. Ing. (Univ. Rom) Thomas Herzog

Die Dissertation wurde am 31.03.2004 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Architektur am 21.04.2004 angenommen.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit von Kurt Stepan behandelt ein Thema, das für Architekten und Bauingenieure gleichermaßen von Bedeutung ist. Der Entwurf von Deckensystemen des Stahlbetonskelettbau ist in Abhängigkeit der jeweiligen Nutzung gemeinsam von Architekt und Bauingenieur zu erbringen. Hierfür liefern die durchgeführten Untersuchungen wertvolle Erkenntnisse und Hinweise.

Kurt Stepan ist Bauingenieur und Architekt. Als beratender und planender Ingenieur leitet er seit vielen Jahren sehr erfolgreich ein eigenes Ingenieurbüro. Das Architekturstudium, das er an der Technischen Universität München abgeschlossen hat, bildet den Hintergrund für sein besonderes Interesse am Entwurf.

Stahlbetonskelettkonstruktionen mit den entsprechenden Deckensystemen wie Flachdecken, Plattenbalkendecken, Rippendecken usw., gehören zu den üblichen und sehr häufig verwendeten Tragsystemen im Geschossbau. Sie sind umfassend untersucht und man könnte annehmen, dass sie kein fruchtbares Thema mehr für eine Dissertation sind. Das Thema der Arbeit von Kurt Stepan ist jedoch nicht die Verfeinerung von Berechnungsmethoden, auch nicht die Optimierung einer vorgegebenen Konstruktion. Anlass und Zielrichtung der Arbeit ist die enge Verknüpfung von Nutzung und Tragwerk. Die Nutzung wird naturgemäß vom Architekten, das Tragwerk vom Bauingenieur vertreten. Das Potential des Themas liegt im Überschneidungsbereich beider Zuständigkeiten. Als Bauingenieur beherrscht Kurt Stepan die Methoden zur statisch-konstruktiven Analyse der Deckensysteme, als Architekt überblickt er die relevanten Entwurfparameter. Nur aus der Kenntnis der möglichen Nutzungen und ihrer spezifischen Eigenarten können die Einschränkungen, aber auch die Bandbreite sinnvoller Gebäudetiefen, Stützenstellungen, Achsmaße usw. ausgelotet und so das Feld der relevanten Konstruktionsparameter abgesteckt und für die Entwicklung von Tragwerksalternativen nutzbar gemacht werden.

Ausgehend von einfachen Tragsystemen, entwickelt Kurt Stepan durch die gezielte Variation eine Fülle verschiedener Systeme. Diese Systeme werden nicht willkürlich erfunden, sondern sie sind schlüssige Weiterentwicklungen innerhalb der durch die Nutzung definierten Variationsbreite. Überraschend ist die Anzahl der auf diese Weise hergeleiteten Systeme. Darüber hinaus wird auch eine beachtliche Kreativität in der Konzeption der Deckensysteme erkennbar. Beispiele hierfür sind Deckensysteme mit Stützenanordnungen auf wechselnden Achsen oder auch einige der Rahmenkonstruktionen. All diese Konstruktionen sind nicht theoretischer Natur, sondern weisen unter bestimmten Randbedingungen Vorteile auf und sind wirtschaftlich realisierbar.

Das übergeordnete Thema der Arbeit ist der Zusammenhang von Nutzung, Form und Konstruktion. Dies ist auch ein wichtiges Thema des Lehrstuhls für Tragwerksplanung an der Fakultät für Architektur. Ich habe die Arbeit gerne betreut und wünsche ihr die entsprechende Beachtung bei Architekten und Ingenieuren.

Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel

München, Frühjahr 2004

Die vorliegende Arbeit entstand in der sogenannten Freizeit neben meiner freiberuflichen Tätigkeit als Beratender Ingenieur für Bauwesen und soll als Diskussionsgrundlage für die umfangreiche Planungsaufgabe des Entwurfs von Deckensystemen im Stahlbeton-Skelettbau dienen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel, der mich nicht nur zu dieser Arbeit ermunterte, sondern der auch meine Forschungstätigkeit wohlwollend unterstützte und förderte. Hervorheben möchte ich auch seine gründliche Durchsicht meiner Arbeit in seiner Eigenschaft als erster Prüfer.

Herrn Univ.-Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog danke ich für sein lebhaftes Interesse und die Übernahme des Koreferats, ebenso Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen für die bereitwillige Übernahme als Vorsitzender der Prüfungskommission.

Ich bedanke mich auch an dieser Stelle bei Herrn Werner Brasse für die Zeichenarbeiten, Herrn Stefan Schmidt für die Zuarbeit und bei Frau Ulrike Schnaubert für die Erledigung der umfangreichen Schreibarbeiten. Meinem langjährigen Partner Fritz Sailer danke ich für die Toleranz, mit der er meine zeitweise innere geistige Abwesenheit ertragen hat.

München im Mai 2004

Kurt Stepan

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung und Zielsetzung	3
2. Grundlagen und Vorgehensweise.....	7
2.1 Stand der Forschung	9
2.2 Vorgehensweise	10
3. Nutzung und Konstruktionsraster	13
3.1 Grundrissbeispiele von Bauten unterschiedlicher Nutzung (Büro, Studentenheim, Schule, Altenheim, Garage etc.).....	15
3.2 Beispiele gebräuchlicher Gebäuderaster von Geschossbauten geringer Gebäudetiefe	23
3.3 Beispiele gebräuchlicher Gebäuderaster von Geschossbauten größerer Gebäudetiefe.....	25
3.4 Beispiele gebräuchlicher Gebäuderaster von einhüftigen Geschossbauten	27
4. Deckensysteme A 1.1.0 bis A 18.2 für Geschossbauten mit 12,0 m Gebäudetiefe.....	29
5. Deckensysteme B 1.1.0 bis B 22.3 für Geschossbauten mit 16,5 m Gebäudetiefe	101
6. Einhüftige Deckensysteme C 1.0 bis C 4.10.....	187
7. Geschossbauten mit großer Spannweite D 1.0 bis D 2.5.....	205
8. Ergebnis	217
9. Zusammenfassung	221
10. Literatur	223

11.	Anhang 1: Verformungsberechnungen	A1
	Verformungsberechnungen zu Systemen A	A 2
	Verformungsberechnungen zu Systemen B	A 76
	Verformungsberechnungen zu Systemen C	A 174
12.	Anhang 2: Systemübersichten	A 185
	Systemübersichten zu Systemen A	A 186
	Systemübersichten zu Systemen B	A 201
	Systemübersichten zu Systemen C	A 226
	Systemübersichten zu Systemen D	A 230

1. Einführung und Zielsetzung

Für jeden Tragwerksplaner, der sich mit Konstruktionen des Hochbaus beschäftigt, ist der Stahlbeton-Geschossbau die häufigste Aufgabenstellung. In der Regel wird der Stahlbeton-Geschossbau als Stahlbeton-Skelettbau ausgeführt. Auch für den Architekten, der Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser, Schulen, Altenheime, Studentenwohnheime, Institutsgebäude, Laborgebäude, Tiefgaragen oder Parkhäuser plant, gehört der Stahlbeton-Geschossbau zu den am meisten angewandten Baukonstruktionen.

Von einem Tragwerk verlangt man eine schier unbegrenzte Haltbarkeit, während die integrierte Betriebstechnik in gewissen Zeitabständen immer wieder erneuert bzw. ausgetauscht wird. So können sich auch die Nutzungen von Gebäuden ändern. Aus einem Bürogebäude kann ein Hotel oder aus einem Hotel ein Bürogebäude werden. Aus einer Schule kann ein Wohnhaus, ein Verwaltungsgebäude oder aber auch ein Ärztehaus werden. Aber auch innerhalb eines Büro- oder Verwaltungsgebäudes kann es weit gefächerte Anforderungen an Raumnutzungen und Raumgrößen geben.

Welche Stützenstellungen, welche Deckenkonstruktionen lassen auf lange Sicht die gewünschte größtmögliche Nutzungsflexibilität unter Einbeziehung der verschiedenen Fachplanungen (Betriebstechnik etc.) zu? Welche Grundlagen sind zu beachten, wie Speichermassen, Fassadengestaltung, Bauteiltemperierung, Schallschutz, Brandschutz etc.?

Die heute auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten verfügbaren Tragwerksmöglichkeiten sind nahezu unerschöpflich und sollten daher auch genutzt werden.

Im Rahmen der Vorplanung sind die Tragsysteme bzw. das Konstruktionsraster zu entwerfen und festzulegen. Die zu erbringenden Planungsleistungen innerhalb einer Planungsphase, also sowohl in der Vorplanungsphase wie in der Entwurfsphase, sind nach geltender gesetzlicher Regelung definiert. Gemäß dieser Definition heißt das, dass in der Vorplanungsphase die Stützenstellungen oder das sogenannte Stützenraster, das Tragwerk der Decke und die Bauteile der Gebäudeaussteifung festzulegen sind. Bauteilabmessungen sind gemäß dieser Definition in dieser Planungsphase zunächst nicht zu erbringen. Daraus wird oft abgeleitet, dass es bei gebräuchlichen Stützenrastern von untergeordneter Bedeutung ist, ob die Deckenränder in Form von Unter- oder Überzügen verstärkt sind und ob die Stützen in Fassadenebene oder von dieser nach innen abgerückt sind.

Für die Planung bzw. Festlegung des Tragsystems der Decke ist der gewünschte Ausbaustandard (Einbau von Wänden, abgehende Decken, Fußbodenaufbauten etc.), aber auch die Belange der gesamten Betriebstechnik (Heizung, Lüftung, Klima, Elektro etc.) in der Vorplanungsphase abzuklären.

Die Entwurfsplanung baut auf den Ergebnissen der Vorplanung auf. In dieser Planungsphase sind die Querschnitte des Tragwerks unter Einbeziehung der Gestaltungsbelange des Objektplaners und unter Einbeziehung sämtlicher Beiträge aus den verschiedenen Fachplanungen festzulegen.

Bedingt durch die immer wichtiger werdende Forderung nach Kostensicherheit sind die Kosten des Gebäudes schon in der Vorplanungsphase in Form einer qualifizierten Kostenschätzung, die einer Kostenberechnung gleichgestellt wird, zu ermitteln.

Die Folge davon ist, dass Teile der Entwurfsbearbeitung somit auch schon in der Vorplanungsphase zu erbringen sind und entsprechend vorgezogen werden müssen. Es sind dann zu einem sehr frühen Zeitpunkt die Qualitäten bzw. Querschnitte des gesamten Tragwerks zu ermitteln und die dazugehörigen statischen Vorberechnungen durchzuführen.

Bei der Festlegung der Deckenkonstruktionen mit den dazugehörigen Bauteilstärken sind in der Regel Verformungs- bzw. Durchbiegungsbetrachtungen die bestimmenden Kriterien. Sind diese Kriterien erfüllt, sind die danach zu führenden Nachweise der Standsicherheit meistens nur Formsache.

Leider kommt es nicht selten vor, dass Stützenstellungen, insbesondere im Zusammenwirken mit der Fassadengestaltung plötzlich verändert werden ohne zu bedenken, dass sich damit auch die Vorgaben der bereits abgestimmten Deckenkonstruktionen ändern. Der Grund hierfür liegt oft darin, dass die notwendigen Fassadenplanungen bzw. Fassadenschnitte nicht genügend überlegt bzw. unzureichend dargestellt waren.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, nicht nur eine Vielzahl von Deckensystemen mit Varianten zu entwickeln, sondern vielmehr auch mit diesen Darstellungen die Planer, also den Architekten genauso wie den Tragwerksplaner, dafür zu sensibilisieren, wie wichtig die Diskussionen über mögliche Stützenstellungen sind.

Zielsetzung ist auch, dass anhand der Beispiele aufgezeigt wird, dass die Diskussionen, besonders bei der konstruktiven Gestaltung der Gebäudeenden oder, wie man es auch nennen mag, der Gebäudeköpfe, zu intensivieren sind. Diese erforderliche disziplinierte Diskussion findet häufig nur unzureichend statt. Gerade hier werden jedoch die Grundlagen für die Wirtschaftlichkeit des Tragwerks und des Gebäudes festgelegt. Die Fragestellungen - sind die Schmalseiten der Gebäude mit tragenden Wänden ausgestattet, sind diese Seiten durchgehend oder teilweise befenstert, kann das Maß der ersten Gebäudeachse gegenüber den folgenden Gebäudeachsen verkürzt werden, kragt die Decke über die erste Stützenachse aus, sind besondere Stützenstellungen, eventuell mit Rahmenwirkungen, möglich - werden nur teilweise oder gar nicht beantwortet, weil sich der Objektplaner alle Gestaltungsmöglichkeiten der Fassade bis zum Schluss freihalten möchte. Das heißt, die Diskussion über die Fassadengestaltung findet zu spät statt.

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist es aufzuzeigen wie wichtig die Diskussionen über die Ausformung der Längsfassaden sind. Sind die Stützen fassadenbündig eingebaut? Sind die Stützen von der Fassade nach innen abgerückt und wenn ja, wieviel? Sind Verstärkungen an den Deckenrändern in Form von unterschiedlich gestalteten Unterzügen (Deckenverdickungen), Überzügen oder tragenden Brüstungen möglich?

Mit der vorliegenden Arbeit wird aufgezeigt, wie unterschiedlich der materielle Einsatz an Baukonstruktion sein kann und wie unerwartet sensibel das Tragwerk auf geringfügige Veränderungen von Stützenstellungen, Randverstärkungen etc. reagiert. Bei den anschließenden Analysen geht es nicht um Standsicherheitsbetrachtungen, erforderliche

Bewehrungen usw., sondern um Verformungsbetrachtungen. Es ist bekannt, dass zu große Durchbiegungen oder Verformungen von Deckenkonstruktionen Schäden an Bauteilen verursachen können und somit die Gebrauchsfähigkeit beeinträchtigen können.

So werden die Systeme im Einzelnen beurteilt und kommentiert sowie untereinander verglichen.

Bei fast jedem Gebäude treten Funktions- und Nutzungsunterschiede zwischen den Ober- und Untergeschossen auf. Oberirdisch dient das Bauwerk beispielsweise als Büro, Labor, Studentenheim, Klinik, während im Untergeschoß meist eine Garage anzuordnen ist. Diese Funktions- und Nutzungsunterschiede bewirken natürlich geometrische und konstruktive Bindungen und Zwänge. Auch zu diesem Thema werden die einzelnen Systeme kommentiert.

Die räumliche Steifigkeit bzw. Aussteifung des Gebäudes ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Das Vorhandensein der notwendigen Gebäudeaussteifungen wird vorausgesetzt.

2. Grundlagen und Vorgehensweise

Die folgenden Seiten (Titel 3.1 Grundrissbeispiele) zeigen einige Grundrisse wie sie in der Praxis für Altenheime, Studentenwohnungen, Büros, Schulen, Hotels, Krankenhäuser etc. zur Anwendung kommen können.

Der Planer ist gewohnt, derartige Gebäudestrukturen unter Auswahl eines sogenannten Moduls zu entwerfen. So ist auch anhand der Beispiele zu erkennen, dass der gewählte Modul sich aus der Funktionstüchtigkeit, aber auch aus Komfortüberlegungen ableitet.

Unter den Titeln 3.2 bis 3.4 sind verschiedene Rasterbeispiele, die auf dem Modul aufbauen, nach Neufert, Bauentwurfslehre [7] aufgelistet, die entsprechend den unterschiedlichen Raumtiefen, Flurbreiten und natürlich infolge des Moduls zu verschiedenen Gebäudetiefen führen.

Der Titel 3.2 erfasst Gebäudetiefen von rund 11,40 m bis 12,80 m.

Der Titel 3.3 erfasst Gebäudetiefen von rund 15,60 m bis 16,80 m.

Der Titel 3.4 befasst sich dagegen mit sogenannten einhüftigen Bauten mit einer Gebäudetiefe von rund 10,0 m bis 11,40 m.

Die unter den Titeln 3.2 und 3.3 gezeigten Modulbeispiele finden im Büro- und Verwaltungsbau, bei Kliniken, Hotels, Studentenheimen, Krankenhäusern, Wohnungen etc ihre Anwendung. Dagegen werden die unter dem Titel 3.4 gezeigten Modulbeispiele bevorzugt bei Schulen und Laubenganghäusern angewandt.

Analog zu den drei Titeln 3.2 bis 3.4 werden aus der Vielzahl der möglichen Grundrissbeispiele stellvertretend drei Gruppen von Gebäudetiefen gebildet und daraus die verschiedenen Systeme abgeleitet.

Die Systeme A 1.1.0 und A 18.2 zeigen Deckenkonstruktionen für eine Gebäudetiefe von 12,0 m. Die Systeme B 1.1.0 bis B 22.3 zeigen Deckenkonstruktionen für eine Gebäudetiefe von 16,5 m. Die Systeme C 1.0 bis C 4.10 zeigen asymmetrische Deckenkonstruktionen für eine Gebäudetiefe von rund 10,5 m.

Die DIN 1045-1 [1] wurde im Sommer 2002 bauaufsichtlich eingeführt. Nach wie vor hat jedoch die DIN 1045, Ausgabe Juli 1988 [3] (alte DIN) Gültigkeit und darf bis 31.12.2004 angewandt werden. So werden auch alle Verformungsberechnungen nach der alten DIN [3] geführt.

Die Verformungen der verschiedenen Deckenkonstruktionen können nur verglichen werden, wenn auch die Baustoffe einheitlich festgelegt werden. So werden für die Verformungsbetrachtungen die Betongüte B 25 mit $E_b = 30.000 \text{ MN/m}^2$ und der Betonstahl BSt 500 (IV) zu Grunde gelegt.

Um auch den Einfluss höherer Betongüten beim Verformungsverhalten analysieren zu können, werden einige Verformungsbetrachtungen vergleichend mit den Betongüten B 35 ($E_b = 34.000 \text{ MN/m}^2$) und B 45 ($E_b = 37.000 \text{ MN/m}^2$) aufgezeigt. Durch den höheren

E-Modul ergeben sich geringere Verformungen bzw. es können die Deckenstärken bei Beibehaltung der Verformung des Grundsystems verringert werden (siehe dazu System A10.0 / A10.01 / A10.02).

Auch bei den Belastungen der Deckenkonstruktionen sind die gleichen Ansätze zu Grunde zu legen, um die Verformungen vergleichen zu können. Außer dem Eigengewicht der Deckenkonstruktion wird ein Belag mit $1,5 \text{ kN/m}^2$ zu Grunde gelegt. Als Nutzlast werden bei allen Verformungsbetrachtungen $5,0 \text{ kN/m}^2$ angesetzt.

Bei den Verformungsberechnungen werden keine Überlagerungen aus $g + p$ vorgenommen. Die einzelnen Lastfälle, also ständige Last g sowie die Nutzlast werden getrennt berechnet. Zur Gesamtbetrachtung sind die Durchbiegungswerte zu addieren.

Nach DIN 1045, Ausgabe Juli 1988, Abschnitt 17.7.1 [3] ist die Durchbiegung der Decken zu beschränken. Durch zu große Durchbiegungen kann die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks beeinträchtigt werden oder Schäden in anschließenden Bauteilen wie z. B. Wänden, Fassaden usw. entstehen. So werden nach DIN 1045, Abschnitt 17.7.2 [3] die Biegeschlankheiten der Decken begrenzt bzw. die Deckenstärken ermittelt.

Beispiel zum vereinfachten Nachweis der Begrenzung der Biegeschlankheit:

Zweifeldsystem

$$l_1 = 7,65 \text{ m}$$

$$l_2 = 6,90 \text{ m}$$

maßgebend ist l_1 , daraus ergibt sich

$$l_i = 0,8 \times 7,65 = 6,12 \text{ m}$$

$$h_{\text{eff}} = l_i^2 / 150 = 6,12^2 / 150 = 0,25 \text{ m} = 25 \text{ cm}$$

$$\text{somit } d = 28 \text{ cm}$$

Bei den vereinfachten Nachweisen zur Ermittlung der Plattenstärke punktgestützter Platten wird sowohl bei der alten wie bei der neuen DIN nur auf die Spannweite eingegangen. Versteifende Konstruktionselemente wie Randunterzüge, Brüstungen werden dabei nicht berücksichtigt.

Im Heft 240 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) [2] mit Kapitel 6 "Beschränkung der Durchbiegung unter Gebrauchslast" wird dieses Thema behandelt. Die Regelungen betreffen einfachste Systeme (Einfeld- und Durchlaufträger) und linien-gestützte zweichachsig gespannte Platten. Daraus wurde abgeleitet, dass bei punkt-gestützten Platten jeweils die längere Spannweite die Grundlage für die Biegeschlankheit ist.

In der Neufassung der DIN 1045-1, Begrenzung der Verformung [11] sowie Sonderheft Nr. 1/2002 zum Allgemeinen Ministerialblatt Nr. 10/2002, DIN 1045-1, Absatz 11.3, Begrenzung der Verformung [1] werden ebenfalls die Grundlagen festgelegt. Zur Neufassung der DIN ist zu bemerken, dass der oben aufgeführte Nachweis der Begrenzung der Biegeschlankheit mit den dort aufgeführten Abminderungswerten mit der alten DIN [3] identisch ist, aber für l_i nur dann geführt werden darf, wenn die Betongüte mindestens C30/37 beträgt.

In der neuen DIN 1045-1 [1] ist auch die Regelung für punktgestützte Platten festgelegt. Grundlage für die Biegeschlankheit ist die längere Spannweite. Die Regelungen für einachsige Systeme und vierseitig gelagerte Platten sind analog der alten DIN 1045 [3] auch in der neuen DIN 1045-1 [1] geregelt, jedoch mit Festlegung der Betongüte C30/37. Dabei ist festzustellen, dass der E-Modul mit $E_b = 31.900 \text{ MN/m}^2$ des C30/37 geringfügig über dem des B25 liegt und somit die ermittelten Verformungsbetrachtungen sozusagen auf der sicheren Seite liegen. Andererseits ist zu bemerken, dass bei der Übergangsregelung festgelegt wurde: Die Bauausführung darf auch mit C-Beton nach neuer Norm erfolgen (auch in 2005), wenn nach der alten DIN 1045 bemessen wurde. In dieser Regelung wird der B35 dem C30/37 gleichgesetzt. Bei Verformungsbetrachtungen liefert der C30/37 mit $E_b = 31.900 \text{ MN/m}^2$ jedoch größere Verformungen als der alte B35 mit $E_b = 34.000 \text{ MN/m}^2$.

Aufgrund verschiedener Überlegungen zum Schallschutz, zur Speicherfähigkeit usw. werden die Mindestdeckenstärken bis auf wenige Ausnahmen mit $d = 16 \text{ cm}$ begrenzt.

Bei allen punktgestützten Plattensystemen werden keine Durchstanznachweise geführt. Das heißt es wird vorausgesetzt, dass die Querschnitte der Stützen den Anforderungen gerecht werden.

2.1 Stand der Forschung

Martin Mittag [6] behandelt im Abschnitt "Tragsysteme" den Stahlbetonskelettbau als Fertigbau. In Form von Isometrien werden unterschiedliche Darstellungen zur Platten-, Unterzugs- und Stützensausformung gezeigt, allerdings ohne Wertung des Konstruktionsrasters. Darüber hinaus werden übliche Querschnitte des Stahlbeton-Fertigbaus mit maßlicher Abstufung behandelt. Selbstverständlich können die vorgestellten Tragwerksbeispiele auch als Ortbeton-Konstruktion verwirklicht werden. Außerdem werden Teilausschnitte der unterschiedlichsten Betondecken mit verschiedensten Fußbodenaufbauten dargestellt. Auf Gebäudestrukturen geht Martin Mittag nicht ein.

Im Betonkalender 2003 [9], Kapitel "II Geschossbauten, Verwaltungsgebäude" werden unter 3. Tragwerk drei unterschiedliche Konstruktionssysteme bei gleichem Raster vorgestellt:

- Platte mit Unterzügen in Gebäudelängsrichtung
- Platte mit Unterzügen in Gebäudequerrichtung
- Platte punktgestützt

Die Merkmale der einzelnen Systeme werden beschrieben. Hinweise zur flexiblen Grundrissgestaltung und Eingliederung der Haustechnik werden gegeben. Bei dem dargestellten Stützenraster handelt es sich um ein asymmetrisches System mit den Maßen $4,0 \text{ m} \times 5,0 \text{ m}$ sowie $4,0 \text{ m} \times 7,0 \text{ m}$.

Eine ähnliche Darstellung findet man auch in Neufert, Bauentwurfslehre [7] unter "Verwaltungsbauten".

Roland K. Hornung [4] befasst sich in seiner Arbeit mit den Zusammenhängen zwischen der Konstruktion und den Kosten von Skelettbauten. Dabei werden die Grundlagen der Gesamtkosten von Deckensystemen in die Kostenanteile Beton, Bewehrung, Schalung, Lohn, Stoffe und Geräte aufgeschlüsselt. Diese Arbeit befasst sich ausschließlich mit dem Thema Wirtschaftlichkeit der Decke, losgelöst von sonstigen Zusammenhängen der Gebäudeplanung im Gesamten und grenzt sich damit von der vorliegenden Arbeit ebenfalls klar ab.

Die Dissertation von Michael Olipitz [8] mit dem Titel "Eine konstruktive Betrachtung des "Wiener Hochhauses" (unter besonderer Berücksichtigung der Deckensysteme)" befasst sich mit der Planung eines Hochhauses insgesamt. In seiner Zusammenfassung trägt der Autor die maßgebenden Einflussgrößen für den Entwurf von Hochhäusern aus den bearbeiteten Kapiteln B. Nutzung und Ausbau, C. Gebäude- und Sicherheitstechnik, D. Tragstruktur, E. Bauweise zusammen, die die Deckensysteme (Kapitel F) beeinflussen. Dabei kommt er zu dem Schluss, dass man die Deckensysteme bei Hochhäusern grundsätzlich in zwei Gruppen gliedern kann. Zum einen gibt es die liniengelagerten Decken, die vorrangig in Wohnhochhäusern zu Anwendung kommen, zum anderen die Flach- und Unterzugsdecken, die sowohl in Wohn- als auch in Bürogebäuden Anwendung finden. Nur in Sonderfällen kommen Rippen- und Kassettendecken zur Ausführung. In Kapitel F werden diese Deckensysteme eingehend bezüglich der Fertigung und der Dimensionen in Abhängigkeit von der Spannweite beschrieben. Die Dissertation von Olipitz grenzt sich somit ebenfalls klar von der vorliegenden Arbeit ab.

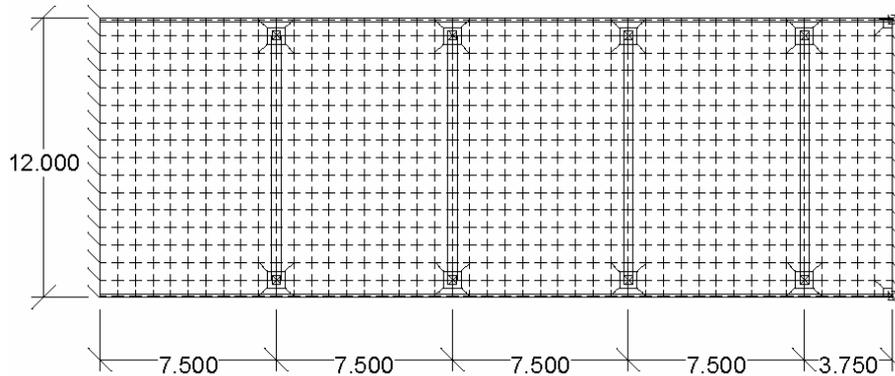
2.2 Vorgehensweise

Für alle Systeme der Serien A und B sowie überwiegend auch für die Serie C werden die Verformungen aufgezeigt. Zunächst werden die Verformungen unter ständiger Last, danach für verschiedene Nutzlastanordnungen ermittelt. Die Verformungen werden, wie vorher schon dargestellt, getrennt für g und p ohne Überlagerungen durchgeführt. Für die Verformungsberechnungen wird ein E-Modul von $E_b = 30.000 \text{ MN/m}^2$ zu Grunde gelegt. Die Berechnungen erfolgen linear elastisch ohne Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden sowie ohne Berücksichtigung der Rissbildung (Zustand II).

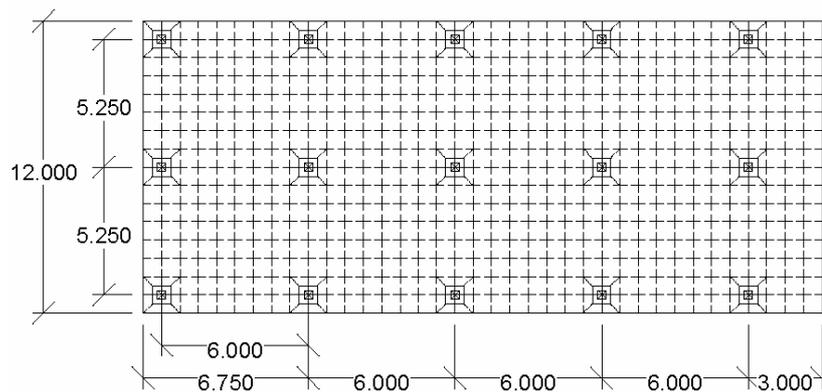
Die Berechnung der Verformung erfolgt mit der Methode der Finiten Elemente (Betonkalkender 2001, Teil 2, C "Modellierung mit der Methode der Finiten Elemente, Dipl.-Ing. R. Kemmler und Prof. Dr.-Ing. E. Ramm) [5]. Zur Anwendung kommt XPLA - FEM Plattenberechnungen [9].

Bei der FE-Berechnung mit dem obigen Programm wird das Netz auch über den Stützen automatisch generiert. Bei Bedarf kann auf die Netzverfeinerung Einfluss genommen werden. Für Unterzüge oder Randverstärkungen werden zusätzlich die Querschnitte zwischen Knoten der Elementierung eingegeben.

Dieses Finite-Element-Netz zeigt das System A 2.2.2 mit Platte, Unterzug und Deckenrandverstärkung sowie eingerückter Stützenstellung.



Das folgende Finite-Element-Netz zeigt das System A 7.1, also eine punktgestützte Platte ohne Deckenrandverstärkung und eingerückter Stützenstellung.



Bei den nachstehend folgenden Darstellungen und Erläuterungen der Systeme wird z.T. schematisch vorgegangen. Als erstes wird das Grundsystem vorgestellt. Im Regelfall sind hier die Stützen bündig mit dem Deckenrand angeordnet. Entlang der Fassade ist bei den meisten Systemen ein durchlaufender Unter- oder Überzug als Deckenrandverstärkung vorgesehen. Die Biegeschlankheiten werden nicht nur für Platten, sondern auch für Unterzüge (wie etwa bei dem System A1.1.0) entsprechend den Richtlinien der DIN 1045 [3] und DIN 1045-1 [1] zu Grunde gelegt.

In der nächsten, also in der 2. Stufe wird das Grundsystem so verändert, dass die Stützen an der Fassade um das Achsmaß von 75 cm vom Deckenrand eingerückt werden. Unter- oder Überzüge gibt es bei dieser Variante nicht.

Die dann folgende, also 3. Stufe übernimmt das System der vorhergehenden Stufe, wobei zusätzlich durchlaufende Deckenrandverstärkungen (eventuell auch in Form von Brüstungen) zur Ausführung kommen. Je nach Grundsystem werden weitere Varianten aufgezeigt. Teilweise werden aufgrund der besonderen Charakteristik des Grundsystems andere Abwandlungen der Varianten vorgenommen.

Unter Kapitel 7, weitgespannte Geschoßbauten werden unter

D 1 Geschossbauten mit einem Achsmaß (Gebäudetiefe) von 22,0 m
und D 2 Geschossbauten mit einem Achsmaß (Gebäudetiefe) von 16,5 m

in verschiedenen Schnitten dargestellt.

Oft werden vom Bauherrn große Anforderungen bezüglich der Stützenfreiheiten erhoben. Diese Forderungen basieren häufig auf vorgefassten Meinungen von Lösungen. Unterzieht man diese Anforderungen unvoreingenommenen Betrachtungen, erweisen sie sich häufig als nicht zwingend. Bei den weiteren Diskussionen erkennt man, dass diese Anforderungen zum Teil emotional oder auch infolge fehlendem räumlichem Vorstellungsvermögen zustande kamen. Ein reduzierter Freiraum von rund 16,0 m oder auch wesentlich weniger ist dann oft das Ergebnis der ausführlichen Diskussion.

Sind die Nutzungen in den verschiedenen Geschossen nicht gleich, kann sich daraus eine günstige Grundlage für die Entwicklung des Tragwerks und somit auch für die Gesamtwirtschaftlichkeit des Gebäudes ergeben.

Auf Berechnungen wird bei den Beiträgen D 1 und D 2 verzichtet.

3. Nutzung und Konstruktionsraster

Bei der Planung von Stahlbetonskelettbauten wird stets ein Gebäuderaster eingeführt. Das heißt, je nach Anforderung beträgt das Grundmodul des Rasters 1,20 m, 1,25 m oder 1,30 m, 1,35 m bzw. 1,50 m etc.

Im Kapitel 3.1 werden Grundrissbeispiele vorgestellt, die auf den Grundmodulen der Kapitel 3.2 bis 3.4 aufbauen. Dabei werden nicht nur verschiedene Nutzungen, wie Hotels, Schulen, Büros etc. dargestellt, sondern es wird auch gezeigt, wie unterschiedlich die Stützenstellungen innerhalb eines so genannten flexiblen Ausbaus eingebunden sein können.

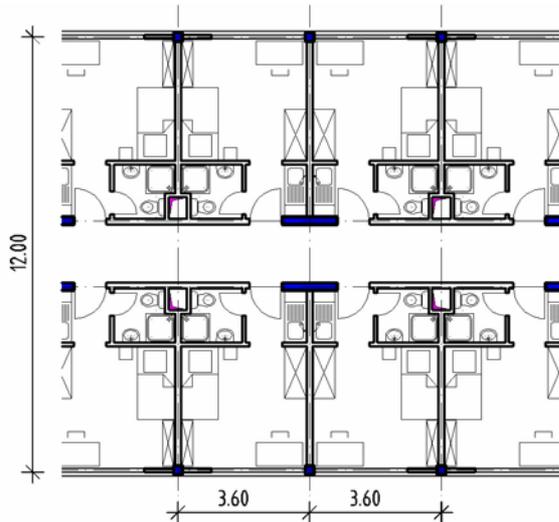
Auf den folgenden Seiten unter den Kapiteln 3.2, 3.3 und 3.4 werden nun mit Hilfe dieser Grundmodule unterschiedlich breite Gebäude ermittelt. Die aufgezeigten Gebäudetiefen reichen von rund 10,0 m bis 16,90 m.

Sinn der Auflistung der unterschiedlichen Gebäuderaster ist es, aufzuzeigen wie unerschöpflich variabel Gebäudetiefen entstehen können. Dazu dienen auch die Grundrissbeispiele unter 3.1.

Um vergleichende Betrachtungen sinnvoll anstellen zu können, werden 2 Gebäudetiefen, die den gebräuchlichsten am nächsten sind, ausgewählt. Diese sind unter Titel 4 die Deckensysteme A mit 12,00 m Gebäudetiefe und unter Titel 5 die Deckensysteme B mit 16,50 m Gebäudetiefe.

3.1 Grundrissbeispiele von Bauten unterschiedlicher Nutzung

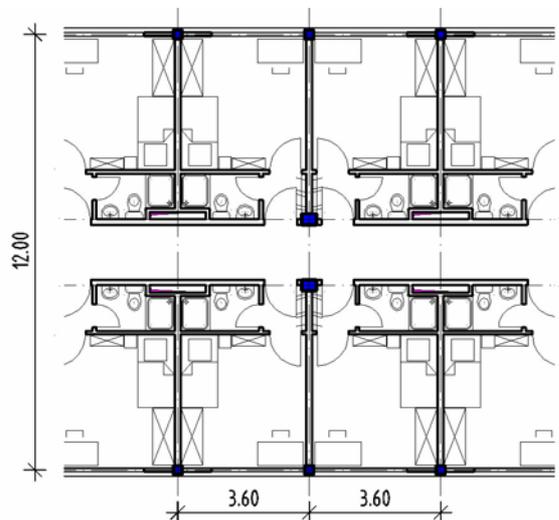
3.1.1 Studentenwohnheim



Modul 1,20 m
 Zimmerachse 3,60 m
 Gebäudetiefe $10 \times 1,20 \text{ m} = 12,00 \text{ m}$

Scheibenförmige Stützen in Achse der Flurwand.
 Installationsschächte in halber Achse des Konstruktionsrasters.
 Abgehängte Decken im Bad- und Vorraumbereich.

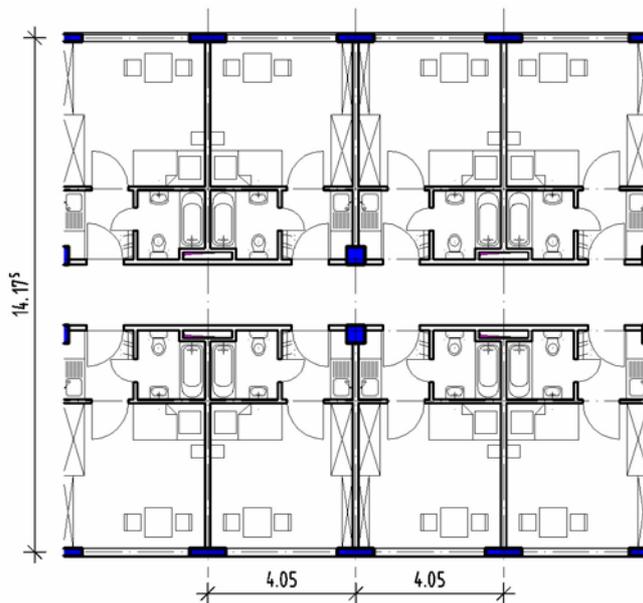
3.1.2 Internat



Modul 1,20 m
 Zimmerachse 3,60 m
 Gebäudetiefe $10 \times 1,20 \text{ m} = 12,00 \text{ m}$

Mittelstützen im Flurwandbereich.
 Installationsschächte in halber Achse des Konstruktionsrasters.
 Im Bad abgehängte Decke oder Vormauerung bei WC und Waschbecken.

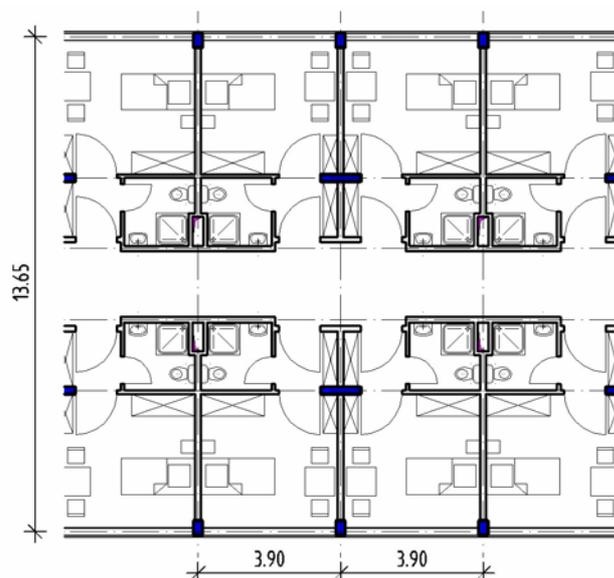
3.1.3 Altenheim



Modul 1,35 m
 Zimmerachse 4,05 m
 Gebäudetiefe $10,5 \times 13,5 \text{ m} = 14,175 \text{ m}$

Mittelstützen bündig mit Flurwand.
 Installationsschacht in halber Konstruktionsachse.
 Abgehängte Decken im Bad- und Vorraumbereich.

3.1.4 Pflegeheim



Modul 1,30 m
 Zimmerachse 3,90 m
 Gebäudetiefe $10,5 \times 1,30 \text{ m} = 13,65 \text{ m}$

Scheibenförmige Stützen in Wandachse zwischen Zimmer und Vorraum.
 Installationsschächte im Innenfeld in halber Konstruktionsachse.
 Abgehängte Decke oder Vormauerungen im Bad.

Bei der Betrachtung der Grundrissbeispiele der Studentenheime, Internate und Altenheime sieht man sofort, dass die Mittelstützen nicht in der Flurwand liegen müssen, sondern dass diese auch in der Achse zwischen den Wohnräumen und den Sanitärbereichen angeordnet werden können. Beim Pflegeheim ist diese Innenstützenvariante dargestellt.

Die bei diesen Beispielen gezeigten Innenstützenreihen können jedoch auch durch eine asymmetrische Innenstützenanordnung ersetzt werden wie es bei dem Beispiel Büro gezeigt wird. Es fällt somit auch nicht weiter schwer, die Nutzungen der verschiedenen Beispiele untereinander auszutauschen.

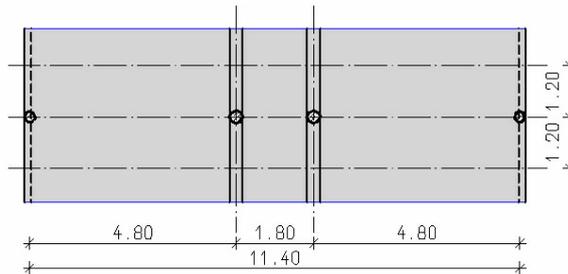
Bei dem Beispiel Klinik 1 ist natürlich auch eine symmetrische Mittelstützenanordnung in der installationsfreien Zone möglich, wogegen bei der Klinik 2 eine Stützenstellung jeweils in den Flurwänden möglich ist. Wie bei dem darauf folgenden Hotel mit 16,50 m Gebäudetiefe lässt sich auch bei der Klinik 2 die dargestellte Stütze beliebig bis zur Flurwand verschieben.

Das Bürogebäude mit rund 15,0 m Gebäudetiefe ist selbstverständlich auch mit einer symmetrischen Mittelstützenreihe möglich wie auch schon bei der Klinik 1.

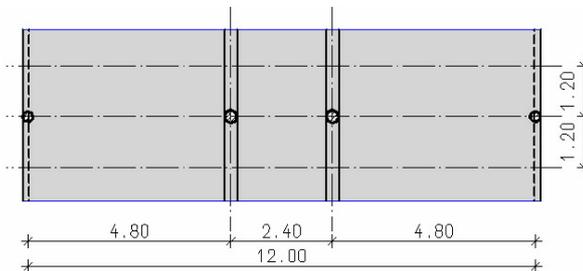
Wählt man bei der Schule, dem Seminar- und Hörsaalgebäude eine asymmetrische Stützenstellung in einer Flurwand, so ist die Deckenkonstruktion in Form einer Platte nur mit rahmenwirksamen Stützen vorstellbar.

Bei der einhüftigen Schule ist keine andere sinnvolle Stützenstellung vorstellbar. Dagegen bei dem folgenden Wohnungsbeispiel kann die Stütze zum Wohnraum hin verschoben werden. Das heißt, würde man das Schulgebäude zu einem Wohngebäude umgestalten, könnte die Wohnungswand an der Flurseite auf dem Kragarm der Decke angeordnet werden.

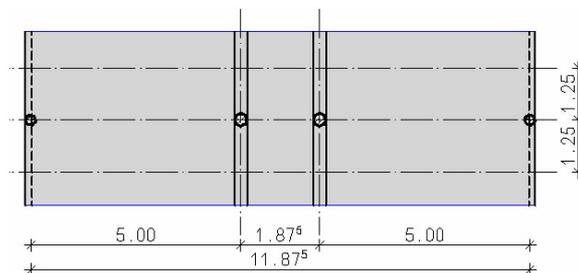
3.2 Beispiele gebräuchlicher Raster von Geschossbauten geringer Gebäudetiefe



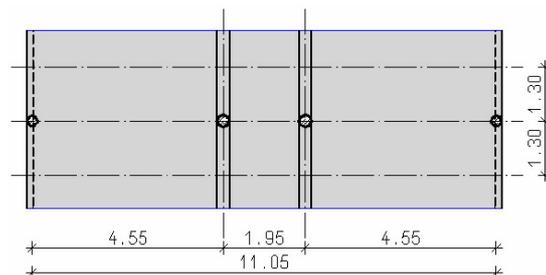
Flurachse $1,5 \times 1,20 \text{ m} = 1,80 \text{ m}$
 Raumachse $4,0 \times 1,20 \text{ m} = 4,80 \text{ m}$
 Gebäudetiefe $9,5 \times 1,20 \text{ m} = 11,40 \text{ m}$



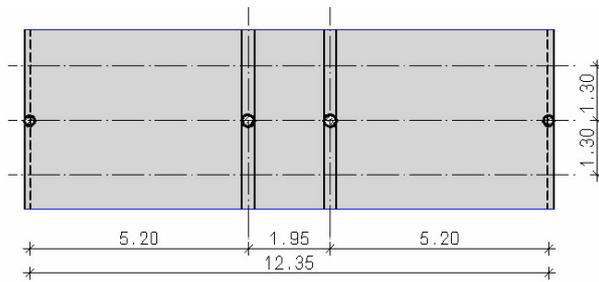
Flurachse $2,0 \times 1,20 \text{ m} = 2,40 \text{ m}$
 Raumachse $4,0 \times 1,20 \text{ m} = 4,80 \text{ m}$
 Gebäudetiefe $10,0 \times 1,20 \text{ m} = 12,00 \text{ m}$



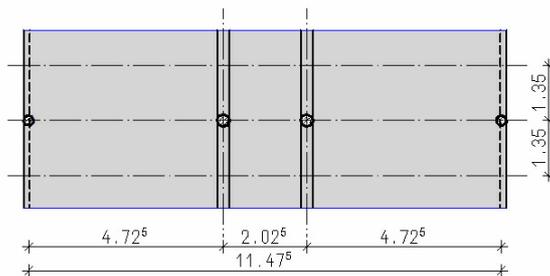
Flurachse $1,5 \times 1,25 \text{ m} = 1,875 \text{ m}$
 Raumachse $4,0 \times 1,25 \text{ m} = 5,00 \text{ m}$
 Gebäudetiefe $9,5 \times 1,25 \text{ m} = 11,875 \text{ m}$



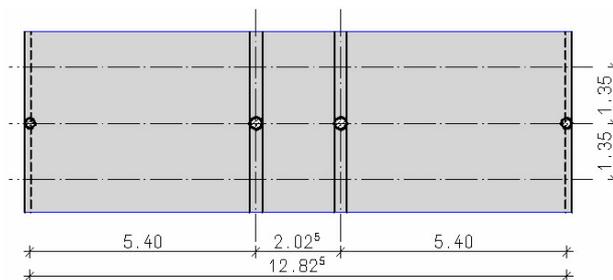
Flurachse $1,5 \times 1,30 \text{ m} = 1,95 \text{ m}$
 Raumachse $3,5 \times 1,30 \text{ m} = 4,55 \text{ m}$
 Gebäudetiefe $8,5 \times 1,30 \text{ m} = 11,05 \text{ m}$



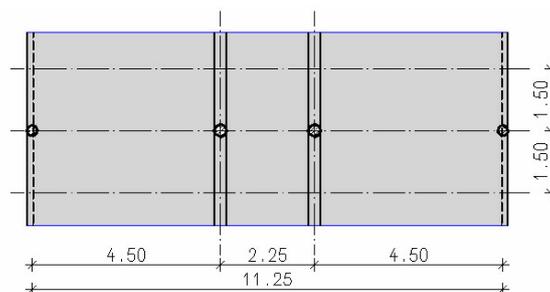
Flurachse	$1,5 \times 1,30 \text{ m} =$	1,95 m
Raumachse	$4,0 \times 1,30 \text{ m} =$	5,20 m
Gebäudetiefe	$9,5 \times 1,30 \text{ m} =$	12,35 m



Flurachse	$1,5 \times 1,35 \text{ m} =$	2,025 m
Raumachse	$3,5 \times 1,35 \text{ m} =$	4,725 m
Gebäudetiefe	$8,5 \times 1,35 \text{ m} =$	11,475 m



Flurachse	$1,5 \times 1,35 \text{ m} =$	2,025 m
Raumachse	$4,0 \times 1,35 \text{ m} =$	5,40 m
Gebäudetiefe	$9,5 \times 1,35 \text{ m} =$	12,825 m



Flurachse	$1,5 \times 1,50 \text{ m} =$	2,25 m
Raumachse	$3,0 \times 1,50 \text{ m} =$	4,50 m
Gebäudetiefe	$7,5 \times 1,50 \text{ m} =$	11,25 m

Wenn auch die Beispiele unter 2.2 mit zwei Mittelstützenreihen beidseitig vom Flur dargestellt sind, sind diese Beispiele selbstverständlich auch mit einer asymmetrischen Mittelstützenreihe möglich.

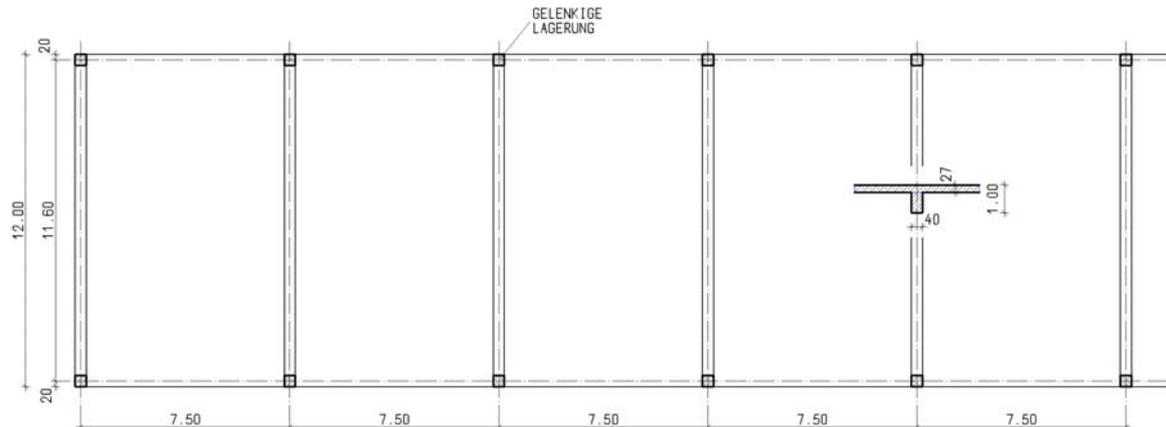
Bei den folgenden Beispielen unter 2.3 können natürlich die Innenstützen beliebig nach innen verschoben werden, ja sogar so weit, dass die beiden Innenstützen zu einer gemeinsamen Mittelstützenreihe verschmelzen.

4. Deckensysteme A 1.1.0 bis A 18.2 für Geschossbauten mit 12,0 m Gebäudetiefe

In diesem Kapitel werden die Deckensysteme von A 1.1.0 bis A 18.2 dargestellt, analysiert und auch untereinander verglichen.

Eine Systemübersicht ist in Anhang 2 ab Seite A 186 zu finden.

System A 1.1.0 Grundsystem mit Pendelstützen entlang dem Deckenlängsrand



Bei diesem System und den folgenden Beispielen wird eine Konstruktion angewandt, die die Gebäudetiefe (also von einer Fassade zu anderen) stützenfrei überbrückt. Dazu werden Unterzüge im Achsabstand von 7,5 m angeordnet. Auf den Unterzügen wird eine Deckenplatte in Gebäudelängsrichtung gespannt.

Diese Konstruktion kann in Ortbeton erstellt werden. Das Prinzip eignet sich jedoch auch sehr gut für teilvorgefertigte Konstruktionen. Die Teilvorfertigung besteht darin, dass die Unterzüge als Fertigteile erstellt werden, auf die wiederum teilvorgefertigte Deckenelemente aufgelagert werden. Über den teilvorgefertigten Elementen wird eine sogenannte Ortbeton-schicht aufgebracht. Bei der Ausformung der Deckenfertigteile ist die Krümmung (Überhöhung) aus der Überhöhung der Unterzüge zu beachten.

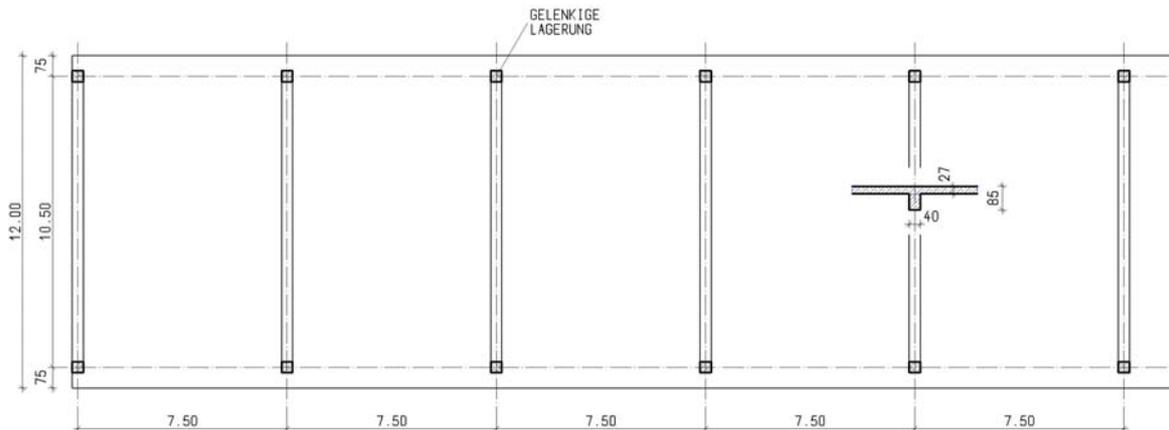
Je nach Anforderungen der Betriebstechnik können derartige Deckensysteme hinderlich sein, da Aussparungen bzw. Balkendurchbrüche nicht beliebig angeordnet werden können und somit auch rechtzeitig geplant werden müssen.

Bei der Platte und den Unterzügen handelt es sich jeweils um gerichtete (einachsige) Systeme, deren Bauteilstärken entsprechend DIN 1045 [3] bzw. DIN 1045-1 [1] getrennt ermittelt werden.

Betrachtet man das Verformungsbild, so stellt man fest, dass die Verformung der Platte hier von untergeordneter Bedeutung ist. Die Verformung der Platte folgt der Unterzugsverformung und nimmt im Schwerpunkt der Platte geringfügig zu. Erwartungsgemäß liegt auch bei einem derartigen System die größte Verformung im Endfeld. Es ist sehr schön zu erkennen, wie durch den unterschiedlichen Lasteintrag der Decke auf die Unterzüge sich der Randunterzug infolge gleicher Bauteilhöhe geringer durchbiegt. Vom Verformungsverhalten her könnte also der Randunterzug schlanker dimensioniert werden.

Die Verformungen an den Plattenrändern sind unbedeutend, so dass auch der Einbau einer Fassade problemlos ist.

Das vorhandene Stützenraster bildet eine günstige Voraussetzung für die Anordnung einer Garage im Untergeschoss.

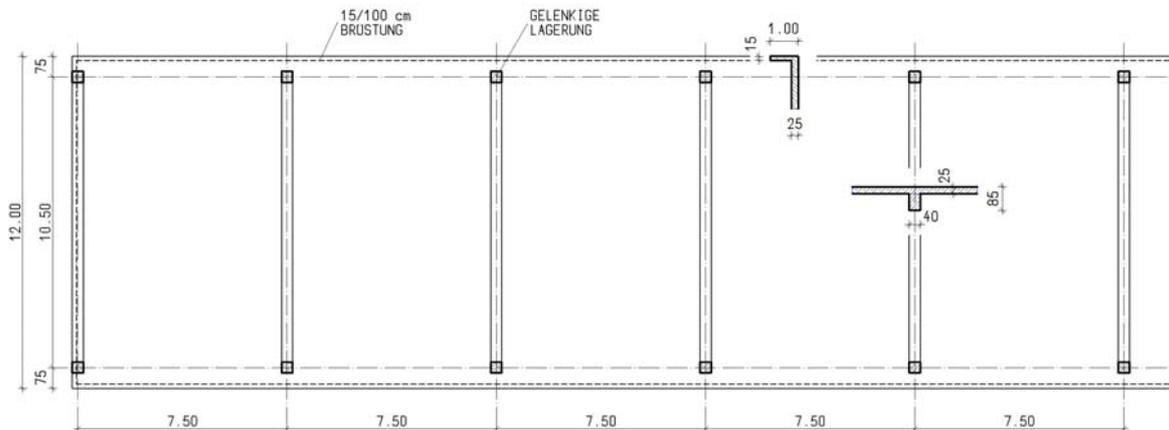
System A 1.1.1 Randstützen eingerückt

Die Plattenstärke entspricht dem System A 1.1.0. Anders als dort sind jedoch die Stützenachsen in Querrichtung jeweils um 75 cm von der Fassade eingerückt. Dadurch konnte die Bauteilhöhe des Unterzugs im Vergleich zur Position A 1.1.0 um 15 cm, also auf 85 cm, reduziert werden.

Die Verformungen sind nahezu identisch wie beim System A 1.1.0, jedoch an den Deckenrändern infolge der eingerückten Stützenstellung günstiger. Ursache ist die Ausbildung einer Art Kragarm, der eine Verformung nach oben aufweist, die sich günstig auf die Verformung der Platte in Randmitte auswirkt

Die Voraussetzungen für eine Garage sind wegen des vorhandenen Stützenrasters ebenfalls günstig.

System A 1.1.2 Randstützen eingerückt mit Deckenrandverstärkung



Das Stützenraster entspricht dem des vorhergehenden Systems A 1.1.1, wobei hier der Deckenrand durch einen Brüstungsüberzug versteift wurde. Nach Auswertung der ersten Deckenberechnung konnte die Deckenstärke abweichend von den vorher beschriebenen Systemen A 1.1.0 und A 1.1.1 um 2 cm auf insgesamt 25 cm reduziert werden.

Nach Auswertung der ersten Deckenberechnung zeigt sich, dass aufgrund der Deckenrandverstärkung die Plattenverformungen günstiger sind als bei den Systemen vorher. Die Plattenstärke kann bei Beibehaltung der Verformungswerte der vorhergehenden Systeme reduziert werden. Der Deckenrand wird derartig versteift, dass selbst beim Endfeld trotz reduzierter Deckenstärke die größte Durchbiegung in Feldmitte geringer ausfällt, als bei den bisher gezeigten Systemen. Es ist also angezeigt, bei derartigen Systemen stets die Steifigkeit der Randbedingungen, also Unter- oder Überzug zu betrachten, da sie sich günstig auf die Gesamtdimensionierung des Tragwerks auswirken.

Für eine Garagenanordnung ist dieses System ebenfalls günstig.

8. Ergebnis

Durch die Analyse der Vielzahl von Verformungsermittlungen wurde die sinnvolle Anordnung von Deckenrandverstärkungen bei fast allen Systemen nachgewiesen. Dies erfolgte, indem zunächst für das Grundsystem die Verformung ermittelt wurde. Beim folgenden System wurde unter Beachtung des gleichen Verformungsverhaltens bzw. der gleichen Durchbiegung die neue Plattendicke ermittelt, die aufgrund der zusätzlich angeordneten Randverstärkung möglich ist.

Selbst bei Systemen vom Typ A 1.1.0 bis A 2.3.2, die sich zunächst als einachsige Plattensysteme über Querunterzügen darstellen, bewirkte die Anordnung einer Randverstärkung, dass die Plattenstärke bei Einhalten der gleichen Verformungsgrößen verringert werden konnte. Der Einfluss der Wirkung der Randverstärkung vermindert sich bei den Systemen B 1.1.0 bis B 2.3.2, d.h. bei einem Seitenverhältnis der Platte von 1:2 hat die Randverstärkung so gut wie keinen Einfluss auf das Tragverhalten bzw. auf eine Verformungsverringerung. Je mehr sich das Seitenverhältnis einem Quadrat nähert, umso stärker wird der Einfluss der Randverstärkung auf die Plattenstärke.

Zu vermerken ist dabei, dass auch die Randverstärkung nicht auf den Stützen aufgelagert werden muss. Selbstverständlich muss der Lastüberleitung von Randverstärkung über Platte zur Stütze ein besonderes Augenmerk gewidmet werden.

Wie wichtig die Anordnung einer Randverstärkung in Form eines Unterzuges oder eines Überzuges (Brüstung) ist, wird gerade bei gebräuchlichen Systemen wie A 7, A 8, A 9, A 10 etc. sowie B 7, B 8, B 9, B 10 usw. deutlich. Obwohl auch hier die Randverstärkungen nicht auf den Stützen aufgelagert sind, sondern am freien Deckenrand angeordnet sind, beeinflussen sie die Plattendimensionierung entscheidend.

Fazit: Deckenrandverstärkungen vermindern die Verformungen der Deckenkonstruktionen und beeinflussen somit die Deckenstärke. Wählt man Überzüge oder Brüstungen als Randverstärkung, sind sie eine zusätzliche Grundlage für kostengünstige Fassadengestaltungen bzw. -ausführungen, die gleichzeitig zusätzliche Flächen zur Anbringung der erforderlichen Wärmedämmung zur Verfügung stellen. Die Einbautoleranzen gestalten sich günstiger und die Fassadenprofile können aufgrund der geringen Höhe der Fensterelemente filigraner gestaltet werden.

Auch bei mittig gestützten Systemen wie A 4, A 6 und B 4, B 6 verbessern bzw. gleichmäßigen Randverstärkungen das Verformungsverhalten an den freien Rändern, insbesondere an den Gebäudeecken.

Die bei nur mittig gestützten Systemen A 4, A 5, A 6 und B 4, B 5 und B 6 ermittelten Verformungen unter einseitiger Belastung verdeutlichen die direkte Abhängigkeit von der Stützenqualität bzw. vom Stützenquerschnitt.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Planung des Deckensystems ist die Stellung der

Rand-Fassadenstützen. Durch das Einrücken der Randstützen vom Deckenrand wird die Spannweite verringert und kann sich daher auch entscheidend auf die Plattendimensionierung auswirken.

Stellvertretend für alle Flachdeckensysteme wird bei A 10.4 ff. und B 7.4 ff. der Einfluss von Rahmenstielen - Scheiben an der Gebäudeumfassung demonstriert. Wider Erwarten ist die geplante Rahmenwirkung von untergeordneter Bedeutung, so lange die Stützen im Hauptraster des Systems stehen. Die zusätzlich angebrachte Randverstärkung zeigt dagegen sofort Wirkung und führt zu geringeren Plattenstärken. Die Rahmenwirkung wird unmittelbar deutlich, wenn die Randstützen mindestens verdoppelt werden, wobei dann auch auf eine Randverstärkung verzichtet werden kann.

Neben der Entscheidung der Randverstärkung ist auf die Stellung der Stütze an der Längsseite in Verbindung mit der so genannten Kopfausbildung bzw. Stützenstellung-Wandstellung am Gebäudeende die Grundlage für ein sinnvolles und wirtschaftliches Deckentragwerk.

Durch besondere Maßnahmen kann bei der Festlegung des Tragwerks am Gebäudeende nicht nur Deckenstärke eingespart werden, sondern es können auch zusätzliche Gestaltungsmöglichkeiten, die der Architektur zu Gute kommen, entstehen. Wenn auch eine Vielzahl von Systemen hierzu dargestellt wurde, sind die konstruktiven Möglichkeiten, die zum Erfolg führen, sicher unerschöpflich

Die einfachste Art, günstige Voraussetzungen für das Endfeld zu erreichen, ist wie bei den Systemen A 1.2.0 ff., A 2.2.0 ff. sowie B 1.2.0 ff., B 2.2.0 oder auch A 10.3, A 12.3, A 16.0, A 16.2 dargestellt, eine Stahlbetonscheibe am Gebäudeende anzuordnen. Durch diese Festlegung entsteht eine Rahmenwirkung zwischen Decke und Stahlbetonscheibe, so dass das Endfeld nun den Innenfeldern des Systems gleichwertig wird, d.h. das i der End- und Innenfelder hat die gleiche Größe.

Dass diese Scheibenanordnung nicht auf die gesamte Gebäudebreite vorgenommen werden muss, wurde anhand der Systeme A 3.0 ff. und B 3.0 ff. belegt. Daraus ist auch abzuleiten, dass je nach System die Scheibenlängen anzupassen sind. Selbstverständlich können die Scheiben so angeordnet werden, dass die Gebäudeecken freigehalten werden und dennoch aufgrund der festzulegenden Scheibenlängen die erforderliche Deckeneinspannung erzielt wird.

Eine weitere konstruktive Möglichkeit, günstige Voraussetzungen für das Endfeld zu erreichen, ist, die Spannweite des Endfeldes bzw. das zugehörige Gebäuderaster zu verkleinern. In Abhängigkeit vom Innenfeld in Gebäudelängsrichtung wäre das Endfeld um den Faktor 0,70 bis 0,80 zu verkürzen. Auf dieser Basis ergeben sich ähnliche Grundwerte für End- und Innenfeld zur Festlegung der Deckenschlankheit. Dies wurde bei den Systemen A 1.3.0 ff., A 2.3.0 ff., B 1.3.0 ff., B 2.3.0 ff., B 8.0 ff sowie A 12.1, A 12.2, A 15.0, A 15.1, A 14.1 aufgezeigt. Ein Freihalten der Gebäudeecken von Stützenkonstruktionen wie beim System B 9.2, B 9.3 oder auch B 9.1 dargestellt, kann auch die Grundlage bilden.

Die Verkürzung der Spannweiten im Endfeld hat nur bis zu der Länge Sinn, die der Spannweite senkrecht dazu, also in Gebäudequerrichtung von Innenstütze zu Außenstütze, entspricht, denn das jeweilige Endfeld mit der größeren Spannweite ist die Bemessungsgrundlage für die Deckenstärke. Bei den verschiedenen Analysen dieser Deckensysteme ist auch interessant, dass z. B. ein Verschieben der Innenstützen um eine halbe Achse zu den Außenstützen in Verbindung mit einer Deckenrandverstärkung (siehe C 4.8) günstigere Deckenstärken liefert als bei normaler Rasterung (siehe C 4.7) ebenfalls mit einer Randverstärkung.

Wie bedeutungsvoll die Ausformung von Innenstützen ist, wurde bei den einhäufigen Systemen C 4.0 ff. demonstriert. Bei gleichen Plattenverformungen wurde auch das Zusammenspiel Rahmenstütze - Randverstärkung veranschaulicht.

Wie empfindlich das einhäufige Deckensystem ist bzw. wie hilfreich Rahmenstützen auch im Hinblick auf Deckenauskragungen sind, zeigen die Systeme C 4.9 und C 4.10. Je besser die Qualität der Rahmenstiele ist, desto unempfindlicher ist das System gegenüber veränderlichen Deckenauskragungen.

Vertauscht man die Rahmenstiele mit den Fassadenstielen, wird man ähnliche Ergebnisse erzielen wie bei den Systemen C 4.2 ff dargestellt.

Bei den Systemen D 1.0 ff. sowie D 2.0 ff. werden Konstruktionsbeispiele für weit gespannte Geschossbauten vorgestellt. Natürlich sind derartige Beispiele von der Funktion des Gebäudes abhängig. Die Absicht hier ist, darzustellen, um wie viel günstiger ein Tragwerk entwickelt werden kann, wenn man dabei das räumliche Angebot der verschiedenen Geschossebenen mit einbeziehen kann. Bei weitgespannten Abfangkonstruktionen von Geschossbauten über Hallen, Kinosälen etc. ist dieses räumliche Konstruktionsangebot besonders wichtig. Leider wird es nicht immer erkannt.

Bis zu einem Achsabstand des Hauptsystems (D 1.0 ff, D 2.0 ff) von ca. 8,0 m bis 9,0 m lassen sich einfache Stahlbetonplatten verwirklichen. Bei größeren Spannweiten empfehlen sich Rippendecken, Plattenbalkendecken oder auch Stahlverbunddecken, die alle den Vorteil haben, dass sie teilvorgefertigt werden können. Für die Primärkonstruktion ist zu entscheiden, wann eine Spannbetonkonstruktion, eine Stahlbetonkonstruktion oder eine Stahlkonstruktion sinnvoll ist. Bei einfachen Balkenkonstruktionen wird man dem Spannbetonträger oder dem Stahlverbundträger gegenüber dem Stahlbetonträger den Vorzug geben. Der Grund liegt darin, weil der Stahlbetonträger zu große Querschnittsabmessungen benötigt und das Verformungsverhalten ungünstiger ist. Sobald fachwerkähnliche Konstruktionen zu planen sind, wird man infolge der konstruktiven Durchbildung dem Stahl- oder Stahlverbundbau den Vorzug geben. Die Hauptstützen, ob an der Fassade oder wie beim System D 2 eingerückt, kann man stets in Stahlbeton erstellen.

Wird nun die Garagentauglichkeit einzelner Systeme beurteilt, so kann den Systemen, die jeweils die Gebäudetiefe überspannen, die beste Eignung bescheinigt werden.

Asymmetrische Deckensysteme, wie sie unter A 9, A 10 oder ähnlich zu diesen Systemen dargestellt sind, bilden eine wirtschaftliche Grundlage für eine Garagenanordnung.

Bei den Systemen, die unter B dargestellt sind, eignen sich diejenige am besten, die in Gebäudequerrichtung eine Spannweite des Mittelfeldes von mehr als 6,5 m aufweisen.

Die großen Felder der asymmetrischen Systeme unter A sowie das vordefinierte Mittelfeld (mindestens 6,5 m Stützenlichte) der Systeme B eignen sich bestens für die Aufnahme der Fahrstraße.

Systeme vom Typ A 7, A 9, B 11, B 13.3 und ähnliche benötigen entsprechende Abfangkonstruktionen, um eine Garage anordnen zu können. Die Wirtschaftlichkeit derartiger Zusatzkonstruktionen kann nur im Gesamtzusammenhang von Nutzung, Funktion und Architektur gesehen werden.

Blickt man auf die Vielzahl der Systeme und deren Analysen zurück, so ist ein breites Spektrum entstanden, das umfangreiche Planungserkenntnisse und Planungsgrundlagen aufzeigte. Diese Vielzahl von Systemanalysen gibt gezielte Impulse für eine ausgewogene und wirtschaftliche Deckenkonstruktion, die auch die Architektur unterstützen kann.

9. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, durch vergleichende Untersuchungen von Deckensystemen des Stahlbeton-Skelettbaus den Einfluss von Stützenstellungen, Deckenrandverstärkungen und der konstruktiven Gestaltung der Gebäudeenden aufzuzeigen.

Durch die schematischen Darstellungen der Deckensysteme mit den begleitenden Verformungsberechnungen wird nachgewiesen, wie sensibel Deckentragwerke auf unterschiedliche Stützenstellungen und Deckenrandverstärkungen reagieren. Mit den Betrachtungen der konstruktiven Gestaltung der Gebäudeenden und den dazugehörigen Verformungsberechnungen wird nachgewiesen, wie bedeutend der Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Tragwerks sein kann.

Die systematische Darstellung der Deckensysteme des Stahlbeton-Skelettbaus zeigt, wie schier unbegrenzt die Variationsmöglichkeiten sind. Alle vom Autor dargestellten Systeme entsprechen der Praxis und sind baubar.

Beim Studium der Deckensysteme kann die Wirtschaftlichkeit verfolgt und nachgewiesen werden.

Die DIN 1045 [3] regelt unter Punkt 17.7.2 vereinfacht die Begrenzung der Biegeschlankheit. Die neue DIN 1045-1 [1] regelt unter Punkt 11.3 ebenfalls vereinfacht die Begrenzung der Biegeschlankheit. Es wird nachgewiesen, dass Deckenrandverstärkungen das Verformungsverhalten reduzieren und daher schlankere Decken zulassen ohne die vergleichenden Verformungswerte des Grundsystems ohne Randverstärkung zu überschreiten.

10. Literatur

- [1] Sonderheft Nr. 1/2002 zum
Allgemeinen Ministerialblatt Nr. 10/2002
DIN 1045-1, -2, -3, -4: 2002-07
Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton (einschließlich Berichtigungen 1
zu DIN 1045-1, -2, -3: 2002-07), Absatz 11.3 Begrenzung der Verformung
- [2] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen
und Formänderungen von Stahlbetontragwerken, bearbeitet von E. Grasser und
G. Thielen, TU München, Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, München, Düsseldorf,
Heft 240, Kapitel 6: Beschränkung der Durchbiegung unter Gebrauchslast, S. 67 –
72, 1991
- [3] DIN 1045, Ausgabe Juli 1988: Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung
- [4] R. K. Hornung: Wirtschaftlichkeit von Deckensystemen aus Ortbeton; Zusammen-
hang zwischen Konstruktion und Kosten bei Stahlbetondecken von Skelettbauten in
Ortbetonbauweise als Grundlage für die Wahl wirtschaftlich optimierter Deckensys-
teme, Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin, 1979
- [5] R. Kemmler und E. Ramm: C Modellierung mit der Methode der Finiten Elemente,
S. 143 - 208. Josef Eibl, Karlsruhe (Schriftleitung): Betonkalender 2001, Band 1, Ver-
lag Ernst & Sohn, Berlin, 2001
- [6] M. Mittag: Baukonstruktionslehre, 18. Auflage, Verlag Vieweg, Braunschweig 2000
- [7] Neufert: Bauentwurfslehre, 37. erweiterte und überarbeitete Auflage, Verlag Vieweg,
Braunschweig 2002
- [8] M. Olipitz, Wien: Eine Betrachtung des "Wiener Hochhauses" (unter besonderer Be-
rücksichtigung der Deckensysteme), 1999
- [9] V. Theile, M. Rohr, J. Meyer: II Geschossbauten - Verwaltungsgebäude, 3. Tragwerk,
S. 82 - 138; K. Bergmeister, Wörner (Hrsg.): Betonkalender 2003, Band 1; Verlag
Ernst & Sohn, Berlin, 2003
- [10] XPLA - FEM Plattenberechnungen, Programmbeschreibung; D.I.E. CAD- und Statik-
software GmbH, Nettelbeckstr. 5, 46149 Oberhausen, 2000
- [11] K. Zilch; A. Rogge, München:
C I 3.4: Bemessung der Stahlbeton- und Spannbetonbauteile nach DIN 1045-1;
Grundlagen der Bemessung von Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen nach
DIN 1045-1; Begrenzung der Verformung; 3.4.1 Grundlagen und 3.4.2 Vereinfachter
Nachweis; Betonkalender 2002, Band 1, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2002,
S. 286 - 292

11. Anhang 1 - Verformungsberechnungen

Die mit dem Plattensystem XPLA Finite Elemente-Programm durchgeführten Verformungsberechnungen werden auf den folgenden Seiten für jedes System dargestellt.

Grundsätzlich werden drei Lastfälle je System aufgezeigt:

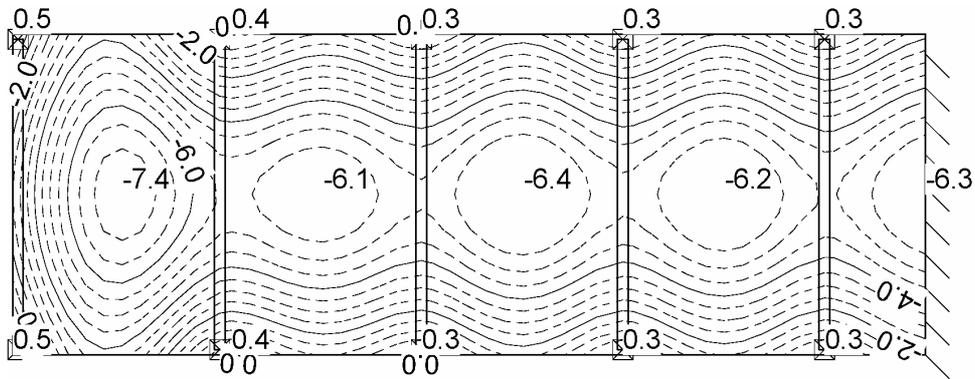
Lastfall 1: Eigengewicht der Konstruktion mit Belag

Lastfall 2 + 3: Nutzlastvarianten

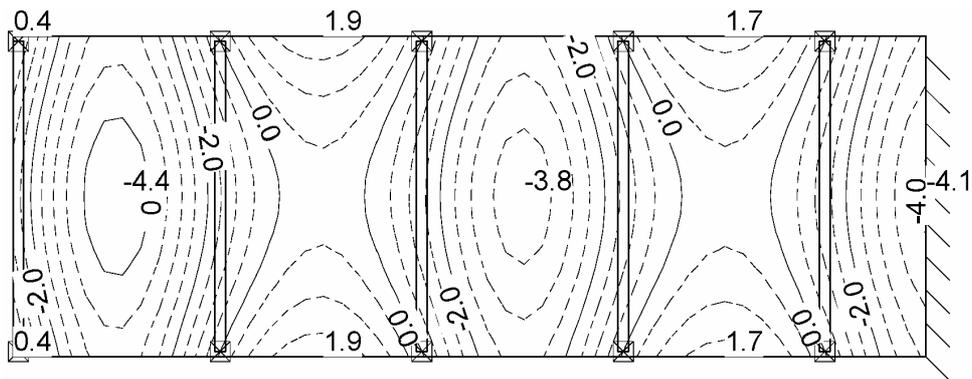
Die Lastfälle werden jeweils getrennt ohne Überlagerung berechnet. Zur Gesamtbeurteilung sind die Durchbiegungswerte zu addieren.

System A 1.1.0

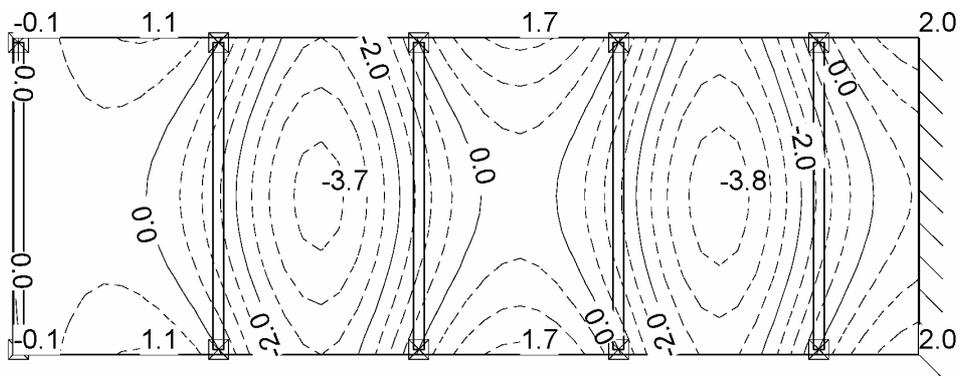
Verformungen in z-Richtung unter ständiger Last:



Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung A:

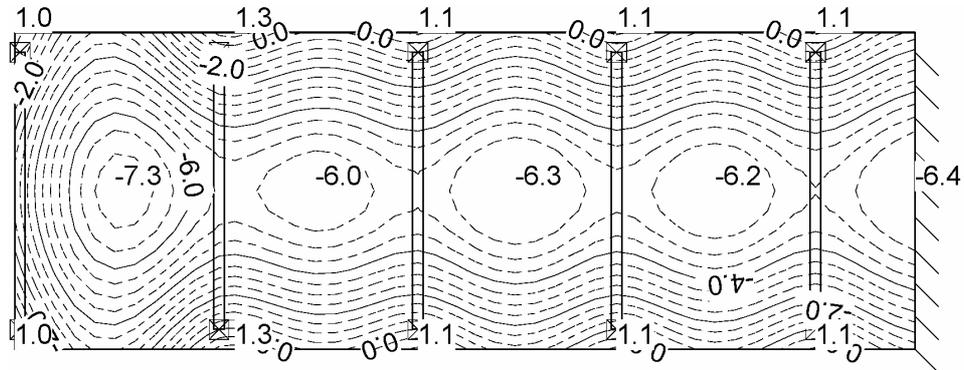


Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung B:

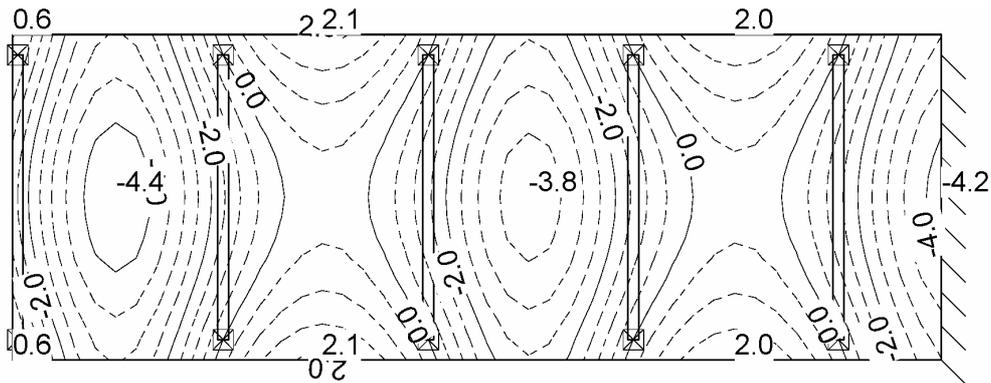


System A 1.1.1

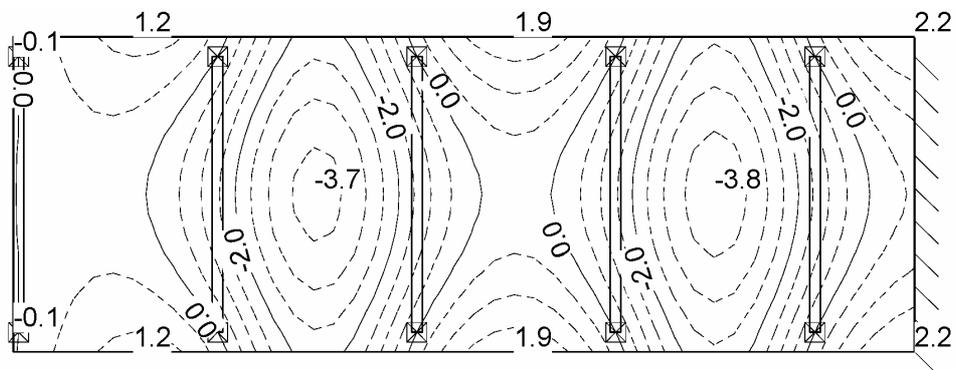
Verformungen in z-Richtung unter ständiger Last:



Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung A:

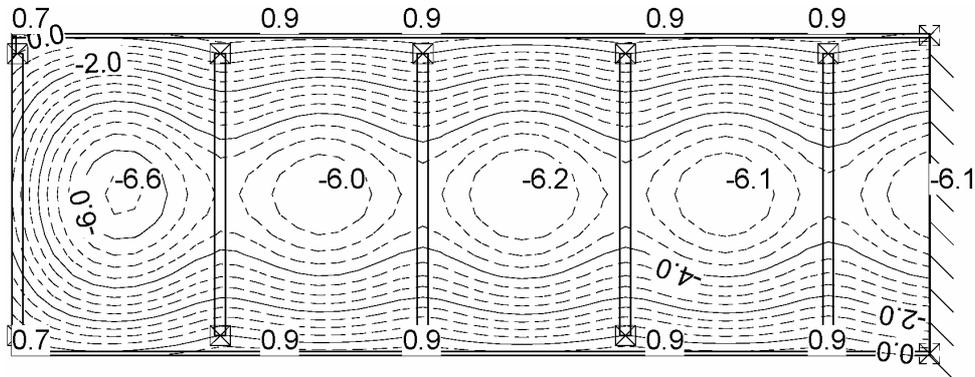


Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung B:

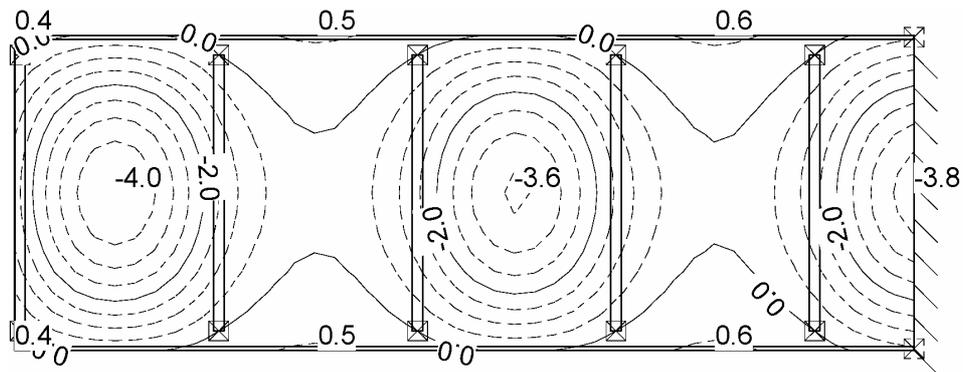


System A 1.1.2

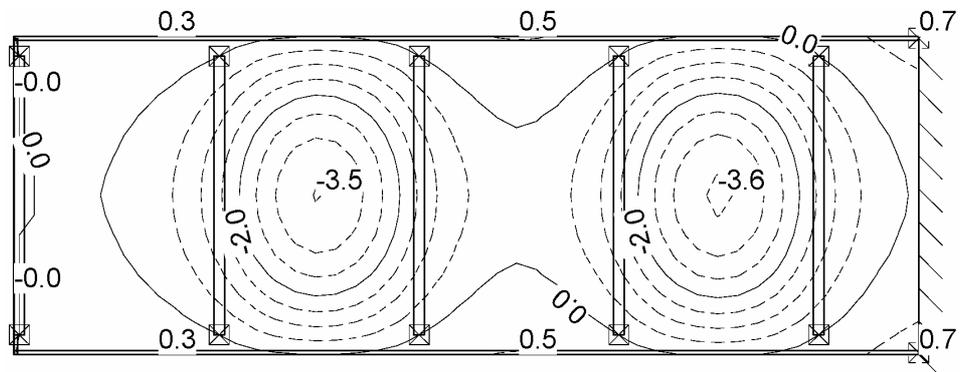
Verformungen in z-Richtung unter ständiger Last:



Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung A:

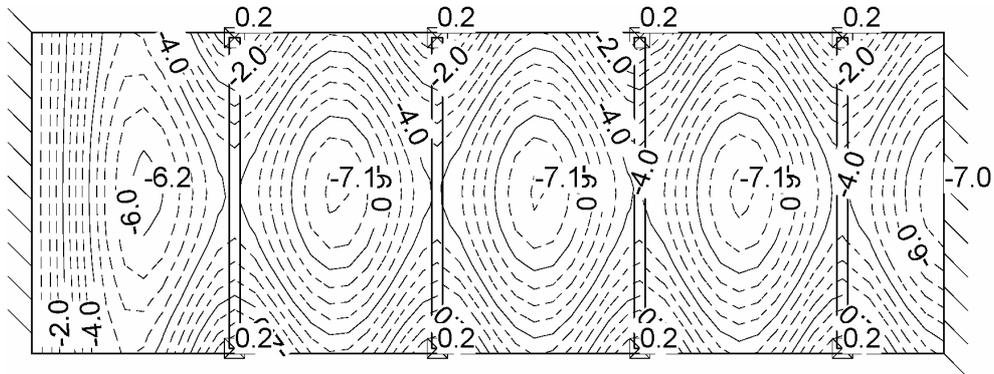


Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung B:

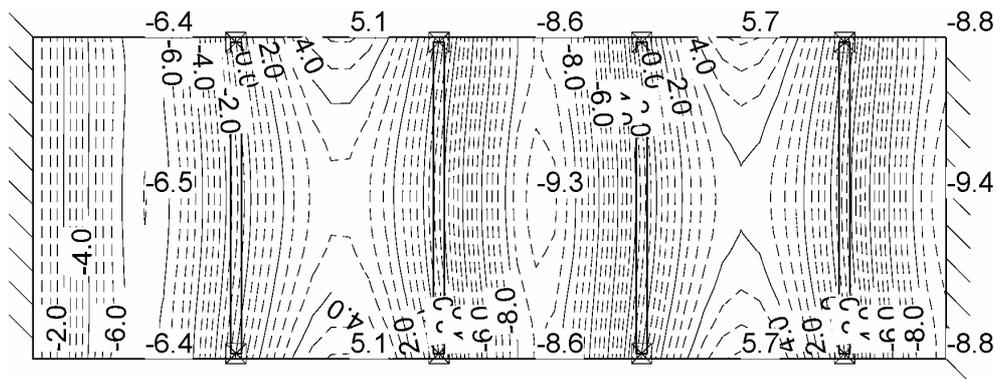


System A 1.2.0

Verformungen in z-Richtung unter ständiger Last:



Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung A:



Verformungen in z-Richtung unter Verkehrslast, feldweise Anordnung B:

