

**Bestimmung der maßgebenden
Einwirkungskombinationen nach
DIN EN 1990 zur rationellen
Bemessung von Stahlbetonbauteilen
im üblichen Hochbau**

T 3325

T 3325

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2016

ISBN 978-3-8167-9656-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Bestimmung der maßgebenden Einwirkungskombinationen nach DIN EN 1990 zur rationellen Bemessung von Stahlbetonbauteilen im üblichen Hochbau.

Fachgebiet Massivbau, Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Forschungsbericht F12-6-2012



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner
Institut für Massivbau

Fachgebiet Massivbau

Fachbereich 13
Bauingenieurwesen
und Geodäsie

Petersenstr. 12
64287 Darmstadt
Telefon (06151) 16 2144
Telefax (06151) 16 3044
graubner@massivbau.tu-darmstadt.de

Forschungsbericht

F12-6-2012

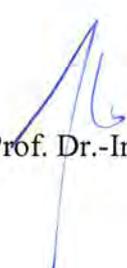
Projekt Bestimmung der maßgebenden Einwirkungskombinationen nach
DIN EN 1990 zur rationellen Bemessung von
Stahlbetonbauteilen im üblichen Hochbau.

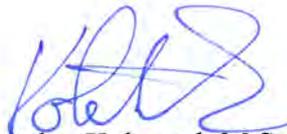
Berichtszeitraum 01.04.2012 - 30.10.2013

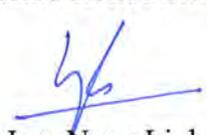
beauftragt durch Deutsches Institut für Bautechnik
Dipl.-Ing. G. Breitschaft
Kolonnenstr. 30 B
10829 Berlin

ausführende Stellen Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Massivbau,

Darmstadt, 30.10.2013


Univ.-Prof. Dr.-Ing. C.-A. Graubner


Jaroslav Kohoutek M.Sc.


Dr.-Ing. Ngoc Linh Tran

Zusammenfassung

Mit Einführung des Teilsicherheitskonzeptes sind die bei der Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu berücksichtigenden Sicherheitselemente auf die Einwirkung E_d und den Widerstand R_d zu verteilen, wobei hinsichtlich der anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte zwischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen unterschieden wird. Zudem kann bei veränderlichen Einwirkungen die Wahrscheinlichkeit gleichzeitigen Auftretens innerhalb möglicher Einwirkungskombinationen (EK) über sogenannte Kombinationsbeiwerte ψ_0 erfasst werden. Beide Neuerungen führen bei formaler Berücksichtigung in mehrgeschossigen Hochbauten zu einer Vielzahl möglicher Einwirkungskombinationen mit entsprechendem Berechnungsaufwand. Daher liegt es nahe zu prüfen, welche Einwirkungskombinationen tatsächlich bemessungsrelevant sind.

Die Analyse erfolgt an unverschieblichen Systemen des üblichen Hochbaus mit Einwirkungen aus Eigen- und Nutzlast(en), Schnee- und Windlasten nach DIN EN 1991/NA:2010-12. Dabei wird beanspruchungsabhängig nach Einzelbauteilen differenziert. Diese werden in Biegebauteile sowie überwiegend druckbeanspruchte Bauteile aufgeteilt. Die anzusetzenden Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte sind DIN EN 1990/NA:2010-12 zu entnehmen.

Die Analyse der maßgebenden Einwirkungskombination der Biegebauteile erfolgt anhand theoretischer Überlegungen, während die auf Druck beanspruchten Bauteile im Rahmen einer Parameterstudie untersucht werden. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass für alle untersuchten Bauteile die Anzahl der zu untersuchenden Einwirkungskombinationen auf maximal 3 reduziert werden kann.

Abstract

With the introduction of the partial safety concept structural elements are designed in ultimate limit state with a separate consideration of the resistance R_d and the action E_d . Hereby different partial safety factors for permanent and variable actions are applied. In addition, the probabilities of the simultaneous occurrence of variable actions are covered by the so-called combination coefficients ψ_0 . In multi-storey buildings both innovations formally lead to a variety of possible combinations of actions with corresponding computational effort. Therefore, it is natural to examine what combinations of actions are actually relevant for designing.

The analysis is performed on non-movable systems of the usual building structures under self-weight and imposed loads, snow and wind loads in accordance with DIN EN 1991/NA:2010-12. A classification is made for individual structural components depending on loading types. These are divided into two groups of structural components – bending and compression components. The applied partial safety factors and combinations of actions are taken from DIN EN 1990/NA:2010-12.

For bending components the analysis of decisive combinations of actions is based on theoretical considerations, while for compression components it is conducted in a course of a parameter study. In summary it can be stated that for all considered structural components the number of combinations of actions can be reduced to a maximum of three.

Résumé

Suite à l'introduction du concept des coefficients partiels de sécurité, le dimensionnement à l'état limite ultime prévoit de répartir des éléments de sécurité à la fois du côté des actions E_d et des résistances R_d . Afin de pouvoir déterminer les coefficients partiels de sécurité, il est nécessaire de distinguer les actions permanentes y des actions variables. De plus, la probabilité d'appariation simultanée d'actions variables dans des combinaisons d'actions (appelées EK en Allemand) peut être prise en compte par les coefficients de combinaison ψ_0 . L'application rigoureuse de ces deux innovations dans des bâtiments à plusieurs étages engendre un grand nombre d'éventuels combinaisons d'actions et donc des efforts de calculs importants. En conséquence il semblerait très judicieux d'identifier les combinaisons d'actions réellement pertinentes dans le dimensionnement.

Les structures classiques non déplaçables du bâtiment étant sous l'action de poids propre, de charges d'exploitation, de charges de neige et de charges de vent d'après DIN EN 1991/NA:2010-12 (annexe nationale de la version allemande de la norme européenne) sont analysées. Les différents éléments de construction sont distingués en fonction de leurs sollicitations. Ils sont repartis en éléments de construction principalement sollicités par flexion ou compression. Les coefficients partiels de sécurité et les coefficients de combinaison d'actions à utiliser peuvent être trouvés dans DIN EN 1990/NA:2010-12.

L'analyse des combinaisons d'actions pertinentes pour le dimensionnement des éléments sous flexion est faite à partir d'approches théoriques. Cependant les éléments comprimés sont analysés dans le cadre d'une étude paramétrique. En conclusion il peut être constaté que le nombre de combinaisons d'actions à considérer comme pertinentes peut être réduit à un maximum de 3 combinaisons.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Notwendigkeit des Forschungsvorhabens, Ziel und Zweck	5
1.2	Voraussetzungen und Randbedingungen	6
1.3	Vorgehensweise	8
2	Grundlagen der Berechnung	9
2.1	Sicherheitskonzept, Einwirkungskombinationen und Bemessungssituationen	9
2.2	Nutzlasten gemäß DIN EN 1991-1-1/NA	11
2.3	Schneelasten gemäß DIN EN 1991-1-3/NA	13
2.4	Windlasten gemäß DIN EN 1991-1-4/NA	13
2.5	Ermittlung der Leiteinwirkung aus Schnee- und Nutzlasten	15
3	Gewählte Rechenmodelle	21
3.1	Unverschiebliche Systeme	21
3.1.1	Definition	21
3.1.2	Biegebauteile	22
3.1.3	Druckglieder - Randstützen und Außenwände	23
3.1.4	Druckglieder - Innenwände	25
3.2	Verschiebliche Systeme	26
3.2.1	Definition	26
3.3	Bemessung von Stahlbetonbauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit	26
3.3.1	Bemessung auf Querschnittsebene	26
3.3.2	Bemessung auf Bauteilebene	30
4	Identifizierung der maßgebenden Einwirkungskombination bei Biegebauteilen	31
4.1	Einführung	31
4.2	Dächer und Dachkonstruktionen	31
4.3	Deckenkonstruktionen	32
4.4	Abfangende Konstruktionen	33
4.5	Aussteifungselemente	36
5	Identifizierung der maßgebenden Einwirkungskombination bei druckbeanspruchten Bauteilen	38
5.1	Eingangsgrößen der Parameterstudie	38
5.2	Randstützenkopf oder -fuß	39
5.3	Randstützenmitte	55
5.4	Außenwandkopf oder -fuß	56
5.5	Außenwandmitte	57
5.6	Innenwandkopf oder -fuß	58
5.7	Innenwandmitte	60
6	Zusammenstellung der maßgebenden Einwirkungskombination	62
7	Zusammenfassung und Ausblick	64

Literaturverzeichnis	66
Anhang A - Parameterstudie am Randstützenkopf oder -fuß.....	68
Anhang B - Parameterstudie in Randstützenmitte	69
Anhang C - Parameterstudie am Außenwandkopf oder -fuß.....	79
Anhang D - Parameterstudie in Außenwandmitte.....	92
Anhang E - Parameterstudie am Innenwandkopf oder -fuß	105
Anhang F - Parameterstudie in Innenwandmitte	115

1 Einleitung

1.1 Notwendigkeit des Forschungsvorhabens, Ziel und Zweck

Mit der bauaufsichtlichen Einführung der neuen Generation europäischer Normen für den Hochbau sind diese in Deutschland verbindlich anzuwenden. Im Hochbau weisen die europäischen Normen gegenüber den vormals gültigen, deutschen Normen, einen deutlich gestiegenen Umfang auf (siehe Tabelle 1). Den gesamten Normeninhalt zu erfassen bedeutet in der Praxis einen nicht unerheblichen Zeitaufwand. Ein Ziel dieses Forschungsvorhabens ist die Zusammenfassung der wichtigsten konstruktiven Regelungen im Stahlbetonbau.

Bereits seit Einführung des Teilsicherheitskonzeptes im Stahlbetonbau im Jahr 2001 (DIN 1045-1:2001 in Verbindung mit DIN 1055-100), müssen im Grenzzustand der Tragfähigkeit Leit- und Begleiteinwirkung(en) unterschieden werden. In Verbindung mit unterschiedlichen Laststellungen ergibt sich für jeden Einzelnachweis eine Vielzahl möglicher Einwirkungskombinationen. Die Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination kann - je nach System - sehr aufwändig werden. Eine Lastermittlung ohne Rechnerunterstützung ist jedoch nur bei Kenntnis der maßgebenden Einwirkungskombination(en) unter vertretbarem Zeitaufwand möglich. Darüber hinaus ermöglicht die Kenntnis der maßgebenden Einwirkungskombination(en) eine schnelle Plausibilitätskontrolle bei der Anwendung von Rechenprogrammen. Daher liegt der Schwerpunkt des Forschungsvorhabens in der Ermittlung der auf das Bauteil bezogenen, maßgebenden Einwirkungskombination.

Das Forschungsvorhaben wird unter Einbeziehung der folgenden Normen bearbeitet:

- | | |
|---|----------------------------|
| • Sicherheitskonzept:
[1]/[2] | DIN EN 1990/NA:2010-12 |
| • Einwirkungen auf Tragwerke – Allg. Einwirkungen
[3]/[4] | DIN EN 1991-1-1/NA:2010-12 |
| • Einwirkungen auf Tragwerke – Schneelasten
[5]/[6] | DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12 |
| • Einwirkungen auf Tragwerke – Windlasten
[7]/[8] | DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 |
| • Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und
Spannbetonbauwerken – Allgemeine Bemessungs-
regeln und Regeln für den Hochbau
[9]/[10] | DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 |

Tabelle 1 Gegenüberstellung der europäischen Normen mit den vormals gültigen deutschen Normen

Sicherheitskonzept	DIN EN 1990	110 Seiten	DIN 1055-100	39 Seiten
	DIN EN 1990/NA	14 Seiten		
Allgemeine Einwirkungen	DIN EN 1991-1-1	39 Seiten	DIN 1055-3	15 Seiten
	DIN EN 1991-1-1/NA	23 Seiten		
Schneelasten	DIN EN 1991-1-3	44 Seiten	DIN 1055-5	24 Seiten
	DIN EN 1991-1-3/NA	11 Seiten		
Windlasten	DIN EN 1991-1-4	149 Seiten	DIN 1055-4	101 Seiten
	DIN EN 1991-1-4/NA	41 Seiten		
Bemessung von Stahlbetonbauw.	DIN EN 1992-1-1	237 Seiten	DIN 1045-1	183 Seiten
	DIN EN 1992-1-1/NA	101 Seiten		
Σ 769 Seiten			Σ 362 Seiten	

Die in den folgenden Abschnitten untersuchten Bauteile des üblichen Hochbaus sind Decken- und Dachkonstruktionen sowie Stützen und Wände aus Stahlbeton.

Wie in *Abschnitt 1.2* aufgeführt wird, erfolgt die Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination ausschließlich an unverschieblichen Systemen. Die Einzelfundamente unter den untersuchten Randstützen bzw. Streifenfundamente unter den Außen- und Innenwänden weisen eine sehr geringe Lastexzentrizität auf, somit ist die maßgebende Einwirkungskombination diejenige, bei der die maximalen Normalkräfte auftreten. Aus diesem Grund wird auf eine weitere Untersuchung der Gründungsbauteile verzichtet.

1.2 Voraussetzungen und Randbedingungen

In diesem Abschnitt werden die für die Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination erforderlichen Randbedingungen definiert. Bei der Wahl der Randbedingungen muss darauf geachtet werden, dass die Ergebnisse der Untersuchung einerseits für eine möglichst große Anzahl von Hochbausystemen anwendbar sind und andererseits die Übersicht der Ergebnisse nicht durch eine schwer zu überblickende Anzahl der möglichen Ausführungsvarianten erschwert wird.

Die Untersuchungen in Abschnitt 4 sowie die Parameterstudien in Abschnitt 5 zur Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination erfolgen auf Basis folgender Randbedingungen und Vereinfachungen:

- Untersuchungsgegenstand ist der übliche Hochbau gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NA.1.5.2.5. Hierbei handelt es sich um „Hochbau, der für vorwiegend ruhende, gleichmäßig verteilte Nutzlasten bis $5,0 \text{ kN/m}^2$, [...], bemessen ist [10].
- Einzellasten Q_k gemäß DIN EN 1991-1-1/NA, Tabelle 6.1DE [4] werden lediglich für Nachweise der örtlichen Mindesttragfähigkeit erforderlich, daher bleiben Sie in diesem Forschungsvorhaben unberücksichtigt.

- Es werden die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit aus ständiger und vorübergehender Bemessungssituation betrachtet, da diese für die Tragwerkszuverlässigkeit von entscheidender Bedeutung sind und gravierende Mängel in der statischen Berechnung zu einer Gefahr für Leib und Leben führen können. Der Nachweis gegen Ermüdung hingegen ist gemäß DIN EN 1992-1-1, 6.8.1(2) [9] für den üblichen Hochbau nicht zu führen. Außergewöhnliche Bemessungssituation z.B. infolge Anprall sowie Bemessungssituationen mit Erdbebenlasten sind ebenfalls nicht Gegenstand der Untersuchungen.
- Tragwerksbeanspruchungen infolge von Schwindeinflüssen des Betons werden vernachlässigt.
- Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt ideal linear-elastisch ohne Berücksichtigung von Schnittgrößenumlagerungen.
- Es werden lediglich Bauteile aus Normalbeton \leq C50/60 betrachtet. (Definition siehe DIN EN 1992-1-1/NA; NA.1.5.2.8 [10])
- Bei Randstützen und Außenwänden wird das Stützweitenverhältnis des Randfeldes zum 1. Innenfeld auf $0,5 \leq L_1/L_2 \leq 2$ begrenzt. Diese Einschränkung findet sich auch in DIN EN 1992-1-1, 5.5(4) b) als Grenze bei Durchlaufträgern, bei der eine Umlagerung der Schnittgrößen erfolgen darf. Zudem wird von $L_1 = 5$ m üblicher Stützweite ausgegangen.
- Bei Innenwänden wird das Stützweitenverhältnis des linken und rechten Feldes auf $1 \leq L_3/L_4 \leq 2$ begrenzt, hierbei wird $L_4 = 5$ m als übliche Stützweite angenommen. Innenstützen können bei horizontal ausgesteiften Tragwerken gemäß der vormals gültigen Norm *DIN 1045-1, Abschnitt 7.3.2(6)* [10] als Pendelstützen betrachtet werden, wenn das Stützweitenverhältnis in benachbarten, ähnlich steifen Feldern, $0,5 < l_{\text{eff},1} / l_{\text{eff},2} < 2$ beträgt.
- Alle Untersuchungen werden an unverschieblichen Systemen durchgeführt.
- Es wird von üblichen Deckenhöhen zwischen $h_1 = 2,50$ m und $h_1 = 4,00$ m Höhe ausgegangen.
- Die untersuchten Systeme weisen einen regelmäßigen Grund- und Aufriss auf.
- Schneelasten sind mit einem Formbeiwert $\mu \leq 0,8$ berücksichtigt.

1.3 Vorgehensweise

Das vorliegende Forschungsvorhaben wurde gemäß der Vorgehensweise aus *Bild 1* bearbeitet.

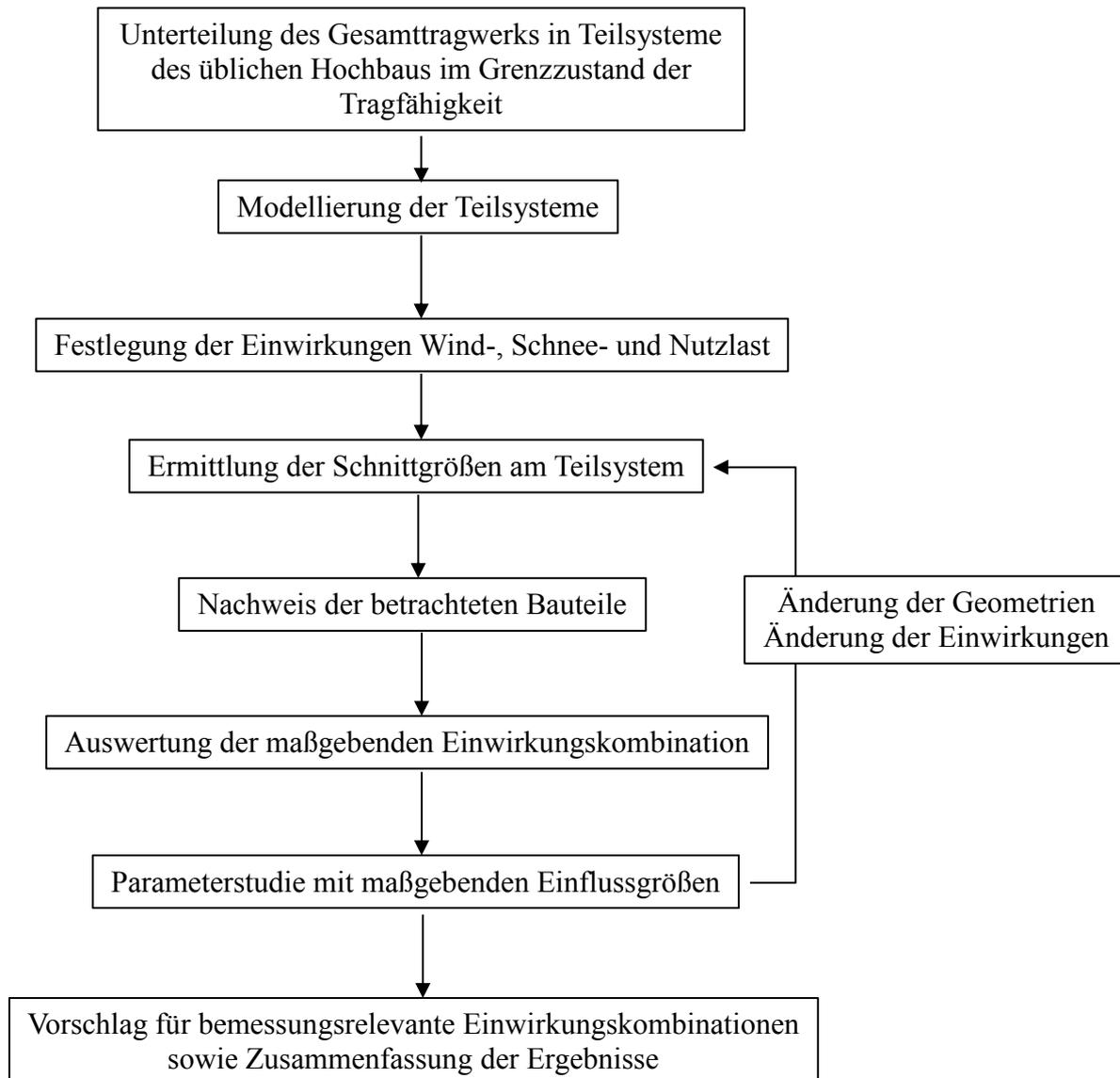


Bild 1 Vorgehensweise innerhalb des Forschungsprojektes

2 Grundlagen der Berechnung

2.1 Sicherheitskonzept, Einwirkungskombinationen und Bemessungssituationen

Unter dem Begriff Sicherheit wird im Allgemeinen das Fehlen einer Gefährdung für Personen, Tiere, Sachen sowie die Umwelt verstanden. Bei Bauwerken bedeutet dies, dass ein Tragwerksversagen durch geeignete Maßnahmen verhindert werden muss. Eine 100%-ige Sicherheit gegen Tragwerksversagen ist jedoch nicht möglich, daher ist in der Vergangenheit ein Sicherheitsniveau mit einem gesellschaftlich akzeptierten Restrisiko festgelegt worden. Das Restrisiko ist das Produkt aus Eintretenswahrscheinlichkeit und den zu erwartenden Schadensfolgen.

Beim semi-probabilistischen Teilsicherheitskonzept nach DIN EN 1990 [1] werden sowohl die Einwirkungen als auch die Widerstände mit unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerten γ beaufschlagt (siehe Gl. 1). Als Maß für die Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte wird der Zuverlässigkeitsindex β definiert, der in Deutschland den Wert $\beta = 4,7$ für den Bezugszeitraum 1 Jahr und die ständige und vorübergehende Bemessungssituation annimmt. Der Zuverlässigkeitsindex β ist abhängig von der Versagenswahrscheinlichkeit p_f des Tragwerks.

$$\gamma_f \cdot \psi_0 \cdot F_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{Gl. 1}$$

γ_f	Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen
γ_m	Teilsicherheitsbeiwert für eine Baustoffeigenschaft
ψ_0	Kombinationswert im Grenzzustand der Tragfähigkeit
F_k	charakteristischer Wert einer Einwirkung
R_k	charakteristischer Wert eines Widerstandes

In DIN EN 1990 [1] werden unter dem Sammelbegriff "ständige und vorübergehende Bemessungssituation" drei Nachweisarten unterschieden:

- Nachweise der Lagesicherheit EQU
- Tragsicherheitsnachweise STR für Bauteile, die keine geotechnischen Einwirkungen enthalten
- Tragsicherheitsnachweise STR/GEO für Bauteile, die auch geotechnische Einwirkungen und Bodenwiderstände beinhalten

In dem vorliegenden Forschungsvorhaben soll nur auf die Tragsicherheitsnachweise STR für Bauteile ohne geotechnische Einwirkungen und Bodenwiderstände eingegangen werden. Die zu berücksichtigende Einwirkungskombination ist in Gl. 2 beschrieben.

Ständige und vorübergehende Einwirkungskombination

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Gl. 2}$$

- γ_G Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen
- γ_P Teilsicherheitsbeiwert für Vorspannung
- $\gamma_{Q,1}$ Teilsicherheitsbeiwert für die veränderliche Leiteinwirkung
- $\gamma_{Q,i}$ Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Begleiteinwirkungen
- $\psi_{0,i}$ Kombinationsbeiwert für veränderliche Begleiteinwirkungen
- $G_{k,j}$ ständige Einwirkungen
- P_k Einwirkungen aus Vorspannung
- $Q_{k,1}$ veränderliche Leiteinwirkung
- $Q_{k,i}$ veränderliche Begleiteinwirkung

Die hierbei zu verwendenden Teilsicherheitsbeiwerte sind in DIN EN 1990/NA (siehe [1] und [2]) für die Einwirkungen und in DIN EN 1992-1-1/NA (siehe [9] und [10]) für die Baustoffwiderstände festgelegt. Für den Grenzzustand der Tragfähigkeit sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_f für Einwirkungen in Tabelle 2, für Baustoff-Widerstände in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 2 Teilsicherheitsbeiwert γ_f für Einwirkungen unter ständiger/vorübergehender Bemessungssituation gemäß DIN EN 1990/NA, Tab. NA.A.1.2(B) [2]

Einwirkung		
Unabhängige ständige Einwirkungen		
Auswirkung ungünstig	$\gamma_{G,sup}$	1,35
Auswirkung günstig	$\gamma_{G,inf}$	1,00
Unabhängige veränderliche Einwirkung		
Auswirkung ungünstig	γ_Q	1,50

Tabelle 3 Teilsicherheitsbeiwert γ_M für Baustoffe unter ständiger/vorübergehender Bemessungssituation gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, Tab. 2.1DE [10]

Bemessungssituation	γ_c für Beton	γ_s für Betonstahl
Ständig und vorübergehend	1,5	1,15

2.2 Nutzlasten gemäß DIN EN 1991-1-1/NA

Neben den Eigengewichtslasten sind im üblichen Hochbau Nutzlasten anzusetzen. Die Größe der anzusetzenden Nutzlasten richtet sich nach der angestrebten Nutzung. In DIN EN 1991-1-1/NA [4] werden die Nutzlasten in Kategorien aufgeteilt, diese sind in Tabelle 4 dargestellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die Untersuchungsergebnisse gemäß der Definition des üblichen Hochbaus auf alle Nutzungsarten mit Ausnahme von Tribünen und ihren Zugängen (Kat. C6 und T3) sowie allgemeine Lagerflächen und Bibliotheken (Kat. E1.2 und E2.1) anwenden lassen.

Tabelle 4 Lotrechte Nutzlasten für Decken, Treppen und Balkone gemäß DIN EN 1991-1-1/NA, Tab. 6.1DE [4]

Spalte	1	2	3	4
Zeile	Kat.	Nutzung	Beispiele	q_k kN/m ²
1	A1	Spitzböden	Für Wohnzwecke nicht geeigneter, aber zugänglicher Dachraum bis 1,80 m lichter Höhe	1,0
2	A	Wohn- und Aufenthaltsräume	Decken mit ausreichender Querverteilung der Lasten, Räume und Flure in Wohngebäuden, Bettenräume in Krankenhäusern, Hotelzimmer einschl. zugehöriger Küchen und Bäder	1,5
3			wie A2, aber ohne ausreichende Querverteilung der Lasten	2,0 ^c
4	B	Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	Flure in Bürogebäuden, Büroflächen, Arztpraxen ohne schweres Gerät, Stationsräume, Aufenthaltsräume einschl. der Flure, Kleinviehställe	2,0
5			Flure und Küchen in Krankenhäusern, Hotels, Altenheimen, Flure in Internaten usw.; Behandlungsräume in Krankenhäusern, einschl. Operationsräume ohne schweres Gerät; Kellerräume in Wohngebäuden	3,0
6			Alle Beispiele von B1 u. B2, jedoch mit schwerem Gerät	5,0
7	C	Räume, Versammlungsräume und Flächen, die der Ansammlung von Personen dienen können (mit Ausnahme von unter A, B und D festgelegten Kategorien).	Flächen mit Tischen; z. B. Kindertagesstätten, Kinderkrippen, Schulräume, Cafés, Restaurants, Speisesäle, Lesesäle, Empfangsräume, Lehrerzimmer	3,0
8			Flächen mit fester Bestuhlung; z. B. Flächen in Kirchen, Theatern oder Kinos, Kongresssäle, Hörsäle, Wartesäle	4,0
9			Frei begehbbare Flächen; z. B. Museumsflächen, Ausstellungsflächen, Eingangsbereiche in öffentlichen Gebäuden, Hotels, nicht befahrbare Hofkellerdecken, sowie die zur Nutzungskategorie C1 bis C3 gehörigen Flure	5,0
10			Sport- und Spielflächen; z. B. Tanzsäle, Sporthallen, Gymnastik- und Kraftsporträume, Bühnen	5,0
11			Flächen für große Menschenansammlungen; z. B. in Gebäuden wie Konzertsäle, Terrassen und Eingangsbereiche sowie Tribünen mit fester Bestuhlung	5,0
12			Flächen mit regelmäßiger Nutzung durch erhebliche Menschenansammlungen, Tribünen ohne feste Bestuhlung	7,5

**Tabelle 4 Lotrechte Nutzlasten für Decken, Treppen und Balkone gemäß DIN EN 1991-1-1/NA,
Tab. 6.1DE [4] Fortsetzung**

Spalte	1		2	3	4
Zeile	Kat.		Nutzung	Beispiele	q_k [kN/m ²]
13	D	D1	Verkaufsräume	Flächen von Verkaufsräumen bis 50 m ² Grundfläche in Wohn-, Büro- und vergleichbaren Gebäuden	2,0
14		D2		Flächen in Einzelhandelsgeschäften und Warenhäusern	5,0
15		D3		Flächen wie D2, jedoch mit erhöhten Einzellasten infolge hoher Lagerregale	5,0
16	E	E1.1	Lager, Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge	Flächen in Fabriken ^a und Werkstätten ^a mit leichtem Betrieb und Flächen in Großviehställen	5,0
17		E1.2		Allgemeine Lagerflächen, einschließlich Bibliotheken	6,0 ^b
18		E2.1		Flächen in Fabriken ^a und Werkstätten ^a mit mittlerem oder schwerem Betrieb	7,5 ^b
19	T ^d	T1	Treppen und Treppenpodeste	Treppen und Treppenpodeste in Wohngebäuden, Bürogebäuden und von Arztpraxen ohne schweres Gerät	3,0
20		T2		Alle Treppen und Treppenpodeste, die nicht in T1 oder T3 eingeordnet werden können	5,0
21		T3		Zugänge und Treppen von Tribünen ohne feste Sitzplätze, die als Fluchtwege dienen	7,5
22	Z ^d		Zugänge, Balkone und ähnliches	Dachterrassen, Laubengänge, Loggien usw., Balkone, Ausstiegspodeste	4,0

^a Nutzlasten in Fabriken und Werkstätten gelten als vorwiegend ruhend. Im Einzelfall sind sich häufig wiederholende Lasten je nach Gegebenheit als nicht vorwiegend ruhende Lasten einzuordnen.

^b Bei diesen Werten handelt es sich um Mindestwerte. In Fällen, in denen höhere Lasten vorherrschen, sind die höheren Lasten anzusetzen.

^c Für die Weiterleitung der Lasten in Räumen mit Decken ohne ausreichende Querverteilung auf stützende Bauteile darf der angegebene Wert um 0,5 kN/m² abgemindert werden.

^d Hinsichtlich der Einwirkungskombinationen sind die Einwirkungen der Nutzungskategorie des jeweiligen Gebäudes oder Gebäudeteils zuzuordnen.

2.3 Schneelasten gemäß DIN EN 1991-1-3/NA

Deutschland ist in verschiedene Schneelastzonen aufgeteilt, die in Abhängigkeit der Geländehöhe über Meeresniveau im Regelfall den charakteristischen Wert der Schneelast auf dem Boden s_k festlegen. Es gibt 3 Hauptzonen, Zone 1, 2 und 3 sowie 2 Unterzonen, Zone 1a und 2a. Hierbei ist zu beachten, dass die Schneelastzonen 1 und 1a nur bis zu einer Geländehöhe von 800 müNN, die Schneelastzonen 2 und 2a bis zu einer Geländehöhe von 1200 müNN definiert sind.

$$\text{Zone 1: } s_k = 0,19 + 0,91 \cdot (A + 140)^2/760^2 \geq 0,65 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Gl. 3}$$

$$\text{Zone 1a: } s_k = 1,25 \cdot [0,19 + 0,91 \cdot (A + 140)^2/760^2] \geq 1,25 \cdot 0,65 \text{ kN/m}^2 = 0,81 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Gl. 4}$$

$$\text{Zone 2: } s_k = 0,25 + 1,91 \cdot (A + 140)^2/760^2 \geq 0,85 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Gl. 5}$$

$$\text{Zone 2a: } s_k = 1,25 \cdot [0,25 + 1,91 \cdot (A + 140)^2/760^2] \geq 1,25 \cdot 0,85 \text{ kN/m}^2 = 1,06 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Gl. 6}$$

$$\text{Zone 3: } s_k = 0,31 + 2,91 \cdot (A + 140)^2/760^2 \geq 1,10 \text{ kN/m}^2 \quad \text{Gl. 7}$$

A Geländehöhe über Meeresniveau

s_k charakteristischer Wert der Schneelast am Boden

Die anzusetzende Schneelast ergibt sich gemäß Gl. 8 für ständige und veränderliche Bemessungssituationen:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad \text{Gl. 8}$$

C_e Umgebungskoeffizient, in Deutschland $C_e = 1,0$

C_t Temperaturkoeffizient, in Deutschland $C_t = 1,0$

μ_i Formbeiwert für Schneelasten

Für den vorliegenden Forschungsbericht wird für die Bestimmung der maßgebenden Einwirkungskombination ein Formbeiwert von $\mu = 0,8$ gewählt. Mit diesem Formbeiwert sind alle Sattel-, Pult- und Flachdächer berücksichtigt. Für Tonnendächer, Scheddächer sowie für Dächer mit Höhenversprüngen sind gesonderte Überlegungen notwendig.

2.4 Windlasten gemäß DIN EN 1991-1-4/NA

Die Fläche Deutschlands ist in die Windzonen 1 bis 4 unterteilt, die unter Berücksichtigung des umliegenden Geländes die Ermittlung der maßgebenden Windlasten ermöglichen. Es gibt hierzu ebenfalls 4 Geländekategorien, wobei Windzone 4 in Verbindung mit Geländekategorie I (glattes, flaches Land ohne Hindernisse; Seen mit mind. 5 km freier Fläche in Windrichtung; offene See) die höchsten Böengeschwindigkeitsdrücke und damit die höchsten Windlasten liefert. Der Böengeschwindigkeitsdruck nimmt über die Bauwerkshöhe zudem exponentiell zu (siehe Gl. 10 und Gl. 11).

$$w = w_e + w_i \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{Gl. 9}$$

w_e Außendruck [kN/m²]

w_i Innendruck [kN/m²]

Tabelle 5 Basiswindgeschwindigkeitsdruck gemäß DIN EN 1991-1-4/NA, Anhang NA-A [8]

Windzone	$q_{b,0}$ [kN/m ²]
1	0,32
2	0,39
3	0,47
4	0,56

$$q_p(z) = 2,3 \cdot q_b \cdot (z/10)^{0,27} \quad \text{für } 4\text{ m} \leq z \leq 50\text{ m} \quad \text{Gl. 10}$$

$$q_p(z) = 2,6 \cdot q_b \cdot (z/10)^{0,19} \quad \text{für } 50\text{ m} \leq z \leq 300\text{ m} \quad \text{Gl. 11}$$

Die Bauwerksgeometrie und die hieraus abgeleiteten aerodynamischen Beiwerte c_p (Gl. 12 und Gl. 13) sind weitere maßgebende Faktoren für die Höhe des Winddrucks w . Nach *Goris, A. [15], Abschnitt 7.2.9*, ist „bei üblichen Büro- und Wohngebäuden [...] der Innendruck in der Regel nicht nachzuweisen. Bei einem Öffnungsanteil der Außenwände unter 1 % und annähernd gleichmäßiger Verteilung der Öffnungen ist der Nachweis des Innendruckes ebenfalls nicht erforderlich.“ Die Außendruckbeiwerte c_{pe} können für Flachdächer maximal $c_{pe} = +0,2$, für Pult-, Sattel-, Trog- und Walmdächer bei 30° Dachneigung $c_{pe} = +0,4$ (außerhalb der Dachkanten), ab 45° Dachneigung $c_{pe} = +0,6$ (außerhalb der Dachkanten), ab 60° Dachneigung $c_{pe} = +0,7$ und ab 75° Dachneigung $c_{pe} = +0,8$ annehmen.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad \text{Gl. 12}$$

c_{pe} Aerodynamischer Beiwert für den Außendruck [-]
 z_e Bezugshöhe [m]

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad \text{Gl. 13}$$

c_{pi} Aerodynamischer Beiwert für den Außendruck [-]
 z_i Bezugshöhe [m]

Somit ergibt sich für ein 300 m hohes Gebäude mit Flachdach in Windzone 4 in Verbindung mit Geländekategorie I folgende maximale vertikale Windlast auf das Flachdach:

$$w = 2,6 \cdot 0,56 \cdot (300/10)^{0,19} \cdot 0,2 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

Dieser Wert stellt lediglich einen Bruchteil der Nutzlast der kleinsten Kategorie A2 mit $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$ dar, somit wird auf Untersuchung der Windlast als vertikale Leiteinwirkung bei Hochhäusern mit Flachdach verzichtet.

Für ein 300 m hohes Gebäude mit einem gegenüber der Horizontalen um 45° geneigtem Pult-, Sattel-, Trog- und Walmdach in Windzone 4 in Verbindung mit Geländekategorie I ergibt sich folgende maximale vertikale Windlast:

$$w = 2,6 \cdot 0,56 \cdot (300/10)^{0,19} \cdot 0,6 \cdot \cos(45^\circ) = 1,18 \text{ kN/m}^2$$

Hieraus ergeben sich folgende Einwirkungskombinationen der veränderlichen Einwirkungen Wind und Nutzlast Kat. A2 mit den Kombinationsbeiwerten ψ_0 nach Tabelle 6:

$$\begin{aligned} \text{Leiteinwirkung Wind:} & \quad q_d = 1,5 \cdot 1,18 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 1,50 \text{ kN/m}^2 = 3,35 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Leiteinwirkung Nutzlast:} & \quad q_d = 1,5 \cdot 1,50 \text{ kN/m}^2 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,18 \text{ kN/m}^2 = 3,31 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Bereits bei geringfügig niedrigeren Windlasten sind immer die Nutzlasten als vertikale Leiteinwirkung maßgebend. Somit werden in den nachfolgenden Untersuchungen die vertikalen Anteile der Windeinwirkung immer als Begleiteinwirkungen angesetzt.

2.5 Ermittlung der Leiteinwirkung aus Schnee- und Nutzlasten

Im Hochbau können vertikale Lasten aus Schnee- und Nutzlasten gleichzeitig auftreten. Hierbei ist für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit die maßgebende Einwirkung als „veränderliche Leiteinwirkung“ $Q_{k,1}$, die andere als „veränderliche Begleiteinwirkung“ $\psi_0 \cdot Q_{k,i}$ mit den Kombinationsbeiwerten aus Tabelle 6 zu wählen. In Bild 3 und Bild 4 ist jeweils für ein eingeschossiges sowie für ein mehrgeschossiges Gebäude die Summe der Vertikallasten aus veränderlichen Einwirkungen dargestellt. Beim Nachweis der Vertikaltragglieder eines eingeschossigen Gebäudes, mit Einwirkungen aus Nutzlast nach Kat. A2 sowie aus Schnee in Zone 2 ist bis zu einer Geländehöhe von 374 müNN die Nutzlast als Leiteinwirkung maßgebend, bei höheren Geländehöhen ist die Schneelast als Leiteinwirkung maßgebend. Beim Nachweis der Vertikaltragglieder eines mehrgeschossigen Gebäudes ist bis zu einer Geländehöhe von 638 müNN die Nutzlast, darüber die Schneelast als Leiteinwirkung maßgebend. Bei mehr als zwei Geschossen ergibt sich unter Berücksichtigung der Abminderung der Nutzlast mit dem Beiwert α_n aus Gl. 14 keine Änderung.

$$\alpha_n = 0,7 + 0,6/n \quad \text{Gl. 14}$$

n Anzahl der Stockwerke ($n > 2$)

Bis zum Erreichen der Geländehöhen in Tabelle 7 bis Tabelle 11 sind die Nutzlasten als Leiteinwirkung im GZT maßgebend. Die Tabellen wurden für alle in Deutschland gültigen Schneelastzonen unter Berücksichtigung des Formbeiwertes für Schnee $\mu = 0,8$ sowie den Nutzungskategorien des üblichen Hochbaus entwickelt.

Tabelle 6 Kombinationsbeiwerte ψ_0 für ständige/vorübergehende Bemessungssituation gemäß
DIN EN 1990/NA, Tab. NA.A.1.2(B) [2] (gekürzte Tabelle)

Einwirkung	ψ_0
Nutzlasten im Hochbau (Kategorien siehe DIN EN 1991-1-1) ^a	
— Kategorie A: Wohn- und Aufenthaltsräume	0,7
— Kategorie B: Büros	0,7
— Kategorie C: Versammlungsräume	0,7
— Kategorie D: Verkaufsräume	0,7
— Kategorie E: Lagerräume	1,0
— Kategorie H: Dächer	0
Schnee- und Eislasten, siehe DIN EN 1991-1-3	
— Orte bis zu NN + 1 000 m	0,5
— Orte über NN + 1 000 m	0,7
Windlasten, siehe DIN EN 1991-1-4	0,6
^a Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe DIN EN 1991-1-1	

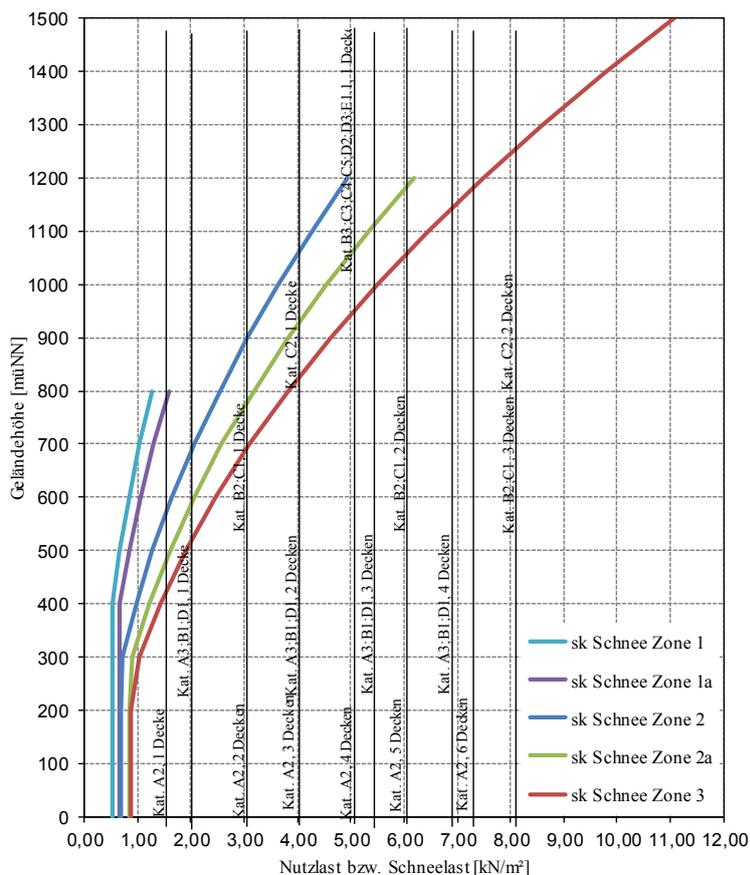


Bild 2 Vergleich zwischen den Schneelasten der Schnee Zonen 1-3 und $\mu = 0,8$ mit den
Nutzlasten der Nutzlastkategorien A-E

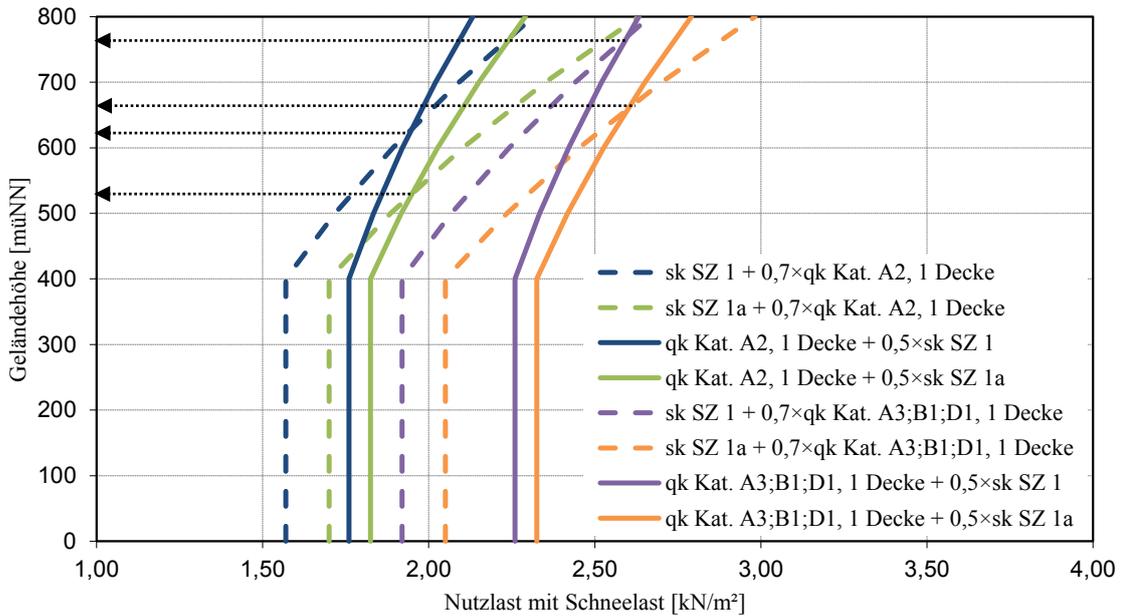


Bild 3 Ermittlung der Leiteinwirkung für Nutzlasten der Kat. A2 bzw. A3;B1;D1 in Verbindung mit Schneelasten in Schnee Zone 1 und 1a und $\mu = 0,8$

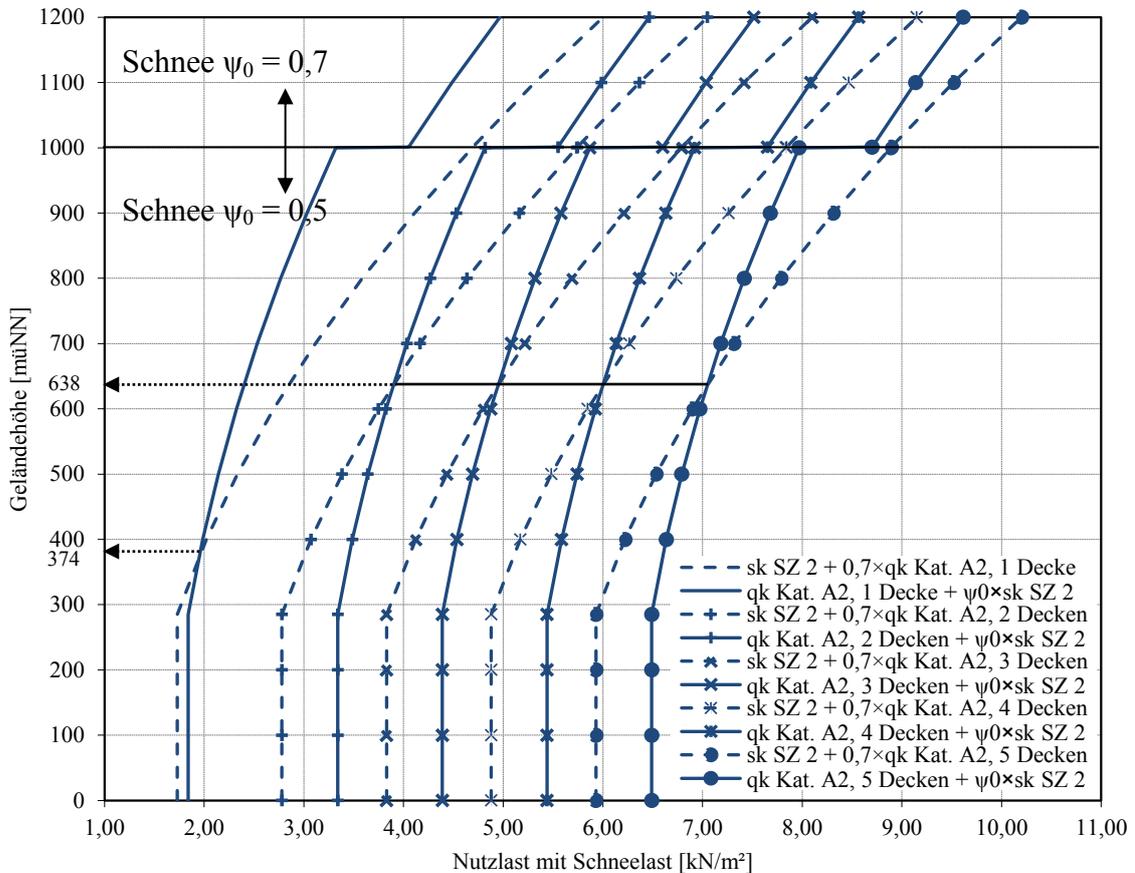


Bild 4 Ermittlung der Leiteinwirkung für Nutzlasten Kat. A2 in Verbindung mit Schneelasten in Schnee Zone 2 und $\mu = 0,8$

Tabelle 7 *Leiteinwirkung für Nutzlasten $q_k=1,5 \text{ kN/m}^2$ (Kat. A2) in Verbindung mit Schneelasten unter Berücksichtigung des Formbeiwertes für Schnee $\mu = 0,8$*

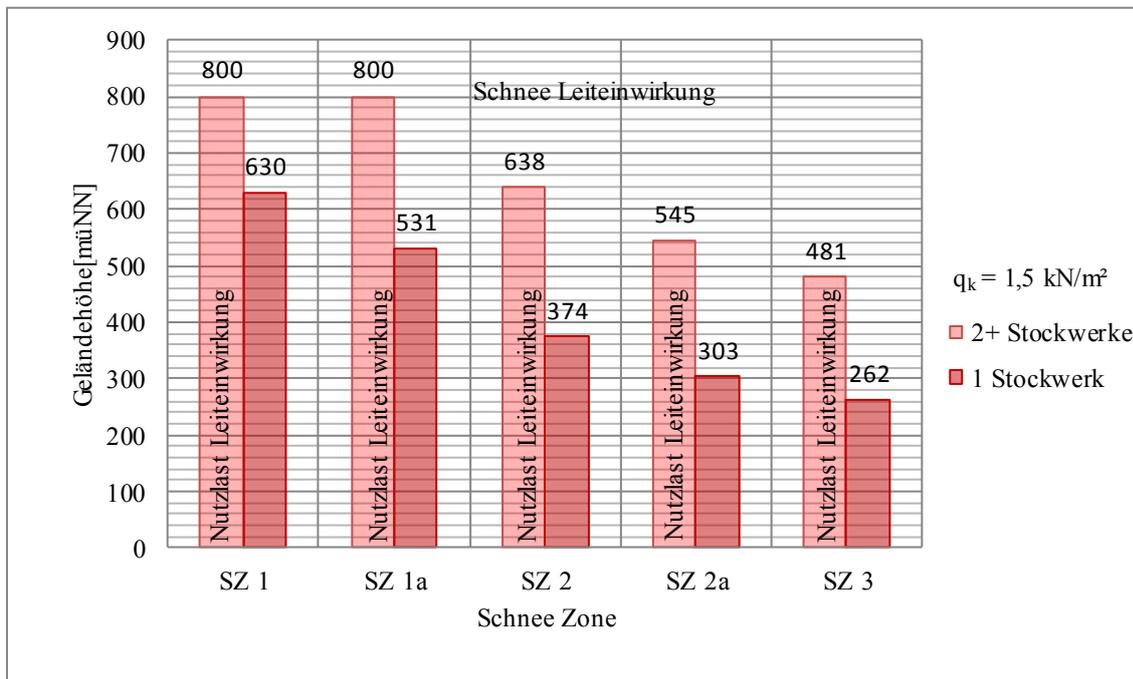


Tabelle 8 *Leiteinwirkung für Nutzlasten $q_k=2,0 \text{ kN/m}^2$ (Kat. A3;B1;D1) in Verbindung mit Schneelasten unter Berücksichtigung des Formbeiwertes für Schnee $\mu = 0,8$*

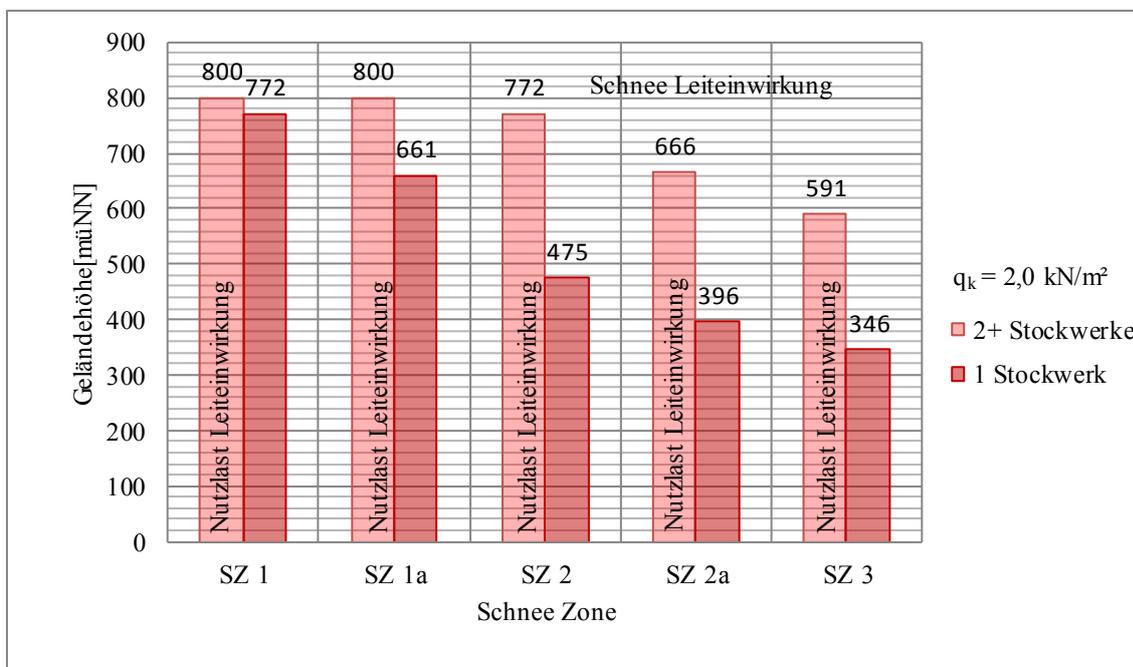


Tabelle 9 Leiteinwirkung für Nutzlasten $q_k=3,0 \text{ kN/m}^2$ (Kat. B2;C1) in Verbindung mit Schneelasten unter Berücksichtigung des Formbeiwertes für Schnee $\mu = 0,8$

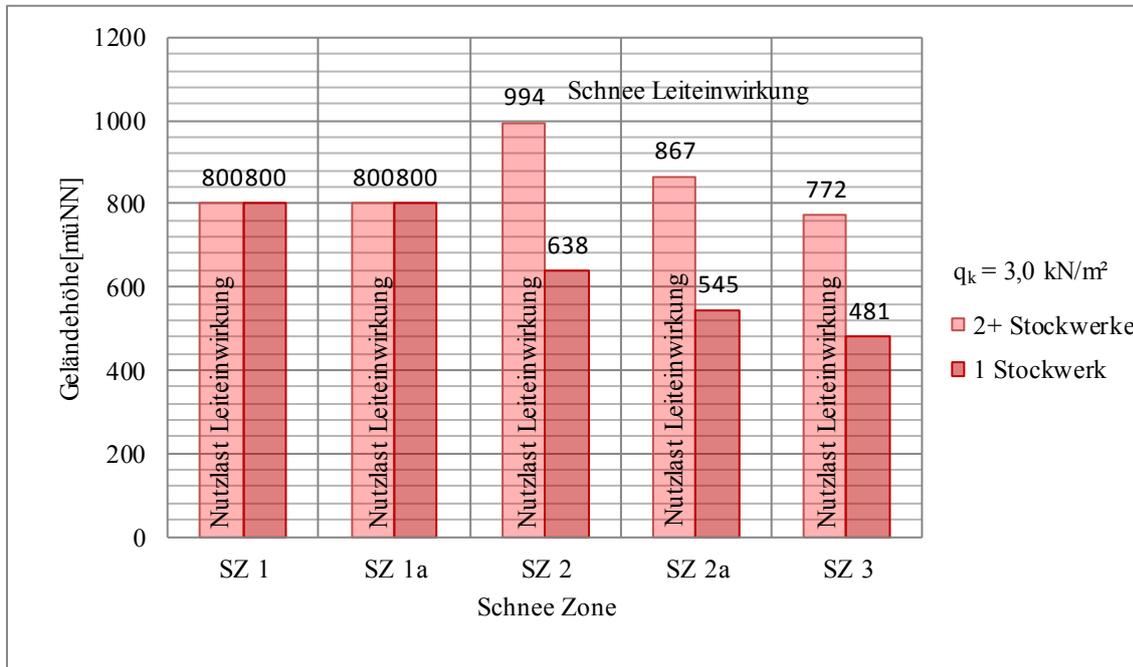


Tabelle 10 Leiteinwirkung für Nutzlasten $q_k=4,0 \text{ kN/m}^2$ (Kat. C2) in Verbindung mit Schneelasten unter Berücksichtigung des Formbeiwertes für Schnee $\mu = 0,8$

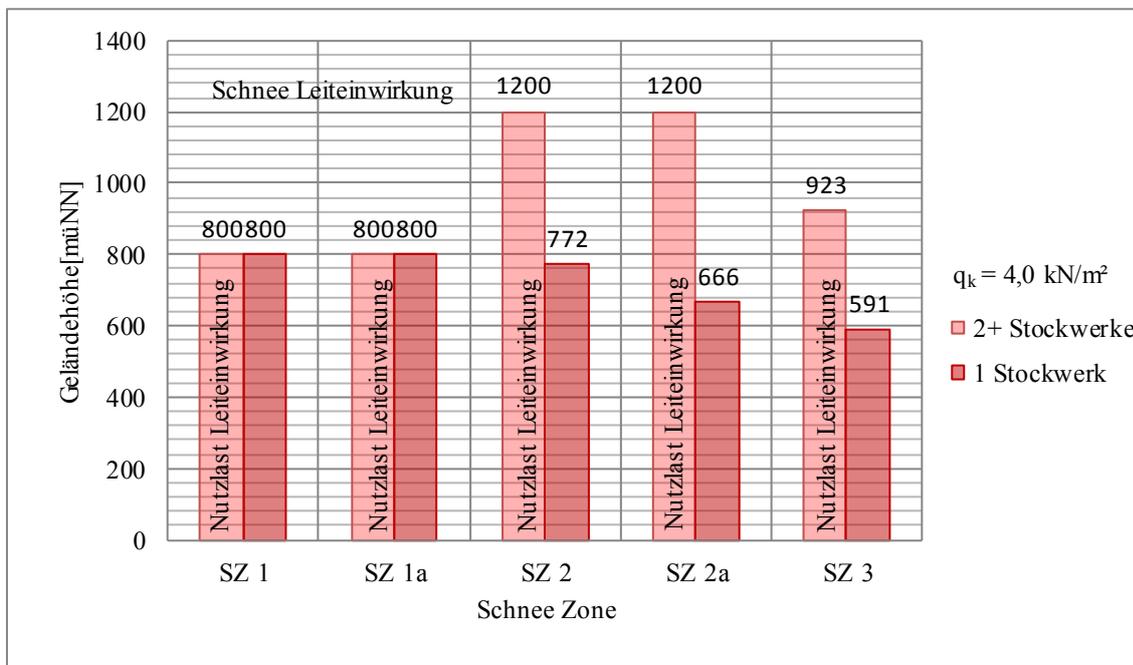
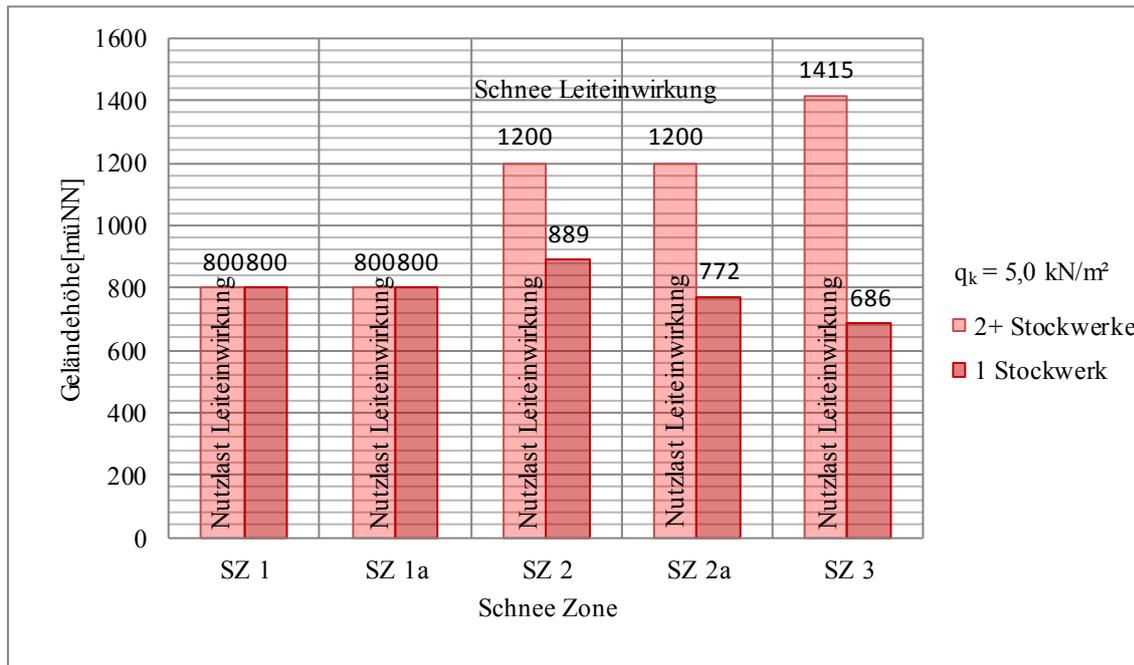


Tabelle 11 *Leiteinwirkung für Nutzlasten $q_k=5,0 \text{ kN/m}^2$ (Kat. B3;C3;C4;C5;D2;D3) in Verbindung mit Schneelasten unter Berücksichtigung des Formbeiwertes für Schnee $\mu = 0,8$*



Nutzlasten der Kategorie E1.1 weisen einen Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 1,0$ auf, werden im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht abgemindert und daher nie als Leiteinwirkung maßgebend.

3 Gewählte Rechenmodelle

3.1 Unverschiebliche Systeme

3.1.1 Definition

Der Begriff „Unverschiebliche Systeme“ bezeichnet eine Gruppe von Tragwerken, die durch lotrechte Wandscheiben, Kerne o.ä. derart ausgesteift sind, dass die Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung vernachlässigt werden können.

Nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.8.3.3(1), Gl. (5.18), ist dies der Fall, wenn das Abgrenzungskriterium nach Gl. 15 erfüllt ist und gleichzeitig die Randbedingungen nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.8.3.3(1) eingehalten sind. So muss ein ausreichender Torsionswiderstand des Tragwerks vorhanden sein, Schubkraftverformungen müssen vernachlässigbar sein, die Gründung der Aussteifungsbauteile muss starr erfolgen, die Steifigkeit der Aussteifungsbauteile muss entlang der Höhe annähernd konstant sein und die gesamte, vertikale Last muss pro Stockwerk annähernd gleichmäßig zunehmen [9].

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot L^2}{\sum E_{cd} I_c} \leq 0,31 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \quad \text{Gl. 15}$$

$F_{v,Ed}$ die gesamte vertikale Last mit $\gamma_F = 1,0$ (auf ausgesteifte und aussteifende Bauteile)

n_s Anzahl der Geschosse

L die Gesamthöhe des Gebäudes oberhalb der Einspannung

E_{cd} der Bemessungswert des Elastizitätsmoduls von Beton mit $E_{cd} = E_{cm}/1,2$

I_c das Trägheitsmoment des ungerissenen Betonquerschnitts der aussteifenden Bauteile

Zudem darf gemäß DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.8.3.3(2), das Aussteifungskriterium auf $0,62 \cdot n_s/(n_s + 1,6)$ verdoppelt werden, „wenn nachgewiesen werden kann, dass die Aussteifungsbauteile im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht gerissen sind“ [9].

Sind nach DIN EN 1992-1-1/NA, Abschnitt 5.8.3.3(NA.3), „die lotrechten, aussteifenden Bauteile nicht annähernd symmetrisch angeordnet oder nicht vernachlässigbare Verdrehungen zugelassen, muss zusätzlich die Verdrehsteifigkeit aus der Kopplung der Wölbsteifigkeit $E_{cd}I_\omega$ und der Torsionssteifigkeit $G_{cd}I_T$ der Gleichung Gl. 16 genügen, um Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung [...] vernachlässigen“ zu können [10].

$$\left(\frac{1}{L} \sqrt{\frac{E_{cd}I_\omega}{\sum_j F_{v,Ed,j} \cdot r_j^2}} + \frac{1}{2,28} \cdot \sqrt{\frac{G_{cd}I_T}{\sum_j F_{v,Ed,j} \cdot r_j^2}} \right)^2 \leq 0,31 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \text{ bzw. } 0,62 \cdot \frac{n_s}{n_s + 1,6} \quad \text{Gl. 16}$$

$F_{v,Ed,j}$ der Bemessungswert der Vertikallast der aussteifenden und ausgesteiften Bauteile j mit $\gamma_F = 1,0$

$E_{cd}I_\omega$ die Summe der Nennwölbsteifigkeiten aller gegen Verdrehung aussteifender Bauteile

$G_{cd}I_T$ die Summe der Torsionssteifigkeiten aller gegen Verdrehung aussteifenden Bauteile (mit $G_{cd} = E_{cd}/(2(1+\mu)) = E_{cd}/2,4$ mit Querdehnzahl $\mu = 0,2$)

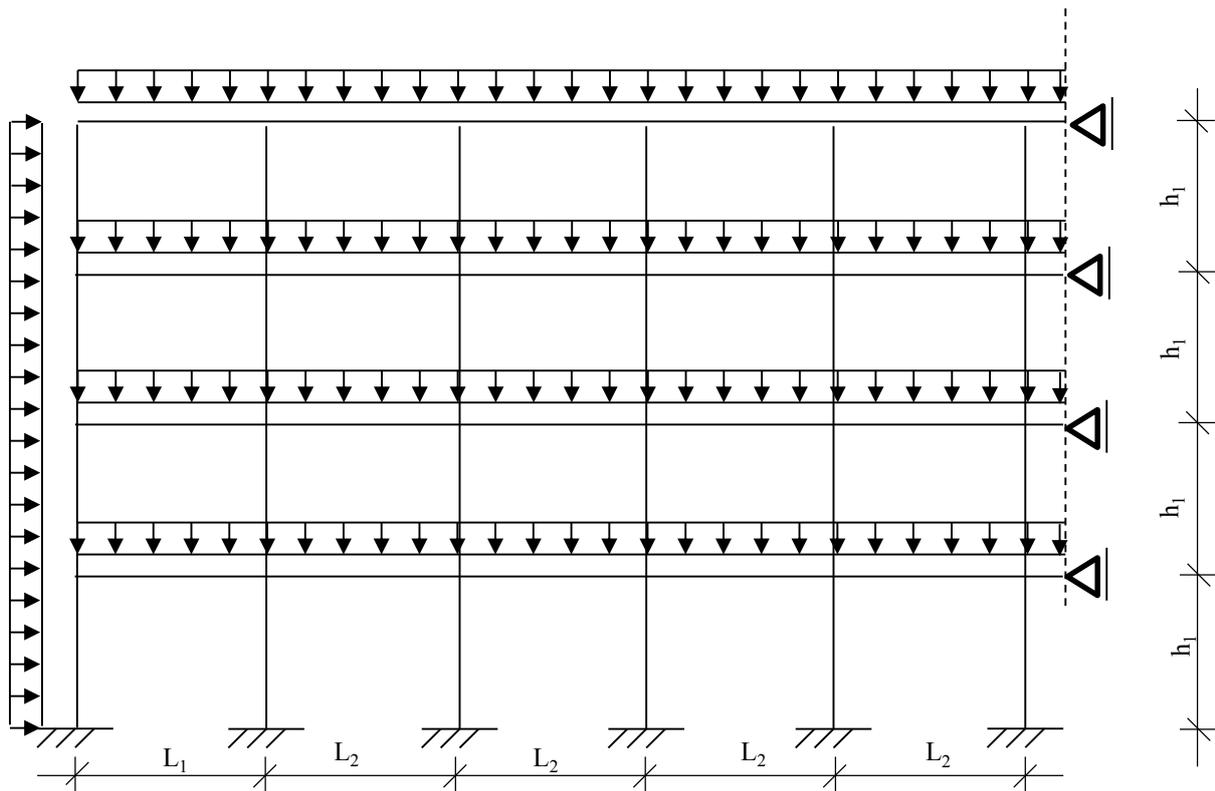


Bild 5 Idealisiertes, unverschiebliches Rahmensystem im Hochbau

3.1.2 Biegebauteile

Biegebauteile im Hochbau sind Balken und Platten. Ein Balken ist nach *DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.3.1(3)*, [9] ein "Bauteil, dessen Stützweite nicht kleiner als die 3-fache Gesamtquerschnittshöhe ist. Andernfalls ist es in der Regel ein wandartiger Träger." Die Berechnung von Balken erfolgt nach den Regeln der Balkentheorie. Eine Platte ist nach *DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.3.1(4)*, [9] ein "flächenartiges Bauteil, dessen kleinste Dimensionen in der Ebene mindestens seiner 5-fachen Gesamtdicke entsprechen." Die Berechnung von Platten erfolgt nach der Plattentheorie.

Aussteifende Wände werden zu den Biegebauteilen gezählt, da der Anteil der Biegung an der Gesamtbeanspruchung in der Regel überwiegt. Die Berechnung der aussteifenden Wände erfolgt mit Hilfe des Systems aus Bild 6. Hier ist eine im Fußpunkt eingespannte, aussteifende Wand mit 4 angehängten Pendelstützen dargestellt, wobei die Anzahl und die Höhe der Pendelstützen variabel ist.

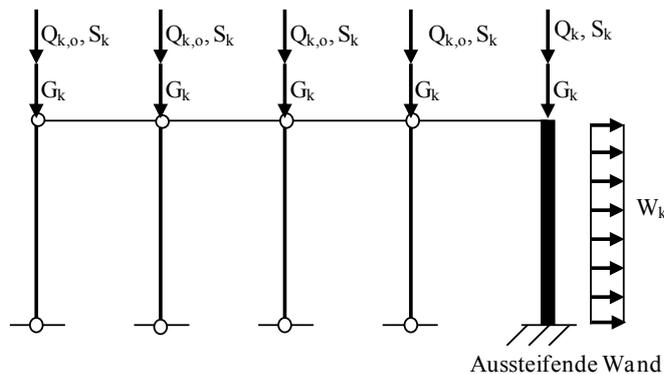


Bild 6 System und zur Berechnung von aussteifenden Wänden

3.1.3 Druckglieder - Randstützen und Außenwände

"Eine Stütze ist [nach *DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.3.1(3), [9]*] ein Bauteil, dessen Querschnittsbreite nicht mehr als das 4fache seiner Querschnittshöhe und dessen Gesamtlänge mindestens das 3fache seiner Querschnittshöhe beträgt. Im Falle anderer Querschnittsabmessungen ist es eine Wand." Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) hat in *Heft 240 [12]* Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen von Stahlbetontragwerken zusammengestellt. Die Randbedingungen für die vereinfachten Berechnungsverfahren nach *Heft 240 [12]* werden in *Abschnitt 1* formuliert: „Biegemomente in Innenstützen von rahmenartigen Tragwerken unter lotrechter Belastung, bei denen unter Gebrauchslast alle horizontalen Lasten von aussteifenden Scheiben aufgenommen werden können, dürfen entsprechend (Anm.: der vormals gültigen) *DIN 1045, Abschnitt 15.4.2*, im Allgemeinen vernachlässigt werden. Randstützen sind jedoch stets als Rahmenstiele in biegefesten Verbindung mit Platten. Balken oder Plattenbalken zu berechnen.“ In *Heft 240, Abschnitt 1.6 [12]* wird gefordert, dass „die Biegemomente in Einfeldrahmen [...] immer durch eine Rahmenberechnung zu ermitteln“ sind. Für Mehrfeldrahmen ist gemäß *Heft 240, Abschnitt 1.6 [12]* die Vereinfachung erlaubt, dass die „Biegemomente in Mehrfeldrahmen [...] stellvertretend an einem Ersatzdurchlaufträger mit frei drehbar anzunehmender Lagerung ermittelt werden (Anm.: dürfen), wenn die Rahmenwirkung in den Randstützen zusätzlich erfasst wird.“

In diesem Forschungsvorhaben erfolgt die Berechnung des Stützenanschlusses an einem 2-Feld-Deckensystem mit biegesteif angeschlossenen Stützen bzw. Wänden (siehe *Bild 7*), die in Stützen- bzw. Wandmitte gelenkig gelagert sind. Durch die Wahl dieses Systems kann gegenüber dem Gesamtsystem die Anzahl der denkbaren Einwirkungskombinationen auf ein handhabbares Maß reduziert werden. Die Gelenke befinden sich an der Stelle der Momentennullpunkte bei gleicher Lastanordnung in allen Stockwerken. Für ungleiche Lastanordnung in den einzelnen Stockwerken ist diese Annahme auf der sicheren Seite, da sie in allen Fällen zu größeren Schnittgrößen in der Stütze bzw. Wand führt. Mit der Drehfeder k_2 werden die anschließenden Felder abgebildet, dabei ist $k_2 = 4 \cdot EI_{\text{Decke}}/L_2$ für Gleichlasten und $k_2 = 0$ für schachbrettartig angeordnete Nutzlasten. Im Gegensatz zum c_0 - c_u -Verfahren gemäß *Heft 240, Abschnitt 1.6 [12]*, können beim gewählten System auch unterschiedliche Stützweitenverhältnisse L_1/L_2 sowie ein feldweises Auftreten der Nutzlast untersucht werden.

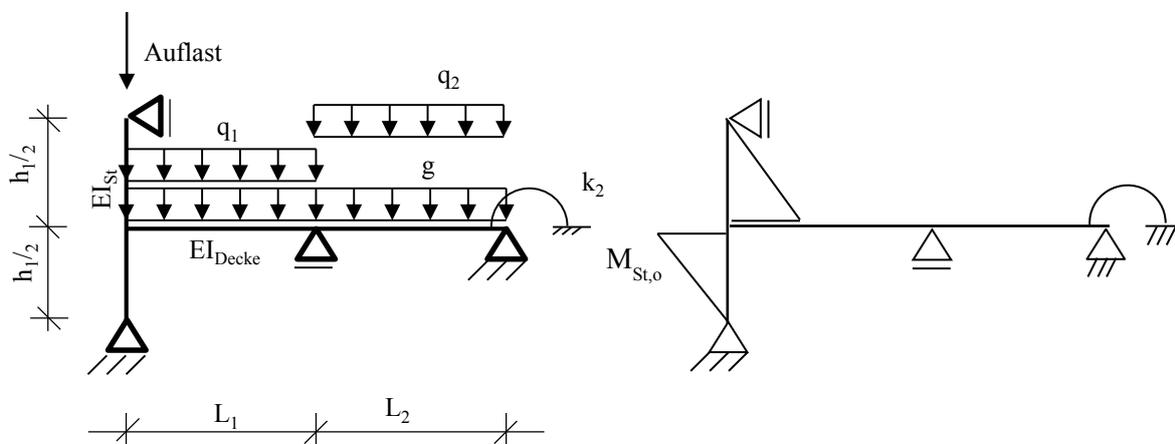


Bild 7 System und zugehörige Stützenmomentenlinie zur Berechnung des Stützen- bzw. Wandanschlusses von Randstützen und Außenwänden

Für Stabilitätsnachweise von Druckgliedern wird ein modifiziertes 2-Feld-Deckensystem mit biegesteif angeschlossenen Stützen bzw. Wänden verwendet (siehe Bild 9), die am Kopf- bzw. Fußpunkt eingespannt sind. Dieses System ist für die Stabilitätsuntersuchung maßgebend, da sich der Momentennullpunkt nun auf 1/3 der Stützen- bzw. Wandhöhe befindet.

Die mitwirkende Breite b_m der angeschlossenen Decke wird in Anlehnung an *Heft 240, Abschnitt 3.5, Tafel 3.6* [12] nach Gl. 17 ermittelt

$$b_m = \lambda \cdot \min l_2 \quad \text{Gl. 17}$$

$\min l_2$ minimaler Stützenabstand in Querrichtung

λ Beiwert nach Bild 8

d_s Kantenlänge bei quadratischen Stützen, bei Rechteckstützen die Kantenlänge des flächengleichen Quadrates

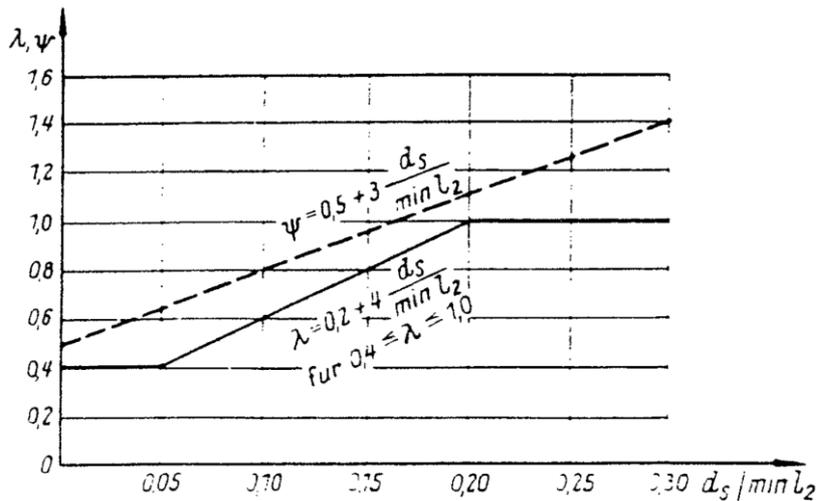


Bild 8 Beiwert λ für die mitwirkende Breite des Riegels des Ersatzrahmens [12]

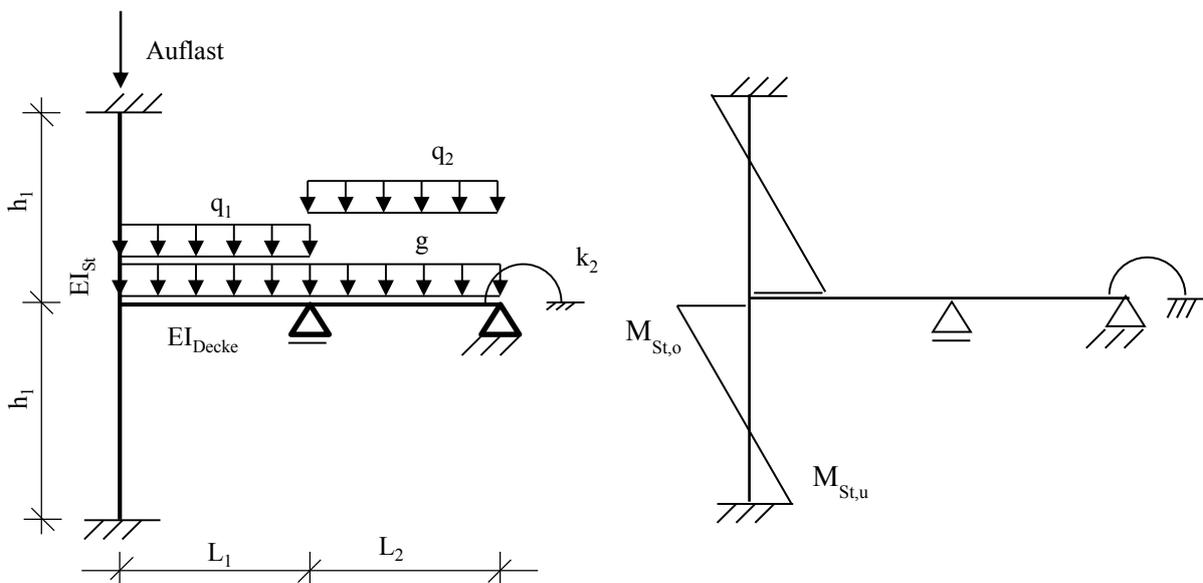


Bild 9 System und zugehörige Stützenmomentenlinie zur Berechnung von Randstützen und Außenwänden nach dem Modellstützenverfahren

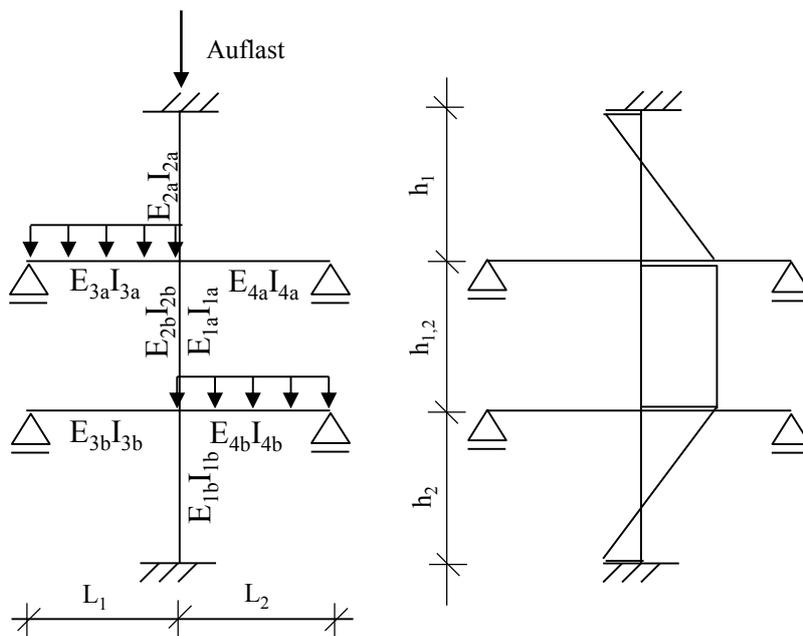


Bild 11 System und Momentenlinie zur Berechnung der Schnittgrößen aus ungleichmäßiger Belastung bei Innenwänden

3.2 Verschiebliche Systeme

3.2.1 Definition

Der Begriff „Verschiebliche Systeme“ bezeichnet eine Gruppe von Tragwerken, die durch lotrechte Wandscheiben, Kerne o.ä. nicht ausreichend ausgesteift sind, so dass die Nachweise am Gesamttragwerk nach Theorie II. Ordnung nicht vernachlässigt werden können.

Die Kriterien nach *DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.8.3.3(1) + (2), Gl. (5.18) und Gl. (5.19)*, sind bei solchen Tragwerken nicht erfüllt [9],[10]. Da es im Hochbau eine sehr große Zahl an denkbaren, verschieblichen Tragwerken gibt, werden die Untersuchungen in diesem Forschungsvorhaben auf unverschiebliche Systeme beschränkt.

3.3 Bemessung von Stahlbetonbauteilen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

3.3.1 Bemessung auf Querschnittsebene

Bild 12 zeigt die verschiedenen Anwendungsbereiche der Bemessungshilfen für Rechteckquerschnitte. Für überwiegend auf Biegung beanspruchte Bauteile sowie Bauteile mit Zugnormalkraft wird die erforderliche Bewehrung ausschließlich mit Hilfe des dimensionslosen ω -Verfahrens (Bild 13 und Bild 14) oder mit Hilfe des dimensionsgebundenen k_d -Verfahrens bestimmt. Hierbei ist zu beachten, dass die ermittelte Zugbewehrung ungleich der Druckbewehrung ist ($A_{s1} \neq A_{s2}$).

Für überwiegend auf Druck beanspruchte Bauteile, insbesondere solche mit geringer Lastexzentrizität e/h und großer Beanspruchung aus Drucknormalkraft kommt das M-N-Interaktionsdiagramm gemäß Bild 15 zur Anwendung. Die Bewehrung ist symmetrisch im Querschnitt angeordnet ($A_{s1} = A_{s2}$). Dies zeigen beispielhafte Bewehrungsführungen z.B. für einen Rahmenendknoten [14], Abb. D.11.16, oder einen Rahmeninnenknoten [14], Abb. D.11.18.

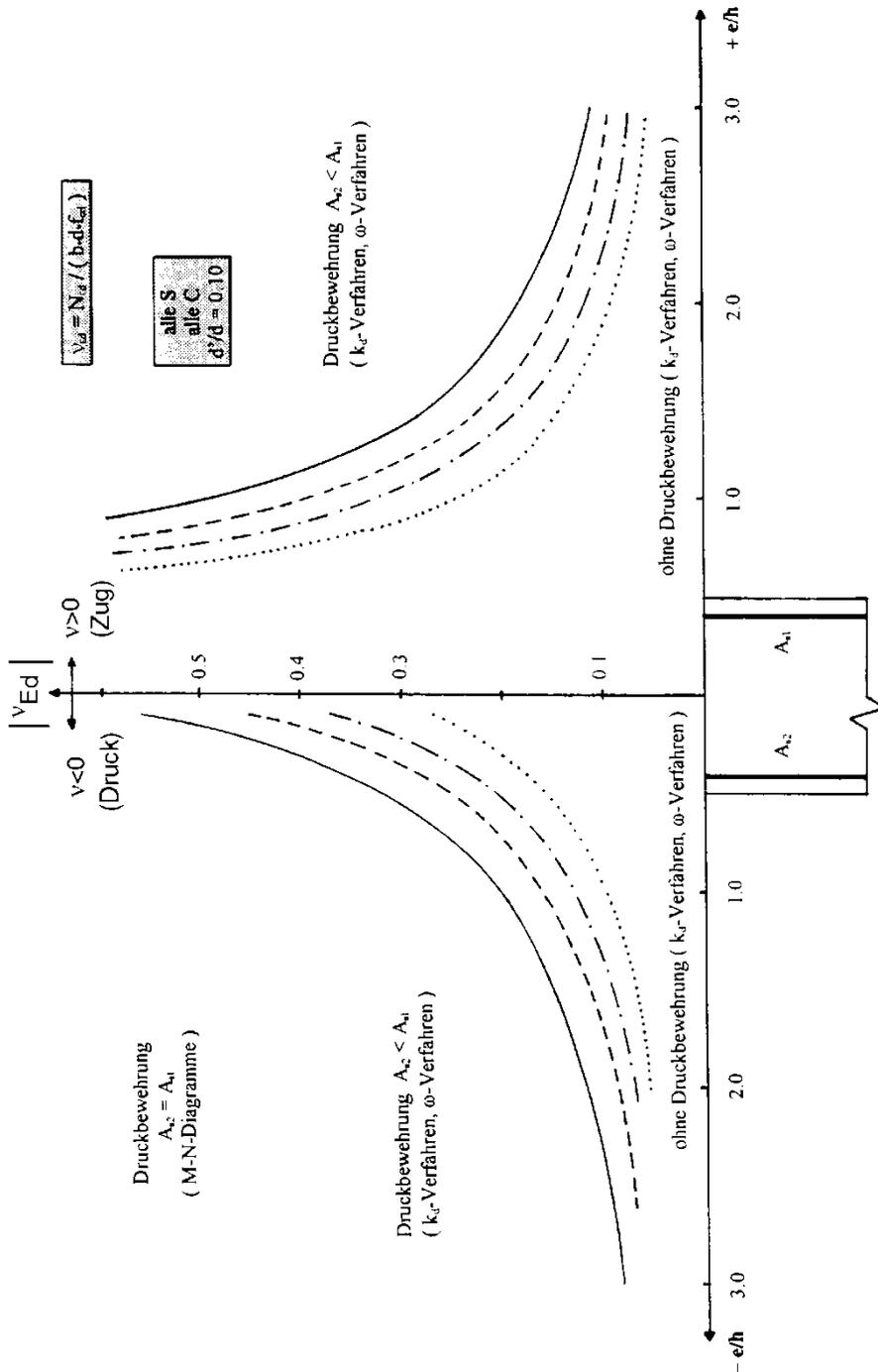
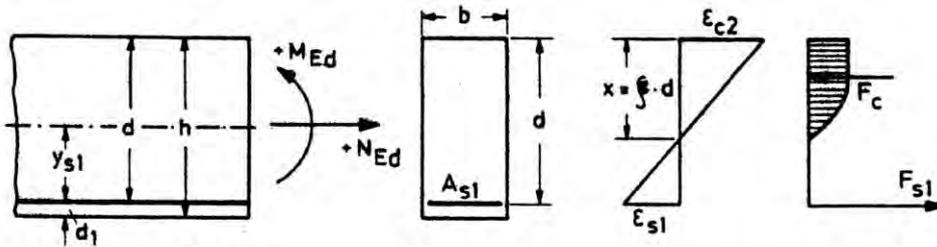


Bild 12 Anwendungsbereiche der verschiedenen Bemessungshilfen für Rechteckquerschnitte für $d'/d = 0,10$ sowie C12/15 bis C100/115

$$v_{Ed} = N_{Ed} / (b \cdot d \cdot f_{cd})$$

Gl. 19

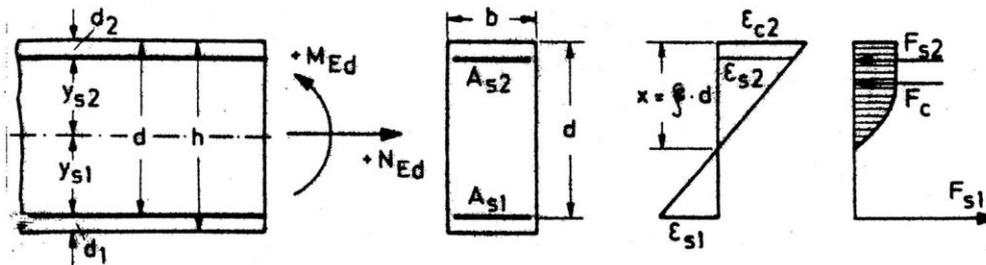


C 12/15 bis C 50/60						
μ_{Eds}	ω_1	$\xi = x/d$	$\zeta = z/d$	ϵ_{c2} [‰]	ϵ_{s1} [‰]	σ_{sd} [MN/m ²]
0,01	0,0101	0,030	0,990	-0,77	25,00	456,5
0,02	0,0203	0,044	0,985	-1,15	25,00	456,5
0,03	0,0306	0,055	0,980	-1,46	25,00	456,5
0,04	0,0410	0,066	0,976	-1,76	25,00	456,5
0,05	0,0515	0,076	0,971	-2,06	25,00	456,5
0,06	0,0621	0,086	0,967	-2,37	25,00	456,5
0,07	0,0728	0,097	0,962	-2,68	25,00	456,5
0,08	0,0836	0,107	0,957	-3,01	25,00	456,5
0,09	0,0946	0,118	0,951	-3,35	25,00	456,5
0,10	0,1058	0,131	0,946	-3,50	23,29	454,9
0,11	0,1170	0,145	0,940	-3,50	20,71	452,4
0,12	0,1285	0,159	0,934	-3,50	18,55	450,4
0,13	0,1401	0,173	0,928	-3,50	16,73	448,6
0,14	0,1519	0,188	0,922	-3,50	15,16	447,1
0,15	0,1638	0,202	0,916	-3,50	13,80	445,9
0,16	0,1759	0,217	0,910	-3,50	12,61	444,7
0,17	0,1882	0,233	0,903	-3,50	11,56	443,7
0,18	0,2007	0,248	0,897	-3,50	10,62	442,8
0,19	0,2134	0,264	0,890	-3,50	9,78	442,0
0,20	0,2263	0,280	0,884	-3,50	9,02	441,3
0,21	0,2395	0,296	0,877	-3,50	8,33	440,6
0,22	0,2529	0,312	0,870	-3,50	7,71	440,1
0,23	0,2665	0,329	0,863	-3,50	7,13	439,5
0,24	0,2804	0,346	0,856	-3,50	6,61	439,0
0,25	0,2946	0,364	0,849	-3,50	6,12	438,5
0,26	0,3091	0,382	0,841	-3,50	5,67	438,1
0,27	0,3239	0,400	0,834	-3,50	5,25	437,7
0,28	0,3391	0,419	0,826	-3,50	4,86	437,3
0,29	0,3546	0,438	0,818	-3,50	4,49	437,0
0,30	0,3706	0,458	0,810	-3,50	4,15	436,7
0,31	0,3869	0,478	0,801	-3,50	3,82	436,4
0,32	0,4038	0,499	0,793	-3,50	3,52	436,1
0,33	0,4211	0,520	0,784	-3,50	3,23	435,8
0,34	0,4391	0,542	0,774	-3,50	2,95	435,5
0,35	0,4576	0,565	0,765	-3,50	2,69	435,3
0,36	0,4768	0,589	0,755	-3,50	2,44	435,0
0,37	0,4968	0,614	0,745	-3,50	2,20	434,8
0,38	0,5177	0,640	0,734	-3,50	1,97	394,5
0,39	0,5396	0,667	0,723	-3,50	1,75	350,1
0,40	0,5627	0,695	0,711	-3,50	1,54	307,1

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b d^2 f_{cd}} \quad A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{sd}} (\omega_1 b d f_{cd} + N_{Ed})$$

Bild 13 Bemessungstabelle mit dimensionslosen Beiwerten für den Rechteckquerschnitt ohne Druckbewehrung für C12/15 bis C50/60 sowie Betonstahl B500

Bestimmung der maßgebenden Einwirkungskombinationen nach DIN EN 1990 zur rationellen Bemessung von Stahlbetonbauteilen im üblichen Hochbau.
 Forschungsbericht des Instituts für Massivbau der TU Darmstadt, Nr. F12-6-2012



C 12/15 bis C 50/60		$\xi = 0,450$		$\sigma_{s1d} = 436,8 \text{ MN/m}^2$				
μ_{Eds}	$d_2/d = 0,05$		$d_2/d = 0,10$		$d_2/d = 0,15$		$d_2/d = 0,20$	
	$\sigma_{s2d} = -435,7 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -435,3 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -434,9 \text{ MN/m}^2$		$\sigma_{s2d} = -388,9 \text{ MN/m}^2$	
	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2	ω_1	ω_2
0,30	0,368	0,004	0,369	0,004	0,369	0,005	0,369	0,005
0,31	0,379	0,015	0,380	0,015	0,381	0,016	0,382	0,017
0,32	0,389	0,025	0,391	0,027	0,392	0,028	0,394	0,030
0,33	0,400	0,036	0,402	0,038	0,404	0,040	0,407	0,042
0,34	0,411	0,046	0,413	0,049	0,416	0,052	0,419	0,055
0,35	0,421	0,057	0,424	0,060	0,428	0,063	0,432	0,067
0,36	0,432	0,067	0,435	0,071	0,439	0,075	0,444	0,080
0,37	0,442	0,078	0,446	0,082	0,451	0,087	0,457	0,092
0,38	0,453	0,088	0,458	0,093	0,463	0,099	0,469	0,105
0,39	0,463	0,099	0,469	0,104	0,475	0,110	0,482	0,117
0,40	0,474	0,109	0,480	0,115	0,487	0,122	0,494	0,130
0,41	0,484	0,120	0,491	0,127	0,498	0,134	0,507	0,142
0,42	0,495	0,130	0,502	0,138	0,510	0,146	0,519	0,155
0,43	0,505	0,141	0,513	0,149	0,522	0,158	0,532	0,167
0,44	0,516	0,151	0,524	0,160	0,534	0,169	0,544	0,180
0,45	0,526	0,162	0,535	0,171	0,545	0,181	0,557	0,192
0,46	0,537	0,173	0,546	0,182	0,557	0,193	0,569	0,205
0,47	0,547	0,183	0,558	0,193	0,569	0,205	0,582	0,217
0,48	0,558	0,194	0,569	0,204	0,581	0,216	0,594	0,230
0,49	0,568	0,204	0,580	0,215	0,592	0,228	0,607	0,242
0,50	0,579	0,215	0,591	0,227	0,604	0,240	0,619	0,255
0,51	0,589	0,225	0,602	0,238	0,616	0,252	0,632	0,267
0,52	0,600	0,236	0,613	0,249	0,628	0,263	0,644	0,280
0,53	0,611	0,246	0,624	0,260	0,639	0,275	0,657	0,292
0,54	0,621	0,257	0,635	0,271	0,651	0,287	0,669	0,305
0,55	0,632	0,267	0,646	0,282	0,663	0,299	0,682	0,317

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b d^2 f_{cd}} \quad A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1d}} (\omega_1 b d f_{cd} + N_{Ed}) \quad A_{s2} = \omega_2 b d \frac{f_{cd}}{\sigma_{s2d}}$$

Bild 14 Bemessungstabelle mit dimensionslosen Beiwerten für den Rechteckquerschnitt mit Druckbewehrung für C12/15 bis C50/60 ($\xi_{lim} = 0,45$; Betonstahl B500, $f_{yd} = 500/1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$)

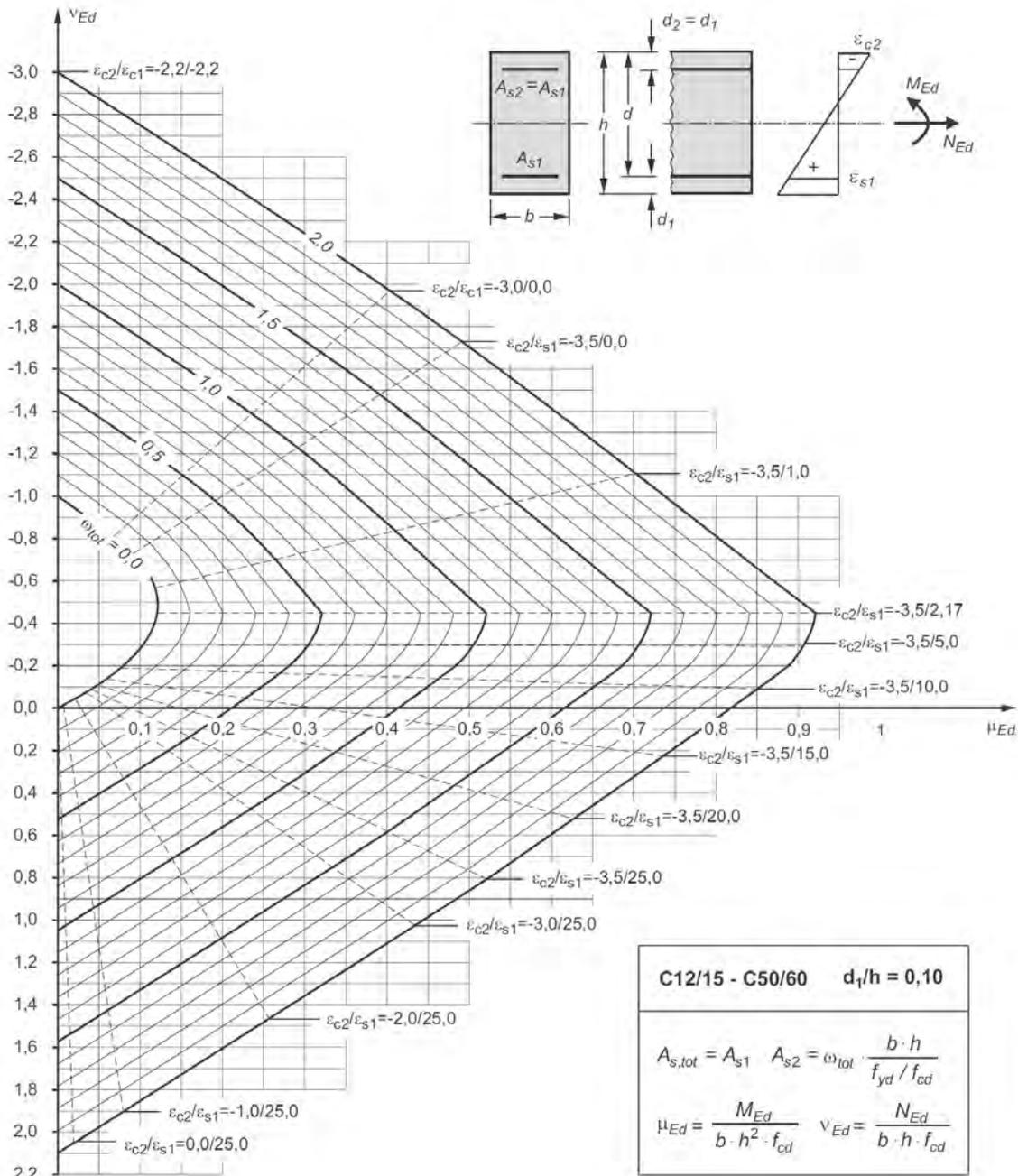


Bild 15 *Interaktionsdiagramm für symmetrisch bewehrte Rechteckquerschnitte C12/15 bis C50/60, Betonstahl B500, $d_1/h = 0,10$, $f_{yd} = 500/1,15 = 434,8 \text{ MN/m}^2$ [16]*

3.3.2 Bemessung auf Bauteilebene

Die Bemessung der Druckglieder auf Bauteilebene erfolgt nach dem Modellstützenverfahren gemäß *DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.8.8* (Verfahren mit Nennkrümmung). Der Einfluss des Kriechens des Betons wird dabei ebenfalls untersucht. Druckglieder mit zweiachsiger Biegung dürfen gemäß *DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 5.8.9(2)* im ersten Schritt getrennt in beide Hauptachsenrichtungen bemessen werden.

4 Identifizierung der maßgebenden Einwirkungskombination bei Biegebauteilen

4.1 Einführung

Die betrachteten Biegebauteile im üblichen Hochbau sind Platten und Balken (Definition siehe Abschnitt 3.1.2). Bei den nachfolgenden Untersuchungen werden zuerst die möglichen Einwirkungskombinationen und anschließend die maßgebenden Einwirkungskombinationen aufgezeigt. Dabei muss beachtet werden, dass günstig wirkende Verkehrslasten nicht angesetzt werden dürfen. Ebenso müssen Nutzlasten derart angesetzt werden, dass die maximale Beanspruchung an der untersuchten Nachweisstelle entsteht.

4.2 Dächer und Dachkonstruktionen

Bei Dächern und Dachkonstruktionen aus Stahlbeton treten neben den Einwirkungen aus Eigengewicht noch Einwirkungen aus Wind, Schnee und Nutzlasten auf. Gemäß DIN EN 1991-1-1, 6.2.1(1)P gilt: „Für die Bemessung der Deckenkonstruktion eines Stockwerks oder der Dachkonstruktion ist die Nutzlast als freie Einwirkung in ungünstigster Stellung auf der Einflussfläche anzuordnen“ [3]. Nutzlasten sind für die Biegebemessung im Feld schachbrettartig anzusetzen, während für die Querkraftbemessung sowie für die Bemessung über den Stützen oder tragenden Wänden eine gleichzeitige Belastung der angrenzenden Felder erforderlich ist. Die Anzahl der möglichen Einwirkungskombinationen n beträgt ohne Berücksichtigung der Lastanordnung auf der Einflussfläche $n = 26$ (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12 Mögliche Einwirkungskombinationen für Dächer und Dachkonstruktionen ohne Betrachtung des feldweisen Auftretens der veränderlichen Last

	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5	EK 6	EK 7	EK 8	EK 9	EK 10	EK 11	EK 12	EK 13	EK 14	EK 15	EK 16
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,0	1,0	1,0
Nutzlast γ_Q	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$

	EK 17	EK 18	EK 19	EK 20	EK 21	EK 22	EK 23	EK 24	EK 25	EK 26
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nutzlast γ_Q	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	0

Gemäß DIN EN 1991-1-1, 3.3.2(2)P gilt: „Auf Dächern (insbesondere auf Dächern der Kategorie H) müssen Nutzlasten nicht in Kombination mit Schneelasten und/oder Windeinwirkung angesetzt werden [3]. Weiterhin gilt gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 5.1.3(NA.2): „Bei durchlaufenden Platten und Balken darf für ein und dieselbe unabhängige ständige Einwirkung (z.B. Eigenlast) entweder der obere oder der untere Wert γ_G in allen Feldern gleich angesetzt werden. [...]“ [10]. Eine weitere Vereinfachung sieht DIN EN 1992-

1-1/NA, 5.1.3(NA.4) vor. Dort heißt es: „Bei nicht vorgespannten durchlaufenden Bauteilen des üblichen Hochbaus brauchen, [...], Bemessungssituationen mit günstig wirkenden ständigen Einwirkungen bei linear-elastischer Berechnung nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Konstruktionsregeln für die Mindestbewehrung eingehalten werden“ [10]. Somit verbleiben lediglich die in Tabelle 13 aufgeführten sechs Einwirkungskombinationen.

Tabelle 13 Maßgebende Einwirkungskombinationen für Dächer und Dachkonstruktionen ohne Betrachtung des feldweisen Auftretens der veränderlichen Last

	EK4	EK9	EK10	EK11	EK12	EK13
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Nutzlast γ_Q	1,5	0	0	0	0	0
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	0

Die Einwirkungskombination EK13 kann nie maßgebend werden, da Nutzlasten durch eine passende Anordnung immer ungünstig wirken. Schneelasten wirken immer ungünstig, daher kann auf die Betrachtung von EK12 verzichtet werden. Wird vereinfachend $\psi_0 = 1$ gesetzt, fallen EK11 und EK9 zusammen. Es gilt zu beachten, dass günstig wirkende Verkehrslasten nicht angesetzt werden dürfen, somit ist EK10 in EK9 bereits berücksichtigt. Somit verbleiben lediglich die in Tabelle 14 aufgeführten beiden Einwirkungskombinationen.

Tabelle 14 Vereinfachte Einwirkungskombinationen für Dächer und Dachkonstruktionen ohne Betrachtung des feldweisen Auftretens der veränderlichen Last

Einwirkung	EK4	EK9
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35
Nutzlast γ_Q	1,5	0
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	1,5
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	1,5

Da die Anzahl der Einwirkungskombinationen bereits von $n = 26$ auf $n = 2$ reduziert werden konnte, kann auf eine Modellierung der Dächer- und Dachkonstruktionen verzichtet werden.

4.3 Deckenkonstruktionen

Bei Stahlbetondecken des üblichen Hochbaus ohne Beanspruchungen aus darüber liegenden Bauteilen treten Einwirkungen aus Eigengewicht und Nutzlast auf. Gemäß DIN EN 1991-1-1, 6.2.1(1)P gilt für Decken ebenso wie für Dächer und Dachkonstruktionen: „Für die Bemessung der Deckenkonstruktion eines Stockwerks [...] ist die Nutzlast als freie Einwirkung in ungünstigster Stellung auf der Einflussfläche anzuordnen“ [3]. Auch hier sind Nutzlasten für die Biegebemessung im Feld schachbrettartig anzusetzen, während für die Querkraftbemessung sowie für die Bemessung über den Stützen oder tragenden Wänden eine gleichzeitige Belastung der angrenzenden Felder erforderlich ist. Die Anzahl der möglichen Einwirkungskombinationen n beträgt ohne Berücksichtigung der Lastanordnung auf der Einflussfläche $n = 2^2 = 4$ (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15 Mögliche Einwirkungskombinationen für Deckenkonstruktionen ohne Betrachtung des feldweisen Auftretens der veränderlichen Last

Einwirkung	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,0	1,0
Nutzlast γ_Q	1,5	0	1,5	0

Weiterhin gilt auch für Deckenkonstruktionen gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 5.1.3(NA.2): „Bei durchlaufenden Platten und Balken darf für ein und dieselbe unabhängige, ständige Einwirkung (z.B. Eigenlast) entweder der obere oder der untere Wert γ_G in allen Feldern gleich angesetzt werden. [...]“ [10]. In DIN EN 1992-1-1/NA, 5.1.3(NA.4) heißt es: „Bei nicht vorgespannten durchlaufenden Bauteilen des üblichen Hochbaus brauchen, [...], Bemessungssituationen mit günstig wirkenden ständigen Einwirkungen bei linear-elastischer Berechnung nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Konstruktionsregeln für die Mindestbewehrung eingehalten werden“ [10].

Nutzlasten wirken durch eine passende Lastanordnung immer ungünstig für der Bemessung. Somit verbleibt als einzige maßgebende Einwirkungskombination EK1 gemäß Gl. 20. Es gilt:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} 1,35 \cdot G_{k,j} + 1,5 \cdot Q_{k,1} \quad \text{Gl. 20}$$

4.4 Abfangende Konstruktionen

Abfangende Konstruktionen zählen zu den Deckenkonstruktionen. Neben den Einwirkungen aus Eigengewicht und Nutzlasten können auch Schnee und Windlasten sowie Nutzlasten aus anderen Stockwerken Einfluss auf die abfangenden Konstruktionen haben (siehe auch Handbuch für Bauingenieure: Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit, Abschnitt 3.2.5.4 [17]). Gemäß DIN EN 1991-1-1, 6.2.1(1)P gilt: „Für die Bemessung der Deckenkonstruktion eines Stockwerks [...] ist die Nutzlast als freie Einwirkung in ungünstigster Stellung auf der Einflussfläche anzuordnen“ [3]. Auch hier sind Nutzlasten für die Biegebemessung im Feld schachbrettartig anzusetzen, während für die Querkraftbemessung sowie für die Bemessung über den Stützen oder tragenden Wänden eine gleichzeitige Belastung der angrenzenden Felder erforderlich ist. Die Anzahl der möglichen Einwirkungskombinationen n beträgt ohne Berücksichtigung der Lastanordnung auf der Einflussfläche n = 74 (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16 Mögliche Einwirkungskombinationen für abfangende Konstruktionen ohne Betrachtung des feldweisen Auftretens der veränderlichen Last

Einwirkung	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5	EK 6	EK 7	EK 8	EK 9	EK 10	EK 11	EK 12	EK 13	EK 14	EK 15	EK 16
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Nutzlast $\gamma_{Q,o}^*$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$
Nutzlast γ_Q^*	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0

Tabelle 16 fortgesetzt

Einwirkung	EK 17	EK 18	EK 19	EK 20	EK 21	EK 22	EK 23	EK 24	EK 25	EK 26	EK 27	EK 28	EK 29	EK 30	EK 31	EK 32
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Nutzlast $\gamma_{Q,o}^*$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0	0	0	0							
Nutzlast γ_Q^*	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5
Einwirkung	EK 33	EK 34	EK 35	EK 36	EK 37	EK 38	EK 39	EK 40	EK 41	EK 42	EK 43	EK 44	EK 45	EK 46	EK 47	EK 48
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nutzlast $\gamma_{Q,o}^*$	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Nutzlast γ_Q^*	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	0	$1,5 \cdot \psi_0$										
Einwirkung	EK 49	EK 50	EK 51	EK 52	EK 53	EK 54	EK 55	EK 56	EK 57	EK 58	EK 59	EK 60	EK 61	EK 62	EK 63	EK 64
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nutzlast $\gamma_{Q,o}^*$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0											
Nutzlast γ_Q^*	0	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$
Einwirkung	EK 65	EK 66	EK 67	EK 68	EK 69	EK 70	EK 71	EK 72	EK 73	EK 74						
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0						
Nutzlast $\gamma_{Q,o}^*$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Nutzlast γ_Q^*	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0						
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0						
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	0						
* Nutzlasten unterschiedlicher Kategorien werden als zwei unterschiedliche Einwirkungen angesehen, Nutzlasten der gleichen Kategorie gelten als eine Einwirkung. Im zweiten Fall entfällt der Kombinationsbeiwert ψ_0																

Jedoch gilt zusätzlich zu den Vereinfachungen für Deckenkonstruktionen aus Abschnitt 4.3 gemäß DIN EN 1991-1-1, 6.2.1(2): „Haben auch Nutzlasten aus anderen Stockwerken Einfluss, dürfen diese als gleichmäßig verteilte (feste) Einwirkung angesetzt werden“ [3]. Sie werden in Tabelle 17 mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{Q,o}$ beaufschlagt. Nach DIN EN 1991-1-1, 3.2(1), sollte „das gesamte Eigengewicht der tragenden und nichttragenden Bauteile [...] in der Lastkombination als eine einzelne Einwirkung berücksichtigt werden“ [3]. Weiter heißt es in DIN EN 1991-1-1, 3.3.1(2)P: „Wirken neben den Nutzlasten gleichzeitig andere veränderliche Einwirkungen (z.B. aus Wind, Schnee, Kranbetrieb oder Maschinenbetrieb) mit, so ist die Gesamtheit aller Nutzlasten, die bei dem Lastfall betrachtet werden, als eine

einzigste Einwirkung anzusehen“ [3]. Weiterhin gilt auch für abfangende Konstruktionen gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 5.1.3(NA.2): „Bei durchlaufenden Platten und Balken darf für ein und dieselbe unabhängige ständige Einwirkung (z.B. Eigenlast) entweder der obere oder der untere Wert γ_G in allen Feldern gleich angesetzt werden. [...]“ [10]. In DIN EN 1992-1-1/NA, 5.1.3(NA.4) heißt es: „Bei nicht vorgespannten durchlaufenden Bauteilen des üblichen Hochbaus brauchen, [...], Bemessungssituationen mit günstig wirkenden ständigen Einwirkungen bei linear-elastischer Berechnung nicht berücksichtigt zu werden, wenn die Konstruktionsregeln für die Mindestbewehrung eingehalten werden“ [10].

Nutzlasten auf dem untersuchten Abfangträger wirken durch eine passende Anordnung der Lasten immer ungünstig, daher können Einwirkungskombinationen mit $\gamma_Q = 0$ unberücksichtigt bleiben. Windeinwirkungen werden, wie in Abschnitt 2.4 bereits nachgewiesen wurde, nie als vertikale Leiteinwirkung maßgebend. Darüber hinaus dürfen günstig wirkende, veränderliche Einwirkungen nicht berücksichtigt werden. Somit sind EK2, EK3, EK4, EK25, EK26, EK27, EK28 in EK1 sowie EK18, EK 29, EK30 in EK17 bereits enthalten. Werden – auf der sicheren Seite liegend – alle Nutzlasten zu einer Nutzlastkategorie zusammengefasst, entfallen EK8 und EK16. Somit ergeben sich die in Tabelle 17 dargestellten, maßgebenden Einwirkungskombinationen.

Tabelle 17 Maßgebende Einwirkungskombinationen für abfangende Konstruktionen ohne Betrachtung des feldweisen Auftretens der veränderlichen Last

Einwirkung	EK 1	EK 17
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35
Nutzlast $\gamma_{Q,0}$ bzw. $\gamma_{Q,0} \cdot \psi_0^*$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$
Nutzlast γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0^{**}$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$
Schnee γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	1,5
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$
* Nutzlast in anderen Stockwerken		
** Nutzlast im betrachteten Stockwerk		

Auch hier gilt zu beachten, dass günstig wirkende Verkehrslasten nicht angesetzt werden dürfen. Die Anzahl der möglichen Einwirkungskombinationen wurde von $n = 74$ auf $n = 2$ reduziert, somit kann auf eine Modellierung der abfangenden Konstruktionen verzichtet werden.

4.5 Aussteifungselemente

Bei Aussteifungselementen aus Stahlbeton treten neben den Einwirkungen aus Eigengewicht noch Einwirkungen aus Wind, Schnee und Nutzlasten auf. Die Anzahl der möglichen Einwirkungskombinationen beträgt auch hier $n = 74$ (siehe Tabelle 18)

Tabelle 18 Mögliche Einwirkungskombinationen für Aussteifungselemente

Einwirkung	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5	EK 6	EK 7	EK 8	EK 9	EK 10	EK 11	EK 12	EK 13	EK 14	EK 15	EK 16
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Nutzlast γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$
Abtriebskraft aus Nutzlast* $\gamma_{Q,o}$ bzw. $\gamma_{Q,o} \cdot \psi_0$	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5
Schneelast incl. Abtriebskraft γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0														
Einwirkung	EK 17	EK 18	EK 19	EK 20	EK 21	EK 22	EK 23	EK 24	EK 25	EK 26	EK 27	EK 28	EK 29	EK 30	EK 31	EK 32
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Nutzlast γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0	0	0	0
Abtriebskraft aus Nutzlast* $\gamma_{Q,o}$ bzw. $\gamma_{Q,o} \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$
Schneelast incl. Abtriebskraft γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5
Einwirkung	EK 33	EK 34	EK 35	EK 36	EK 37	EK 38	EK 39	EK 40	EK 41	EK 42	EK 43	EK 44	EK 45	EK 46	EK 47	EK 48
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nutzlast γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Abtriebskraft aus Nutzlast* $\gamma_{Q,o}$ bzw. $\gamma_{Q,o} \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0
Schneelast incl. Abtriebskraft γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	0	$1,5 \cdot \psi_0$										

Tabelle 18 fortgesetzt

Einwirkung	EK 49	EK 50	EK 51	EK 52	EK 53	EK 54	EK 55	EK 56	EK 57	EK 58	EK 59	EK 60	EK 61	EK 62	EK 63	EK 64
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nutzlast γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0											
Abtriebskraft aus Nutzlast* $\gamma_{Q,o}$ bzw. $\gamma_{Q,o} \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5
Schneelast incl. Abtriebskraft γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$

Einwirkung	EK 65	EK 66	EK 67	EK 68	EK 69	EK 70	EK 71	EK 72	EK 73	EK 74
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Nutzlast γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abtriebskraft aus Nutzlast* $\gamma_{Q,o}$ bzw. $\gamma_{Q,o} \cdot \psi_0$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0	0	0	0
Schneelast incl. Abtriebskraft γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	0	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0	1,5	1,5	0

* Nutzlasten unterschiedlicher Kategorien gelten als verschiedene Einwirkungen.

Die größten Horizontalkräfte erzeugen die größte Biegemomenten- und gleichzeitig die größten Querkraftbeanspruchungen V_{Ed} an den Aussteifungselementen. Somit müssen alle Einwirkungskombinationen, die zu den größten Horizontalkräften führen, berücksichtigt werden. Die Normalkraft wirkt sich bis $N_{Ed}/(f_{cd} \cdot A_c) = v_{Ed} \leq 0,40$ günstig auf den Nachweis Biegung mit Normalkraft aus, bei $v_{Ed} > 0,40$ ungünstig. Somit können EK19 (max $M_{Ed} +$ zug. max N_{Ed}) und EK 69 (max $M_{Ed} +$ zug. min N_{Ed}) maßgebend werden. Für den Nachweis der Betondruckstrebe $V_{Rd,max}$ sind Drucknormalkräfte in jedem Fall ungünstig, somit können diejenigen Einwirkungskombinationen, die zu den größten Drucknormalkräften führen, ebenfalls maßgebend werden. Dies sind EK1 sowie EK17 (max $N_{Ed} +$ zug. max M_{Ed}). Weitere Einwirkungskombinationen brauchen nicht betrachtet zu werden. In Tabelle 19 sind die maßgebenden Einwirkungskombinationen für Aussteifungselemente zusammengefasst.

Tabelle 19 Maßgebende Einwirkungskombinationen für Aussteifungselemente

Einwirkung	EK 1	EK 17	EK 19	EK 69
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,0
Nutzlast γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Abtriebskraft aus Nutzlast* $\gamma_{Q,o}$ bzw. $\gamma_{Q,o} \cdot \psi_0$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$
Schneelast incl. Abtriebskraft γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0$	0
Wind γ_Q bzw. $\gamma_Q \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0$	1,5	1,5

* Nutzlasten unterschiedlicher Kategorien gelten als verschiedene Einwirkungen.

5 Identifizierung der maßgebenden Einwirkungskombination bei druckbeanspruchten Bauteilen

5.1 Eingangsgrößen der Parameterstudie

Im üblichen Hochbau sind die am häufigsten verwendeten, druckbeanspruchten Bauteile Stützen oder Wände aus Stahlbeton. Randstützen, Außen- und Innenwänden werden dabei durch Normalkräften sowie nicht zu vernachlässigende Biegemomente beansprucht. Dies führt zu einer Vielzahl von zu betrachtenden Einwirkungskombinationen, die in dieser Parameterstudie genau untersucht werden sollen. Innenstützen hingegen dürfen, wie in Abschnitt 3.1.3 gezeigt, vereinfachend als Pendelstützen idealisiert werden. Beim Nachweis von Pendelstützen ist in jedem Fall diejenige Einwirkungskombination maßgebend, die zur betragsmäßig größten Normalkraft $\max |N|$ führt.

Das Nachweisformat im Stahlbetonbau ist bei Vernachlässigung von Schnittgrößenumlagerungen elastisch-plastisch, d.h. die Einwirkungen werden am ideal elastischen System ermittelt, während zur Ermittlung des Tragwiderstandes plastische Werkstoffgesetze zur Anwendung kommen. Dies führt dazu, dass keine geschlossene, analytische Lösung für die vorliegende Bemessungsaufgabe gefunden werden kann. Das Ziel der Parameterstudie ist folglich, einzelne Einflussfaktoren auf die maßgebende Einwirkungskombination zu bestimmen und vereinfachte Kombinationsregeln für die Anwender in der Praxis zu finden.

Während größere Biegemomente immer zu größeren Ausnutzungsgraden in den Randstützen führen, wirken sich Drucknormalkräfte sich bis zu einer Höhe von ca. 40 % der Betondrucktragfähigkeit des Querschnitts $0,4 = v_{Ed} = N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd})$ günstig (vergleiche Bild 15) auf den Bauteilwiderstand aus, höhere Drucknormalkräfte ebenso wie Zugnormalkräfte wirken sich ungünstig aus. Nach Theorie II. Ordnung führen Drucknormalkräfte darüber hinaus zu zusätzlichen Biegebeanspruchungen.

Zur Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination bei Randstützen, Außen- und Innenwänden wird der Ausnutzungsgrad der druckbeanspruchten Bauteile durch den erforderlichen Längsbewehrungsgrad ρ (siehe Gl. 21) mit Hilfe des M-N-Interaktionsdiagramms aus Abschnitt 3.3 bestimmt.

$$\rho = \frac{A_{s,erf}}{A_c} \quad \text{Längsbewehrungsgrad} \quad \text{Gl. 21}$$

Der Längsbewehrungsgrad ρ wird bei Stützen gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu 9.5.2(3) [10] auf $\rho_{\max} = 9\%$, bei Wänden gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu 9.6.2(1) [10] auf $\rho_{\max} = 4\%$ begrenzt. Im Rahmen der Parameterstudie werden eine Vielzahl von Decken-Stützensystem bzw. Decken-Wandsystemen untersucht. Die Einflussfaktoren der einzelnen Bauteile werden in den einzelnen Abschnitten dieses Forschungsberichtes vorgestellt. Als Beanspruchungen werden Einwirkungen aus Eigengewicht und Nutzlast(en) betrachtet. Für alle Bauteile stellt β das Verhältnis der Einwirkungen aus Verkehrslast/Eigengewicht dar. Damit können unterschiedliche Nutzlastkategorien und Deckenstärken über einen einzelnen Faktor berücksichtigt werden.

$$\beta = \frac{q_k}{g_k} \quad \text{Nutzlastverhältnis} \quad \text{Gl. 22}$$

5.2 Randstützenkopf oder -fuß

In der folgenden Parameterstudie zu Randstützen werden die Längsbewehrungsgrade am Stützenkopf oder -fuß ermittelt. Es wird vorausgesetzt, dass die Windlasten auf die Fassadenkonstruktion direkt in die Decken abgetragen werden (Pfostenfassaden).

In Tabelle 20 sind alle 32 denkbaren Einwirkungskombinationen für das Randstützen-Deckensystem dargestellt, die dazugehörige Lastanordnung kann Bild 7 entnommen werden. Hierbei werden Nutzlasten auf dem Deckenfeld über der Randstütze mit $\gamma_{q,1}$, Nutzlasten auf dem angrenzenden 1. Innenfeld mit $\gamma_{q,2}$ multipliziert. Nutzlasten aus den darüber liegenden Geschossen werden mit $\gamma_{Q,1}$ (Nutzlasten auf den Endfeldern) und $\gamma_{Q,2}$ (Nutzlasten auf den 1. Innenfeldern) multipliziert.

Als Maß zur Verteilung der Schnittgrößen aus den Einwirkungen auf die Deckenfelder werden die Federkenngrößen k_1 , k_2 sowie k_3 eingeführt (siehe Bild 7).

$$k_1 = \frac{2 \cdot 3 \cdot EI_{St}}{h_1} = \frac{12 \cdot EI_{St}}{h_1} \quad \text{Gl. 23}$$

$$k_2 = \frac{4 \cdot EI_{Decke}}{L_2} \quad \text{Gl. 24}$$

Bei der Ermittlung des maximalen Stützenmomentes infolge Nutzlast auf dem Randfeld ist $k_2 = 0$. Durch die gelenkige Lagerung wird eine Nutzlast auf dem 2. Innenfeld simuliert.

$$k_3 = \frac{4 \cdot EI_{Decke}}{L_1} \quad \text{Gl. 25}$$

Tabelle 20 Mögliche Einwirkungskombinationen für Randstützen

	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5	EK 6	EK 7	EK 8	EK 9	EK 10	EK 11	EK 12	EK 13	EK 14	EK 15	EK 16
Eigengewicht γ_g	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Auflast $\gamma_{Q,1}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Auflast $\gamma_{Q,2}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{q,1}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{q,2}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0

	EK 17	EK 18	EK 19	EK 20	EK 21	EK 22	EK 23	EK 24	EK 25	EK 26	EK 27	EK 28	EK 29	EK 30	EK 31	EK 32
Eigengewicht γ_g	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Auflast $\gamma_{Q,1}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Auflast $\gamma_{Q,2}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{q,1}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{q,2}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0

In Bild 16 wird das Referenzsystem einer Randstütze mit folgenden Parametern berechnet:

Baustoffe:

Beton C30/37

$$E_{cm} = 33.000 \text{ MN/m}^2$$

Betonstahl B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MN/m}^2$$

Einwirkungen:

$$g_k = (0,2 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 + 1,5 \text{ kN/m}^2) \cdot 5 \text{ m} = 32,5 \text{ kN/m}$$

$$\beta = q_k/g_k = 30/70 = 0,43$$

$$q_k = 0,43 \cdot 32,5 \text{ kN/m} = 13,9 \text{ kN/m}$$

Abmessungen der Randstütze:

$$h_1 = 3,0 \text{ m}$$

$$h = 0,2 \text{ m}$$

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$d = 0,18 \text{ m}$$

$$k_1 = \frac{2 \cdot 3 \cdot EI}{\frac{h_1}{2}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 33.000 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{(0,2 \text{ m})^4}{12}}{\frac{3 \text{ m}}{2}} = 17,6 \frac{\text{MNm}}{\text{Rad}}$$

Abmessungen der Decke:

$$L_1 = 5 \text{ m} \quad \text{Stützweite des Randfeldes}$$

$$L_2 = 5 \text{ m} \quad \text{Stützweite des 1. Innenfeldes}$$

$$L_1/L_2 = 1$$

$\min l_2 = 5 \text{ m}$ (Stützweite senkrecht zur betrachteten Richtung)

$$d_s = \sqrt{h_{st} \cdot b_{st}} = \sqrt{0,2 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}} = 0,2 \text{ m} \quad \text{gem. Heft 240, Abschnitt 1.6 [12]}$$

$$\lambda = 0,2 + 4 \cdot \frac{d_s}{\min l_2} = 0,2 + 4 \cdot \frac{0,2 \text{ m}}{5,0 \text{ m}} = 0,36 < 0,40$$

$$b_{\text{Decke}} = \lambda \cdot \min l_2 = 0,40 \cdot 5 \text{ m} = 2,0 \text{ m} \quad \text{(mitwirkende Plattenbreite)}$$

$$h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$$

$$k_2 = \frac{4 \cdot EI}{L_2} = \frac{4 \cdot 33.000 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot 2 \text{ m} \cdot \frac{(0,2 \text{ m})^3}{12}}{5 \text{ m}} = 35,2 \frac{\text{MNm}}{\text{Rad}}$$

$$k_3 = \frac{4 \cdot EI}{L_1} = \frac{4 \cdot 33.000 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \cdot 2 \text{ m} \cdot \frac{(0,2 \text{ m})^3}{12}}{5 \text{ m}} = 35,2 \frac{\text{MNm}}{\text{Rad}}$$

Federkenngrößen:

$$k_1/k_2 = 17,6/35,2 = 0,5$$

$$k_1/k_3 = 17,6/35,2 = 0,5$$

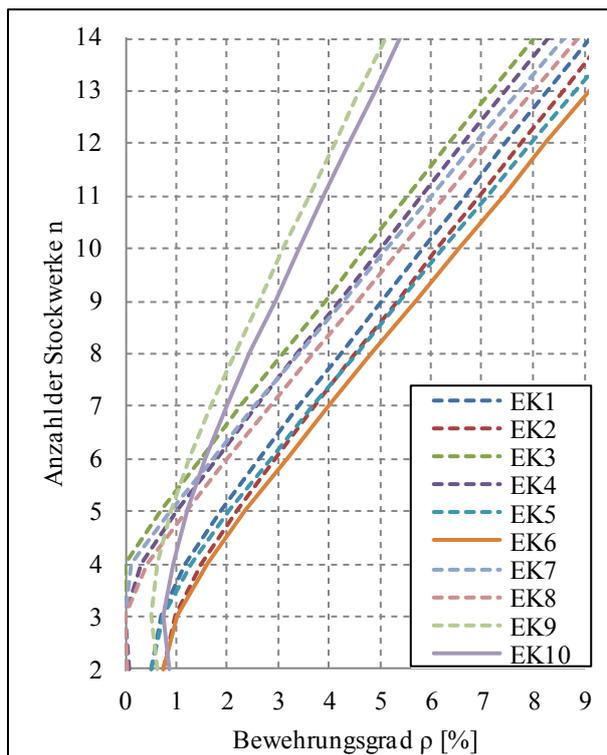


Bild 16 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

Aus Bild 16 wird deutlich, dass EK6 und EK10 zu den größten Längsbewehrungsgraden ρ führen. Bei zwei Stockwerken wirkt die Normalkraft günstig für den Interaktionsnachweis Biegung mit Normalkraft. In diesem Fall ist EK10 maßgebend, da diese Einwirkungskombination zu den größten Biegemomenten $\max M_{Ed}$ bei gleichzeitig reduzierten Normalkräften $\min N_{Ed}$ führt. Wird die Randstütze durch mehr als zwei Stockwerke belastet, ist EK6 maßgebend ($\max M_{Ed}$, $\max N_{Ed}$), die Normalkraft wirkt ab diesem Punkt ungünstig für den Interaktionsnachweis Biegung mit Normalkraft.

In Bild 17 bis Bild 19 sind die maßgebenden Einwirkungskombinationen für Stützen mit Abmessungen $h/b = 0,3/0,3$ m bis $h/b = 0,5/0,5$ m dargestellt. Mit der Erhöhung der Stützenabmessungen erhöht sich die Stützensteifigkeit, woraus höhere Biegemomente in den Randstützen resultieren. Andererseits erhöht sich auch die Tragfähigkeit der Stütze, so dass der Längsbewehrungsgrad ρ mit größer werdenden Stützenabmessungen bei gleicher Deckenaufast geringer wird. Auf die maßgebende Einwirkungskombination hat dies jedoch keinen Einfluss, auch hier ist EK6 und EK10 maßgebend.

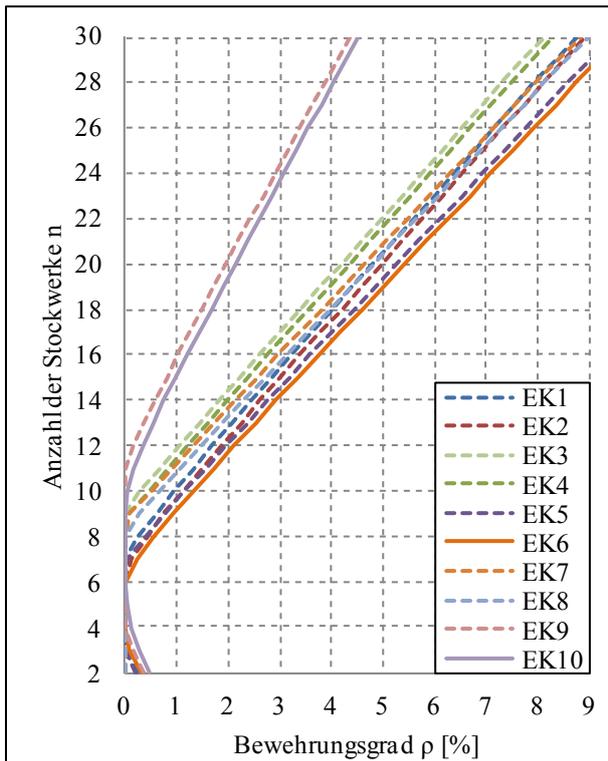


Bild 17 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,3/0,3$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

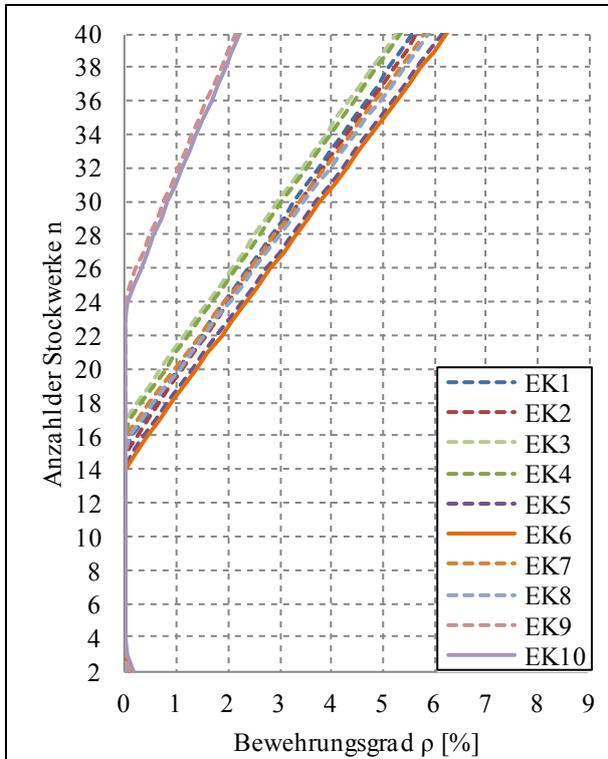


Bild 18 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

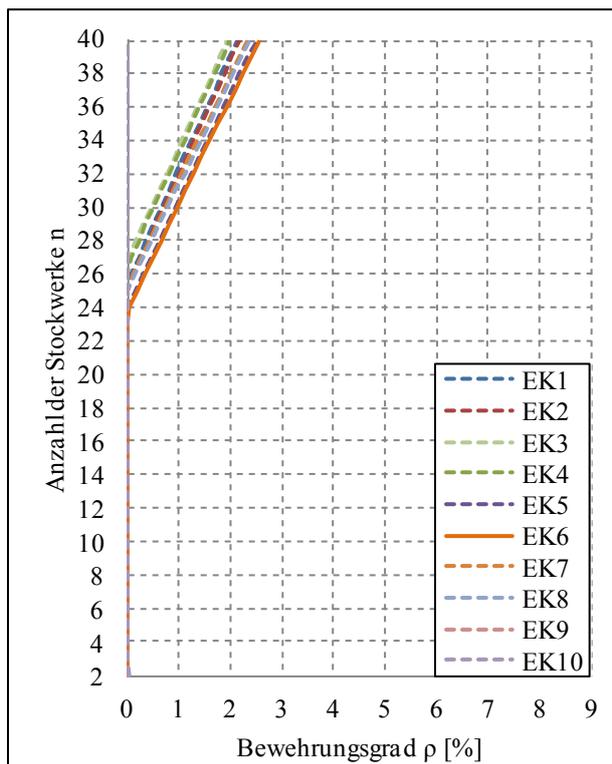


Bild 19 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

Eine veränderte Lage der Bewehrung von $d_1/h = 0,1$ auf $d_1/h = 0,2$ führt zu den maßgebenden Einwirkungskombinationen in Bild 20 bis Bild 23. Wie nicht anders zu erwarten war, wird durch die veränderte Bewehrungslage (Erhöhung der Betondeckung) und den damit verringerten Hebelarm der inneren Kräfte lediglich der Absolutwert des Längsbewehrungsgrades ρ , jedoch nicht die maßgebende Einwirkungskombination beeinflusst.

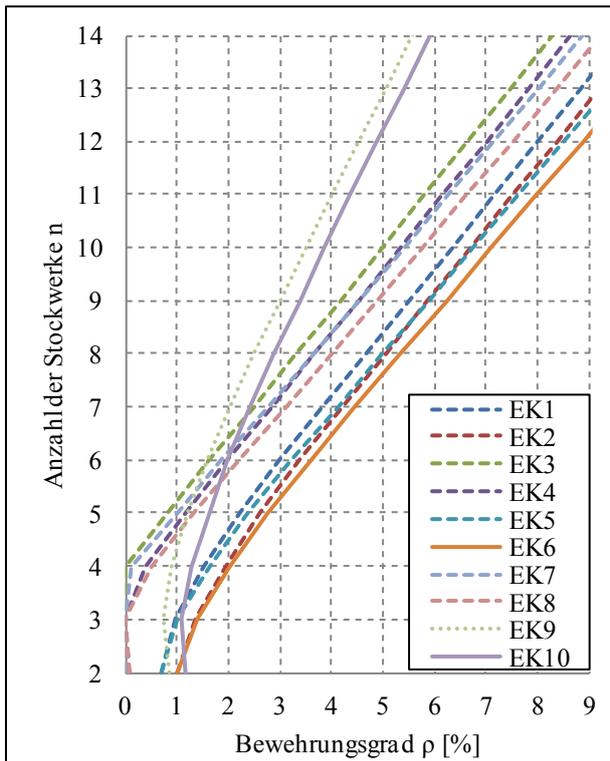


Bild 20 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

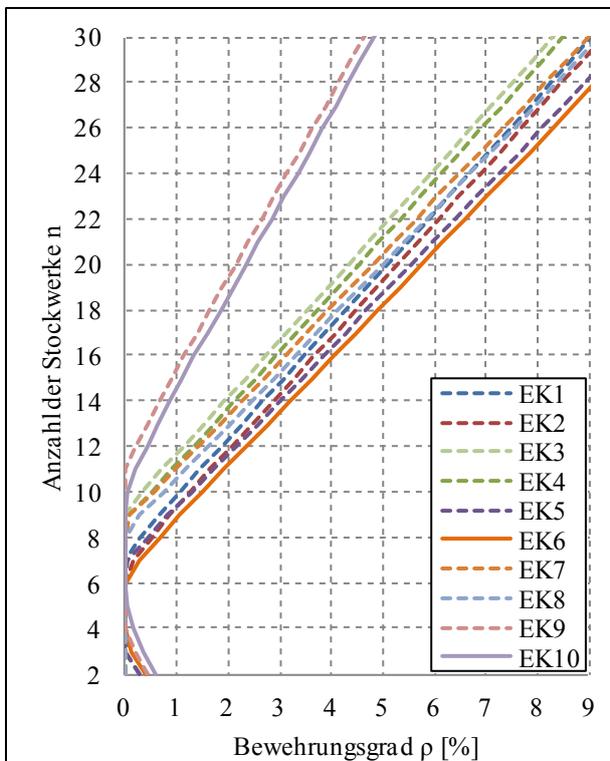


Bild 21 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,3/0,3$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

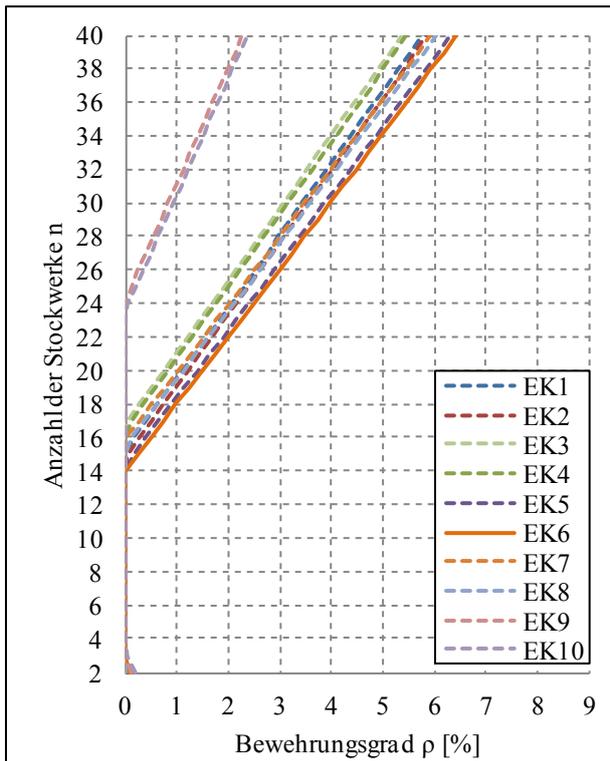


Bild 22 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

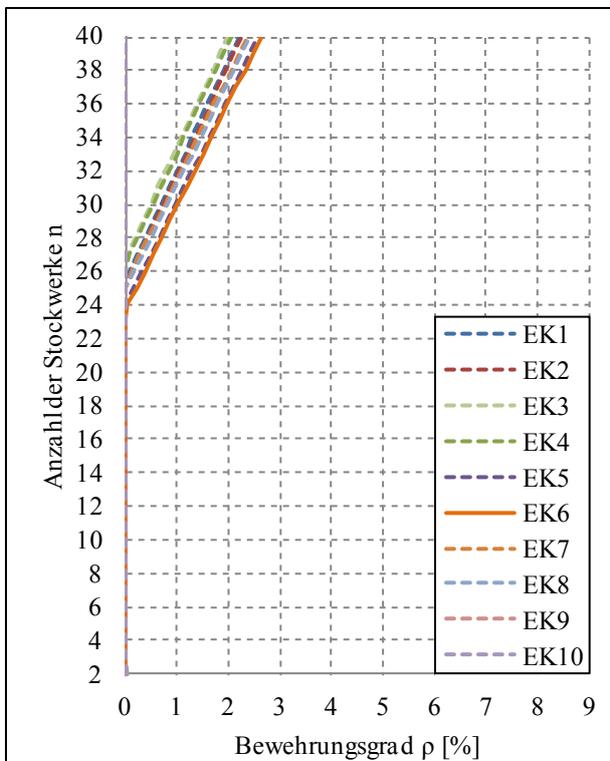


Bild 23 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

Am Randstützenkopf oder -fuß hat die Stützhöhe nur einen Einfluss auf die Systemsteifigkeit. Bei einer Stützhöhe $h_1 = 2,5$ m (Bild 24) erhöht sich die Stützensteifigkeit gegenüber der Referenzstütze mit $h_1 = 3,0$ m, die Biegemomente aus der Decke lagern sich zur Stütze hin um, ρ wird größer. Bei einer Stützhöhe von $h_1 = 4,0$ m (Bild 25) verringert sich die Stützensteifigkeit gegenüber der Referenzstütze mit $h_1 = 3,0$ m, die Biegemomente aus der Decke lagern sich nur zu einem geringeren Anteil zur Stütze hin um, ρ wird kleiner. Veränderte Stützhöhen führen demnach nicht zu veränderten, maßgebenden Einwirkungskombinationen.

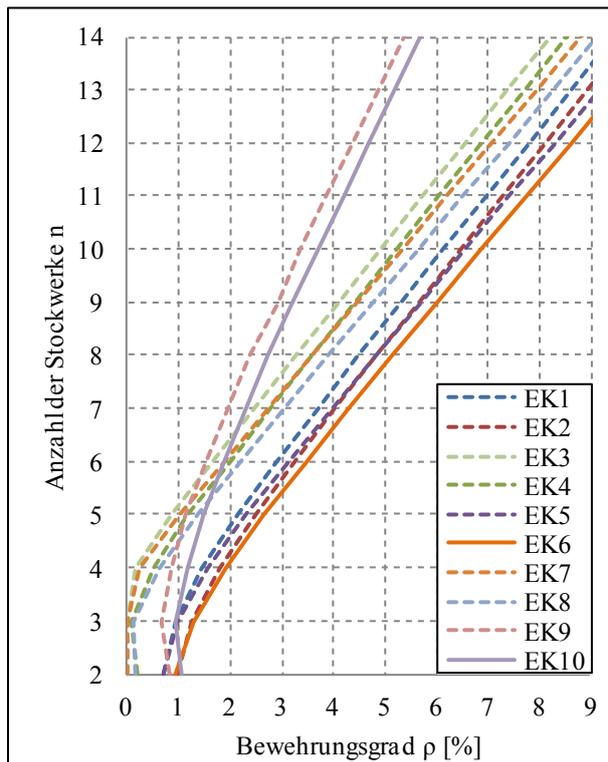


Bild 24 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 2,5$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

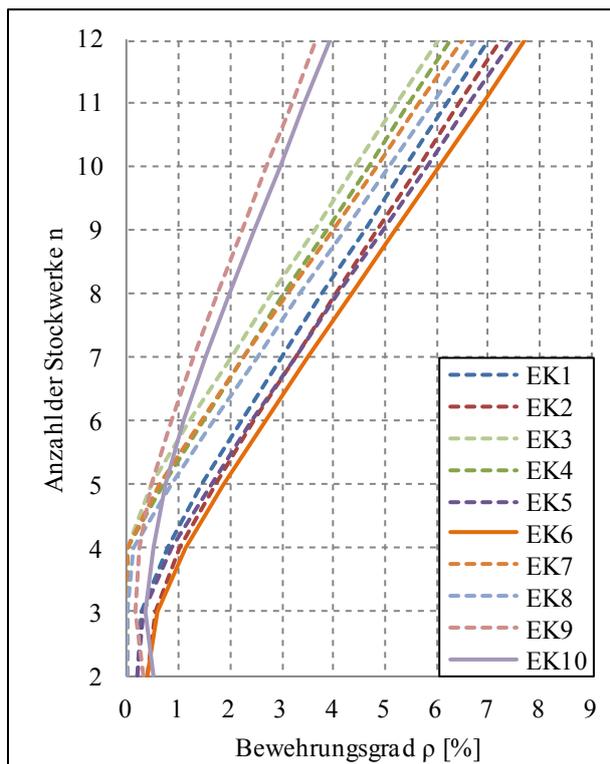


Bild 25 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 4,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

Eine Vergrößerung der Deckendicke (siehe Bild 26bis Bild 29) führt zu einer geringeren Einspannung des Plattenrandes durch die Randstützen. Gleichzeitig erhöht sich das Eigengewicht der Decken durch die vergrößerte Deckendicke. Diese gegenläufigen Effekte führen am Ende zu höheren Biegemomenten in der Randstütze. Hieraus resultiert - bei gleicher Stockwerksanzahl - gegenüber dem Referenzsystem ein erhöhter Längsbewehrungsgrad ρ in der Randstütze. Die maßgebende Einwirkungskombination wird durch die Variation von h_{Decke} nicht beeinflusst.

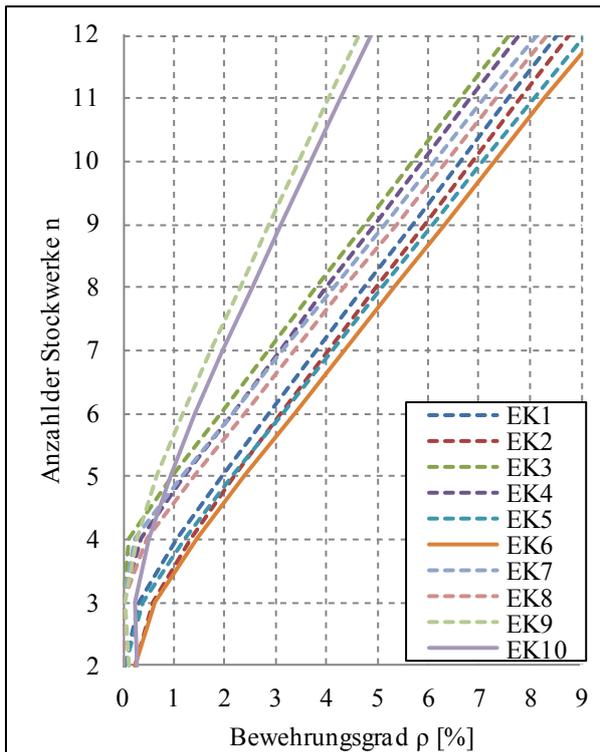


Bild 26 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,25$ m; $\beta = 0,43$*

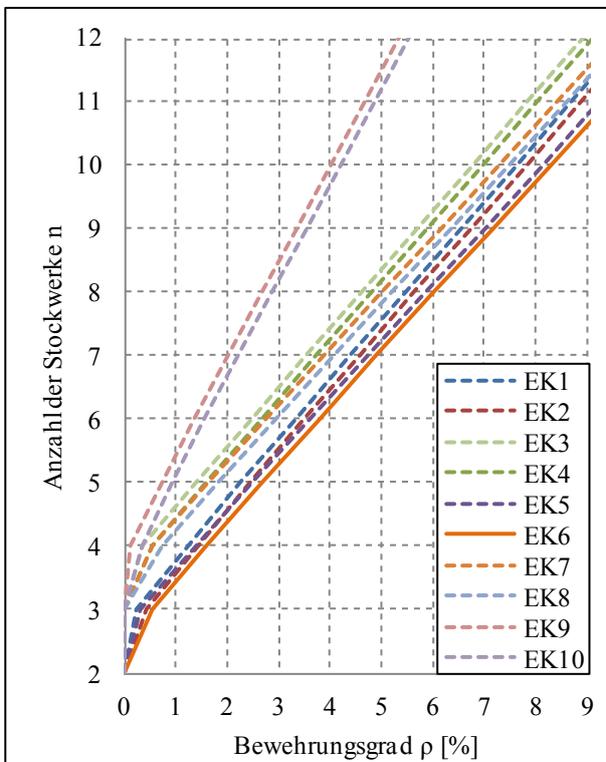


Bild 27 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,30$ m; $\beta = 0,43$*

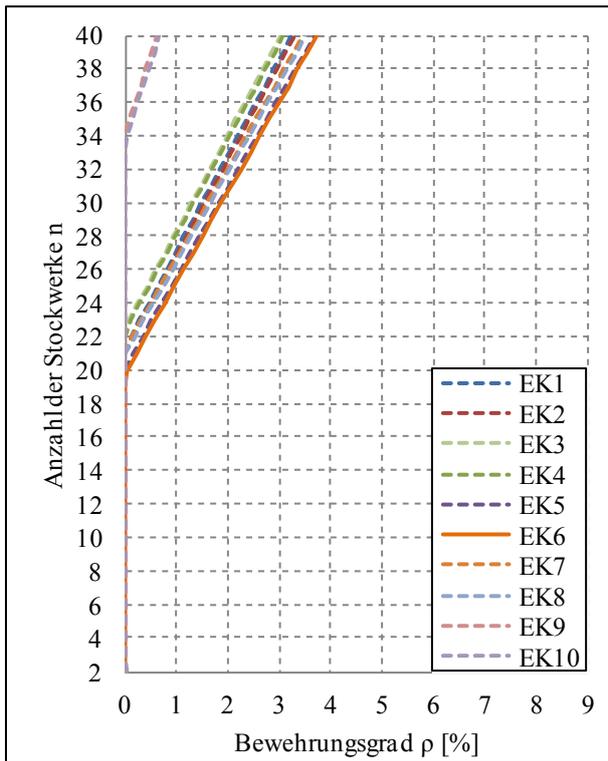


Bild 28 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,25$ m; $\beta = 0,43$

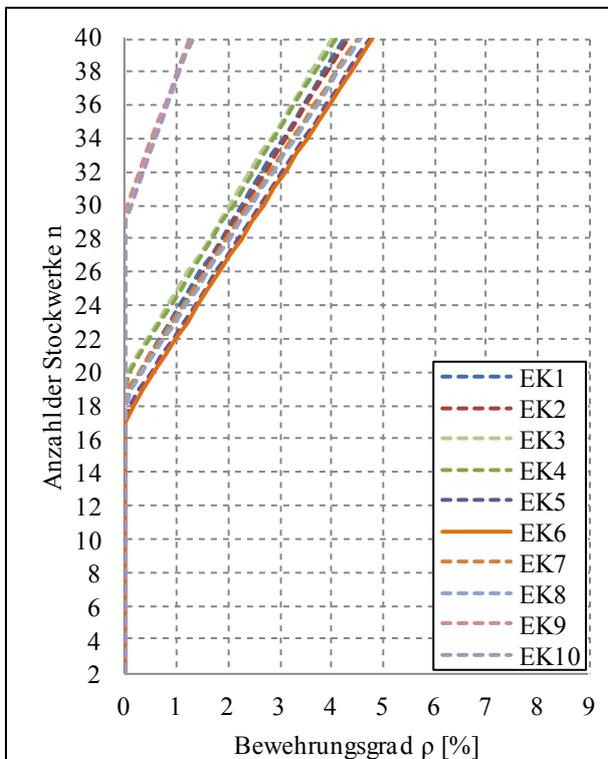


Bild 29 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,30$ m; $\beta = 0,43$

In Bild 30 bis Bild 33 wird der Einfluss ungleichmäßiger Deckenstützweiten mit einem Stützweitenverhältnis des Randfeldes zum 1. Innenfeld $L_1/L_2 = 0,5; 0,75; 1,5; 2$ untersucht. Hierzu werden Stützenabmessungen von $h/b = 0,4/0,4$ m gewählt. Es zeigt sich, dass lediglich bei einem Grenzstützweitenverhältnis $L_1/L_2 = 0,5$ eine weitere Einwirkungskombination (EK27) maßgebend werden kann. Bei diesem Stützweitenverhältnis $L_1/L_2 = 0,5$ werden durch die Nutzlast in den ersten Innenfeldern Zugkräfte in der Randstütze erzeugt. Berücksichtigt man das Eigengewicht der Stütze, dann werden diese Zugkräfte weitestgehend kompensiert, so dass EK27 für die baupraktische Bemessung keine Rolle spielt. Somit kann festgestellt werden, dass auch ungleichmäßige Deckenstützweiten keinen Einfluss auf die maßgebende Einwirkungskombination haben.

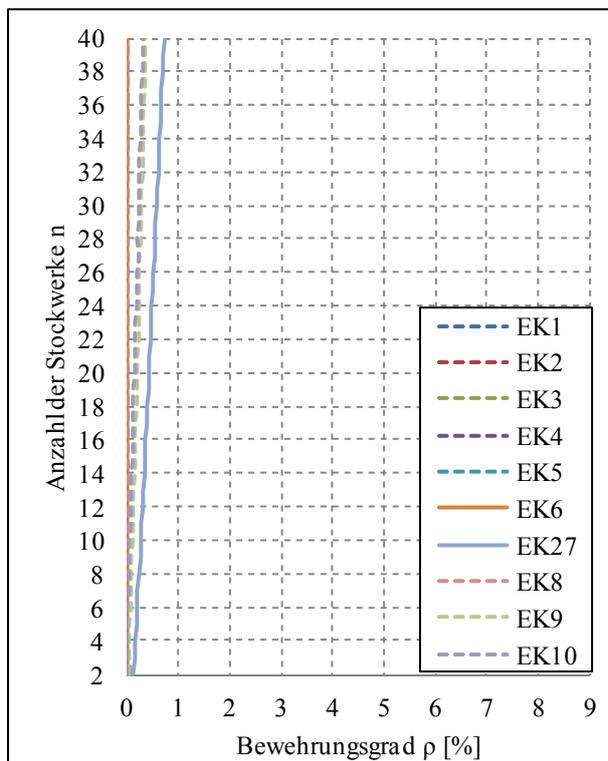


Bild 30 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 0,5$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

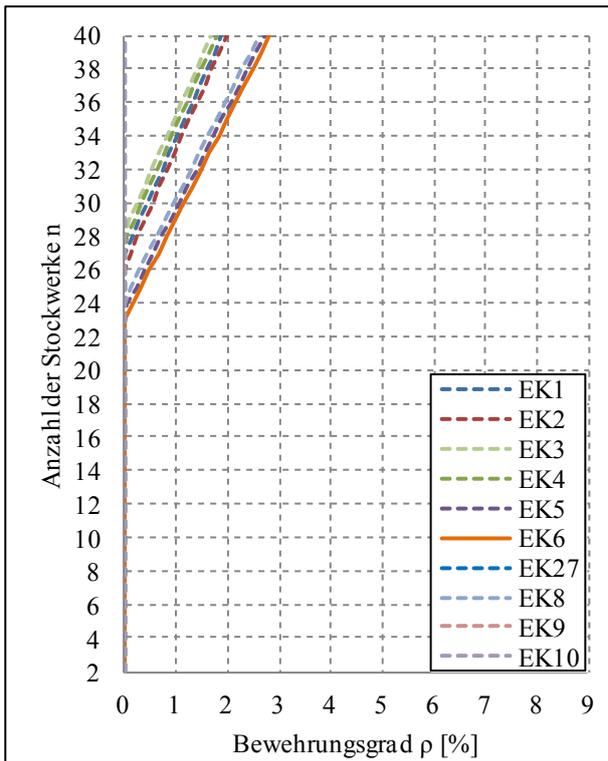


Bild 31 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 0,75$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

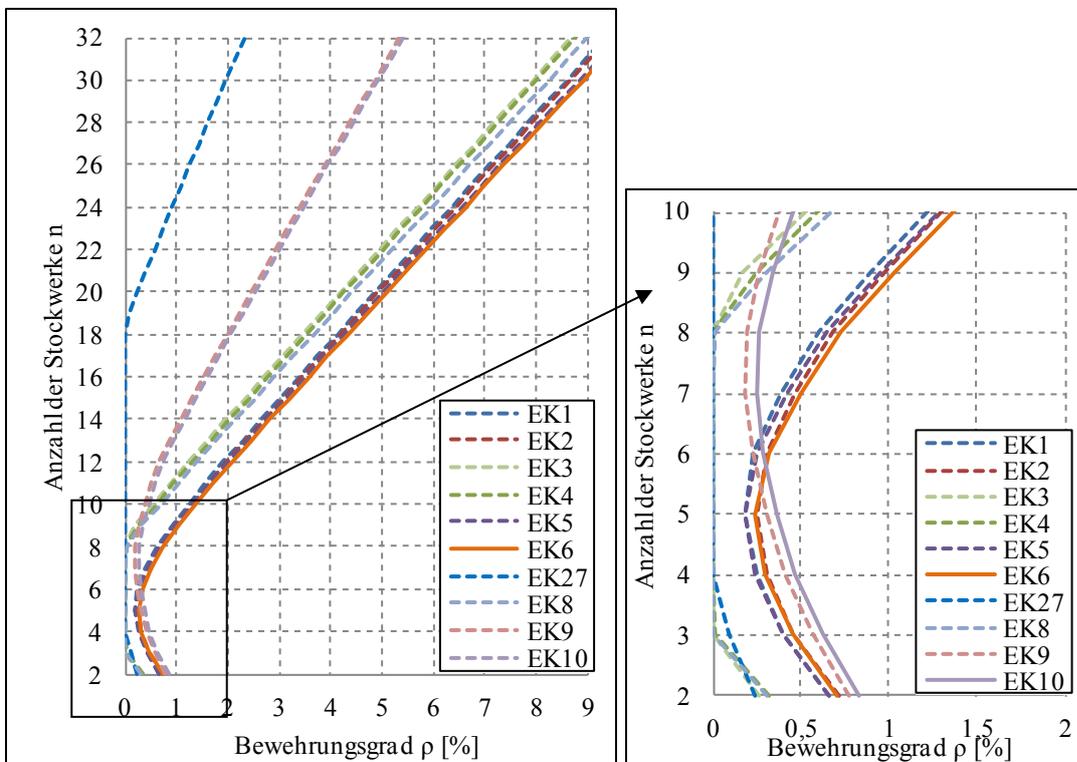


Bild 32 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

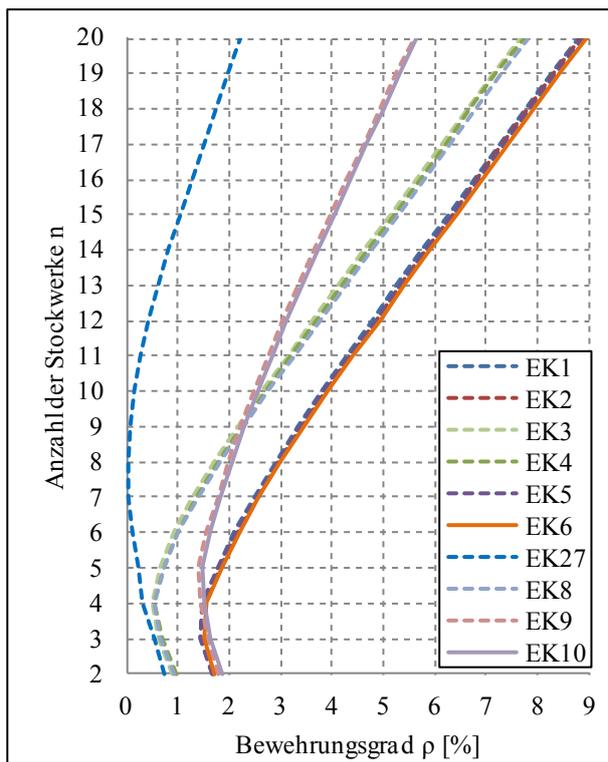


Bild 33 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 2,0$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$*

In Bild 34 und Bild 35 wird der Einfluss einer veränderten Verkehrslastanteils q/g auf die maßgebende Einwirkungskombination untersucht. Anschließend wird in Bild 36 der Einfluss einer höheren Betonfestigkeitsklasse C50/60 auf die maßgebende Einwirkungskombination untersucht.

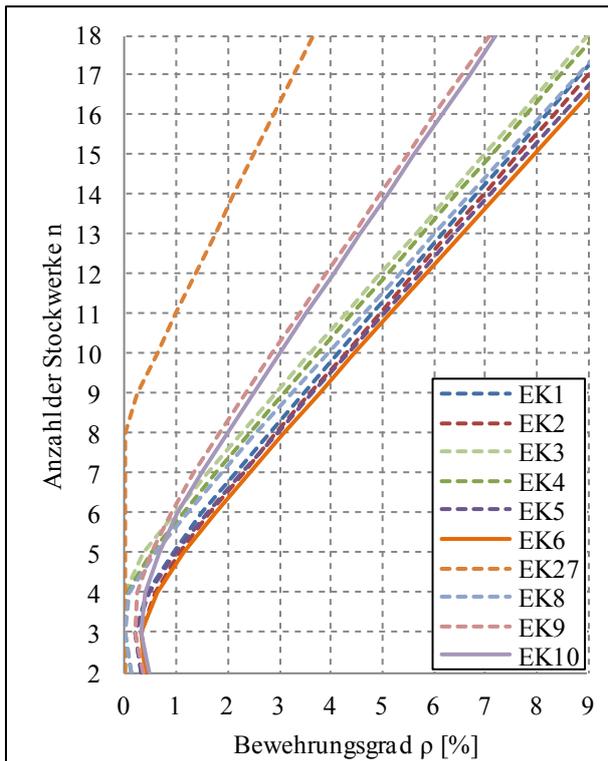


Bild 34 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,20$

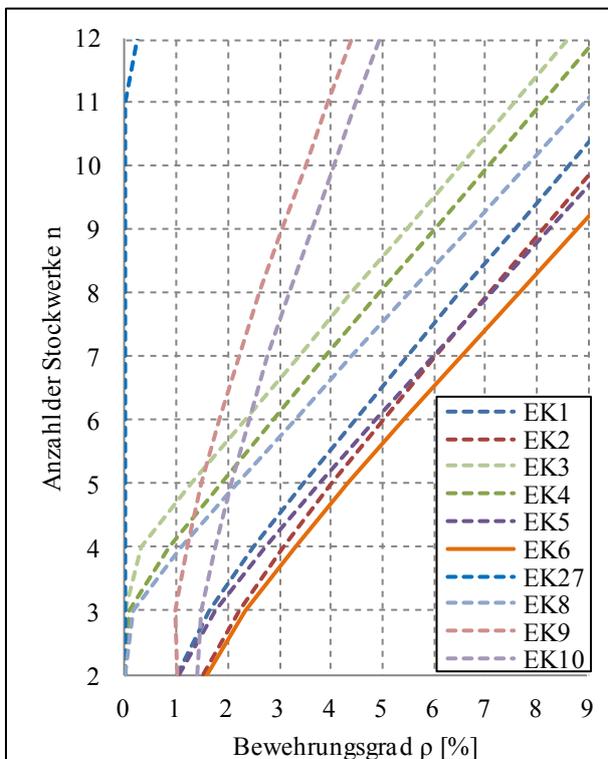


Bild 35 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,80$

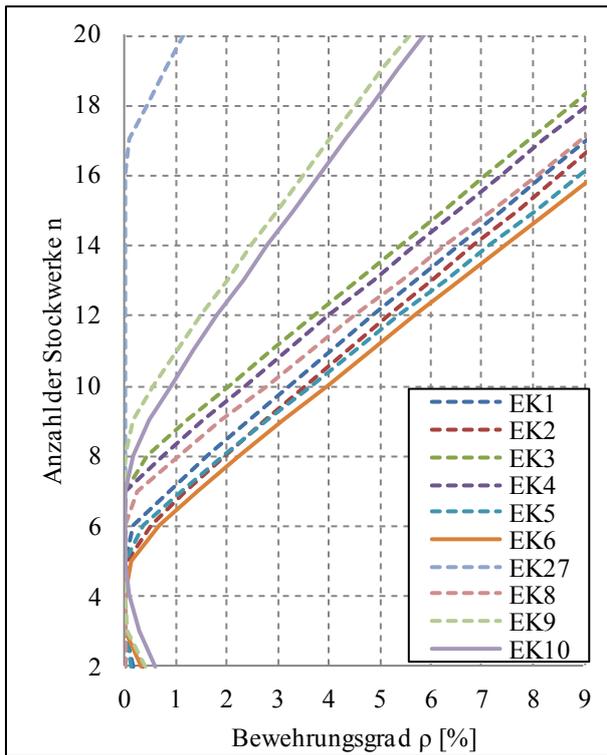


Bild 36 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C50/60 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei den untersuchten Randstützen-Decken-Systemen in den meisten Fällen EK 6 (max M_{Ed} + zug. max N_{Ed}) maßgebend für die Ermittlung des maximalen Bewehrungsgrades ρ im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist. In manchen Fällen ist zudem EK 10 (max M_{Ed} + zug. min N_{Ed}) maßgebend. Beide Einwirkungskombinationen sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

Tabelle 21 Maßgebende Einwirkungskombinationen für Randstützen

	EK 6	EK 10
Eigengewicht γ_g	1,35	1,35
Auflast $\gamma_{Q,1}$	1,5	0
Auflast $\gamma_{Q,2}$	0	1,5
Nutzlast $\gamma_{q,1}$	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{q,2}$	0	0

5.3 Randstützenmitte

Neben dem Stützenkopf oder -fuß ist die Bemessung in Stützenmitte maßgebend für die Ermittlung der erforderlichen Stützenlängsbewehrung. Die Ermittlung der Schnittgrößen erfolgt nach dem Decken-Stützen-System in Bild 9, die Bemessung erfolgt nach dem Modellstützenverfahren aus Abschnitt 3.3.2. Die Diagramme zur Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination sind in Anhang B dargestellt.

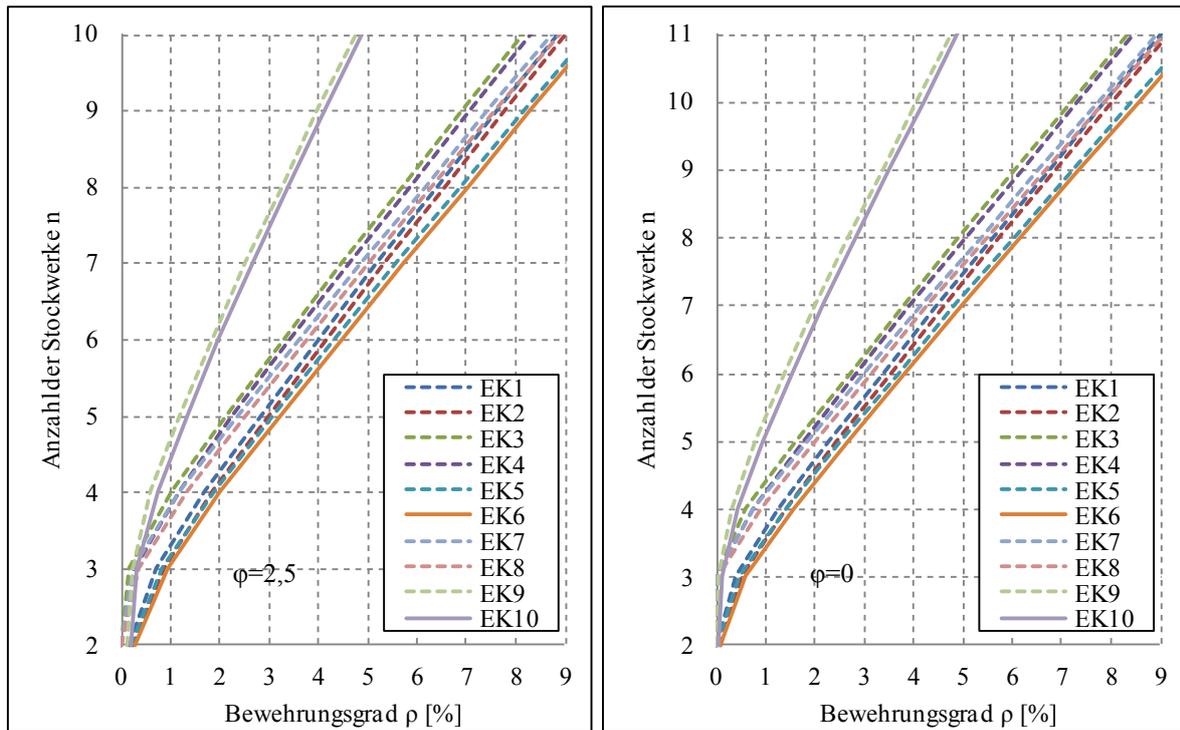


Bild 37 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,0$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

In Bild 37 sind die maßgebenden Einwirkungskombinationen für das Referenzsystem dargestellt. Das Kriechen hat einen tragfähigkeitsmindernden Einfluss auf die Randstützen, bleibt jedoch ohne Einfluss auf die maßgebende Lastfallkombination. In manchen Fällen (siehe Bild 44 und Bild 48) können EK2, EK5, EK7 sowie EK8 zu den größten Längsbewehrungsgraden ρ führen, haben jedoch keine baupraktische Bedeutung, da die ermittelten Bewehrungsgrade ρ unter der vorgeschriebenen Mindestbewehrung ρ_{min} gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu 9.5.2(1) [10] und NCI zu 9.5.2(4) [10] liegen (siehe Tabelle 22). Die Mindestbewehrung besteht bei rechteckigen Stützen mit Seitenlänge $h \leq 400$ mm und $b < h$ aus jeweils einem Bewehrungsstab $\phi_s = 12$ mm in jeder Ecke, bei Stützen mit größeren Seitenlängen aus einem oder mehreren zusätzlichen Bewehrungsstäben je Seite mit einem Abstand von maximal 300 mm zueinander.

Tabelle 22 Mindestbewehrung für Stützen gemäß DIN EN 1992-1-1/NA

Stützenquerschnitt h/b	ρ_{min}
0,2 m/0,2 m	1,13 %
0,3 m/0,3 m	0,5 %
0,4 m/0,4 m	0,28 %
0,5 m/0,5 m	0,36 %

In der Parameterstudie zu Randstützen mit Bemessungsstelle Randstützenmitte stellte sich heraus, dass die einzig maßgebende Einwirkungskombination mit baupraktischer Bedeutung EK6 ($\max M_{Ed} + \text{zug. } \max N_{Ed}$) ist (siehe Tabelle 21).

5.4 Außenwandkopf oder -fuß

Zur Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination von Stahlbetonaußenwänden werden gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, Abschnitt 9.6.1, Tab. NA. 9.3 [10] Ortbetonwände mit einer Mindestwanddicke von $h = 100 \text{ mm}$ sowie einer Wanddicke von $h = 120 \text{ mm}$ und $h = 150 \text{ mm}$ untersucht. Die möglichen Einwirkungskombinationen entsprechen denen der Randstützen (siehe Tabelle 20). Windlasten auf die Außenwand müssen als zusätzliche Begleiteinwirkung erfasst werden, sie haben in der Regel nur einen geringen Einfluss auf die Beanspruchung der Außenwand. Erddrucklasten hingegen haben einen großen Einfluss auf die Beanspruchung von Kellerwänden, sie werden separat untersucht. Die Bemessung erfolgt wie bei den Randstützen nach dem Modellstützenverfahren aus Abschnitt 3.3.2. Im Gegensatz zu den Randstützen sind die Wandbeanspruchungen deutlich geringer, da die Schnittgrößen je Meter Wandfläche erheblich kleiner sind als die Schnittgrößen der Randstützen. Die Ergebnisse der Parameterstudie können Anhang C entnommen werden. Die hierbei ermittelten Bewehrungsgrade liegen in den meisten Fällen unter der vorgeschriebenen Mindestbewehrung für schlanke Wände von $\rho_{\min} = 0,30 \%$ gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, NDP zu 9.6.2(1) [10]. Lediglich bei ungleichen Stützweiten, d.h. bei $1,0 < L_1/L_2 \leq 2$ treten höhere Bewehrungsgrade auf.

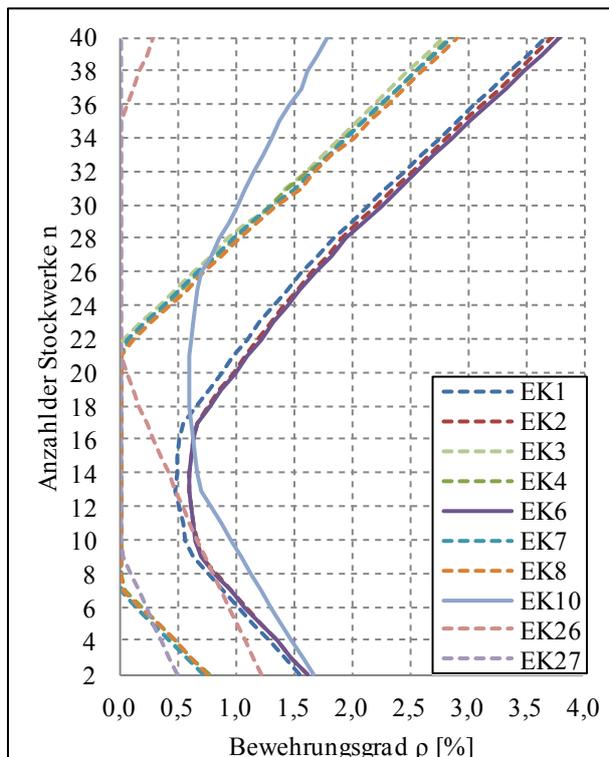


Bild 38 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

In der durchgeführten Parameterstudie für Außenwände zeigte sich in allen Fällen, dass nur EK6 ($\max M_{Ed} + \text{zug. } \max N_{Ed}$) und EK10 ($\max M_{Ed} + \text{zug. } \min N_{Ed}$) aus Tabelle 23 maßgebend werden. Bei Kellerwänden kann zusätzlich EK26 maßgebend werden.

Tabelle 23 Maßgebende Einwirkungskombinationen für Außen- und Kellerwände

	EK 6	EK 10	EK 26
Eigengewicht γ_g	1,35	1,35	1,0
Auflast $\gamma_{Q,1}$	1,5	0	0
Auflast $\gamma_{Q,2}$	0	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{q,1}$	1,5	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{q,2}$	0	0	0
Erddruck $\gamma_{q,Erddruck}$	1,5*	1,5*	1,5*

* Bei Erddruck aus Bodeneigengewicht ist $\gamma_{q,Erddruck} = 1,35$

5.5 Außenwandmitte

Wie bei den Randstützen ist auch bei Außenwänden neben dem Wandkopf oder -fuß die Bemessung in Wandmitte maßgebend für die Ermittlung der erforderlichen Wandlängsbewehrung. Der Kriechbeiwert φ hat auch bei Außenwänden einen Einfluss auf die Höhe des Längsbewehrungsgrades ρ , nicht jedoch auf die maßgebende Einwirkungskombination. Der Einfluss des Kriechbeiwertes φ auf den Stabilitätsnachweis nimmt mit zunehmender Wanddicke zu, im vorliegenden Fall mit $h \leq 0,12$ m ist der Einfluss des Kriechbeiwertes φ auf den Stabilitätsnachweis vernachlässigbar.

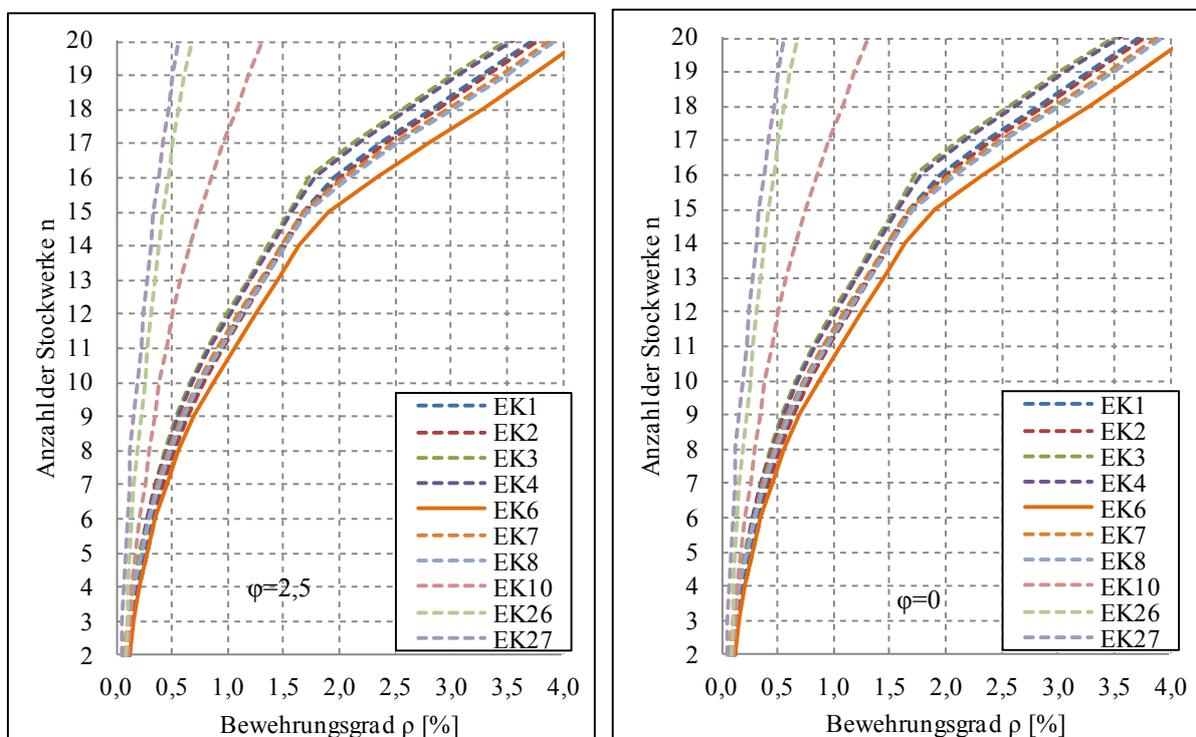


Bild 39 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

In der durchgeführten Parameterstudie zur Nachweisstelle Außenwandmitte (siehe Anhang D) zeigte sich, dass bei den Stabilitätsuntersuchungen nach Absatz 3.3.2 lediglich EK6 (max M_{Ed}

+ zug. $\max N_{Ed}$) und EK 10 ($\max M_{Ed}$ + zug. $\min N_{Ed}$) maßgebend werden (siehe Tabelle 23).
Bei Kellerwänden kann darüber hinaus EK26 maßgebend werden.

5.6 Innenwandkopf oder -fuß

Zur Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination von Stahlbetoninnenwänden werden Ortbetonwände mit einer Mindestwanddicke von $h = 100$ mm sowie einer Wanddicke von $h = 150$ mm und $h = 200$ mm untersucht. Die möglichen Einwirkungskombinationen sind in Tabelle 24 dargestellt. Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgt gemäß Abschnitt 3.1.4. Nutzlasten auf die untere Geschossdecke führen beim verwendeten statischen System zu keinen Schnittgrößenänderungen am Wandkopf oder -fuß, somit beträgt die Anzahl der möglichen Einwirkungskombinationen $n = 16$. Um eine bessere Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der Parameterstudie für die Innenwandmitte zu ermöglichen, werden die Einwirkungskombinationen gleich bezeichnet. Die Ergebnisse der Parameterstudie zur Untersuchung der maßgebenden Einwirkungskombinationen am Innenwandkopf können Anhang E entnommen werden.

Tabelle 24 Mögliche Einwirkungskombinationen für Innenwände mit Bemessungsstelle
Wandkopf oder -fuß

	EK 2	EK 7	EK 10	EK 13	EK 17	EK 23	EK 26	EK 32
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Auflast $\gamma_{Q,0}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0
	EK 36	EK 40	EK 44	EK 48	EK 52	EK 55	EK 58	EK 64
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Auflast $\gamma_{Q,0}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0

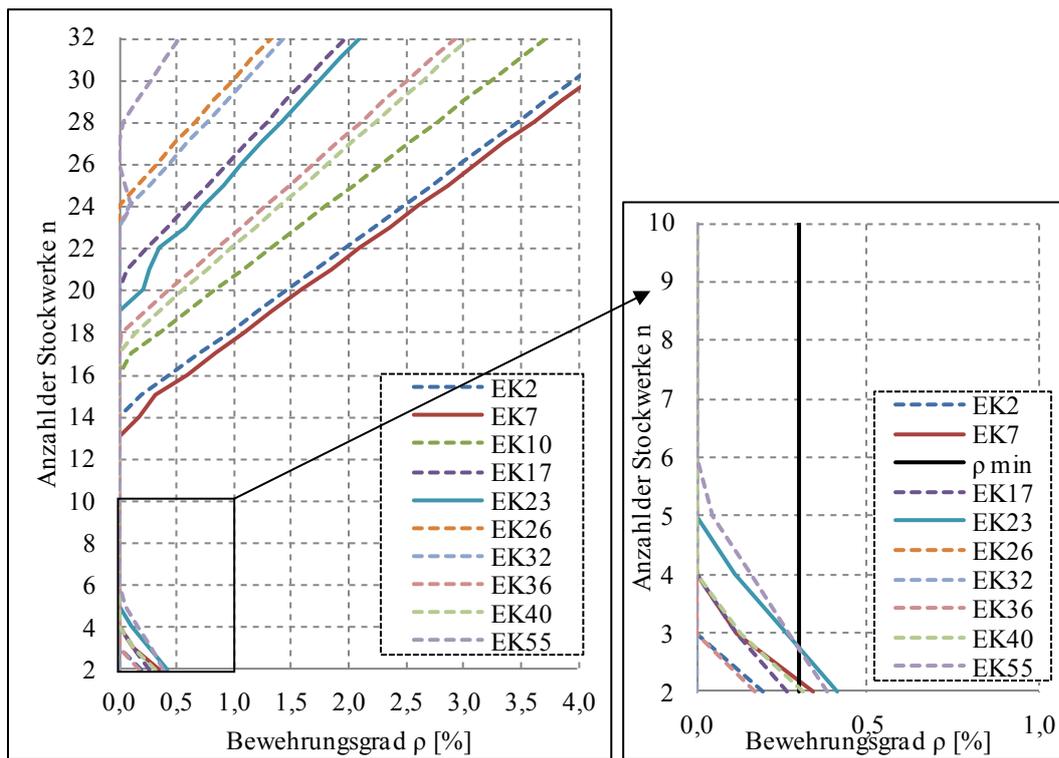


Bild 40 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_l/h = 0,3$; $h_l = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

In der durchgeführten Parameterstudie zur Nachweisstelle Innenwandkopf bzw. -fuß zeigt sich, dass lediglich EK7 (max M_{Ed} + zug. max N_{Ed}) und EK 23 (max M_{Ed} + zug. min N_{Ed}) maßgebend werden. Diese sind in Tabelle 25 dargestellt. Es gilt zu beachten, dass Einwirkungskombinationen, die zu Bewehrungsgraden unterhalb der Mindestbewehrung für schlanke Wände von $\rho_{min} = 0,30 \%$ führen, nicht betrachtet werden.

Tabelle 25 Maßgebende Einwirkungskombinationen für Innenwände mit Bemessungsstelle Wandkopf oder -fuß

	EK 7	EK 23
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35
Auflast $\gamma_{Q,o}$	1,5	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	0	0

5.7 Innenwandmitte

Wie bei den Außenwänden ist auch bei Innenwänden neben dem Wandkopf oder -fuß die Bemessung in Wandmitte maßgebend für die Ermittlung der erforderlichen Wandlängsbewehrung. Der Kriechbeiwert ϕ hat auch bei Innenwänden einen Einfluss auf die Höhe des Längsbewehrungsgrades ρ , nicht jedoch auf die maßgebende Einwirkungskombination. Der Einfluss des Kriechbeiwertes ϕ auf den Stabilitätsnachweis nimmt mit zunehmender Wanddicke zu, im vorliegenden Fall mit $h = 0,10$ m ist der Einfluss auf den Stabilitätsnachweis vernachlässigbar. In Tabelle 26 sind alle 64 möglichen Einwirkungskombinationen dargestellt.

Tabelle 26 Mögliche Einwirkungskombinationen für Innenwände mit Bemessungsstelle Wandmitte

	EK 1	EK 2	EK 3	EK 4	EK 5	EK 6	EK 7	EK 8	EK 9	EK 10	EK 11	EK 12	EK 13	EK 14	EK 15	EK 16
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Auflast $\gamma_{Q,0}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,l}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,r}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0
	EK 17	EK 18	EK 19	EK 20	EK 21	EK 22	EK 23	EK 24	EK 25	EK 26	EK 27	EK 28	EK 29	EK 30	EK 31	EK 32
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Auflast $\gamma_{Q,0}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,l}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,r}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0
	EK 33	EK 34	EK 35	EK 36	EK 37	EK 38	EK 39	EK 40	EK 41	EK 42	EK 43	EK 44	EK 45	EK 46	EK 47	EK 48
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Auflast $\gamma_{Q,0}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,l}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,r}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0
	EK 49	EK 50	EK 51	EK 52	EK 53	EK 54	EK 55	EK 56	EK 57	EK 58	EK 59	EK 60	EK 61	EK 62	EK 63	EK 64
Eigengewicht γ_G	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Auflast $\gamma_{Q,0}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	0	0	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,l}$	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0	1,5	1,5	0	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,r}$	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0	1,5	0

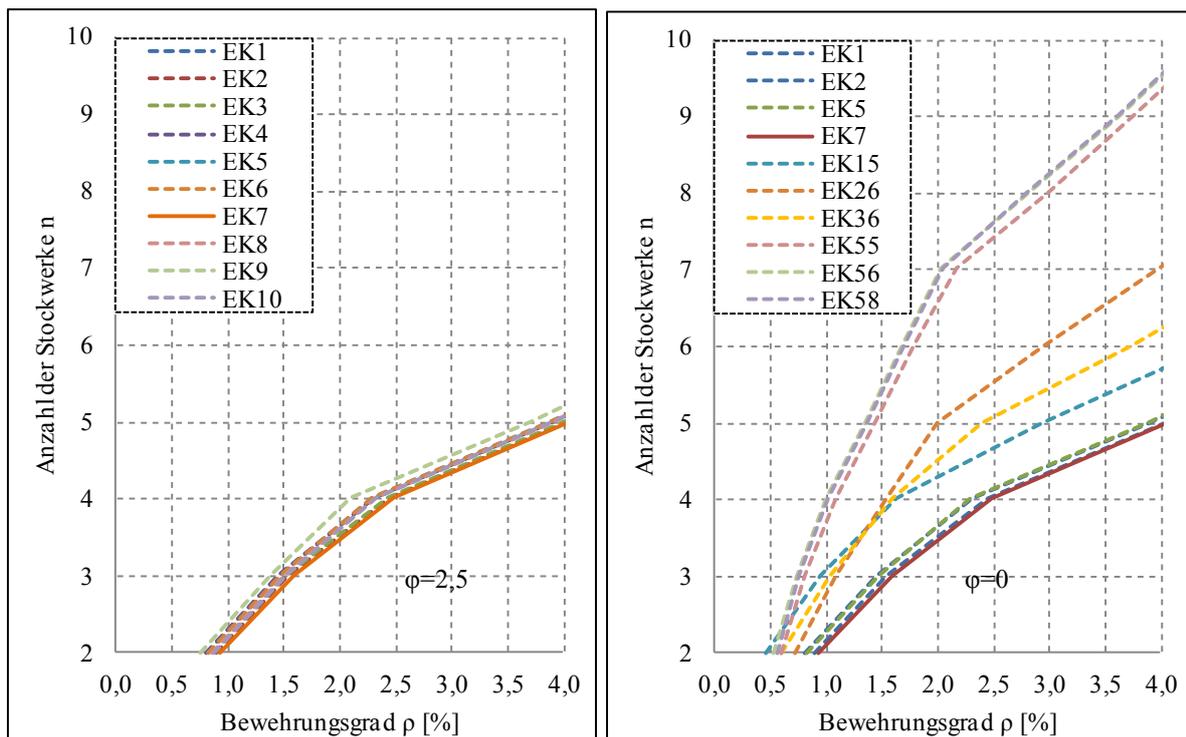


Bild 41 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

In der durchgeführten Parameterstudie zur Nachweisstelle Innenwandmitte zeigte sich, dass lediglich EK2 (max N_{Ed} + zug. max M_{Ed}) und EK 7 (max M_{Ed} + zug. max N_{Ed}) maßgebend werden. Einwirkungskombinationen, die zu Bewehrungsgraden unterhalb der Mindestbewehrung für schlanke Wände von $\rho_{\text{min}} = 0,30 \%$ führen, werden nicht betrachtet. EK2 und EK7 liefern sehr nah beieinander liegende Ergebnisse, die um weniger als 4 % voneinander abweichen, so dass die ausschließliche Betrachtung von EK7 im Rahmen von im Bauwesen üblichen Genauigkeiten liegt.

Tabelle 27 Maßgebende Einwirkungskombinationen für Innenwände mit Bemessungsstelle Wandmitte

	EK 2	EK 7
Eigengewicht γ_G	1,35	1,35
Auflast $\gamma_{Q,0}$	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,l}$	1,5	1,5
Nutzlast $\gamma_{Q,OG,r}$	1,5	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,l}$	1,5	0
Nutzlast $\gamma_{Q,UG,r}$	0	1,5

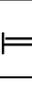
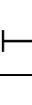
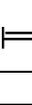
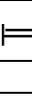
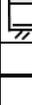
6 Zusammenstellung der maßgebenden Einwirkungskombination

In Tabelle 28 sind die maßgebenden Einwirkungskombinationen für alle untersuchten Bauteile des üblichen Hochbaus zusammengestellt. Es wird deutlich, dass bei allen betrachteten Bauteilen - mit Ausnahme von Innenstützen und Fundamenten - diejenige Einwirkungskombination, die zu $\max M_{Ed}$ führt, bei der Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit betrachtet werden muss. Innenstützen bilden nur insofern eine Ausnahme, da sie vereinfacht als Pendelstützen mit einer Mindestausmitte e_0 nach DIN EN 1992-1-1, Abschnitt 6.1(4) [9] betrachtet werden dürfen und Biegemomente aus teilweiser Einspannung der Innenstütze in die Decke(n) nicht berücksichtigt werden müssen. Die Fundamente der betrachteten, unverschieblichen Systeme sind ebenfalls nur durch Normalkräfte beansprucht, somit treten bei diesen definitionsgemäß keine Anschlussbiegemomente auf.

Weiterhin kann festgestellt werden, dass ständige Einwirkungen aus Bauteileigengewicht in der Regel nur mit $\gamma_G = 1,35$ berücksichtigt werden müssen. Eine Ausnahme bilden Aussteifungselemente und Kellerwände. Diese weisen kombinierte Beanspruchungen aus Biegung mit Normalkraft auf, können aber auch überwiegend durch Biegung beansprucht sein. Diese Bauteile sind nicht durchlaufend, daher kann gemäß DIN EN 1992-1-1/NA [9] und [10] – trotz des Einbaus einer Mindestbewehrung – auf eine Berücksichtigung der Einwirkungskombinationen mit $\gamma_G = 1,0$ nicht verzichtet werden. Bei durchlaufenden, nicht vorgespannten Biegebauteilen (abfangende Konstruktionen, Balken, Dächer und Decken) hingegen kann durch den Einbau von Mindestbewehrung auf die Betrachtung der Einwirkungskombinationen mit $\gamma_G = 1,00$ verzichtet werden.

Bei normalkraftbeanspruchten Bauteilen (Aussteifungselemente, Randstützen, Außenwände, Innenstützen, Innenwände, Kellerwände) muss immer diejenige Einwirkungskombination berücksichtigt werden, die zur maximalen Normalkraft $\max N_{Ed}$ führt. Dies liegt darin begründet, dass die bezogene Normalkraft $v_{Ed} = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd})$ bei hohen Werten ($v_{Ed} \geq 0,40$) zu einer erhöhten Bauteilbewehrung führt. Bei Fundamenten führt die Einwirkungskombination mit der maximalen Normalkraft zu den größten Biegebeanspruchungen in der Fundamentplatte.

Tabelle 28 Zusammenstellung der Teilsicherheitsbeiwerte γ der maßgebenden Einwirkungskombinationen (EK) im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Bauteile des üblichen Hochbaus

Bauteil	Maßgebende Einwirkungskombination	Eigen- gewicht $\gamma_{G,sup/inf} \cdot G_k$	Nutzlast am betrachteten/ angrenzenden Bauteil $\gamma_Q \cdot Q_k$	Nutzlast aus anderen Geschossen $\gamma_{Q,sup/inf} \cdot Q_{k,o}$	Einwirkung aus Schnee $\gamma_{Q,sup/inf} \cdot S_k$	Einwirkung aus Wind $\gamma_{Q,sup/inf} \cdot W_k$	Einwirk- ung aus Erddruck $\gamma \cdot E_k$
Abfangende Konstruktionen	max M_{Ed} bzw. max V_{Ed}	1,35	1,5 ⁵⁾	$1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$ Volllast/ 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-
	max M_{Ed} bzw. max V_{Ed}	1,35	$1,5 \cdot \psi_0^{5)}$	$1,5 \cdot \psi_0$ Volllast/ 0	1,5 / 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-
Aussteifungs- elemente	max N_{Ed} + zug. max M_{Ed}	1,35	1,5 ⁵⁾	$1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$ Abtriebskräfte	1,5 ⁴⁾ incl. Abtriebskräfte	$1,5 \cdot \psi_0$	-
	max M_{Ed} + zug. max N_{Ed}	1,35	$1,5 \cdot \psi_0^{5)}$	$1,5 \cdot \psi_0$ Abtriebskräfte	$1,5 \cdot \psi_0$ incl. Abtriebskräfte	1,5	-
	min N_{Ed} + zug. max M_{Ed}	1,00	-	$1,5 \cdot \psi_0$ Abtriebskräfte	-	1,5	-
Balken/Decken	max M_{Ed} bzw. max V_{Ed}	1,35	1,5 ⁵⁾	-	-	-	-
Dächer	max M_{Ed} bzw. max V_{Ed}	1,35	1,5 ⁵⁾	-	-	-	-
	max M_{Ed} bzw. max V_{Ed}	1,35	-	-	1,5 / 0	1,5 / 0	-
Randstützen ^{3)/} Außenwände	Bemessungsstelle Kopf / Fuß max M_{Ed} + zug. max N_{Ed}	1,35	 1,5	 $1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-
	Bemessungsstelle Kopf / Fuß max M_{Ed} + zug. min N_{Ed}	1,35	 1,5	 $1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-
	Bemessungsstelle Stützen-/ Wandmitte max M_{Ed} + zug. min N_{Ed}	1,35	 1,5	 $1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-
Innenstützen	max N_{Ed}	1,35	1,5 ⁵⁾	$1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$ Volllast	1,5 ⁴⁾	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-
Innenwände	max M_{Ed} + zug. max N_{Ed}	1,35	 1,5	$1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$ Volllast	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-
	max M_{Ed} + zug. min N_{Ed}	1,35	 1,5	-	-	-	-
Kellerwände	max M_{Ed} + zug. max N_{Ed}	1,35	 1,5	 $1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	1,5 ¹⁾
	max M_{Ed} + zug. min N_{Ed}	1,35 / 1,0	 1,5	 $1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	1,5 ¹⁾
Fundamente	max N_{Ed}	1,35	1,5 ⁵⁾	$1,5 \cdot \alpha_n^{2)}$ Volllast	1,5 ⁴⁾	$1,5 \cdot \psi_0 /$ 0	-

¹⁾ Der angegebene Teilsicherheitsbeiwert gilt für Erddruck aus Auflast. Bei Erddruck aus Bodeneigengewicht ist $\gamma = 1,35$.

²⁾ $\alpha_n = 0,7 + 0,6/n$; n = Anzahl der Geschosse mit $n \geq 2$. Auf der sicheren Seite kann $\alpha_n = 1$ angenommen werden.

³⁾ Bei Randstützen und Außenwänden unter dem Dach muss zusätzlich die EK $1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot S_k + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot W_k$ berücksichtigt werden.

⁴⁾ Auf der sicheren Seite liegend wird für Einwirkungen aus Schnee $\psi_0 = 1,0$ angesetzt.

⁵⁾ Die Nutzlast ist in ungünstigster Stellung anzuordnen.

Die angegebenen Einwirkungskombinationen gelten für Deutschland unter Einhaltung folgender **Randbedingungen**:

- unverschiebliches System
- Stützweitenverhältnis Randfeld/1.Innenfeld $0,5 \leq L_1/L_2 \leq 2$
- Stützweitenverhältnis angrenzende Felder links/rechts bzw. rechts/links $1 \leq L_3/L_4 \leq 2$
- Regelmäßiger Grund- und Aufriss mit Deckenhöhen $2,50 \text{ m} \leq h_1 \leq 4,00 \text{ m}$
- Beton $\leq C50/60$ (Normalbeton)
- Schnittgrößenermittlung linear-elastisch ohne Berücksichtigung von Schnittgrößenumlagerungen

7 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Forschungsbericht wurden der Einfluss der Einwirkungen infolge Eigengewicht und Nutzlast, Schnee und Wind auf die Gesamtschnittgrößen in den einzelnen Bauteilen untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass vertikale Windlasten in keinem Fall als Leiteinwirkung maßgebend werden.

Schneelasten können ab einer genau festgelegten Geländehöhe müNN – bei gleichzeitiger Wirkung von Nutzlasten – als Leiteinwirkung maßgebend werden. Hierzu wurden Diagramme entwickelt, die eine einfache Bestimmung der Leiteinwirkung in Abhängigkeit von der Schneelastzone, der Nutzungskategorie sowie der Geländehöhe erlauben.

Für Dächer und Dachkonstruktionen konnten $n = 2$ maßgebende Einwirkungskombinationen identifiziert werden. Im Falle, dass die Nutzlast Leiteinwirkung ist, muss zusätzlich die maßgebende Laststellung je nach Nachweisstelle und Nachweisart passend gewählt werden.

Bei Deckenkonstruktionen und (Biege-)Balken ohne Beanspruchungen aus darüber liegenden Bauteilen konnte die Anzahl der zu untersuchenden Einwirkungskombinationen auf $n = 1$ reduziert werden. Auch bei Deckenkonstruktionen und Balken muss die maßgebende Laststellung je nach Nachweisstelle und Nachweisart passend gewählt werden.

Die Anzahl der zu untersuchenden Einwirkungskombinationen bei abfangenden Konstruktionen konnte von $n = 74$ auf $n = 2$ reduziert werden. Direkt auf die abfangende Konstruktion wirkende Nutzlasten müssen je nach Nachweisstelle und Nachweisart passend angeordnet werden, während Nutzlasten aus darüber oder darunter liegenden Geschossen als gleichmäßig verteilt wirkend angesetzt werden können.

Es konnte gezeigt werden, dass bei Randstützen - unabhängig von der Nachweisstelle Stützenkopf/-fuß oder Stützenmitte - nur zwei Einwirkungskombinationen ($\max M_{Ed} + \text{zug. } \max N_{Ed}$ und $\max M_{Ed} + \text{zug. } \min N_{Ed}$) maßgebend werden können. Da die Randstützen durch Biegung und Normalkräften beansprucht sind, werden Schneelasten nur als Begleiteinwirkung maßgebend. Im Fall, dass horizontale Windlasten aus der Fassade direkt in die Randstützen eingeleitet werden, müssen Windlasten als Begleiteinwirkung zusätzlich berücksichtigt werden.

Auch für Außenwände werden, aufgrund der ähnlichen Belastungen wie bei Randstützen und unabhängig von der Nachweisstelle, nur zwei Einwirkungskombinationen maßgebend. Anders als bei Randstützen müssen horizontale Windeinwirkungen auf Außenwände grundsätzlich als zusätzliche Begleiteinwirkungen berücksichtigt werden. Bei Kellerwänden kann darüber hinaus eine dritte Einwirkungskombination – $\max M_{Ed}$ ($\gamma_G = 1,00$) + $\text{zug. } \min N_{Ed}$ – maßgebend werden.

Für Innenwände konnten drei maßgebende Einwirkungskombinationen identifiziert werden, die sich ohne große Genauigkeitsverluste (maximal 4 % Abweichung) auf zwei maßgebende Einwirkungskombinationen – $\max M_{Ed} + \text{zug. } \max N_{Ed}$ und $\max M_{Ed} + \text{zug. } \min N_{Ed}$ – reduzieren lassen.

Bei Innenstützen wird nur diejenige Einwirkungskombination maßgebend, die zur maximalen Normalkraft $\max N_{Ed}$ führt. Dabei können Nutzlasten oder Schneelasten als Leiteinwirkung

maßgebend werden. Wird für Einwirkungen aus Schnee vereinfachend $\psi_0 = 1,0$ gesetzt, verbleibt lediglich eine maßgebende Einwirkungskombination.

Auch bei Fundamenten von Wänden und Stützen unverschieblicher Systeme, mit zu vernachlässigender Lastexzentrizität, kann nur diejenige Einwirkungskombination maßgebend werden, die zur maximalen Normalkraft $\max N_{Ed}$ führt. Hierbei können ebenfalls Nutzlasten oder Schneelasten als Leiteinwirkung maßgebend werden.

Die Anzahl der zu untersuchenden Einwirkungskombinationen konnte auch bei Aussteifungselementen von $n = 74$ auf $n = 4$ reduziert werden. Dies sind $\max N_{Ed} + \text{zug. } \max M_{Ed}$ (Leiteinwirkung Nutz- oder Schneelasten), $\max M_{Ed} + \text{zug. } \max N_{Ed}$ und $\min N_{Ed} + \text{zug. } \max M_{Ed}$. Wird auch hier für Einwirkungen aus Schnee vereinfachend $\psi_0 = 1,0$ gesetzt, kann die Anzahl der maßgebenden Einwirkungskombinationen weiter auf $n = 3$ verringert werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Anzahl der zu berücksichtigenden Einwirkungskombinationen in allen untersuchten Fällen deutlich reduziert werden konnte. Der Tragwerksplaner erhält mit der Zusammenfassung der Forschungsergebnisse in Tabelle 28 ein Werkzeug, mit dem die täglichen Bemessungsaufgaben effizienter und schneller ausgeführt werden können. Zudem können EDV-Rechenergebnisse schnell auf ihre Plausibilität hin kontrolliert werden.

Zusätzlicher Forschungsbedarf zur Ermittlung der maßgebenden Einwirkungskombination besteht bei verschieblichen Systemen, da sich diese aufgrund der großen Anzahl der möglichen Ausführungsvarianten nur schwer klassifizieren lassen. Hierunter fallen insbesondere nicht ausgesteifte Hallenrahmen unter kombinierten Eigengewichts-, Wind-, Schnee- und gegebenenfalls Kranlasten. Bei verschieblichen Systemen, bei denen die Abtragung der Horizontallasten durch Einspannung in die Fundamente erfolgt, sind zusätzlich die Gründungsbauteile einer genauen Untersuchung zu unterziehen, da diese in der Regel nicht zu vernachlässigende Lastexzentrizitäten aufweisen.

Darüber hinaus besteht Forschungsbedarf bei Bauteilen aus Baustahl sowie Holz. Auch bei diesen Baustoffen ist eine Vielzahl von möglichen Einwirkungskombinationen zu betrachten, die durch entsprechende Untersuchungen deutlich reduziert werden könnten.

Literaturverzeichnis

Normen und Richtlinien

- [1] **DIN EN 1990**, „Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [2] **DIN EN 1990/NA**, „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [3] **DIN EN 1991-1-1**, „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [4] **DIN EN 1991-1-1/NA**, „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke– Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [5] **DIN EN 1991-1-3**, „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-3:2003 + AC:2009“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [6] **DIN EN 1991-1-3/NA**, „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke– Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [7] **DIN EN 1991-1-4**, „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [8] **DIN EN 1991-1-4/NA**, „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke– Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten“, Beuth Verlag, Berlin, 2010-12
- [9] **DIN EN 1992-1-1**, „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010, Beuth Verlag, Berlin, 2011-01
- [10] **DIN EN 1992-1-1/NA**, „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau“, Beuth Verlag, Berlin, 2011-01
- [11] **DIN 1045-1**, „Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 1: Bemessung und Konstruktion“, Beuth Verlag, Berlin, 2008-08
- [12] **DAfStb Heft 240**, „Hilfsmittel zur Berechnung der Schnittgrößen und Formänderungen von Stahlbetontragwerken“, Beuth Verlag, Berlin, 1991
- [13] **DIN EN 1996-1-1**, „Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk; Deutsche Fassung EN 1996-1-1:2005+A1:2012“, Beuth Verlag, Berlin, 2013-02

Bücher und Fachartikel

- [14] **Goris, A., Hegger, J.:** *Stahlbetonbau Aktuell 2013, Praxishandbuch*, Beuth Verlag, Berlin, 2013
- [15] **Goris, A.:** *Schneider Bautabellen für Ingenieure, 19. Auflage*, Werner Verlag, 2010
- [16] **Zilch, K., Zehetmaier, G.:** *Bemessung im konstruktiven Betonbau, 2. Auflage*, Springer Verlag, 2010
- [17] **Zilch, K., Diederichs, C.J., Katzenbach, R.:** *Handbuch für Bauingenieure, Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit*, Springer Verlag, 2002

Anhang A - Parameterstudie am Randstützenkopf oder -fuß

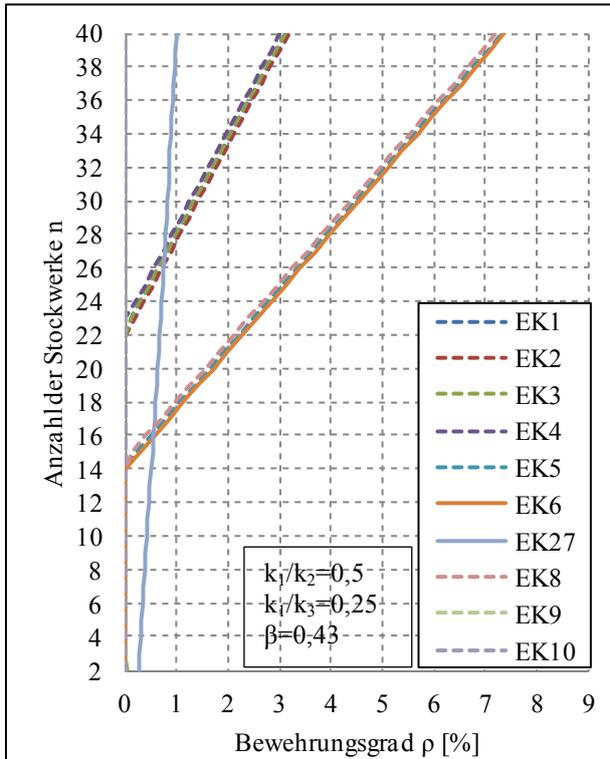


Bild 42 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 0,5$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

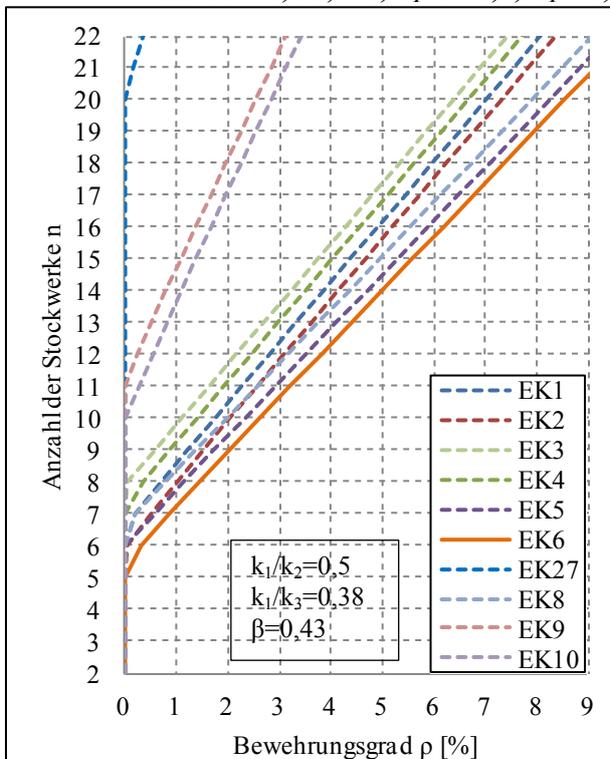


Bild 43 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 0,75$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

Anhang B - Parameterstudie in Randstützenmitte

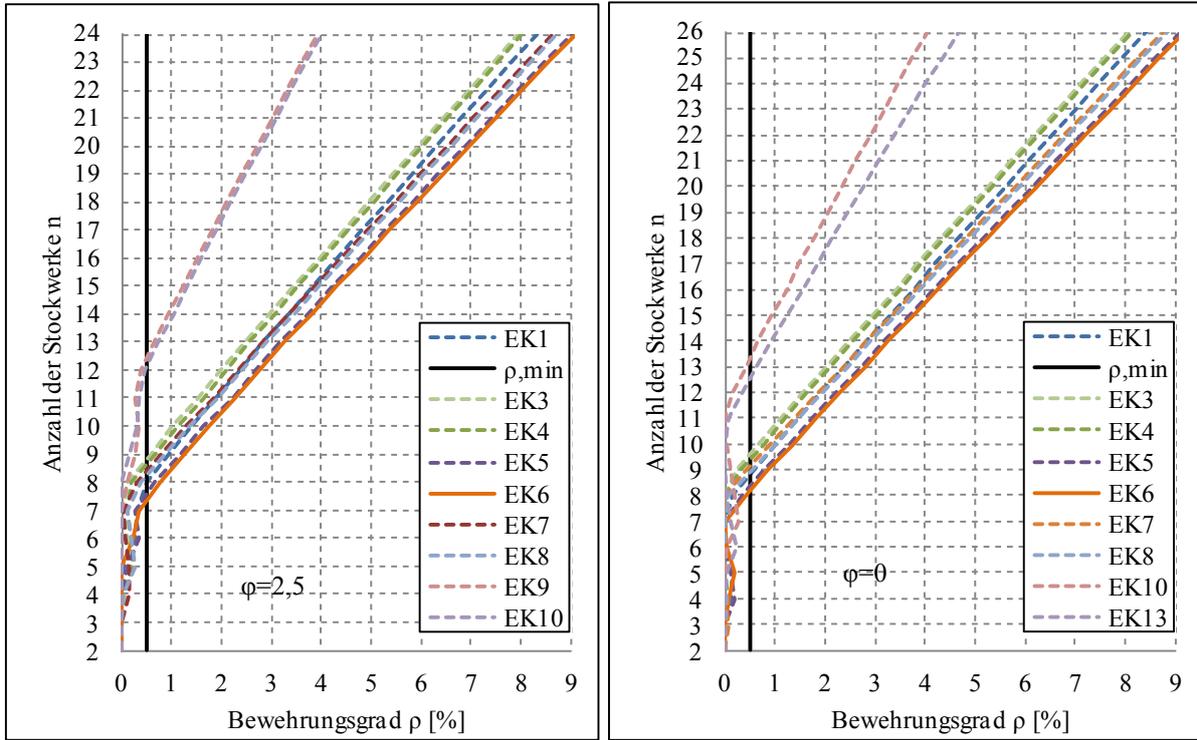


Bild 44 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,3/0,3$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

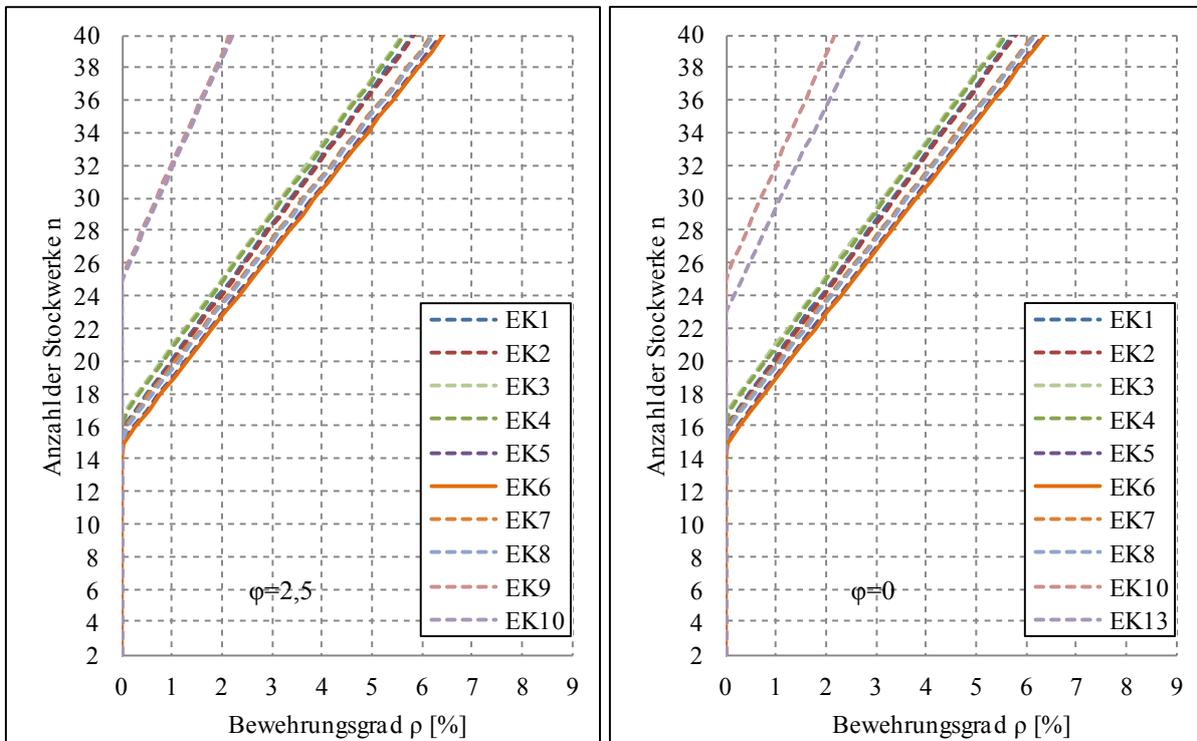


Bild 45 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

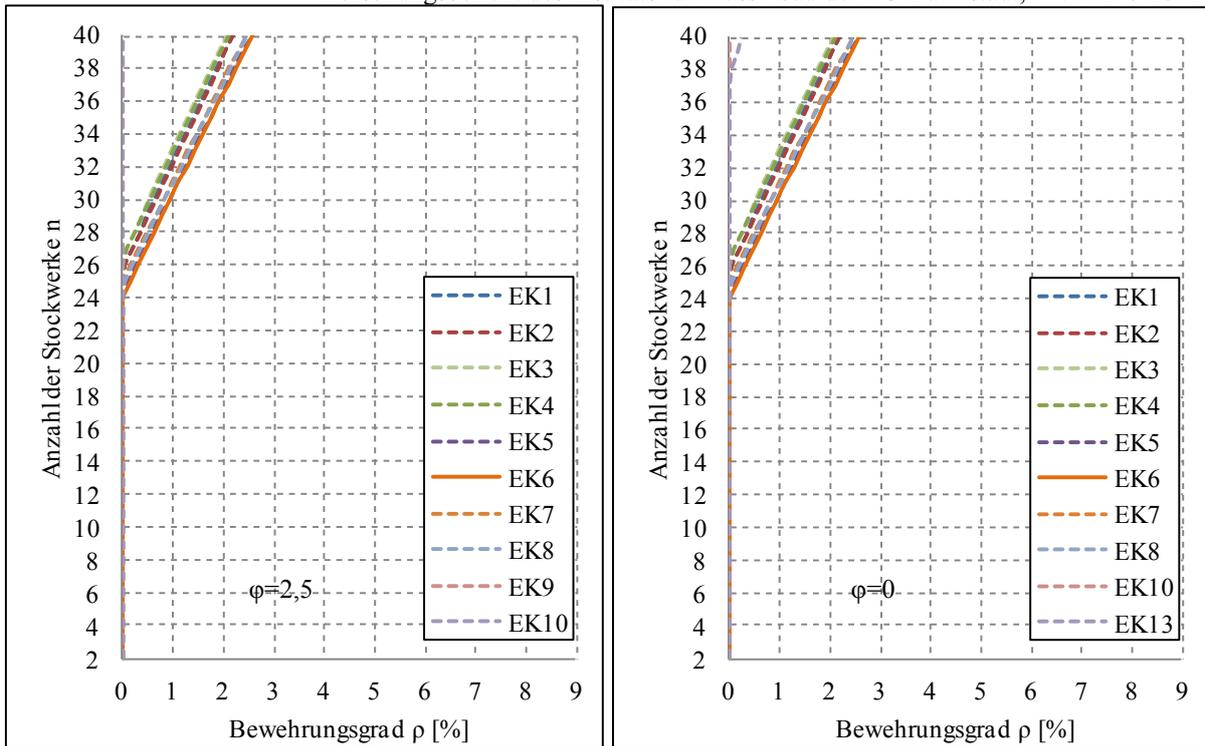


Bild 46 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

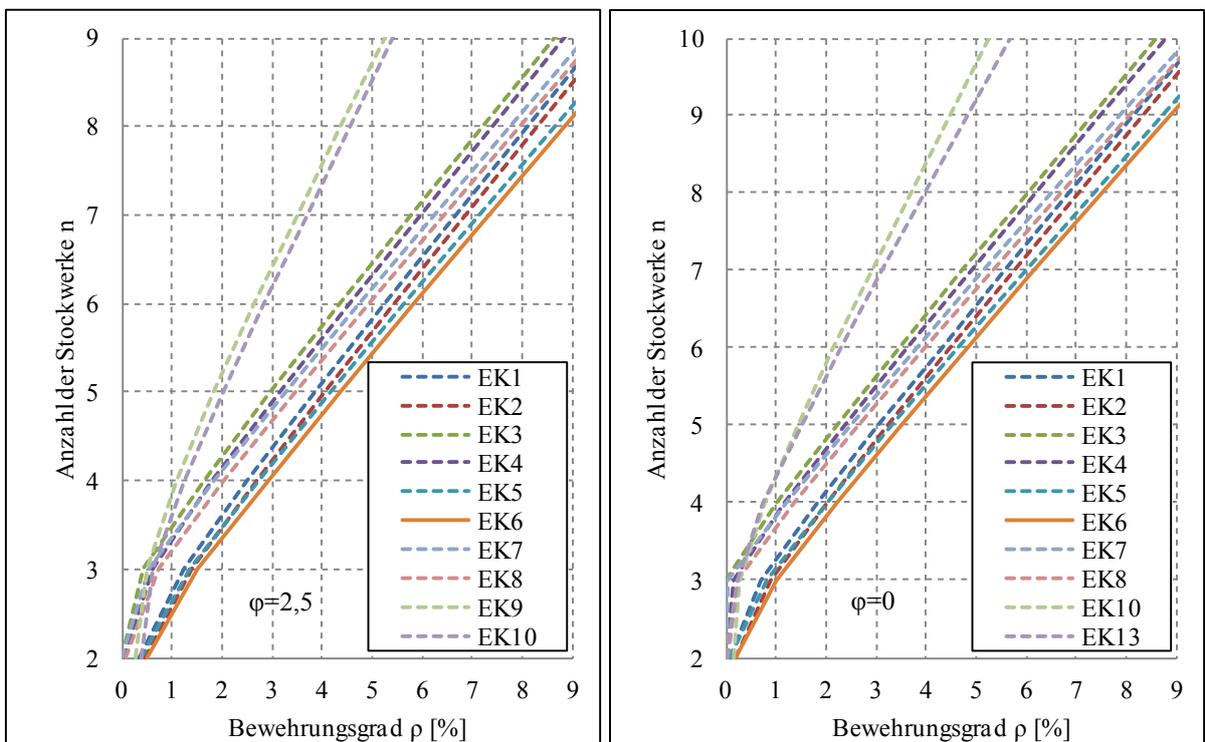


Bild 47 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

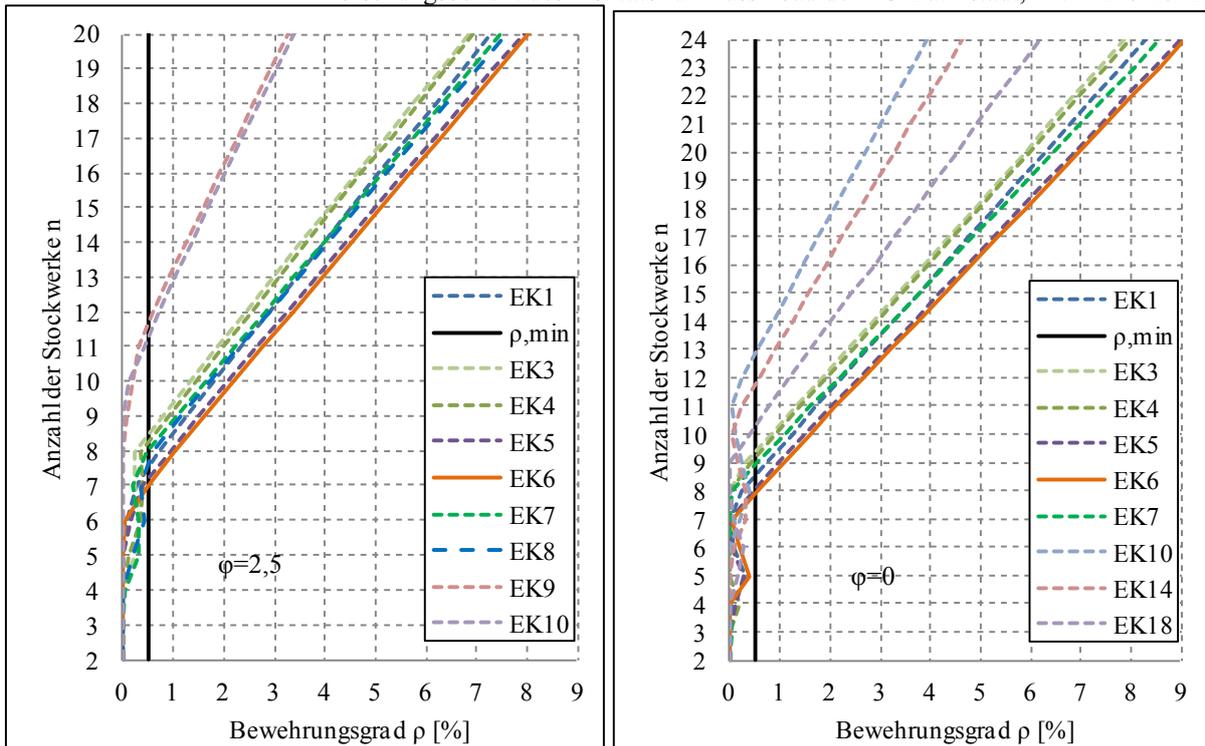


Bild 48 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,3/0,3$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

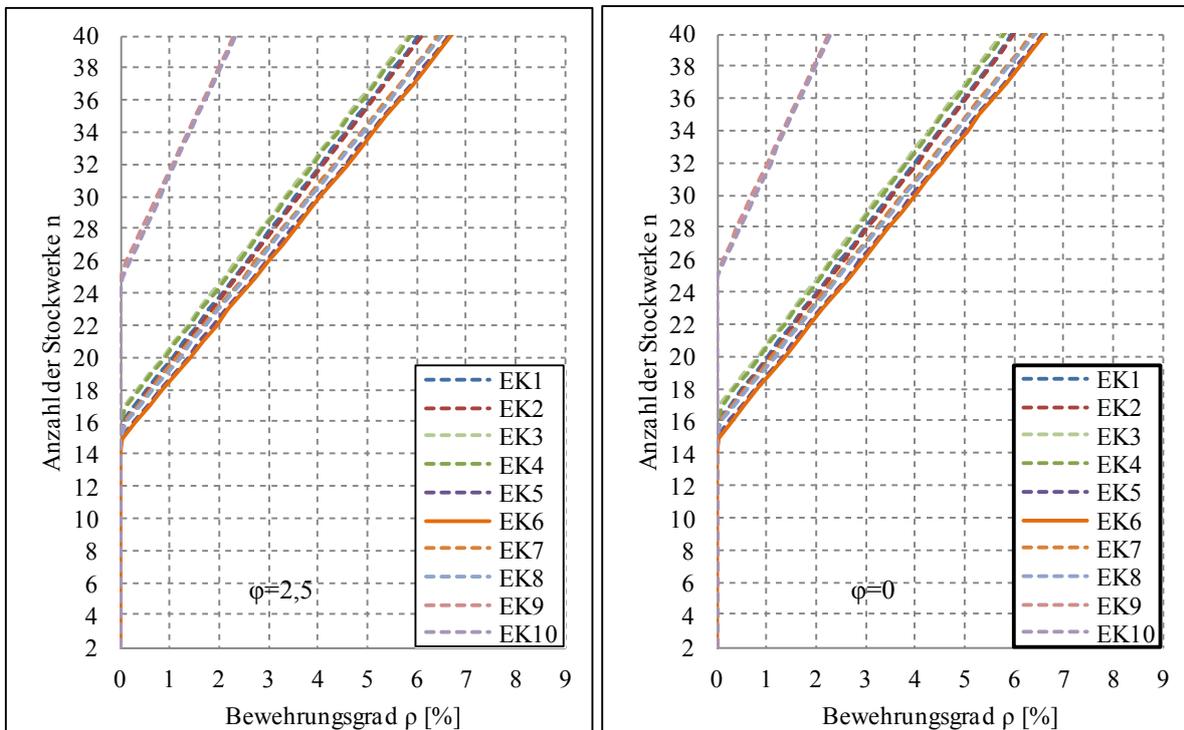


Bild 49 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,4/0,4$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

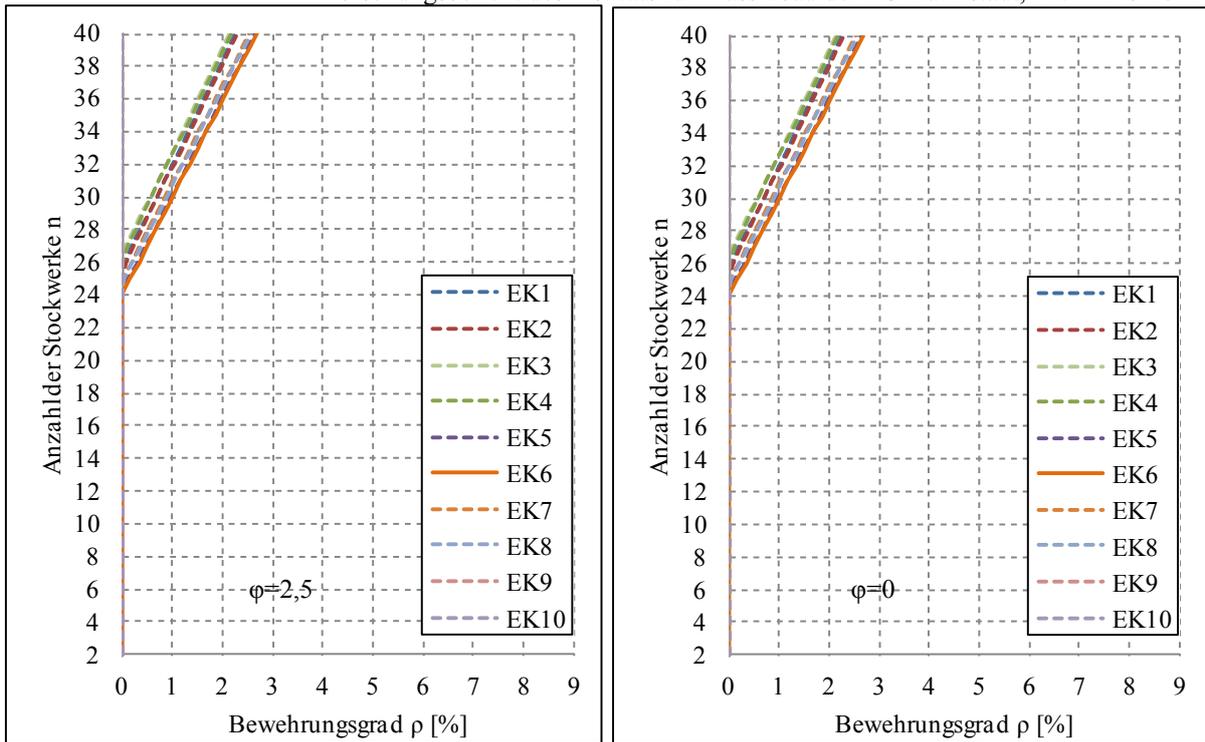


Bild 50 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,2$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

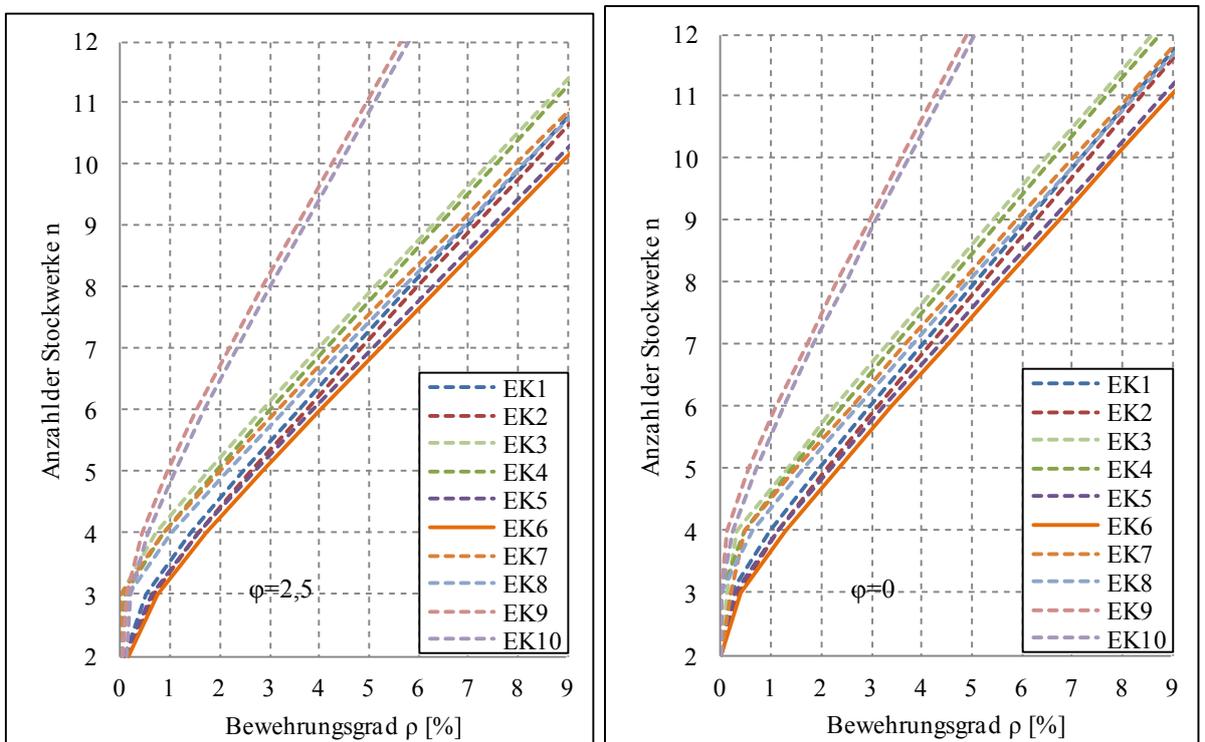


Bild 51 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 2,5$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

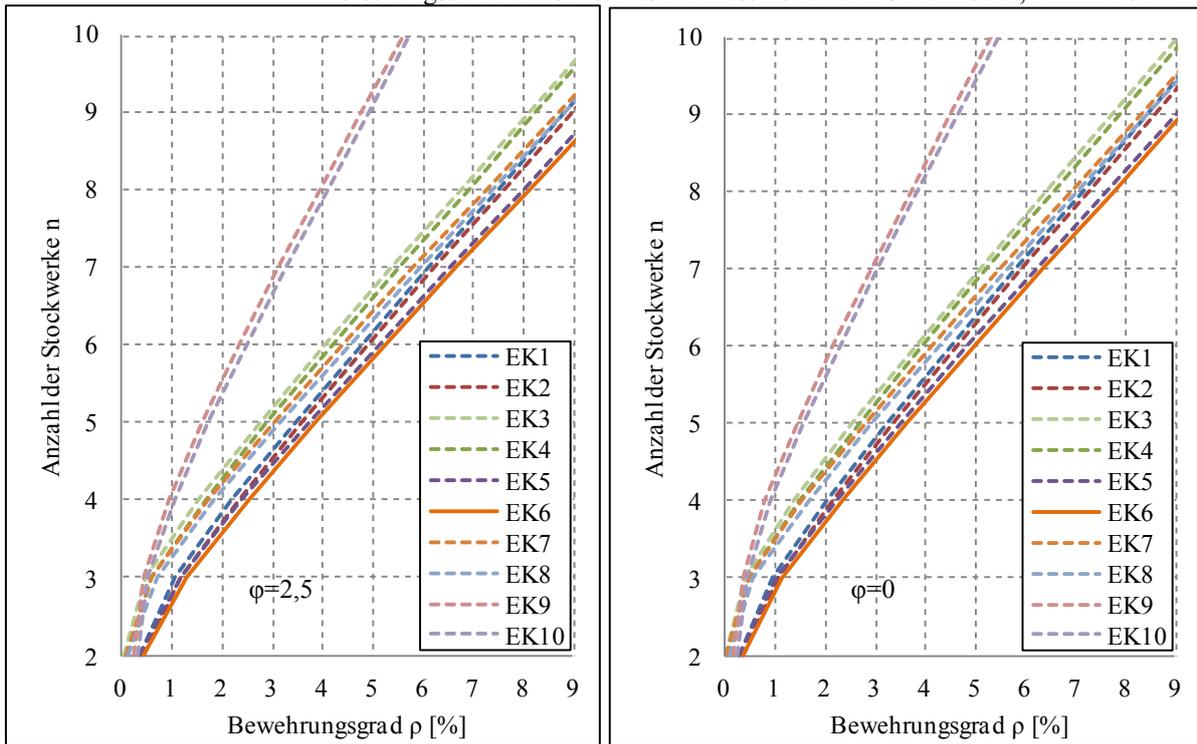


Bild 52 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 4,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

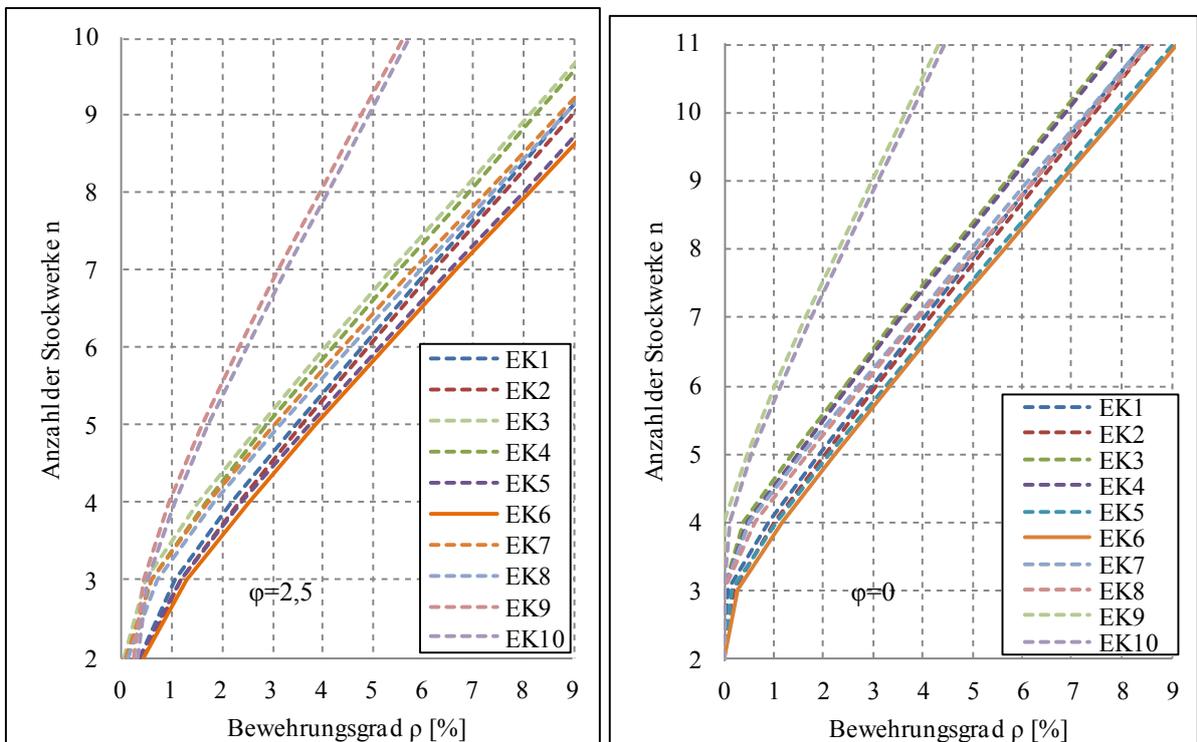


Bild 53 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,25$ m; $\beta = 0,43$

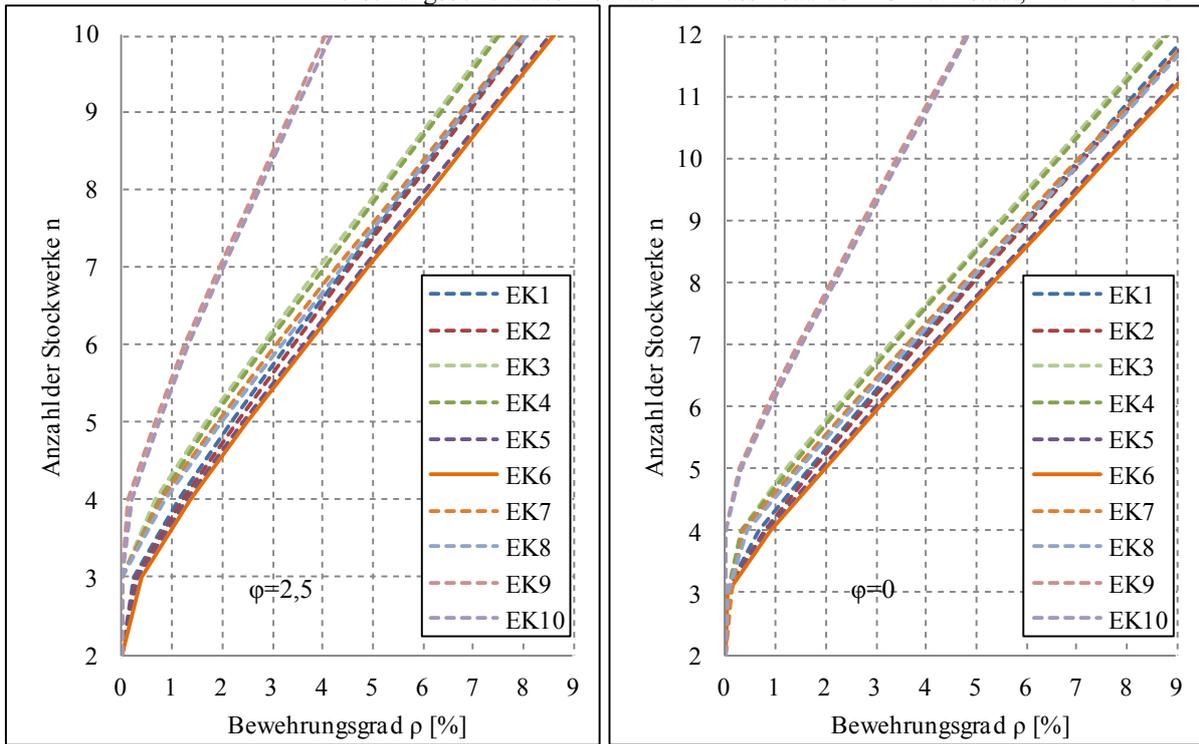


Bild 54 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,30$ m; $\beta = 0,43$

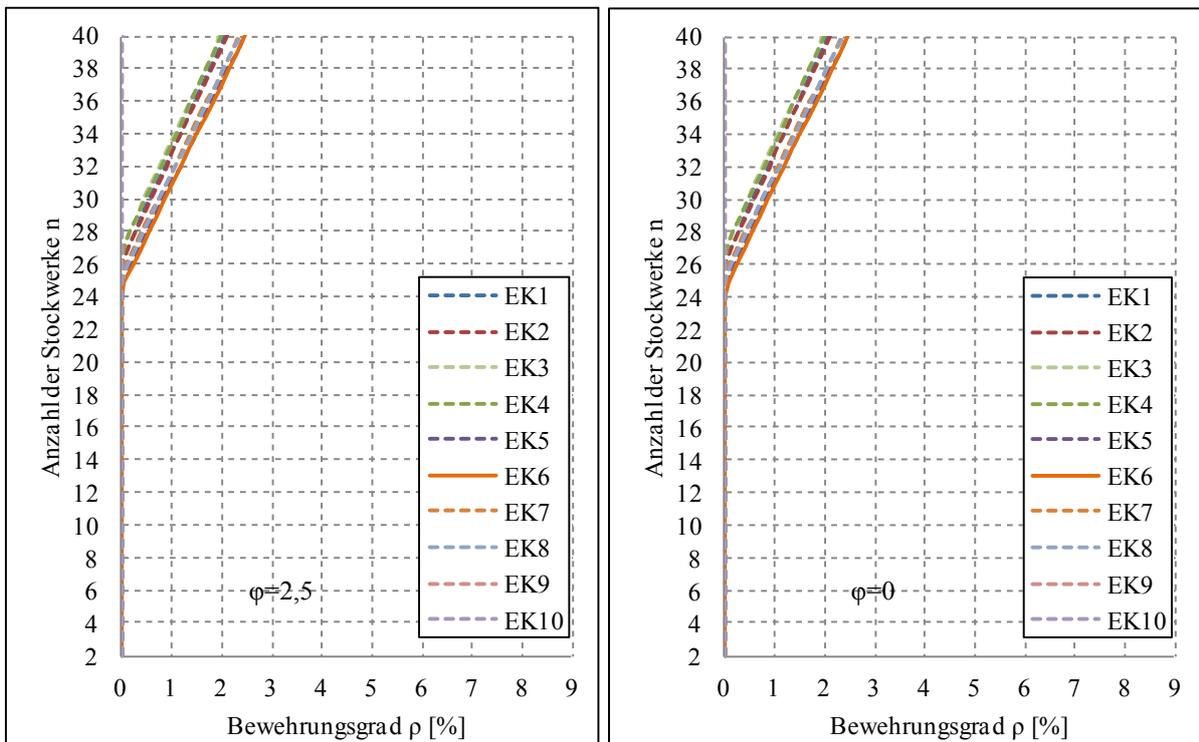


Bild 55 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,25$ m; $\beta = 0,43$

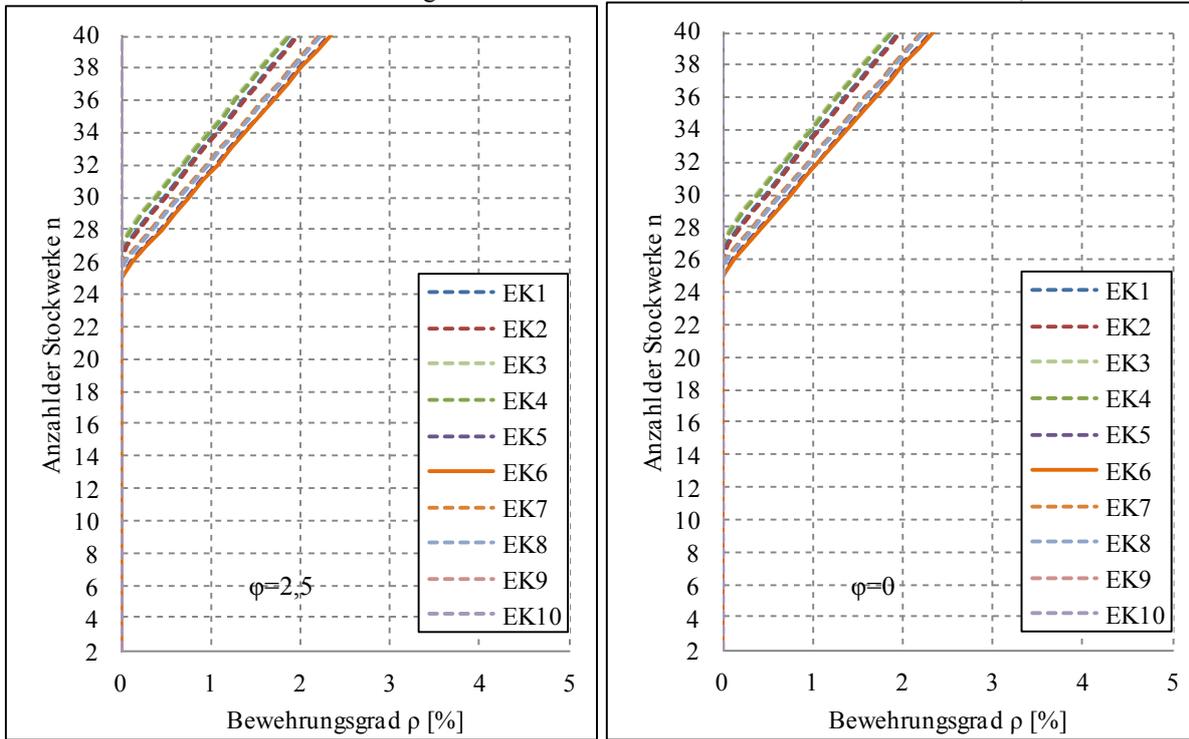


Bild 56 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,5/0,5$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,30$ m; $\beta = 0,43$

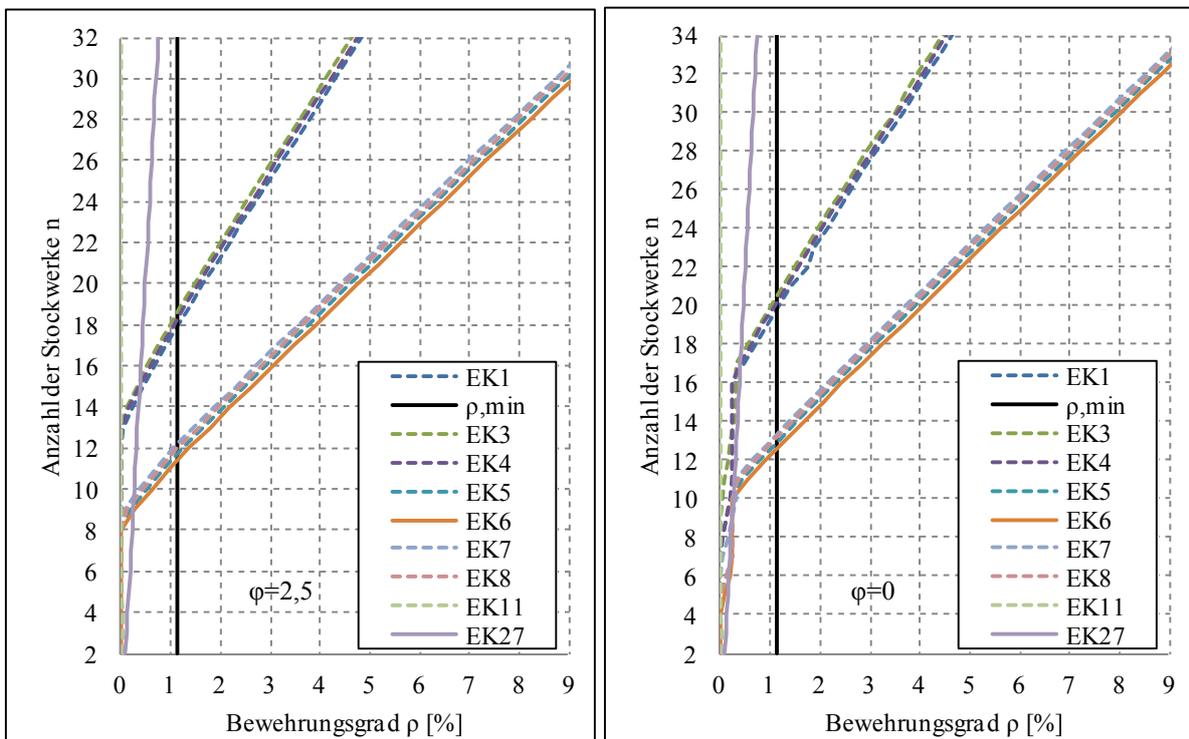


Bild 57 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 0,5$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

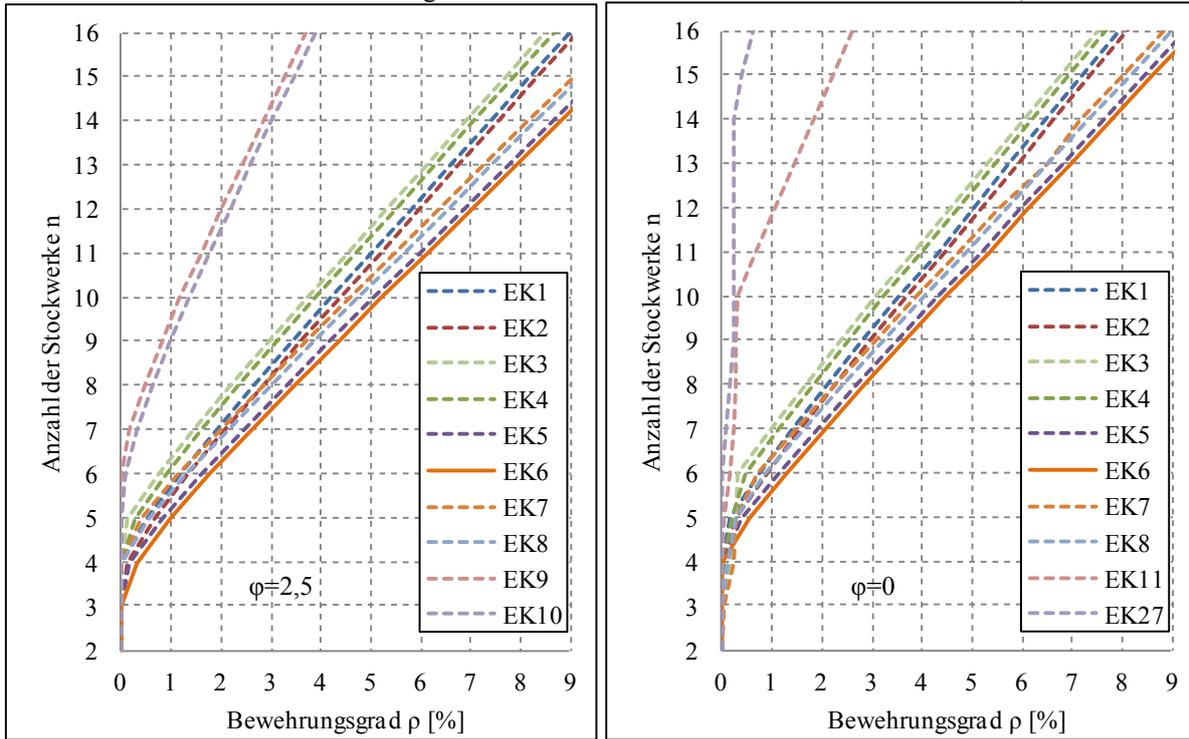


Bild 58 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 0,75$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

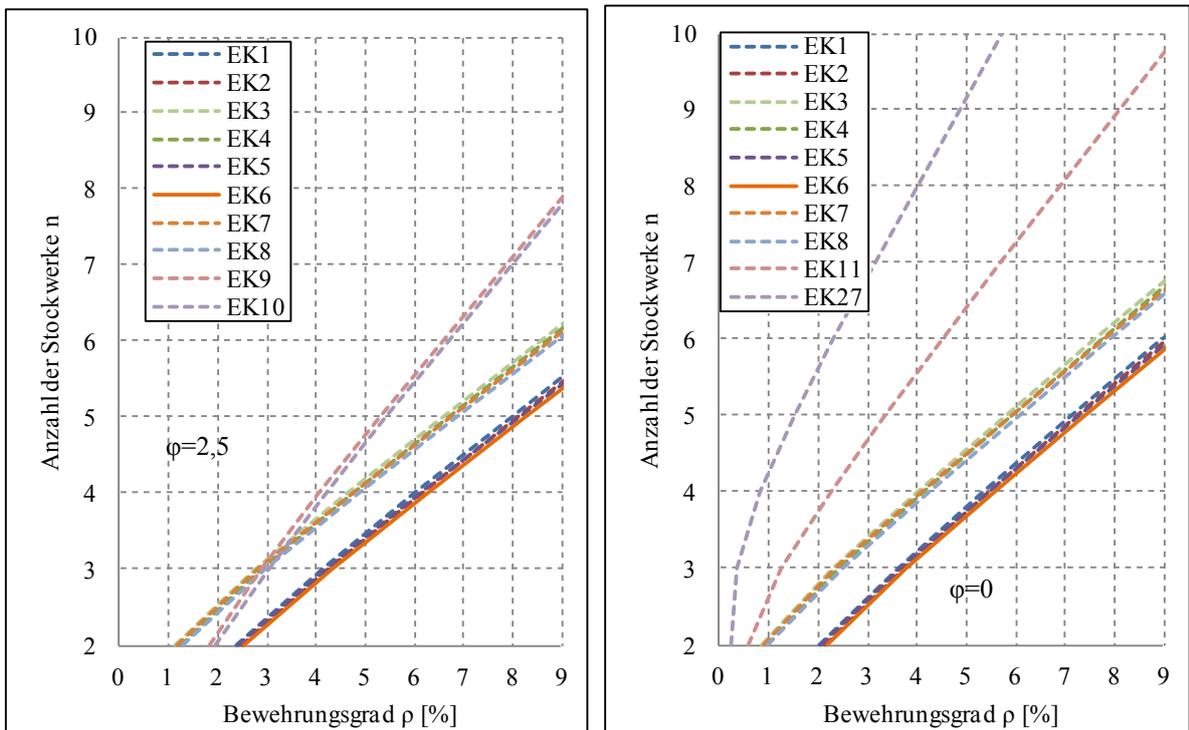


Bild 59 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

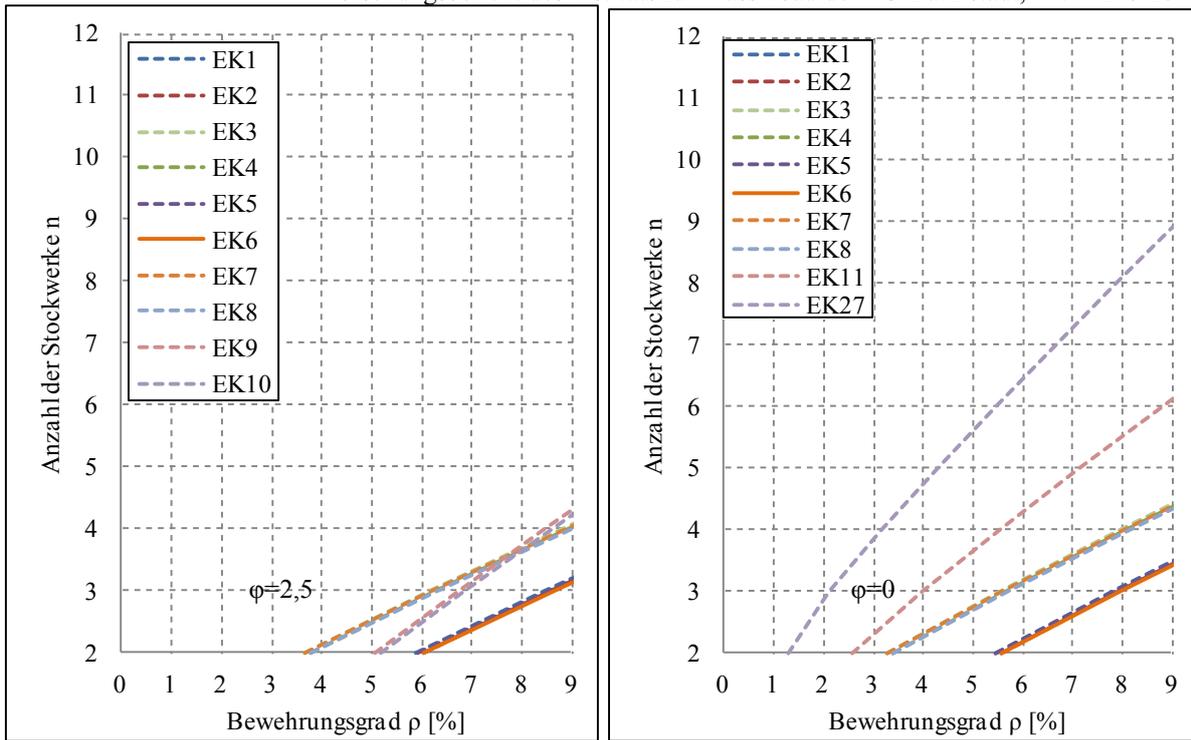


Bild 60 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

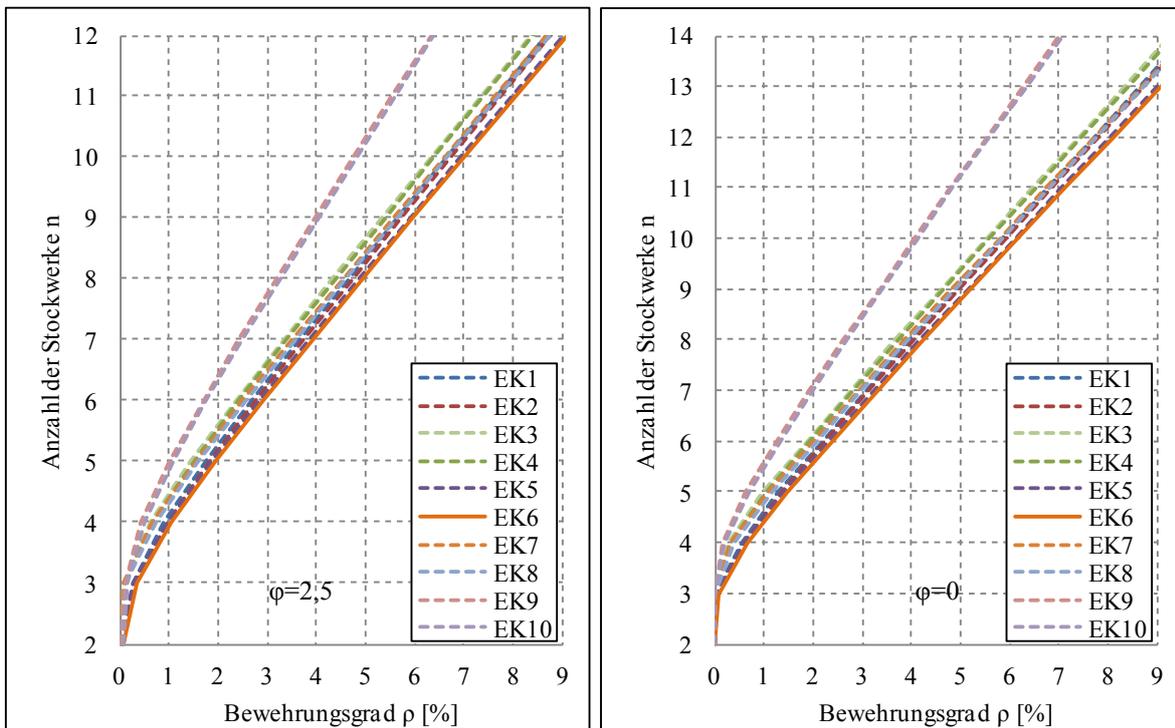


Bild 61 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,20$

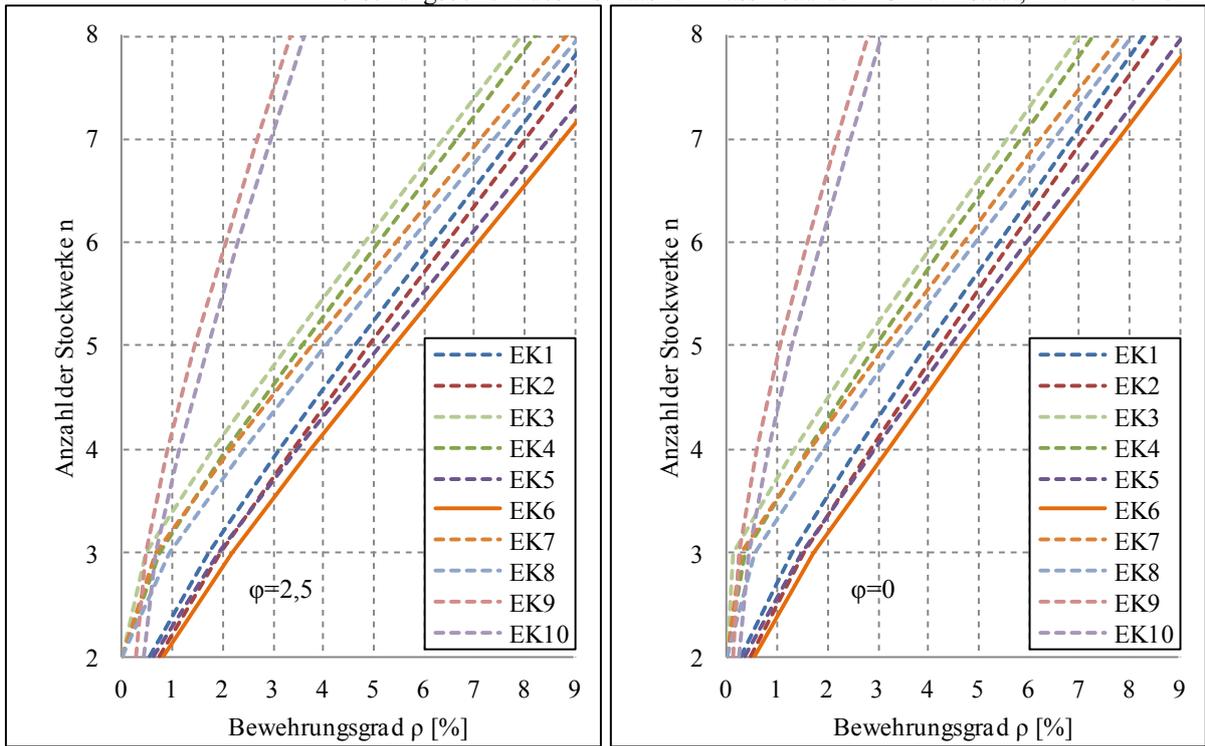


Bild 62 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C30/37 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,80$

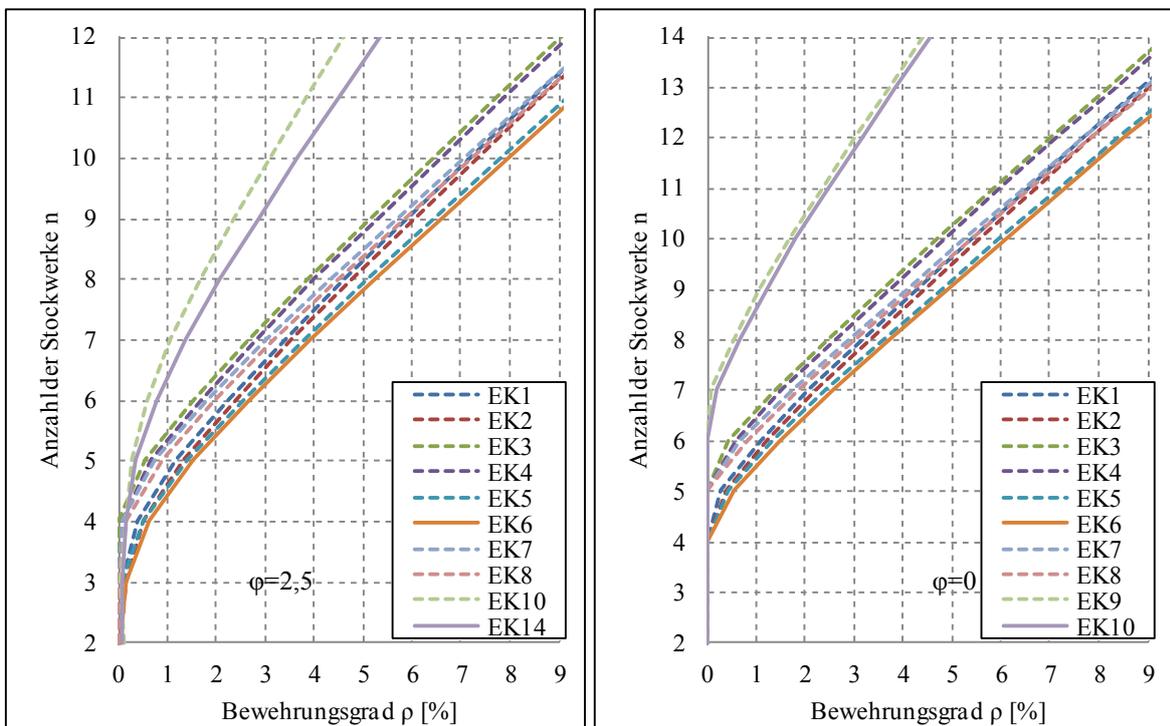


Bild 63 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Randstütze aus Beton C50/60 mit $h/b = 0,2/0,2$ m; $d_1/h = 0,1$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,2$ m; $\beta = 0,43$

Anhang C - Parameterstudie am Außenwandkopf oder -fuß

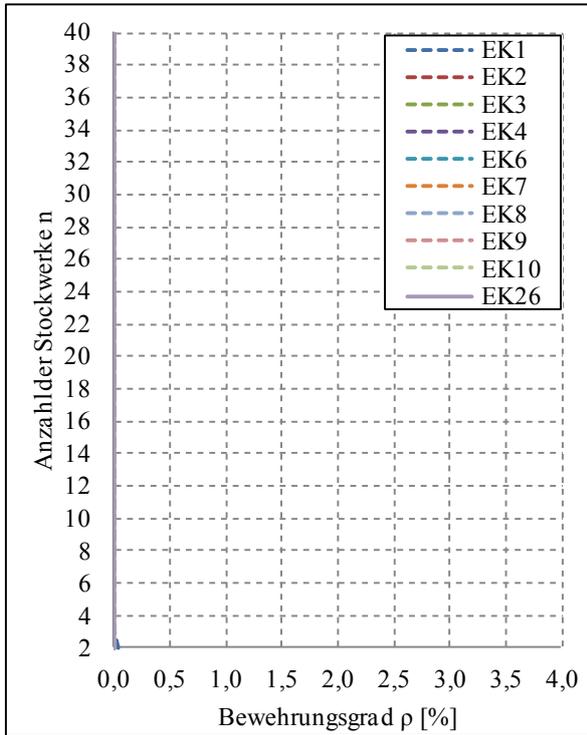


Bild 64 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

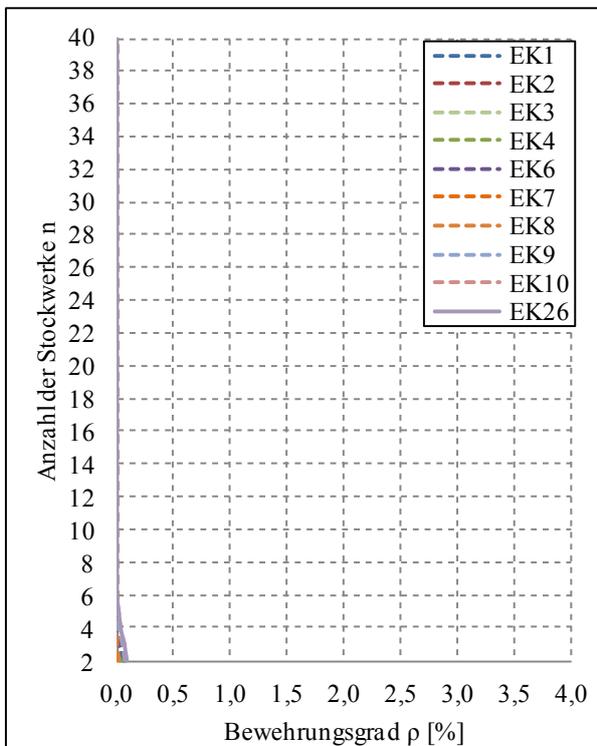


Bild 65 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

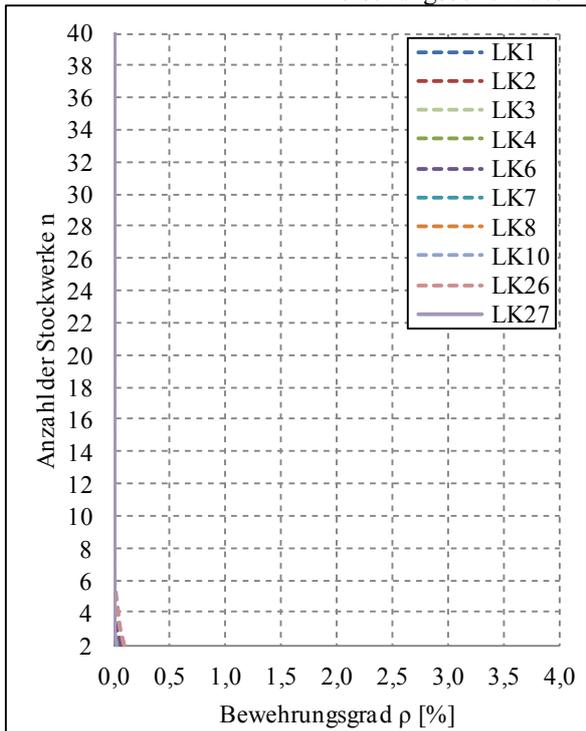


Bild 66 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

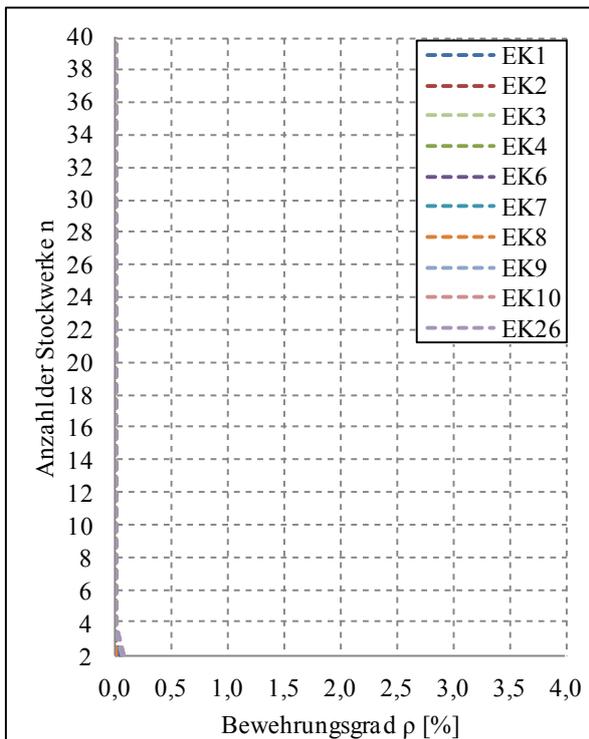


Bild 67 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

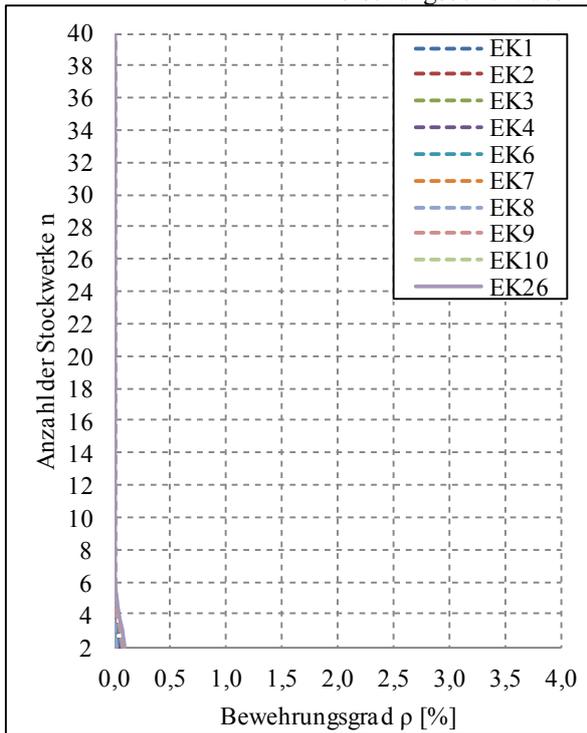


Bild 68 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

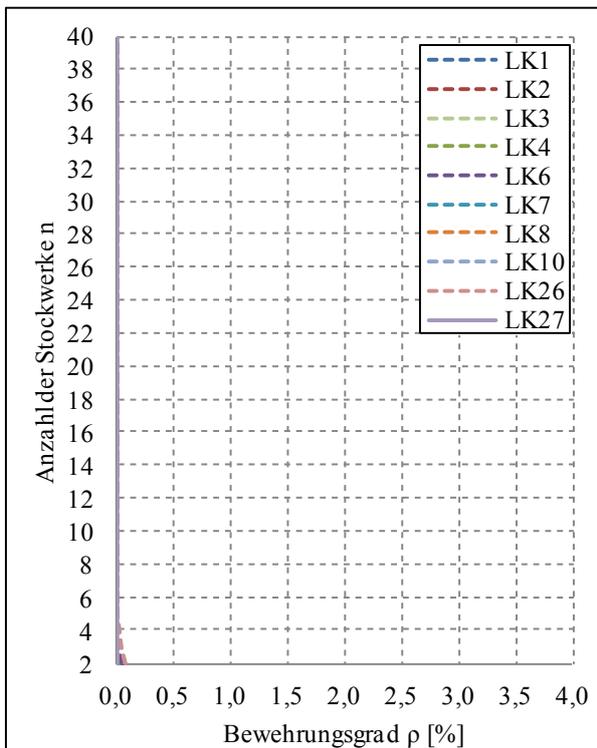


Bild 69 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

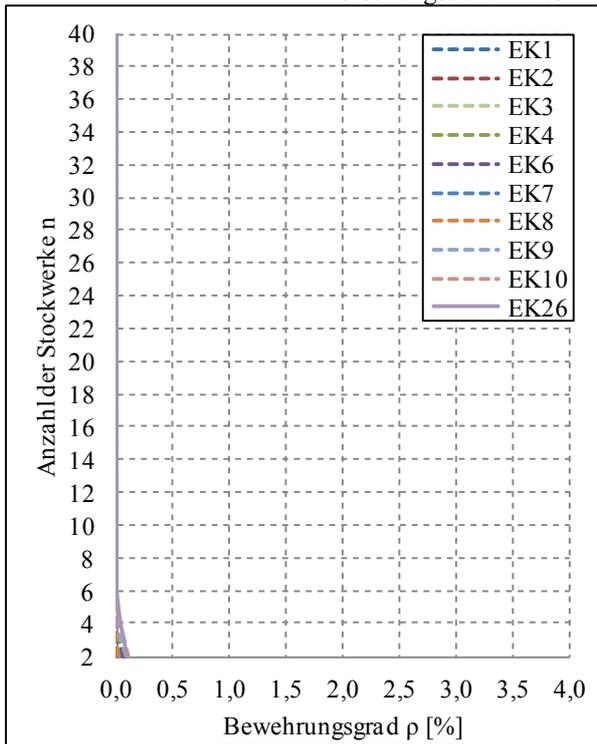


Bild 70 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 2,5 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

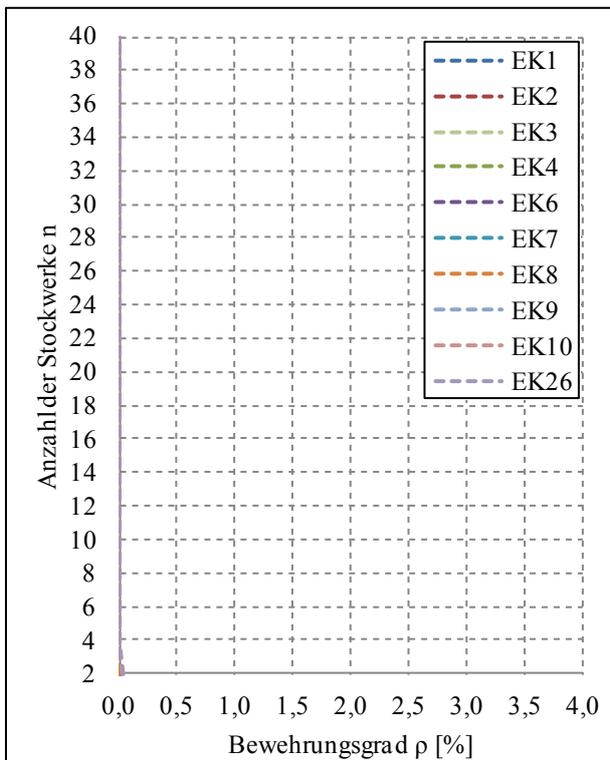


Bild 71 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 4,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

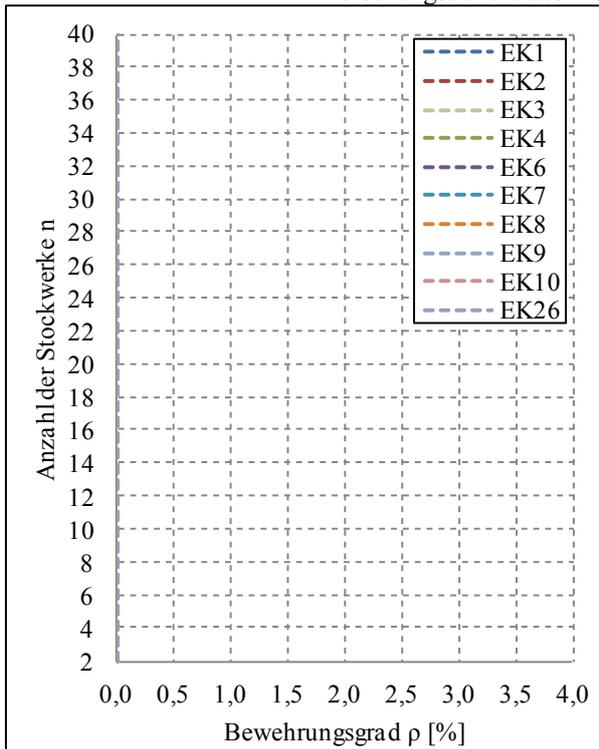


Bild 72 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,25 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

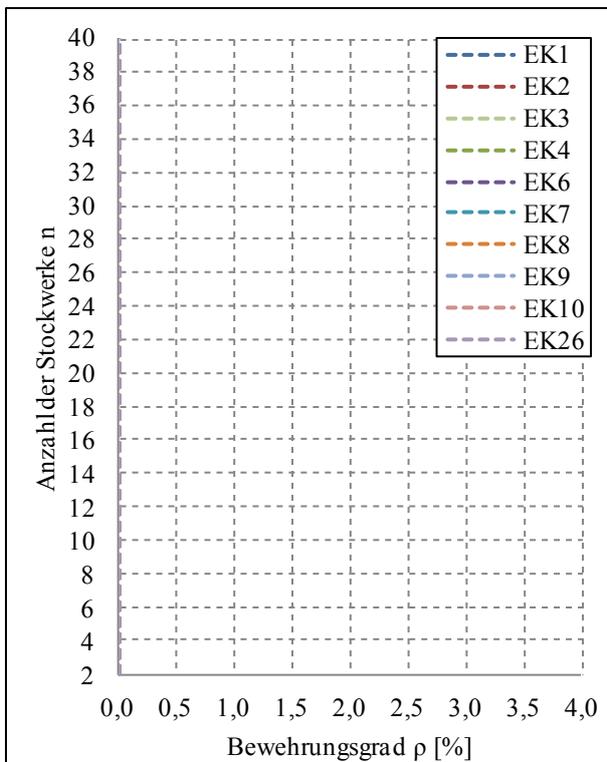


Bild 73 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,30 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

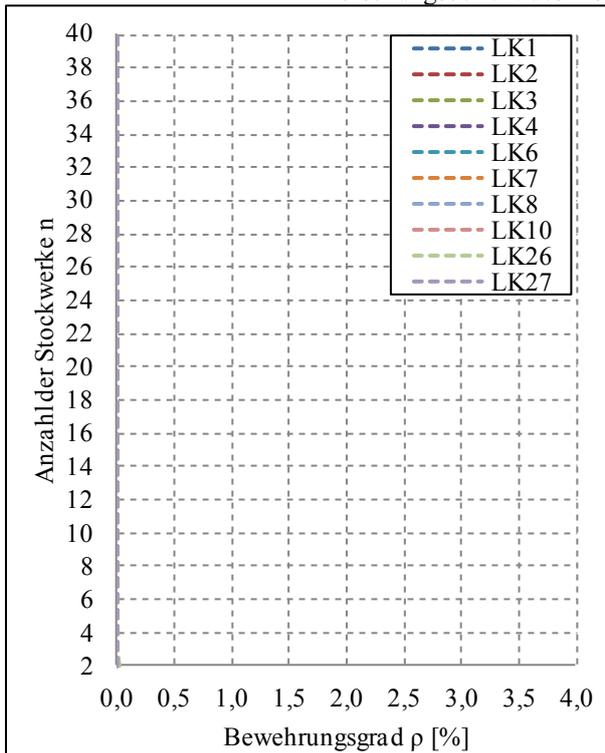


Bild 74 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,25 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

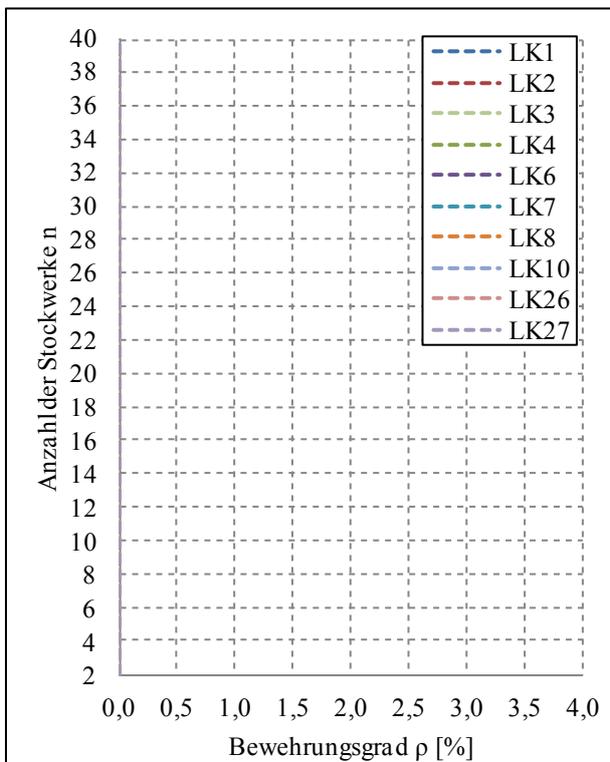


Bild 75 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,30 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

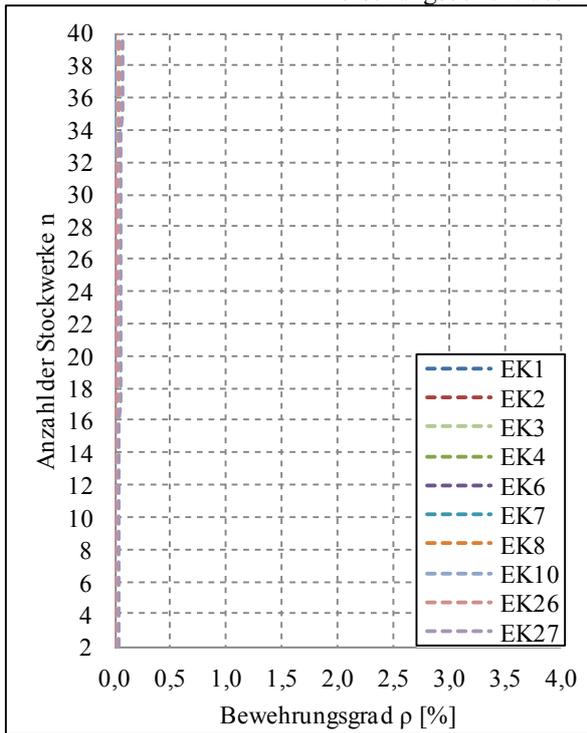


Bild 76 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 0,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

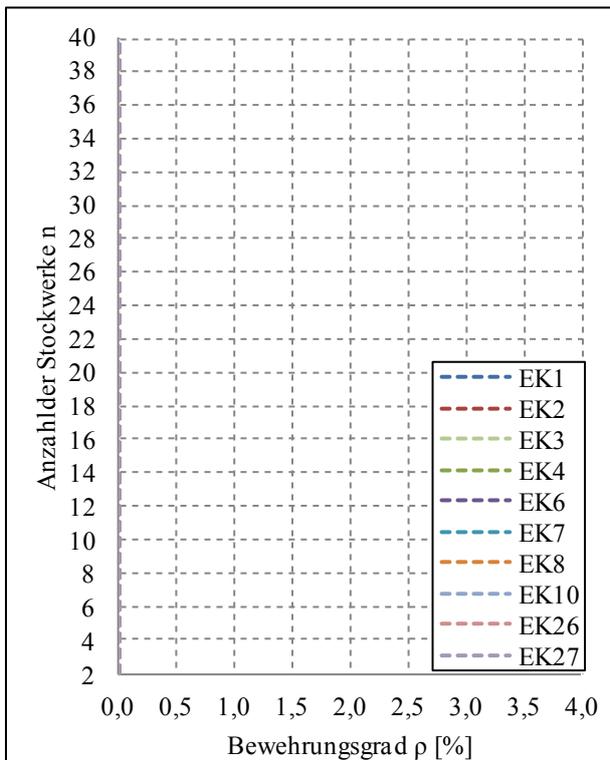


Bild 77 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 0,75$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

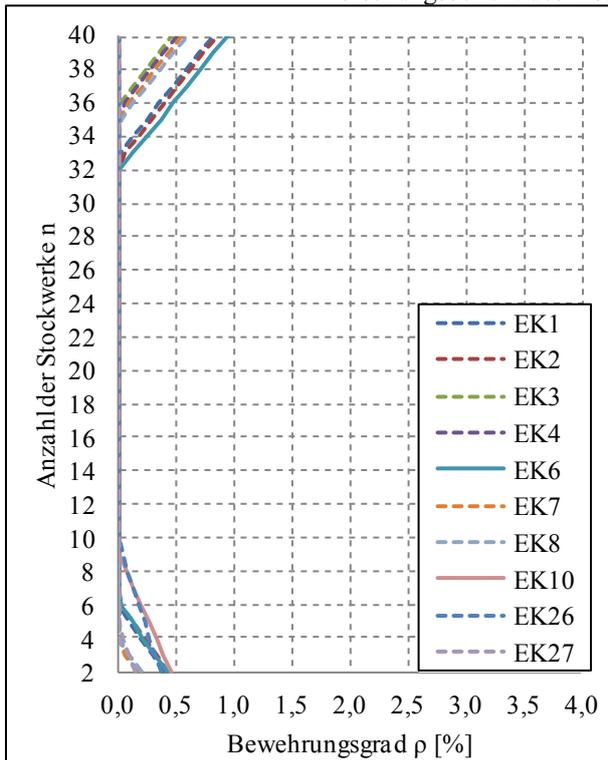


Bild 78 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

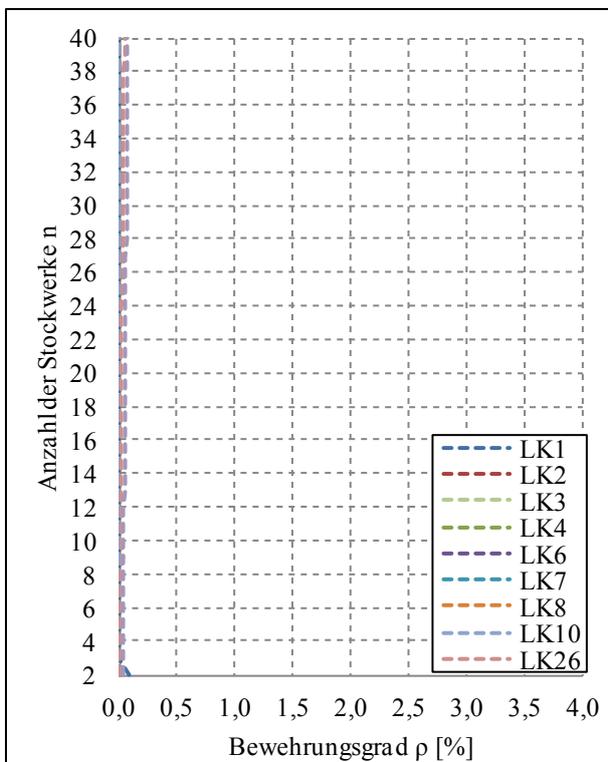


Bild 79 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 0,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

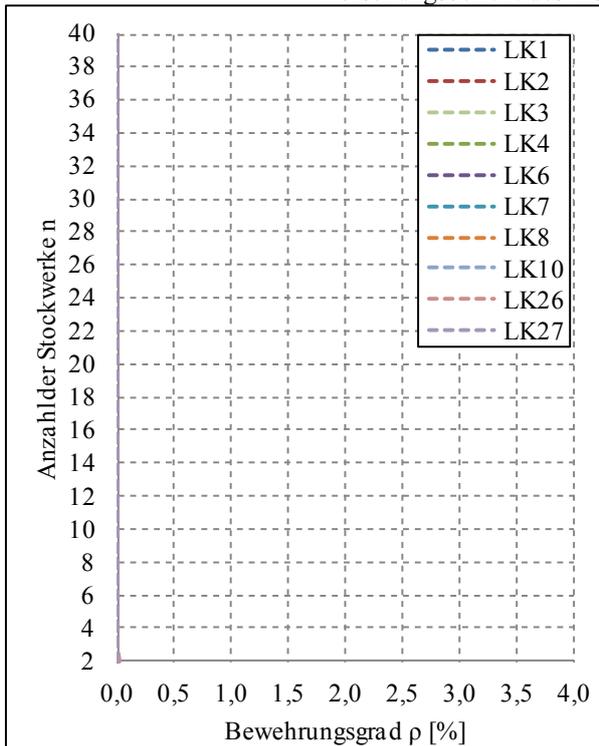


Bild 80 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 0,75$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

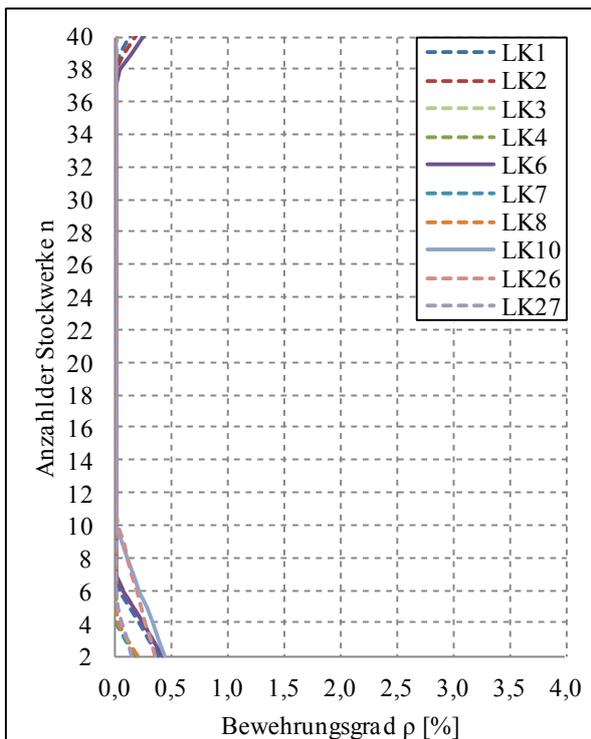


Bild 81 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

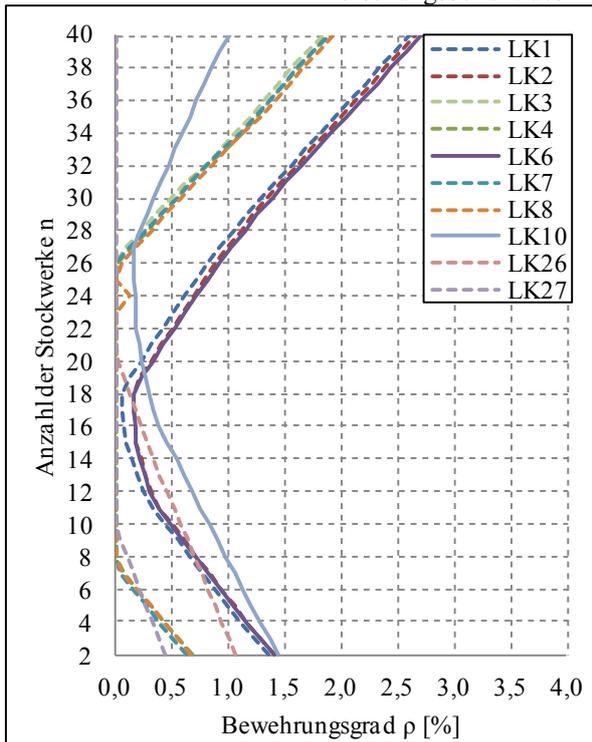


Bild 82 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$*

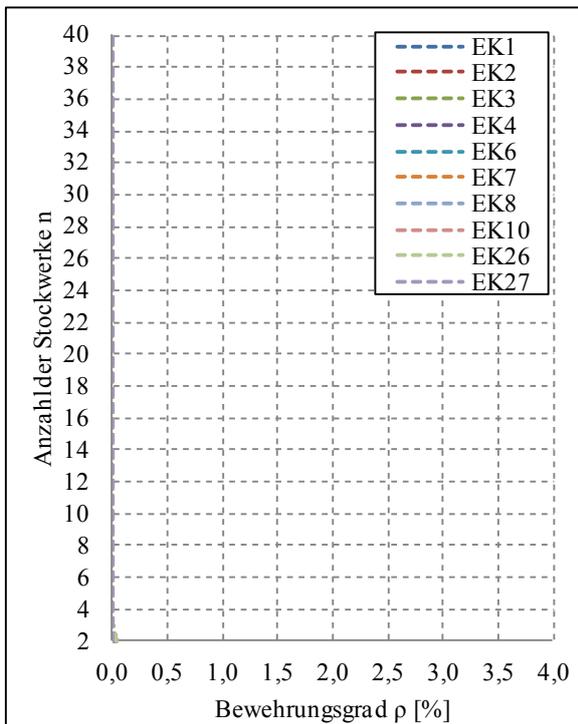


Bild 83 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,2$*

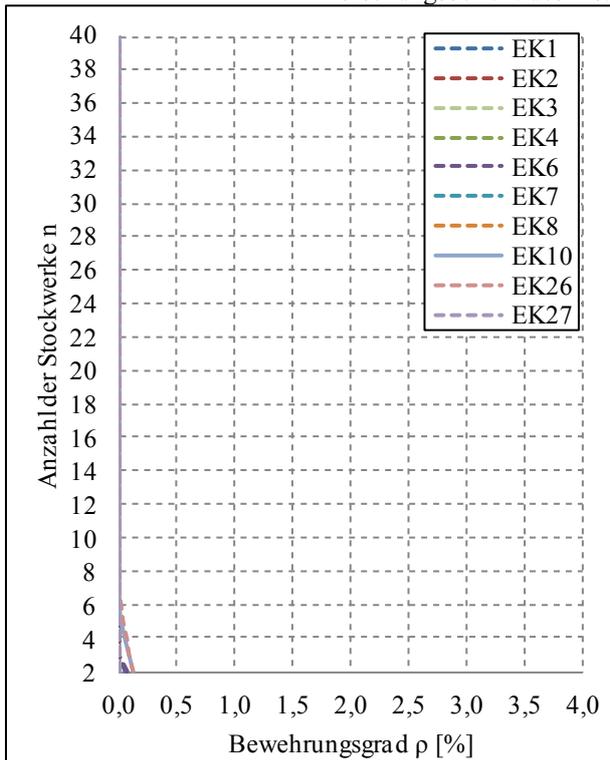


Bild 84 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,8$

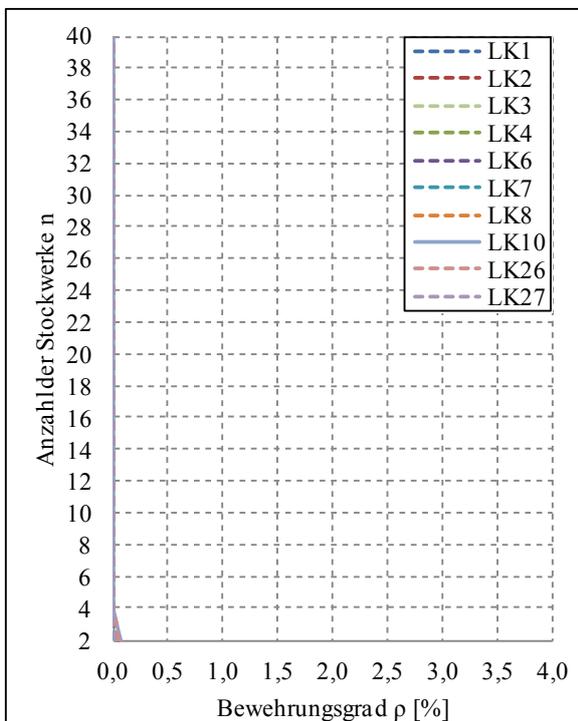


Bild 85 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,2$

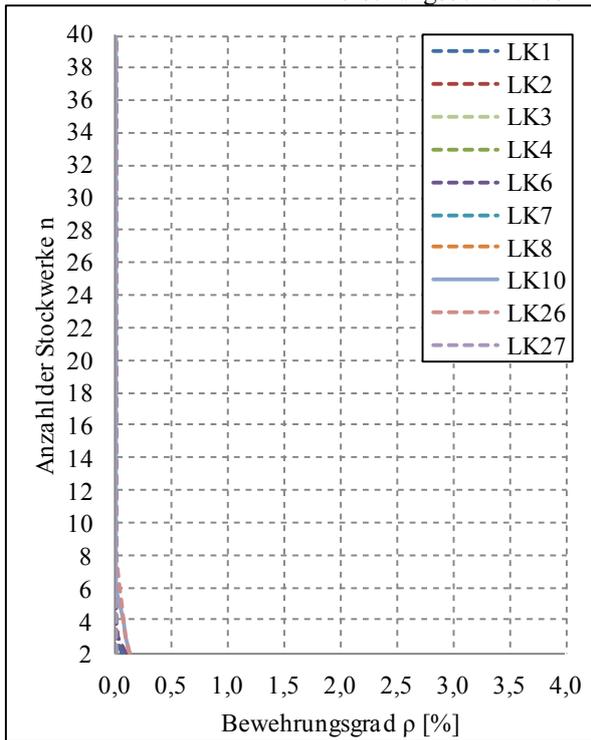


Bild 86 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12$ m; $d_f/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,8$*

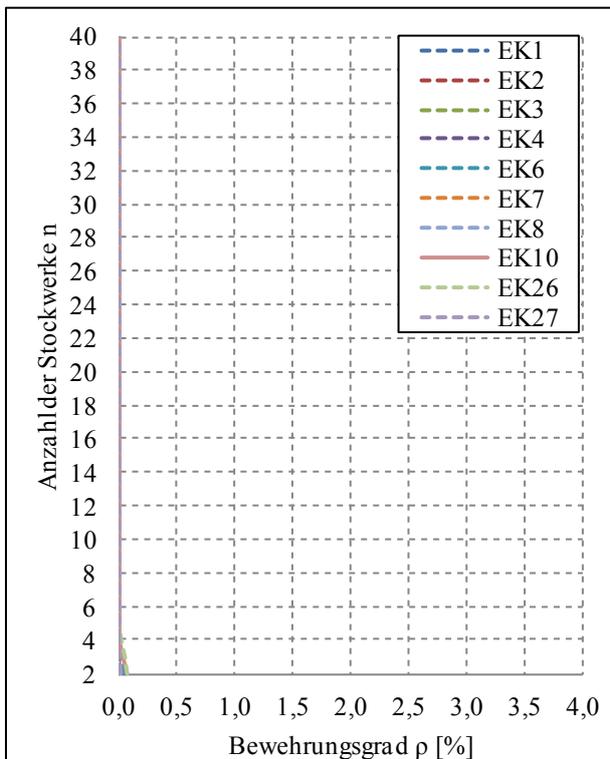


Bild 87 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C50/60 mit $h = 0,1$ m; $d_f/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$*

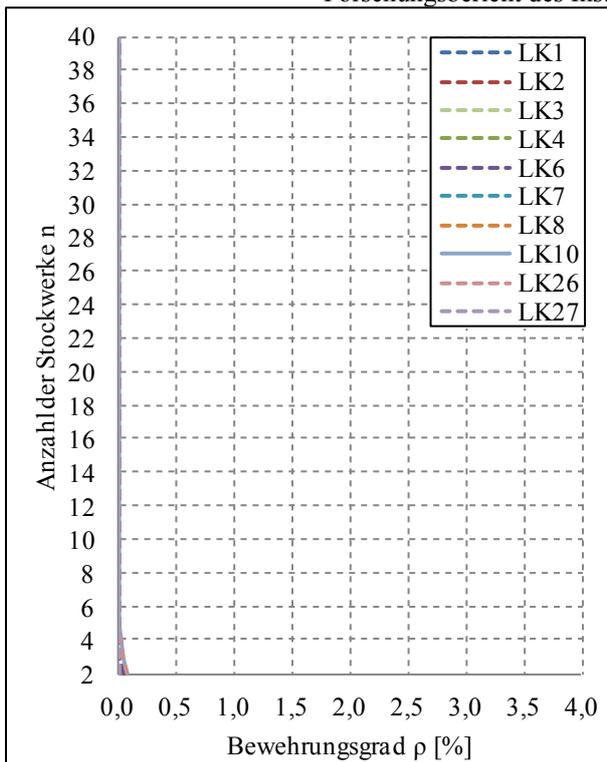


Bild 88 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C50/60 mit $h = 0,1$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

Anhang D - Parameterstudie in Außenwandmitte

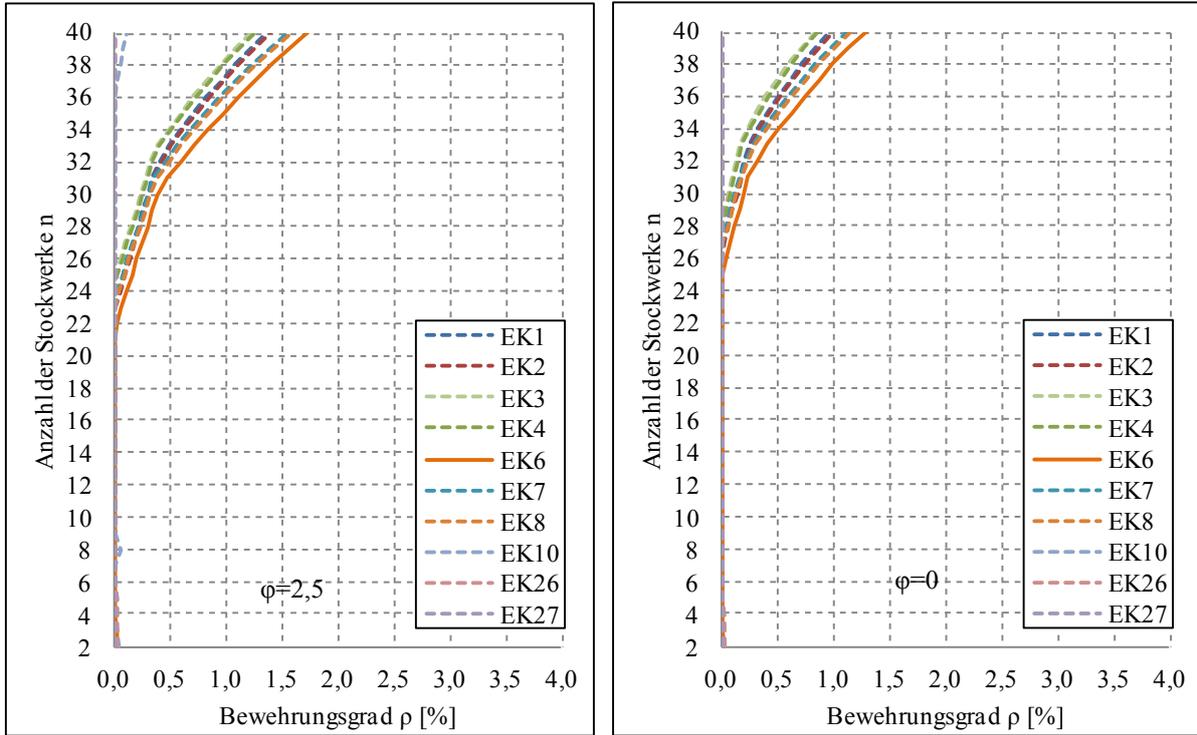


Bild 89 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

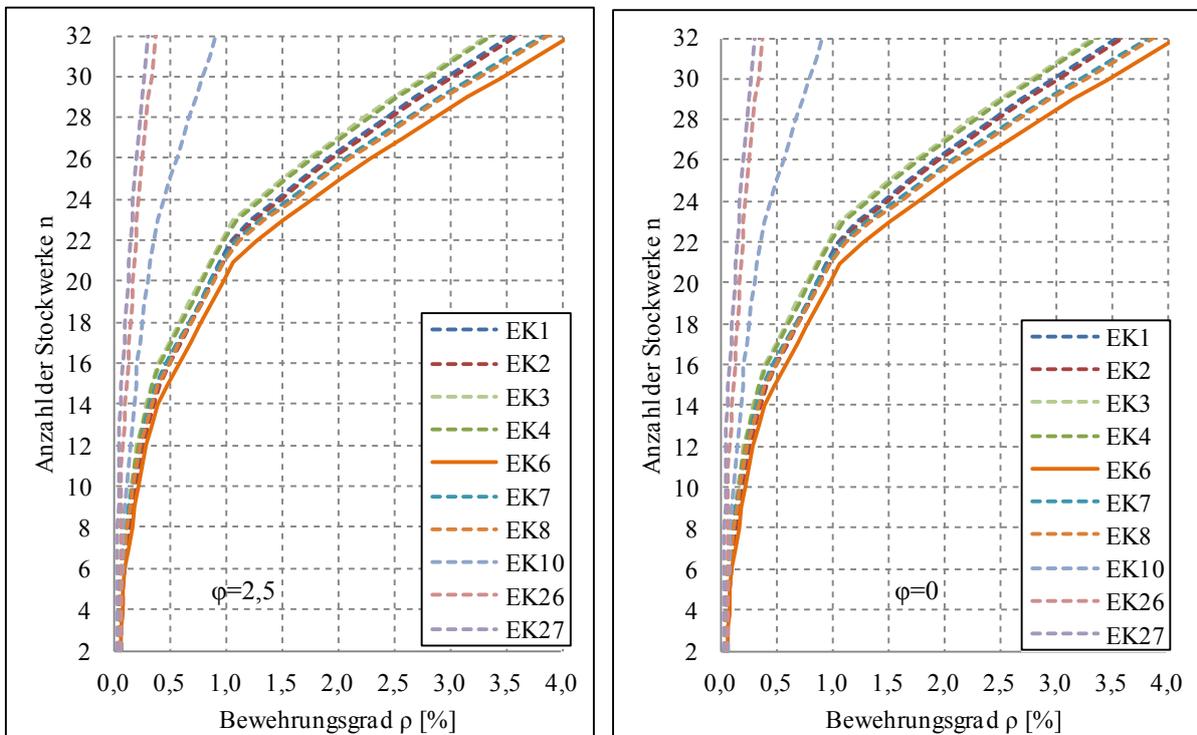


Bild 90 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

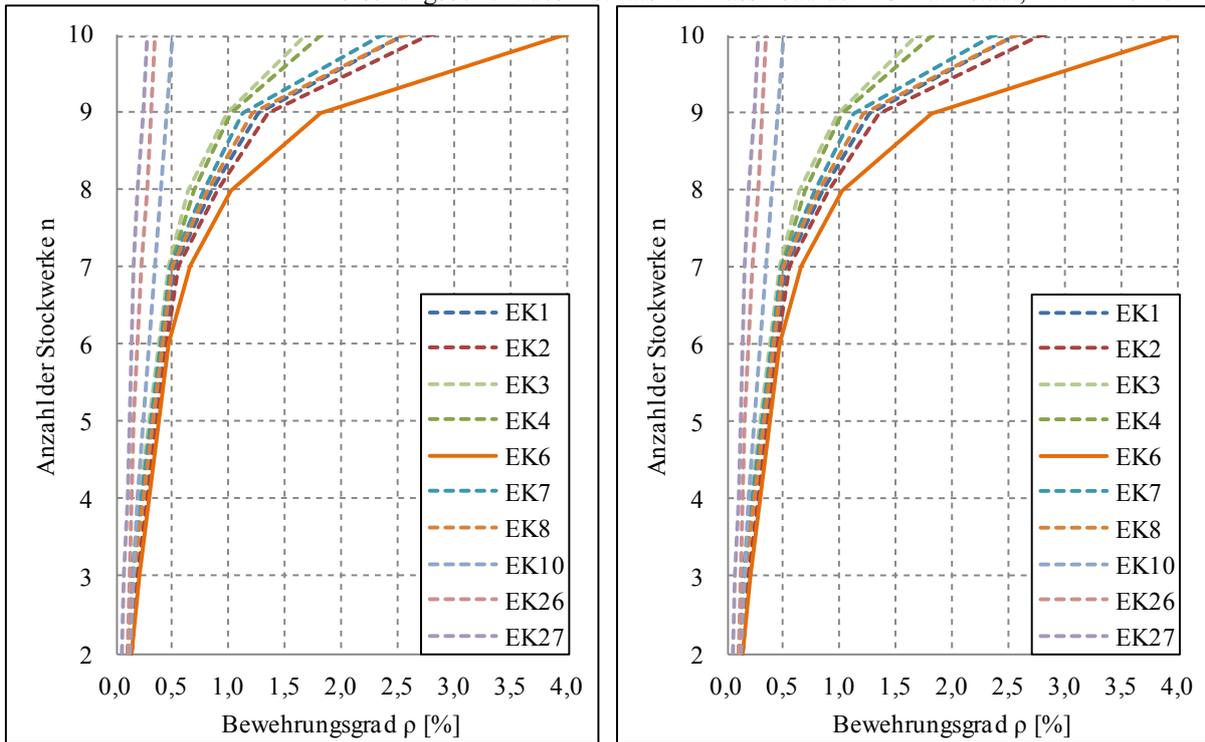


Bild 91 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$*

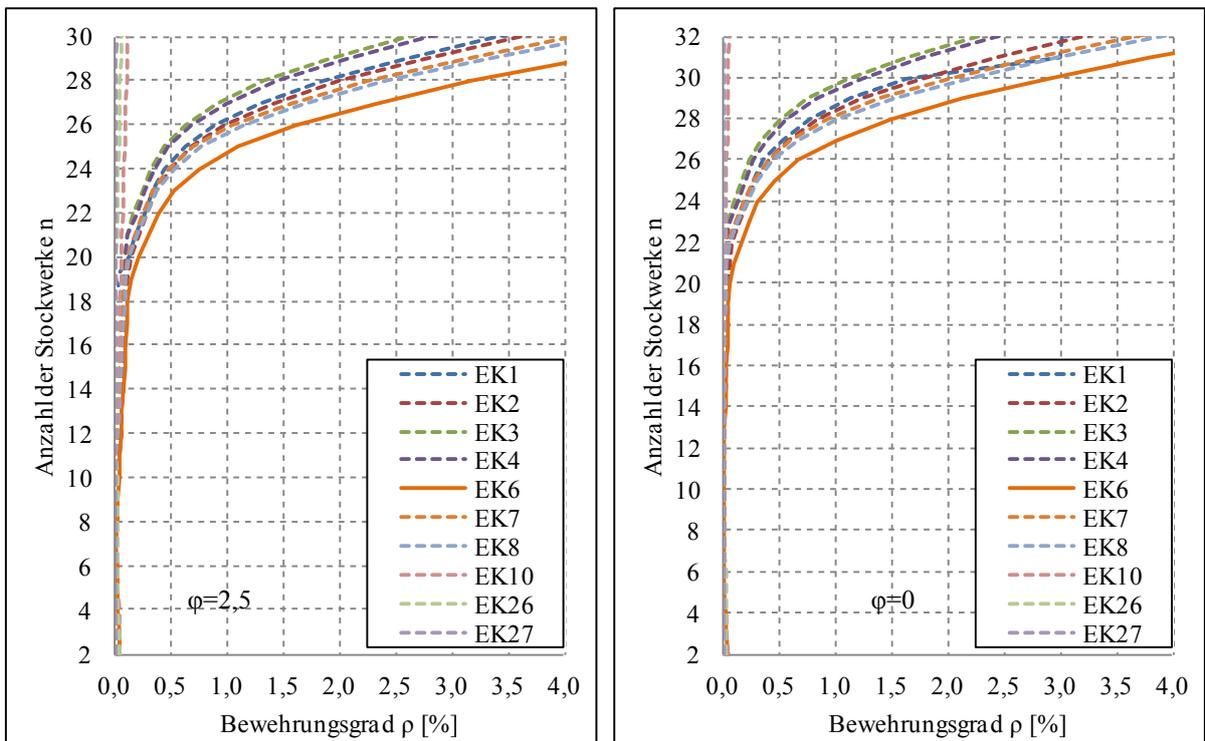


Bild 92 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$*

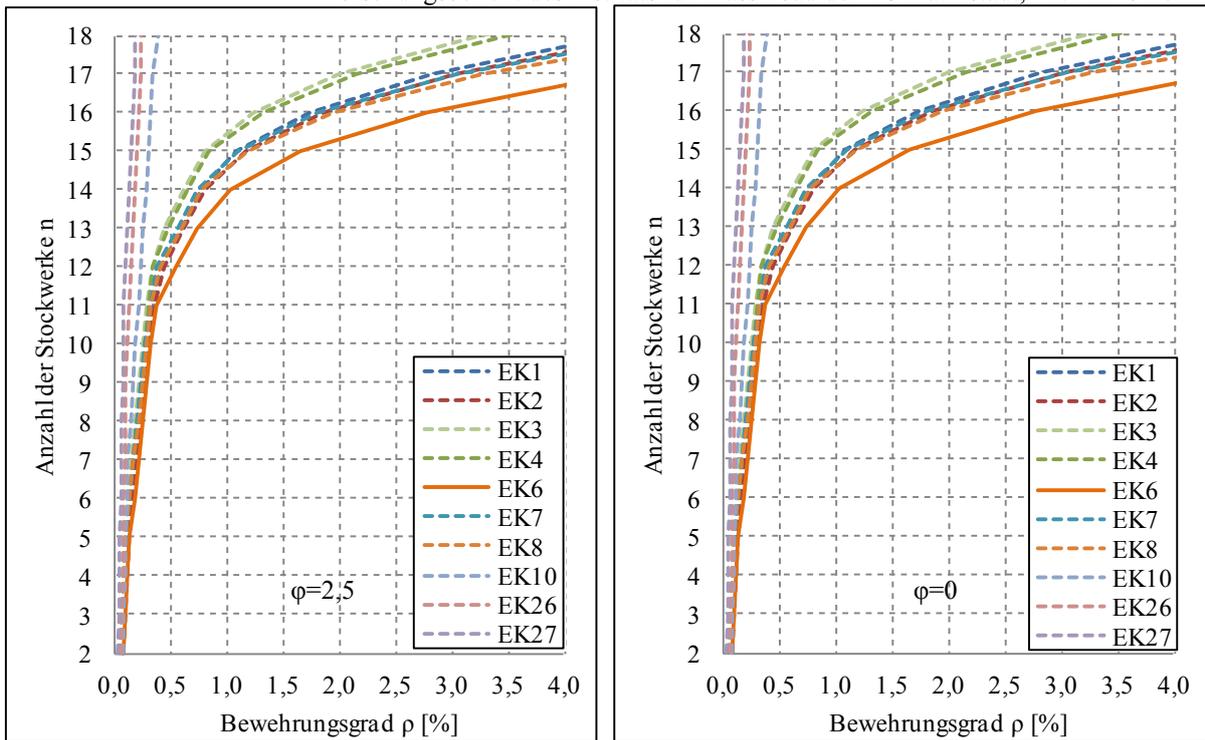


Bild 93 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_i/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

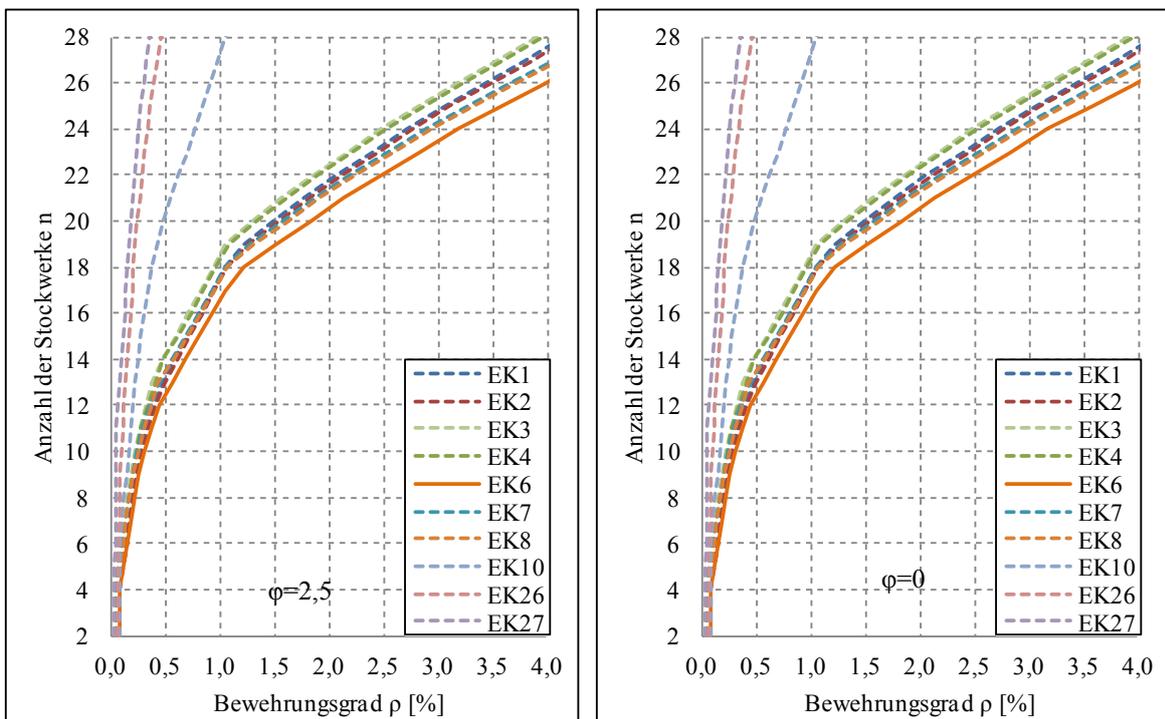


Bild 94 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_i/h = 0,3$; $h_1 = 2,5 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

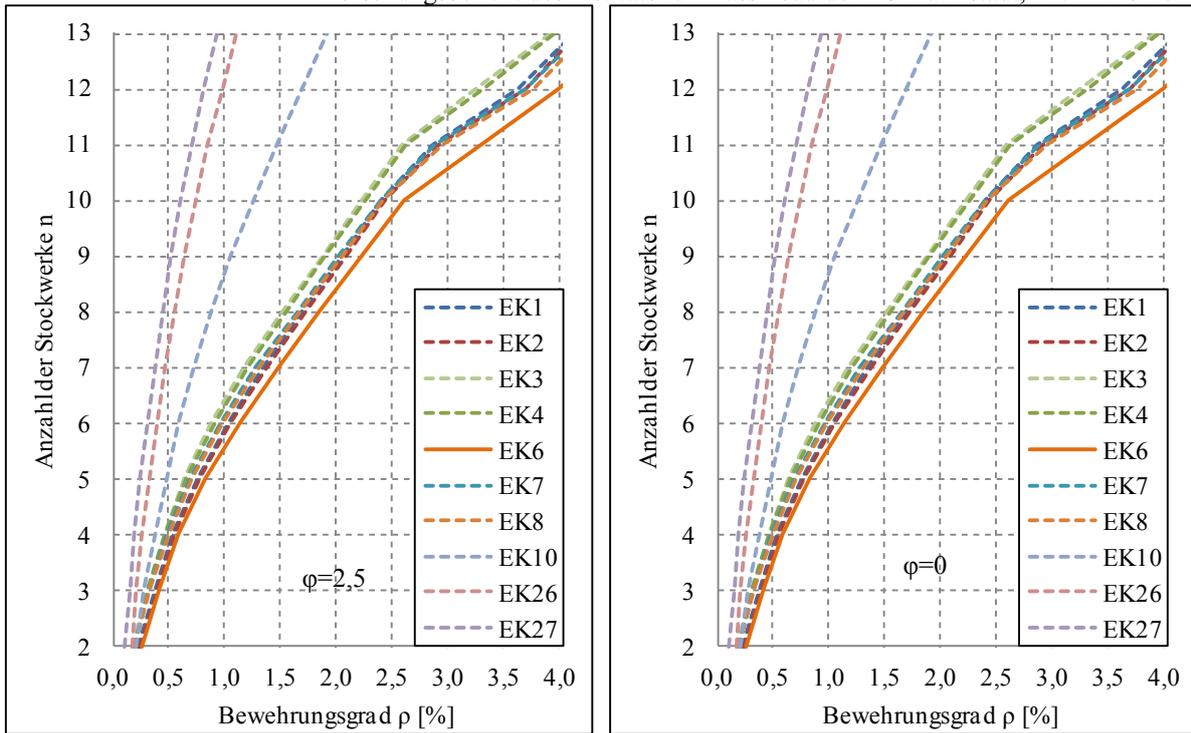


Bild 95 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_t/h = 0,3$; $h_1 = 4,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

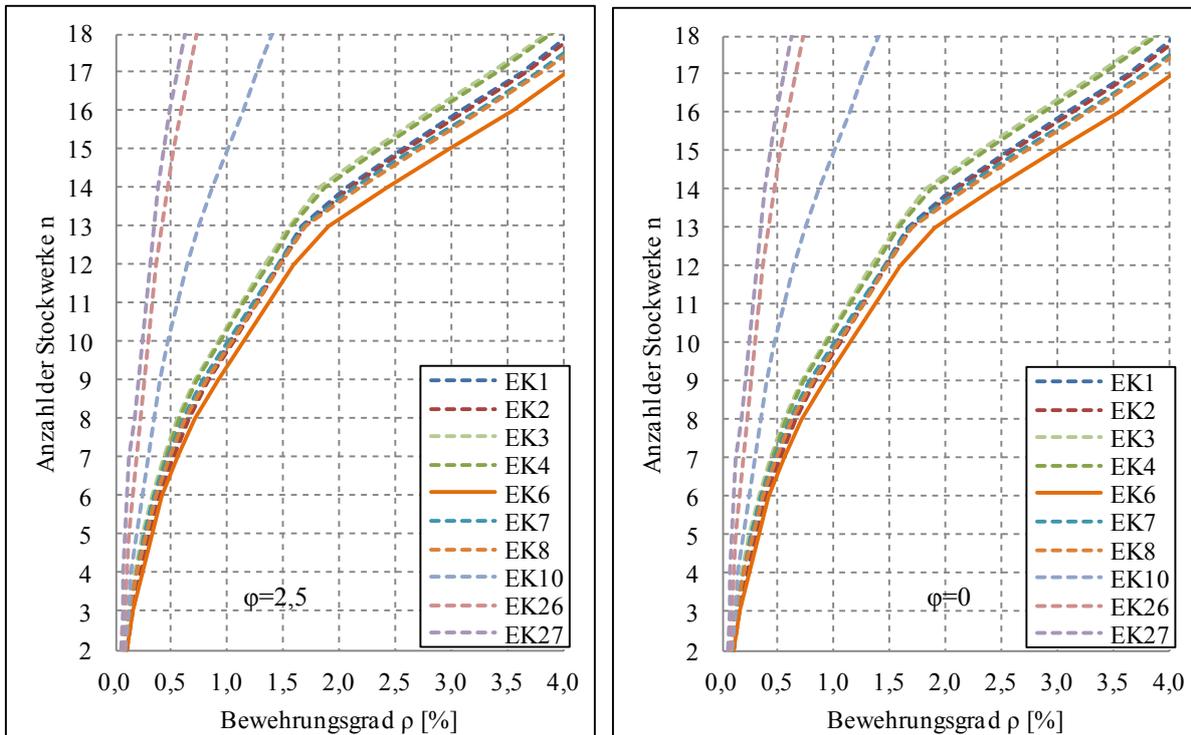


Bild 96 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_t/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,25 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

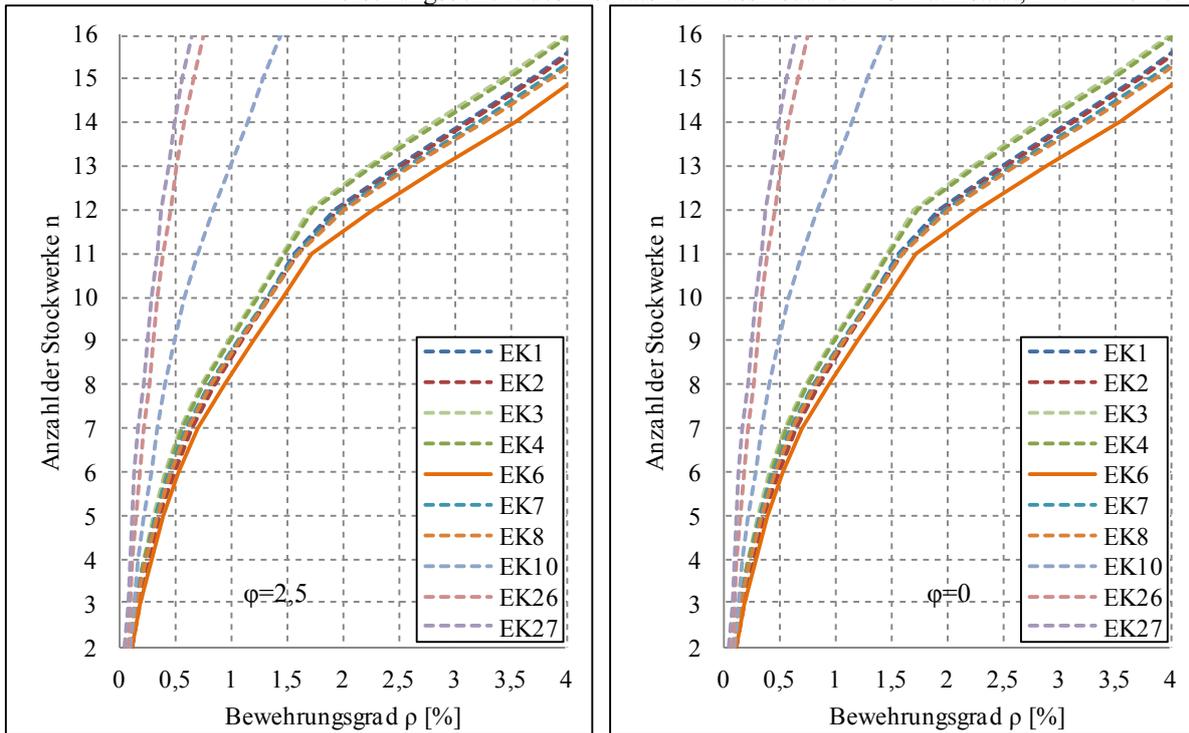


Bild 97 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,30 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

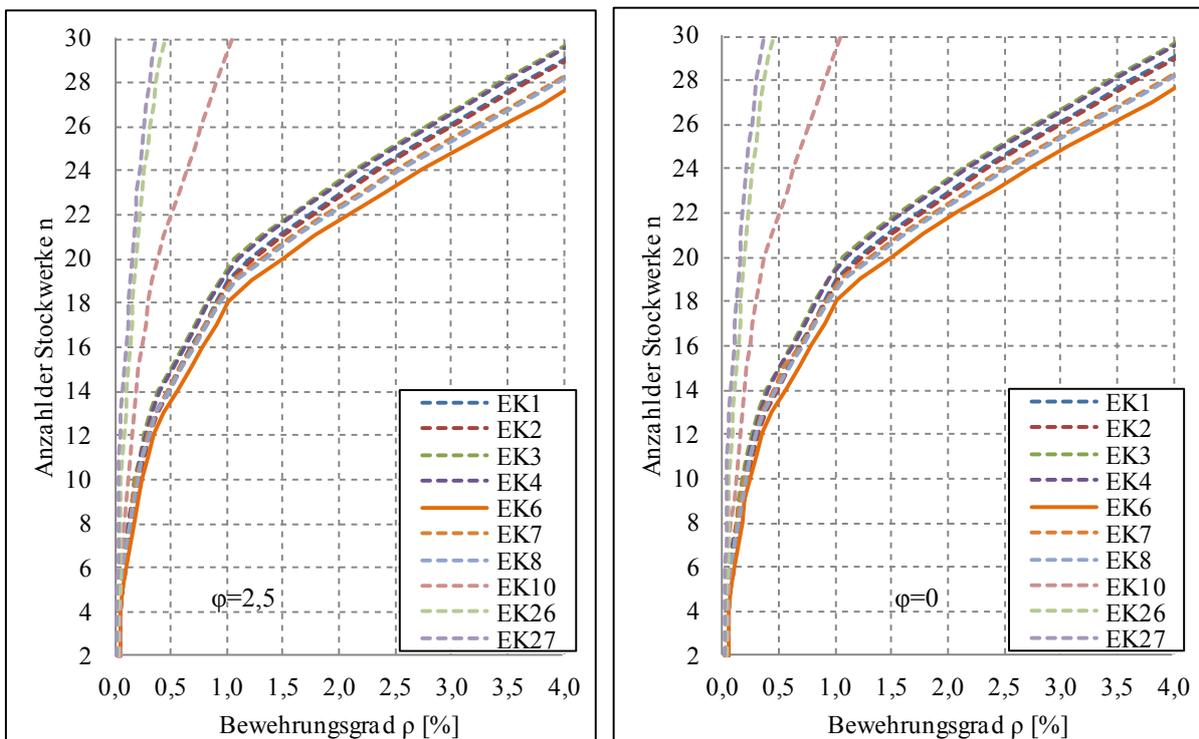


Bild 98 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,25 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

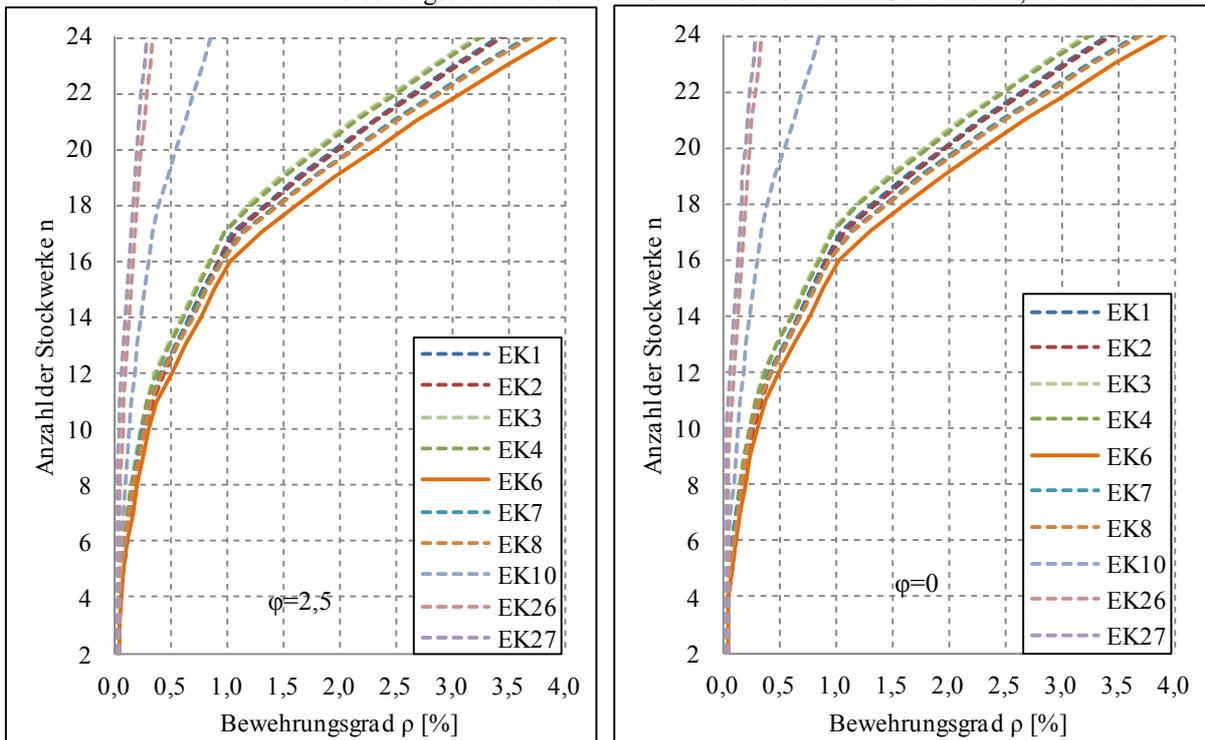


Bild 99 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 1$; $h_{Decke} = 0,30$ m; $\beta = 0,43$*

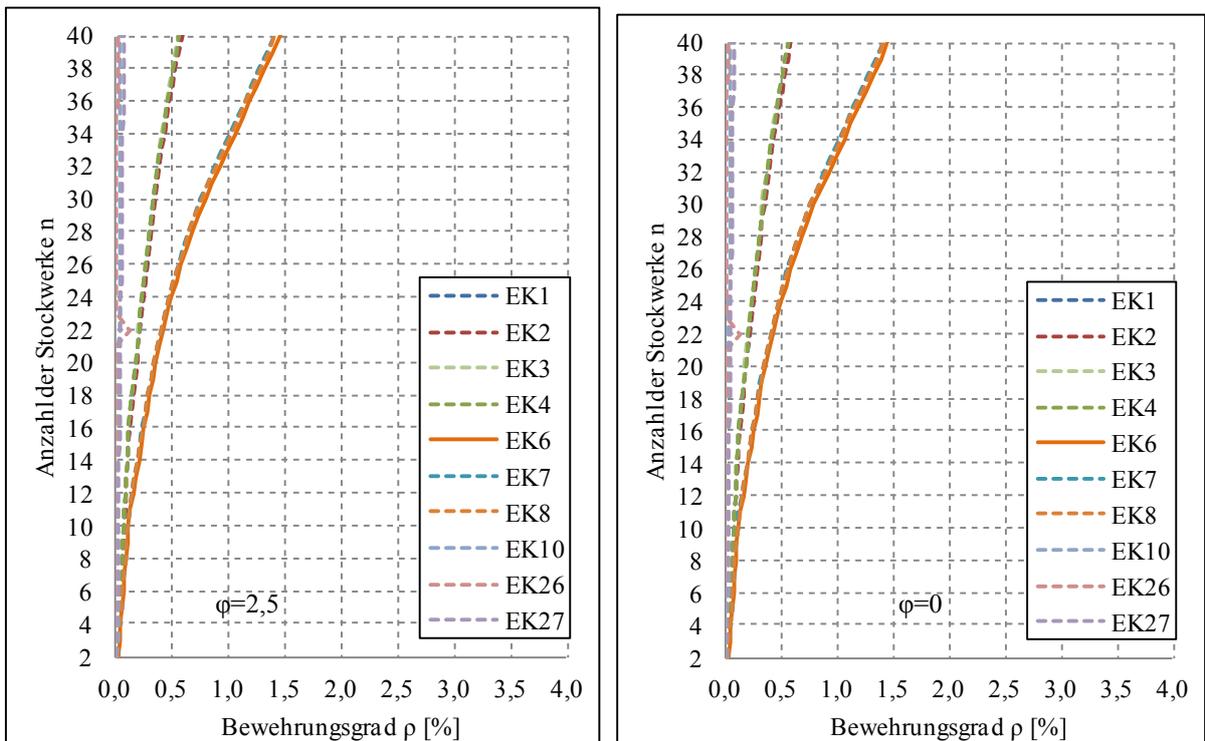


Bild 100 *Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 0,5$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$*

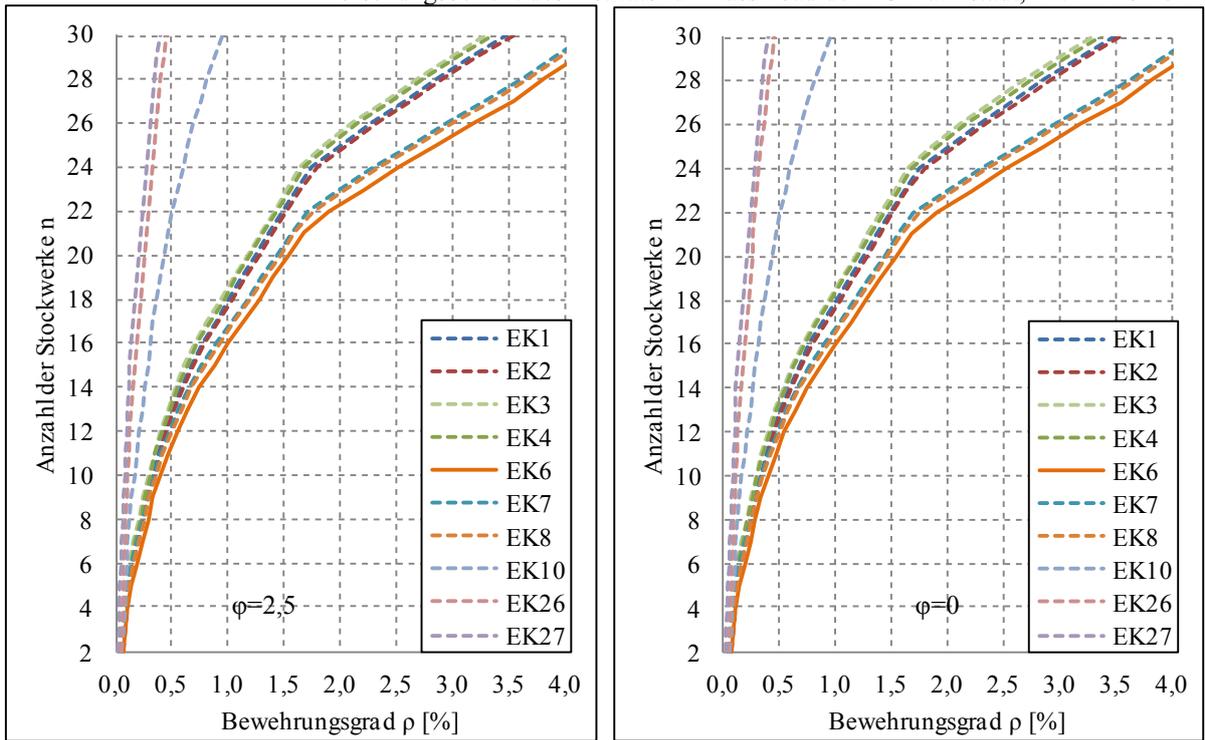


Bild 101 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 0,75$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

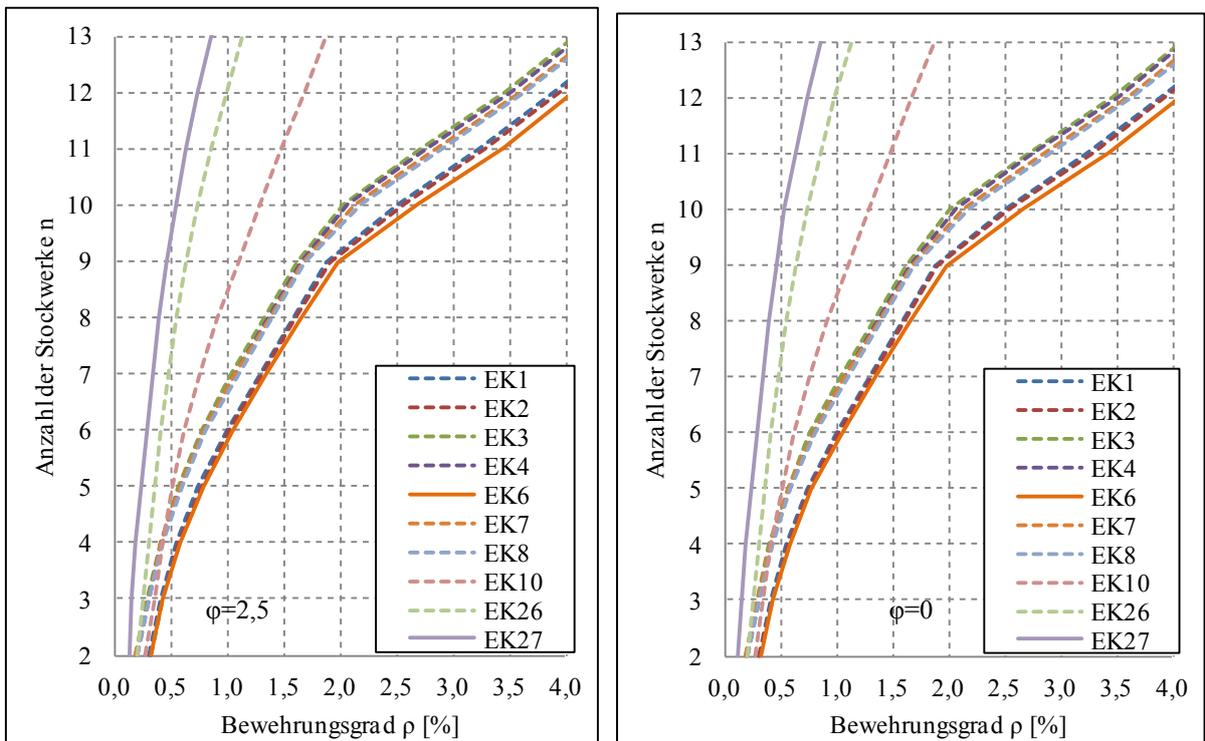


Bild 102 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

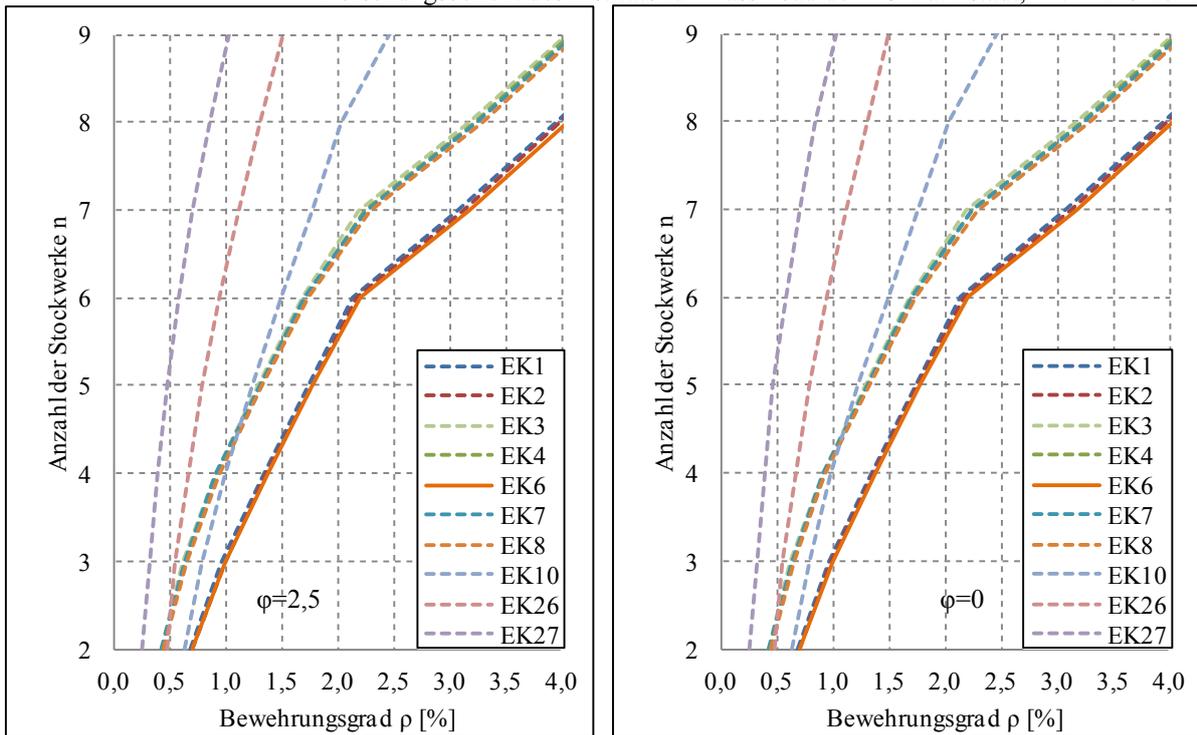


Bild 103 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

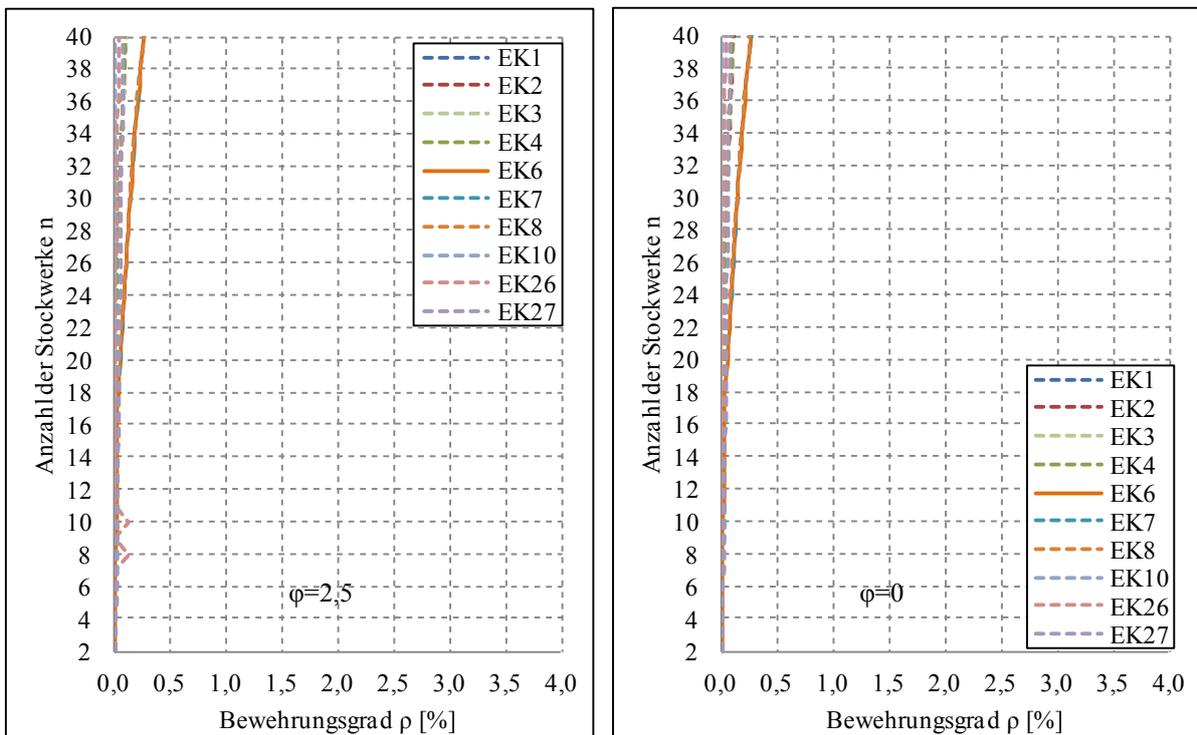


Bild 104 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 0,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

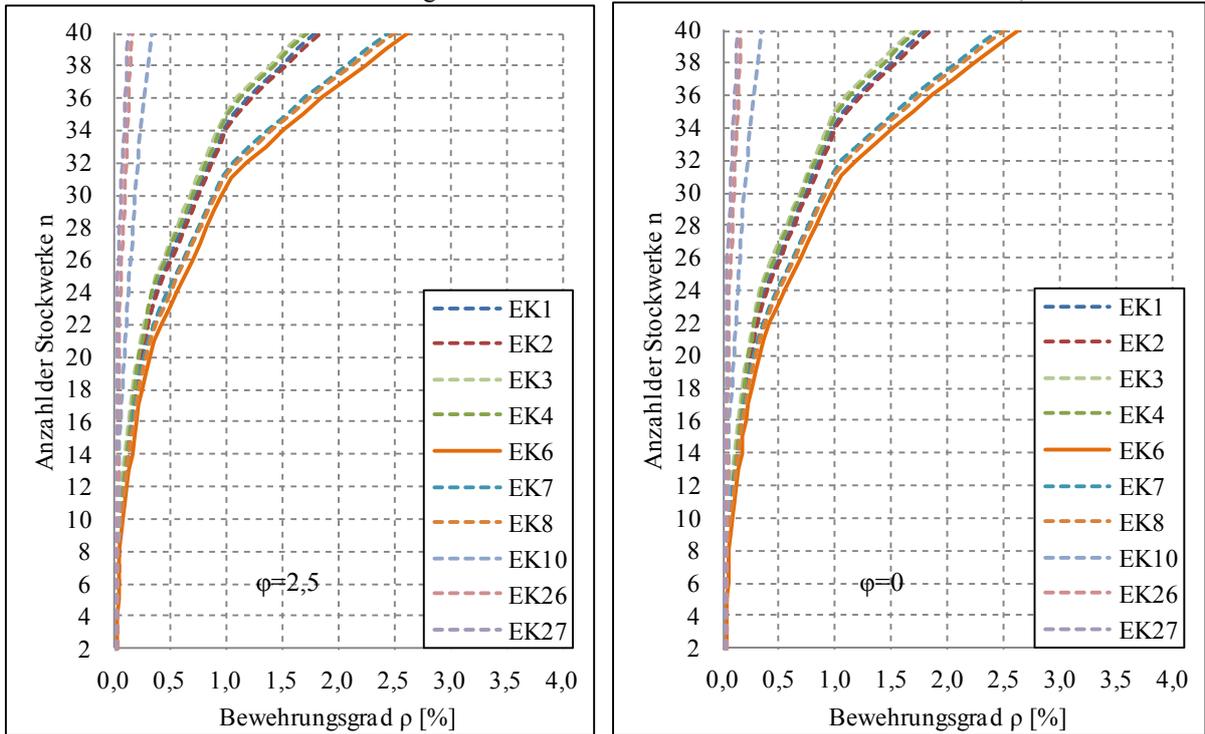


Bild 105 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 0,75$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

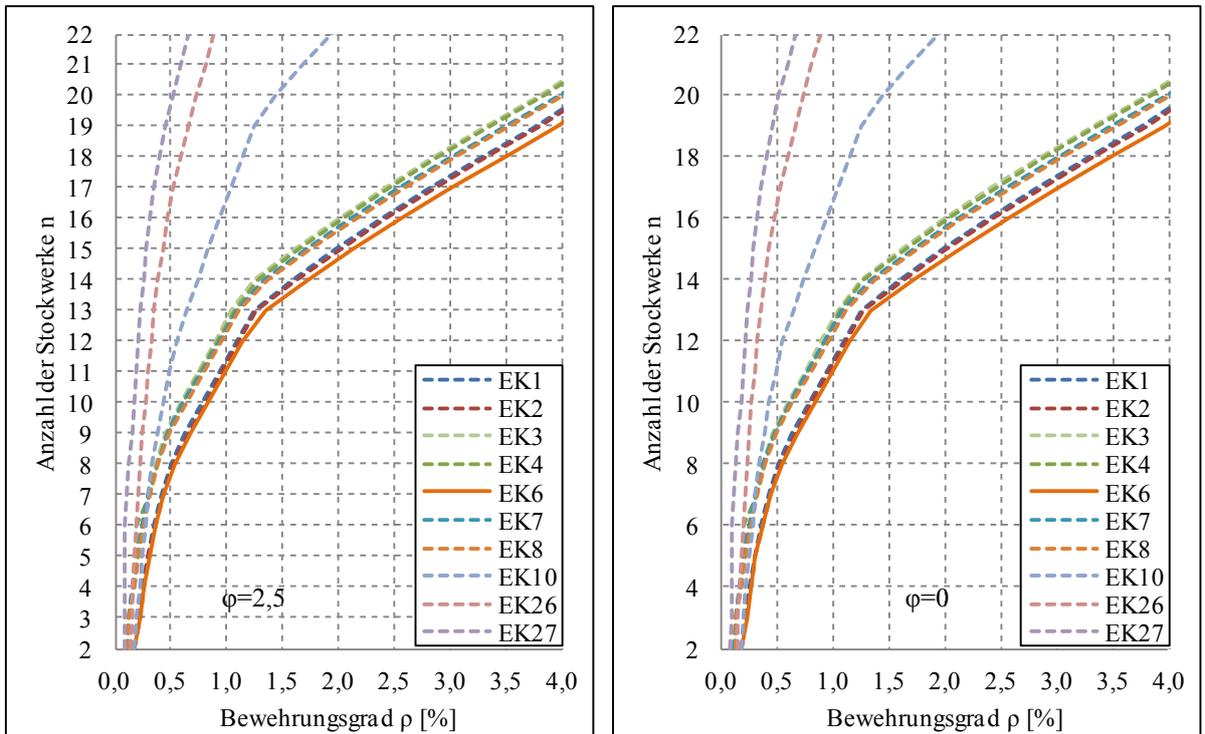


Bild 106 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

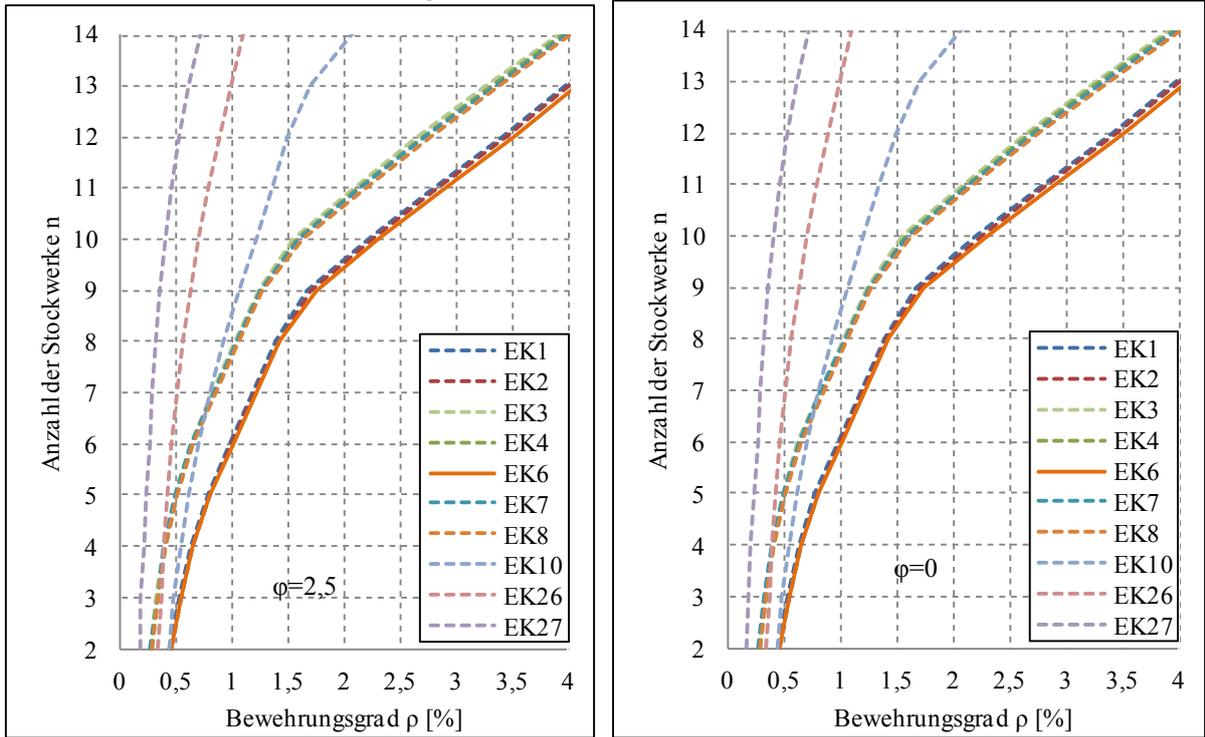


Bild 107 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

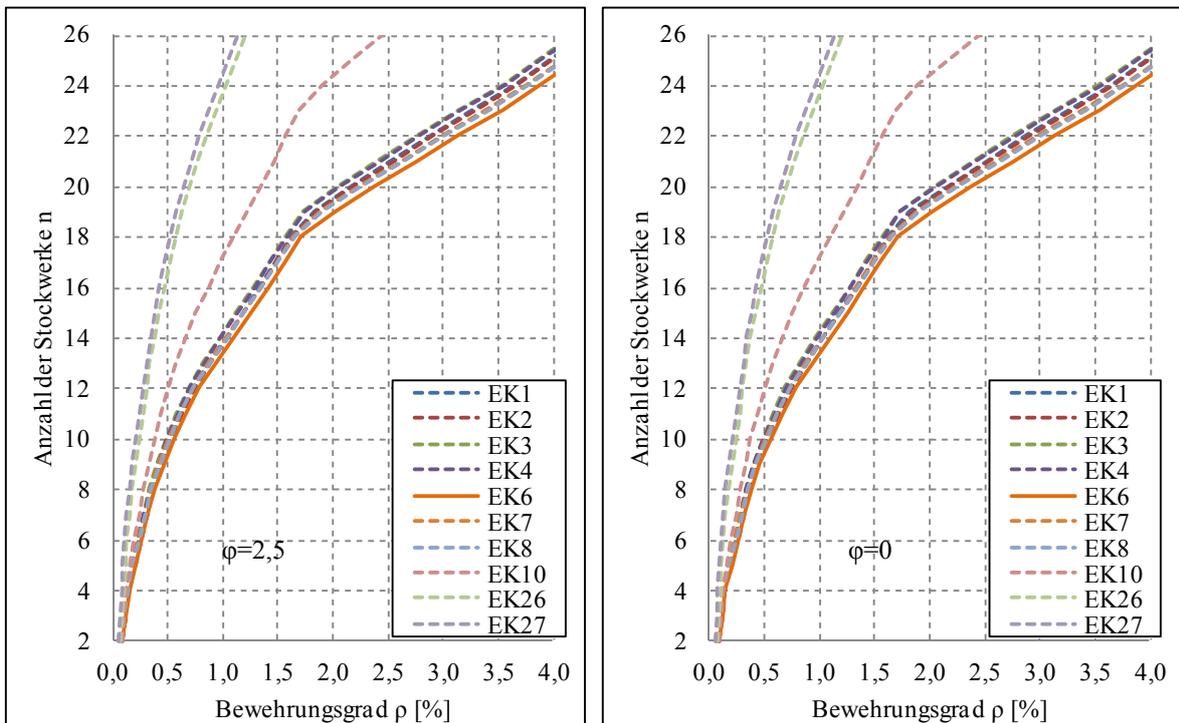


Bild 108 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,2$

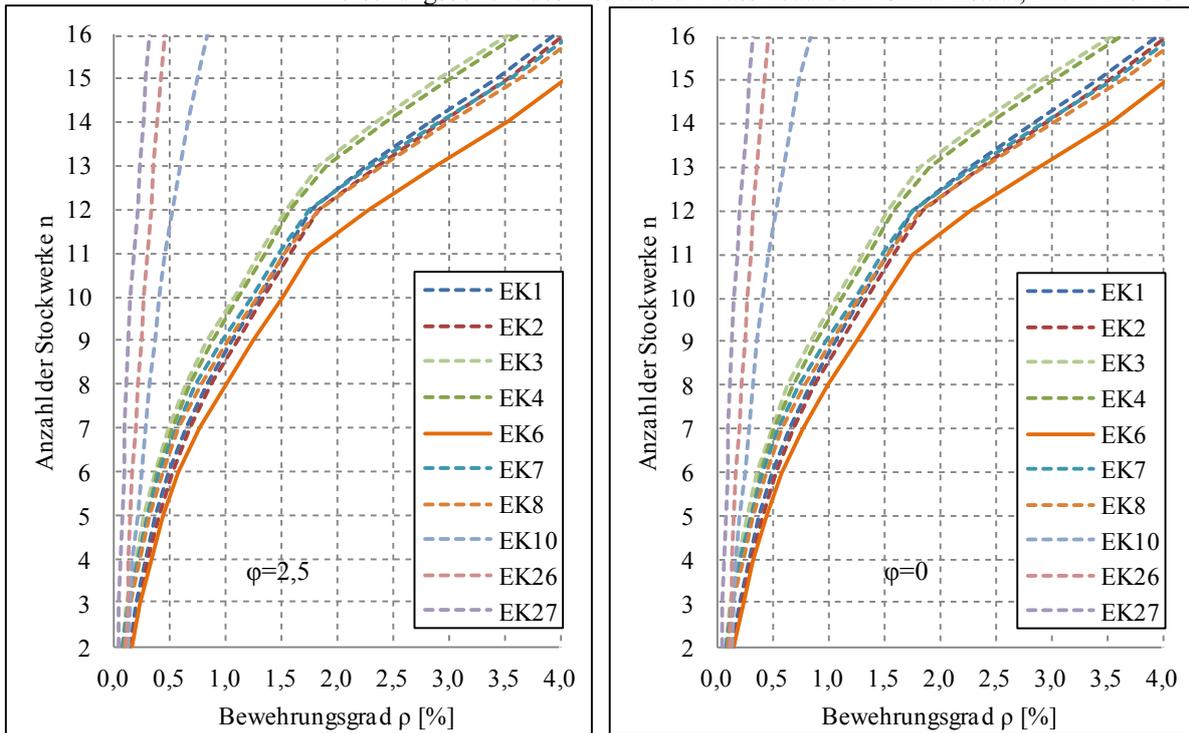


Bild 109 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,8$

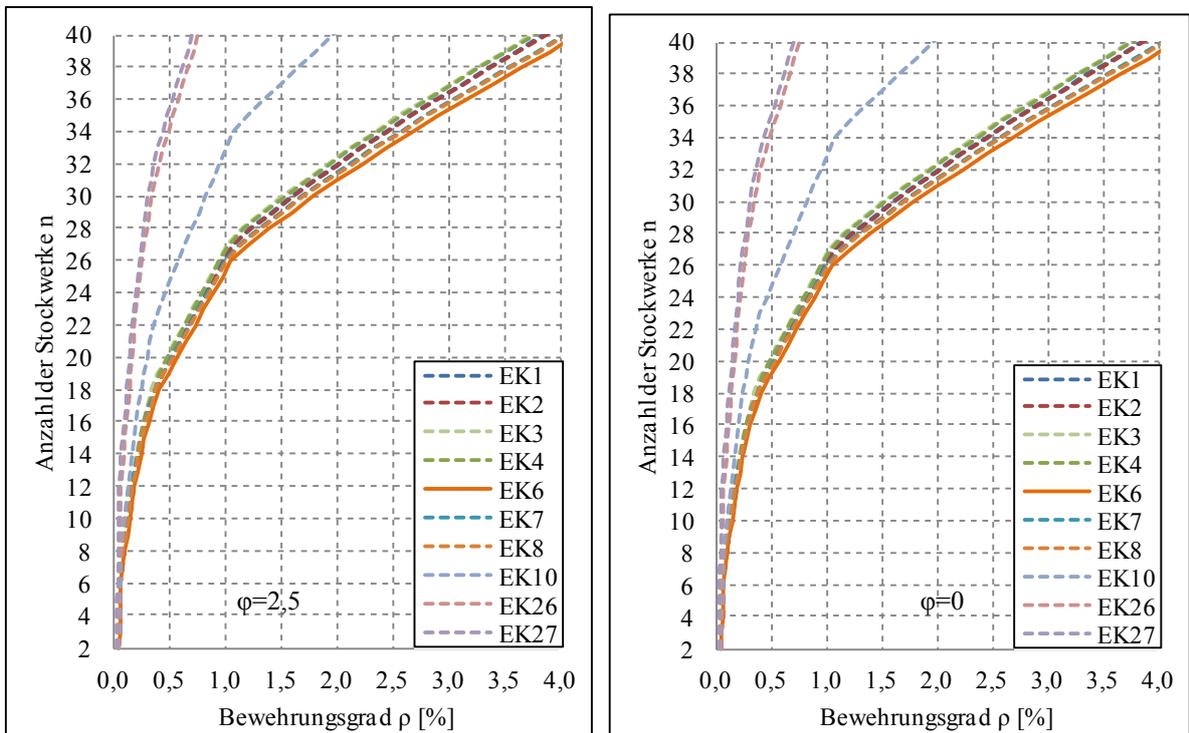


Bild 110 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,2$

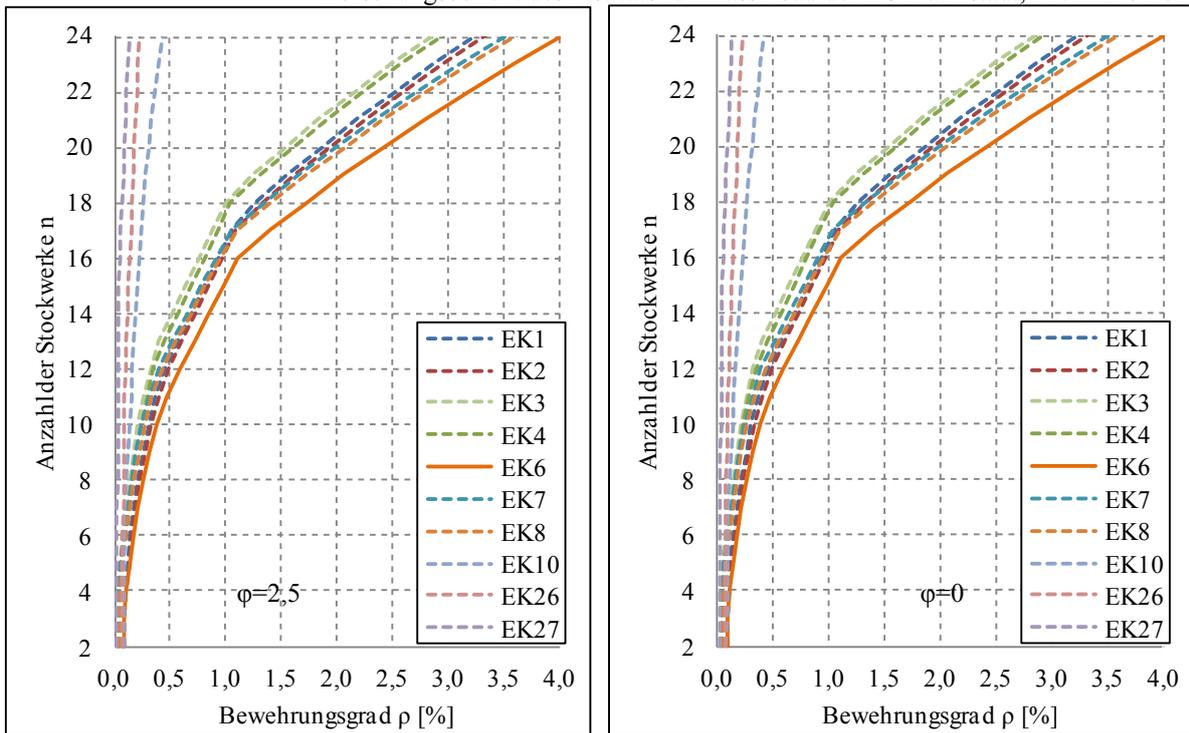


Bild 111 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,12 \text{ m}$; $d_f/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,8$

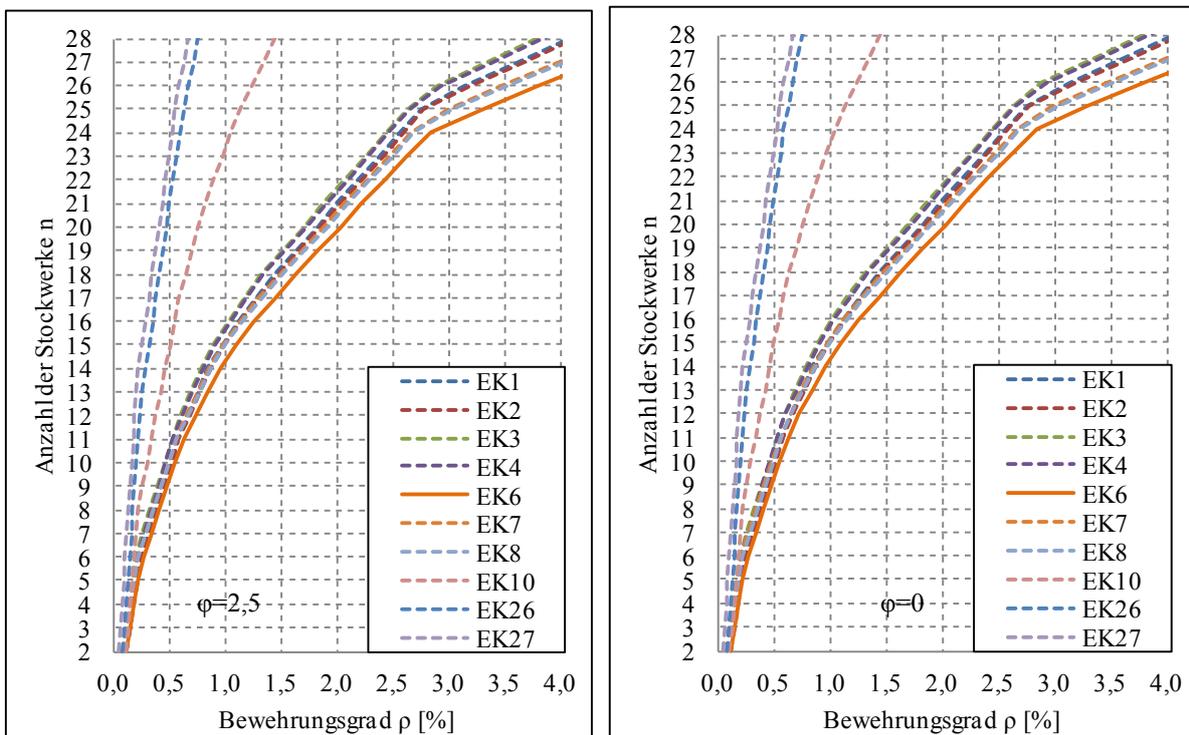


Bild 112 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C50/60 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_f/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

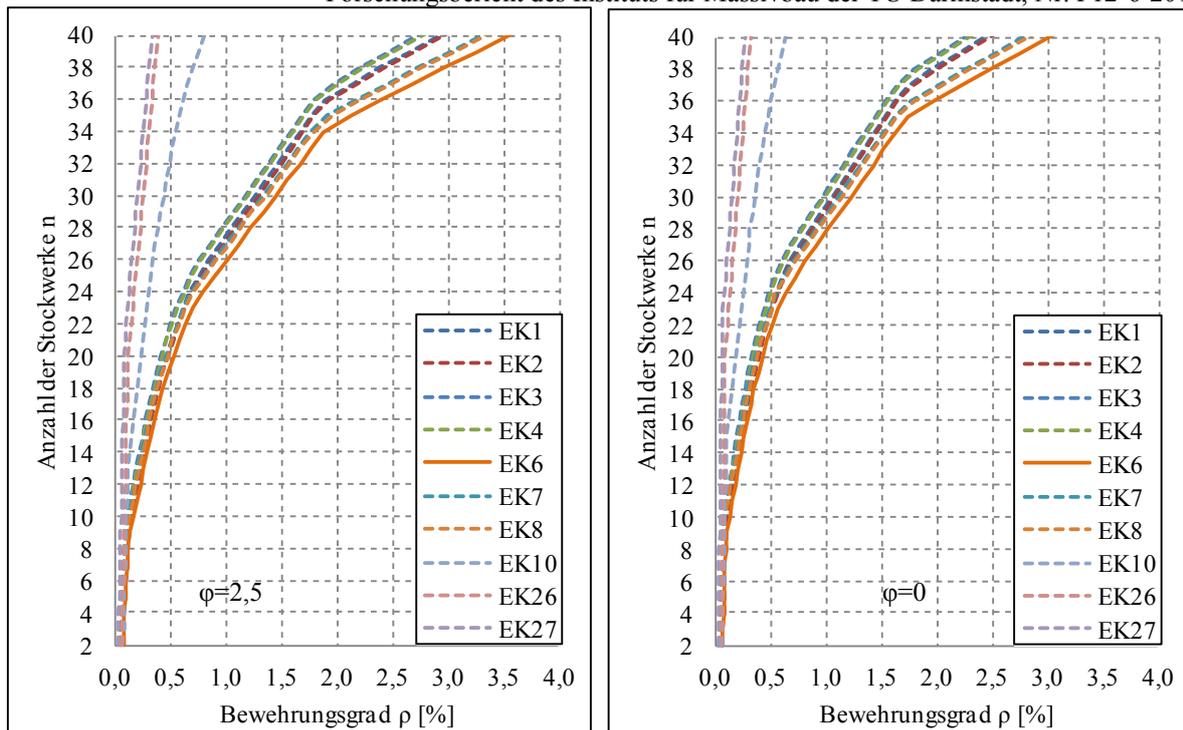


Bild 113 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C50/60 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

Anhang E - Parameterstudie am Innenwandkopf oder -fuß

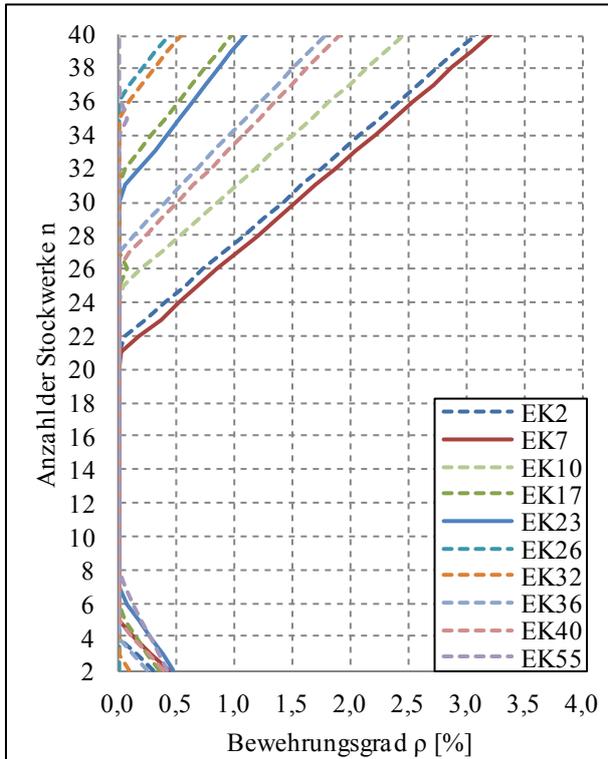


Bild 114 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

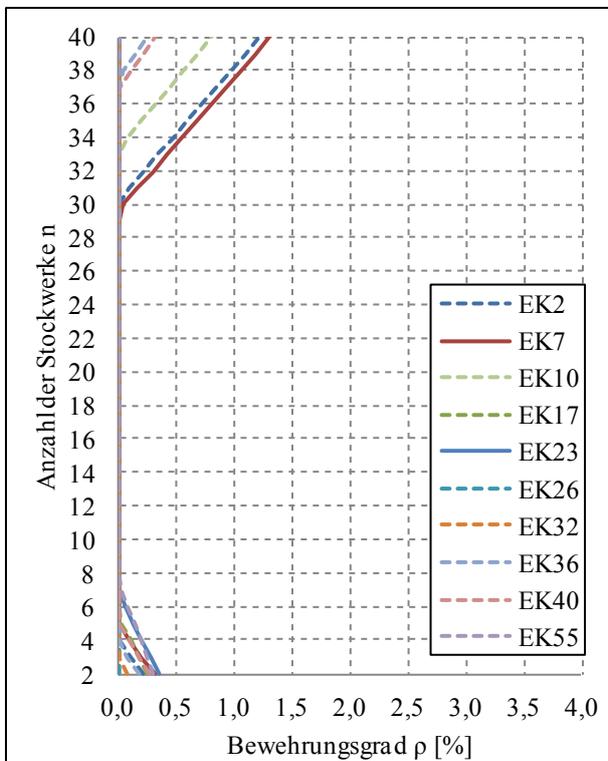


Bild 115 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

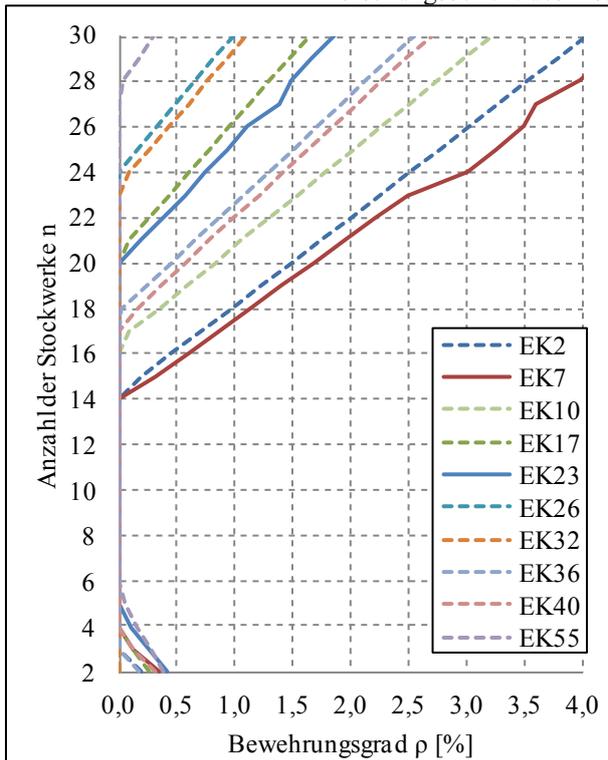


Bild 116 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

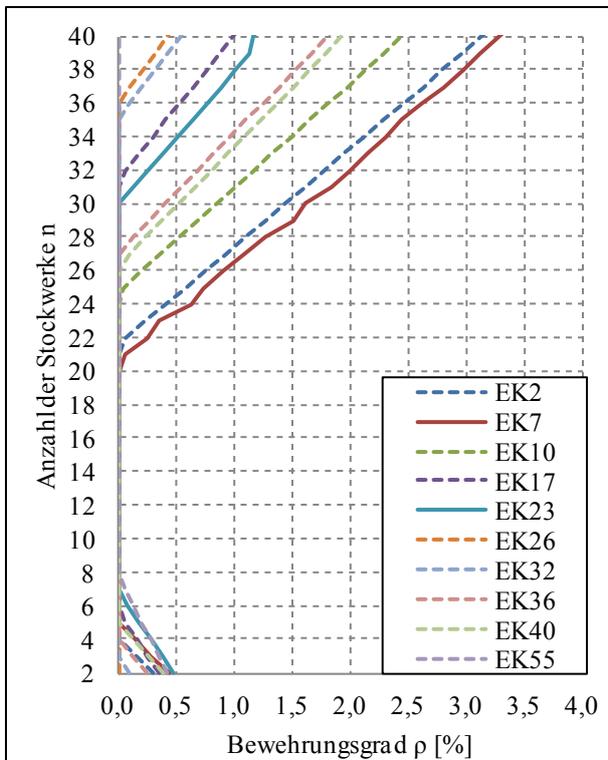


Bild 117 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

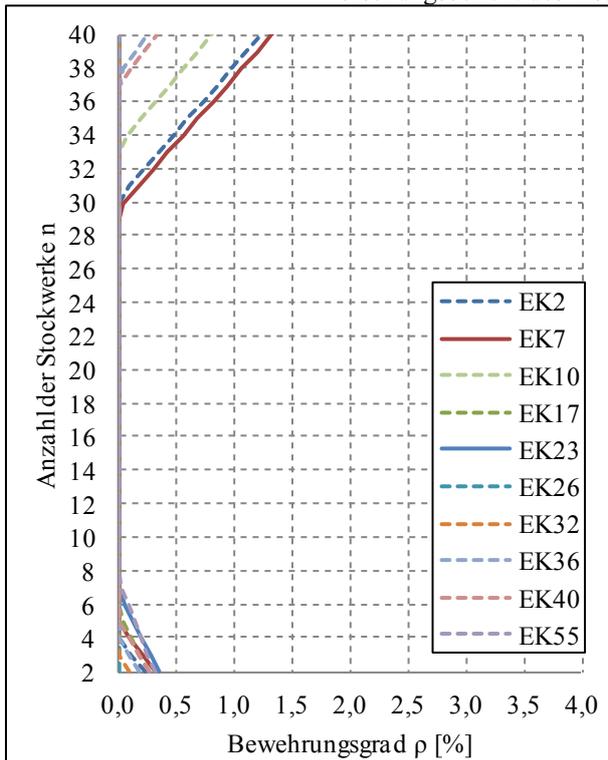


Bild 118 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

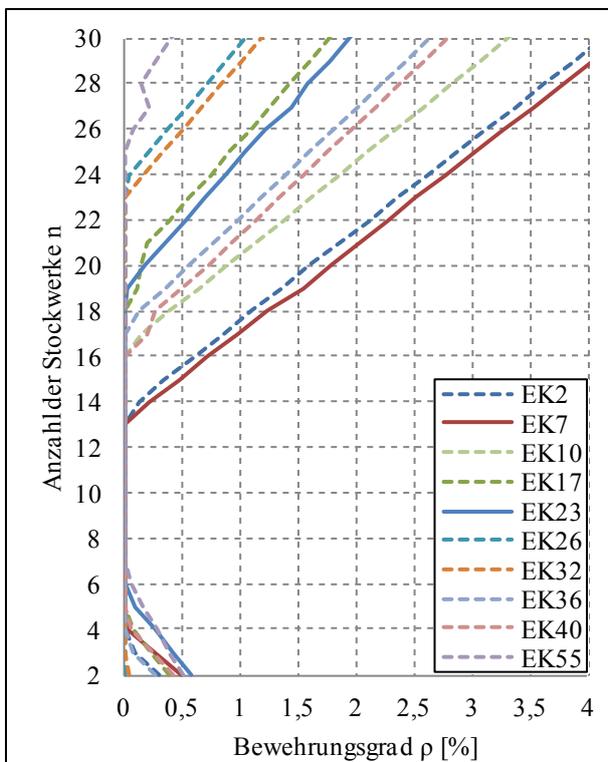


Bild 119 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 2,5 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

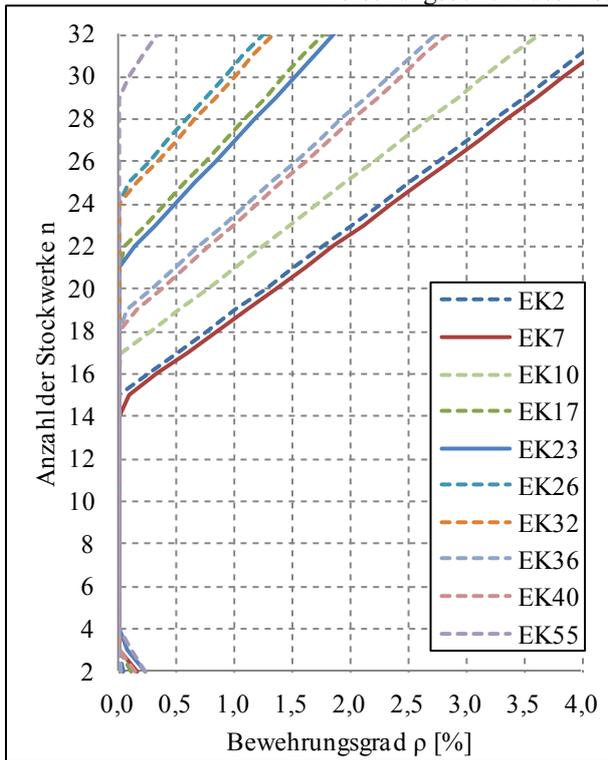


Bild 120 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 4,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

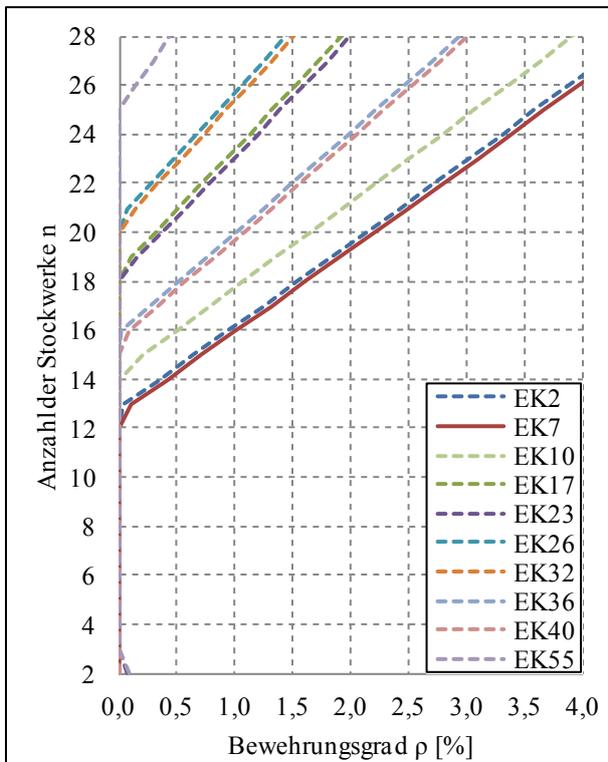


Bild 121 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,25 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

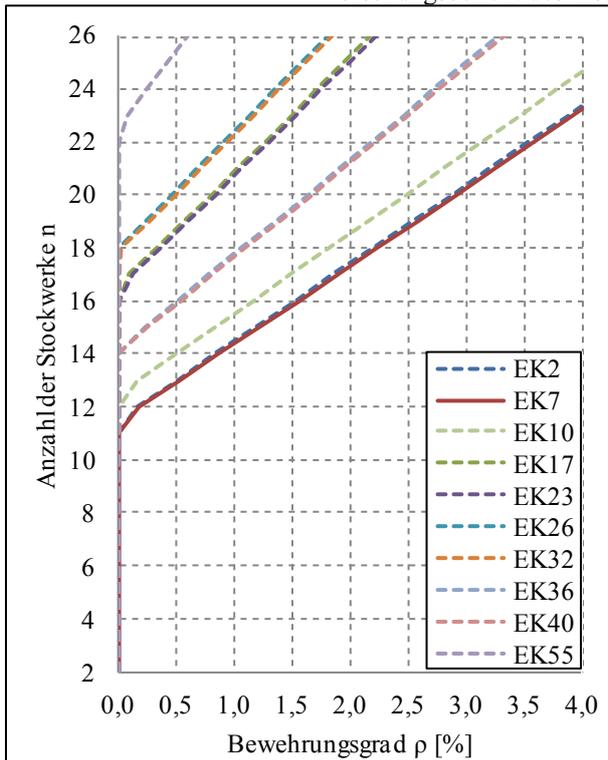


Bild 122 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,30 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

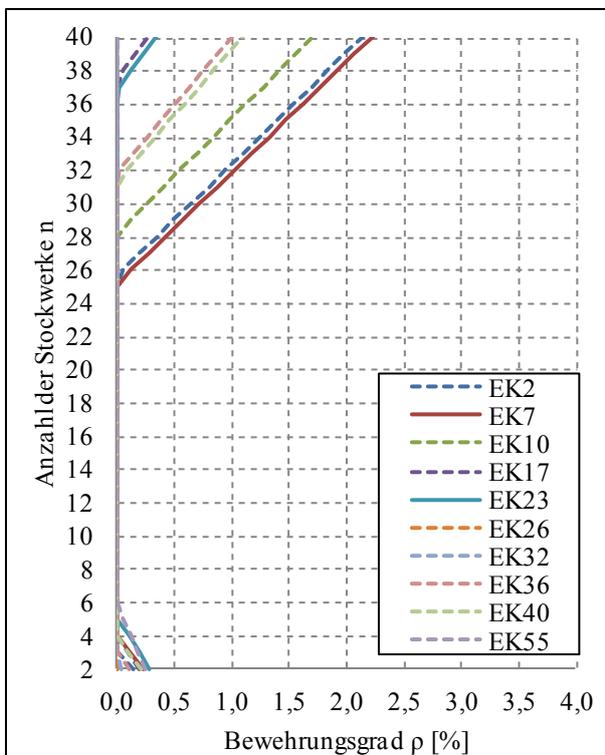


Bild 123 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,25 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

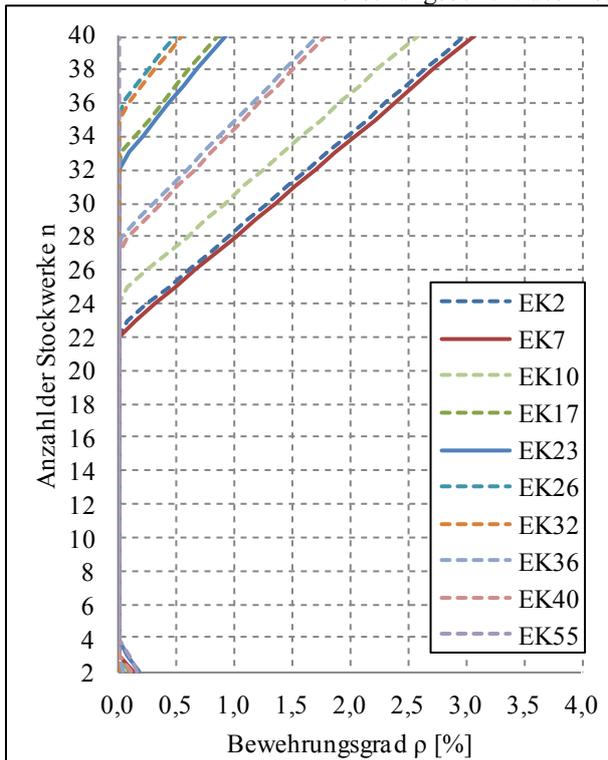


Bild 124 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,30 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

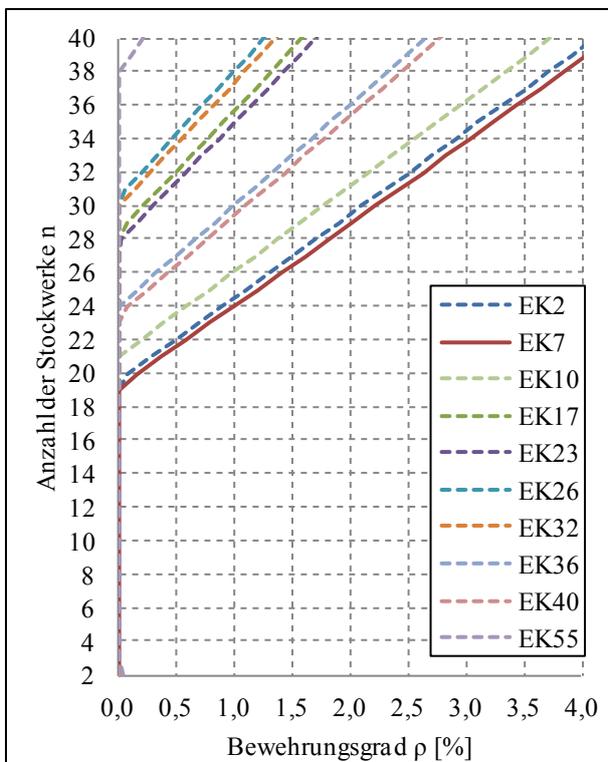


Bild 125 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

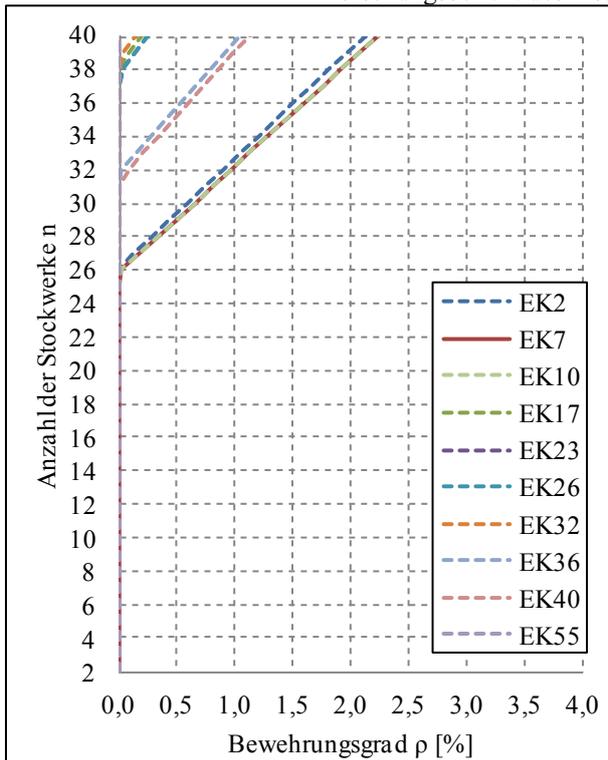


Bild 126 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

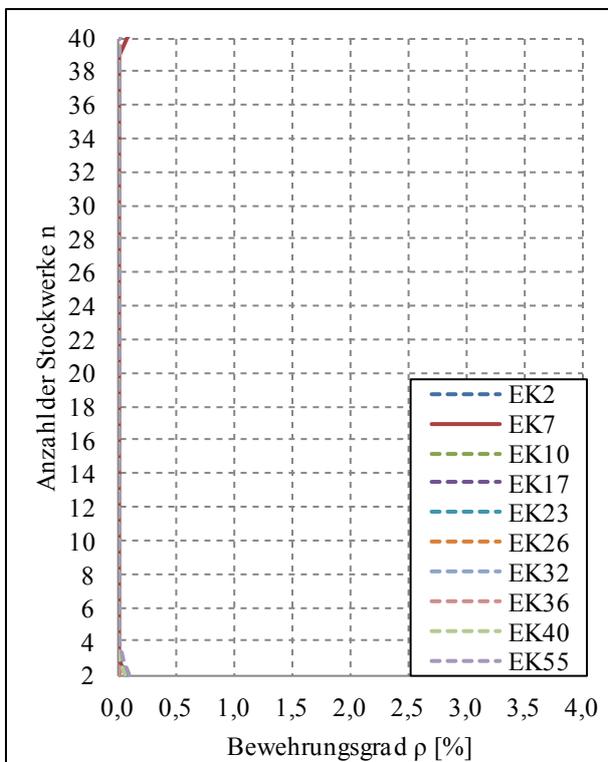


Bild 127 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

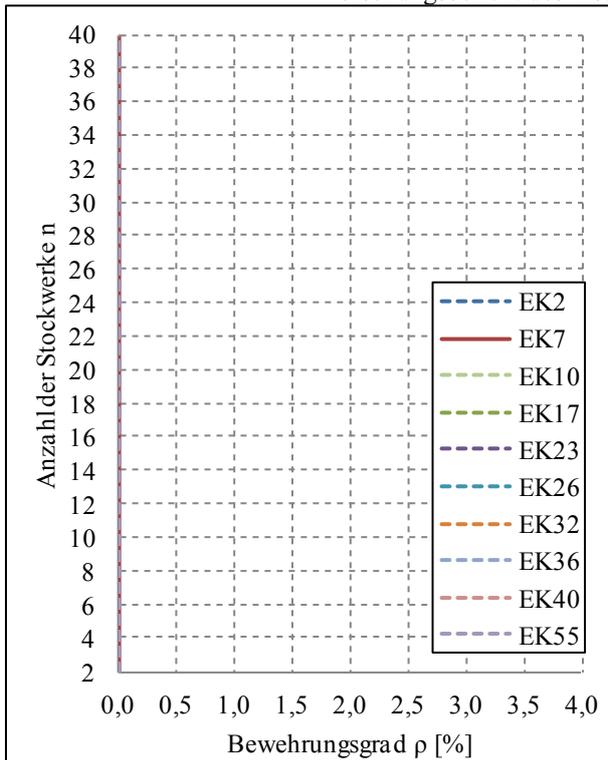


Bild 128 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

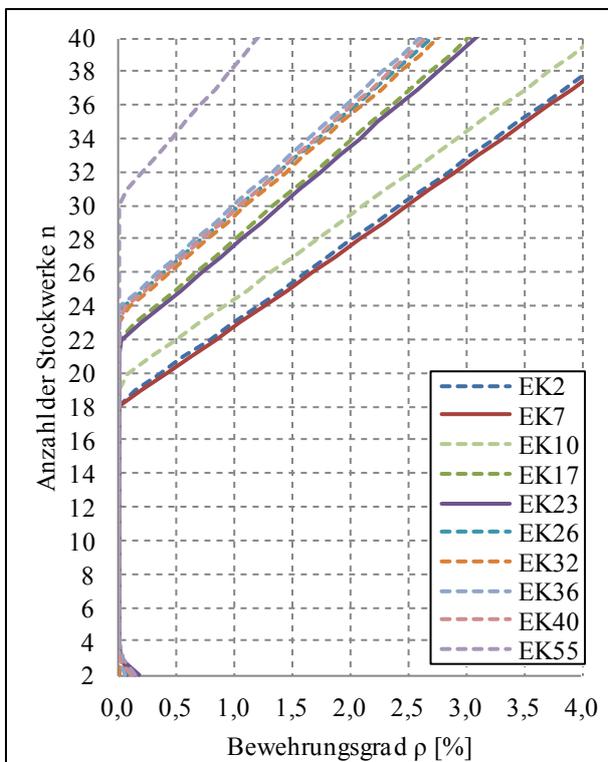


Bild 129 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,2$

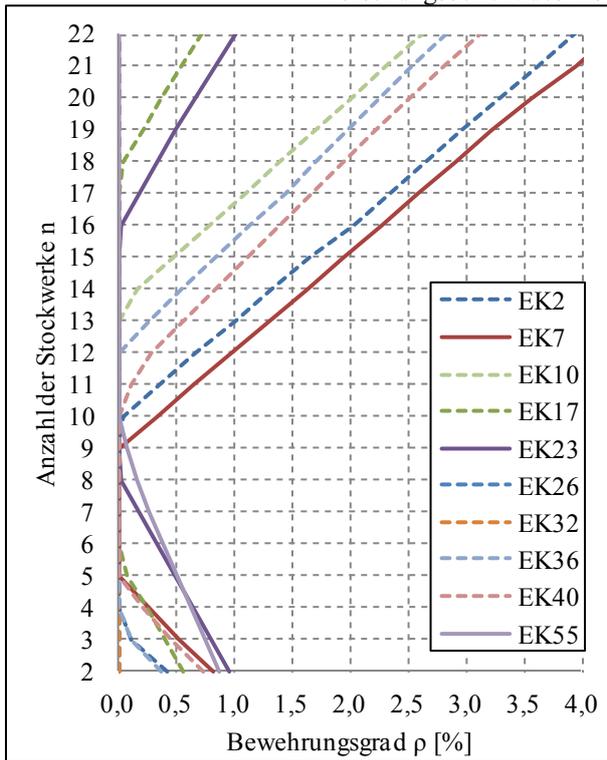


Bild 130 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,8$

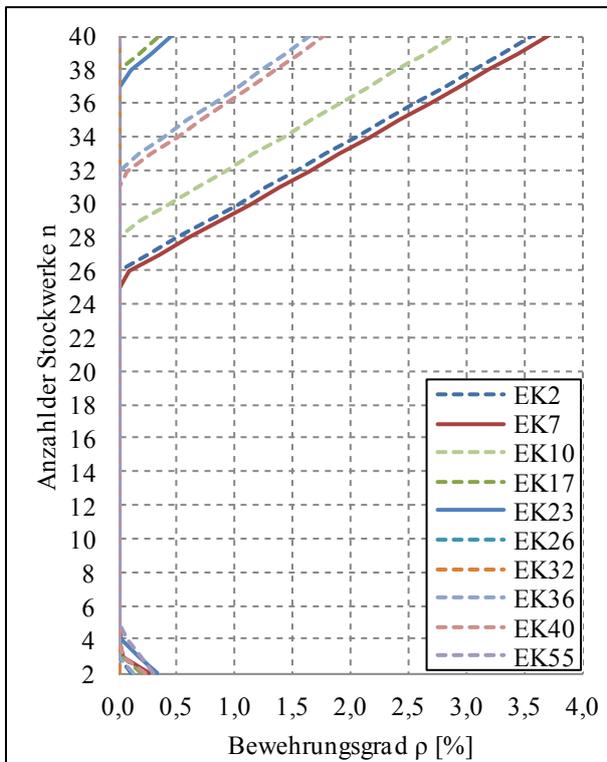


Bild 131 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C50/60 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

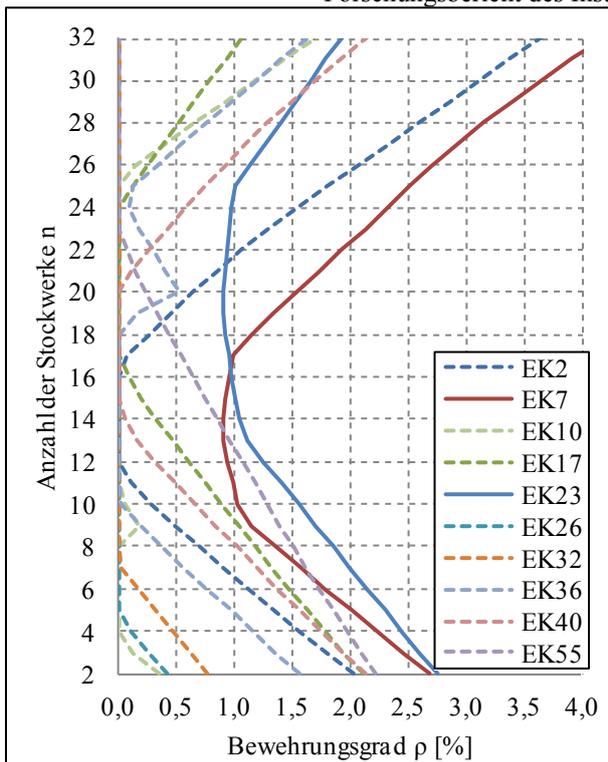


Bild 132 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

Anhang F - Parameterstudie in Innenwandmitte

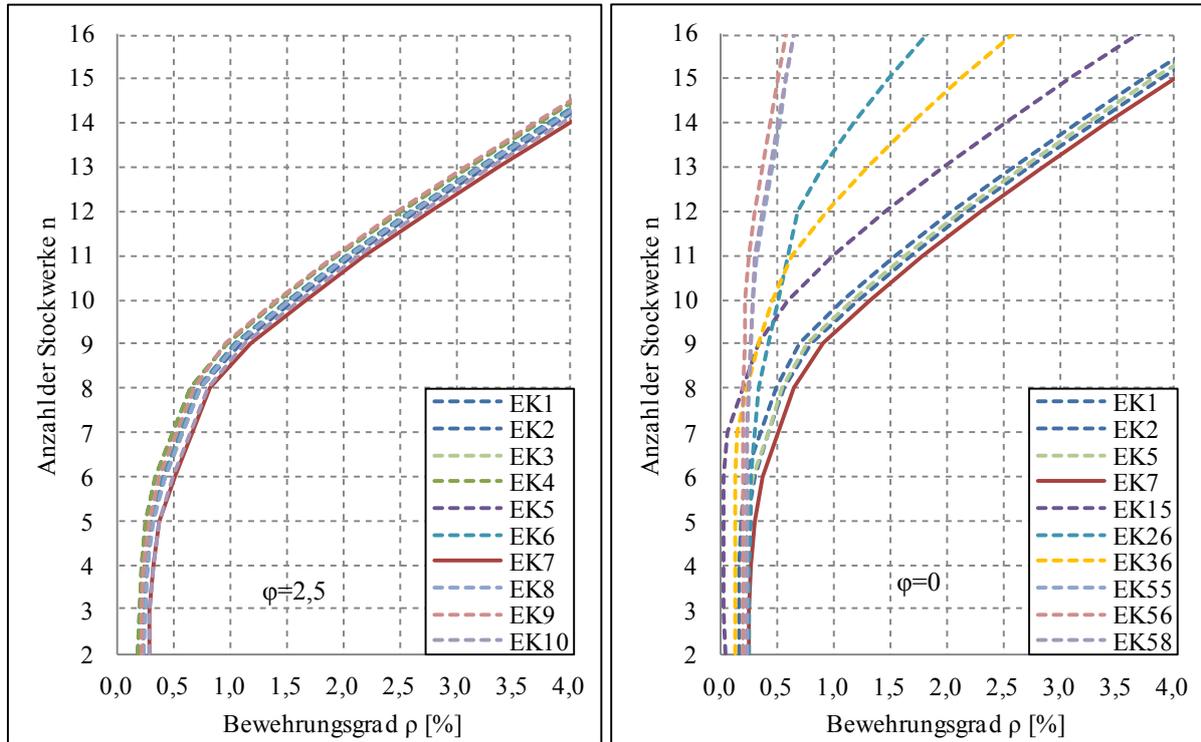


Bild 133 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

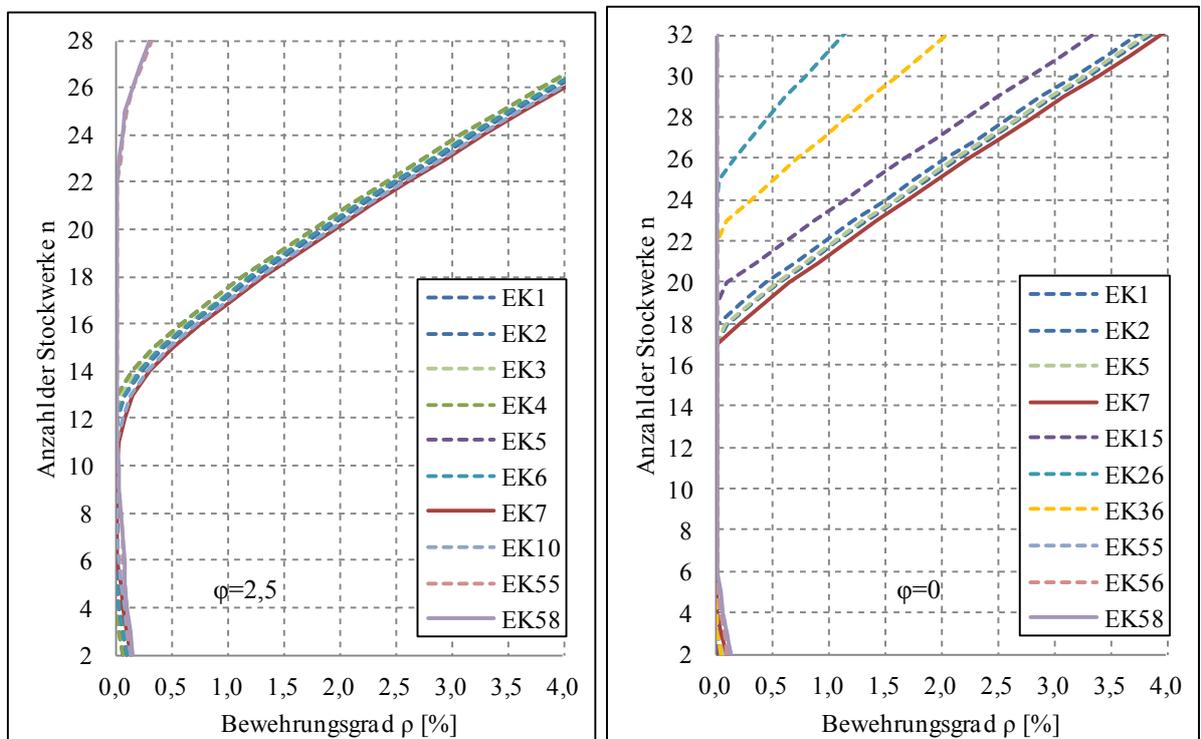


Bild 134 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

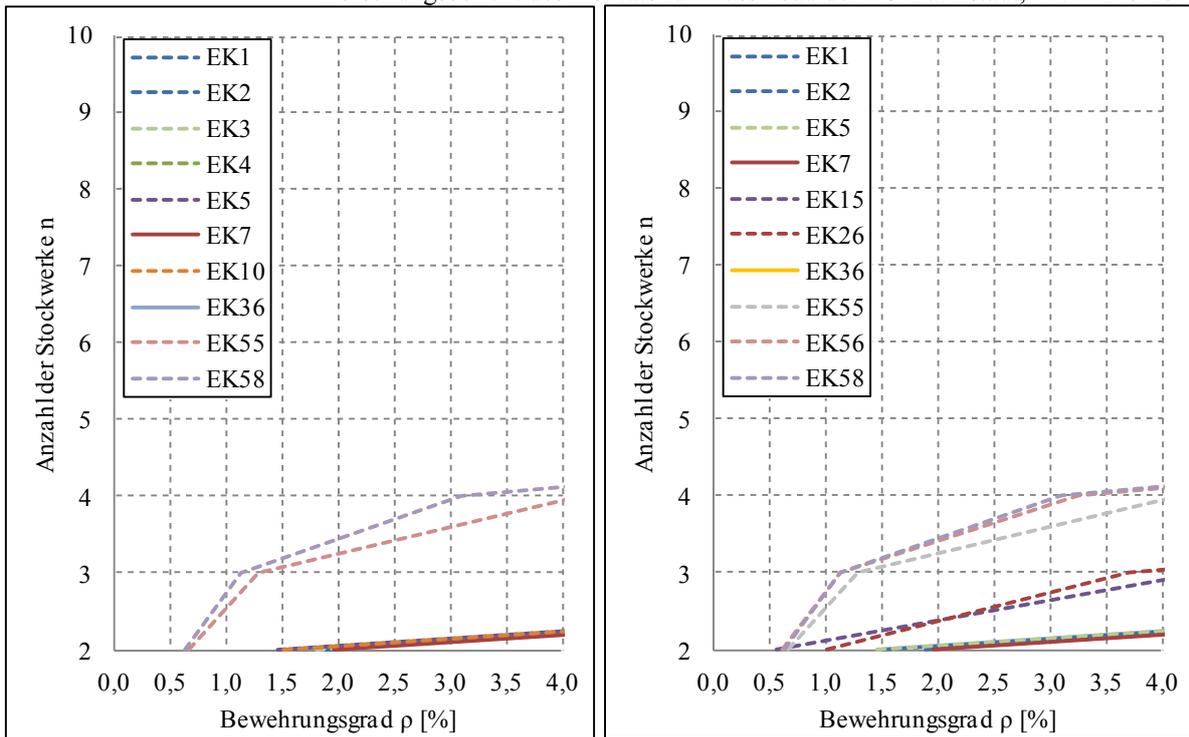


Bild 135 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Außenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

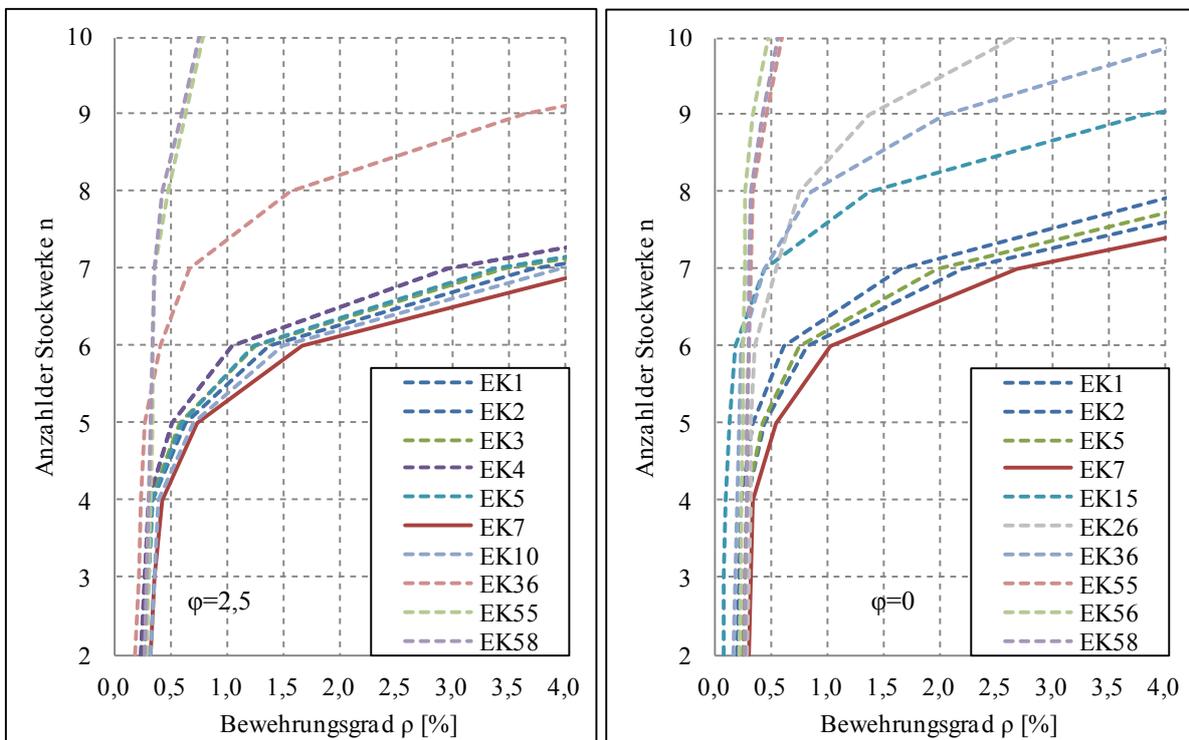


Bild 136 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,15 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

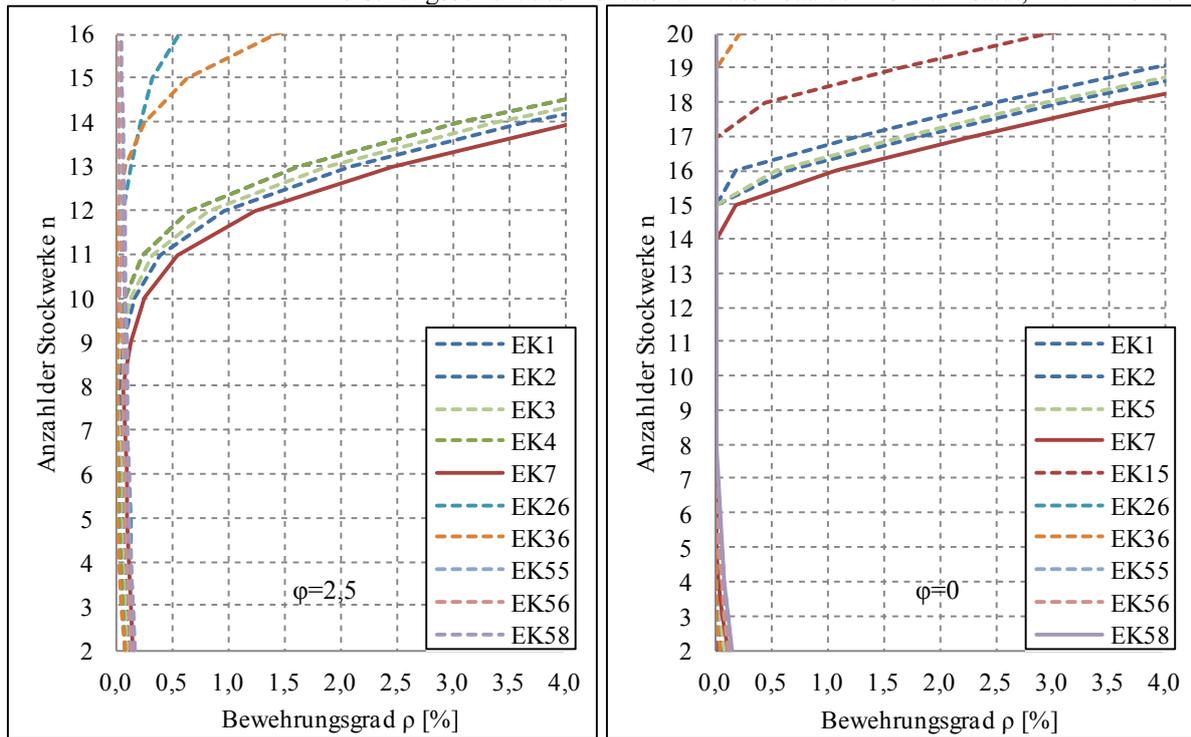


Bild 137 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,4$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

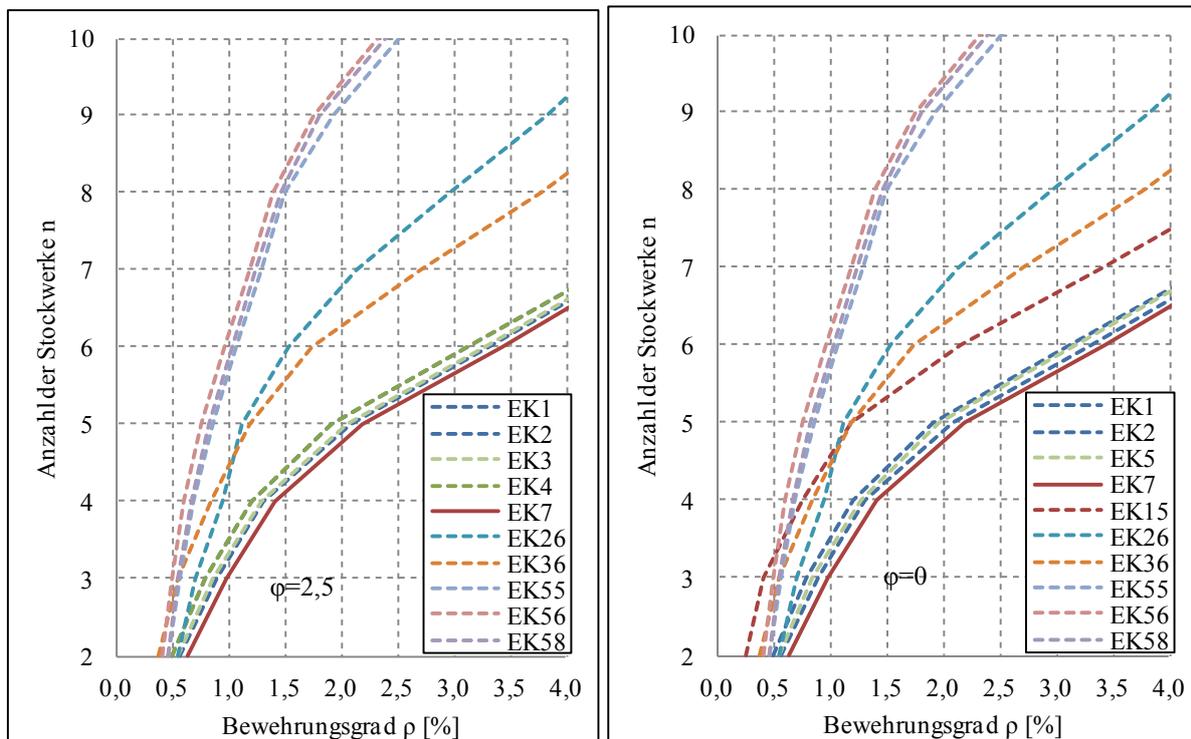


Bild 138 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 2,5 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

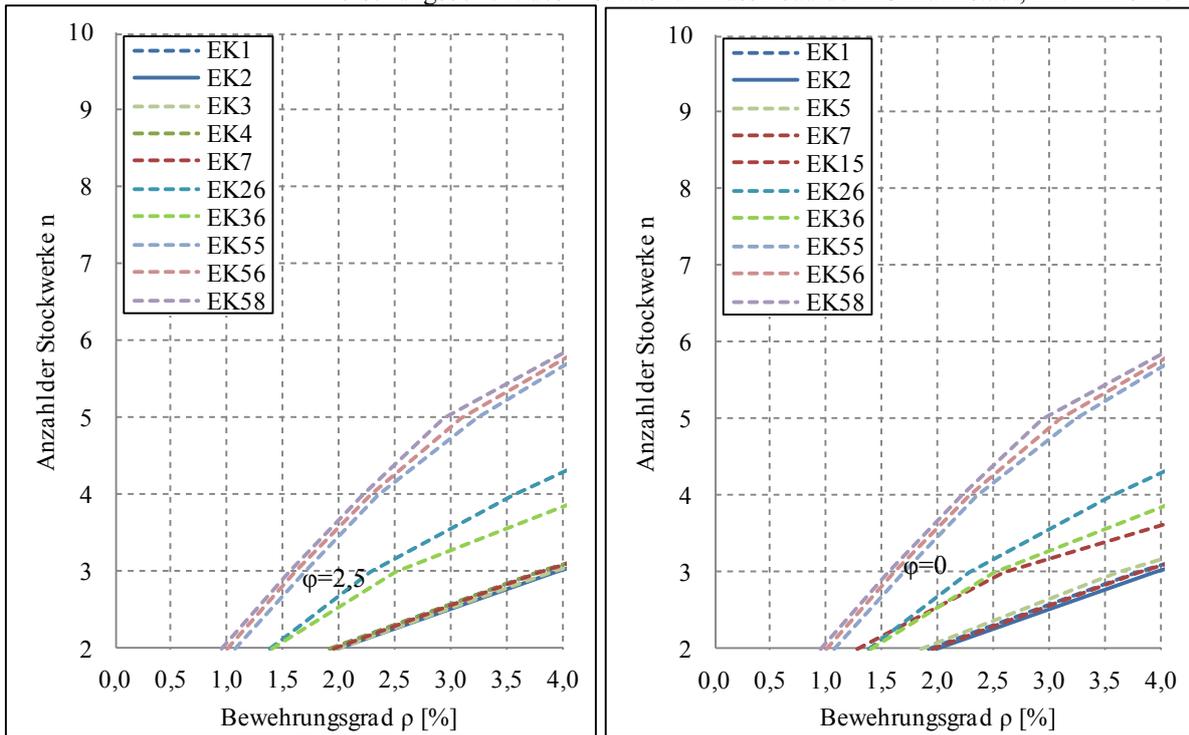


Bild 139 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 4,0$ m; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,20$ m; $\beta = 0,43$

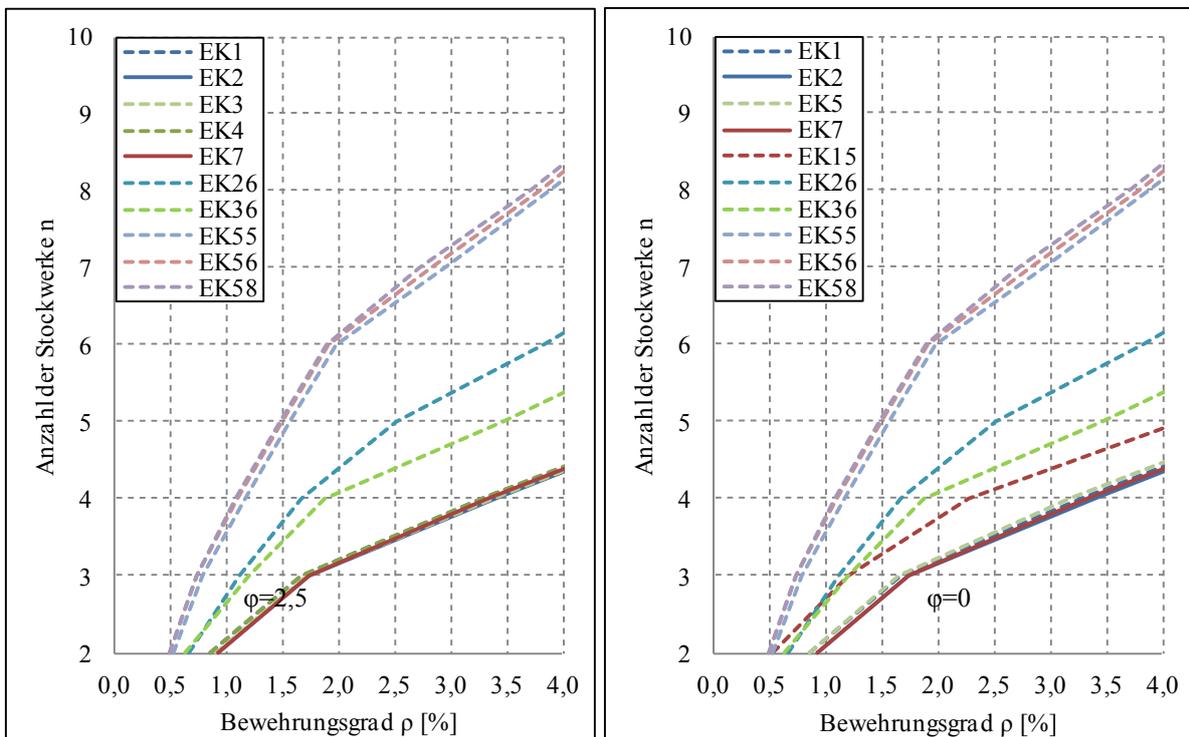


Bild 140 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1$ m; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0$ m; $L_1/L_2 = 2$; $h_{Decke} = 0,25$ m; $\beta = 0,43$

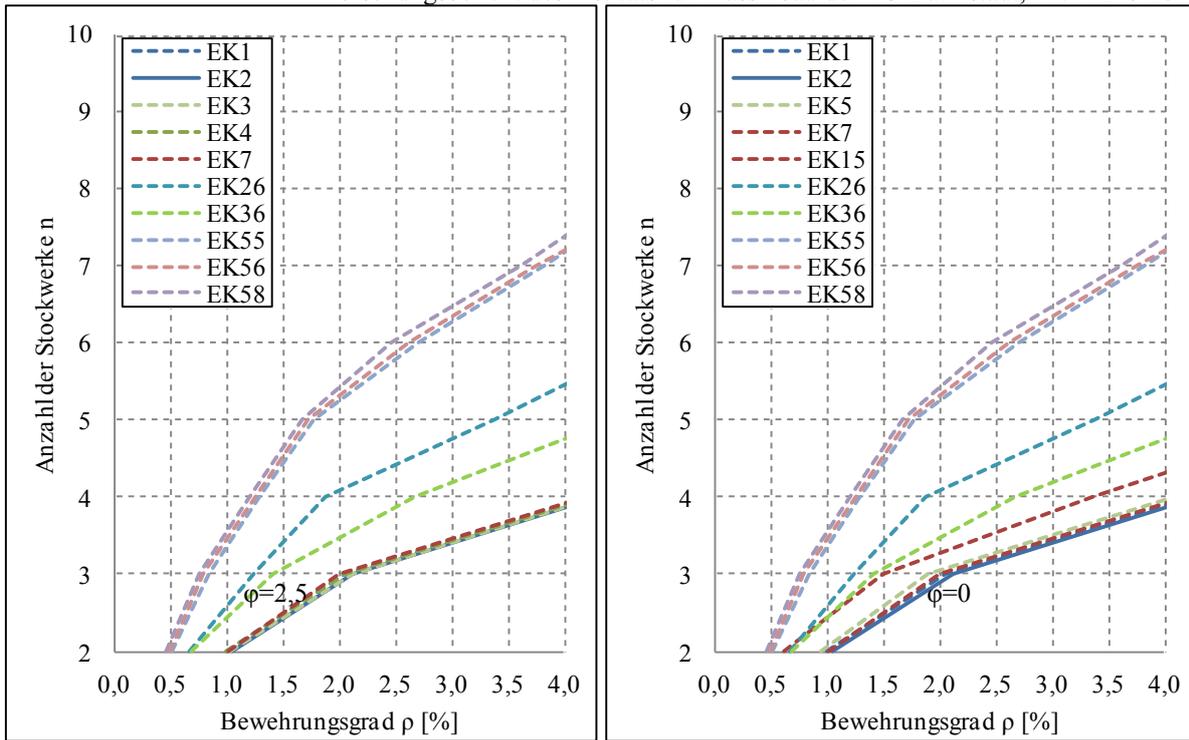


Bild 141 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,30 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

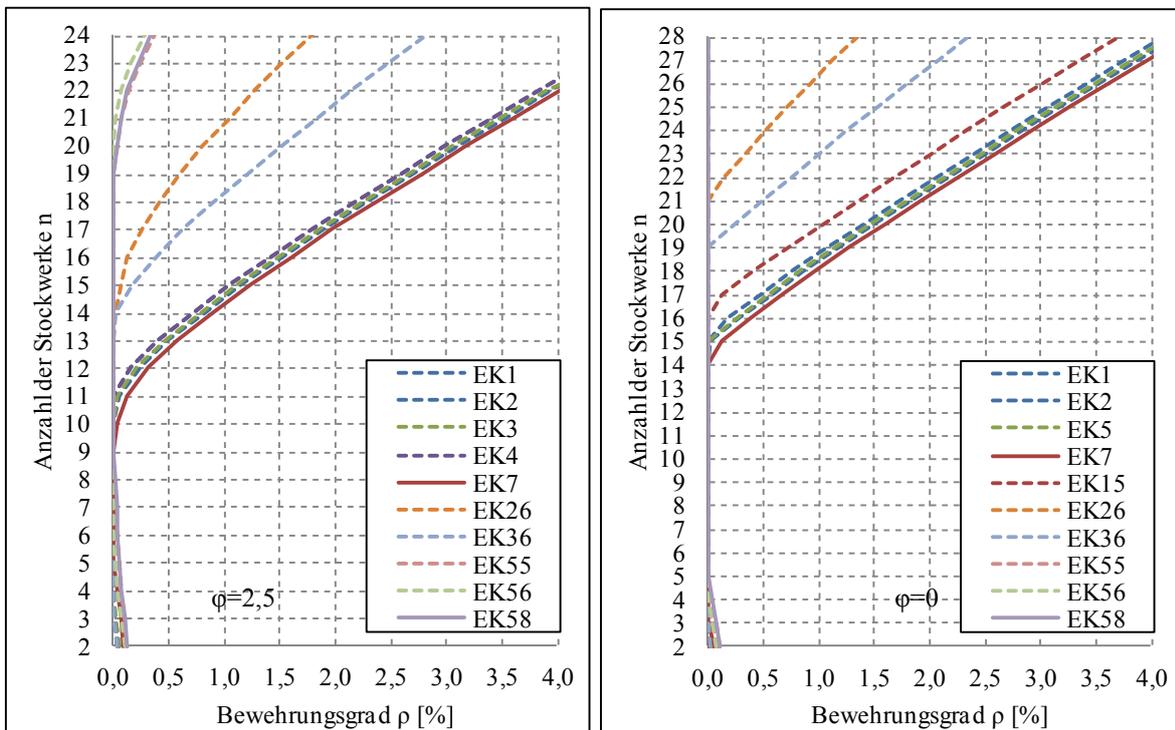


Bild 142 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,25 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

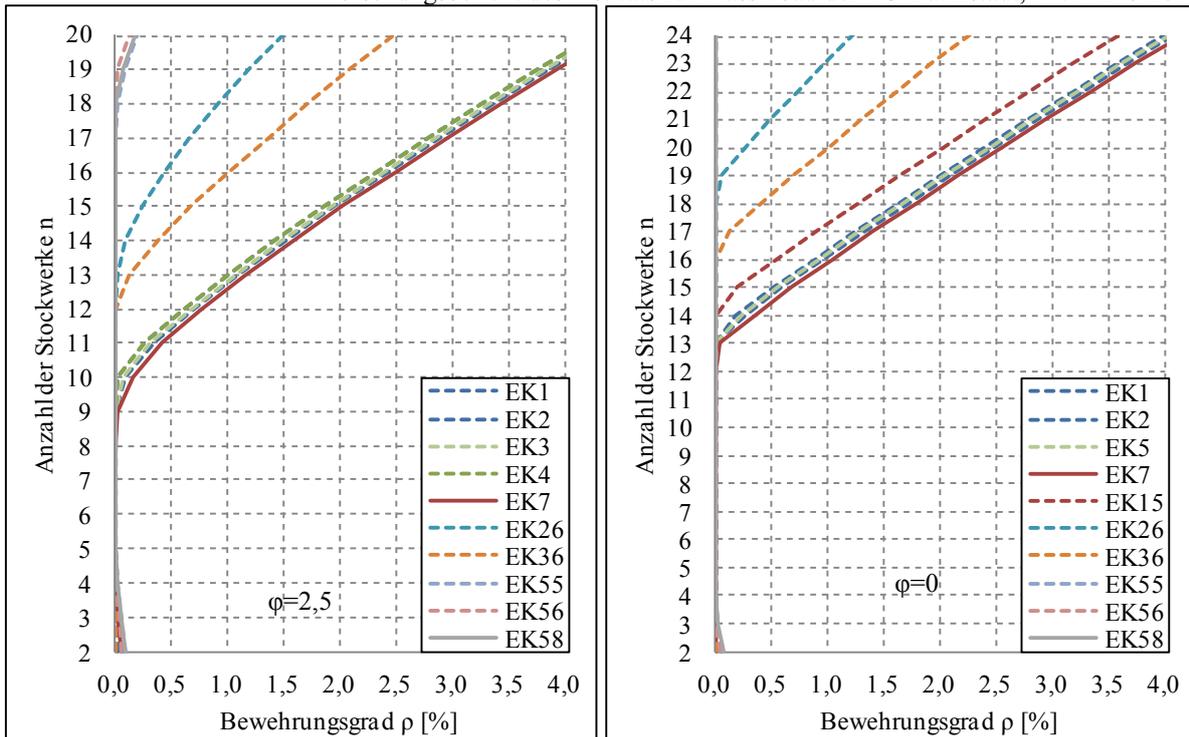


Bild 143 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,30 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

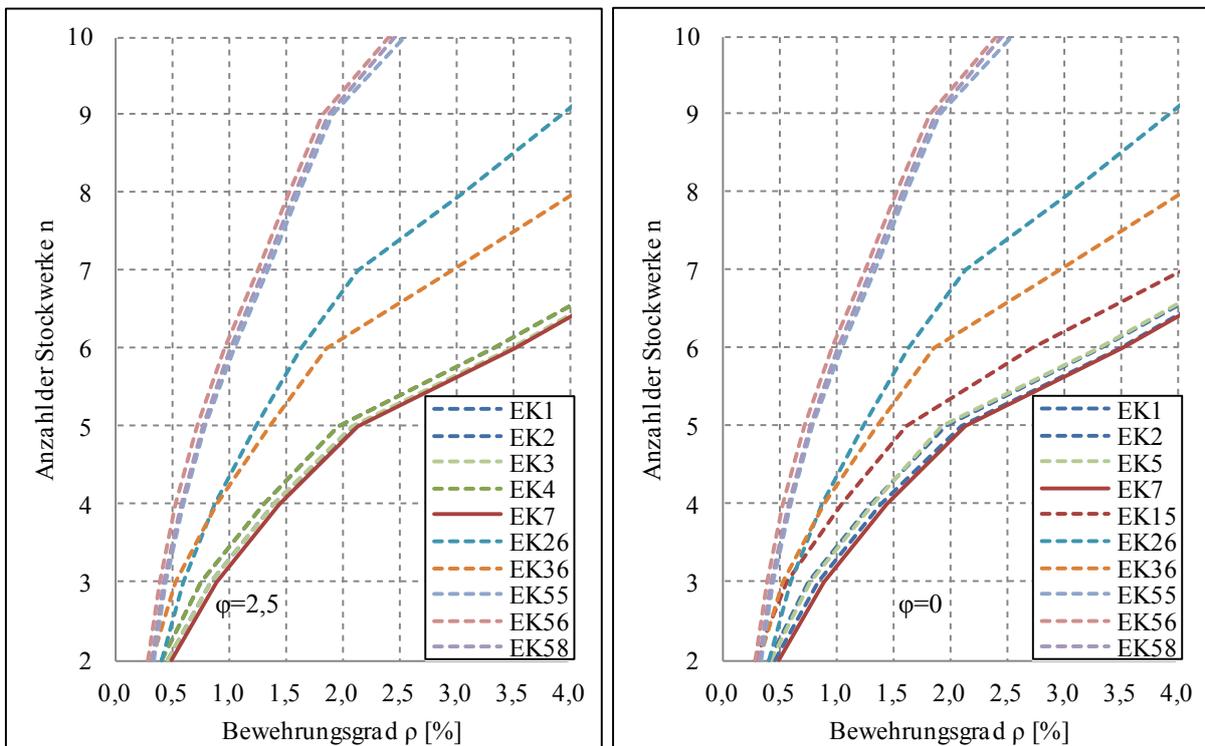


Bild 144 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

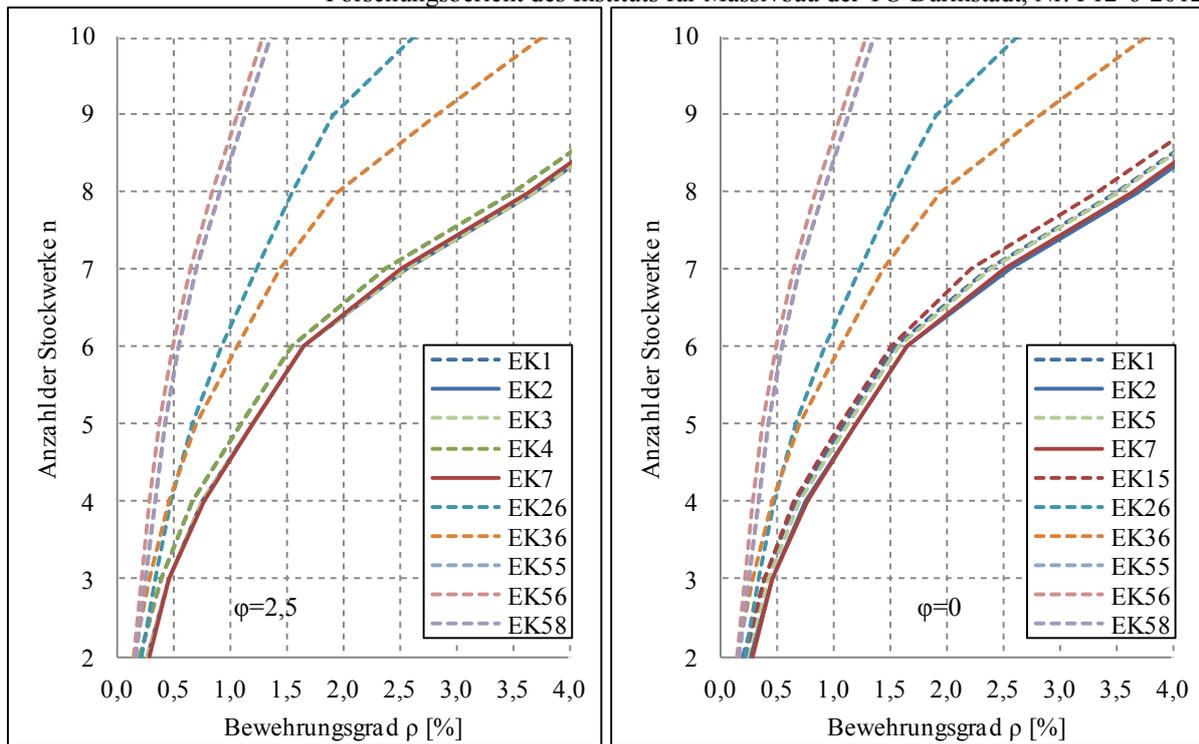


Bild 145 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

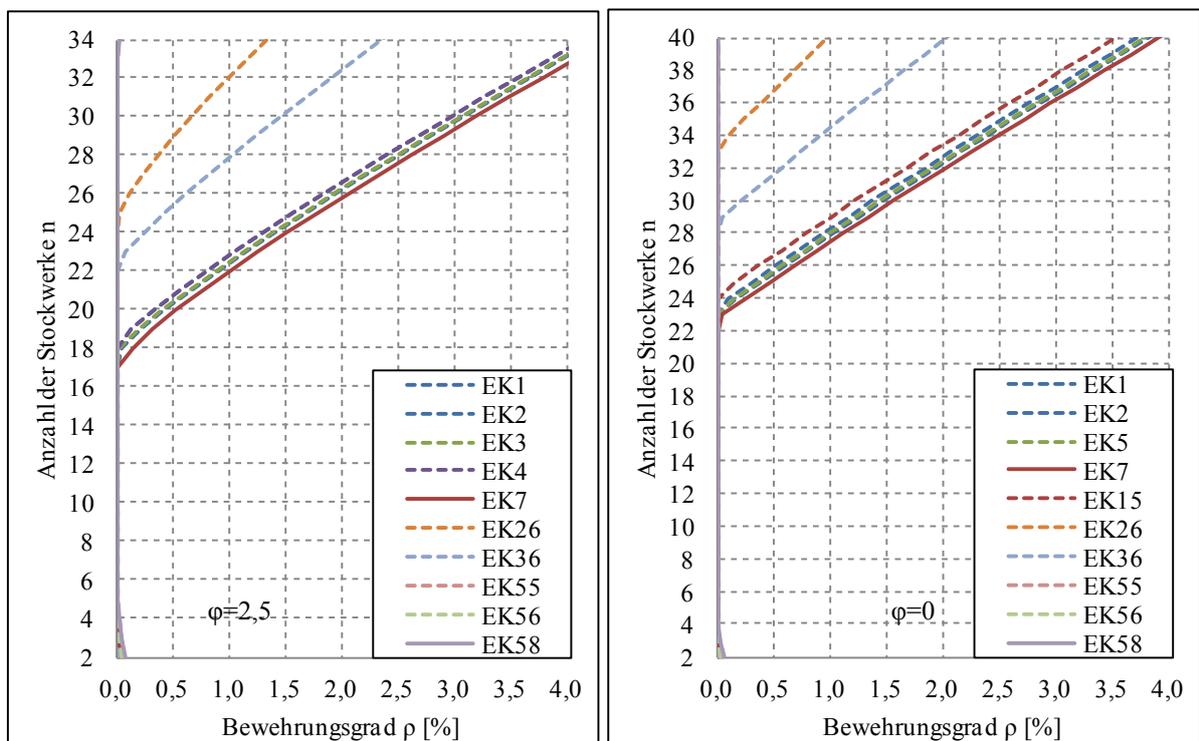


Bild 146 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1,5$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

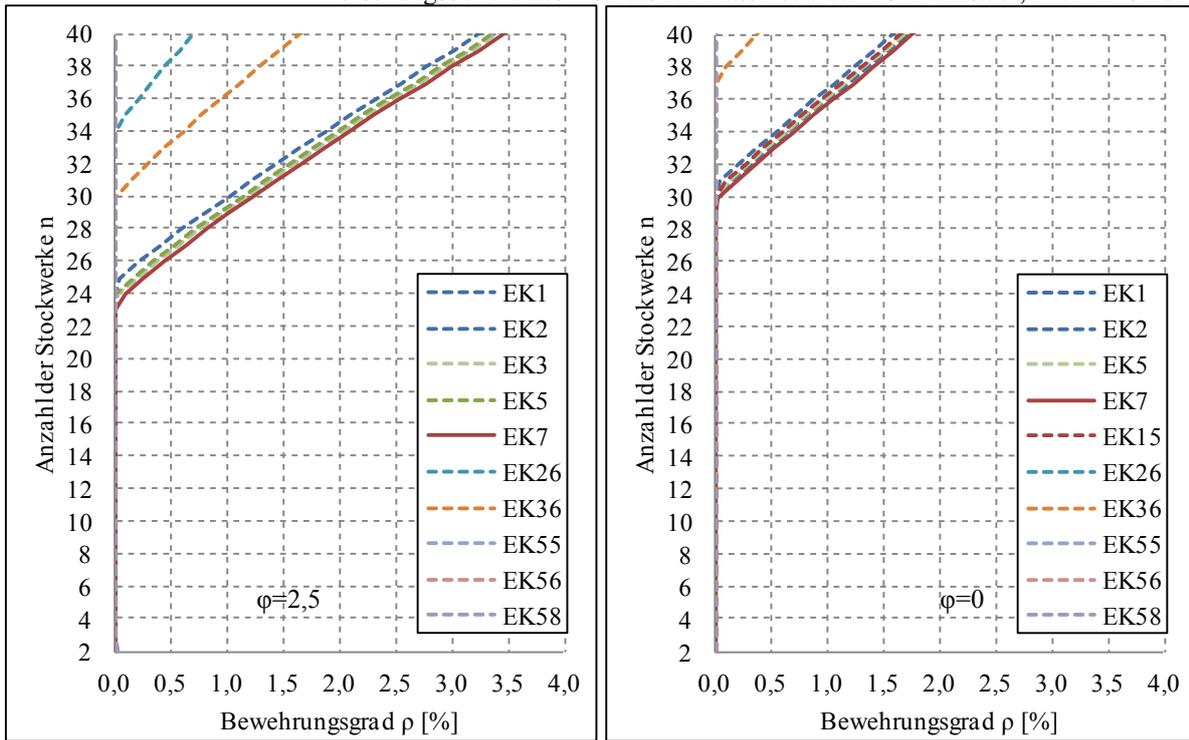


Bild 147 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 1$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

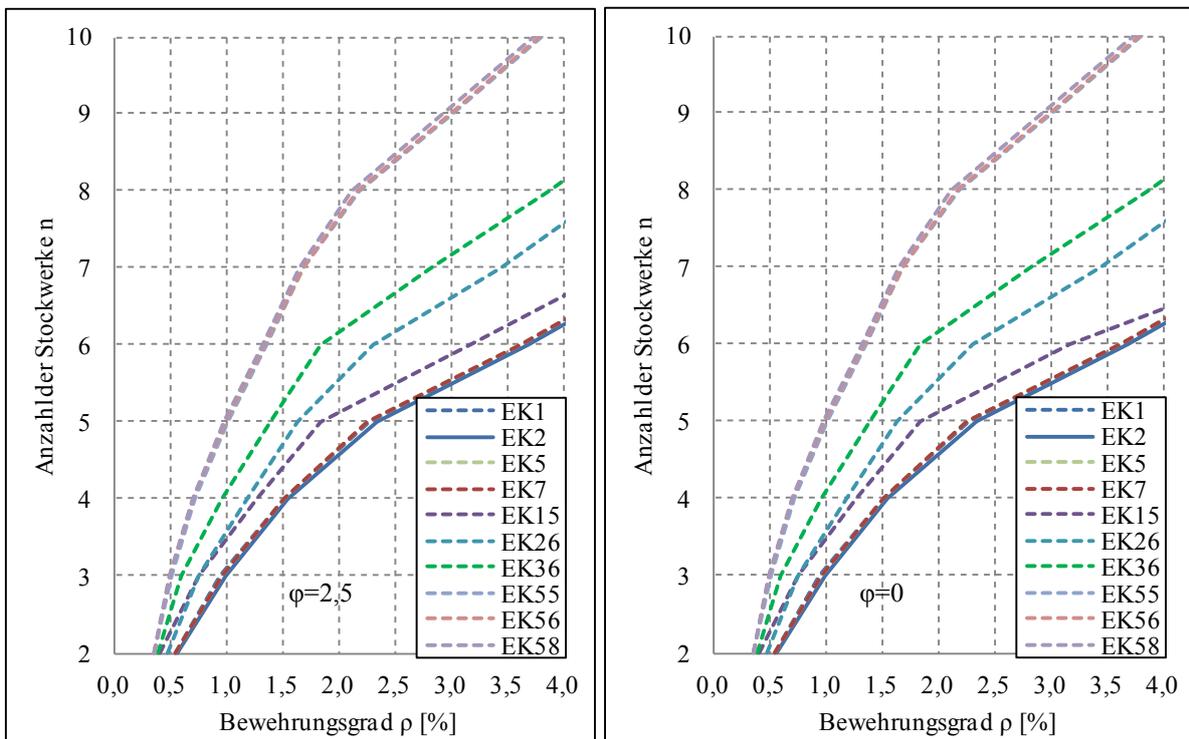


Bild 148 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,2$

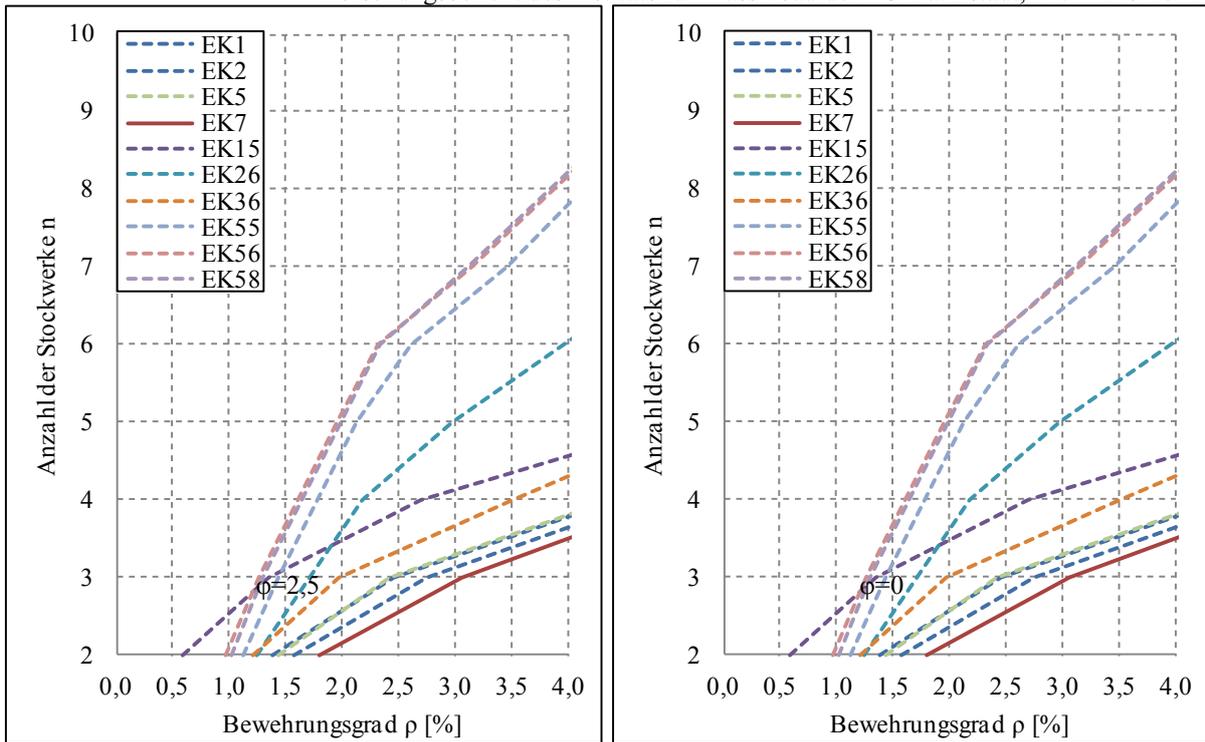


Bild 149 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C30/37 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,8$

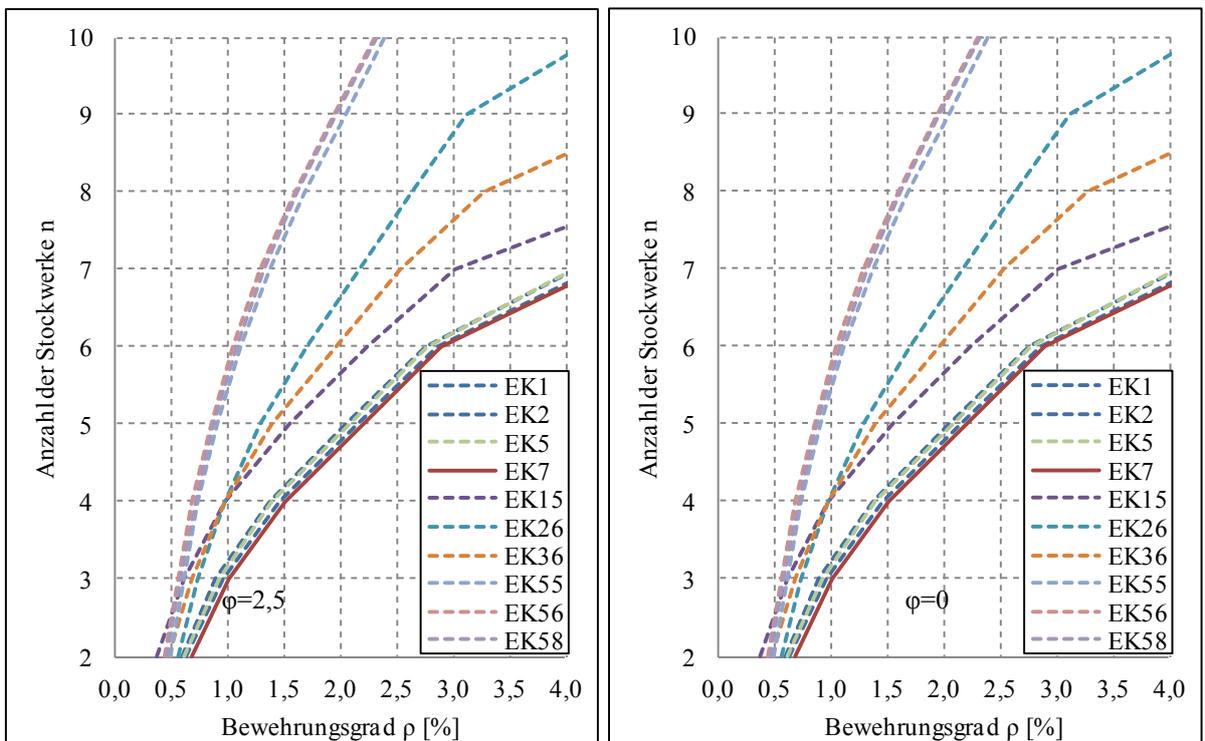


Bild 150 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C50/60 mit $h = 0,1 \text{ m}$; $d_1/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$

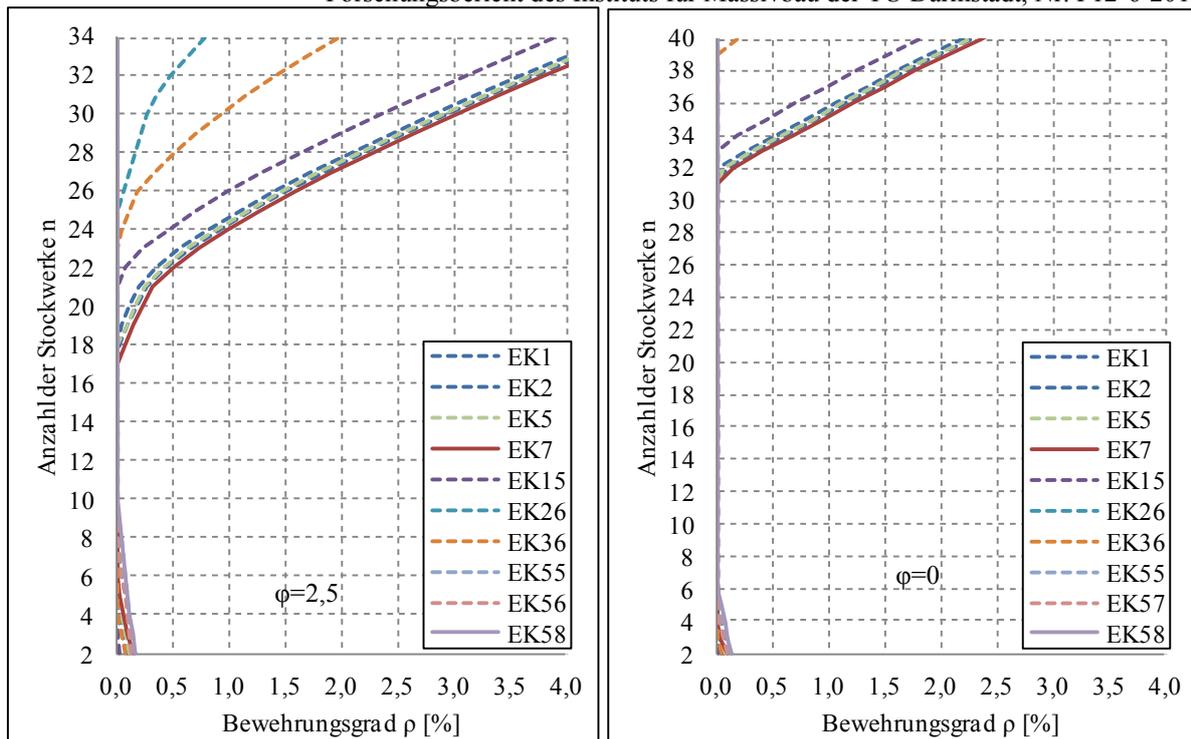


Bild 151 Maßgebende Einwirkungskombinationen (EK) für eine Innenwand aus Beton C50/60 mit $h = 0,2 \text{ m}$; $d_i/h = 0,3$; $h_1 = 3,0 \text{ m}$; $L_1/L_2 = 2$; $h_{\text{Decke}} = 0,20 \text{ m}$; $\beta = 0,43$