



DIPLOMARBEIT Master Thesis

Analyse der Bewehrungsstahlmengen von Hochbau-Bauteilen **Analysis of the reinforcement quantities of structural components**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

UNIV.PROF. DIPL.-ING. DR.TECHN. Andreas KROPIK

und als verantwortlich mitwirkender Betreuer

UNIV.ASS. DIPL.-ING. Thomas HIRM

am

Institut für Interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Martin BEIGANZ, BSc

0625759

Puchberger Straße 24
A - 4600 Wels

Wien, im April 2014

.....
(Martin Beiganz)

Danksagung

Ich bedanke mich an dieser Stelle bei Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.tech. **Andreas Kropik** für die Möglichkeit, die Diplomarbeit am Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement zu verfassen und somit mein Studium mit meiner Tätigkeit im Statikbüro zu verbinden.

Des Weiteren bedanke ich mich ganz besonders bei meinem Betreuer Herrn Univ.Ass. Dipl.-Ing. **Thomas Hirm** für seine Unterstützung, sein Engagement und das Korrekturlesen, das zum Teil auch am Wochenende stattfand.

Außerdem gilt mein Dank all meinen Kollegen und Mitarbeitern von **Statik-Raffelsberger**, insbesondere meinem Chef Herrn Dipl.-Ing. **Franz Raffelsberger**, zum einen für die Zurverfügungstellung der für die Diplomarbeit notwendigen Ressourcen und zum anderen für die lehrreichen Stunden im Büro.

Zudem möchte ich meinen **Eltern** und **Großeltern** danken, die mich nicht nur finanziell, sondern auch moralisch immer unterstützt und mir den Rücken gestärkt haben.

Danke an all meine **Freunde**, meiner **Band**, meine **Brüder** sowie meiner Freundin **Bianca**, die mir den Studienalltag stets versüßten.

Kurzfassung

In frühen Planungsphasen eines Gebäudes kann der Bewehrungsgrad der einzelnen Stahlbetonbauteile noch nicht genau angegeben werden, da die Planungstiefe bzw. die vom Tragwerksplaner erstellte Statik dafür noch unzureichend ist. Er muss also vorher abgeschätzt werden, bevor der Statiker den tatsächlichen Gehalt angeben kann. Im Rahmen meiner Diplomarbeit versuche ich, basierend auf bereits abgewickelten Projekten von dem Statik Büro, in dem ich tätig bin, Bewehrungsgradrichtwerte für Decken, Balken, Stützen, Wände und Fundamente im Hochbau, die nach unterschiedlichen Kriterien unterschieden werden, auszuarbeiten. Die aus dieser Arbeit resultierenden Bewehrungsmengen sollen die Grundlage für Kalkulation, Arbeitsvorbereitung, Ausführung und Abrechnung bilden. Da jedoch der Grad der Wirtschaftlichkeit nicht alleine von der Bewehrungsmenge, sondern auch von den Bearbeitungskosten abhängt, wird abschließend ein Ausblick auf die Einflüsse bezüglich Bewehrungskosten gegeben.

Abstract

In early planning stages of a building the percentage of reinforcement of individual reinforced concrete elements cannot be specified exactly, as the depth of planning or rather the structural calculation for it, created by the structural engineer, is still insufficient. So first, it must be estimated before the structural engineer can specify the actual content. In my thesis I try to work out guide values for percentage of reinforcement for slabs, beams, columns, walls and foundations, which are distinguished by different aspects. The necessary data for this come from previously completed projects processed by the structural engineering office I work in. The result of the worked out reinforcement quantities is meant to form the basis for costing, production planning, execution and construction calculation. However, since the level of profitability not only depends on the reinforcement quantity, but also on the processing costs, an outlook is provided on the influences concerning reinforcement costs.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	1
2	Grundlagen	2
2.1	Verbundwerkstoff Stahlbeton	2
2.2	Planungsphasen	2
2.3	Bewehrungsgrad.....	3
2.3.1	Bewehrungsgrad in der Ausschreibung	3
2.3.2	Erste Bewehrungsgradrichtwerte.....	4
3	Stahlbetonbauteile im Überblick	6
3.1	Decken	6
3.1.1	Tragverhalten und Tragsysteme	6
3.1.2	Ausführungsmöglichkeiten und Bewehrungselemente.....	9
3.2	Balken.....	11
3.2.1	Tragverhalten und Tragsysteme	11
3.2.2	Ausführungsmöglichkeiten.....	13
3.2.3	Bewehrungselemente	15
3.3	Stützen	16
3.3.1	Tragverhalten	16
3.3.2	Ausführungsmöglichkeiten.....	16
3.3.3	Bewehrungselemente	16
3.4	Wände	17
3.4.1	Tragverhalten	17
3.4.2	Ausführungsmöglichkeiten.....	18
3.4.3	Bewehrungselemente	19
3.5	Fundamente.....	20
3.5.1	Tragverhalten	20
3.5.2	Ausführungsmöglichkeiten und Bewehrungselemente.....	20
4	Einflüsse auf den Bewehrungsgrad	24
4.1	Decken	24
4.1.1	Ideelle Stützweite l_i	24
4.1.2	Effektive Stützweite l_{eff}	26
4.1.3	Kategorisierung der verschiedenen Deckensysteme	26
4.1.4	Belastung	27
4.2	Balken.....	27
4.2.1	Effektive Stützweite l_{eff}	27
4.2.2	Kategorisierung nach statischem System	27

4.2.3 Belastung	27
4.2.4 Balkenquerschnitt.....	28
4.3 Stützen	28
4.3.1 Stützenhöhe	28
4.3.2 Stützenquerschnitt.....	28
4.3.3 Belastung	28
4.4 Wände	28
4.5 Fundamente.....	29
4.5.1 Unterscheidung nach Fundamentart.....	29
4.5.2 Fundamentabmessungen.....	29
4.5.3 Belastung	29
5 Untersuchung der gesammelten Daten.....	30
5.1 Decken	30
5.1.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade.....	30
5.1.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade.	31
5.1.3 Ausarbeitung der Bewehrungsgradrichtwerte	36
5.2 Balken.....	41
5.2.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade.....	41
5.2.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade.	42
5.2.3 Übergang zum Begriff „Bewehrungsmenge pro Laufmeter“	45
5.2.4 Ausarbeitung der Richtwerte für die Bewehrungsmengen/lfm.....	50
5.3 Stützen	56
5.3.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade.....	56
5.3.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade.	57
5.3.3 Übergang zum Begriff „gesamte Bewehrungsmenge“	59
5.3.4 Ausarbeitung der Richtwerte für die Bewehrungsmengen	62
5.4 Wände	65
5.4.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade.....	65
5.4.2 Ausarbeitung der Bewehrungsgradrichtwerte	66
5.5 Fundamente.....	68
5.5.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade.....	68
5.5.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade.	70
5.5.3 Ausarbeitung der Richtwerte	75
6 Zusammenfassung der Bewehrungsgradrichtwerte	78
6.1 Decken	78
6.2. Balken.....	79

6.3 Stützen	80
6.4 Wände	81
6.5 Fundamente.....	82
7 Wirtschaftlich Bewehren	84
7.1 Einflüsse auf die Kosten.....	84
7.2 Ausschreibung	87
8 Schluss.....	91
9 Literaturverzeichnis.....	92
10 Abbildungsverzeichnis.....	94
11 Tabellenverzeichnis.....	97

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Für die Grobplanung kann die tatsächlich einzubauende Bewehrungsmenge von Bauteilen noch nicht genau angegeben werden, da die Statik zu diesem Zeitpunkt noch unvollständig ist oder gar zur Gänze fehlt. Die Kenntnis über die Bewehrungsmenge wird jedoch häufig schon in diesen Phasen für Kalkulation, Arbeitsvorbereitung und Ausführung der Bewehrungsarbeiten sowie für die spätere Abrechnung benötigt. Um trotzdem eine Angabe über die Bewehrungsmenge treffen zu können, muss diese also vorher abgeschätzt werden.¹ Diese Abschätzung erfolgt in der Regel mit dem sogenannten Bewehrungsgrad und wird jeweils für Decken, Balken, Stützen, Wände und Fundamente, mehr oder weniger differenziert, angegeben. Je genauer die Abschätzung erfolgt, desto genauer wird die Kalkulation der Bewehrungskosten. Im Bewehrungsatlas sowie in vergleichbarer Literatur finden sich jedoch keine hinreichenden Angaben bzw. Richtwerte für Bewehrungsgrade einzelner Bauteile.

Des Weiteren sei zu erwähnen, dass der Grad der Wirtschaftlichkeit der Bewehrung nicht nur von der Bewehrungsmenge, sondern auch wesentlich von den Bearbeitungskosten (Schneide-, Biege- und Verlegekosten) beeinflusst wird. Die Bearbeitungskosten sind wiederum abhängig von Durchmesser, Biegeform und Anteil der Bewehrungsmatten in den Bauteilen.² Im Bewehrungsatlas werden dazu durchmesser- und biegeformabhängige Aufwandswerte angegeben.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es also, basierend auf den von mir gesammelten Datensätzen bereits abgewickelter Projekte, Bewehrungsgradrichtwerte für Decken, Balken, Stützen, Wände und Fundamente im Hochbau, die nach unterschiedlichen Kriterien unterschieden werden, auszuarbeiten. Außerdem sollen die Einflüsse des Bewehrungsgrades auf die Kosten genauer untersucht werden.

Das Ergebnis dieser Arbeit soll dabei helfen, um eine möglichst genaue Schätzung der Material- sowie der Verlege- bzw. Bearbeitungskosten zu erzielen. Dies soll einer genaueren Kostenkalkulation dienen.

¹ Vgl. Hofstadler, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, Springer (2006), S.145

² Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.257 – 259

2 Grundlagen

2.1 Verbundwerkstoff Stahlbeton

Da die Zugfestigkeit von Beton im Gegensatz zu dessen Druckfestigkeit sehr gering ist, wird dem Beton Bewehrung aus Stahl dort eingelegt, wo der Beton auf Zug versagen würde. Die Bewehrung nimmt also die Zugkräfte im Stahlbeton auf und hat somit eine tragende Funktion. Dadurch können bei diesem Verbundwerkstoff „Stahlbeton“ die Vorteile von Beton (hohe Druckfestigkeit) und Stahl (hohe Zugfestigkeit) genutzt werden.³

2.2 Planungsphasen⁴

Die Planungsphasen der Tragwerksplanung können in

- Entwurf
- Vorstatik
- Ausführungsplanung

unterteilt werden.

In der Phase des Entwurfs erstellt der Architekt entsprechend den Wünschen und Vorgaben des Bauherrn die Architektenpläne. Hier ist eine gute Zusammenarbeit von Architekt und Ingenieur unerlässlich, damit der architektonische Entwurf und die konstruktive Durchbildung des Bauwerks optimal gelingen.

In der Phase der Vorstatik wird unter anderem die Umsetzbarkeit des Bauwerks untersucht. Dabei optimiert der Tragwerksplaner in Absprache mit dem Architekten die Ableitung der Lasten im Bauwerk. Im Zuge der Vorstatik werden somit alle Einwirkungen auf das Bauwerk erfasst, die Tragsysteme für die Abtragung dieser Einwirkungen festgelegt und die tragenden Elemente vordimensioniert. Zusammen mit den Architektenplänen und einer Baubeschreibung, bildet die Vorstatik die Grundlage zur Beantragung der Baugenehmigung bei der Bauaufsichtsbehörde. Von den eingesetzten Baustoffen sind Mengen zu ermitteln, die als Grundlage für die Preisbildung dienen. In der Regel werden die Massenermittlungen für die tragenden Bauteile vom Tragwerksplaner durchgeführt, was beim Einsatz von Betonbauteilen auch die Ermittlung der Menge der einzulegenden Bewehrung bedeutet.

³ Vgl. Kollegger: Betonbau 1 – Skriptum zur Vorlesung (2.Auflage), S.1-10

⁴ Vgl. Kollegger: Betonbau 1 – Skriptum zur Vorlesung (2.Auflage), S.1-13 – 1-14

Nach der Erteilung der Baugenehmigung wird eine detaillierte Ausführungsstatik erstellt. Auch die konstruktive Durchbildung spielt hierbei eine wichtige Rolle, da dies einen großen Einfluss auf die Qualität und Dauerhaftigkeit des Bauwerks hat. Für die Bestellung und Anlieferung der Bewehrung werden detaillierte Bewehrungslisten den Bewehrungsplänen hinzugefügt. Die dort angeführte Stahlmenge stellt die tatsächlich einzubauende Bewehrungsmenge dar.

In frühen Planungsphasen kann jedoch die tatsächlich einzubauende Bewehrungsmenge meist noch nicht genau angegeben werden, da die Planungstiefe dafür noch unzureichend ist. Daher muss diese vorher abgeschätzt werden. Die abgeschätzte Bewehrungsmenge wird in der Regel mit dem sogenannten **Bewehrungsgrad** angegeben.

2.3 Bewehrungsgrad⁵

2.3.1 Bewehrungsgrad in der Ausschreibung

In den Ausschreibungen ist die Bewehrungsmenge für die einzelnen Bauteile üblicherweise noch nicht genau angegeben, sondern in Form eines Bewehrungsgrades (z.B. Kilogramm [kg] bezogen auf die Betonmenge [m³]), der sich dann auf alle oder mehrere Bauteile dieser Art bezieht. Tab.2-1 zeigt mögliche Angaben, wie sie in vielen Fällen vom Tragwerksplaner für die Ausschreibung erstellt werden:

BAUTEILE	BETONGÜTE	BEWEHRUNGSGRAD
[-]	[-]	[kg/m ³]
StB-Stützen (KG+EG)	C25/30 XC1	130
StB-Stützen (OG)	C25/30 XC1	110
StB-Träger	C25/30 XC1	90
StB-Decke (KG)	C25/30 XC1	70
StB-Decke (EG)	C25/30 XC1	60
StB-Decke (OG)	C25/30 XC1	55
Fundamente	C20/25 XC2	60
StB-Wände	C25/30 XC1	50

Tab. 2-1 mögliche Angaben des Statikers für die Ausschreibung

⁵ Vgl. Hofstadler, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, Springer (2006), S.145 – 147

Anhand des angenommenen Bewehrungsgrades kann durch Multiplikation mit der jeweiligen Kubatur die entsprechende Bewehrungsmenge berechnet werden. Die Bewehrungsmengen der Bauteile bilden die Grundlage für weitere Bearbeitungsschritte der Kalkulation, Arbeitsvorbereitung, Ausführung und Abrechnung der Bewehrungsarbeiten.

In der Arbeitsvorbereitung wird z.B. mit der ermittelten Bewehrungsmenge, der Anzahl der Arbeitskräfte, dem angesetzten Aufwandswert und der täglichen Arbeitszeit die Dauer für die Bewehrungsarbeiten (=Vorgangsdauer) für den betrachteten Fertigungsabschnitt berechnet.

„Die Mengen sind spätestens für die Feinplanung in der Bauablaufplanung der einzelnen Bauteile detailliert zu ermitteln. Mit den ermittelten Bewehrungsmengen können – unter Berücksichtigung der spezifischen Bauwerks- und Betriebsbedingungen – die jeweiligen Vorgangsdauern ermittelt werden.“

2.3.2 Erste Bewehrungsgradrichtwerte

Der Bewehrungsgrad kann in der Phase der Grobplanung nicht genau angegeben werden. Es muss also eine Abschätzung erfolgen. Dabei können als Orientierung Richtwertetabellen aus der Literatur oder Vergleichswerte aus ähnlichen Projekten dienen. Für die Feinplanung in der Bauausführung gibt es dann, wie schon erwähnt, detaillierte Mengenauszüge.

Der Bewehrungsgrad bw (Einheit: z.B. kg/m^3) wird aus dem Quotienten aus Bewehrungsmenge und Betonmenge berechnet.

$$bw = \frac{BW}{BT}$$

Eine erste mögliche Orientierung für Bewehrungsgrade verschiedener Bauteile gibt Tab. 2-2. Die Werte in der Tabelle stellen lediglich Richtwerte für normale Hochbauten dar, wobei der Autor „normal“ nicht weiter präzisiert.

BAUTEILE	BEWEHRUNGSGRAD
[-]	[kg/m^3]
Fundamente	30 – 60
Wände	20 - 60
Decken	50 - 80
Balken	80 - 100
Stützen	100 - 130

Tab. 2-2 Bewehrungsgrade für Bauteile von normalen Hochbauten⁶

⁶ Vgl. Petzschmann (2000): Handbuch für Bauingenieure, Bauverfahrenstechnik und Baumaschineneinsatz, S. 134

Zu erwähnen sei hierbei, dass in dieser Tabelle keine Unterscheidung nach Spannweite, Belastung, Lagerungsart etc. erfolgt und somit keine genauere Abschätzung des tatsächlichen Bewehrungsgrades möglich ist. Der Bewehrungsgrad für Wände etwa liegt demzufolge zwischen 100 – 300%. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit versucht, die einzelnen Bauteile etwas differenzierter zu betrachten, um genauere Abschätzungsergebnisse erzielen zu können. So macht es für die Bewehrungsmenge doch einen wesentlichen Unterschied ob z.B. eine Decke etwa ein- bzw. zweiachsig gespannt ist oder ob die Spannweite etwa 4,0m oder 8,0m beträgt.

Nach welchen Aspekten die verschiedenen Bauteile unterschieden wurden, soll in den folgenden Kapiteln näher erläutert werden. Nachfolgende Kapitel beschäftigen sich mit den gängigsten Systemen der einzelnen Bauteile.

3 Stahlbetonbauteile im Überblick

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Tragverhalten, Tragsystemen, Ausführungsmöglichkeiten, Bewehrungselementen und Bewehrungsführungen der einzelnen Stahlbetonbauteile. Dies soll einerseits zum allgemeinen Verständnis beitragen und andererseits eine mögliche Kategorisierung zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade erleichtern.

3.1 Decken

3.1.1 Tragverhalten und Tragsysteme

Bei den folgenden Deckensystemen handelt es sich um Platten. Unter Platten versteht man flächige Tragelemente, die ihre Lasten meist allein durch Biegung abtragen.⁷ Als Auflager dienen entweder Wände, Balken oder Stützen. Des Weiteren muss erwähnt werden, dass in der Praxis häufig Kombinationen aus nachfolgenden Systemen Anwendung finden.

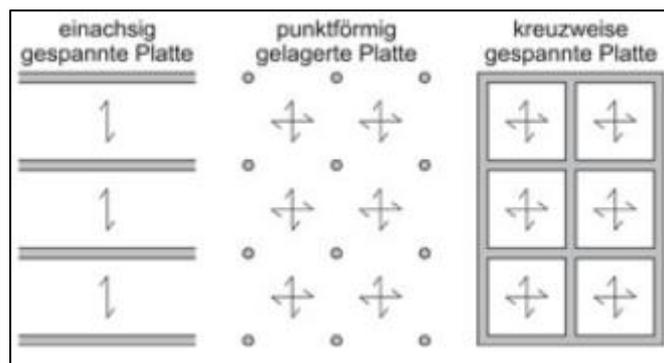


Abb. 3-1 Tragwirkung und Stützung verschiedener Plattensysteme⁸

3.1.1.1 Einachsig gespannte Platte⁹

Eine einachsig gespannte Platte entsteht durch eine gedachte beliebig häufige Aneinanderreihung von Einzelbalken.

„Als statisches System wird ein quer zur Spannrichtung unendlich langer, gelenkiger Plattenstreifen herangezogen, dessen Belastung direkt (ohne Einflussbreite) erfolgt. Das Moment wirkt normal zur Hauptspannungsrichtung (abhängig von der Querdehnung - Querkontraktionszahl), da die Platte in ihrer Längsrichtung eine Gegenkrümmung einnehmen will, die durch den konstanten Verlauf der Biegefläche in dieser Richtung aber gehindert wird.“¹⁰

⁷ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.99

⁸ Vgl. Pech, Kolbitsch, Zach: Decken – Baukonstruktionen (Band 5), S.4

⁹ Vgl. Kolbitsch: Baukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (August 2007), Massenaktive Tragsysteme 76

¹⁰ Vgl. Kolbitsch: Baukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (August 2007), Massenaktive Tragsysteme 76

Dies hat zur Folge, dass die Durchbiegung des Plattenstreifens kleiner ist als jene des Balkens. Diese Tatsache sollte in der Praxis nicht vernachlässigt werden (Berechnung als Platte und nicht als Balken!), da sich die kleinere Durchbiegung positiv auf die Gebrauchstauglichkeit auswirkt und somit kleinere Plattendicken möglich sind.

Einachsig gespannte Platten können **einfeldrig** (zweiseitig aufliegende Platte), gelenkig oder eingespannt gelagert, oder auch **durchlaufend** (Träger oder Wände normal zur Hauptspannungsrichtung als Zwischenlager) ausgebildet werden. Die Hauptbewehrung wird dabei in Haupttragrichtung verlegt, wobei zusätzlich 20 % der Hauptbewehrung in Querrichtung verlegt werden um die Lasten besser zu verteilen.

3.1.1.2 Zweiachsig gespannte Platte – allseitig aufliegend¹¹

Bei zweiachsig gespannten Platten werden die Zugspannungen vom Bewehrungsstahl in zwei Richtungen, die in der Regel normal zueinander sind, abgetragen. Dies hat im Vergleich zur einachsig gespannten Platte, eine Reduktion der Momente sowie der Durchbiegungen zur Folge (geringere Deckenplattendicken). Dabei stellt eine quadratische Grundrissform das Optimum dar. Je mehr die Grundrissform der Platte von der Quadratischen abweicht, desto mehr nähert sie sich bzgl. ihrer Tragwirkung der einachsig gespannten Platte an. Bei Seitenlängen von $l_x > 1,5 \cdot l_y$ erfolgt die Lastabtragung hauptsächlich über die kürzere Spannweite. Eine allseitig gelagerte, annähernd quadratische Platte kann als Balkenrost modelliert werden, wobei die Flächenlast auf zwei orthogonale Belastungsstreifen aufgeteilt wird.¹² In der Praxis werden zur Berechnung von zweiachsig gespannten Platten FE-Programme herangezogen.

Des Weiteren zeichnet sich eine allseitig gelagerte Platte durch große Steifigkeiten in Eckbereichen aus, was bei frei aufliegenden Platten in der Regel ein „Aufschüsseln“ an den Ecken zur Folge hat (negative Eckmomente). Darunter wird das Abheben vom Auflager verstanden. Dem kann wie folgt entgegengewirkt werden:

- Aufbringen einer ausreichenden Auflast (Überdrücken). Dies wird bei Geschossdecken (ausgenommen der obersten Decke) von den darüber liegenden Wänden übernommen.
- Anbringen einer Eckverankerung. Dies ist in der Regel bei der obersten Decke der Fall. Im Mauerwerksbau müssen, um die Decke mit den vertikalen Bauteilen durch eine Bewehrung verbinden zu können, Zugstützen aus Stahlbeton in den Ecken vorgesehen werden.

¹¹ Vgl. Kolbitsch: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010), S.74 – 76

¹² Vgl. Kolbitsch: Baukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (August 2007), Massenaktive Tragsysteme 77

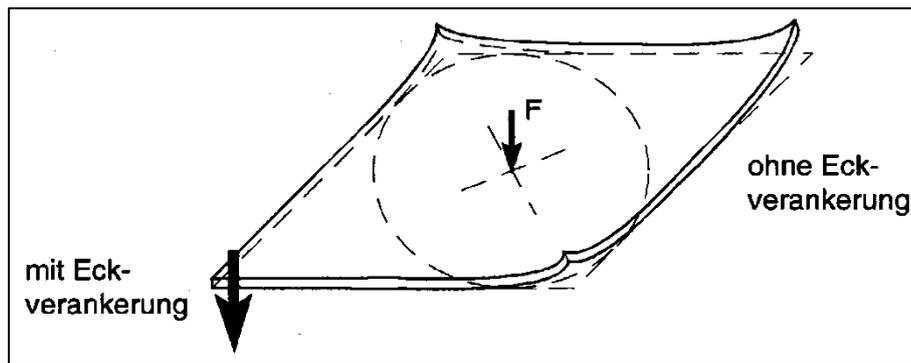


Abb. 3-2 Tendenz zum „Aufschüsseln“ freiaufliegender Platten¹³

3.1.1.3 Punktförmig gestützte Platte¹⁴

Bei punktförmig gestützten Platten, auch Flachdecken genannt – aufgrund ihrer ebenen Untersicht, erfolgt die Lastabtragung über Stützen und es bedarf aufgrund des Wegfallens etwaiger behindernder Unterzüge eines nur geringen Schalungsaufwandes. Um diese Lastabtragung auf die Stützen zu gewährleisten, muss die Platte zweiachsig gespannt werden. Dabei muss die gesamte Auflagerkraft in einen kleinen Bereich in die Stütze eingeleitet werden. Aufgrund der Punktlagerung und den damit verbundenen Momente und großen Querkräften in der Platte im Stützenbereich, besteht dort die Gefahr des Durchstanzens. Der Durchstanzgefahr kann wie folgt begegnet werden:

- Erhöhung der Biegebewehrung im Stützenbereich (bei geringer Belastung oft ausreichend)
- Durchstanzbewehrung (z.B. AVI Durchstanzelemente, Bügelkörbe, Dübelleisten)
- Stahlkrägen
- Pilzförmige Verbreiterung der Stützenköpfe (Pilzdecke)
- Geeignete Spanngliedführungen im Stützenbereich

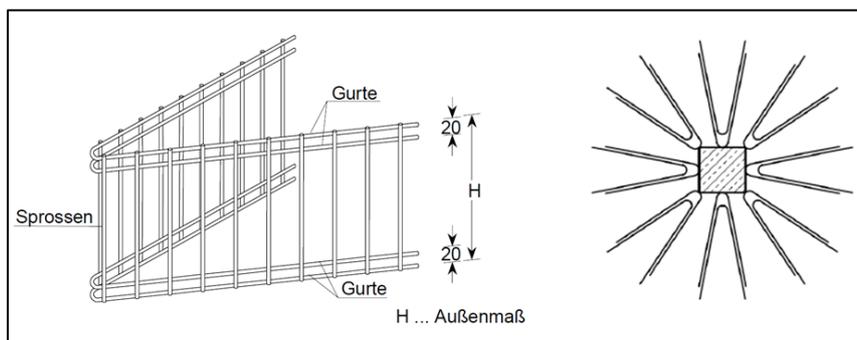


Abb. 3-3 AVI-Durchstanzelemente¹⁵

¹³ Vgl. <http://www.bau.net/partsch/biw/alumni/2001/wintermeier/decken/stahlbetonplattendecke.php>

¹⁴ Vgl. Kolbitsch: Baukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (August 2007), Massenaktive Tragsysteme 82 - 84

3.1.2 Ausführungsmöglichkeiten und Bewehrungselemente

3.1.2.1 Ortbetondecken¹⁶

Ortbetondecken werden auf einer Schalung gegossen, auf der zuvor die Bewehrung verlegt wurde. Somit sind eine flexible Anpassung an die Gegebenheiten vor Ort sowie individuelle Grundrissformen möglich. Ihr großer Vorteil wird in der monolithischen Wirkung bei geringer Deckenstärke sowie in der einfachen Herstellung statisch unbestimmter Konstruktionen gesehen. Ortbetondecken können ein- und zweiachsig gespannt werden. Bei Deckenstärken von 18 bis 30 cm lassen sich schlaff bewehrt bis zu 6,5 m einachsig, bis zu 8 m zweiachsig wirtschaftlich überspannen.¹⁷ Zur Abdeckung der erforderlichen Mindestbewehrung werden üblicherweise **AQ-Matten** vollflächig sowohl im unteren als auch im oberen Deckenbereich verlegt.

AQ Bewehrungsmatten, auch AQ Baustahlgitter genannt, haben einen jeweiligen Stababstand von 10cm in beide Richtungen (Q steht für „quadratisch“) und haben eine Breite von 240cm und eine Länge von 600cm.

3.1.2.2 Elementdecken¹⁸

Bei Elementdecken handelt es sich um sogenannte Teilfertigdecken aus Stahlbeton. Dabei werden Fertigteilplatten, die im Werk nach Angaben des Statikers (erforderliche Bewehrung pro Bereich in cm^2/m) bewehrt werden, durch eine statisch mitwirkende Ortbetonschicht ergänzt. Die erforderliche untere Biegebewehrung der Decke befindet sich demzufolge im Element. Um den monolithischen Verbund zwischen Fertigteilplatte und Ortbeton sicherzustellen, werden sogenannte Gitterträger der Güte BSt 550 in die Platte eingebaut. Zusätzlich sorgen die Gitterträger für das Mitwirken als Biegezug- und Schubbewehrung und verleihen der Platte die für Transport und Montage erforderliche Steifigkeit. Die Platten sind etwa 2,40 m bis 2,60 m breit und 5 bis 8 cm dick. Vorteilhaft beim Einbau von Elementdecken ist, dass die Untersicht der Decke nicht geschalt werden muss, da die Elemente selbst als Schalung dienen. In der Regel werden Elementdecken einachsig gespannt, sie können aber auch durch die Verlegung von Zulagen auf das Element, zweiachsig gespannt werden. Des Weiteren kann eine Durchlaufwirkung der Decken durch Anordnung von oberliegender Stützbewehrung im Aufbeton erreicht werden. Zur Abdeckung der erforderlichen Mindestbewehrung werden üblicherweise AQ-Matten vollflächig im oberen Deckenbereich verlegt.

¹⁵ Vgl.

<http://www.avi.at/admin/untermenue/pdf/4/20130115021035Durchstanzelement%20techn.%20Richtlinien.pdf>

¹⁶ Vgl. Kolbitsch: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010), S.72

¹⁷ Vgl. Kolbitsch: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010), S.72

¹⁸ Vgl. Kolbitsch: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010), S.84 – 85

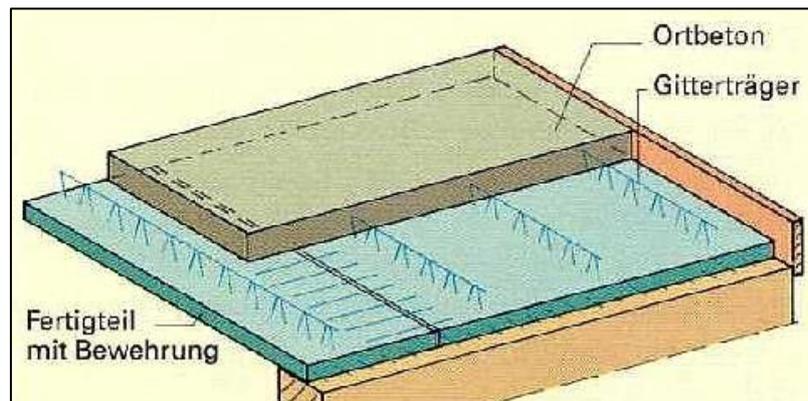


Abb. 3-4 Schema einer Elementdecke¹⁹

3.1.2.3 Vollmontagedecken

Dabei handelt es sich in der Regel um vorgespannte Hohldielen. Diese sind sofort nach dem Verlegen belastbar und sind ohne Unterstellung sowie mit nachträglichem Fugenverguss zu montieren. Die Schubtragfähigkeit kann durch das Aufbringen von Ortbetons oder durch das Ausfüllen einer Anzahl von Hohlräumen erhöht werden. In der Regel werden die Hohldielen einachsrig gespannt und einfeldrig ausgeführt.

3.1.2.4 Konstruktive Bewehrungsführung

Sowohl freie als auch gestützte Plattenränder werden in der Regel bügelartig eingefasst. Hinzu kommt eine zusätzliche Randbewehrung, die zur Aufnahme möglicher Randlasten, Temperatur- und Schwindspannungen dient.²⁰ Diese Randeinfassung muss bei der Ermittlung der gesamten Bewehrungsmenge berücksichtigt werden.

¹⁹ Vgl. <http://www.bau.net/partsch/biw/alumni/2001/wintermeier/decken/stahlbetonplattendecke.php>

²⁰ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.118

3.2 Balken

3.2.1 Tragverhalten und Tragsysteme

Unter Balken versteht man Bauteile mit Spannweiten größer als ihre dreifache Höhe²¹, die ihre Lasten hauptsächlich durch Biegung abtragen. Die Belastung des Balkens erfolgt dabei quer zu seiner Längsachse. Als Auflager dienen entweder Wände, Stützen oder andere Balken.

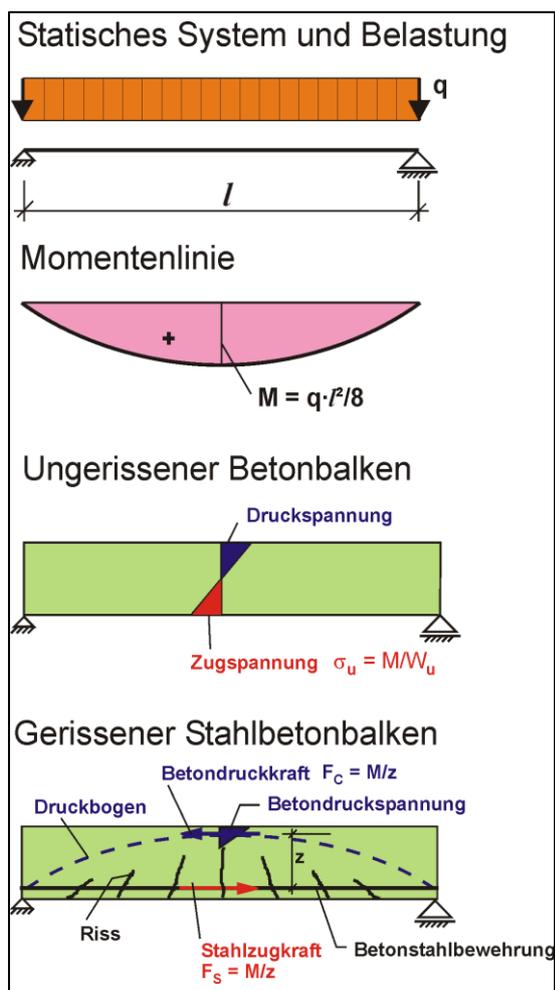


Abb. 3-5 Tragverhalten des Balkens ²⁴

Unterschreiten die Zugspannungen, die infolge Biegung des Balkens auftreten, die Zugfestigkeit des Betons, so treten keine Risse auf. Der Balken befindet sich im ungerissenen Zustand (Zustand I).

Wird jedoch die Zugfestigkeit des Betons überschritten, entsteht ein gerissener Zustand (Zustand II).²²

Im Falle eines gelenkig gelagerten Einfeldträgers würde dies bedeuten, dass im oberen Bereich des Balkens Druckspannungen auftreten, die vom Beton selbst aufgenommen werden, und im unteren Bereich Zugspannungen, die der Baustahl (Zuggurtbewehrung) übernimmt.²³

Die mögliche Spannweite eines Balkens ist meist abhängig von seiner **Durchbiegung**, wobei diese wiederum von den Querschnittsabmessungen bzw. der **Querschnittshöhe**, vom **statischen System** sowie der **Belastung** beeinflusst wird. Bei einer Spannweite von ca. 20

²¹ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.53

²² Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.53

²³ Vgl. Kolbitsch: Baukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (August 2007), Massenaktive Tragsysteme 17

²⁴ Vgl. <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Stahlbeton1.png&filetimestamp=20050726183702&>

m erreicht ein Balken mit Rechteckquerschnitt jedoch seine Grenze, da er dann nur mehr sein Eigengewicht und keine Nutzlast mehr tragen kann.²⁵

Die nachstehende Abbildung zeigt statische Systeme von Stahlbetonbalken, die in der Praxis häufig Anwendung finden.

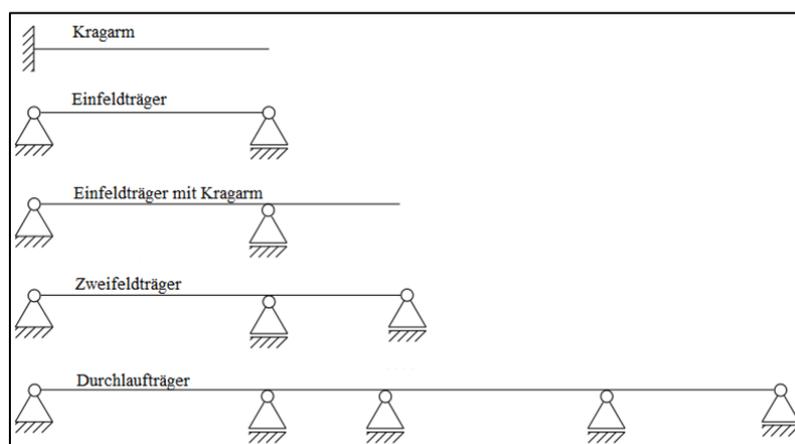


Abb. 3-6 übliche statische Systeme bei Stahlbetonbalken²⁶

3.2.1.1 Einfeldträger

Der Einfeldträger stellt das einfachste und häufigste statische System eines Stahlbetonbalkens dar.

Wie bereits zuvor beschrieben, befindet sich die Zugbewehrung bei gelenkiger Lagerung im unteren Bereich des Trägers.

In manchen Fällen kann es auch vorkommen, dass ein Einfeldträger, anstatt gelenkig gelagert, eingespannt (an einem oder an beiden Enden) ausgeführt wird, um etwa eine geringere Durchbiegung zu erhalten. In solch einem Fall befindet sich die Zugbewehrung im unteren- (positive Momente in Feldmitte) als auch im oberen Bereich (negative Einspannungsmomente in Auflagernähe). Des Weiteren gibt es die Möglichkeit einen Einfeldträger mit Kragarm auszubilden.

3.2.1.2 Durchlaufträger

Ein Durchlaufträger ist ein Träger mit mehr als zwei Auflagern.²⁷ Demzufolge gilt ein Zweifeldträger auch als Durchlaufträger.

²⁵ Vgl. Kolbitsch: Baukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (August 2007), Massenaktive Tragsysteme 14/18

²⁶ Vgl. <http://de.wikibooks.org/wiki/Datei:BeulenStatik.svg>

²⁷ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Durchlauftr%C3%A4ger>

Der Vorteil eines Durchlaufträgers ist die geringere Durchbiegung verglichen mit dem Einfeldträger, da Lasten aus benachbarten Feldern eine gegenseitige Durchbiegung im Feld bewirken.

Aufgrund positiver Feldmomente und negativer Stützmomente befindet sich die Zugbewehrung auf der Unter- als auch auf der Oberseite des Trägerquerschnitts.

Die Trägerenden können entweder gelenkig gelagert, eingespannt oder auskragend sein.

3.2.1.3 Kragträger

Ein Kragträger kann mit einem Auflager mit Einspannung ausgeführt werden. Das Auflager muss also in der Lage sein, das Einspannungsmoment aufnehmen zu können. Dafür ist in der Regel eine monolithische Verbindung zwischen Träger und Auflager (Wand oder Stütze aus Stahlbeton) notwendig, um die erforderliche Bewehrung verankern zu können.

Die Zugbewehrung befindet sich dabei im oberen Querschnittsbereich des Trägers.

Wie zuvor schon erwähnt kann ein Kragträger auch als Einfeld- oder Durchlaufträger mit Kragarm ausgeführt werden.

3.2.2 Ausführungsmöglichkeiten

Nach ihrer Querschnittsform können Balken in **Träger**, **Unterzüge**, **deckengleiche Unterzüge** und **Überzüge** unterteilt werden. Sie können entweder in Ortbetonbauweise oder als Fertigbauteil hergestellt werden, wobei im Hochbau erstere Variante die Regel darstellt.

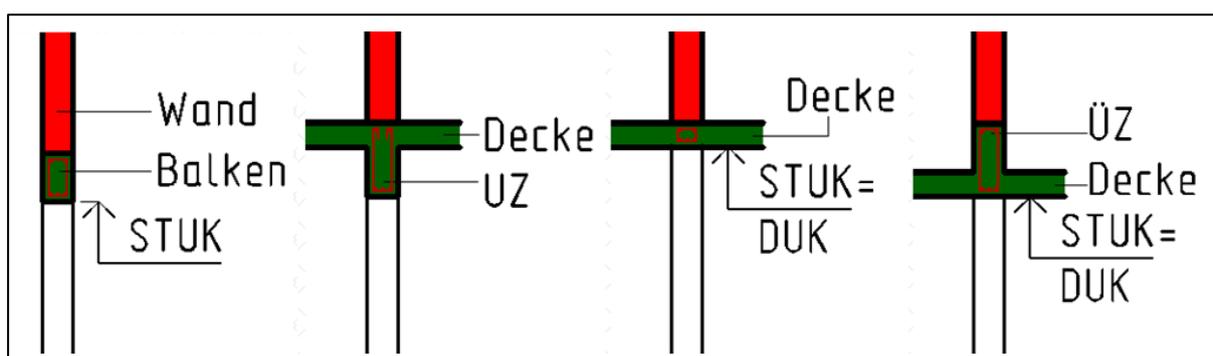


Abb. 3-7 Ausführungsmöglichkeiten von Stahlbetonbalken²⁸

3.2.2.1 Träger

Ein Träger ist ein herkömmlicher Balken, der sich unter einer Wand oder einer Stütze befindet. Die Decke wirkt nicht mit, er ist also statisch selbsttragend.²⁹

²⁸ Vgl. http://www.bswals.at/wrl-m/bew_st/balken/balken.htm

²⁹ Vgl. http://www.bswals.at/wrl-m/bew_st/balken/balken.htm

3.2.2.2 Unterzug

Unterzüge befinden sich unterhalb einer Stahlbetondecke, wobei die Bewehrung in die Decke hineinreicht. Da Decke und Unterzug monolithisch miteinander verbunden sind, entsteht eine Plattenbalkenwirkung bei der auch die Decke Biegedruckkräfte übernimmt.³⁰

Die rechnerische Höhe des Unterzugs ergibt sich aus der Differenz von Höhe Rohdecken-Oberkante und Unterzug-Unterkante.

3.2.2.3 Deckengleicher Unterzug

Beim deckengleichen Unterzug befindet sich die Zugbewehrung im Bereich der Decke.

Die Höhe des deckengleichen Unterzugs ist gleich der Deckenstärke.

Somit ergibt sich eine ebene Untersicht, was einem geringeren Schalungsaufwand und einem ästhetischen Zweck dient.

3.2.2.4 Überzug

Überzüge befinden sich oberhalb einer Stahlbetondecke. Wie beim deckengleichen Unterzug, ergibt sich beim Überzug eine ebene Untersicht. Ein Überzug befindet sich in der Regel unter einer Wand.

Ein Überzug kann auch in den Fußboden integriert werden. In diesem Fall befindet sich die Überzug-Oberkante ein paar Zentimeter unter der Fußboden-Oberkante.

Die rechnerische Höhe des Überzugs ergibt sich aus der Differenz von Höhe Überzug-Oberkante und Rohdecken-Unterkante.

³⁰ Vgl. http://www.bswals.at/wrl-m/bew_st/balken/balken.htm

3.2.3 Bewehrungselemente

Nachstehende Abbildung zeigt die Bewehrungselemente von Stahlbetonbalken.

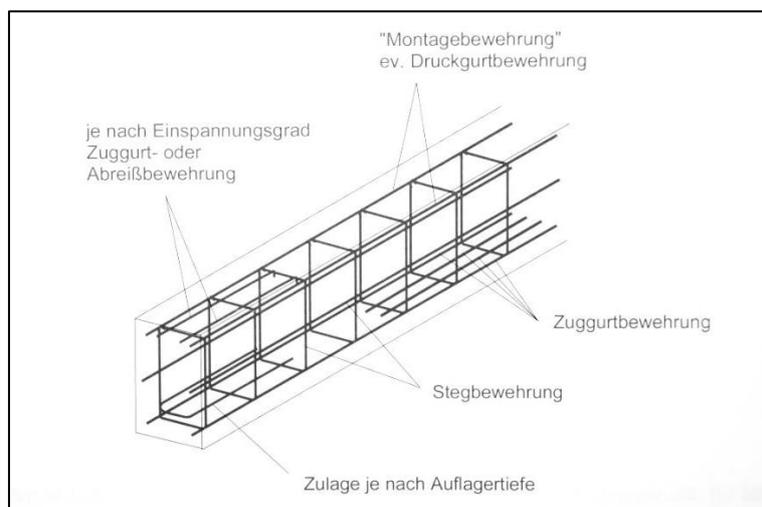


Abb. 3-8 Bewehrungselemente³¹

Wie zuvor bereits beschrieben, ist die **Zuggurtbewehrung** für die Aufnahme der Zugspannungen verantwortlich.

Die **Montagebewehrung** dient lediglich dazu, dass für die Montage ein stabiles Geflecht aus Längs- und Bügelbewehrung, ein sogenannter Bewehrungskorb, entsteht.

Ist der Beton alleine nicht in der Lage, die gesamten Druckspannungen aufzunehmen, so geschieht dies mit Hilfe der **Druckgurtbewehrung**.

Die **Stegbewehrung** besteht zum einen aus rechtwinkelig zur Trägerachse angeordneten Bügeln (auch Querkraft- oder Schubbewehrung genannt), und zum anderen aus Stegeinlagen (in Längsrichtung angeordnet), zur Vermeidung von Sammelrissen.³²

Die Bügel haben die Aufgabe die Zugzone mit der Druckzone zugfest zu verbinden. Außerdem müssen sie mindestens 50 % der Querkräfte aufnehmen.

Mindestens ein Viertel der Feldbewehrung muss bis über das Auflager geführt werden. Reicht dabei das Auflager für die Unterbringung der geraden Verankerungslänge der Zuggurtbewehrung nicht aus, können bügelförmige **Zulagen** (Schlaufen) hinzugefügt werden.³³

³¹ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.55

³² Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.76

³³ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.69

3.3 Stützen

3.3.1 Tragverhalten

Stützen sind stabförmige Bauteile, die vertikale Lasten und Kräfte in Längsrichtung, meistens in Form von Druck, aufnehmen und weiterleiten. Für die Querschnittsbreite gilt $b \leq 4 h$ und die Stützweite soll mindestens der dreifachen Querschnittshöhe h entsprechen.³⁴

Des Weiteren können Stahlbetonstützen auch als Zugstäbe hergestellt werden, um einer möglichen „Aufschüsselung“ der obersten Geschossdecke entgegenzuwirken (siehe Kap. 3.1.1.2).

Auf Stützen wirkende Horizontalkräfte werden in der Regel auf Wände weitergeleitet.

3.3.2 Ausführungsmöglichkeiten

Stahlbetonstützen können entweder aus Ortbeton oder als Fertigteil hergestellt werden. Ihre Querschnittsform kann quadratisch, kreisförmig oder rechteckig sein, wobei sich die ersten beiden Varianten hinsichtlich Knickverhalten als vorteilhafter erweisen.

3.3.3 Bewehrungselemente³⁵

Die **Längsbewehrung** dient einerseits der Erhöhung der Traglast der Stütze, andererseits der Aufnahme stets vorhandener Biegemomente, die durch gewollte oder ungewollte Exzentritäten (letztere: Imperfektionen) hervorgerufen werden.

Sie ist in den Ecken des Stützenquerschnitts anzuordnen und wird von **Bügel** umschlossen.

Quer zur Druckrichtung wirken Zugkräfte, die durch Querdehnung hervorgerufen werden. Daher müssen **Bügel** angeordnet werden, die zum einen diese Zugkräfte aufnehmen und zum anderen die Längsstäbe gegen Knicken sichern.

Je geringer der Durchmesser der Längsstäbe ist, desto mehr Bügel sind zur Knicksicherung erforderlich. Des Weiteren sind diese im Anschlussbereich an Balken oder Decken höher konzentriert anzuordnen (geringerer Bügelabstand).

³⁴ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.125

³⁵ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.125

3.4 Wände

3.4.1 Tragverhalten

Bei Wänden handelt es sich um Bauteile, bei denen die waagrechte Länge größer als die 4fache Dicke ist.³⁶

Je nach Beanspruchung und statischen Anforderungen ist zwischen **tragender Wand**, **aussteifender Wand**, **Wandscheibe** (wandartiger Träger) und **Wand mit Querbiegung** zu unterscheiden.

3.4.1.1 Tragende Wand

Eine tragende Wand hat lediglich vertikale Lasten aus lasteinleitenden Bauteilen, also Eigengewicht und Nutzlast, abzutragen. Das Tragverhalten entspricht dem der Stütze, wobei Knickgefahr in nur eine Richtung besteht. Tragende Wände müssen mindestens 12 cm dick sein. Die im Hochbau am häufigsten vorkommende Dicke beträgt 25 cm.

3.4.1.2 Aussteifende Wand

Bei einer aussteifenden Wand handelt es sich um eine quer zu einer anderen Wand stehende Wand. Sie dient dieser zur Aussteifung und zur Aufnahme von Horizontalkräften aus Wind und Erdbeben. Eine aussteifende Wand trägt wesentlich zur Stabilität des Gesamtsystems des Gebäudes bei.³⁷ Die Mindestdicke beträgt 8 cm.

In der Regel handelt es sich bei aussteifenden Wänden auch um tragende Wände (Aufnahme von vertikalen Lasten) und umgekehrt.

3.4.1.3 Wandscheibe

Bei Wandscheiben, auch wandartige Träger genannt, handelt es sich um Wände, die sich selbst frei zwischen einzelnen Auflagerpunkten tragen. Ähnlich wie beim Balken handelt es sich bei einer Wandscheibe um ein biegebeanspruchtes Bauteil, jedoch ist, bezogen auf die Bauteilhöhe, die Zugzone sehr niedrig und die Druckzone sehr hoch.³⁸ Des Weiteren hat die große Bauteilhöhe eine große Tragfähigkeit und eine sehr geringe Durchbiegung zur Folge. Je nach statischen Anforderungen und Gegebenheiten können Wandscheiben einfeldrig, durchlaufend oder auskragend hergestellt werden. Die Zuggurtbewehrung kann sich demzu-

³⁶ Vgl. Kolbitsch: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010), S.56

³⁷ Vgl. Kolbitsch: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010), S.42

³⁸ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.137

folge im unteren als auch im oberen Bereich des Wandquerschnitts befinden. Die Mindestdicke von Wandscheiben aus Ortbeton beträgt 15 cm.

3.4.1.4 Wand mit Querbiegung

Bei Wänden mit zusätzlicher Biegebeanspruchung quer zur Wandebene gelten die Regeln für Platten (siehe Kap. 3.1)

3.4.2 Ausführungsmöglichkeiten

Stahlbetonwände können in Ortbetonbauweise, als Fertigteil oder als Halb-Fertigteil (Hohlwand) hergestellt werden.

3.4.2.1 Ortbetonwände

Wände aus Ortbeton stellen jene Variante dar, die am häufigsten zur Ausführung kommt. Sie werden in eine Schalung gegossen, in der zuvor die Bewehrung verlegt wurde.

3.4.2.2 Hohlwände

Bei Hohlwänden handelt es sich um sogenannte Halbfertigteile. Dabei werden im Werk zwei, ca. 6 cm dicke, Betonplatten mit Gitterträger verbunden. Auf der Baustelle wird die vorgefertigte Wand aufgestellt und der Hohlraum zwischen den Platten mit Beton verfüllt. Die Doppelwand stellt eine verlorene Schalung dar, somit sind keine zusätzlichen Schaltafeln erforderlich.³⁹

3.4.2.3 Fertigteilwände

„Wände aus großformatigen Fertigteilen werden vor allem für Fertigteilkeller im Wohnbau eingesetzt, im übrigen Geschößbau finden sie meist als Leichtbeton-Fertigteilwände Verbreitung.“⁴⁰

³⁹ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Hohlwand>

⁴⁰ Vgl. Kolbitsch: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010), S.56

3.4.3 Bewehrungselemente

In der Regel werden bei Ortbetondecken zur Abdeckung der erforderlichen Bewehrung beidseitig **AQ-Matten** verlegt. Alternativ dazu können auch Stabstähle in regelmäßigem Abstand horizontal und vertikal verlegt werden.

Zur Sicherung des gegenseitigen Abstandes der Matten oder der Stäbe werden **Abstandhalter**, in der Regel 4 Stück pro m² Wandfläche, eingebaut.

Wandöffnungen und Wandränder werden mit u-förmigen **Bügeln** und entsprechender **Längsbewehrung** eingefasst.⁴¹

Bei Wandscheiben ist zusätzlich eine **Zuggurtbewehrung** einzubauen. Um dabei die erforderliche Verankerungslänge sicherzustellen, werden die Stäbe mit **Schlaufen** verlegt.

Des Weiteren ist für die darunter liegende Decke eine starke **Aufhängebewehrung** vorzusehen.

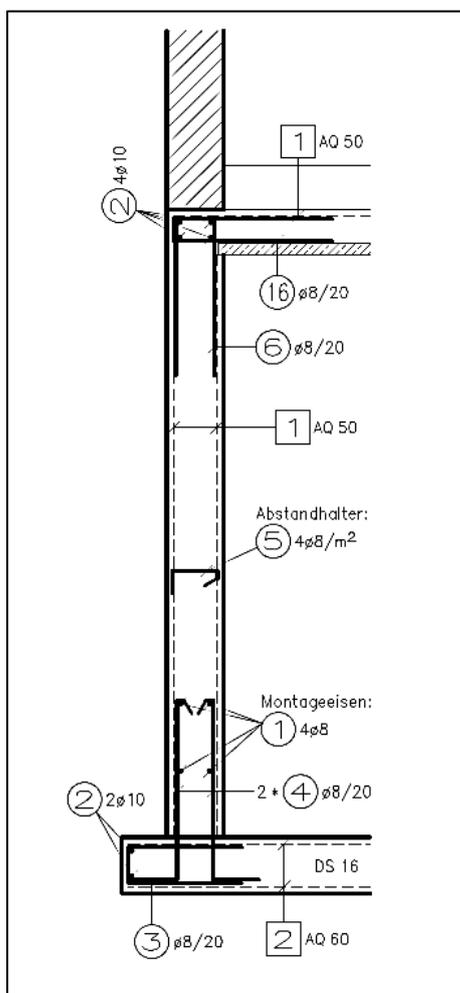


Abb. 3-9 Ortbetonwand

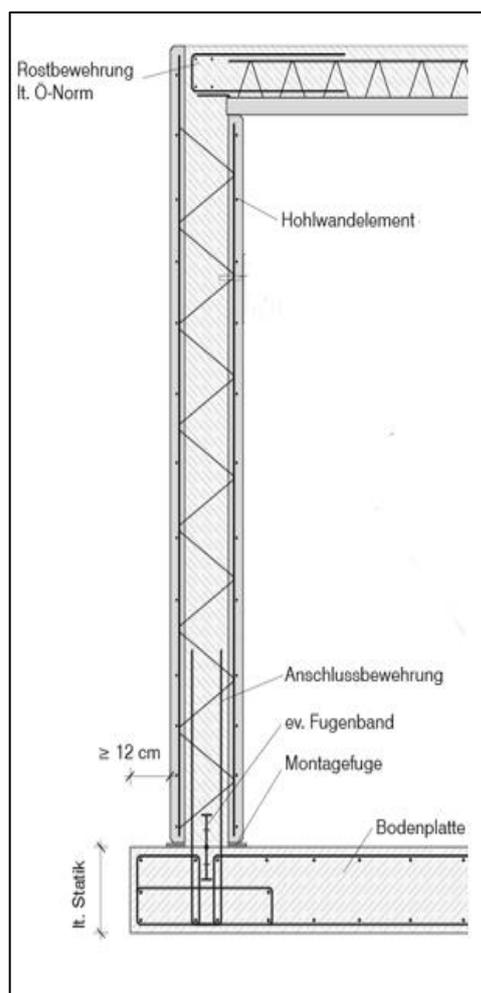


Abb. 3-10 Hohlwand⁴²

⁴¹ Vgl. http://www.bswals.at/wrl-m/bew_st/druck/druckw.htm

⁴² Vgl. <http://www.vs-west.at/DE/hwe-details.asp>

3.5 Fundamente

3.5.1 Tragverhalten

Fundamente stellen den Übergang vom Bauwerk zum Boden dar. Sie haben die Aufgabe, die Lasten eines Bauwerks möglichst gleichmäßig auf den Untergrund abzuleiten. Die Setzungen und Verformungen des Bodens sollen dabei möglichst gering gehalten werden, um Schäden am Bauwerk zu vermeiden.

„Zwischen den Biegerissen stellen sich im Gegensatz zu Deckenplatten steilere Druckstreben ein, die zwar eine rasche Abnahme der Stahlspannungen, aber gleichzeitig ein Anwachsen der Verbundspannungen bewirken.“⁴³

Bei Fundamenten herrscht also erhöhte Verbundbruchgefahr.

3.5.2 Ausführungsmöglichkeiten und Bewehrungselemente

3.5.2.1 Einzelfundamente

Einzelfundamente werden in der Regel unter Stützen ausgeführt. Sie können eine quadratische oder rechteckige Grundrissform haben. Die genauen Abmessungen und die erforderliche Bewehrung ergeben sich aus der Belastung der Stütze und der maximal zulässigen Bodenpressung.

In nachstehender Abbildung sind unterschiedliche Ausführungsmöglichkeiten von Einzelfundamenten dargestellt.

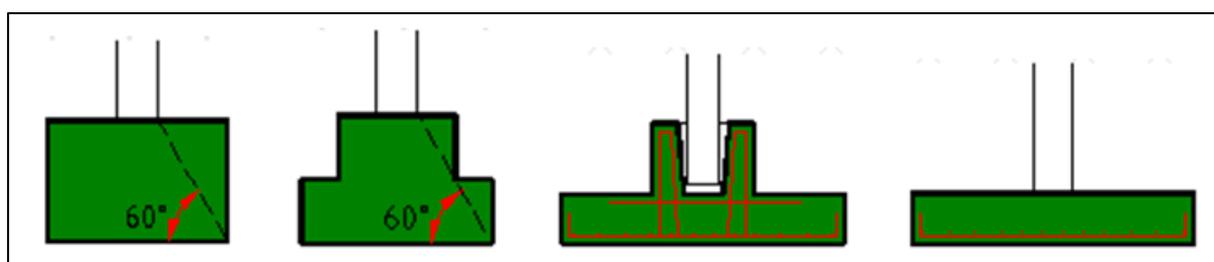


Abb. 3-11 Blockfundament, abgetrepptes Fundament, Köcher-, Plattenfundament⁴⁴

Blockfundamente können entweder bewehrt oder unbewehrt hergestellt werden. Eine Einspannung des Stützenfußes ist mit einem Köcherfundament zu erreichen. Dieses kann entweder in Ortbetonbauweise oder als Fertigteil ausgeführt werden.

⁴³ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.146

⁴⁴ Vgl. <http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

Die **Bewehrung** von Einzelfundamenten ist in der Regel im unteren Bereich in beide Richtungen anzuordnen. Um die erforderlichen Verankerungslänge zu erreichen, werden die **Stäbe** meist aufgebogen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, die Bewehrung im Stützenbereich zu konzentrieren.

Häufig werden auch zusätzlich zu den Stäben **AQ-Matten** verlegt.

Im oberen Fundamentbereich ist im Regelfall keine Bewehrung notwendig, außer es erfolgt Biegezugbeanspruchung, z.B. aus exzentrischer Fundamentbelastung.⁴⁵

Um den **Anschluss der Stütze** an das Fundament zu gewährleisten, müssen **Stäbe** mit erforderlicher Verankerungslänge und Durchmesser vorgesehen werden. Diese werden zusätzlich von ca. 3 **Bügel** umfasst. Aus sicherheitstechnischen Gründen auf der Baustelle, werden die Stäbe meist mit Haken versehen (ansonsten Verletzungsgefahr).

3.5.2.2 Streifenfundamente

Streifenfundamente werden in der Regel mittig unter Wänden angeordnet. Die Belastung erfolgt dabei linienförmig. Die Breite des Streifenfundaments wird dabei so ausgeführt, dass die maximal zulässige Bodenpressung nicht überschritten wird.⁴⁶

Die erforderliche Längsbewehrung von Streifenfundamenten hängt zum einen, abgesehen von der Belastung, von der Gleich- bzw. Ungleichmäßigkeit der Bodenverhältnisse ab und zum anderen, ob die darüber liegende Wand mitwirkt oder nicht. Gemauerte Wände etwa wirken nicht mit, Wände aus Stahlbeton (monolithischer Verbund) hingegen schon.⁴⁷

In den meisten Fällen laufen Streifenfundamente bei unterbrochener Wandauflast durch und besitzen dann in diesem Bereich eine balkenartige, also auch obenliegende Bewehrung.

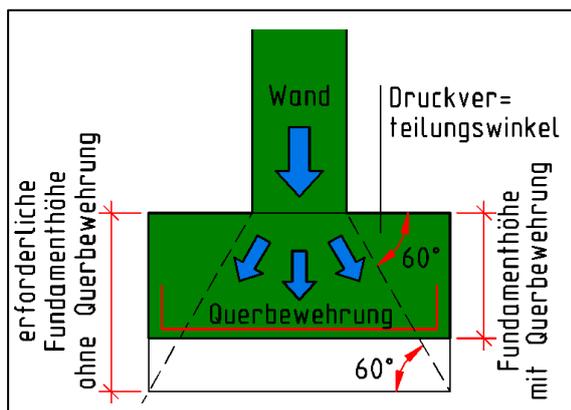
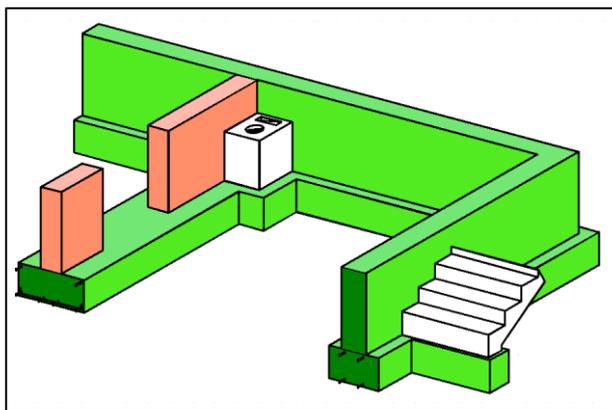
„Um eine Querbewehrung zu sparen, versucht man bei Streifenfundamenten den Druckverteilungswinkel von 60° nicht zu überschreiten. Tritt diese Linie an der Fundamentunterseite aus, so muss entweder die Fundamenthöhe vergrößert werden, oder eine Querbewehrung eingelegt werden.“⁴⁸ (siehe Abb. 3-13)

⁴⁵ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.146

⁴⁶ Vgl. <http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

⁴⁷ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.148

⁴⁸ Vgl. <http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

Abb. 3-12 Druckverteilung⁴⁹Abb. 3-13 Streifenfundamente⁵⁰

Die **Längsbewehrung** kann entweder mit **Stäben** oder häufiger mit **Bewehrungsmatten** hergestellt werden. Die Matten, etwa vom Typ AQ, haben den Vorteil, dass sie gleichzeitig eine möglicherweise erforderliche Querbewehrung abdecken.

Für darüber liegende Wände aus Stahlbeton, muss eine **Anschlussbewehrung** vorgesehen werden.

3.5.2.3 Plattenfundamente

Eine Fundamentplatte (auch Bodenplatte) verteilt die Gebäudelasten auf die gesamte Fläche, was verglichen mit Einzel- und Streifenfundamenten eine geringere Bodenpressung zur Folge hat. Sie wirken wie eine umgekehrte Deckenplatte. Im Feld entstehen die Zugspannungen auf der Oberseite, unter Stützen und Wänden auf der Unterseite.

„Unter besonders hoch belasteten Stellen können Bodenplatten auch lokal verstärkt, dicker ausgeführt werden. Bei den Außenwänden springen Fundamentplatten vor. Diese Vorsprünge dienen als Aufsatzfläche für die Wandschalung und bringen auch statische Vorteile.“⁵¹

Die **Bewehrung** von Bodenplatten erfolgt in der Regel mittels **AQ-Matten**, sowohl ober- als auch unterseitig. Der Abstand zwischen oberer und unterer Mattenlage wird mittels **Distanzstreifen** sichergestellt. Zur Randeinfassung werden, wie bei Deckenplatten, **U-Bügel** in gleichmäßigem Abstand und **Längsstäbe** herangezogen. Des Weiteren muss eine **Anschlussbewehrung** für Wände und Stützen vorgesehen werden.

⁴⁹ Vgl. <http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

⁵⁰ Vgl. <http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

⁵¹ Vgl. <http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

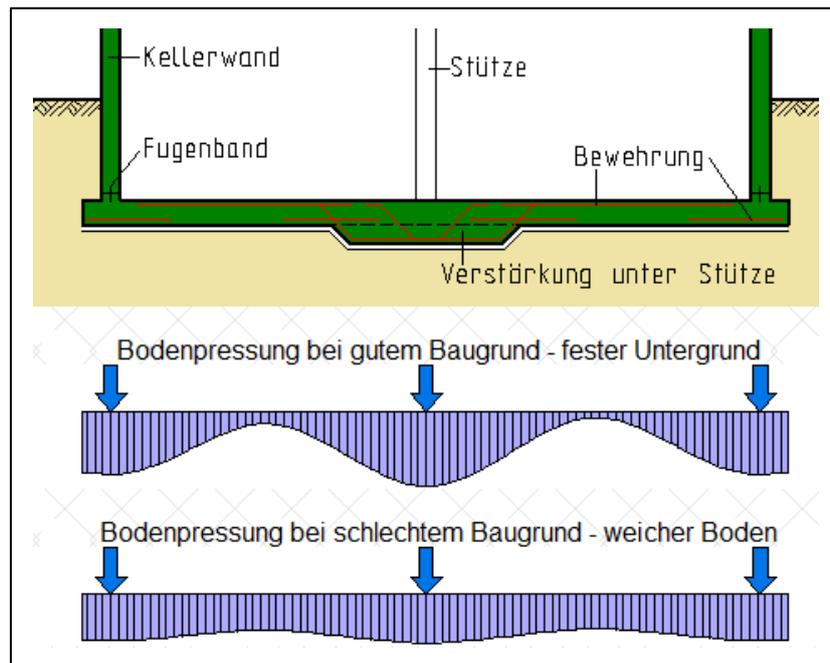


Abb. 3-14 Schnitt durch einen Keller mit Bodenplatte⁵²

⁵² Vgl. <http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

4 Einflüsse auf den Bewehrungsgrad

Um die untersuchten Bauteile nach verschiedenen Kriterien filtern zu können, was dabei helfen soll, genauere Bewehrungsgradrichtwerte zu ermitteln, müssen diese nach verschiedenen Aspekten unterschieden werden. Daher sollen in diesem Kapitel unter anderem Einflussgrößen auf den Bewehrungsgrad erläutert werden. Darauf basierend soll das Zusammenwirken mehrerer Einflussgrößen in Kombination untersucht werden

4.1 Decken

4.1.1 Ideelle Stützweite l_i

Der Bewehrungsgehalt einer Stahlbetondecke wird wesentlich von ihrer Spannweite beeinflusst. Je größer die Spannweite ist, desto größer wird das Moment in Feldmitte, was eine Erhöhung der Biegebewehrung zur Folge hat. Jedoch ist hierbei zu unterscheiden, um welches statische System es sich bei der jeweiligen Platte handelt. So wird man etwa bei einer einachsig gespannten, über zwei Felder durchlaufenden Platte einen anderen Bewehrungsgrad ermitteln, als bei einer einfeldrig gespannten Platte mit derselben Spannweite. Deshalb versuche ich den jeweiligen Bewehrungsgrad der Decke auf dessen **ideelle Stützweite l_i** zu beziehen, um zu einem Ergebnis zu gelangen, das die unterschiedlichen statischen Systeme miteinbezieht.

Die ideelle Stützweite (=Ersatzstützweite) entspricht ungefähr dem Abstand der Momenten-Nullpunkte der Platte, wodurch die entsprechende Platte dem System einer einfeldrig gespannten Platte gleicht.

Die Berechnung der ideellen Stützweite l_i erfolgt je nach Lagerungsart mit einem Beiwert α :

$$l_i = \alpha \cdot l_{eff}^{53}$$

Durch die Beiwerte α werden die Lagerungsbedingungen der Platte berücksichtigt.⁵⁴

⁵³ Siehe 4.1.1

⁵⁴ Vgl. Lohmeyer, Ebeling, Bergmann: Stahlbetonbau (8.Auflage), S.199

Statisches System	Beiwert α
	1,00
	0,80
	0,60
<p>Flachdecke</p>	Innenfeld 0,70 ^{D)} Randfeld 0,90 ^{D)}
	2,4

^{D)} Bei Platten mit Beton ab der Festigkeitsklasse C 30/37 dürfen diese Werte um 0,1 abgemindert werden

Tab. 4-1 Beiwerte zur Bestimmung der Ersatzstützweite⁵⁵

4.1.1.1 Berechnung von l_{eff} und α bei durchlaufenden Platten

Da durchlaufende Platten häufig unterschiedliche Feldlängen aufweisen, jedoch nur ein Wert in die Auswertung der Daten eingehen kann, wurde l_{eff} jeweils als die durchschnittliche Feldlänge berechnet:

$$l_{eff} = \frac{l_1 + l_2 \dots + l_n}{n}$$

⁵⁵ Vgl. DIN 1045-1, Tabelle 22

Auch die unterschiedlichen α -Werte der einzelnen Felder wurden berücksichtigt. So weisen die Endfelder einen α -Wert von 0,8 auf, wobei die Innenfelder einen α -Wert von 0,6 aufweisen. Daher wurde ein durchschnittlicher α -Wert wie folgt berechnet:

$$\alpha = \frac{2 * 0,8 + (n - 2) * 0,6}{n}$$

Wobei n die Anzahl aller Felder und der Wert 2 die Anzahl der Endfelder darstellt.

4.1.1.2 Berechnung von I_{eff} und α bei zweiachsig gespannten Platten

Bei zweiachsig gespannten Platten ist die kleinere der beiden Spannweiten zur Berechnung von I_{eff} maßgebend. Der Wert α variiert je nach Lagerungsart. Bei Flachdecken sind die Stützenabstände maßgebend für I_{eff} .⁵⁶

Zu erwähnen sei hierbei noch, dass besonders bei zweiachsig gespannten Platten oft eine Kombination der verschiedenen Lagerungsmöglichkeiten vorkommt. Bei solchen Systemen wurde der I_{eff} und α -Wert abgeschätzt, da eine Berechnung zu komplex und nicht sinngemäß erscheint.

4.1.2 Effektive Stützweite I_{eff}

Um zu sehen, ob es zielführend ist, den Bewehrungsgrad auf die ideale Stützweite I_i zu beziehen, vergleiche ich die Daten auch mit jenen, die den Bewehrungsgrad auf die **effektive Stützweite I_{eff}** beziehen. Sollte meine Vermutung stimmen, so dürften die Daten, die sich auf die ideale Stützweite beziehen, weniger streuen, als jene, die sich auf die effektive Stützweite beziehen.

4.1.3 Kategorisierung der verschiedenen Deckensysteme

Des Weiteren wurden die Deckensysteme in vier verschiedene Kategorien A, B, C und D unterteilt, abhängig von dessen Spannrichtung und Lagerungsart:

- **Kategorie A:** einachsig gespannte, 1-feldrige Platten
- **Kategorie B:** einachsig gespannte, durchlaufende Platten
- **Kategorie C:** zweiachsig gespannte, allseitig gelagerte Platten
- **Kategorie D:** zweiachsig gespannte Platten, die nicht in Kategorie C fallen

Diese Kategorisierung soll dabei helfen, um die Ergebnisse besser filtern zu können.

⁵⁶ Vgl. Lohmeyer, Ebeling, Bergmann: Stahlbetonbau (8.Auflage), S.200

4.1.4 Belastung

Bei der Sammlung der Daten wurden auch die entsprechenden Belastungen der jeweiligen Decken notiert. Diese sollen dabei helfen, um unterschiedliche Bewehrungsgrade begründen zu können. Dabei wurden die veränderlichen und ständigen Flächenlasten (exkl. Deckeneigengewicht) zusammengefasst. Etwaige Einzel- oder Linienlasten wurden in äquivalente Flächenlasten umgerechnet.

4.2 Balken

4.2.1 Effektive Stützweite l_{eff}

Mit zunehmender Stützweite erhöht sich auch das maximale Moment in Feldmitte, was wiederum eine Erhöhung der erforderlichen Biegezugbewehrung zur Folge hat. Die Stützweite hat somit direkten Einfluss auf die Bewehrungsmenge bzw. den Bewehrungsgrad des Stahlbetonbalkens.

Bei Durchlaufträgern mit unterschiedlichen Feldlängen wurde l_{eff} als die durchschnittliche Stützweite berechnet:

$$l_{eff} = \frac{l_1 + l_2 \dots + l_n}{n}$$

4.2.2 Kategorisierung nach statischem System

Das Tragverhalten sowie die Bewehrungsführung hängen wesentlich vom statischen System des Stahlbetonbalkens ab (siehe Kap. 3.2.1).

Darum soll untersucht werden, welchen Einfluss die unterschiedlichen statischen Systeme auf den Bewehrungsgrad haben. Dabei wurden die Balken in drei Kategorien unterteilt:

- **Einfeldträger**
- **Durchlaufträger**
- **Kragträger**

4.2.3 Belastung

Bei der Sammlung der Daten wurden die entsprechenden Belastungen des jeweiligen Stahlbetonbalkens notiert. Dabei wurden die veränderlichen und ständigen Linienlasten (inkl. Trägereigengewicht) zusammengefasst. Etwaige Einzellasten wurden in äquivalente Linienlasten umgerechnet.

4.2.4 Balkenquerschnitt

Des Weiteren soll untersucht werden, welchen Einfluss der Balkenquerschnitt, insbesondere die Querschnittshöhe auf die Bewehrungsmenge hat.

Mit zunehmender Querschnittshöhe erhöht sich das Widerstandsmoment des Balkens, was theoretisch eine Reduzierung der erforderlichen Biegebewehrung zur Folge hat. Jedoch beinhaltet ein größerer Querschnitt auch größere Bügel und mehr Stegbewehrung. Zu beachten ist außerdem die Tatsache, dass ein Balken mit größerem Querschnitt auch ein höheres Eigengewicht aufweist, was wiederum ein größeres Biegemoment hervorruft.

4.3 Stützen

4.3.1 Stützenhöhe

Mit zunehmender Stützenhöhe erhöht sich die Knickgefahr der Stütze. Der erhöhten Knickgefahr wird mit einer Erhöhung der Längsbewehrung begegnet.

4.3.2 Stützenquerschnitt

Bei größerem Stützenquerschnitt erhöht sich gleichzeitig die Betonfläche zur Aufnahme von Druckkräften und die Knickgefahr sinkt. Die erforderliche Längsbewehrung wird somit geringer. Jedoch erfordert eine größere Querschnittsfläche größere und zum Teil überlappende Bügel.

4.3.3 Belastung

Die Belastung hat wesentlich Einfluss auf die erforderliche Bewehrungsmenge einer Stahlbetonstütze. Diese kann bei einzelnen Stützen mit zwar gleichem Stützenquerschnitt und – höhe sehr unterschiedlich hoch ausfallen.

Es wurden die veränderlichen und ständigen Einzellasten zusammengefasst.

4.4 Wände

Da Stahlbetonwände in vielen Fällen rein konstruktiv, also ohne zu bemessen, ähnlich bewehrt werden, könnte eine **statistische Auswertung** ein ausreichend genaues Ergebnis liefern.

Dabei werden sie jedoch in **tragende Wände** und **Wandscheiben** zu unterscheiden sein.

4.5 Fundamente

4.5.1 Unterscheidung nach Fundamentart

Da Bewehrungsführungen und-elemente wesentlich von der Art des Fundaments abhängen, soll bei der Auswertung der Daten, die Fundamente in **Einzel-** und **Streifenfundamente** unterteilt werden.

4.5.2 Fundamentabmessungen

Die Fundamentabmessungen werden in der Regel von der maximal zulässigen Bodenpressung bestimmt. Großflächige Fundamente erfahren mehr Biegespannungen, da ihre „Spannweite“ größer ist. Dies hat eine Erhöhung der Biegebewehrung zur Folge. Auch die Fundamenthöhe kann eine ausschlaggebende Größe für die erforderliche Bewehrungsmenge sein.

4.5.3 Belastung

Hierbei wurden die veränderlichen und ständigen Lasten zusammengefasst. Je nach Fundamentart handelt es sich dabei entweder um Einzel- oder Linienlasten.

5 Untersuchung der gesammelten Daten

5.1 Decken

5.1.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade

Insgesamt wurden Daten von 80 Decken in 32 verschiedenen Bauprojekten gesammelt. Die Deckensysteme reichen von einachsig gespannten Elementdecken bis zu Flachdecken in Ortbetonbauweise.

Bei der Berechnung der jeweiligen Bewehrungsgrade wurden sämtliche in der Decke enthaltenen Stahlmengen (Randeinfassung, Bewehrungsmatten, Längsbewehrung, Querbewehrung, etc.) berücksichtigt.

Tab. 5-1 zeigt die statistischen Kennwerte der Bewehrungsgrade. Mittelwert, Standardabweichung sowie Minimum und Maximum sollen dabei helfen, um den statistischen Sachverhalt genauer zu beschreiben. Des Weiteren wurden die Decken, wie bereits in Kap. 4.1.3 beschrieben, in die Kategorien A, B, C und D unterteilt, abhängig von dessen Spannrichtung und Lagerungsart.

KATEGORIE	STICHPROBEN	MITTELWERT	STANDARDABW.	MIN	MAX
[-]	[-]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
A	17	72	16,0	51	97
B	36	61	12,6	41	100
C	20	78	15,6	53	106
D	7	112	29,0	69	145
Insgesamt	80	72	21,0	41	145

Tab. 5-1 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade

Abb. 5-1 und 5-2 zeigen die Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Bewehrungsgrade. Dabei wurden die Bewehrungsgrade in Klassen eingeteilt, die wie folgt definiert wurden:

- Klasse 40: Anzahl der Ergebnisse kleiner gleich 40
- Klasse 50: Anzahl der Ergebnisse in der Klasse 41-50
- etc.

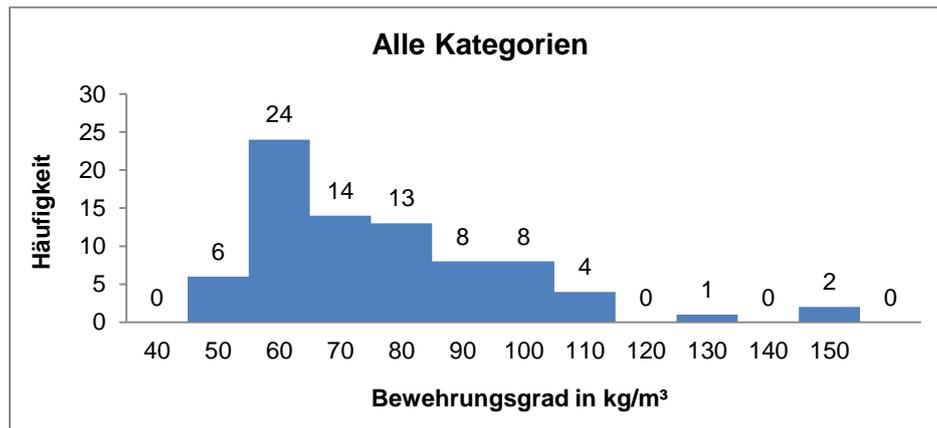


Abb. 5-1 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade aller Kategorien

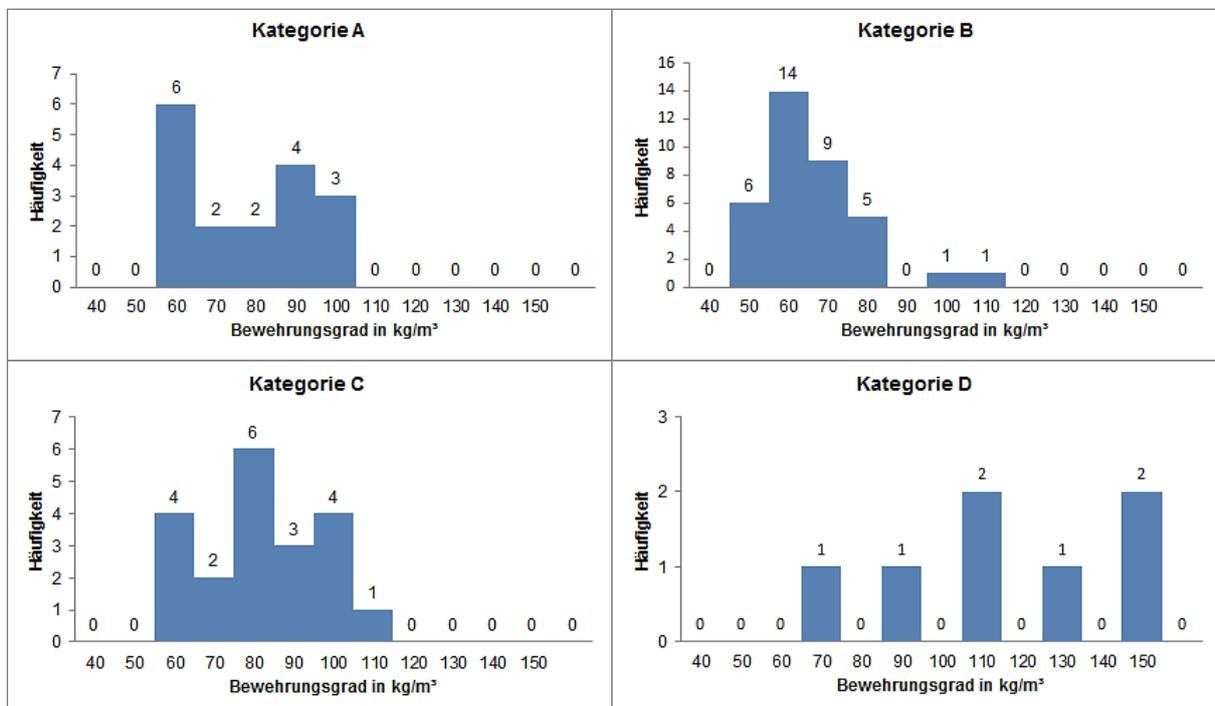


Abb. 5-2 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der einzelnen Kategorien A,B,C,D

Durch Abb. 5-1 und 5-2 wird ersichtlich, dass ohne weitere Unterscheidung, keine genaue Abschätzung des Bewehrungsgrades erfolgen kann, da die Werte eine hohe Streuung aufweisen. Um die unterschiedlichen Bewehrungsgrade begründen zu können, werden diese mit den in Kapitel 4 beschriebenen Methoden untersucht.

5.1.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade

5.1.2.1 Bewehrungsgrad bezogen auf die ideale Stützweite l_i

Nachstehendes Diagramm zeigt den Bewehrungsgrad bezogen auf die **ideelle Stützweite l_i** .

Die Abbildung zeigt zwar einen leichten Aufwärtstrend des Bewehrungsgrades bei Zunahme der ideellen Stützweite, dennoch streuen die Werte zu sehr, um einen direkten Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und ideeller Stützweite herstellen zu können.

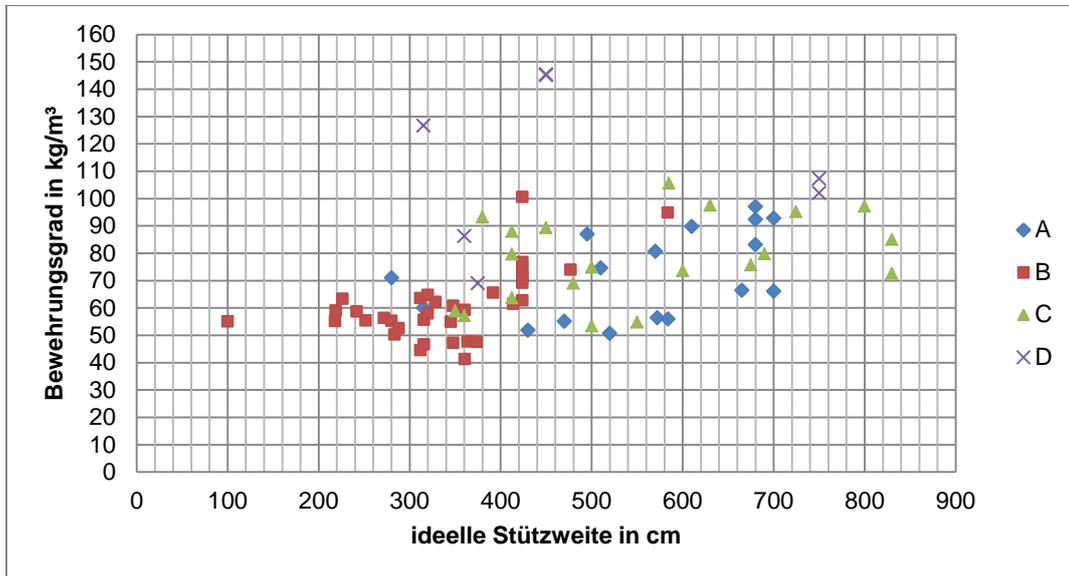


Abb. 5-3 Bewehrungsgrad bezogen auf die ideelle Stützweite l_i

5.1.2.2 Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}

Zum Vergleich zeigt Abb. 5-4 den Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff} .

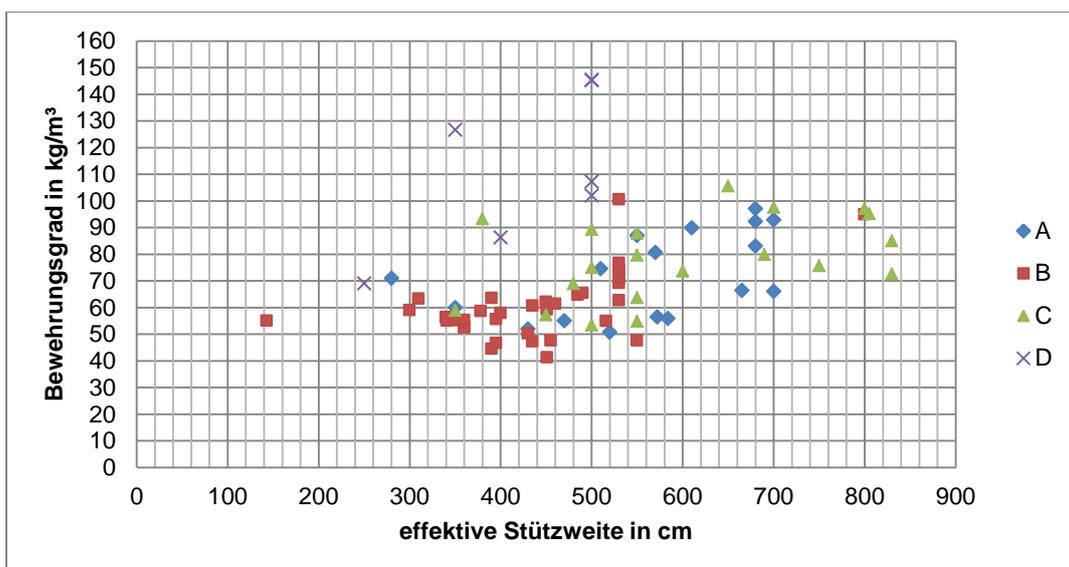


Abb. 5-4 Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}

Vergleicht man Abb. 5-4 mit Abb. 5-3 so ist kein wesentlicher Unterschied zu erkennen. Auch hier streuen die Werte zu sehr um einen genauen Zusammenhang zwischen Bewehrungs-

grad und effektiver Stützweite herstellen zu können. Daher sind weitere Parameter zu berücksichtigen, um die unterschiedlichen Bewehrungsgrade begründen zu können.

Da die verschiedenen statischen Systeme bereits durch die Kategorisierung in A, B, C und D berücksichtigt wurde, werden die nachfolgenden Untersuchungen auf die effektive Stützweite l_{eff} bezogen.

5.1.2.3 Quotient aus Bewehrungsgrad und Belastung bezogen auf l_{eff}

In Kapitel 5.1.1 und 5.2.1 wurde versucht ein Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Stützweite herzustellen. Dabei wurde jedoch noch nicht berücksichtigt, dass Decken mit ähnlichen Stützweiten oft unterschiedliche Belastungen und demzufolge unterschiedliche Bewehrungsgrade aufweisen. Durch die Bildung des Quotienten aus Bewehrungsgrad und Belastung soll diesem Problem begegnet werden. Abb. 5-5 zeigt den Quotienten aus Bewehrungsgrad und Belastung bezogen auf die effektive Stützweite.

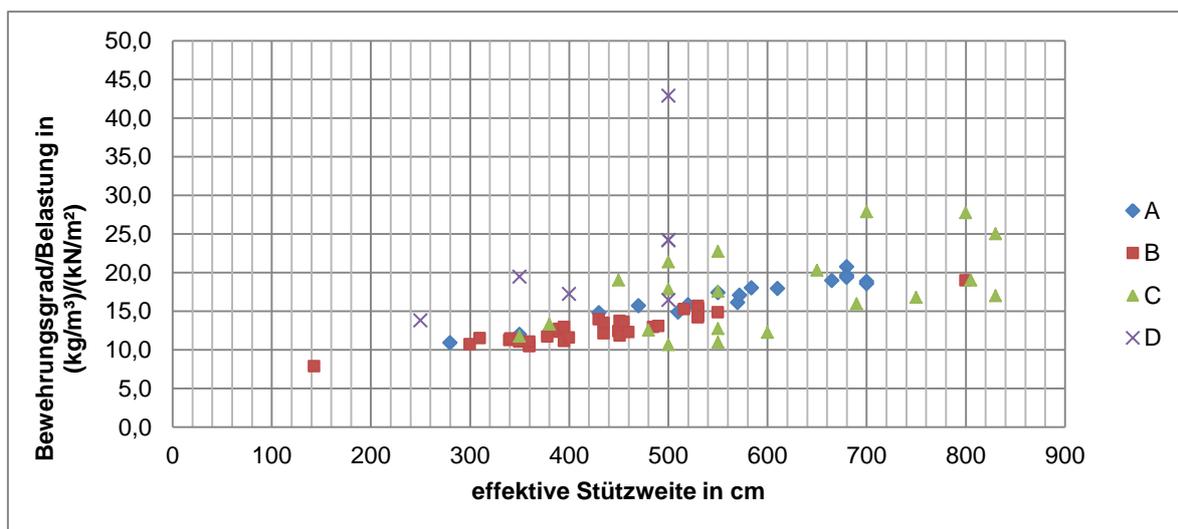


Abb. 5-5 Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}

Dabei lässt sich erkennen, dass vor allem die Werte der Kategorie A und B weitaus weniger streuen als in Kapitel 5.1.1 und 5.1.2 und sich nun durchaus ein Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad, Belastung und Stützweite erkennen lässt.

In Abb. 5-6 und 5-7 sind die Kategorien A und B jeweils einzeln dargestellt und es wurde eine lineare Regressionsgerade hinzugefügt.

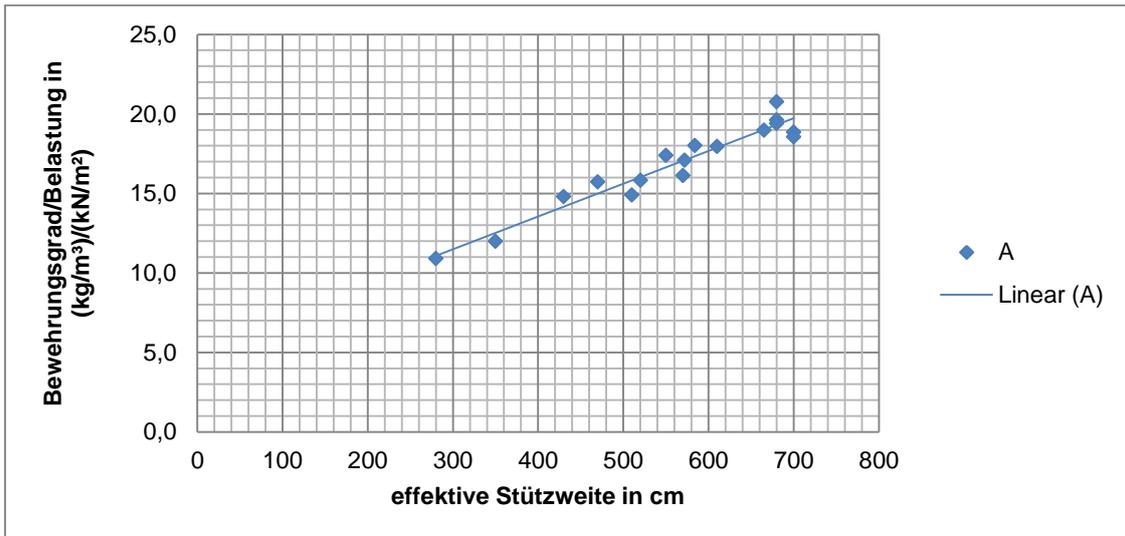


Abb. 5-6 Kategorie A: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite

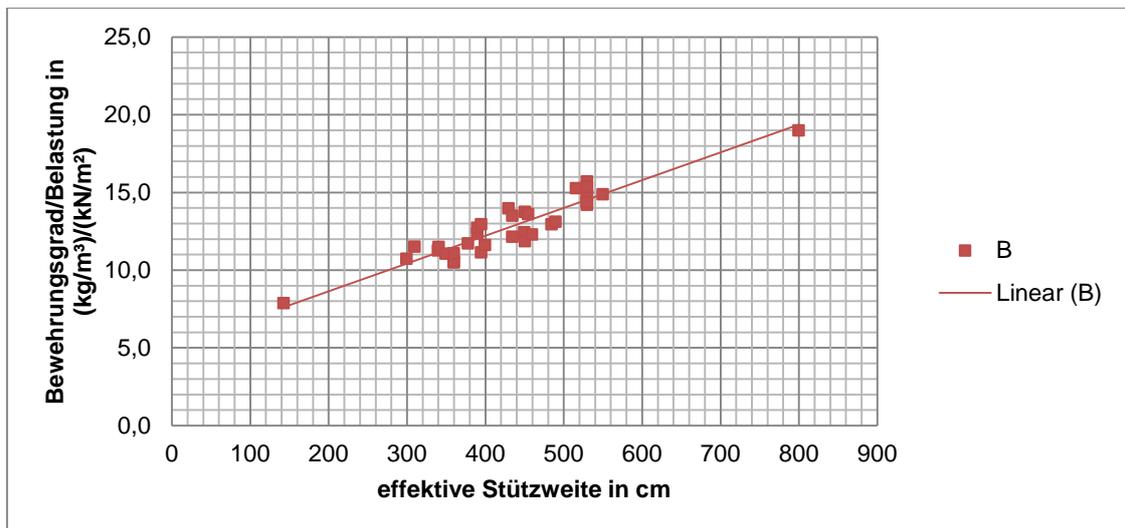


Abb. 5-7 Kategorie B: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite

In Abb. 5-8 sind die Kategorien A und B mit der jeweiligen Regressionsgeraden gemeinsam dargestellt. Dabei fällt auf, dass die beiden Geraden von A und B nahezu parallel verlaufen und die Werte der Kategorie B tendenziell etwas niedriger liegen als die Werte der Kategorie A (auch unter anderem am Versatz der Regressionsgeraden zu erkennen). Dieser Unterschied deutet darauf hin, dass die Durchlaufwirkung der Kategorie B Einfluss auf einen geringeren Bewehrungsgrad hat.

In Abb. 5-9 wurde der Bewehrungsgrad/Belastung der Kategorien A und B auf die ideale Stützweite bezogen. Dabei wird ersichtlich, dass die Regressionsgeraden der beiden Kategorien nahezu identisch sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die ideale Stützweite die Durchlaufwirkung der Kategorie B berücksichtigt.

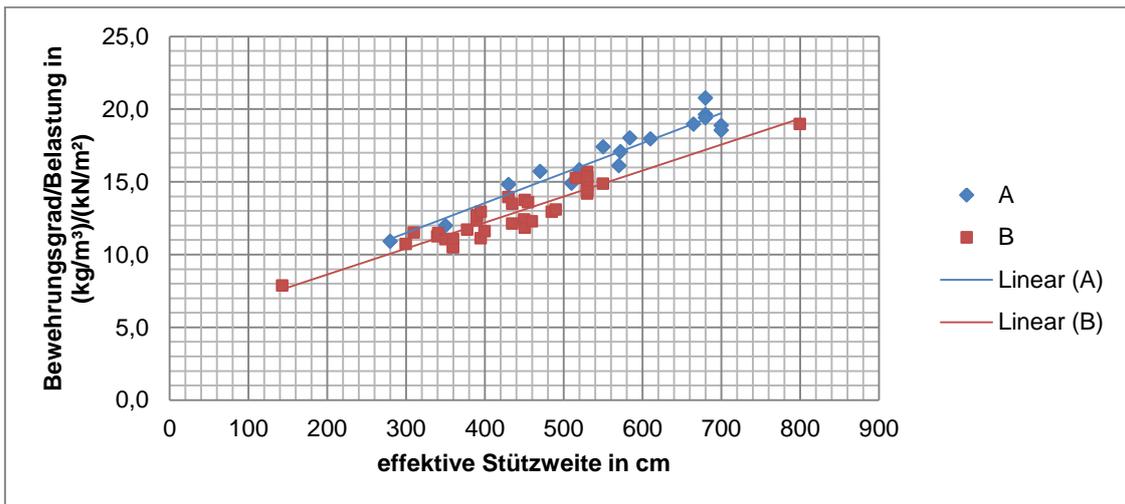


Abb. 5-8 Kategorie A, B: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite

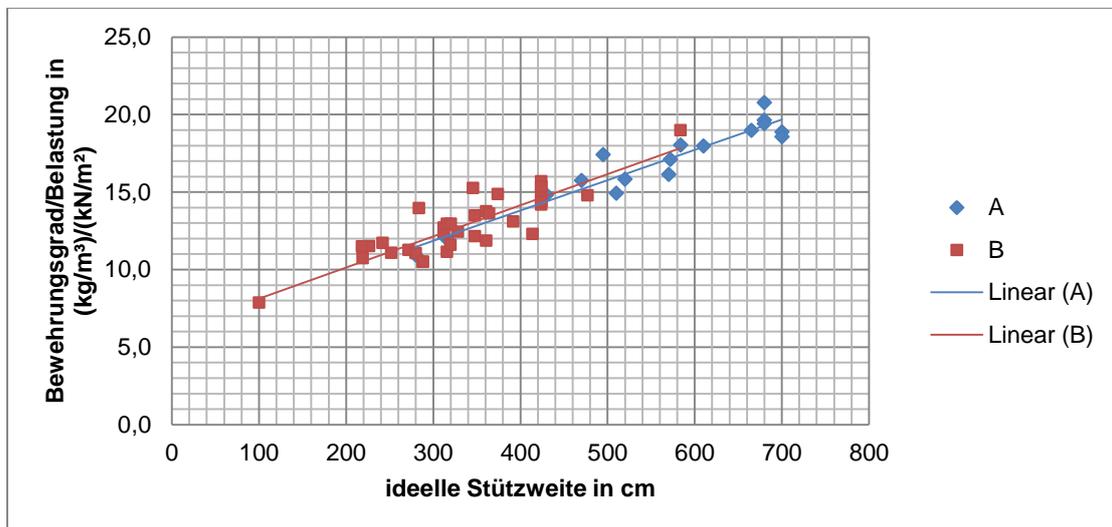


Abb. 5-9 Kategorie A, B: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die ideale Stützweite

Betrachtet man Kategorie C (siehe Abb. 5-10), so fällt auf, dass die Werte weitaus mehr von der linearen Regressionsgeraden abweichen als dies bei den Kategorien A und B der Fall ist. Hier scheint es also sinnvoller, eine Abschätzung des Bewehrungsgrades basierend auf der Häufigkeitsverteilung (Kapitel 5.1) anzugeben. Dasselbe gilt für Kategorie D, wobei hier zusätzlich zu klären ist, ob sich ein Intervall mit sinnvollen Schranken, aufgrund der großen Streuung und der geringen Anzahl der Stichproben, ermitteln lässt.

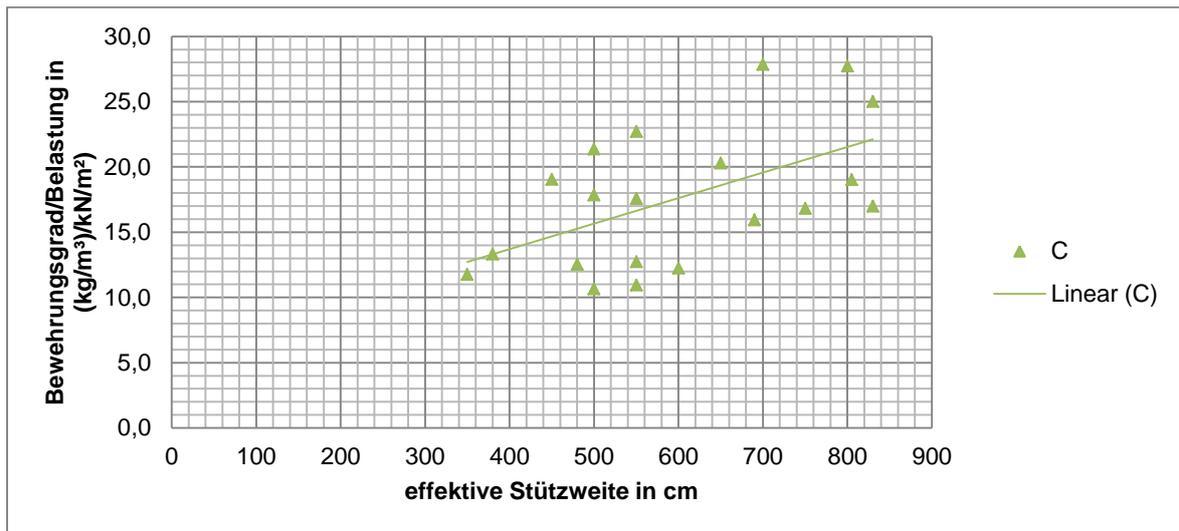


Abb. 5-10 Kategorie C: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite

5.1.3 Ausarbeitung der Bewehrungsgradrichtwerte

Nun sollen Methoden zur Abschätzung des Bewehrungsgrades bzw. Bewehrungsgradrichtwerte für die einzelnen Kategorien ausgearbeitet werden.

5.1.3.1 Abschätzung des Bewehrungsgrades für Decken der Kategorie A

Wie Abb. 5-7 zeigt, lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Quotienten aus Bewehrungsgrad und Belastung und Stützweite erkennen, mit relativ geringer Streuung um dessen lineare Regressionsgerade.

Die in Abb. 5-11 dargestellten strichlierten Linien stellen die maximal obere und untere Abweichung von der Regressionsgeraden dar. Innerhalb dieser Linien befinden sich 100% der untersuchten Wertepaare. Die maximale Abweichung des Quotienten aus Bewehrungsgrad und Belastung von der Regressionsgeraden beträgt etwa $\pm 1,5$ [$\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{m}^3\cdot\text{kN}$].

In Abb. 5-12 sind die Linien aus Abb. 5-11 ohne die Wertepaare aus den Stichproben dargestellt. Des Weiteren wurden die Linien für Stützweiten unter 280 cm linear extrapoliert.

Bei Kenntnis der **Stützweite** sowie der **Belastung** kann der Bewehrungsgrad mithilfe dieses Diagramms abgeschätzt werden. Dadurch muss lediglich der Wert Bewehrungsgrad/Belastung, der sich durch die effektive Stützweite ergibt, mit der jeweiligen tatsächlichen Belastung multipliziert werden. Durch die strichlierten Linien ergeben sich ein oberer und ein unterer Wert, also ein Intervall für den Bewehrungsgrad. Die Linien wurden bewusst strichliert dargestellt, da sich unter bestimmten Umständen durchaus Werte außerhalb der Linien ergeben können und diese lediglich Richtwerte darstellen.

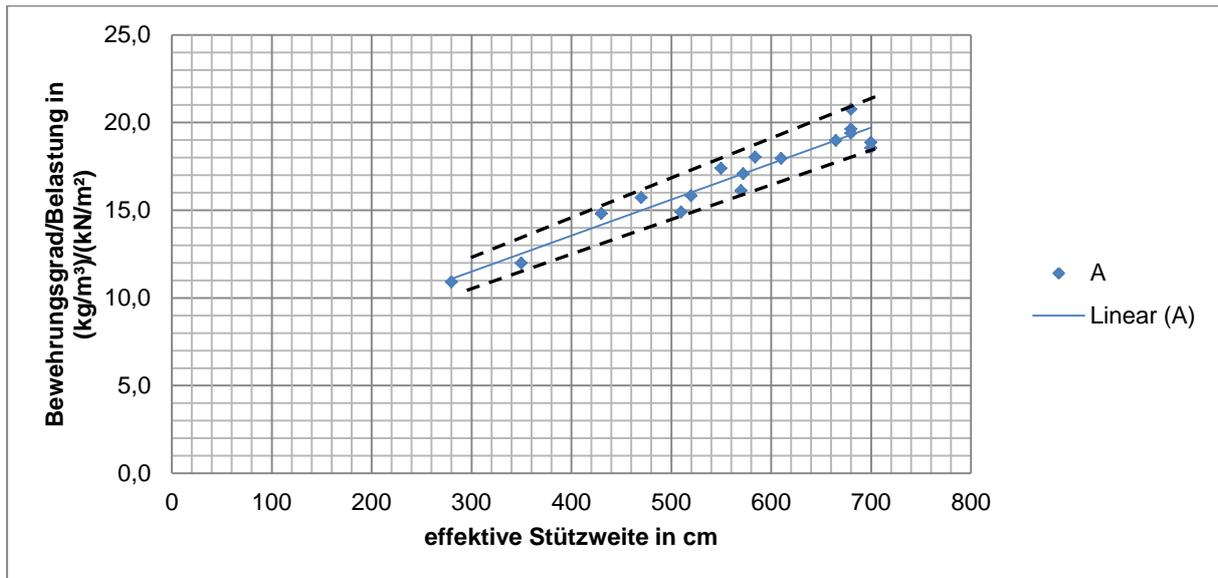


Abb. 5-11 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden

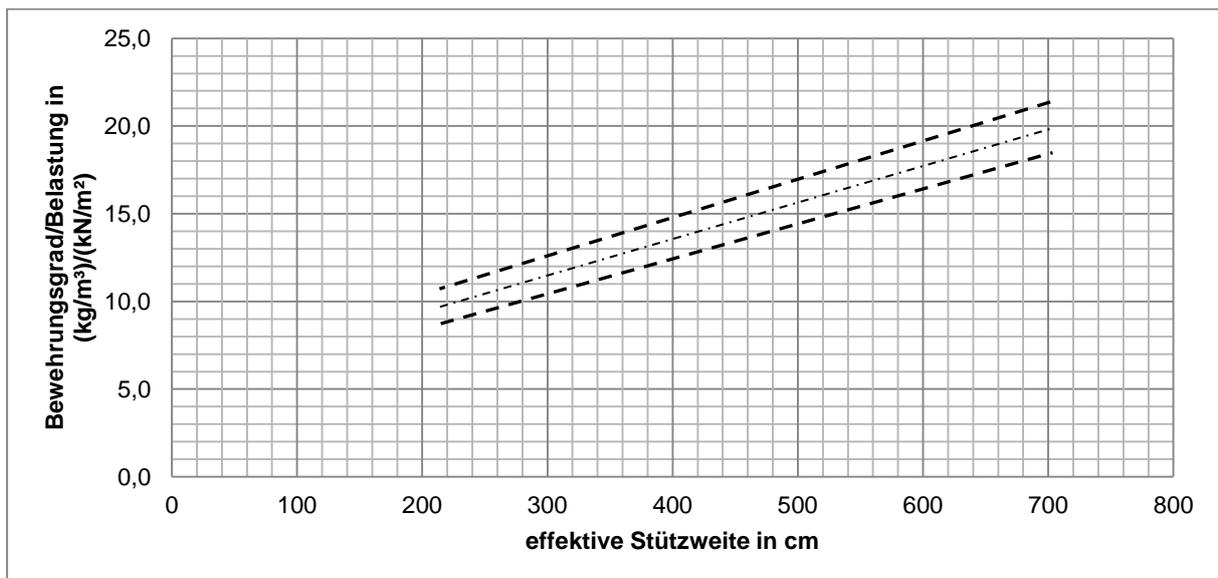


Abb. 5-12 Diagramm zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Kategorie A

5.1.3.2 Abschätzung des Bewehrungsgrades für Decken der Kategorie B

Die Vorgehensweise zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Decken der Kategorie B erfolgt analog zu jener der Kategorie A (siehe Abb. 5-13 und 5-14).

Auch hier befindet sich die maximale Abweichung des Quotienten aus Bewehrungsgrad und Belastung etwa im Bereich $\pm 1,5$ $[\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{m}^3 \cdot \text{kN}]$.

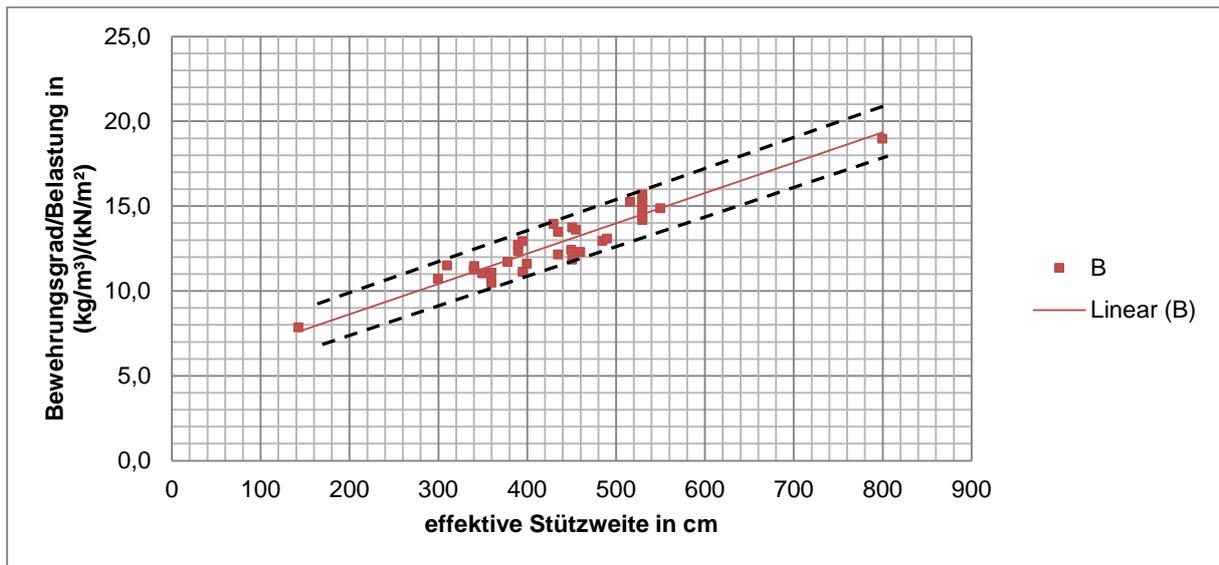


Abb. 5-13 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden

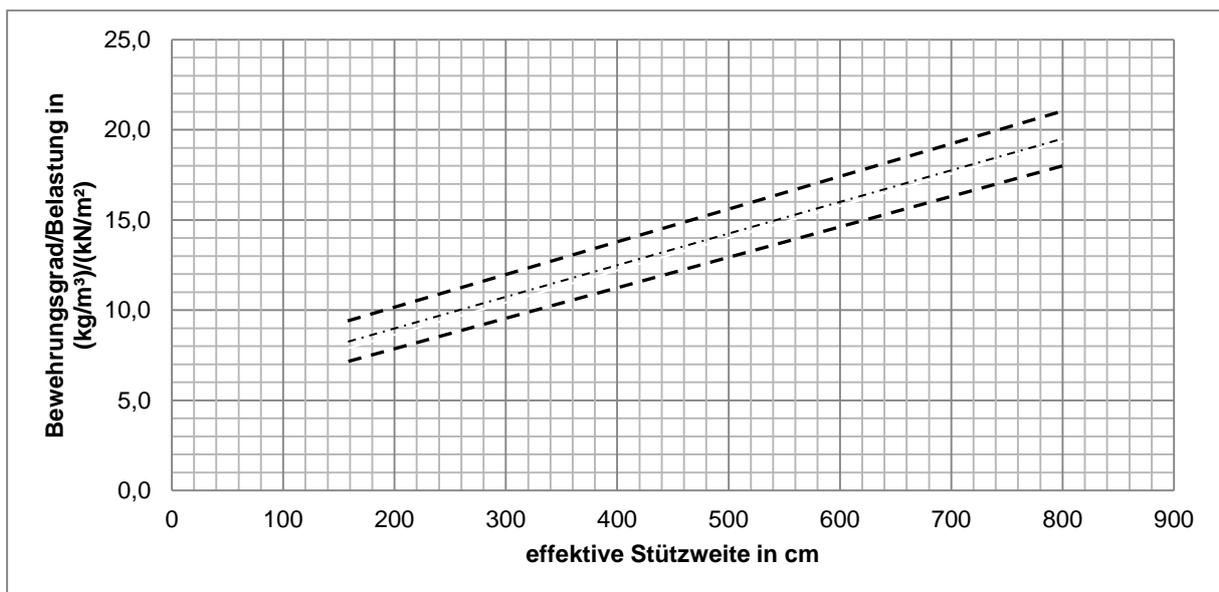


Abb. 5-14 Diagramm zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Kategorie B

5.1.3.3 Abschätzung des Bewehrungsgrades für Decken der Kategorie C

Wie zuvor schon erwähnt, führt die Vorgehensweise, die bei den Kategorien A und B angewandt wurde, bei Kategorie C zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis. Daher soll hier basierend auf statistischen Kennwerten ein Intervall für mögliche Bewehrungsgrade ausgearbeitet werden.

Die Kategorie C besteht aus 20 Stichproben. Der Mittelwert μ dieser Stichproben beträgt etwa 78 kg/m^3 und die Standardabweichung σ von $15,6 \text{ kg/m}^3$. Die Werte der Stichproben

variieren von 53 kg/m³ (Minimum) bis 106 kg/m³ (Maximum), also um ca. $\pm 30\%$ um den Mittelwert.

In Abb. 5-15 sei nochmal die Häufigkeitsverteilung für die Kategorie C in „10er“ Klassen dargestellt.

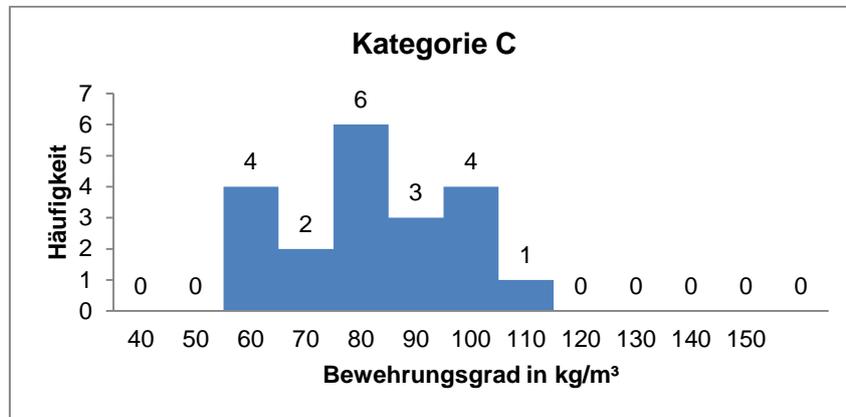


Abb. 5-15 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der Kategorie C

In Abb. 5-16 ist die Häufigkeitsverteilung der Kategorie C in „5er“ Klassen dargestellt. Diese Verfeinerung soll dabei helfen, um den Sachverhalt genauer zu beschreiben.

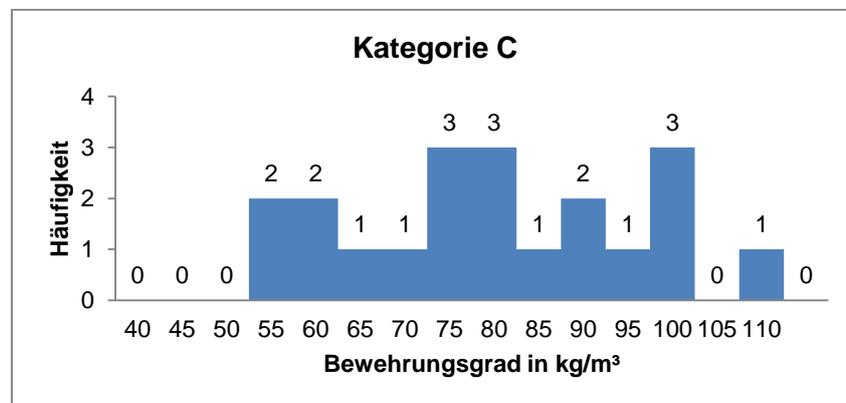


Abb. 5-16 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der Kategorie C in 5er Klassen

Anhand dieser Häufigkeitsverteilung lässt sich erkennen, dass 19 der insgesamt 20 Stichproben (95%) in den Klassen 55-100 vorzufinden sind. Dies würde also einem 95% - Konfidenzintervall von 50 – 100 kg/m³ entsprechen. Bewehrungsgrade für Decken der Kategorie C sind demzufolge im Bereich von **50 – 100 kg/m³** anzutreffen.

Auffällig dabei ist, dass sich der mögliche Bewehrungsgrad für die Kategorie C in einem größerem Bereich bewegt, als dies bei den Kategorien A und B der Fall ist. Dies lässt sich damit begründen, dass zweiachsig gespannte Platten eine höhere Komplexität in ihrer Tragwirkung aufweisen und wesentlich mehrere Faktoren einfließen, als bei einachsig gespannten Plat-

ten. Des Weiteren hat sich in der Praxis gezeigt, dass die **Aufteilung** sowie die **Differenzierung** der Stabstahlverlegung des jeweiligen Statikers auch einen wesentlichen Einfluss auf den Bewehrungsgrad haben können, da die Ausgabe der erforderlichen Bewehrungsmenge von FE-Programmen großen individuellen Spielraum zulässt.

5.1.3.4 Abschätzung des Bewehrungsgrades für Decken der Kategorie D

Auch bei Kategorie D lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Belastung, Stützweite und Bewehrungsgrad herstellen. Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung in Abb. 5-17, so wird ersichtlich, dass sich der Bewehrungsgrad der Kategorie D statistisch nicht zufriedenstellend abschätzen lässt. Des Weiteren ist diese Verteilung, aufgrund der geringen Anzahl der Stichproben und vieler unterschiedlicher Lagerungen, wenig aussagekräftig.

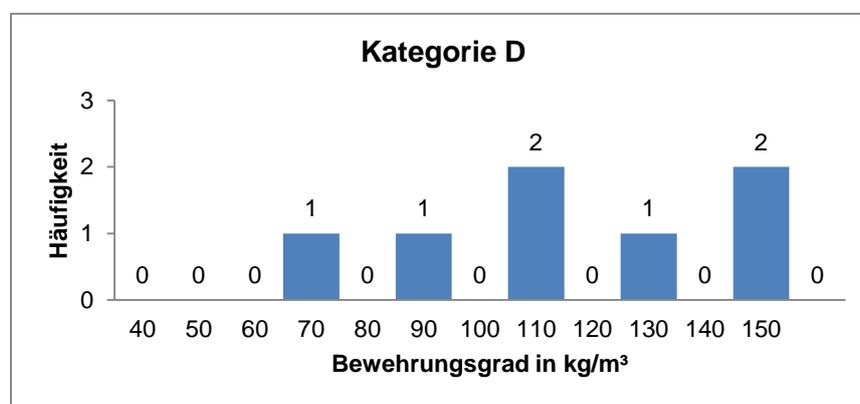


Abb. 5-17 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der Kategorie D

Bei Kategorie D handelt es sich um zweiachsig gespannte Platten, die nicht in Kategorie C fallen. Demnach gehören dieser Kategorie sowohl Flachdecken als auch Mischformen von punktgestützten und liniengelagerten Platten an. Diese Systeme weisen in ihrer Tragwirkung eine äußerst hohe Komplexität auf und deshalb lässt sich für diese Kategorie kein verlässlicher Bewehrungsgradrichtwert angeben. Zur möglichst genauen Abschätzung des Bewehrungsgrades ist in solchen Fällen eine vom Tragwerksplaner erstellte Vorstatik unerlässlich.

5.2 Balken

5.2.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade

Insgesamt wurden Daten von 110 Balken in 20 verschiedenen Bauprojekten gesammelt. Die Trägersysteme reichen von Einfeld- über Durchlauf- bis hin zu Kragträgern, entweder als Unterzüge, deckengleiche Unterzüge oder Überzüge ausgeführt.

Bei der Berechnung der jeweiligen Bewehrungsgrade wurden sämtliche im Träger enthaltenen Stahlmengen (Längsbewehrung, Bügel, etwaige Schlaufenbewehrung) berücksichtigt.

Die folgende Tabelle zeigt die statistischen Kennwerte der Bewehrungsgrade.

SYSTEME	STICHPROBEN	MITTELWERT	STANDARDABW.	MIN	MAX
[-]	[-]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Einfeldträger	62	115	41,3	56	199
Durchlaufträger	39	143	41,0	60	199
Kragträger	9	146	43,8	79	203
Insgesamt	110	128	43,4	56	203

Tab. 5-2 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade

Abb. 5-18 und Abb. 5-19 zeigen die Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Bewehrungsgrade. Dabei wurden die Bewehrungsgrade in Klassen eingeteilt, die wie folgt definiert wurden:

- Klasse 60: Anzahl der Ergebnisse kleiner gleich 60
- Klasse 70: Anzahl der Ergebnisse in der Klasse 61-70
- etc.

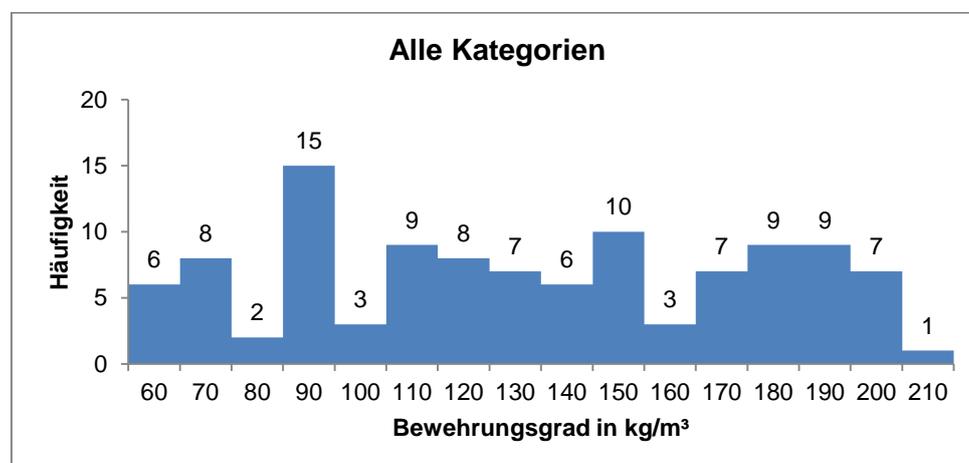


Abb. 5-18 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade aller Systeme

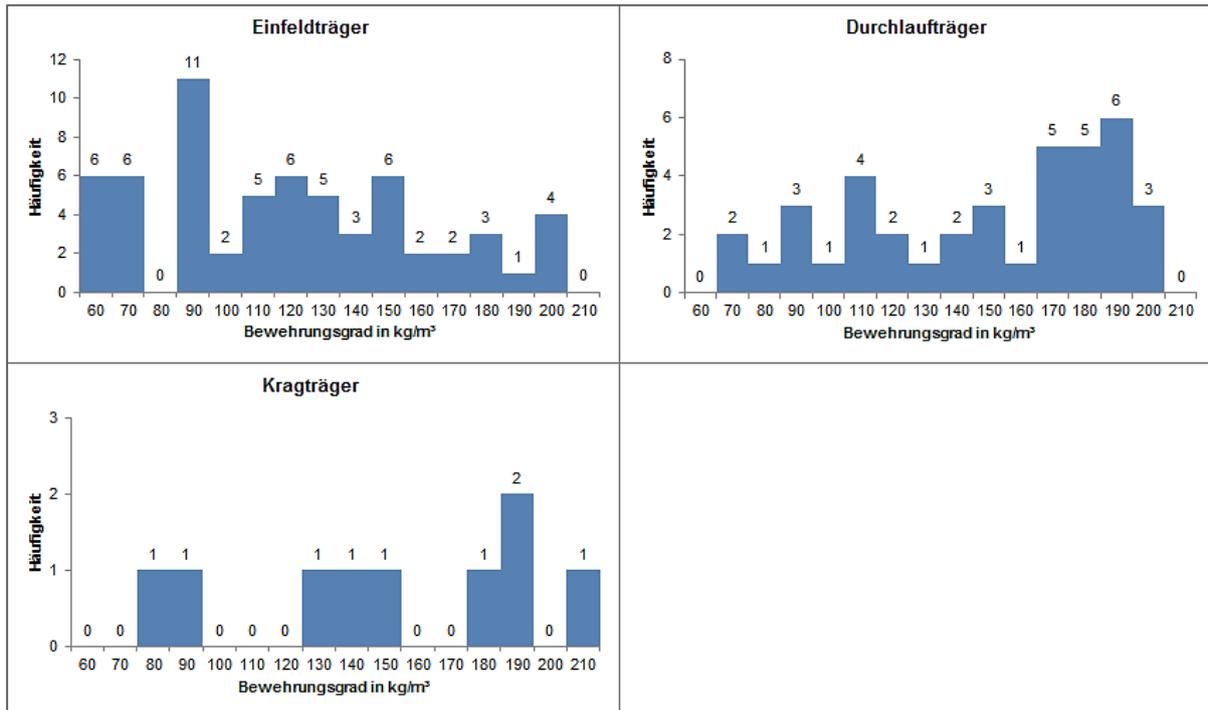


Abb. 5-19 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der einzelnen Systeme

Die statistischen Kennwerte der einzelnen Systeme (Tab. 5-2) unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander. Es kann daher noch keine Aussage getroffen werden, inwiefern der Bewehrungsgrad vom statischen System des Trägers abhängig ist.

Des Weiteren wird durch Abb. 5-18 und 5-19 ersichtlich, dass ohne weitere Unterscheidung keine genaue Abschätzung des Bewehrungsgrades einzelner Balken erfolgen kann, da die Werte eine zu hohe Streuung aufweisen.

Um die unterschiedlichen Bewehrungsgrade begründen zu können, müssen diese also weiter untersucht werden.

5.2.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade

5.2.2.1 Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}

Das folgende Diagramm zeigt den Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff} der jeweiligen Balken.

Dabei lässt sich jedoch kein direkter Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Stützweite erkennen. Dies rührt daher, dass in diesem Diagramm andere Einflüsse wie etwa Belastung und oder Querschnittshöhe nicht berücksichtigt werden.

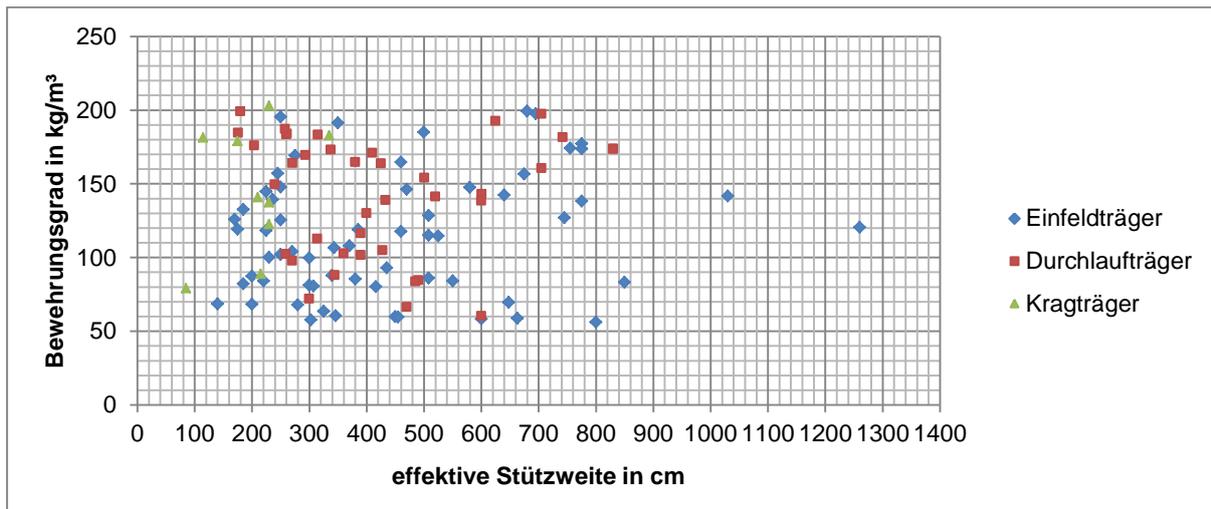


Abb. 5-20 Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}

5.2.2.2 Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung

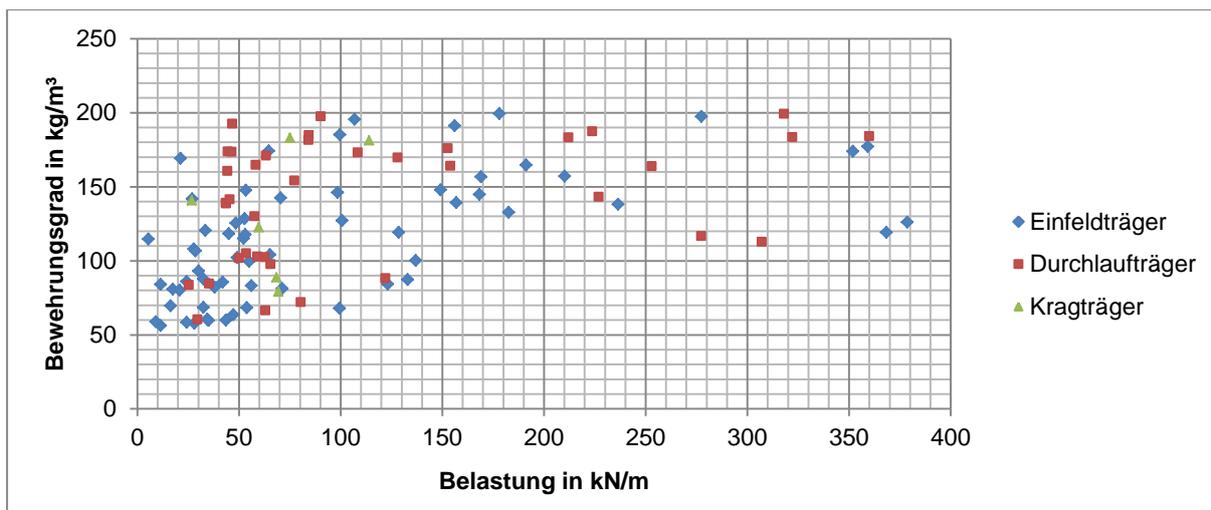


Abb. 5-21 Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung

Auch hier lässt sich kein direkter Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Belastung herstellen, wobei ein leichter Aufwärtstrend des Bewehrungsgrades bei Zunahme der Belastung zu erkennen ist.

5.2.2.3 Bewehrungsgrad bezogen auf die Querschnittshöhe

Hier ist kein Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Querschnittshöhe feststellbar. Möglicherweise deshalb, weil die Querschnittshöhe bereits bei der Berechnung des Bewehrungsgrades einfließt. Das zur Berechnung des Bewehrungsgrades benötigte Bauteilvolumen hängt unter anderem von der Trägerhöhe ab. Bewehrungsgrad und Bauteilhöhe ein und desselben Trägers verhalten sich demzufolge indirekt proportional, wenn davon ausgegan-

gen wird, dass die Bewehrungsmenge konstant bleibt. Aus diesem Grund, soll bei nachstehenden Untersuchungen auf den Einfluss der Querschnittshöhe verzichtet werden. Des Weiteren sei zu erwähnen, dass die erforderliche Höhe in der Regel von Belastung und Stützweite abhängt, um die maximal zulässige Durchbiegung zur Erbringung des Gebrauchstauglichkeitsnachweises nicht zu überschreiten. Daher soll das Augenmerk auf Belastung und Stützweite gelegt werden.

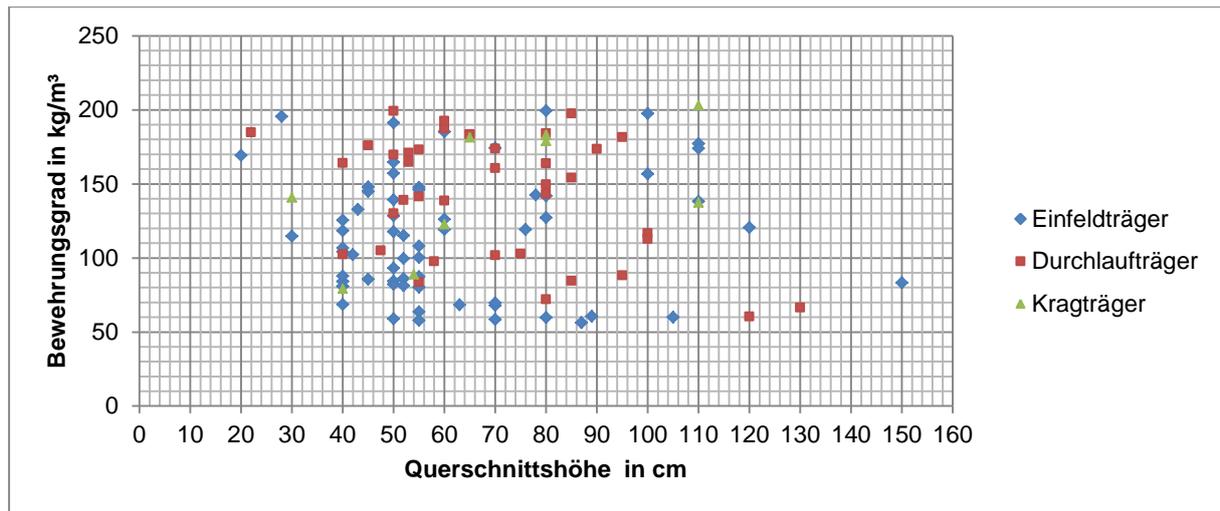


Abb. 5-22 Bewehrungsgrad bezogen auf die Querschnittshöhe

5.2.2.4 Bewehrungsgrad bezogen auf das Produkt aus Belastung und Stützweite

Um den Einfluss von Stützweite und Belastung in Kombination zu untersuchen, wurde der Bewehrungsgrad auf das Produkt von Stützweite und Belastung bezogen.

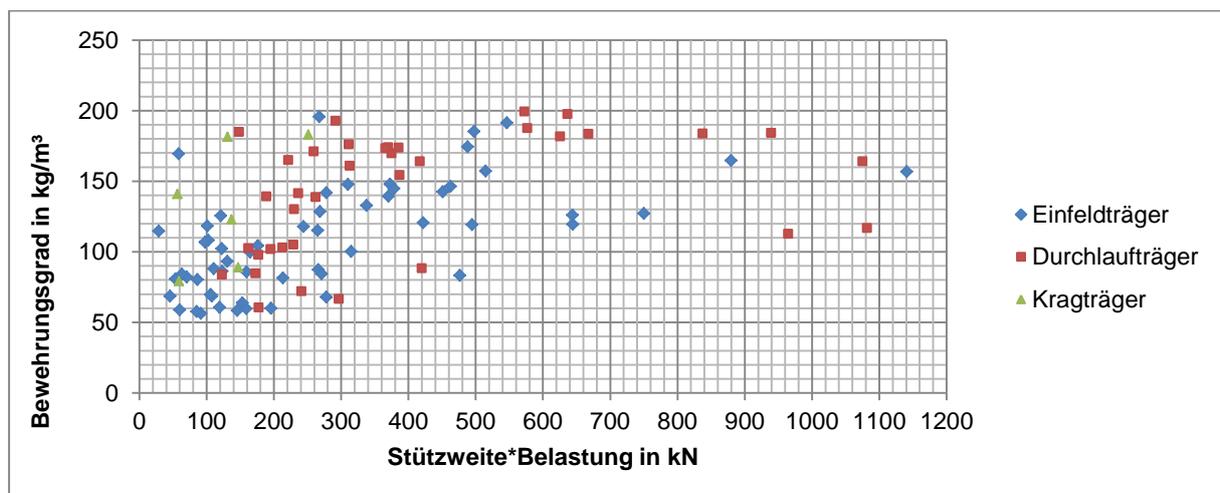


Abb. 5-23 Bewehrungsgrad bezogen auf Stützweite*Belastung

Hier lässt sich zwar schon ein etwas deutlicherer Einfluss der beiden Parameter erkennen, jedoch stellt dies noch kein zufriedenstellendes Ergebnis dar, da die Datenpaare eine noch zu hohe Streuung aufweisen.

5.2.3 Übergang zum Begriff „Bewehrungsmenge pro Laufmeter“

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob sich im Zusammenhang mit dem Bewehrungsgrad (Quotient aus Bewehrungsmenge und Bauteilvolumen) überhaupt ein genaueres Ergebnis mit Hilfe der eben genannten Einflussgrößen erzielen lässt. Wie zuvor schon erwähnt, verhalten sich Bewehrungsgrad und Bauteilvolumen indirekt proportional. Eine Verdoppelung der Höhe etwa (doppeltes Bauteilvolumen), hätte bei konstanter Bewehrungsmenge einen halb so großen Bewehrungsgrad zur Folge. Die erforderliche Bewehrungsmenge bleibt zwar bei Zunahme der Höhe nicht konstant, nimmt aber auch nicht wesentlich ab.

Da bei der Kostenkalkulation die möglichst genaue Schätzung der Bewehrungsmenge und nicht des Bewehrungsgrades im Vordergrund steht, wird in weiterer Folge vom Begriff des Bewehrungsgrades auf den Begriff „**Bewehrungsmenge pro Laufmeter**“ übergegangen. Dies scheint sinnvoll, da es sich bei Balken um schlanke Bauteile handelt, bei denen die Länge ein Vielfaches der Querschnittsabmessungen beträgt. Außerdem kann somit die Bewehrungsmenge unabhängig von den Querschnittsabmessungen abgeschätzt werden.

Die Bewehrungsmenge pro Laufmeter (Bewehrungsmenge/lfm) bl (Einheit: z.B. kg/m) wird aus dem Quotienten aus Bewehrungsmenge und Balkenlänge berechnet:

$$bl = \frac{BW}{L}$$

Anhand der angenommenen Bewehrungsmenge pro Laufmeter kann durch Multiplikation mit der jeweiligen Balkenlänge die entsprechende Bewehrungsmenge berechnet werden.

5.2.3.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsmengen/lfm

Tab. 5-3 zeigt die statistischen Kennwerte der Bewehrungsmengen/lfm.

SYSTEME	STICHPROBEN	MITTELWERT	STANDARDABW.	MIN	MAX
[-]	[-]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]	[kg/m]
Einfeldträger	62	24	28,7	7	153
Durchlaufträger	39	26	12,1	10	69
Kragträger	9	50	49	8	134
Insgesamt	110	27	27,2	7	153

Tab. 5-3 Statistische Kennwerte der Bewehrungsmengen/lfm

Abb. 5-24 zeigt die Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Bewehrungsmengen/lfm. Dabei wurden die Bewehrungsmengen in Klassen eingeteilt, die wie folgt definiert wurden:

- Klasse 10: Anzahl der Ergebnisse kleiner gleich 10
- Klasse 20: Anzahl der Ergebnisse in der Klasse 11-20
- etc.

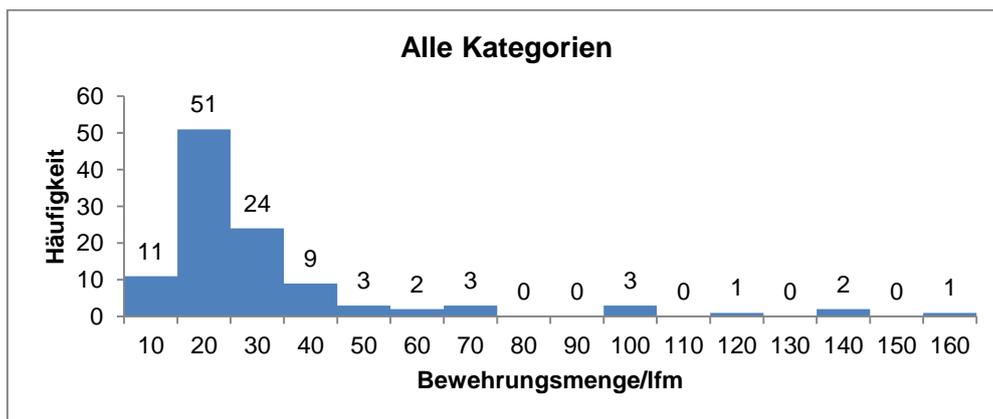


Abb. 5-24 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsmengen/lfm aller Systeme

Diese Häufigkeitsverteilung lässt scheinbar vermuten, dass die Bewehrungsmengen/lfm weniger streuen als dies bei den Bewehrungsgraden der Fall ist, dies täuscht jedoch, da prozentuell gesehen, die Intervalle weiter auseinander liegen.

Dies muss jedoch nicht unbedingt bedeuten, dass der Übergang auf die Bewehrungsmenge/lfm weniger zielführend ist. Letzten Endes soll damit lediglich eine Basis geschaffen werden, bei der sich ein besserer Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge, Belastung und Stützweite herstellen lässt. Daher werden im Folgenden die Einflüsse auch hier genauer analysiert.

5.2.3.2 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf Stützweite und Belastung

Es wurde zwar bereits geklärt, dass die Bewehrungsmenge nicht von einem Parameter alleine abhängig ist, vollständigheitshalber werden diese jedoch auch einzeln für Stützweite und Belastung dargestellt.

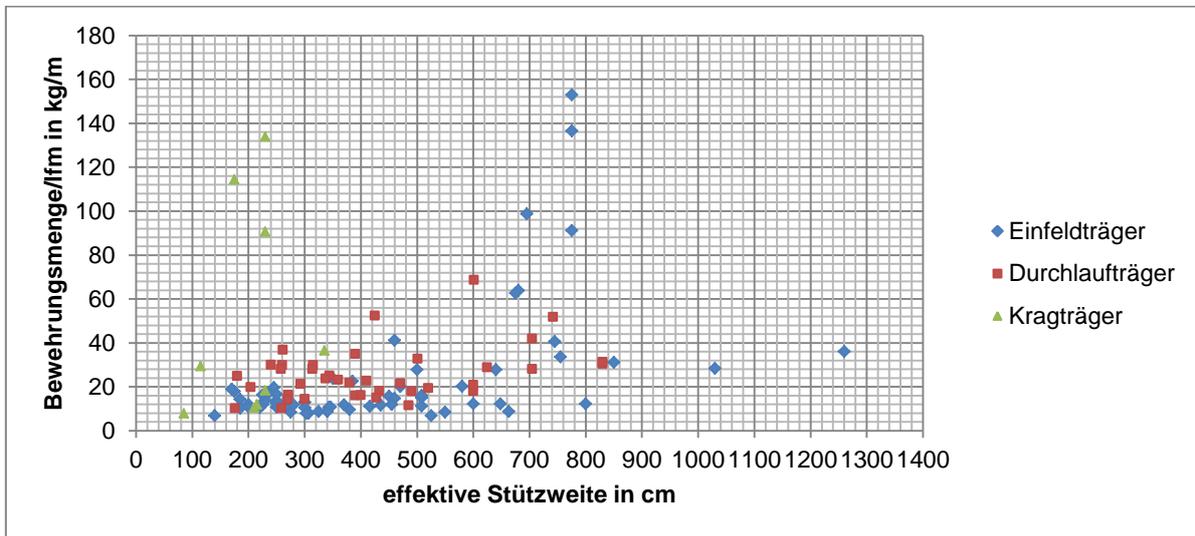


Abb. 5-25 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die effektive Stützweite

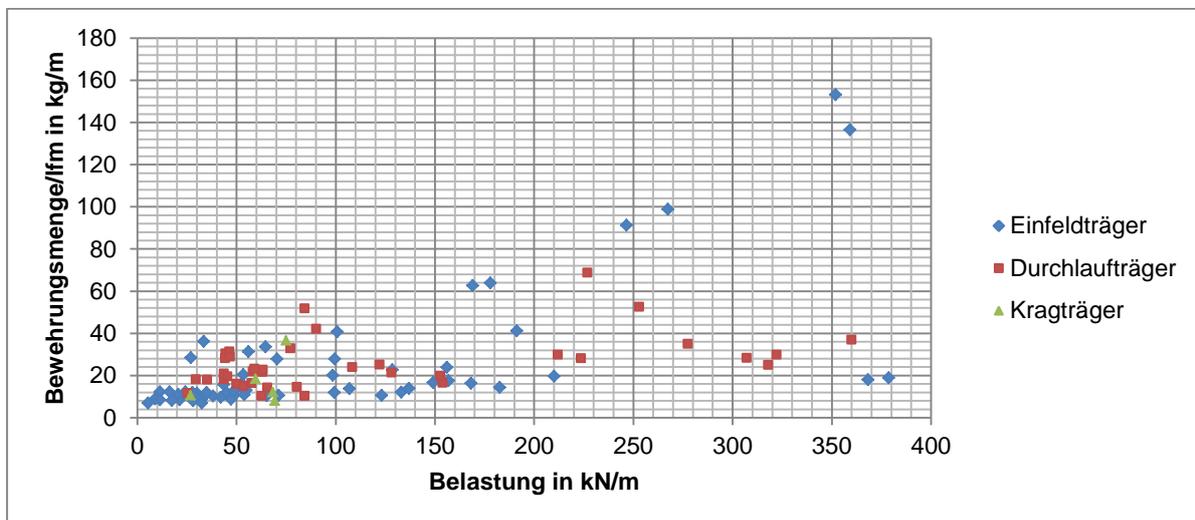


Abb. 5-26 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Belastung

Einzeln betrachtet lässt sich, wie schon erwähnt, kein Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge/lfm und Stützweite bzw. Belastung erkennen. Deshalb wird im nächsten Diagramm die Bewehrungsmenge/lfm, wie zuvor, auf das Produkt von Stützweite und Belastung bezogen werden.

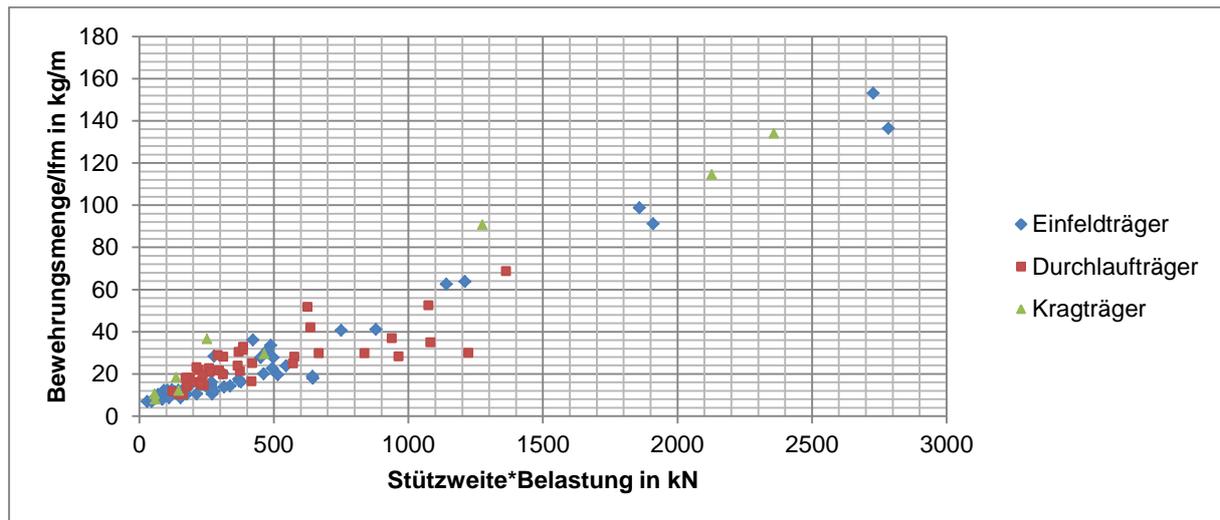


Abb. 5-27 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf Stützweite*Belastung

Hier lässt sich ein deutlich erkennbarer Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge/lfm, Stützweite und Belastung herstellen. Betrachtet man das Diagramm allerdings etwas genauer, so wird deutlich, dass die Bewehrungsmengen/lfm bei ähnlichen Werten von Produkt aus Stützweite und Belastung, vor allem im unteren Wertebereich sich zum Teil noch deutlich voneinander unterscheiden. Bei einem Wert (Stützweite*Belastung) von ca. 400 kN z.B., liegt die minimale Bewehrungsmenge bei unter 20 kg/m und die maximale bei beinahe 40 kg/m. Die Werte liegen also noch zwischen 100 und 200%. Bei größeren Werten von Stützweite*Belastung beträgt die Differenz von Minimum und Maximum zwar auch zum Teil über 20 kg/m, prozentuell gesehen ist die Differenz jedoch geringer.

Um die Streuung der Werte noch weiter zu verringern, wird in weiterer Folge die Bewehrungsmenge auf das sich aus Stützweite und Belastung ergebende maximale Biegemoment bezogen.

5.2.3.3 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf das maximale Biegemoment

Da das maximale Biegemoment in der Regel die ausschlaggebende Größe für die erforderliche Biegebewehrung im Balken ist, scheint es sinnvoll, die Bewehrungsmenge auf dieses zu beziehen. In den meisten Fällen wird die durch das Maximalmoment erforderliche Biegebewehrung über zumindest dasjenige Feld indem dieses Moment auftritt konstant gehalten. Wenn überhaupt, dann wird die Bewehrung nur von Feld zu Feld abgestuft.

Das maximale Biegemoment eines durch Gleichlast belasteten **Einfeldträgers** errechnet sich wie folgt.

$$M_{max} = \frac{q * l_{eff}^2}{8}$$

Das maximale Biegemoment von **Durchlaufträgern** ist betragsmäßig zwar geringer als jenes von Einfeldträgern mit gleicher Stützweite und Belastung, jedoch wurde es auf die gleiche Art und Weise berechnet. Die Grundidee dahinter war, dass die erforderliche Biegebewehrung in Feldmitte aufgrund der Durchlaufwirkung zwar geringer ist, diese Differenz jedoch durch die zusätzlich erforderliche Biegebewehrung im oberen Querschnittsbereich über den Auflagern (negative Stützmomente) kompensiert wird.

Bei **Kragträgern** befindet sich das maximale Biegemoment über dem Auflager und wird wie folgt berechnet.

$$M_{max} = \frac{q * l_{eff}^2}{2}$$

Abb. 5-28 liefert das Ergebnis dieser Berechnungen.

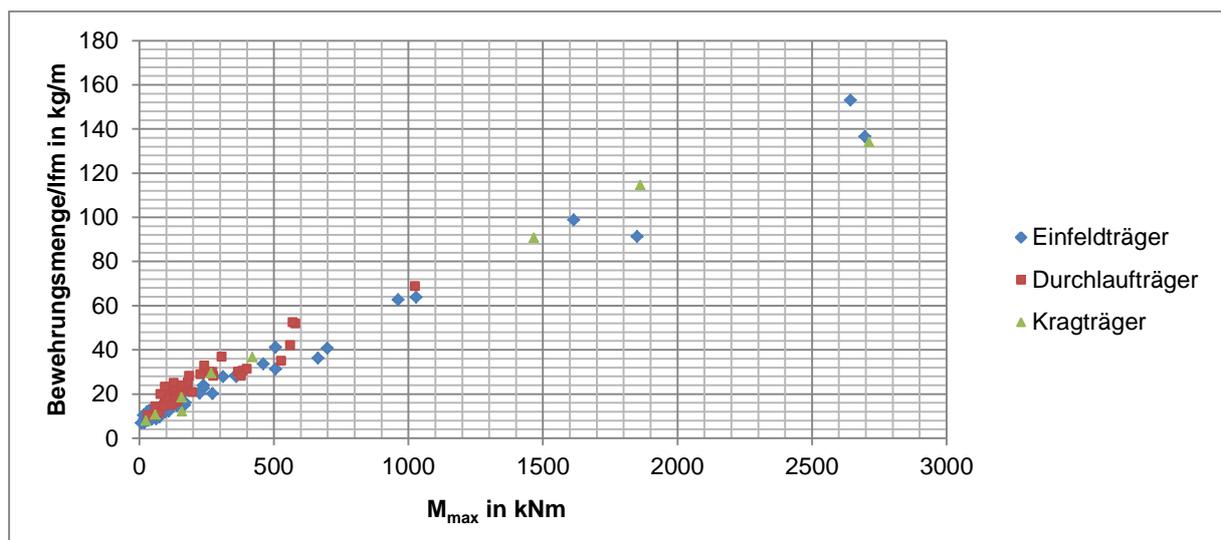


Abb. 5-28 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf das maximale Biegemoment

Hier fällt auf, dass eine deutliche Korrelation zwischen Bewehrungsmenge/lfm und Biegemoment besteht und die Werte weniger streuen als dies bei Abb. 5-27 der Fall ist.

In nachstehender Abbildung wurden die linearen Regressionsgeraden für die jeweiligen Kategorien hinzugefügt.

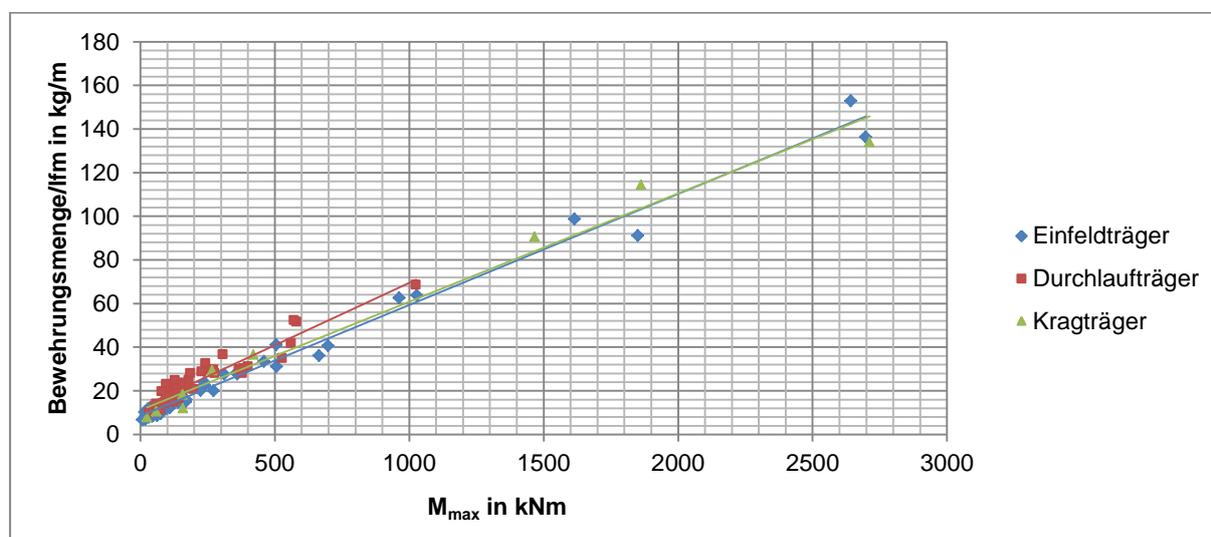


Abb. 5-29 Korrelation Bewehrungsmenge/lfm und Biegemoment mit Regressionsgeraden

Dabei lässt sich beobachten, dass die Regressionsgeraden in etwa parallel verlaufen und die der Einfeld- und Kragträger nahezu ident. Die Tatsache, dass die Regressionsgeraden voneinander unabhängig sind, ihr Verlauf aber sehr ähnlich ist, stützt die These zusätzlich, dass große Korrelation zwischen Bewehrungsmenge/lfm und Biegemoment besteht.

Am Versatz der Regressionsgeraden lässt sich erkennen, dass die Bewehrungsmengen der Durchlaufträger tendenziell etwas höher liegen als die der Einfeld- und Kragträger. Dies ist möglicherweise damit zu erklären, dass die erforderliche Biegebewehrung im oberen Querschnittsbereich über dem Auflager zum Teil über die ganze Trägerlänge durchgezogen wird, da sie gleichzeitig eine konstruktive Bewehrung darstellt und zum Flechten des Bewehrungskorbes benötigt wird. Aufgrund der konstruktiven Anforderungen wird also in vielen Fällen mehr obere Biegebewehrung eingebaut als statisch erforderlich.

5.2.4 Ausarbeitung der Richtwerte für die Bewehrungsmengen/lfm

Wie Abb. 5-29 zeigt, besteht also deutlicher Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge/lfm und maximalen Biegemoment mit relativ geringer Streuung um dessen lineare Regressionsgerade.

Aufgrund der Tatsache, dass die die Regressionsgeraden von Einfeld- und Kragträgern nahezu identisch sind, werden diese beiden Kategorien für die weitere Bearbeitung zusammengefasst. Durchlaufträger werden einzeln behandelt, da eine Zusammenfassung mit den

anderen Kategorien aufgrund der tendenziell höheren Bewehrungsmengen den Streubereich vergrößern und somit zu einem weniger genauen Abschätzungsergebnis führen würde.

5.2.4.1 Abschätzung der Bewehrungsmenge/lfm für Einfeld- und Kragträger

In nachstehender Abbildung sind die Wertepaare von Einfeld- und Kragträgern zusammengefasst mit einer gemeinsamen Regressionsgeraden dargestellt.

Die dargestellten strichlierten Linien stellen die obere und untere Abweichung von der Regressionsgeraden dar, in denen sich über 95 % aller Wertepaare befinden.

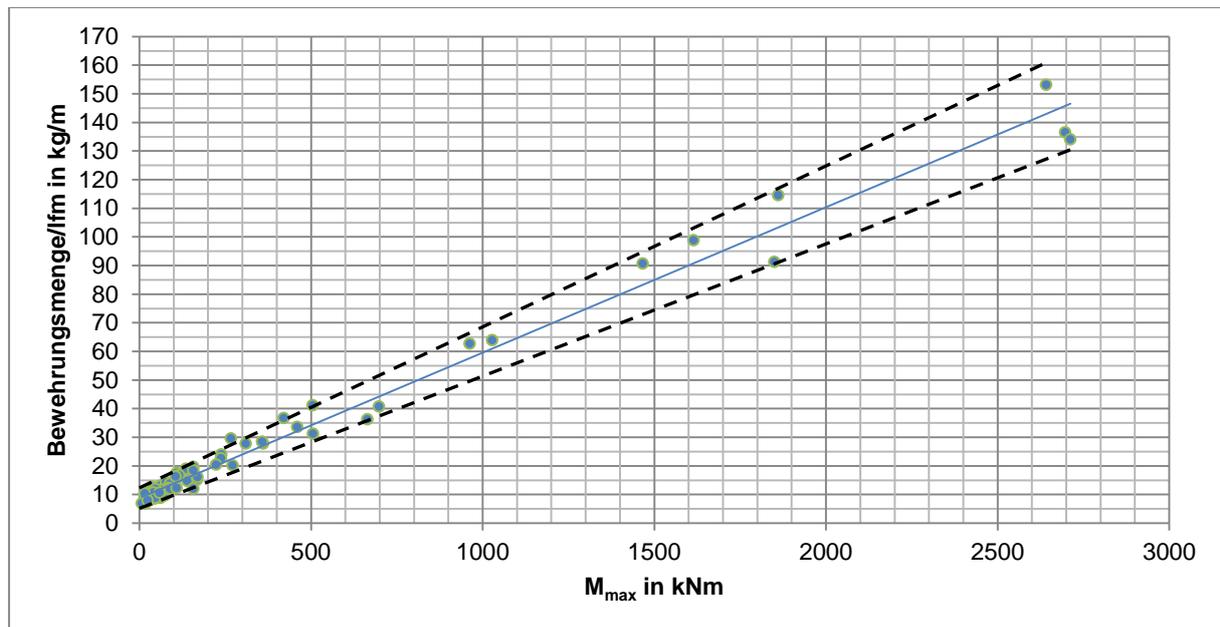


Abb. 5-30 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden

Dabei fällt auf, dass die maximalen und minimalen Abweichungen von der Regressionsgeraden bei größerem Biegemoment zunehmen (auseinanderdriften der strichlierten Linien). Bei einem Biegemoment von z.B. 2500 kNm liegt die Bewehrungsmenge/lfm ca. im Bereich von 135 ± 15 kg/m, was einer Abweichung von etwa ± 11 % entspricht.

Um eine genauere Aussage über die Streuung der Bewehrungsmengen für kleine Biegemomente treffen zu können, wird im nächsten Diagramm der Bereich zwischen 0 und 700 kNm vergrößert dargestellt. Des Weiteren ist zu sagen, dass sich die meisten Wertepaare der Stichproben in diesem Bereich befinden.

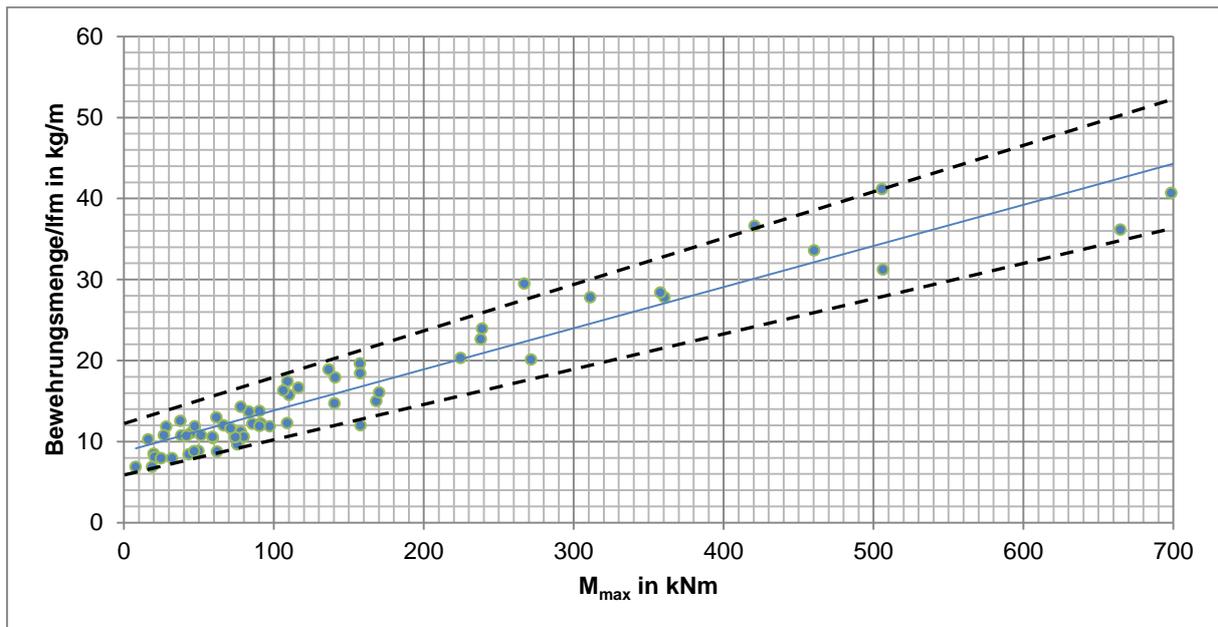


Abb. 5-31 Vergrößerte Darstellung der maximalen Abweichungen

Hier lässt sich erkennen, dass bei einem Biegemoment gegen 0 kNm, die Bewehrungsmenge/lfm bei ca. 9 ± 3 kg/m liegt, was einer Abweichung von etwa ± 33 % entspricht.

Prozentuell betrachtet kommt es also bei einer Zunahme des Biegemoments nicht zu einer Zunahme der Streuung der Bewehrungsmengen sondern zu einer Abnahme.

In Abb. 5-32 und Abb. 5-33 sind die Linien aus Abb. 5-30 und Abb. 5-31 ohne die Wertepaare aus den Stichproben dargestellt.

Mithilfe dieser Abbildungen kann bei Kenntnis des **maximalen Biegemoments**, das sich aus Stützweite und Belastung ergibt, die Bewehrungsmenge/lfm des jeweiligen Balkens bestimmt werden. Multipliziert man den Wert mit der tatsächlichen Balkenlänge, so kann die gesamte Bewehrungsmenge im Balken abgeschätzt werden.

Durch die strichlierten Linien ergeben sich ein oberer und ein unterer Wert, also ein Intervall für die Bewehrungsmenge/lfm. Die Linien wurden bewusst strichliert dargestellt, da sich durchaus Werte außerhalb der Linien ergeben können und diese lediglich Richtwerte darstellen.

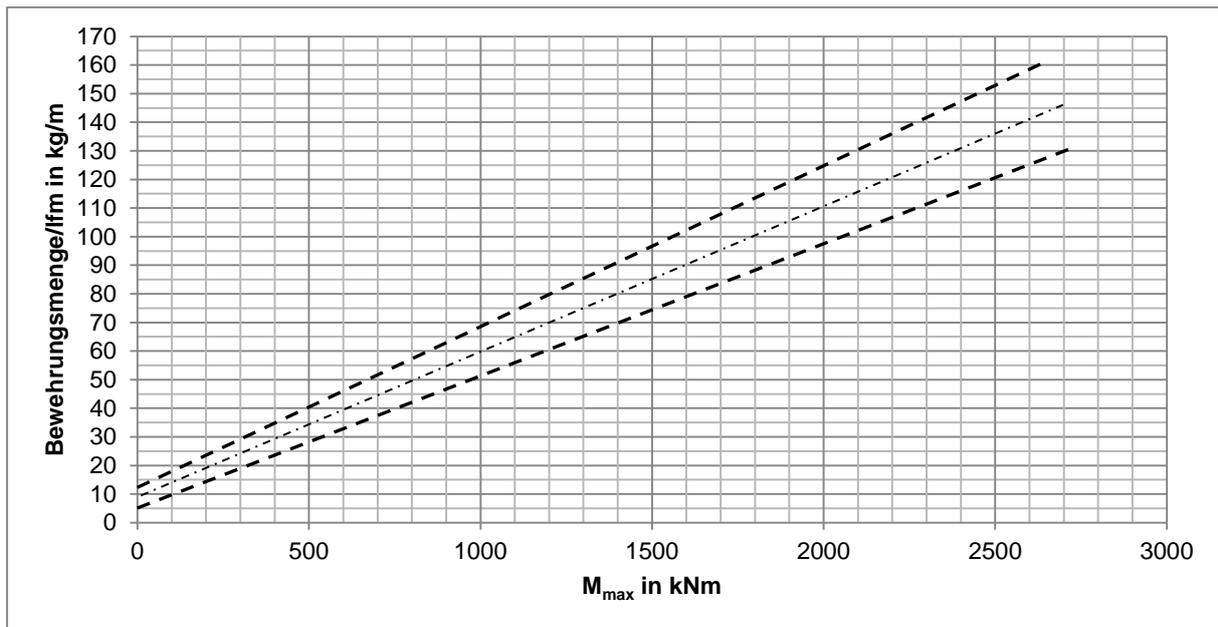


Abb. 5-32 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Einfeld- und Kragträger

Zur Abschätzung der Bewehrungsmengen für kleine Biegemomente kann das folgende Diagramm herangezogen werden.

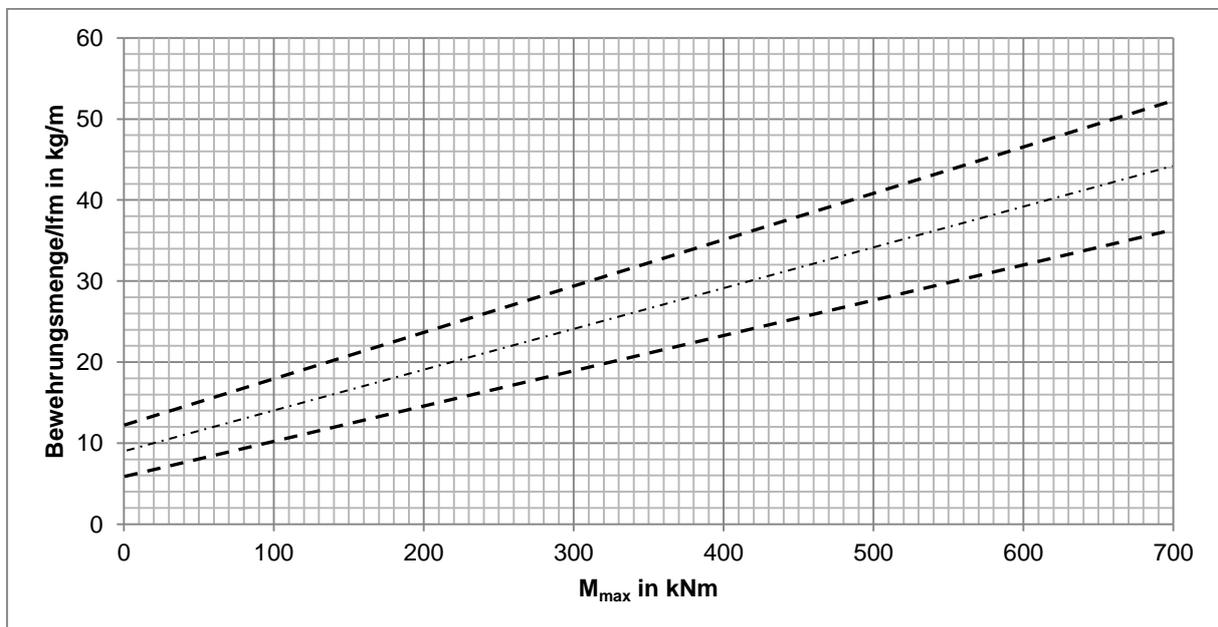


Abb. 5-33 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Einfeld- und Kragträger

5.2.4.2 Abschätzung der Bewehrungsmenge/lfm für Durchlaufträger

Die Vorgehensweise zur Abschätzung der Bewehrungsmenge/lfm für Durchlaufträger erfolgt analog wie bei Einfeld- und Kragträgern.

Bei einem Biegemoment von z.B. 40 kNm (Minimum der Stichproben) befindet sich die Bewehrungsmenge bei ca. 15 ± 5 kg/m liegt, was einer Abweichung von etwa ± 33 % entspricht.

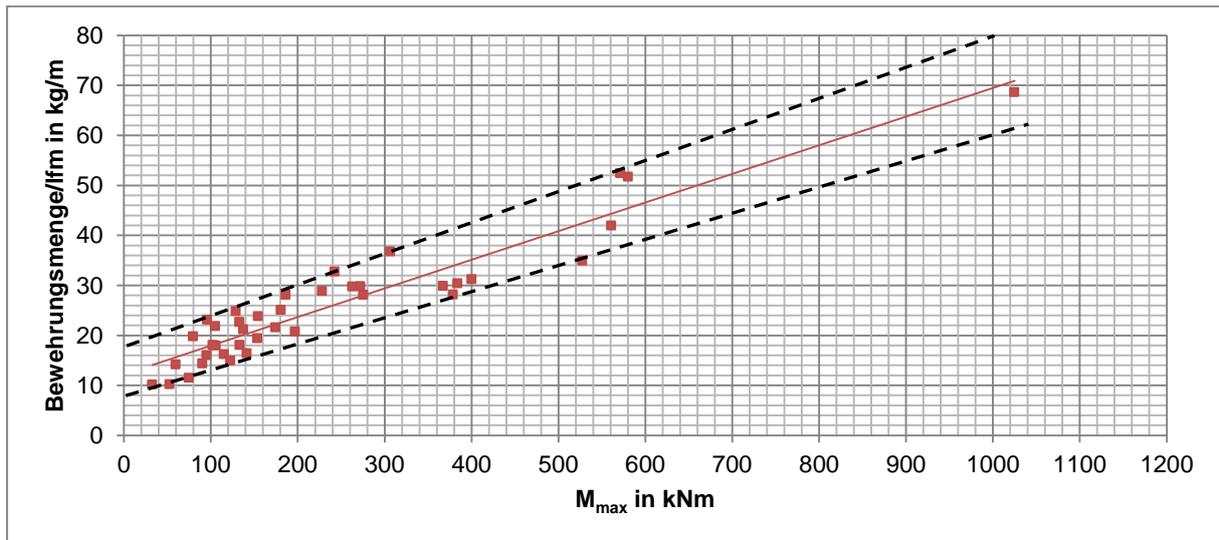


Abb. 5-34 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden

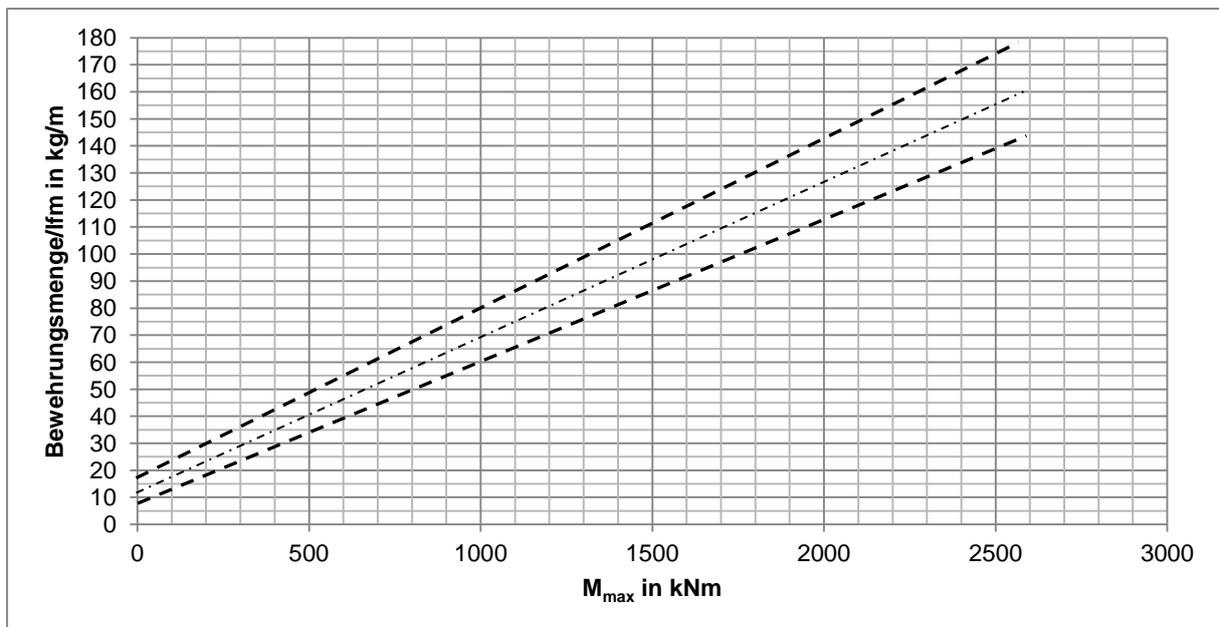


Abb. 5-35 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Durchlaufträger

Um Bewehrungsmengen abschätzen zu können, deren maximales Biegemoment jenes der Stichproben überschreitet, wurden die Regressionsgerade und deren Abweichungen linear extrapoliert.

Zur Abschätzung der Bewehrungsmengen für kleine Biegemomente kann das folgende Diagramm herangezogen werden.

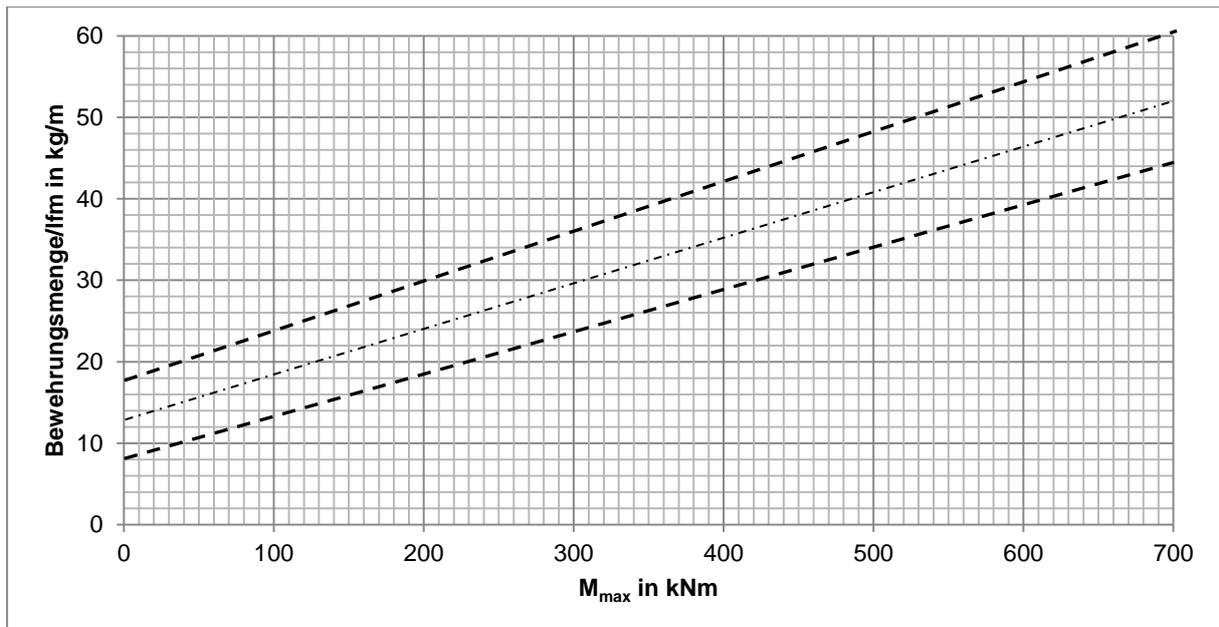


Abb. 5-36 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Durchlaufträger

5.3 Stützen

5.3.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade

Insgesamt wurden Daten von 115 Stützen in 12 verschiedenen Bauprojekten gesammelt. Bei der Berechnung der jeweiligen Bewehrungsgrade wurden sämtliche in der Stütze enthaltenen Stahlmengen (Längsbewehrung, Bügel, Anschlussbewehrung) berücksichtigt.

Die folgende Tabelle zeigt die statistischen Kennwerte der Bewehrungsgrade.

SYSTEM	STICHPROBEN	MITTELWERT	STANDARDABW.	MIN	MAX
[-]	[-]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Stützen	115	191	87,0	77	399

Tab. 5-4 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade

Abb. 5-37 zeigt die Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Bewehrungsgrade. Dabei wurden die Bewehrungsgrade in 20er Klassen eingeteilt, die wie folgt definiert wurden:

- Klasse 80: Anzahl der Ergebnisse kleiner gleich 80
- Klasse 100: Anzahl der Ergebnisse in der Klasse 81-100
- etc.

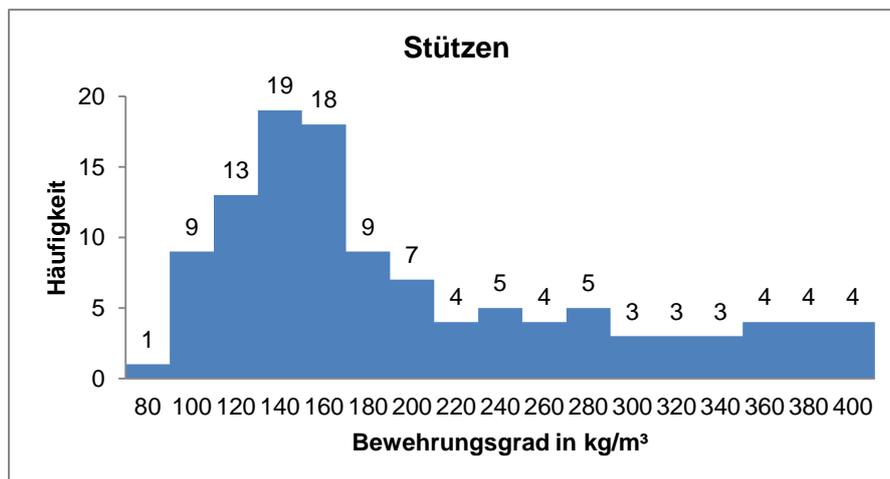


Abb. 5-37 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Stützen

Durch die Verteilung wird deutlich, dass sich die Bewehrungsgrade in einem großen Spektrum befinden. Auf rein statistischer Basis lassen sich somit noch keine zufriedenstellenden Richtwerte für den Bewehrungsgrad einzelner Stützen angeben. Deshalb werden die gesammelten Daten weiter untersucht, um wiederum eine Abhängigkeit zwischen bestimmten Parametern und Bewehrungsmengen festzustellen.

5.3.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade

Wie bereits in Kap. 5.1 (Decken) und Kap. 5.2 (Balken) werden auch hier zuerst die Bewehrungsgrade auf die einzelnen Parameter bezogen, um zum einen möglichen Einfluss des jeweiligen Parameters zu erkennen und zum anderen einen Überblick über dessen Größenspektrum zu erhalten. Wie jedoch Kap. 5.1 und 5.2 zeigen, liefert erst die Kombination mehrerer Parameter ein zufriedenstellendes Ergebnis.

5.3.2.1 Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung

Das folgende Diagramm zeigt den Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung.

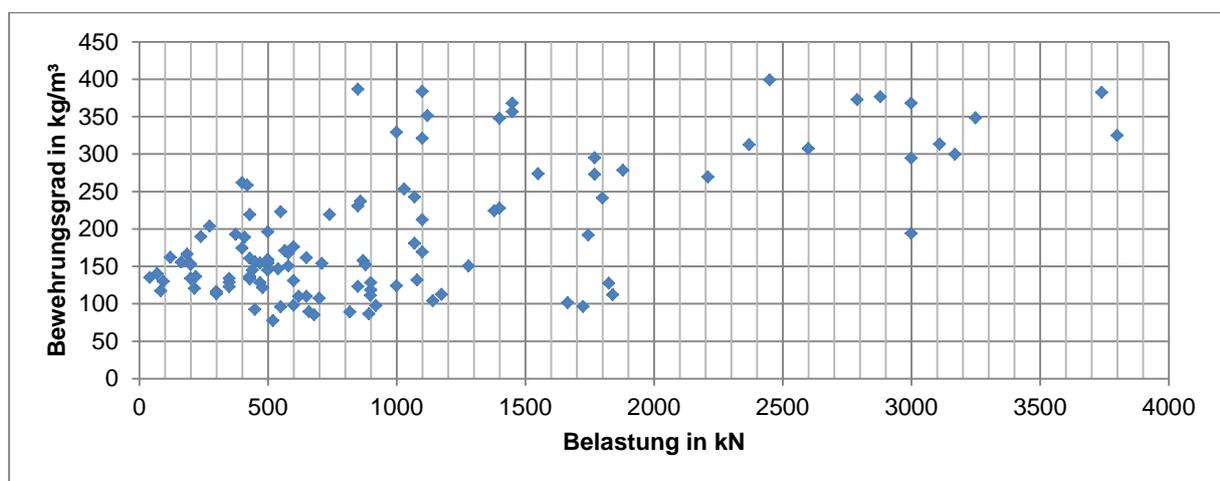


Abb. 5-38 Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung

Hier ist kein direkter Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Belastung zu erkennen, wobei ein leichter Aufwärtstrend des Bewehrungsgrades bei Zunahme der Belastung zu erahnen ist. Möglicherweise liefert eine Kombination der Belastung mit weiteren Parametern ein besseres Ergebnis.

5.3.2.2 Bewehrungsgrad bezogen auf die Stützhöhe

Die folgende Abbildung zeigt den Bewehrungsgrad bezogen auf die Stützhöhe.

Dabei lässt sich auch ein leichter Aufwärtstrend des Bewehrungsgrades bei Zunahme der Stützhöhe erahnen.

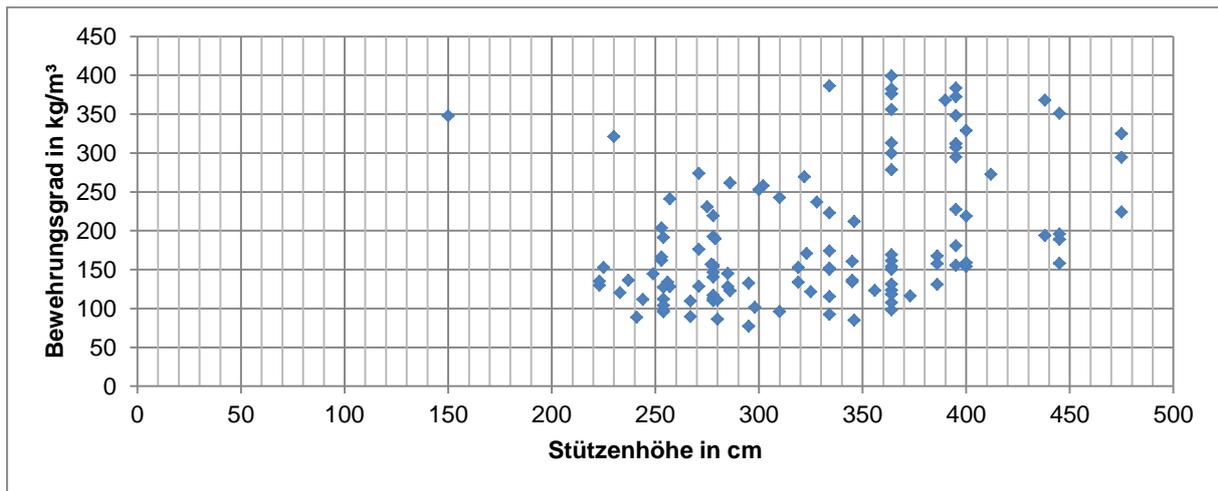


Abb. 5-39 Bewehrungsgrad bezogen auf die Stützhöhe

Zu erwähnen sei an dieser Stelle, dass die Stützhöhe bereits Einfluss auf den Bewehrungsgrad hat, nämlich bei der Berechnung des Bauteilvolumens. Dass trotz dieser Tatsache ein Aufwärtstrend des Bewehrungsgrades bei zunehmender Stützhöhe zu erkennen ist, weist auf einen deutlichen Einfluss der Höhe auf die Bewehrungsmenge hin.

In weiterer Folge scheint es nicht sinnvoll den Bewehrungsgrad auf die **Querschnittsfläche** zu beziehen, da diese ohnehin schon bei Berechnung des Bewehrungsgrades einfließt.

5.3.2.3 Bewehrungsgrad bezogen auf das Produkt aus Belastung und Stützhöhe

Um den Einfluss von Stützhöhe und Belastung in Kombination zu untersuchen, wurde der Bewehrungsgrad auf das Produkt von Stützweite und Belastung bezogen.

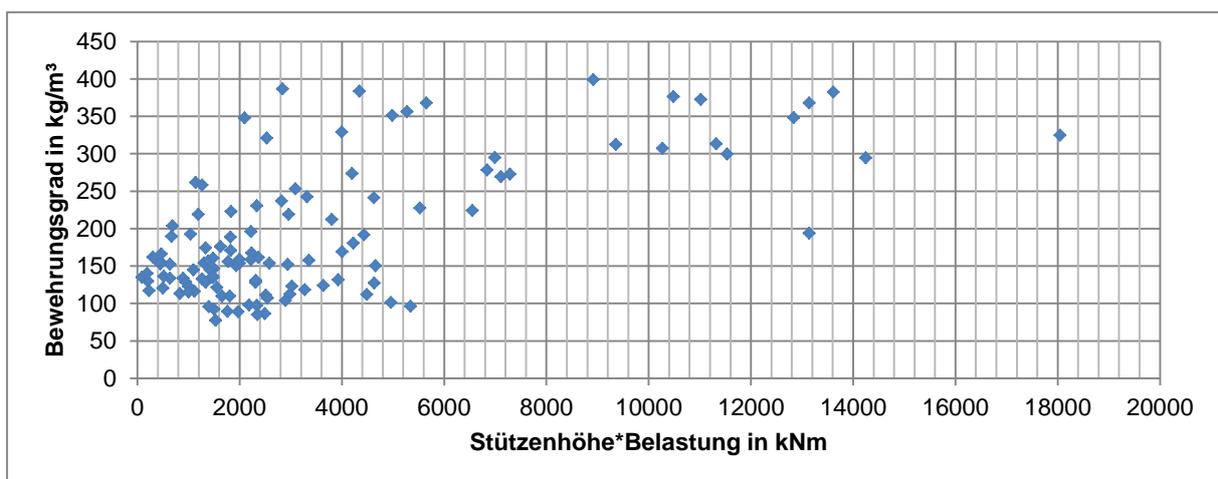


Abb. 5-40 Bewehrungsgrad bezogen auf Stützhöhe*Belastung

Das Produkt dieser beiden Parameter liefert noch kein zufriedenstellendes Ergebnis, da noch keine deutliche Korrelation zwischen ihnen und Bewehrungsgrad besteht.

Dabei stellt sich auch hier die Frage, ob sich im Zusammenhang mit dem Bewehrungsgrad (Quotient aus Bewehrungsmenge und Bauteilvolumen) überhaupt ein besseres Ergebnis erzielen lässt.

Deshalb wird im Folgenden untersucht, ob die Einführung einer anderen Größe an Stelle des Bewehrungsgrades sinnvoll ist.

5.3.3 Übergang zum Begriff „gesamte Bewehrungsmenge“

Bereits bei der Sammlung der Daten fiel auf, dass bei zum Teil recht unterschiedlichen Bewehrungsgraden, die gesamte in der Stütze enthaltene Bewehrungsmenge sich zum Teil nicht so sehr voneinander unterscheiden.

Es soll also untersucht werden, ob sich in Bezug auf die **gesamte Bewehrungsmenge** ein besseres Ergebnis erzielen lässt.

Damit soll eine Basis geschaffen werden, die frei von möglichen Einflussgrößen ist, um etwaige Korrelation zwischen Bewehrungsmenge und jeweiliger Einflussgröße besser zu erkennen. Wie zuvor schon erwähnt, fließen bei der Berechnung des Bewehrungsgrades Stützhöhe und Querschnittsfläche ein. Dies erschwert jedoch eine Aussage inwiefern die genannten Parameter Einfluss auf den tatsächlichen Bewehrungsgehalt haben.

5.3.3.1 Statistische Auswertung der gesamten Bewehrungsmengen

Folgende Tabelle zeigt die statistischen Kennwerte, die in den Stützen enthaltenen Bewehrungsmengen.

SYSTEM	STICHPROBEN	MITTELWERT	STANDARDABW.	MIN	MAX
[-]	[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Stützen	115	63	51,7	17	245

Tab. 5-5 Statistische Kennwerte der gesamten Bewehrungsmengen

Abb. 5-41 zeigt die Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Bewehrungsmengen. Dabei wurden die Bewehrungsmengen in 20er Klassen eingeteilt, die wie folgt definiert wurden:

- Klasse 20: Anzahl der Ergebnisse kleiner gleich 20
- Klasse 40: Anzahl der Ergebnisse in der Klasse 21-40
- etc.

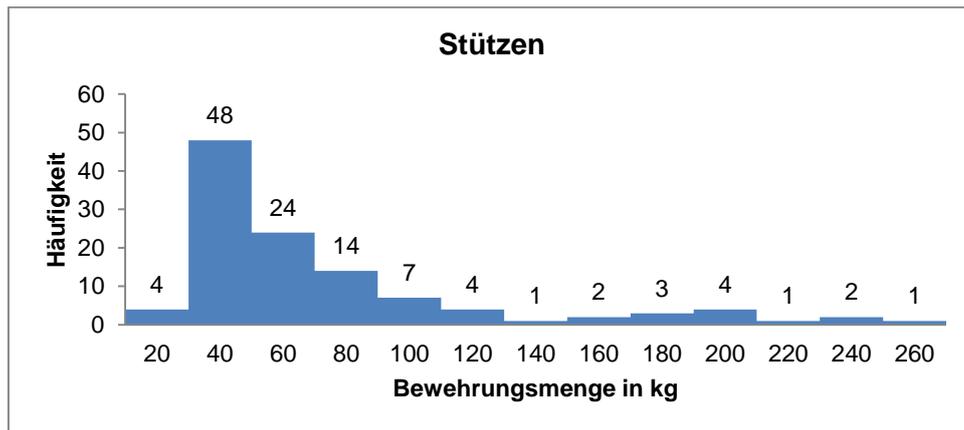


Abb. 5-41 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsmengen von Stützen

In der nachstehenden Abbildung wurden die Bewehrungsmengen in 10er Klassen eingeteilt. Diese Verfeinerung soll dabei helfen, um den Sachverhalt genauer beschreiben zu können.

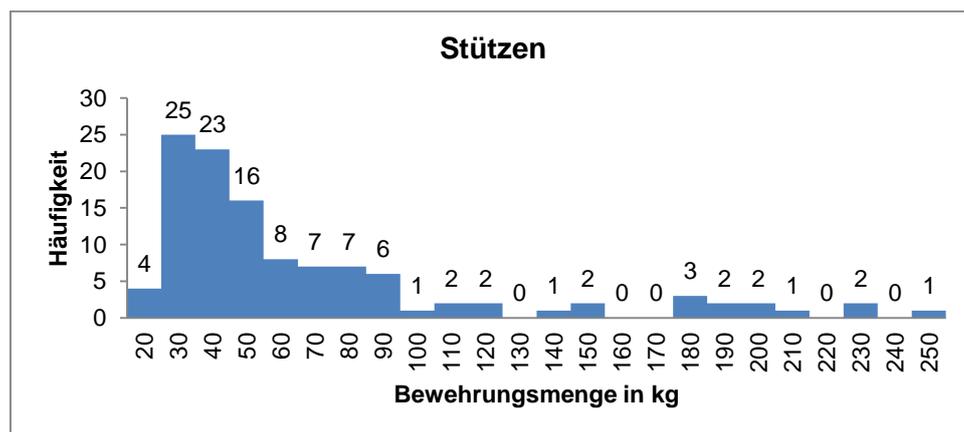


Abb. 5-42 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsmengen in 10er Klassen

Anhand dieser Verteilung lässt sich erkennen, dass 80% aller Stichproben Bewehrungsmengen zwischen 20 und 90 kg aufweisen, was noch immer, vor allem prozentuell gesehen ein recht großes Intervall darstellt (100-450%). Aus diesem Grund werden weitere Einflüsse auf die Bewehrungsmenge untersucht.

5.3.3.2 Bewehrungsmenge bezogen auf Belastung und Stützhöhe

Zuerst sollen die Einflüsse von Stützhöhe und Belastung einzeln und anschließend wiederum eine Kombination beider Einflüsse auf die **gesamte** in der Stütze enthaltene **Bewehrungsmenge (in kg)** untersucht werden.

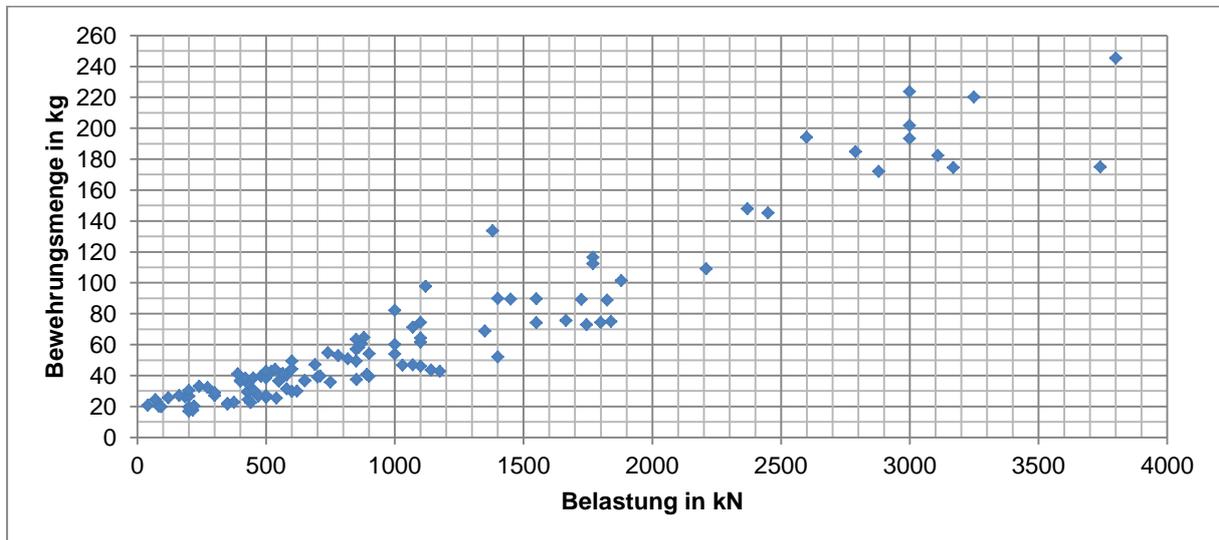


Abb. 5-43 Bewehrungsmenge bezogen auf die Belastung

Hier ist bereits eine deutliche Korrelation zwischen Bewehrungsmenge und Belastung zu erkennen.

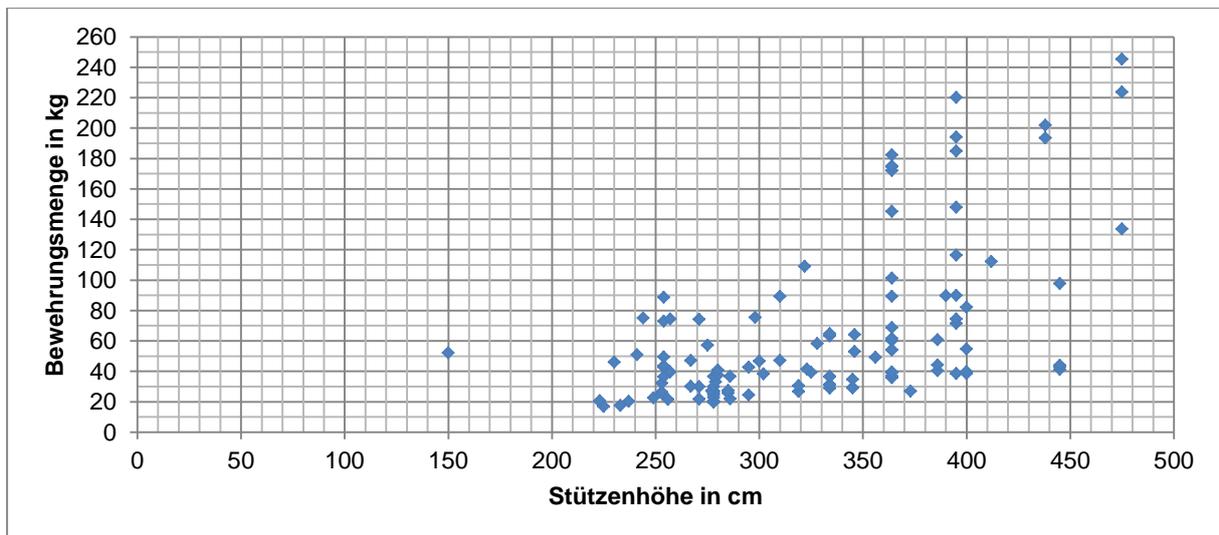


Abb. 5-44 Bewehrungsmenge bezogen auf die Stützhöhe

Auch hier lässt sich ein Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge und Stützhöhe erkennen. Dies rührt einerseits daher, dass aufgrund zunehmender Höhe auch eine erhöhte Anzahl von Bügel sowie eine längere Längsbewehrung einzubauen ist und andererseits,

dass mit zunehmender Höhe eine größere Knickgefahr besteht und dieser Gefahr mit Erhöhung der Bewehrungsmenge begegnet wird.

Nun soll wiederum die Bewehrungsmenge auf das Produkt von Stützhöhe und Belastung bezogen werden, um beide Einflüsse gleichzeitig zu berücksichtigen. Zusätzlich wurde eine lineare Regressionsgerade hinzugefügt.

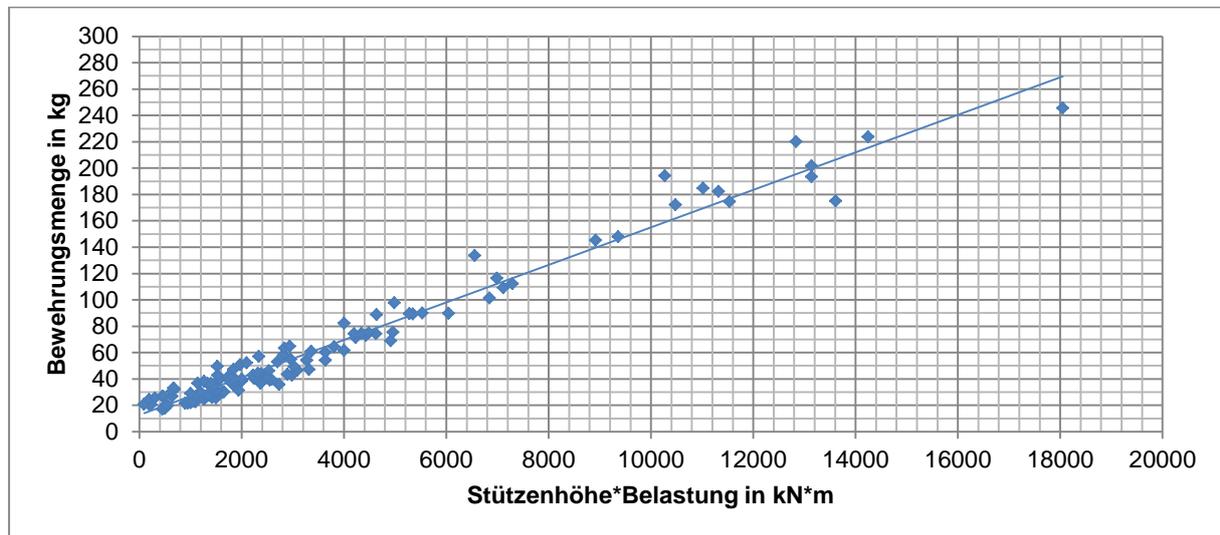


Abb. 5-45 Bewehrungsmenge bezogen auf Stützhöhe*Belastung

Hier ist eine deutliche Korrelation zwischen Bewehrungsmenge und Produkt von Stützhöhe und Belastung zu erkennen. Die Wertepaare streuen deutlich weniger als dies bei Abb. 5-43 und Abb. 5-44 der Fall ist. Aus diesem Grund bildet dieses Diagramm die Grundlage für weitere Bearbeitungsschritte zur Abschätzung der Bewehrungsmengen.

5.3.4 Ausarbeitung der Richtwerte für die Bewehrungsmengen

Da die statistischen Kennwerte sowie die Häufigkeitsverteilung keine genauen Ergebnisse zur Abschätzung der Bewehrungsmengen liefern, soll die Abschätzung auf der in Abb. 5-45 ersichtlichen Korrelation zwischen Bewehrungsmenge, Stützhöhe und Belastung basieren.

5.3.4.1 Abschätzung der Bewehrungsmengen für Stützen

In nachstehender Abbildung sind die Wertepaare von allen Stützen mit der Regressionsgeraden dargestellt.

Die strichlierten Linien stellen die obere und untere Abweichung von der Regressionsgeraden dar, in denen sich über 95 % aller Wertepaare befinden.

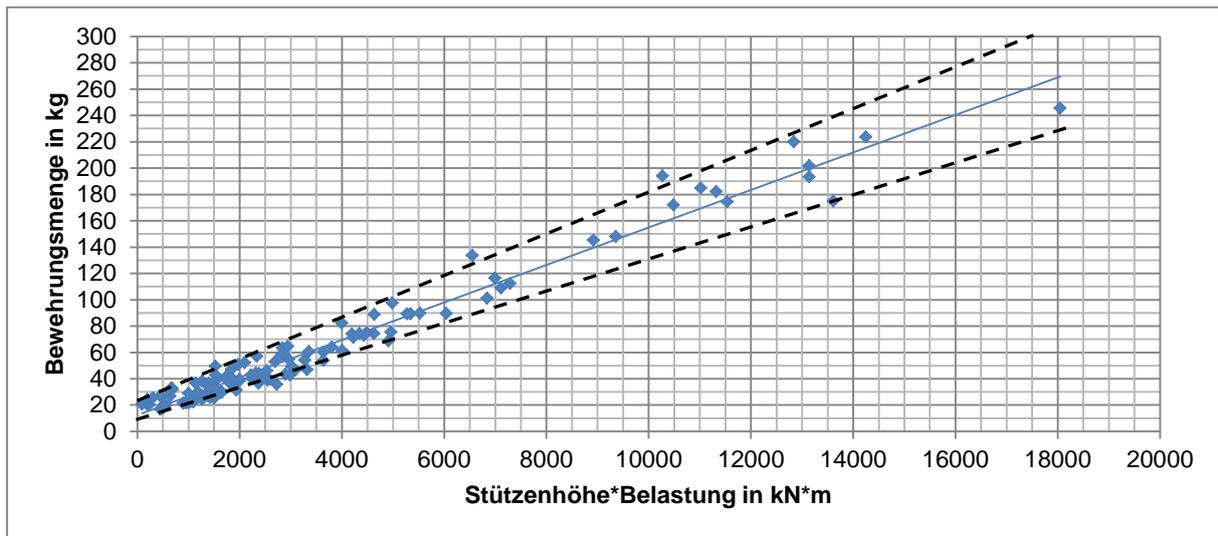


Abb. 5-46 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden

Dabei lässt sich erkennen, dass die maximalen und minimalen Abweichungen von der Regressionsgeraden bei größeren Werten zunehmen (auseinanderdriften der strichlierten Linien). Bei einem Wert von Stützhöhe*Belastung von z.B. 10000 kNm liegt die Bewehrungsmenge ca. im Bereich von 155 ± 25 kg, was einer Abweichung von etwa ± 16 % entspricht.

Um eine genauere Aussage über die Streuung der Bewehrungsmengen für kleine Biegemomente treffen zu können, wird im nächsten Diagramm der Bereich zwischen 0 und 6000 kNm vergrößert dargestellt. Des Weiteren ist zu sagen, dass sich die meisten Wertepaare der Stichproben in diesem Bereich befinden.

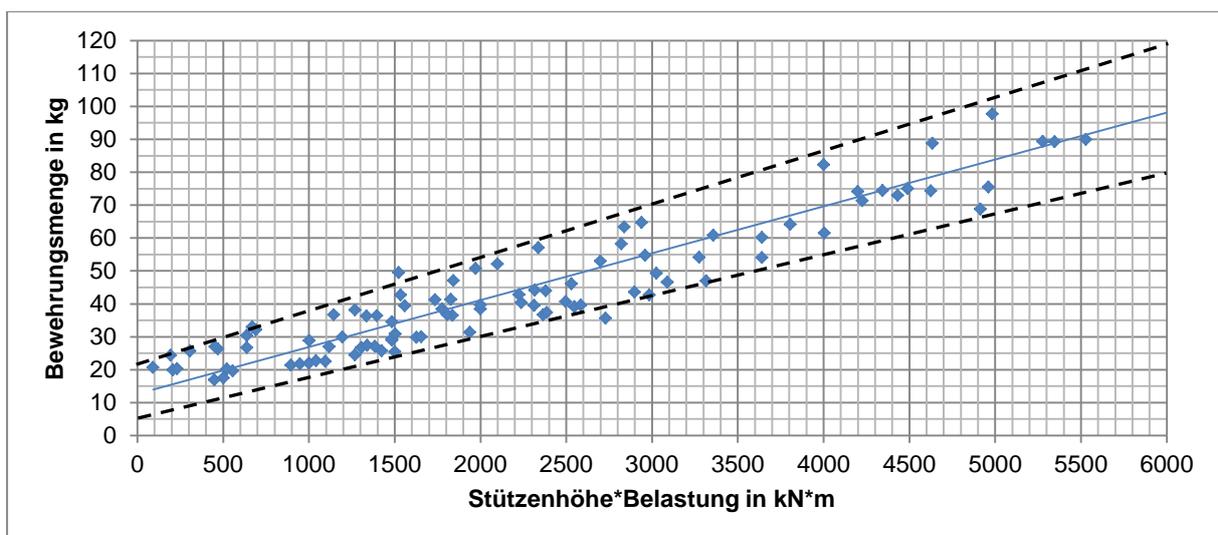


Abb. 5-47 vergrößerte Darstellung der maximalen Abweichungen

Dabei lässt sich erkennen, dass bei einem Wert von 500 kNm, die Bewehrungsmenge bei ca. 20 ± 9 kg liegt, was einer Abweichung von etwa ± 45 % entspricht.

Bei 1500 kNm ergibt liegt die Bewehrungsmenge bei ca. 35 ± 10 kg (± 29 %), bei 3000 kNm bei ca. 55 ± 14 kg (± 25 %) und bei 6000 kNm bei ca. 98 ± 18 kg (± 18 %).

Prozentuell betrachtet kommt es also bei einer Zunahme der Werte nicht zu einer Zunahme der Streuung der Bewehrungsmengen sondern zu einer Abnahme.

In Abb. 5-48 und Abb. 5-49 sind die Linien aus Abb. 5-46 und Abb. 5-47 ohne die Wertepaare aus den Stichproben dargestellt.

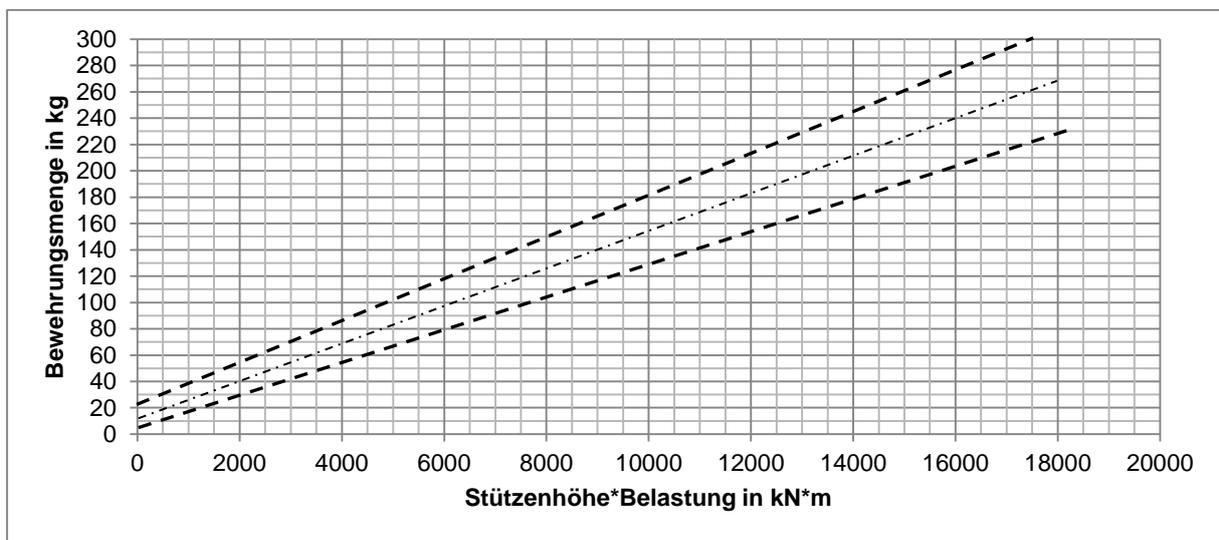


Abb. 5-48 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Stützen

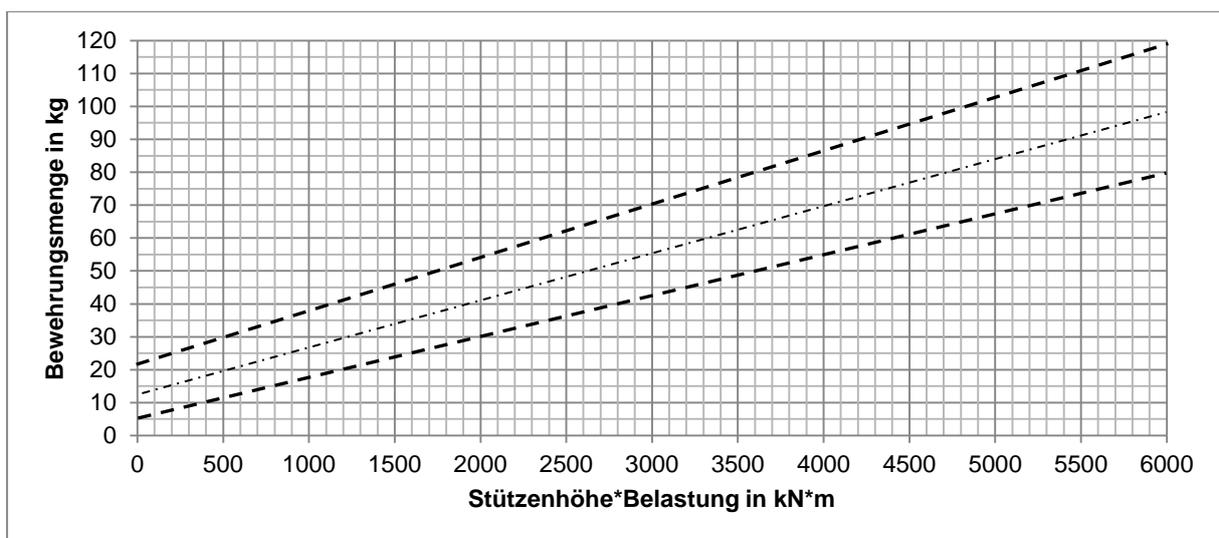


Abb. 5-49 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Stützen

Mithilfe dieser Abbildungen kann bei Kenntnis der Stützhöhe sowie der Belastung, die Bewehrungsmenge der jeweiligen Stütze bestimmt werden.

Durch die strichlierten Linien ergeben sich ein oberer und ein unterer Wert, also ein Intervall für die Bewehrungsmenge. Die Linien wurden bewusst strichliert dargestellt, da sich durchaus Werte außerhalb der Linien ergeben können und diese lediglich Richtwerte darstellen.

5.4 Wände

5.4.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade

Insgesamt wurden Daten von 110 Wänden in 32 verschiedenen Bauprojekten gesammelt. Bei der Berechnung der jeweiligen Bewehrungsgrade wurden sämtliche in der Wand enthaltenen Stahlmengen (Bewehrungsmatten, Bügel, Anschlussbewehrung, Abstandshalter, etc.) berücksichtigt.

Die folgende Tabelle zeigt die statistischen Kennwerte der Bewehrungsgrade.

SYSTEME	STICHPROBEN	MITTELWERT	STANDARDABW.	MIN	MAX
[-]	[-]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Tragende Wände	89	54	9,2	39	77
Wandscheiben	21	129	16,0	102	158
Insgesamt	110	68	31,4	39	158

Tab. 5-6 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade

Hier lässt sich erkennen, dass die Standardabweichung der einzelnen Systeme deutlich geringer ist als die Standardabweichung, bei der alle Systeme zusammengefasst sind. Außerdem unterscheiden sich die Mittelwerte von tragenden Wänden und Wandscheiben wesentlich voneinander. Dies lässt darauf schließen, dass eine Unterscheidung von tragenden Wänden und Wandscheiben sinnvoll ist.

Abb. 5-50 zeigt die Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Bewehrungsgrade, unterteilt in tragende Wände und Wandscheiben. Dabei wurden die Bewehrungsgrade in Klassen eingeteilt, die wie folgt definiert wurden:

- Klasse 40: Anzahl der Ergebnisse kleiner gleich 40
- Klasse 50: Anzahl der Ergebnisse in der Klasse 41-50
- etc.

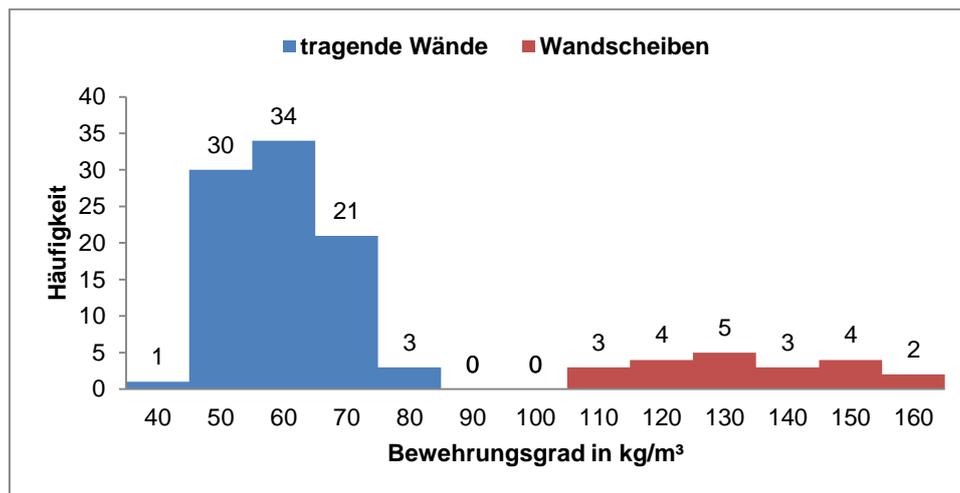


Abb. 5-50 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Wänden

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung aller Wände zusammen, so lässt sich kein genügend kleines Intervall für mögliche Bewehrungsgrade angeben, da die Werte eine zu hohe Streuung aufweisen. Der Bewehrungsgrad aller Wände zusammen liegt demzufolge zwischen 100 und 400%.

Einzel betrachtet jedoch, fällt auf, dass sich die tragenden Wände in den Klassen zwischen 40 und 80 befinden und die Wandscheiben zwischen 110 und 160. Basierend auf dieser Tatsache werden im nächsten Schritt geeignete Intervalle für Bewehrungsgrade der einzelnen Wandsysteme ausgearbeitet.

5.4.2 Ausarbeitung der Bewehrungsgradrichtwerte

Nun werden basierend auf den Häufigkeitsverteilungen Bewehrungsgradrichtwerte für tragende Wände und Wandscheiben ausgearbeitet.

5.4.2.1 Abschätzung des Bewehrungsgrades für tragende Wände

Der Stichprobenumfang von den tragenden Wänden beträgt 89. Der Mittelwert μ dieser Stichproben beträgt etwa 54 kg/m^3 und die Standardabweichung σ etwa $9,2 \text{ kg/m}^3$. Die Werte der Stichproben variieren von 39 kg/m^3 (Minimum) bis 77 kg/m^3 (Maximum), was einem Intervall von 100 - 197% entspricht.

In nachstehender Abbildung ist die Häufigkeitsverteilung, unterteilt in 5er Klassen, dargestellt.

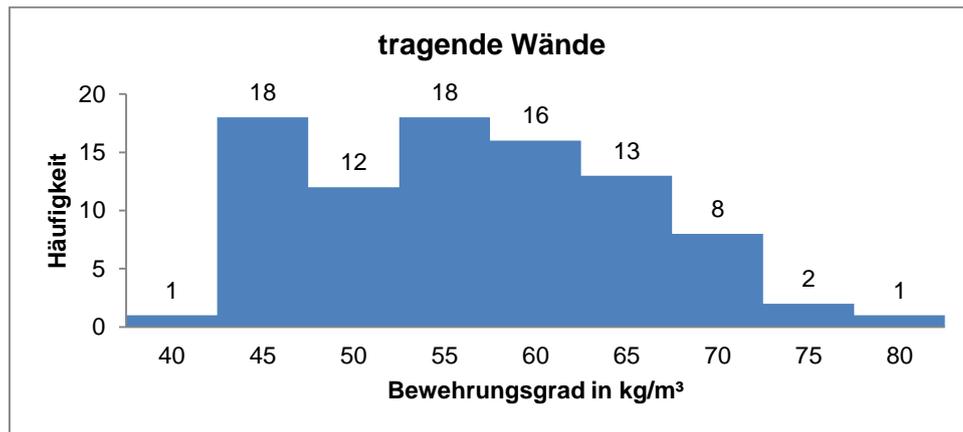


Abb. 5-51 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von tragenden Wänden

Anhand dieser Häufigkeitsverteilung lässt sich erkennen, dass 85 der insgesamt 89 Stichproben (>95%) in den Klassen 45 - 70 vorzufinden sind. Dies würde also einem 95 % - Konfidenzintervall von 40 – 70 kg/m³ entsprechen.

Bewehrungsgrade für tragende Wände sind demzufolge im Bereich von **40 – 70 kg/m³** anzutreffen, was einem prozentuellen Intervall von **100 – 170 %** entspricht bzw. einer Abweichung von etwa **±27 %** um den Mittelwert.

5.4.2.2 Abschätzung des Bewehrungsgrades für Wandscheiben

Der Stichprobenumfang von den Wandscheiben beträgt 21. Der Mittelwert μ dieser Stichproben beträgt etwa 129 kg/m³ und die Standardabweichung σ etwa 16,0 kg/m³. Die Werte der Stichproben variieren von 102 kg/m³ (Minimum) bis 158 kg/m³ (Maximum), was einem Intervall von 100 - 155% entspricht.

Abb. 5-52 zeigt die Häufigkeitsverteilung unterteilt in 5er Klassen.

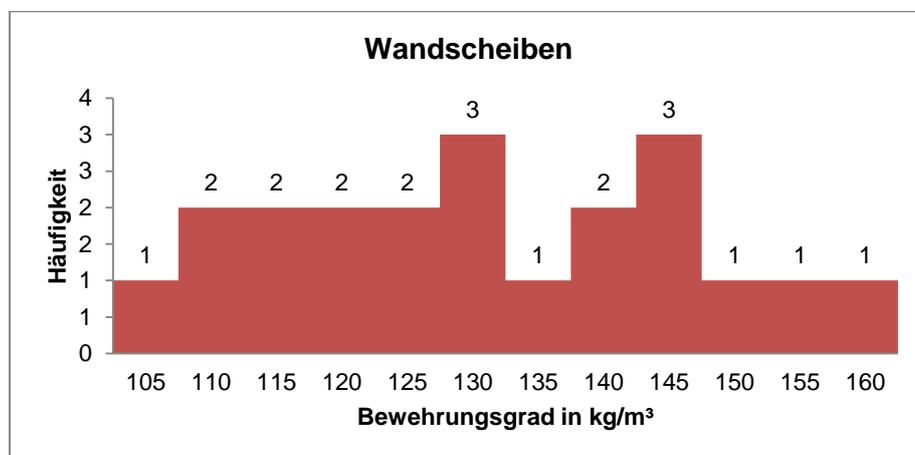


Abb. 5-52 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Wandscheiben

Aufgrund des vergleichsweise geringen Stichprobenumfangs wird hier kein 95 % - Konfidenzintervall eingeführt, da dieses ein Wegfallen von nur einer Stichprobe zuließe. 100 % aller Stichproben sind somit in den Klassen 105 - 160 vorzufinden.

Aus diesem Grund kann die Aussage getroffen werden, dass Bewehrungsgrade für Wandscheiben im Bereich von **100 – 160 kg/m³** anzutreffen sind, was einem prozentuellen Intervall von **100 – 160 %** entspricht bzw. einer Abweichung von etwa **±23 %** um den Mittelwert.

5.5 Fundamente

5.5.1 Statistische Auswertung der Bewehrungsgrade

Insgesamt wurden Daten von 107 Fundamenten in 14 verschiedenen Bauprojekten gesammelt. Dabei handelt es sich um Einzel- und Streifenfundamente.

Bei der Berechnung der jeweiligen Bewehrungsgrade wurden sämtliche im Fundament enthaltenen Stahlmengen (Längsbewehrung, Querbewehrung, Anschlussbewehrung, etc.) berücksichtigt.

Die folgende Tabelle zeigt die statistischen Kennwerte der Bewehrungsgrade.

SYSTEME	STICHPROBEN	MITTELWERT	STANDARDABW.	MIN	MAX
[-]	[-]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
Einzelfund.	66	49	14,6	23	83
Streifenfund.	41	40	8,5	17	64
Insgesamt	107	45	13,4	17	83

Tab. 5-7 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade

Die nachstehenden Abbildungen zeigen die Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Bewehrungsgrade. Dabei wurden die Bewehrungsgrade in Klassen eingeteilt, die wie folgt definiert wurden:

- Klasse 20: Anzahl der Ergebnisse kleiner gleich 20
- Klasse 30: Anzahl der Ergebnisse in der Klasse 21-30
- etc.

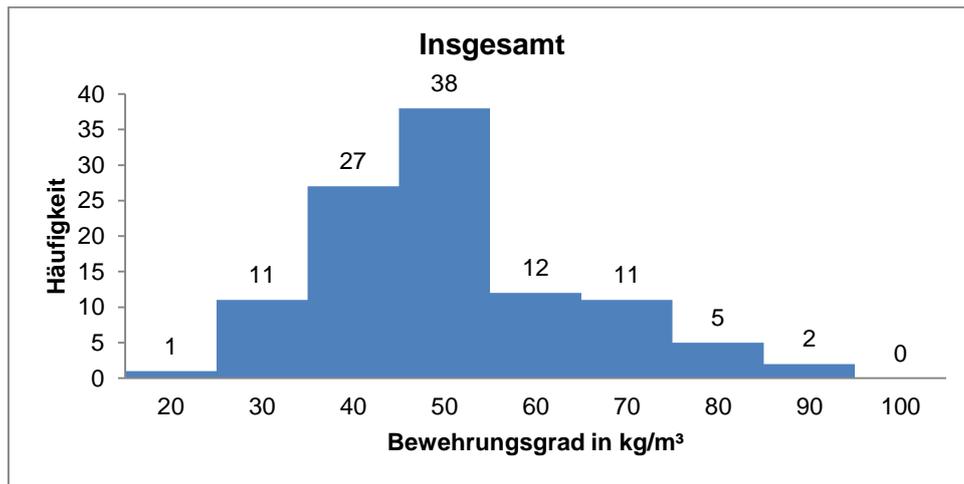


Abb. 5-53 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Einzel- und Streifenfund.

Laut dieser Verteilung lässt sich sagen, dass über 95 % aller Stichproben sich in den Klassen 30 – 80 befinden. Dies entspricht einem Intervall von 20 – 80 kg/m³ (100 – 400 %), was ein nicht hinreichend genaues Ergebnis darstellt.

Unterteilt in Einzel- und Streifenfundamente ergeben sich folgende Verteilungen.

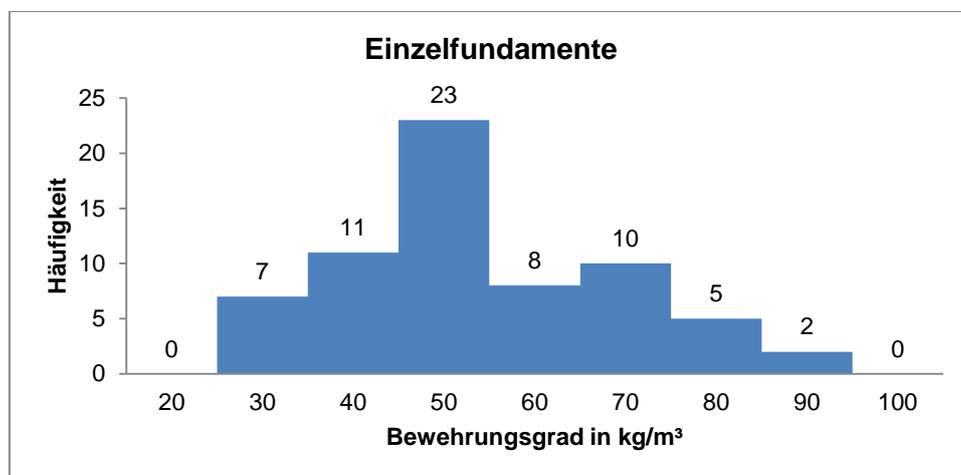


Abb. 5-54 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Einzelfundamenten

Hier ist die Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade ähnlich der aus Abb. 5-53. Auch hier kann lediglich ein 95 % - Konfidenzintervall von 20 – 80 kg/m³ angegeben werden. Es sind also weitere Untersuchungen erforderlich, um genauere Bewehrungsgradrichtwerte von Einzelfundamenten angeben zu können.

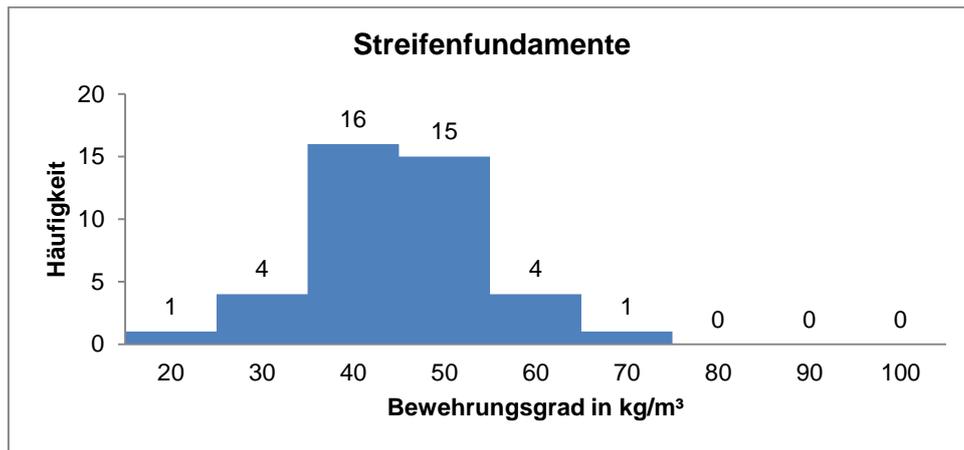


Abb. 5-55 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Streifenfundamenten

Hier befinden sich über 95 % der Stichproben in den Klassen 30 – 60, was ein etwas kleineres Intervall als bei den Einzelfundamenten darstellt.

Um dieses Intervall noch weiter einzugrenzen, werden in der nächsten Abbildung die Bewehrungsgrade in 5er Klassen eingeteilt.

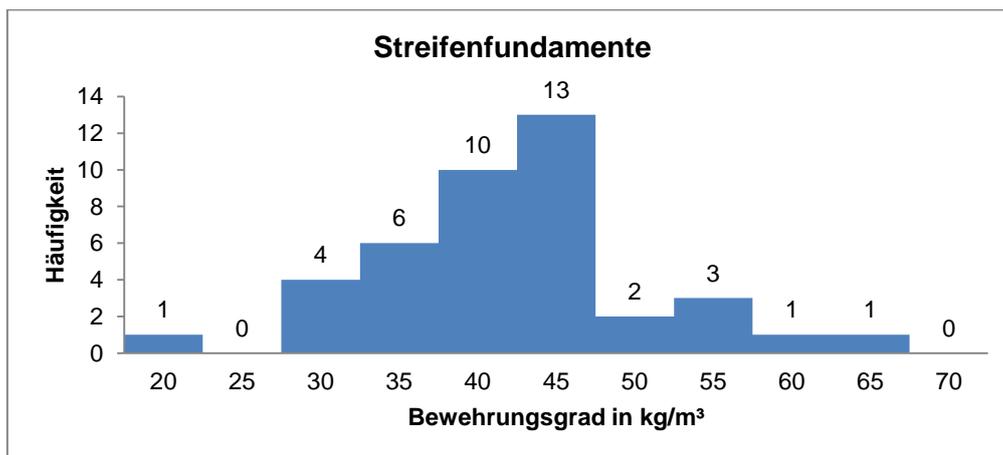


Abb. 5-56 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Streifenfundamenten (5er Kl.)

Auch hier sind 95 % der Stichproben in den Klassen 30 – 60 vorzufinden, was in diesem Fall einem Intervall von **25 – 60 kg/m³** entspricht (**100 – 240 %**). Dies kann zwar zur ersten Abschätzung des Bewehrungsgrades herangezogen werden, um genauere Abschätzungsergebnisse zu erzielen, sind allerdings weitere Untersuchungen notwendig.

5.5.2 Weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade

Da sich die Einflussgrößen von Einzel- und Streifenfundamenten in ihren Einheiten meistens unterscheiden, werden die Fundamente im Folgenden getrennt voneinander untersucht.

5.5.2.1 Einzelfundamente - Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung

Das folgende Diagramm zeigt den Bewehrungsgrad von Einzelfundamenten bezogen auf die jeweilige Belastung.

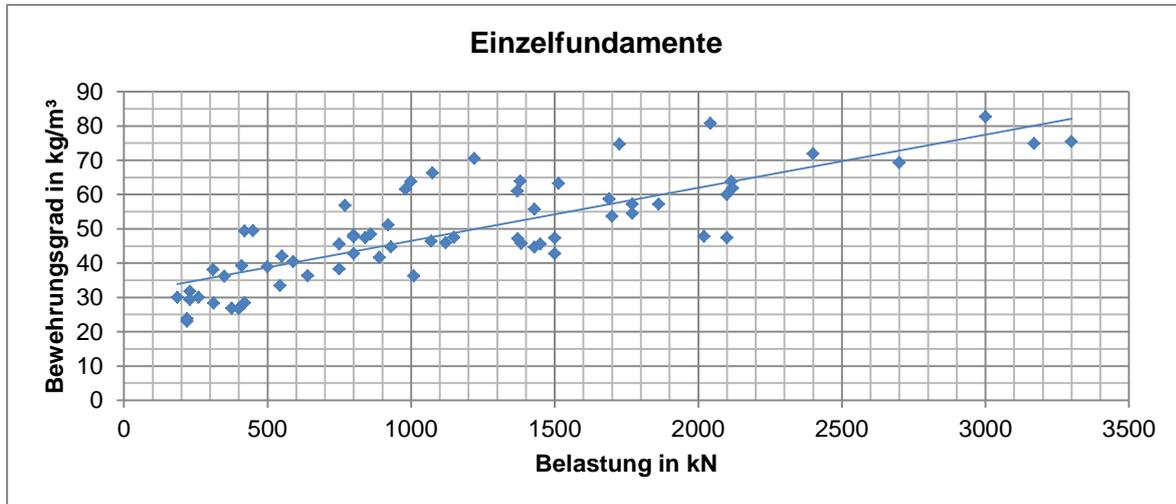


Abb. 5-57 Bewehrungsgrad von Einzelfundamenten bezogen auf die Belastung

Dabei ist bereits ein deutlicher Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Belastung zu erkennen und dies würde schon eine recht solide Basis für weitere Bearbeitungsschritte zur Abschätzung des Bewehrungsgrades liefern.

In weiterer Folge soll jedoch der Einfluss der Fundamenthöhe auf den Bewehrungsgrad untersucht werden.

5.5.2.2 Einzelfundamente – Bewehrungsgrad bezogen auf die Fundamenthöhe

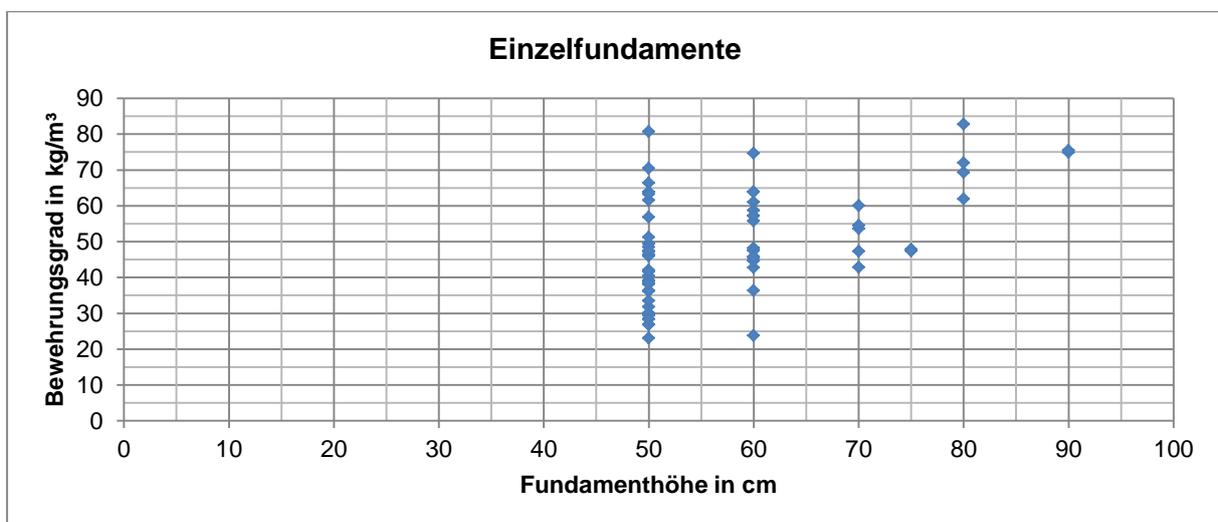


Abb. 5-58 Bewehrungsgrad von Einzelfundamenten bezogen auf die Höhe

In Abb. 5-58 lässt sich zwar kein Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Fundamenthöhe erkennen. Rein theoretisch jedoch hat eine Vergrößerung der Fundamenthöhe eine geringere erforderliche Bewehrungsmenge zur Folge. Aus diesem Grund wird nachstehend der Bewehrungsgrad auf den Quotienten aus Belastung und Fundamenthöhe bezogen.

5.5.2.3 Einzelfundamente – Bewehrungsgrad bezogen auf Belastung/Höhe

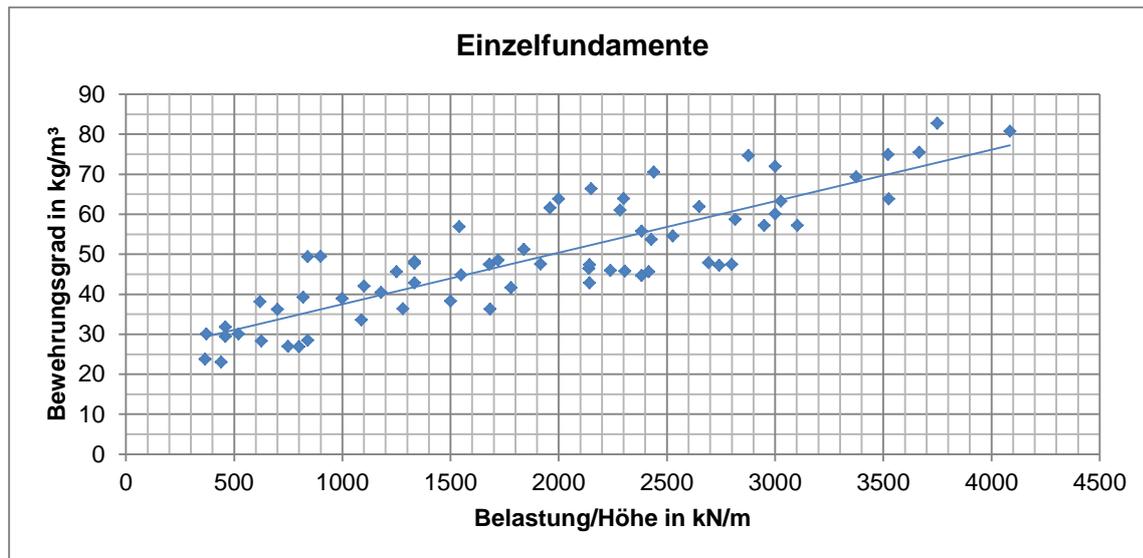


Abb. 5-59 Bewehrungsgrad von Einzelfundamenten bezogen auf Belastung/Höhe

Verglichen mit Abb. 5-57 ist zwar kein großer, aber dennoch ein erkennbarer Unterschied hinsichtlich der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden vorhanden. Aufgrund der geringeren Abweichungen und der vorhandenen Korrelation bildet dieses Diagramm die Grundlage zur weiteren Ausarbeitung der Bewehrungsgradrichtwerte von Einzelfundamenten.

5.5.2.4 Streifenfundamente – Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung

Abb. 5-60 zeigt den Bewehrungsgrad von Streifenfundamenten bezogen auf die jeweilige Belastung. Dabei ist allerdings kein direkter Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und Belastung zu erkennen.

Da es sich bei Streifenfundamenten, ähnlich wie beim Balken, um Bauteile handelt, deren Länge ein Mehrfaches deren Höhe und Breite entspricht, ist möglicherweise ein Übergang vom Begriff „Bewehrungsgrad“ auf den Begriff „Bewehrungsmenge/lfm“ zielführend.

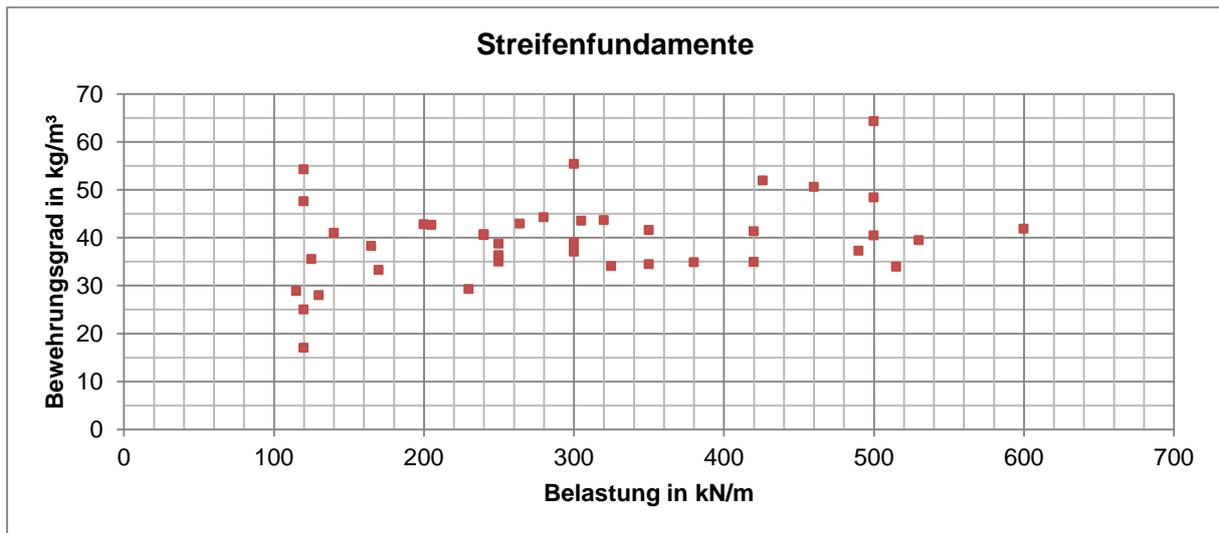


Abb. 5-60 Bewehrungsgrad von Streifenfundamenten bezogen auf die Belastung

5.5.2.5 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Belastung

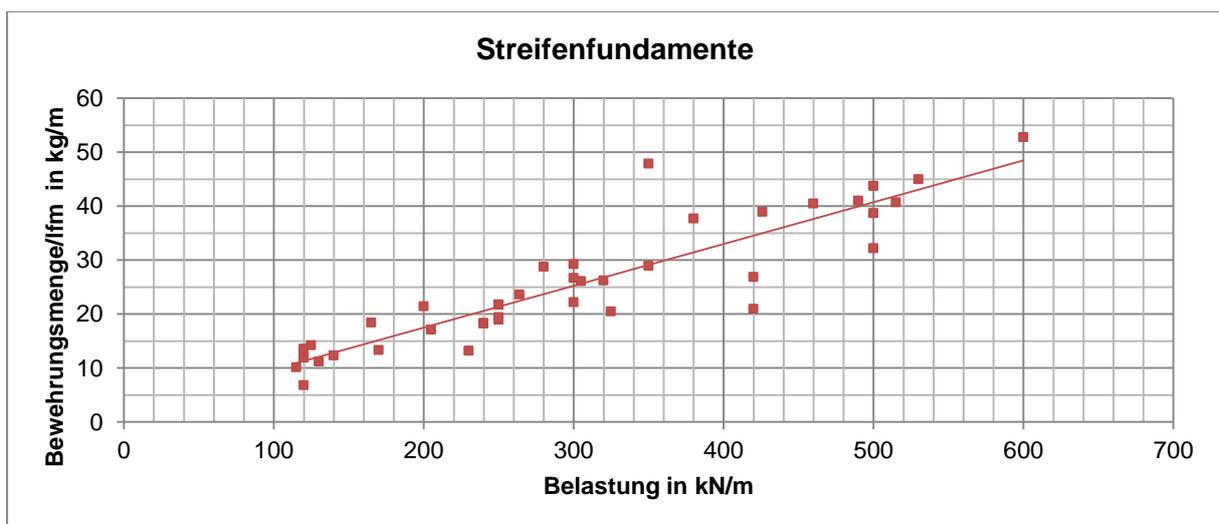


Abb. 5-61 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Belastung

Nun lässt sich eine deutliche Korrelation zwischen Bewehrungsmenge/lfm und Belastung erkennen.

Da bei der Bewehrungsmenge/lfm die Fundamentbreite nicht einfließt, diese aber im Gegensatz zum Balken eine recht variable Größe darstellt, da sie von der Belastung und der maximal zulässigen Bodenpressung abhängt, soll in weiterer Folge der Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge und Fundamentbreite untersucht werden.

5.5.2.6 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Fundamentbreite

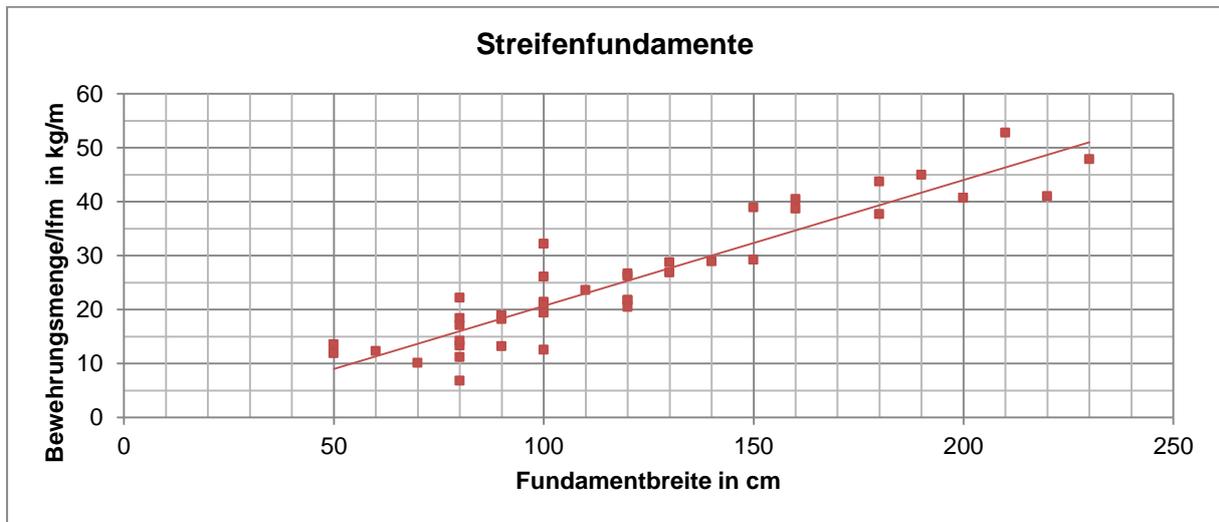


Abb. 5-62 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Fundamentbreite

Die Abbildung verdeutlicht, dass die Fundamentbreiten sehr unterschiedlich ausgeführt werden und dass ein großer Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge und Breite besteht.

Im Folgenden werden Fundamentbreite und Belastung in Kombination auf die Bewehrungsmenge bezogen. Dies geschieht mit dem Produkt aus Belastung und Fundamentbreite.

5.5.2.7 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf Belastung*Fundamentbreite

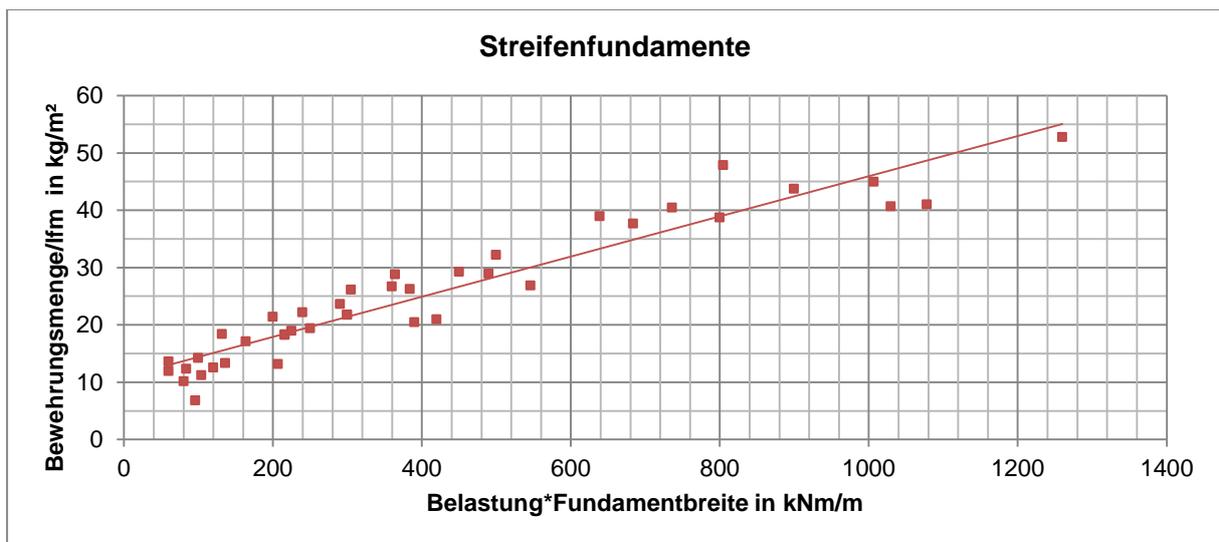


Abb. 5-63 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf Belastung*Fundamentbreite

Dabei zeigt sich, dass bei Kombination der beiden Einflussgrößen geringere maximale Abweichungen erzielt werden, als dies bei Abb. 5-61 und Abb. 5-62 der Fall ist.

5.5.3 Ausarbeitung der Richtwerte

Nun sollen Methoden zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Einzelfundamente bzw. der Bewehrungsmengen/lfm für Streifenfundamente, basierend auf den eben beschriebenen Korrelationen, ausgearbeitet werden.

Zur ersten Abschätzung sowohl für Einzel- als auch für Streifenfundamente wird auf die Häufigkeitsverteilungen in Kap. 5.5.1 verwiesen.

5.5.3.1 Abschätzung des Bewehrungsgrades für Einzelfundamente

In nachstehender Abbildung sind die Wertepaare den Einzelfundamente mit einer linearen Regressionsgeraden dargestellt.

Die strichlierten Linien stellen die obere und untere Abweichung von der Regressionsgeraden dar, in denen sich über 95 % aller Wertepaare befinden.

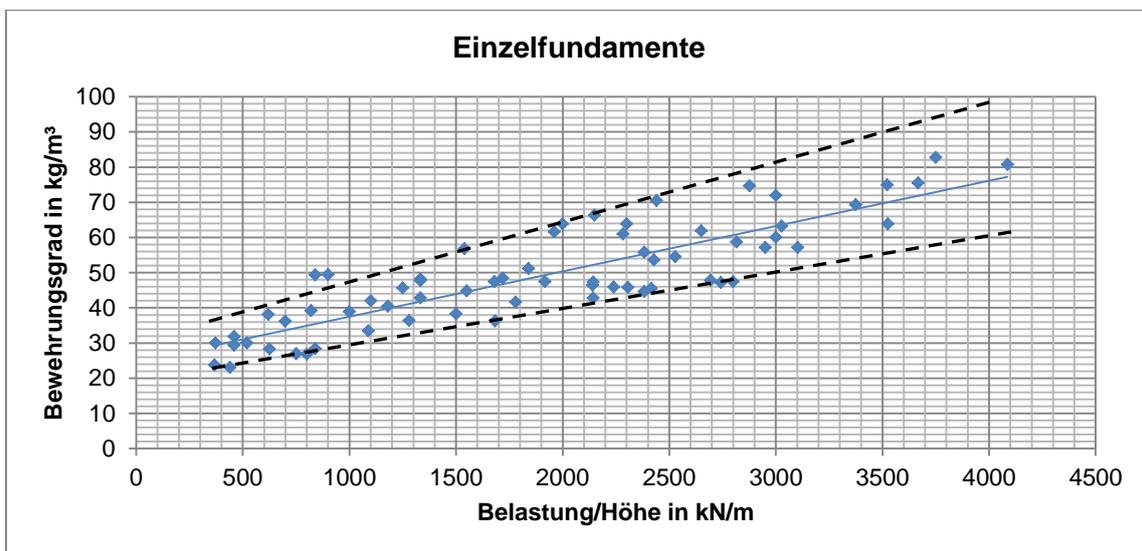


Abb. 5-64 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden

Bei einem Wert des Quotienten aus Belastung und Höhe von z.B. 500 kN/m liegt der Bewehrungsgrad etwa im Bereich von **24 - 38** kg/m³, was einem prozentuellen Intervall von etwa 100 – 158 % entspricht.

Bei einem Wert von 3000 kN/m ergibt sich ein Bewehrungsgrad von etwa **56 - 90** kg/m³ (100 – 160 %).

In Abb. 5-12 sind die Linien aus Abb. 5-11 ohne die Wertepaare aus den Stichproben dargestellt. Bei Kenntnis der ungefähren **Belastung** sowie der **Fundamenthöhe** kann der Bewehrungsgrad mithilfe dieses Diagramms abgeschätzt werden. Durch die strichlierten Linien ergeben sich ein oberer und ein unterer Wert, also ein Intervall für den Bewehrungsgrad. Die Linien wurden bewusst strichliert dargestellt, da sich unter bestimmten Umständen durchaus Werte außerhalb der Linien ergeben können und diese lediglich Richtwerte darstellen.

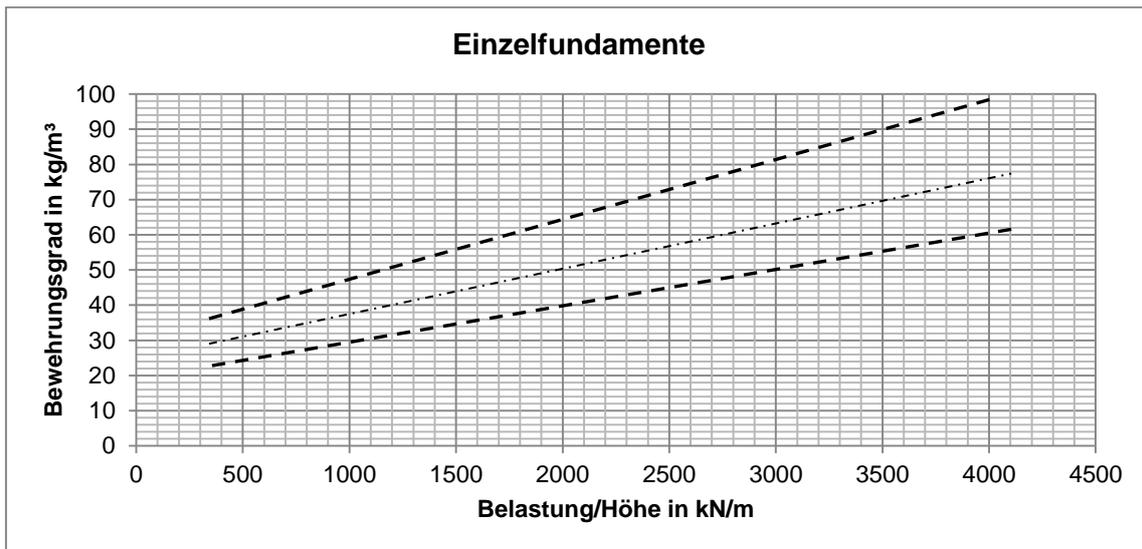


Abb. 5-65 Diagramm zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Einzelfundamente

5.5.3.2 Abschätzung der Bewehrungsmenge/lfm für Streifenfundamente

In Abb. 5-66 sind wiederum die Abweichungen von der Regressionsgeraden dargestellt, in denen sich über 95 % aller Wertepaare befinden.

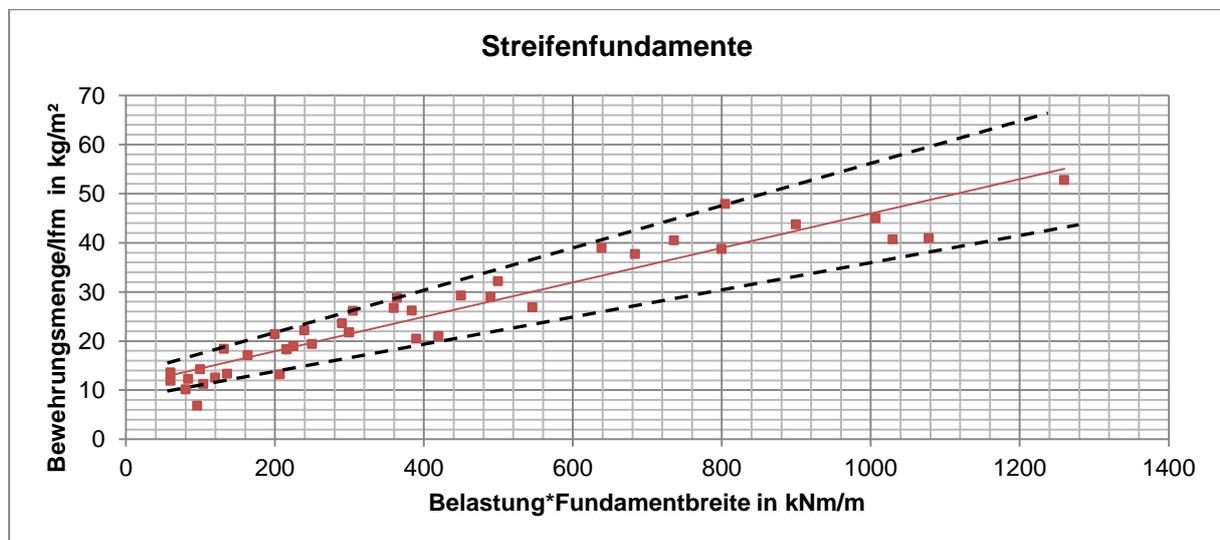


Abb. 5-66 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden

Bei einem Wert von Belastung*Fundamentbreite von z.B. 120 kNm/m liegt die Bewehrungsmenge/lfm etwa im Bereich von **12 - 18** kg/m^2 , was einem prozentuellen Intervall von etwa 100 – 150 % entspricht.

Bei einem Wert von 800 kNm/m ergibt sich eine Bewehrungsmenge/lfm von etwa **30 - 47** kg/m^2 (100 – 157 %).

Das folgende Diagramm zeigt wiederum die Abweichungen ohne die Wertepaare.

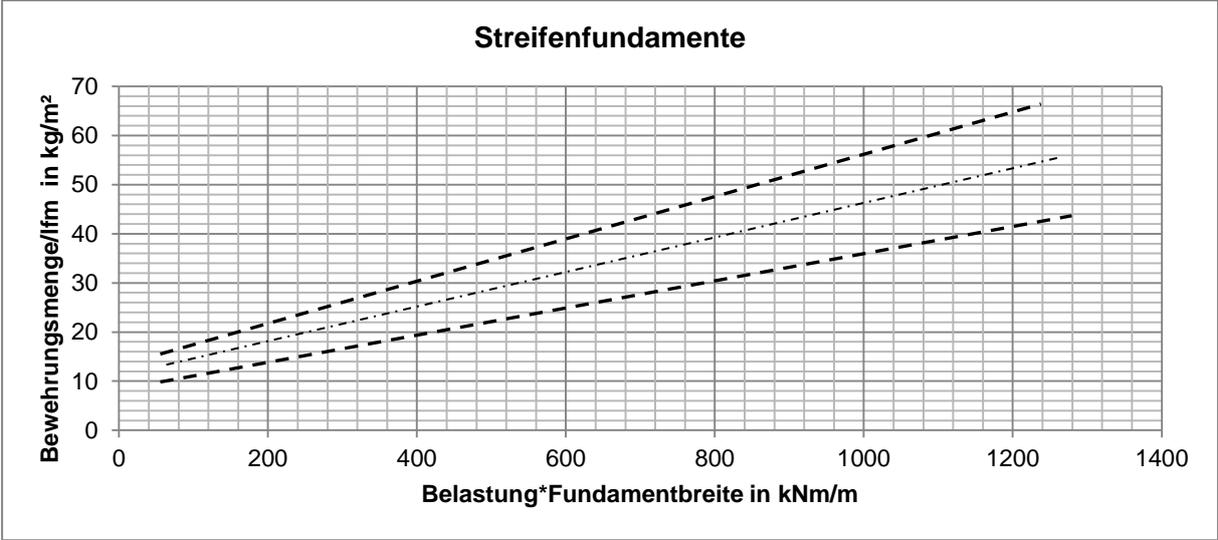


Abb. 5-67 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge/lfm für Streifenfundamente

6 Zusammenfassung der Bewehrungsgradrichtwerte

In diesem Kapitel werden zusammenfassend die Ergebnisse der Bewehrungsgradrichtwerte für die einzelnen Bauteile erläutert.

6.1 Decken

Nachstehende Tabelle zeigt zusammenfassend die Ergebnisse für Decken. Des Weiteren kann diese zur Abschätzung des Bewehrungsgrades herangezogen werden.

KATEGORIE [-]	A	B	C	D
EIGENSCHAFTEN [-]	einachsig, einfeldrig	einachsig, mehr- feldrig	zweichachsig, allseits gelagert	zweiachsig, nicht in C enthalten
BEWEHRUNGSGRD [kg/m ³]	siehe Abb.6-2	siehe Abb.6-4	50-100	k.A.
ANMERKUNG [-]	charakteristischen Flächenlasten g+q (exkl. Eigen- gewicht Stb- Decke) mit Wert, der sich für die Stützlänge ergibt, multiplizieren	charakteristischen Flächenlasten g+q (exkl. Eigen- gewicht Stb- Decke) mit Wert, der sich für die durchschnittliche Stützlänge ergibt, multiplizieren	genauere Ab- schätzung mit Hilfe von Vorsta- tik möglich und/oder auf- grund Erfah- rungswerten des Tragwerksplaners	für zuverläs- sige Ab- schätzung Vorstatik nötig.

Tab. 6-1 Bewehrungsgradrichtwerte für Decken im Hochbau

Dazu lässt sich sagen, dass Bewehrungsgrade der Kategorie A und B am besten einzuschätzen sind. Eine Vorstatik muss zur Abschätzung des Bewehrungsgrades noch nicht unbedingt vorhanden sein. Doch auch hier sei Vorsicht geboten, denn die Diagramme stellen lediglich Richtwerte dar und mögliche Umstände, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt sind, können die tatsächlich benötigte Stahlmenge beeinflussen. Für Kategorie C und besonders für D ist eine Vorstatik sehr zu empfehlen, da aufgrund der Komplexität der jeweiligen Deckensysteme nur schwer eine Abschätzung des Bewehrungsgrades erfolgen kann. Auch ob der einzelne Statiker im Allgemeinen eher dazu neigt „leicht“ oder „schwer“ zu bewehren kann einen wesentlichen Einfluss auf den Bewehrungsgrad haben. Es kommt also entscheidend auf den Einzelfall an.

6.2. Balken

Tab. 6-2 zeigt die Ergebnisse und Herangehensweise zur Abschätzung der Bewehrungsmengen für Balken.

SYSTEME [-]	EINFELDTRÄGER	DURCHLAUFTRÄGER	KRAGTRÄGER
BEWEHRUNG/LFM [kg/m]	siehe Abb. 5-32 und Abb. 5-33	siehe Abb. 5-35 und Abb. 5-36	siehe Abb. 5-32 und Abb. 5-33
M_{\max} [kNm]	$\frac{q * l_{eff}^2}{8}$	$\frac{q * l_{eff}^2}{8}$	$\frac{q * l_{eff}^2}{2}$
ANMERKUNG [-]	Mithilfe des maximalen Biegemoments , das sich aus durchschnittlicher Stützweite l_{eff} und gesamter charakteristischer Linienlast q ergibt, kann die Bewehrungsmenge/lfm unter Zuhilfenahme der Diagramme abgeschätzt werden.		

Tab. 6-2 Richtwerte der Bewehrungsmengen/lfm für Balken im Hochbau

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade in Abb. 5-18 und Abb. 5-19, so liefern diese keine genauen Abschätzungsergebnisse, da diese im Bereich von 100 bis zu über 300 % liegen. Da sich des Weiteren zwischen den Einflussgrößen und dem Bewehrungsgrad keine deutliche Korrelation herstellen ließ, wurde auf den Begriff Bewehrungsmenge/lfm übergegangen. Mit den Häufigkeitsverteilungen der Bewehrungsmengen/lfm allein, konnte zwar kein genaueres Abschätzungsergebnis erzielt werden, es wurde aber die Korrelation zwischen Bewehrungsmenge und Belastung, Stützweite bzw. maximalen Biegemoments deutlich. Die vorhandene Korrelation wurde genutzt und diente als Basis zur Ausarbeitung der Diagramme, die zur Abschätzung der Bewehrungsmengen/lfm herangezogen werden können. Mithilfe dieser Diagramme kann ein deutlich kleineres Intervall erzielt werden, als dies auf rein statistischer Basis möglich wäre.

Vor allem in frühen Phasen der Statik (Vorstatik), in der die Lasten der einzelnen Bauteile zwar schon im Groben vorhanden sind, die genaue Bewehrung aber noch nicht angegeben werden kann bzw. die Bewehrungspläne noch nicht gezeichnet sind, stellen die Diagramme eine hilfreiche Methode zur genaueren Abschätzung der später einzubauenden Bewehrungsmenge dar.

Zu einem Zeitpunkt, wo der Tragwerksplaner noch keine genaue Aussage über die Bauteillasten zu treffen kann, können die statistischen Kennwerte und Häufigkeitsverteilungen in Tab. 5-2, Abb. 5-18 und Abb. 5-19 als Richtwerte dienen.

6.3 Stützen

Die Auswertung der Bewehrungsgrade von Stützen hat ergeben, dass sich diese im Bereich von 80 – 400 kg/m³ befinden was ein prozentuelles Intervall von 100 – 500 % darstellt. Auf rein statistischer Basis kann deshalb kein zufriedenstellend genaues Ergebnis erzielt werden. Aus diesem Grund wurde versucht, Korrelation zwischen Bewehrungsgrad und verschiedener Einflussgrößen zu erkennen. Da sich bezogen auf den Bewehrungsgrad keine Zusammenhänge erkennen ließen, wurden in weiterer Folge mögliche Einflussgrößen auf die gesamte Bewehrungsmenge der Stütze bezogen, da im Gegensatz zum Bewehrungsgrad die Bewehrungsmenge nicht bereits im Vorhinein mit Einflussgrößen behaftet ist. Dabei stellte sich heraus, dass Korrelation zwischen Bewehrungsmenge, Stützenhöhe und Belastung besteht. Diese Korrelation wurde genutzt und auf analoger Vorgehensweise wie bei Stützen und Balken ein Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge von Stützen ausgearbeitet (siehe **Abb. 5-48** und **Abb. 5-49**).

Bei Kenntnis der ungefähren Stützenhöhe (in m) und Belastung (in kN) kann das für das Diagramm erforderliche **Produkt aus Belastung und Stützenhöhe** (in kNm) berechnet werden. Damit kann die **Bewehrungsmenge** (in kg) der jeweiligen Stütze wesentlich genauer als mit rein statistischen Mitteln abgeschätzt werden.

Können vom Tragwerksplaner in frühen Planungsphasen noch keine genauen Lasten von einzelnen Stützen angegeben werden bzw. weist das Gebäude eine hohe Stützenanzahl auf, so scheint es sinnvoll, die Abschätzung der Bewehrungsmengen der Stützen je nach Geschoss anzugeben. Dabei werden keine genauen Lasten von einzelnen Stützen benötigt, sondern lediglich durchschnittliche **Stützenlasten** und **Höhen**, differenziert nach Geschoss.

6.4 Wände

Nachstehende Tabelle zeigt Bewehrungsgradrichtwerte für Wände.

SYSTEME [-]	TRAGENDE WÄNDE	WANDSCHEIBEN
BEWEHRUNGSGRAD [kg/m ³]	40 - 70	100 - 160
ANMERKUNG [-]	Basierend auf der Häufigkeitsverteilung aus Abb. 5-51 . Genauere Abschätzung durch Auskunft des Tragwerksplaners möglich	Basierend auf der Häufigkeitsverteilung aus Abb. 5-52 . Genauere Abschätzung mithilfe von Vorstatik möglich.

Tab. 6-3 Bewehrungsgradrichtwerte für Wände im Hochbau

Die Häufigkeitsverteilung in Abb. 5-50 hat gezeigt, dass es sinnvoll ist, tragende Wände und Wandscheiben getrennt voneinander zu betrachten, da sich diese in ihren Bewehrungsgraden wesentlich voneinander unterscheiden. Dabei stellte sich heraus, dass über 95 % der Stichproben der tragenden Wände Bewehrungsgrade zwischen 40 und 70 kg/m³ (100 – 175 %) aufweisen und 100 % der Stichproben der Wandscheiben zwischen 100 und 160 kg/m³ (100 – 160 %) liegen.

Aufgrund des relativ kleinen Intervalls, verglichen mit Ergebnissen der Häufigkeitsverteilungen der anderen Bauteile, wurde darauf verzichtet, weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade durchzuführen.

Um genauere Abschätzungen des Bewehrungsgrades für tragende Wände treffen zu können, ist in vielen Fällen nicht unbedingt eine weit fortgeschrittene Statik bzw. Vorstatik erforderlich, da der Tragwerksplaner häufig, aufgrund Erfahrung und ohne die Lasten genau zu kennen, im Vorhinein sagen kann, wie die Wände bewehrt werden und welche Bewehrungsmenge in etwa zu erwarten sein wird. Dies rührt daher, dass tragende Wände bei unterschiedlichsten Projekten oft nach dem gleichem Schema bewehrt werden (Regelbewehrung).

Zur genaueren Abschätzung des Bewehrungsgrades für Wandscheiben hingegen, bedingt es zumindest einer Vorstatik, da Wandscheiben in der Regel belastungsabhängig bewehrt werden.

6.5 Fundamente

Tab. 6-4 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse für Einzel- und Streifenfundamente

SYSTEME [-]	EINZELFUNDAMENTE	STREIFENFUNDAMENTE
BEWEHRUNGSGRAD [kg/m ³] bzw. BEWEHRUNG/LFM [kg/m]	siehe Abb. 5-65	siehe Abb. 5-67
ANMERKUNG [-]	Mithilfe des Quotienten aus der gesamten charakteristischen Belastung (kN) und Fundamenthöhe (m) kann der Bewehrungsgrad unter Zuhilfenahme des Diagramms abgeschätzt werden	Mithilfe des Produkts aus gesamter charakteristischer Linienlast (kN/m) und Fundamentbreite (m) kann die Bewehrungsmenge/lfm unter Zuhilfenahme des Diagramms abgeschätzt werden.

Tab. 6-4 Bewehrungsgradrichtwerte für Einzel- und Streifenfundamente

Aus den Häufigkeitsverteilungen aller Fundamente zusammen, hat sich ergeben, dass die Bewehrungsgrade zwischen 20 und 80 kg/m³ (100 – 400 %) liegen, was ein unzureichend genaues Ergebnis darstellt. Bei der Betrachtung der Häufigkeitsverteilung der Einzelfundamente alleine, hat sich das gleiche Intervall ergeben, weshalb weitere Untersuchungen zur Begründung unterschiedlicher Bewehrungsgrade notwendig waren. Durch die Häufigkeitsverteilung der **Streifenfundamente** hingegen, ließ sich ein kleineres 95 % - Konfidenzintervall herstellen, nämlich **25 - 60 kg/m³** (100 – 240 %). Dies kann zur ersten Abschätzung des Bewehrungsgrades für Streifenfundamente herangezogen werden. Um allerdings ein genaueres Abschätzungsergebnis erzielen zu können, waren weitere Untersuchungen notwendig. Für Einzelfundamente ließ sich ein Zusammenhang zwischen Bewehrungsgrad und dem Quotienten aus Belastung und Fundamenthöhe erkennen. Diese Korrelation diente als Basis zur Ausarbeitung des Diagramms zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Einzelfundamente (Abb. 5-65).

Bei den Streifenfundamenten ließ sich vorerst keine Korrelation zwischen Bewehrungsgrad und Belastung erkennen, weshalb auf den Begriff Bewehrungsmenge/lfm übergegangen wurde. Dabei stellte sich heraus, dass ein Zusammenhang zwischen Bewehrungsmenge/lfm, Belastung und Fundamentbreite besteht, weshalb in weiterer Folge die Bewehrungsmenge/lfm auf das Produkt aus Belastung und Fundamentbreite bezogen wurde. Diese vorhandene Korrelation wurde zur Ausarbeitung der Diagramms herangezogen (Abb. 5-67).

Die Diagramme stellen vor allem in frühen Phasen der Statik (Vorstatik), in der die Fundamentlasten zwar schon vorhanden sind, die genaue Bewehrungsmenge aber noch nicht ge-

nau angegeben werden kann, eine hilfreiche Methode zur genaueren Abschätzung der erforderlichen Bewehrungsmenge dar.

In Summe wurden also Diagramme geschaffen, die der Abschätzung des Bewehrungsgrades dienen. Diese Diagramme basieren auf Korrelation zwischen Bewehrungsmenge und jeweiliger Einflussgrößen. Zusätzlich können die statistischen Kennwerte und die ausgearbeiteten Häufigkeitsverteilungen zur Abschätzung des Bewehrungsgrades herangezogen werden.

Da der Grad der Wirtschaftlichkeit der Bewehrung nicht nur von der Bewehrungsmenge abhängt, soll anschließend der Einfluss des Bewehrungsgrades und weitere Einflüsse auf die gesamten Bewehrungskosten erläutert werden.

7 Wirtschaftlich Bewehren

7.1 Einflüsse auf die Kosten⁵⁷

Der Grad der Wirtschaftlichkeit der Bewehrung hängt nicht alleine von der Bewehrungsmenge bzw. den **Materialkosten** ab. Vor allem die **Bearbeitungskosten**, die sich unter anderem aus **Schneide-, Biege und Verlegekosten** zusammensetzen und auch in den Leistungen der Positionen der österr. standardisierten Leistungsbeschreibung enthalten sind, können die Bewehrungskosten wesentlich beeinflussen, da diese in manchen Fällen ein Mehrfaches der Materialkosten erreichen.

Im Bewehrungsatlas etwa werden unterschiedliche Werte für den **Schneide- und Biegeaufwand (h/to)** angegeben (Abb. 7-1). Diese bilden die Grundlage zur Berechnung der Schneide- und Biegekosten.

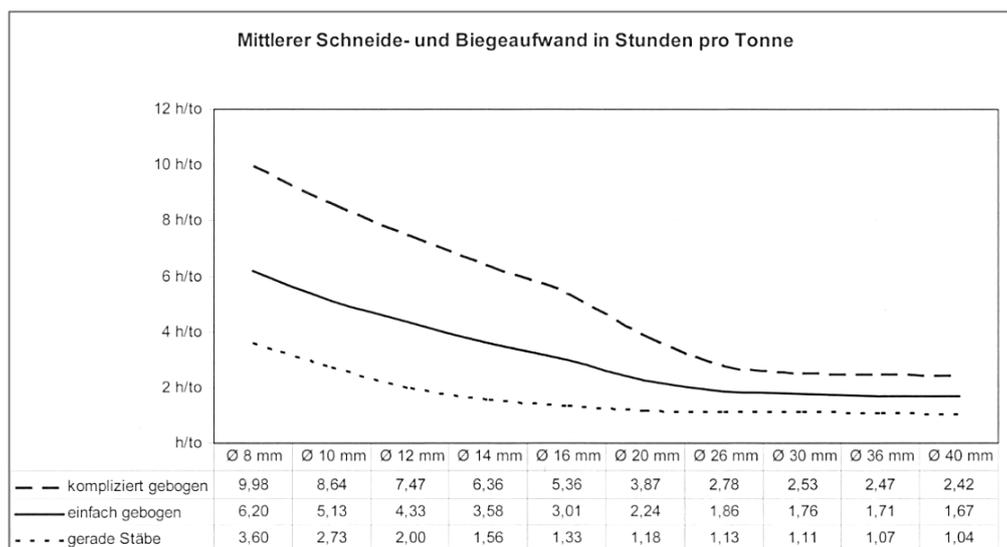


Abb. 7-1 Mittlerer Schneide- und Biegeaufwand⁵⁸

Die Aufwandswerte sind dabei abhängig von den Stabdurchmessern und davon, ob es sich um gerade, einfach gebogene oder kompliziert gebogene Stäbe handelt. Außerdem lässt sich erkennen, dass die Aufwandswerte von kompliziert gebogenen Stäben ein Mehrfaches als die von geraden Stäben betragen und mit zunehmendem Durchmesser abnehmen.

Des Weiteren ergeben sich die **Verlegekosten** aus dem **Aufwandswert** für die Bewehrungsarbeit (in **h/to**). Dieser bildet die Grundlage für die Ermittlung der Lohnkosten in der Kalkulation und der Arbeitsvorbereitung.

⁵⁷ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.257 – 263

⁵⁸ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.260

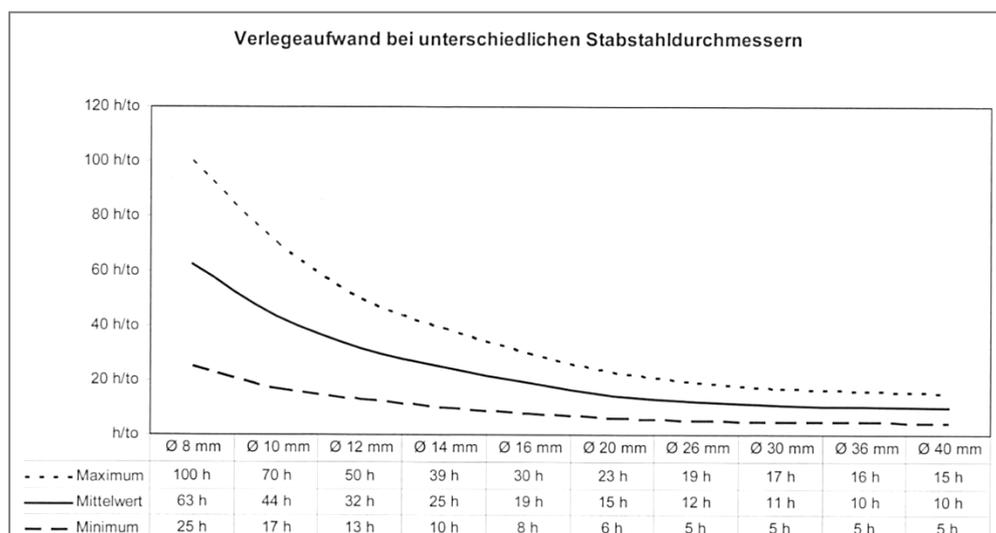


Abb. 7-2 Verlegeaufwand bei unterschiedlichen Stabstahldurchmessern⁵⁹

Der Verlegeaufwand ist vom **mittleren Bewehrungsdurchmesser** abhängig und wird bei zunehmendem Stabstahldurchmesser geringer. Durch Multiplikation des Aufwandswertes mit der jeweiligen einzubauenden **Bewehrungsmenge** des entsprechenden Bauteils ergibt sich der Aufwand für dessen Bewehrungsarbeiten (in h).

Da die Bewehrungsmenge und der **Bewehrungsgrad** direkt voneinander abhängen, hat auch der Bewehrungsgrad Einfluss auf den Aufwand der Bewehrungsarbeiten.

Zusätzlich muss erwähnt werden, dass beim Einsatz von **Bewehrungsmatten** der Aufwandswert im Durchschnitt um **45 % verkürzt** werden kann. Bei Sondermatten und Sonderelementen kann die Verkürzung bis zu 70 % betragen. Bei der Verlegung von Bewehrungsmatten fallen also die Lohnkosten um bis zu 70% geringer aus als bei herkömmlicher Stabstahlverlegung.

Es wurde also gezeigt, dass die Bearbeitungskosten unter anderem von der Zusammensetzung der Bewehrung hinsichtlich Durchmesser, Biegeform und Matten beeinflusst werden. Die Kenntnis über die Zusammensetzung spielt demzufolge eine wichtige Rolle, um die Kosten möglichst exakt kalkulieren zu können.

Im Bewehrungsatlas finden sich die dazu benötigten Richtwerte (Abb. 7-3 und Abb. 7-4), kategorisiert nach **Bauwerkstypen** (Wohn- und Geschäftsgebäude, Industrie, Ingenieurbau). Darüber hinaus wird erwähnt, dass bei der Bewehrungsmenge von einem **Anteil der Bewehrungsmatten** von ca. **40 %** ausgegangen werden kann.

⁵⁹ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.263

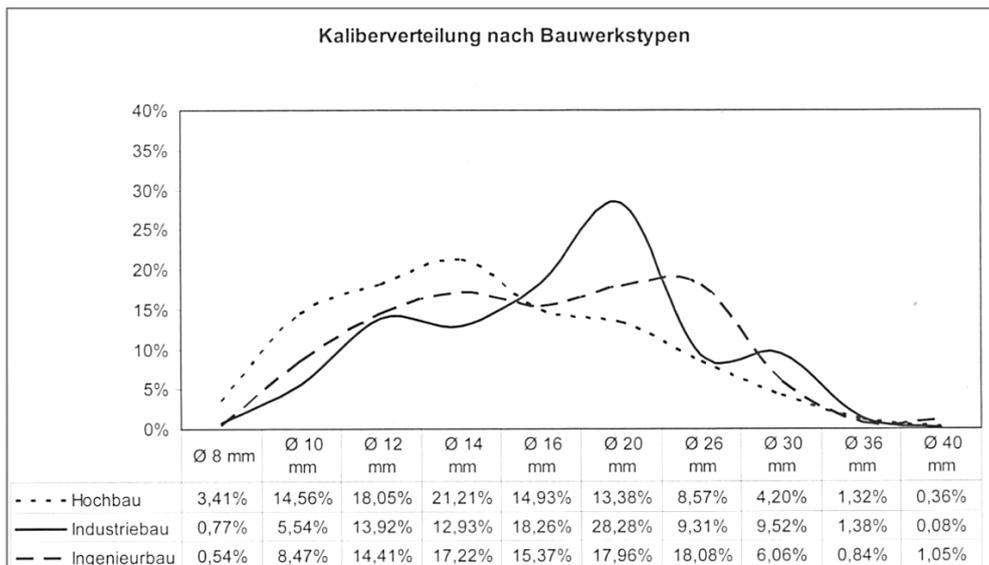


Abb. 7-3 Kaliberverteilung nach Bauwerkstypen⁶⁰

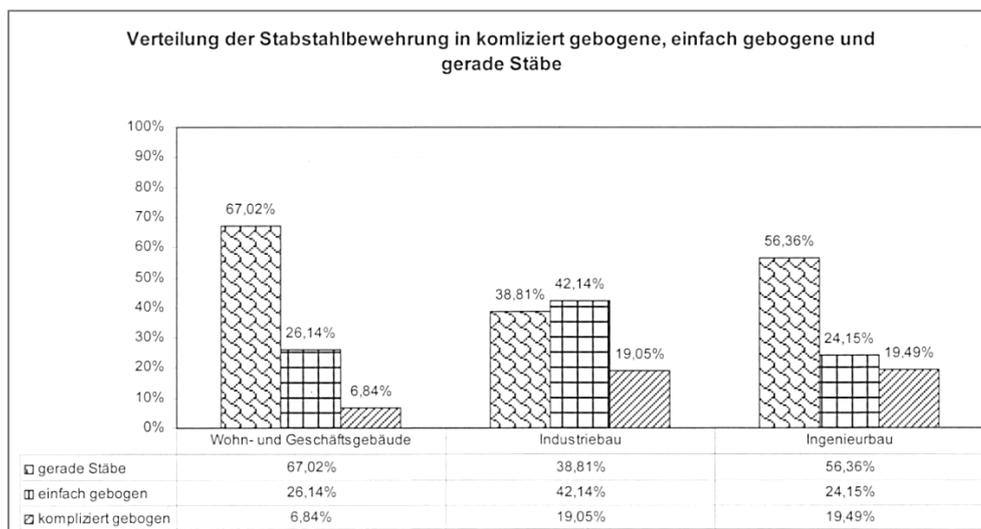


Abb. 7-4 Verteilung Stabstahlbewehrung⁶¹

Mithilfe dieser Abbildungen kann also die Zusammensetzung der Bewehrung hinsichtlich Durchmesser und Biegeform in jenen Planungsphasen abgeschätzt werden, in denen noch keine Stahlauszugslisten vorhanden sind. Nichtsdestotrotz ist zu beachten, dass es sich dabei lediglich um Richtwerte handelt, die von den tatsächlichen Werten mehr oder weniger abweichen können.

Hier sei noch hinzuzufügen, dass der Statiker selbst einen relativ großen Spielraum hat, was die Zusammensetzung der Bewehrung betrifft. Er kann somit nicht nur die Bewehrungsmenge bzw. die **Materialkosten**, sondern auch die **Bearbeitungskosten** wesentlich beeinflussen. Um Letztere möglichst niedrig zu halten, sollte er dabei folgende Regeln beachten:

⁶⁰ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.258

⁶¹ Vgl. Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 (Oktober 2011), S.260

- dicke Durchmesser billiger als dünne
- gerade Stäbe billiger als gebogene
- gebogene Stäbe möglichst nach Standardformen
- möglichst wenige Biegeform - Positionen pro Plan
- Verschnitt beachten (bei dickem Durchmesser größer)
- möglichst einfache Verlegeanordnung (Fehlerquellen geringer – größere Sicherheit)

Im Anschluss soll auf die standardisierte Leistungsbeschreibung für Stahlbetonarbeiten eingegangen werden, da die darin enthaltenen Informationen die Grundlage zur Kalkulation der Bewehrungskosten bilden.

7.2 Ausschreibung

Im vorgehenden Kapitel wurde gezeigt, dass der Grad der Wirtschaftlichkeit der Bewehrung nicht nur vom Bewehrungsgrad bzw. der Bewehrungsmenge, sondern auch von anderen Faktoren abhängt. Wie bereits erwähnt, spielt dabei die Zusammensetzung der Bewehrung hinsichtlich Stabdurchmesser und Biegeform eine wichtige Rolle, da diese die Bearbeitungskosten wesentlich beeinflusst. Darum soll Bezug genommen werden, bei welchen Faktoren es erstrebenswert wäre, sie in die Leistungsbeschreibung aufzunehmen.

In der standardisierten Leistungsbeschreibung LB-HB Version 19 (Leistungsgruppe 07 - Beton- und Stahlbetonarbeiten) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, die die zurzeit aktuellste Version darstellt (Stand: 15.02.2012), wird beispielsweise für eine bestimmte Kategorie der Decken folgende Ausschreibung empfohlen:

070301	Decken und Kragplatten (D/Kragpl.) aus Beton mit ebener Untersicht, einschließlich Deckenroste, wenn diese in einem Arbeitsgang mitbetoniert werden können. Im Positionsstichwort sind die Festigkeitsklasse des Betons und die Plattendicke angegeben. Unterstellungshöhe über Null bis 3,2 m.	
070301A	Beton C20/25 D/Kragpl.b.25cm b.3,2m	m ³
070301C	Beton C25/30 D/Kragpl.b.25cm b.3,2m	m ³
070301D	Beton C30/37 D/Kragpl.b.25cm b.3,2m	m ³
070301S	Schalung D/Kragpl.Untersicht b.3,2m	m ²
070301T	Schalung D/Kragpl.Roste b.3,2m Das Ausmaß der Randschalung wird dem Ausmaß der Deckenschalung hinzugerechnet.	m ²
	<i>LB-Version: 19 Geändert</i>	
<i>Änderung:</i>	<i>Das Ausmaß der Randschalung wird dem Ausmaß der Deckenschalung hinzugerechnet.</i>	
070301V	Bewehrung Stabst.D/Kragpl.b.3,2m	kg
070301W	Bewehrung Matten D/Kragpl.b.3,2m	kg

Abb. 7-5 Ausschreibung nach LB-HB 19

Dabei wird ersichtlich, dass lediglich eine Unterscheidung in Stabstahl- und Mattenbewehrung erfolgt. Es erfolgt dabei also keine genauere Differenzierung hinsichtlich einzelner Stabdurchmesser und Biegeformen.

Auch in den Regelungen der LB-HB 19 wird kein Unterschied für Durchmesser und Biegeform festgesetzt.

07	<p>Beton- und Stahlbetonarbeiten</p> <p>Soweit in Vorbemerkungen oder Positionstexten nicht anders angegeben, gelten für alle Leistungen dieser Gruppe folgende Regelungen.</p> <p>1. Statik: Statische Berechnungen und Konstruktionszeichnungen werden vom Auftraggeber beigestellt.</p> <p>2. Bewehrungsstahl: Bewehrungen werden in BSt. 550 (Rippen-Stabstahl) oder M550 (Bewehrungsmatten) ausgeführt. Die Bewehrungsstähle entsprechen den Bestimmungen der ÖNORM</p> <p>Als Standardbewehrung gelten alle Stabstahl (Stabst.)-Positionen ohne Unterschied der Durchmesser von 12 bis 30 mm und Bewehrungsmatten mit einem Flächengewicht über 3,2 kg/m².</p>
-----------	---

Abb. 7-6 Ausschnitt der Regelungen der LB-HB 19

Beim Kommentar zu diesen Regelungen wird folgendes erwähnt:

„Für alle Positionen der LB-HB kommt eine „Standardbewehrung“ zur Ausführung, die eine möglichst wirtschaftliche Dimensionierung des Statikers annimmt (Matten sind bevorzugt auszuschreiben)“

Des Weiteren wird erwähnt, dass Stabstahl Durchmesser von 12 bis 30 mm als Standard gelten und Durchmesser von 8 und 10 mm und von 36 und 40 mm frei zu formulieren sind.

In der früheren LB-HB Version 10, 2001-04 etwa erfolgte hingegen eine genauere Unterscheidung nach Durchmesser:

07.22 01	
Rippenstahl BSt.550 für Bauteile aller Art bis zu einer Länge von 14,0 m.	
A	BSt.550 8 und 10mm kg
B	BSt.550 12 bis 16mm kg
C	BSt.550 20 bis 30mm kg
D	BSt.550 36 und 40mm kg

Abb. 7-7 Unterscheidung der Durchmesser nach LB-HB 10

Im Vergleich zur LB-HB 19 wurden hier also Durchmesser von 12 bis 30 mm in zwei zusätzliche Kategorien B und C eingeteilt.

Des Weiteren waren in der LB-HB 10 eigene Ausschreibungspositionen für sämtliche sonst vorkommende Bewehrungsprodukte, wie etwa Matten, Distanzstreifen, Anschlusselemente, Durchstanzelemente, etc., vorgesehen.

Bei Betrachtung der LB-HB wird also ersichtlich, dass der Bewehrungsgrad, aus dem folglich die für die einzelnen Positionen erforderliche Bewehrungsmenge errechnet wird, einen wichtigen Faktor für die Ausschreibung und demzufolge für die Kostenkalkulation darstellt.

Nichtsdestotrotz wäre es erstrebenswert, die Leistungsbeschreibung von den einzelnen Stabdurchmessern sowie Biegeformen abhängig zu machen, um den zu erwartenden Bearbeitungsaufwand besser einschätzen zu können. Die Verwendung der Bewehrungspositionen nach der LB-HB 10 erscheint demzufolge sinnvoller als die der LB-HB 19, da, wie bereits erwähnt, die Durchmesser in zwei zusätzliche Kategorien eingeteilt sind und somit der Schneide-, Biege- und Verlegeaufwand also die Bearbeitungskosten besser abgeschätzt werden können.

In frühen Planungsphasen kann die Abschätzung der Zusammensetzung der Bewehrung mithilfe der zuvor beschriebenen Abbildungen aus dem Bewehrungsatlas und den aus dieser Arbeit stammenden Bewehrungsgradrichtwerten erfolgen. Ist die Planung schon genügend weit fortgeschritten, werden dafür die Stahlauszugslisten herangezogen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Bewehrungsmenge und die daraus resultierenden Materialkosten keinen alleinigen Faktor für die Wirtschaftlichkeit der Bewehrung darstellen, da bei der Berechnung des jeweiligen Positionspreises unter anderem die Bearbeitungs- bzw. die Lohnkosten miteinfließen. Wie gezeigt wurde, sind die Bearbeitungskosten sehr wohl auch von der Bewehrungsmenge abhängig, vor allem jedoch von der Zusammensetzung der Bewehrung hinsichtlich Durchmesser, Anteil der Matten und Biegeformen, da diese wesentlichen Einfluss auf den Verlege-, Schneide- und Biegeaufwand haben.

Auf den ersten Blick erscheint beispielsweise bei Decken eine Erhöhung der Mattenbewehrung als die unwirtschaftlichere Lösung, da dies in der Regel eine Erhöhung der gesamten Bewehrungsmenge (Summe von Matten und erforderlichen Stabstahlzulagen) und somit der Materialkosten zur Folge hat. Jedoch resultiert aus der erhöhten Mattenbewehrung auch eine Verringerung der erforderlichen Stabstahlzulagen. Unter Berücksichtigung der Tatsache des im Durchschnitt 45 % geringeren Verlegeaufwands bei Matten, kann ein erhöhter Mattenanteil, trotz der erhöhten Bewehrungsmenge, also eine wesentliche Reduzierung der Bearbeitungskosten und in Summe der gesamten Bewehrungskosten bewirken.

Ziel des Statikers sollte es also sein, sowohl die Materialkosten vor allem jedoch die Bearbeitungskosten möglichst niedrig zu halten. Außerdem sollte er die genannten Regeln für eine

wirtschaftliche Bewehrung beachten und stets Bedacht darauf nehmen, ob die von ihm geordnete Bewehrung auf der Baustelle auch möglichst einfach und schnell verlegt werden kann. Zu große Detailverliebtheit zur Minimierung der Bewehrungsmenge kann somit unter Umständen die Bewehrungskosten in die Höhe treiben.

8 Schluss

In dieser Arbeit wurden Bewehrungsgradrichtwerte für Decken, Balken, Stützen, Wände und Fundamente ausgearbeitet, basierend auf gesammelten Daten von bereits abgewickelten Projekten. Diese Daten wurden statistisch untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass für die meisten Bauteile eine Untersuchung hinsichtlich statistischer Kennwerte und Häufigkeitsverteilungen kein zufriedenstellend genaues Ergebnis liefert um genügend kleine Intervalle für etwaige Bewehrungsgradrichtwerte angeben zu können. Deshalb wurden Diagramme ausgearbeitet, die auf Korrelation zwischen Bewehrungsmenge und jeweiliger Einflussgrößen basieren. Diese Diagramme ermöglichen eine genauere Abschätzung des Bewehrungsgrades, setzen aber die Kenntnis über die in etwa zu erwartenden Bauteillasten und andere Einflussgrößen, wie z.B. die Bauteildimensionierung voraus. Da die Ermittlung der Bauteillasten und die Dimensionierung jedoch schon in frühen Phasen der Planung (Vorstatik) erfolgen, können in dieser Phase die zu erwartenden Bewehrungsmengen mithilfe der Diagramme recht gut abgeschätzt werden. Sind Einflussgrößen noch nicht vorhanden, kann entweder eine Abschätzung dieser erfolgen oder der Bewehrungsgrad unter Verwendung der erarbeiteten Häufigkeitsverteilungen abgeschätzt werden. Zusätzlich sei noch zu erwähnen, dass im Bewehrungsatlas keine Angaben über Bewehrungsgradrichtwerte gemacht werden. Das Ergebnis dieser Arbeit liefert genau diese benötigten Richtwerte.

Darüber hinaus wurde gezeigt, dass der Bewehrungsgrad kein alleiniges Maß für die Wirtschaftlichkeit der Bewehrungskosten darstellt, da diese nicht nur von den Materialkosten, sondern auch wesentlich von den Bearbeitungskosten abhängen. Der Bewehrungsgrad bzw. die Bewehrungsmenge hat zwar sehr wohl Einfluss auf die Bearbeitungskosten, dennoch ist die Zusammensetzung der Bewehrung hinsichtlich Stabdurchmesser, Biegeform und Matten ein wichtiger Faktor für die Kostenkalkulation der Bewehrungsarbeiten. Beim Bewehren der Bauteile sollte der Statiker bzw. der Konstrukteur also nicht nur sein Augenmerk auf eine Minimierung der Bewehrungsmenge legen, sondern auch auf die Hauptregeln für eine wirtschaftliche Bewehrung.

Mit der Erkenntnis der Einflüsse auf die Bewehrungskosten wurde Bezug auf die standardisierten Leistungsbeschreibungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit genommen. Dabei stellte sich heraus, dass in der aktuellsten Leistungsbeschreibung, der LB-HB 19, die Standardbewehrung ohne Unterschied der Durchmesser und Biegeform festgesetzt wurde. Hier wäre also anzustreben, die Leistungsbeschreibung von den einzelnen Stabdurchmessern und Biegeformen abhängig zu machen.

9 Literaturverzeichnis

Kollegger, J.: Betonbau 1 – Skriptum zur Vorlesung 2.Auflage (Oktober 2008)

Hofstadler, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb, Springer (2006)

Kolbitsch, A.: Hochbaukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (April 2010)

Kolbitsch, A.: Baukonstruktionen 1 – Skriptum zur Vorlesung (August 2007)

Pech A., Kolbitsch A., Zach F.: Decken – Baukonstruktionen, Springer (Band 5)

Fritsche, Blasy: Bewehrungsatlas 2012 auf Basis des Eurocode 2 (Oktober 2011)

Lohmeyer, Ebeling, Bergmann: Stahlbetonbau 8.Auflage, Vieweg Teubner (2010)

Petzschmann: Handbuch für Bauingenieure, Bauverfahrenstechnik und Baumaschineneinsatz (2000)

DIN 1045-1: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton (Juni 2012)

Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ): Standardisierte Leistungsbeschreibung für den Hochbau LB-HB Version 19 (15.02.2012)

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA): Standardisierte Leistungsbeschreibung für den Hochbau LB-HB Version 10 (04.2001)

Hofstadler, Franzl: Bewehrungsarbeiten im Baubetrieb (2011)

avi.at:

<http://www.avi.at/admin/untermenue/pdf/4/20130115021035Durchstanzelement%20techn.%20Richtlinien.pdf>

wikibooks.org:

<http://de.wikibooks.org/wiki/Datei:BeulenStatik.svg>

bswals.at:

http://www.bswals.at/wrl-m/bew_st/balken/balken.htm

http://www.bswals.at/wrl-m/bew_st/druck/druckw.htm

<http://www.bswals.at/wrl-m/funda/gruend.htm>

beton.org:

<http://www.beton.org/wissen/wohnungsbau/decken>

bau.net:

<http://www.bau.net/partsch/biw/alumni/2001/wintermeier/decken/stahlbetonplattendecke.php>

wikipedia.org:

<http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Stahlbeton1.png&filetimestamp=20050726183702&>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Durchlauftr%C3%A4ger>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Hohlwand>

vs-west.at:

<http://www.vs-west.at/DE/hwe-details.asp>

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1 Tragwirkung und Stützung verschiedener Plattensysteme	6
Abb. 3-2 Tendenz zum „Aufschüsseln“ frei aufliegender Platten	8
Abb. 3-3 AVI-Durchstanzelemente.....	8
Abb. 3-4 Schema einer Elementdecke.....	10
Abb. 3-5 Tragverhalten des Balkens.....	11
Abb. 3-6 übliche statische Systeme bei Stahlbetonbalken	12
Abb. 3-7 Ausführungsmöglichkeiten von Stahlbetonbalken.....	13
Abb. 3-8 Bewehrungselemente.....	15
Abb. 3-9 Ortbetonwand.....	19
Abb. 3-10 Hohlwand	19
Abb. 3-11 Blockfundament, abgetrepptes Fundament, Köcher-, Plattenfundament	20
Abb. 3-12 Druckverteilung	22
Abb. 3-13 Streifenfundamente	22
Abb. 3-14 Schnitt durch einen Keller mit Bodenplatte	23
Abb. 5-1 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade aller Kategorien.....	31
Abb. 5-2 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der einzelnen Kategorien A,B,C,D.....	31
Abb. 5-3 Bewehrungsgrad bezogen auf die ideale Stützweite l_i	32
Abb. 5-4 Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}	32
Abb. 5-5 Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}	33
Abb. 5-6 Kategorie A: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite ..	34
Abb. 5-7 Kategorie B: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite ..	34
Abb. 5-8 Kategorie A, B: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite	35
Abb. 5-9 Kategorie A, B: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die ideale Stützweite ..	35
Abb. 5-10 Kategorie C: Bewehrungsgrad/Belastung bezogen auf die effektive Stützweite ..	36
Abb. 5-11 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden.....	37
Abb. 5-12 Diagramm zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Kategorie A.....	37
Abb. 5-13 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden.....	38
Abb. 5-14 Diagramm zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Kategorie B.....	38
Abb. 5-15 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der Kategorie C.....	39
Abb. 5-16 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der Kategorie C in 5er Klassen ...	39
Abb. 5-17 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der Kategorie D.....	40
Abb. 5-18 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade aller Systeme	41
Abb. 5-19 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade der einzelnen Systeme.....	42
Abb. 5-20 Bewehrungsgrad bezogen auf die effektive Stützweite l_{eff}	43

Abb. 5-21 Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung	43
Abb. 5-22 Bewehrungsgrad bezogen auf die Querschnittshöhe.....	44
Abb. 5-23 Bewehrungsgrad bezogen auf Stützweite*Belastung.....	44
Abb. 5-24 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsmengen/lfm aller Systeme.....	46
Abb. 5-25 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die effektive Stützweite	47
Abb. 5-26 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Belastung	47
Abb. 5-27 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf Stützweite*Belastung	48
Abb. 5-28 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf das maximale Biegemoment.....	49
Abb. 5-29 Korrelation Bewehrungsmenge/lfm und Biegemoment mit Regressionsgeraden	50
Abb. 5-30 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden.....	51
Abb. 5-31 Vergrößerte Darstellung der maximalen Abweichungen	52
Abb. 5-32 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Einfeld- und Kragträger	53
Abb. 5-33 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Einfeld- und Kragträger	53
Abb. 5-34 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden.....	54
Abb. 5-35 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Durchlaufträger.....	54
Abb. 5-36 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Durchlaufträger.....	55
Abb. 5-37 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Stützen	56
Abb. 5-38 Bewehrungsgrad bezogen auf die Belastung	57
Abb. 5-39 Bewehrungsgrad bezogen auf die Stützhöhe	58
Abb. 5-40 Bewehrungsgrad bezogen auf Stützhöhe*Belastung	58
Abb. 5-41 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsmengen von Stützen	60
Abb. 5-42 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsmengen in 10er Klassen	60
Abb. 5-43 Bewehrungsmenge bezogen auf die Belastung.....	61
Abb. 5-44 Bewehrungsmenge bezogen auf die Stützhöhe.....	61
Abb. 5-45 Bewehrungsmenge bezogen auf Stützhöhe*Belastung	62
Abb. 5-46 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden.....	63
Abb. 5-47 vergrößerte Darstellung der maximalen Abweichungen.....	63
Abb. 5-48 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Stützen	64
Abb. 5-49 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge für Stützen	64
Abb. 5-50 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Wänden.....	66
Abb. 5-51 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von tragenden Wänden.....	67
Abb. 5-52 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Wandscheiben	67
Abb. 5-53 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Einzel- und Streifenfund.	69
Abb. 5-54 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Einzelfundamenten.....	69

Abb. 5-55 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Streifenfundamenten	70
Abb. 5-56 Häufigkeitsverteilung der Bewehrungsgrade von Streifenfundamenten (5er Kl.)	70
Abb. 5-57 Bewehrungsgrad von Einzelfundamenten bezogen auf die Belastung.....	71
Abb. 5-58 Bewehrungsgrad von Einzelfundamenten bezogen auf die Höhe.....	71
Abb. 5-59 Bewehrungsgrad von Einzelfundamenten bezogen auf Belastung/Höhe	72
Abb. 5-60 Bewehrungsgrad von Streifenfundamenten bezogen auf die Belastung	73
Abb. 5-61 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Belastung	73
Abb. 5-62 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf die Fundamentbreite	74
Abb. 5-63 Bewehrungsmenge/lfm bezogen auf Belastung*Fundamentbreite.....	74
Abb. 5-64 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden.....	75
Abb. 5-65 Diagramm zur Abschätzung des Bewehrungsgrades für Einzelfundamente	76
Abb. 5-66 Darstellung der maximalen Abweichungen von der Regressionsgeraden.....	76
Abb. 5-67 Diagramm zur Abschätzung der Bewehrungsmenge/lfm für Streifenfundamente	77
Abb. 7-1 Mittlerer Schneide- und Biegeaufwand	84
Abb. 7-2 Verlegeaufwand bei unterschiedlichen Stabstahldurchmessern	85
Abb. 7-3 Kaliberverteilung nach Bauwerkstypen.....	86
Abb. 7-4 Verteilung Stabstahlbewehrung.....	86
Abb. 7-5 Ausschreibung nach LB-HB 19.....	87
Abb. 7-6 Ausschnitt der Regelungen der LB-HB 19	88
Abb. 7-7 Unterscheidung der Durchmesser nach LB-HB 10	88

11 Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1 mögliche Angaben des Statikers für die Ausschreibung	3
Tab. 2-2 Bewehrungsgrade für Bauteile von normalen Hochbauten	4
Tab. 4-1 Beiwerte zur Bestimmung der Ersatzstützweite	25
Tab. 5-1 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade.....	30
Tab. 5-2 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade.....	41
Tab. 5-3 Statistische Kennwerte der Bewehrungsmengen/lfm	46
Tab. 5-4 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade.....	56
Tab. 5-5 Statistische Kennwerte der gesamten Bewehrungsmengen	59
Tab. 5-6 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade.....	65
Tab. 5-7 Statistische Kennwerte der Bewehrungsgrade.....	68
Tab. 6-1 Bewehrungsgradrichtwerte für Decken im Hochbau	78
Tab. 6-2 Richtwerte der Bewehrungsmengen/lfm für Balken im Hochbau.....	79
Tab. 6-3 Bewehrungsgradrichtwerte für Wände im Hochbau	81
Tab. 6-4 Bewehrungsgradrichtwerte für Einzel- und Streifenfundamente.....	82