

Diploma Thesis

Comparable evaluation of live loads in residential and office buildings

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Vergleichende Auswertung von veränderlichen Lasten in Wohn- und Bürogebäuden

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Viktor DANIEL

Matr.Nr.: 00927906

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Andreas Kolbitsch**

Institut für Hochbau und Technologie
Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/206-04, A-1040 Wien

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit Nutzlasten in Wohn- und Bürogebäuden. Zuerst wird ein grober Überblick auf die verschiedenen Lasteinwirkungen auf Gebäude gegeben. Der nächste Teil befasst sich mit Sicherheitskonzepten sowie den Grenzzuständen, welche für die Nachweisführung von Bauteilen bzw. Bauwerken notwendig sind. Anschließend werden bereits vorhandene Arbeiten zum Thema dieser Diplomarbeit angeführt und deren Kernaussage herausgearbeitet, um diese dann mit den Ergebnissen der eigenen Nutzlastmessungen vergleichen zu können. Im nächsten Abschnitt werden die eigenen Messungen beschrieben und die Ergebnisse anschließend diskutiert. Darauf folgt die statistische Auswertung mittels stochastischem Lastmodell, um eine mit der Norm vergleichbare Ersatzlast zu erhalten. Im letzten Teil werden die berechneten Nutzlasten mit der Norm verglichen und versucht ein Lastbeschreibungskonzept auf Grundlage der berechneten Daten zu entwickeln.

Abstract

This diploma thesis is about live loads in residential and office buildings. First, an overview of the different load effects on constructions is given. The next part describes the safety concepts and limit states which are necessary for the analysis of components and constructions. Afterwards, prior studies are reviewed and compared to the live load measurements conducted for this thesis. In the following section, the own measurements are described and, subsequently, the results are discussed. This is followed by a statistical evaluation by means of a stochastic load model, in order to obtain an equivalent load as required by building standards. In the last part, the calculated live loads are compared to the building standards and based on this data, a load description concept was developed.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
1.1	Aufgabenstellung.....	5
1.2	Aufbau der Arbeit.....	5
1.3	Zielsetzung.....	6
2.	Belastungen von Bauwerken.....	7
2.1	Eigenlasten	7
2.2	Nutzlasten.....	9
2.3	Schneelasten	12
2.4	Windlasten	13
2.5	Erdbebenlasten	13
3.	Sicherheitskonzept und Einwirkungskombinationen.....	15
3.1	Grundlegende Begriffe (ÖNORM EN 1990:2013, 1.5).....	15
3.2	Nachweis mittels zulässiger Spannungen	16
3.3	Globales Sicherheitskonzept	17
3.4	Teilsicherheitskonzept.....	17
3.4.1	Anforderungen und Einwirkungen	17
3.4.2	Grenzzustände der Tragfähigkeit	18
3.4.3	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	20
4.	Bisherige Nutzlastmessungen	22
4.1	Charles G. Culver (1976).....	22
4.2	Baumgart, Hosser und König (1986).....	25
4.3	Kwesi A. Andam (1986)	31
4.4	Edmund C. C. Choi (1990).....	34
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse	36
5.	Eigene Nutzlastmessungen	38

5.1	Vorgangsweise und Zielsetzung	38
5.2	Durchführung der Messungen	39
5.3	Auswertung der Wohnungen	40
5.4	Ergebnisse der Wohnungen	41
5.5	Auswertung der Büroräume.....	46
5.6	Ergebnisse der Büroräume	47
5.7	Zusammenfassung und Bewertung.....	50
6.	Lastbeschreibungmodell.....	52
6.1	Allgemeines	52
6.2	Modellauswertung der Wohnungen	53
6.3	Modellauswertung der Büroräume.....	54
7.	Vergleich mit der Norm	56
7.1	Charakteristische Lasten	56
7.2	Lastbeschreibungskonzept	57
8.	Zusammenfassung.....	59
	Abbildungsverzeichnis.....	61
	Tabellenverzeichnis	62
	Literaturverzeichnis.....	63

1. EINLEITUNG

1.1 Aufgabenstellung

Aufgabe war es die zeitlich veränderlichen Lasten in Hochbauten zu erfassen und mittels geeigneter Verfahren zu beschreiben. Da eine Bemessung mit zeitlich und räumlich veränderlichen Lasten mathematisch zu aufwendig zu erfassen und somit nicht zielführend wäre, wird in der Norm ein konstanter Wert für die Nutzlasten angegeben.

Im Vorfeld können die zu erwartenden Nutzlasten nur auf Grund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Mittels nachträglicher Messungen im Bestand ist es möglich, die tatsächlich auftretenden Nutzlasten zu ermitteln. Dafür wurde in Wohnungen und Büroräumen das Gewicht der beweglichen Gegenstände gemessen, sowie durch Befragungen, die Anzahl der anwesenden Personen bezogen auf die Zeit, ermittelt. Die so erhaltenen Daten sind dann auszuwerten und mit den in den Normen angegebenen Werten zu vergleichen.

1.2 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden die verschiedenen Belastungen, die auf ein Bauwerk einwirken, beschrieben. Diese lassen sich grundsätzlich in drei Kategorien einteilen:

- ständige Lasten
- veränderliche Lasten
- außergewöhnliche Lasten

In Kapitel 3 wird auf die Sicherheitskonzepte und Einwirkungskombinationen näher eingegangen. Hier wird im Allgemeinen zwischen zwei Grenzzuständen unterschieden: dem Grenzzustand der Tragfähigkeit kurz GZT und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kurz GZG. Um einen Bauteil als ausreichend dimensioniert bezeichnen zu können, muss die Einhaltung beider Grenzzustände erfüllt sein.

Kapitel 4 befasst sich mit bereits durchgeführten Nutzlastmessungen. Es werden vier Arbeiten, die von 1976 bis 1988 durchgeführt wurden, kurz zusammengefasst und die Ergebnisse miteinander verglichen.

Kapitel 5 beinhaltet die eigentliche Forschungsarbeit. Hier werden die Randbedingungen und die Durchführung der Lastmessungen beschrieben. Danach werden die Daten ausgewertet und miteinander verglichen.

Kapitel 6 enthält Empfehlungen für die Norm, wobei auf die Bemessungslasten und die Kombinations- und Sicherheitsbeiwerte eingegangen wird.

In Kapitel 7 werden Schlussfolgerungen aus den gesammelten Daten gezogen und die dabei erhaltenen Ergebnisse bewertet.

1.3 Zielsetzung

Um ein Tragwerk wirtschaftlich bemessen zu können, ist es wichtig, ein möglichst realitätsnahes Modell zu erstellen. Dies kann nur gelingen, wenn das statische Ersatzsystem richtig gewählt wird, die Materialeigenschaften bekannt sind und die zu erwartenden Belastungen durch die angesetzten Lasten ausreichend genau beschrieben werden. Um den letzten Punkt erfüllen zu können, bedarf es einer großen Menge an gesammelten Daten.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Daten bereits durchgeführter Lastmessungen in Wohn- und Bürogebäuden zu sammeln und diese durch eigene Lastmessungen zu überprüfen bzw. zu ergänzen. Anschließend soll mit den erhaltenen Daten untersucht werden, ob die in den Normen angeführten Werte eine realitätsnahe Wiedergabe der Belastungen darstellen. Abschließend soll eine Empfehlung für zukünftigen Normen gemacht werden.

2. BELASTUNGEN VON BAUWERKEN

2.1 Eigenlasten

Unter Eigenlasten versteht man Belastungen, welche über die Zeit unverändert bleiben. Deshalb werden sie auch als ständige Lasten bezeichnet. Diese Lasten ergeben sich aus dem Eigengewicht des Bauwerks selbst. Sie werden für jeden Bauteil in Abhängigkeit seiner Wichte und seiner Abmessungen ermittelt. In der Regel werden die Lasten von Bauteilen in Kraft pro Fläche, Kraft pro Laufmeter oder als Einzelkraft angegeben. Die Ermittlung erfolgt über sogenannte Lastaufstellungen, in denen die Lasten der einzelnen Schichten des Bauteils berechnet und aufsummiert werden. Es wird zwischen tragenden und nicht tragenden Bauteilen bzw. Schichten unterschieden. Tragende Bauteile dienen zur Ableitung der einwirkenden Lasten in den Untergrund. Nicht tragende Bauteile können aussteifende oder raumabschließende Funktionen haben. Tragende Bauteile wiederum können in ihre tragenden und nicht tragenden Elemente zerlegt werden. Am Beispiel einer Stahlbetonplatte mit Fußbodenaufbau hat die Stahlbetonplatte die tragende Funktion und der Aufbau bauphysikalische und optische Funktionen. [8]

Die Eigenlasten der tragenden Bauteile bleiben meist über große Zeitabschnitte oder gar über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks unverändert. Änderungen können durch Umbauten wie z. B. Abbruch von Wänden, neue Fußbodenaufbauten, Vorsatzschalen usw. entstehen. Da der Aufbau der Bauteile sowie die Wichten der Stoffe im Vorfeld bekannt sind, können die Eigenlasten ziemlich genau ermittelt werden und haben daher gegenüber den Nutzlasten kleinere Sicherheitsbeiwerte für die Bemessung der Tragfähigkeit. Die meisten der verwendeten Baustoffe weisen eine homogene bzw. eine nahezu homogene Dichte auf. Dies erleichtert die Berechnung des Eigengewichts ungemein, da die Wichte als konstanter Wert angenommen werden kann und lediglich mit dem Volumen des Körpers multipliziert werden muss. In den Normen werden charakteristische Werte für Wichten von Baustoffen sowie Eigenlasten von Standardaufbauten angegeben. Die folgende Tabelle 2-1 ist ein Auszug aus der ÖNORM EN 1991-1-1:2013 und ÖNORM B 1991-1-1:2013 und gibt Wichten der gängigsten Baustoffe an. [8] [15]

Tabelle 2-1: Wichten von Baustoffen nach [15]

BAUSTOFFE	WICHTE γ [kN/m³]
Leichtbeton	10,5 bis 20,5
Normalbeton	24,0
Schwerbeton	> 26,0
Für Stahlbeton erhöhen sich die Werte um 1,0 kN/m ³ . Für Frischbeton erhöhen sich die Werte ebenfalls um 1,0 kN/m ³	
Zementmörtel	21,0
Gipsmörtel	14,0
Kalkzementmörtel	20,0
Kalkmörtel	18,0
Mauerziegel	18,0
Kalksandstein	22,0
Porenbetonsteine	4,5 bis 9,0
Granit, Syenit	27,0
Basalt	30,0
Trachyt	26,0
Grauwacke	27,0
Gneis	30,0
Schiefer	28,0
Hartholz (z. B. Ahorn, Birke, Eiche, Esche, Platane, Robinie, Rotbuche)	8,0
Weichholz (z. B. Erle, Fichte, Kiefer, Lärche, Pappel, Tanne, Weide)	5,5
Balsa	2,0
Hickory	8,5
Teak	7,0
Pockholz	14,0
Aluminium	27,0
Kupfer	89,0
Gusseisen	72,5
Schmiedeeisen	76,0
Blei	112,0 bis 114,0
Stahl	78,5
Zink	71,0 bis 72,0

2.2 Nutzlasten

Als Nutzlasten werden zeitlich bzw. örtlich veränderliche Lasten bezeichnet. Diese Lasten ergeben sich aus Einwirkungen durch Personen, Einrichtungsgegenstände, leichte Trennwände, Fahrzeuge, Lagergüter, usw. Es gibt auch veränderliche Lasten aus Schnee und Wind, diese werden aber als eigene Kategorien betrachtet. Aufgrund der geschichtlichen Entwicklung der Nutzlasten gibt es auch Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern. Dies kommt daher, dass zunächst Werte angenommen werden mussten und diese erst später durch Erfassung der tatsächlich vorhandenen Lasten überprüft werden konnten. Dies wurde allerdings nicht überall durchgeführt, da hierfür eine große Menge an Daten benötigt wird und die Erhebung mit relativ hohem Aufwand verbunden ist. [8]

Eine Unterteilung der Nutzlasten kann in kurzzeitig wirkende Lasten und langfristig wirkende Lasten erfolgen. Zu den kurzzeitigen Lasten zählen unter anderem Personen und Fahrzeuge; und zu den langzeitigen Lasten zählen Einrichtungsgegenstände, Lagergüter sowie leichte Zwischenwände. Da es viel zu aufwändig wäre, bzw. oftmals gar nicht möglich, diese veränderlichen Lasten genau zu bestimmen, werden in den Normen stochastisch ermittelte Werte angegeben. Diese Werte stellen eine gleichmäßig verteilte Flächenlast dar und sind von der jeweiligen Nutzung abhängig. Zusätzlich zu den Flächenlasten werden auch Werte für Einzellasten angegeben. Diese dienen dem Nachweis von Tragschichten, die quer zur Haupttragrichtung verlaufen, z. B. Beplankung einer Tramdecke. Die Einzellast muss nicht in Kombination mit der Flächenlast angesetzt werden. Die Aufstandsfläche der Einzellast soll nach Norm mit einem Quadrat von 5 cm Seitenlänge angenommen werden. Für konzentrierte Lasten aus Lagergütern, Hubeinrichtungen, Tresoren, usw. ist eine Überlagerung mit der laut Nutzlastkategorie angegebenen Flächenlast zu berechnen und nachzuweisen. Eine Darstellung der kurzzeitigen Lasten und der langzeitigen oder auch quasi-ständigen Lasten über die Zeit ist in Abbildung 2-1 zu finden. Sind mehrere Nutzlasten vorhanden, werden die sogenannten Begleiteinwirkungen mit Abminderungsfaktoren ψ abgemindert. [8] [3]

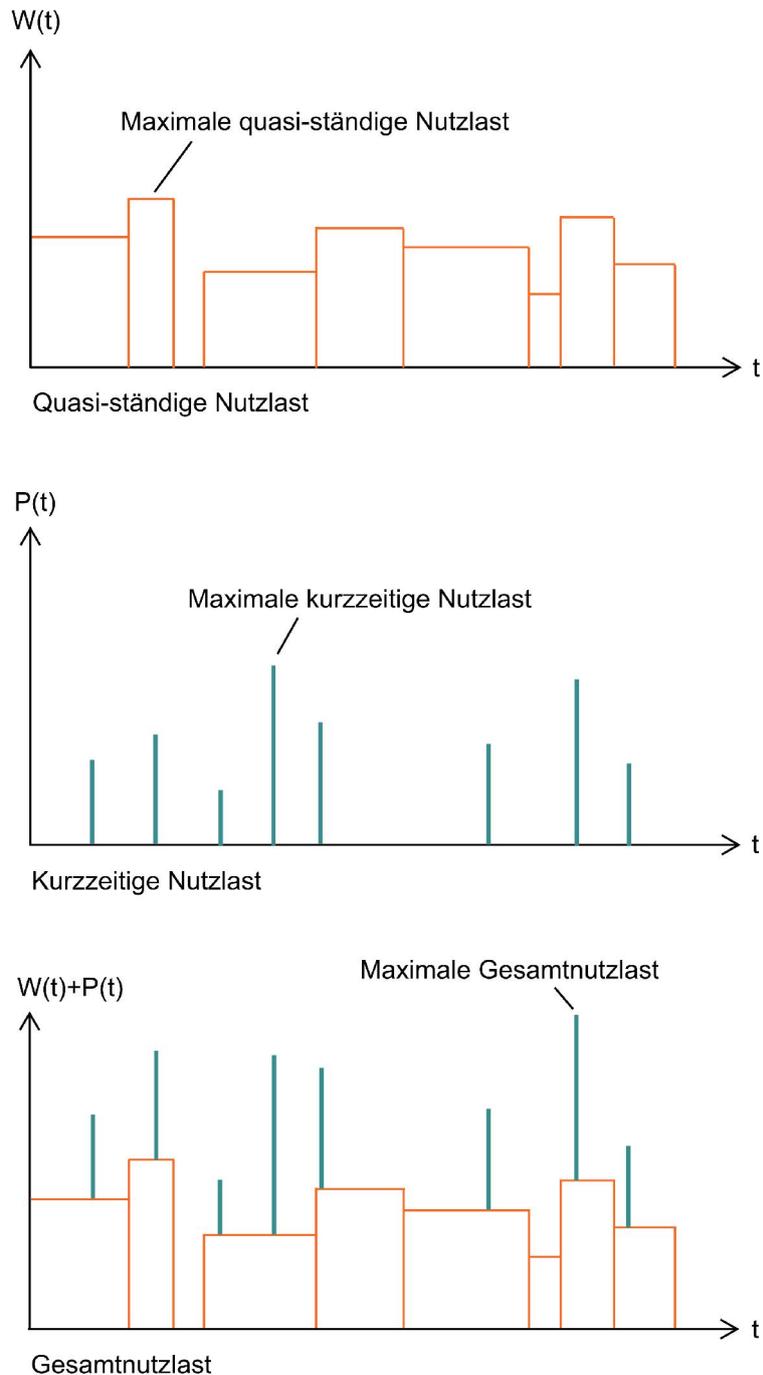


Abb. 2-1: Nutzlasten nach [3]

Bei leichten, nicht tragenden Trennwänden ist es möglich, eine gleichmäßig verteilte Ersatzlast anzusetzen. Die Last der Wand darf jedoch maximal 3 kN pro Laufmeter betragen. Es ist natürlich auch möglich, die tatsächlichen Lasten an den Stellen der Trennwände anzusetzen. [15]

In der folgenden Tabelle 2-2 sind die anzusetzenden Flächenlasten für die jeweiligen Nutzungskategorien nach ÖNORM B 1991-1-1:2017 abgebildet. Seit der Ausgabe 2017 werden Balkone, Loggien und Stiegen getrennt angeführt und setzen sich aus Nutzlast q_k plus Zuschlag Δq_k zusammen.

Tabelle 2-2: Nutzungskategorien und Lasten nach [15]

Kategorie	q [kN/m ²]	Nutzungsmerkmal	Beispiel
A		Wohnfläche	
A1	2		Räume in Wohngebäuden und -häusern, Stations- und Krankenzimmer in Krankenhäusern, Zimmer in Hotels und Herbergen, Küchen, Toiletten sowie Räume mit wohnaffiner Nutzung in bestehenden Gebäuden
A2	1,5		Flächen von nicht ausbaubaren, begehbaren Dachböden
B		Bürofläche	
	2,0		Büroflächen in bestehenden Gebäuden
	3,0		Büroflächen in Bürogebäuden
C		Fläche mit Personenansammlungen (außer Kategorie A, B und D)	
C1	3		Flächen mit Tischen u. dgl., z. B. in Cafés, Restaurants, Speisesälen, Lesezimmern, Empfangsräumen und Unterrichtsräumen von Schulen
C2	4		Flächen mit fester Bestuhlung, z. B. in Kirchen, Theatern, Kinos Konferenzräumen, Vorlesungssälen, Versammlungshallen, Wartezimmern, Bahnhofswartesälen
C3.1	5		Flächen mit mäßiger Personenfrequenz ohne Hindernisse für die Beweglichkeit von Personen, z. B. in Museen, Ausstellungsräumen u. dgl. sowie Zugangsflächen in Bürogebäuden
C3.2			Flächen mit möglicher hoher Personenfrequenz ohne Hindernisse für die Beweglichkeit von Personen, z. B. Zugangsflächen in öffentlichen Gebäuden, Schulen und Verwaltungsgebäuden, Hotels Krankenhäusern und Bahnhofshallen
C4	5		Flächen mit möglichen körperlichen Aktivitäten von Personen, z. B. Tanzsäle, Turnsäle, Bühnen

C5	5	Flächen mit möglichem Menschengedränge, z. B. in Gebäuden mit öffentlichen Veranstaltungen, wie Konzertsälen, Sporthallen mit Tribünen, Terrassen und Zugangsbereiche sowie Bahnsteige
D		Verkaufsflächen
D1	4	Flächen in Einzelhandelsgeschäften
D2	5	Flächen in Kaufhäusern

2.3 Schneelasten

Die Belastung durch Schnee ist hauptsächlich von der geographischen Lage, der Seehöhe und der Dachform des Bauwerks abhängig. Das Gewicht des Schnees selbst ist wiederum von seinem Zustand abhängig. Frisch gefallener Schnee wiegt nur etwa ein Viertel von nassem Schnee. Dadurch erklärt sich, dass Tauwetter großen Einfluss auf die tatsächliche Belastung durch Schnee hat. Für die Berechnung der Schneelast sind die Werte aus der ÖNORM EN 1991-1-3:2016 sowie ÖNORM B 1991-1-3:2018 heranzuziehen. [11]

Auf Grund von Daten aus meteorologischen Messungen wird Österreich in vier Schneelastzonen unterteilt. Durch Zuordnung zu einer Zone und der Seehöhe kann die charakteristische Schneelast am Boden ermittelt werden. Um nun die Last am Dach zu eruieren, ist noch ein Formbeiwert zu verwenden, welcher den Einfluss der Dachneigung berücksichtigt. Je steiler das Dach, desto geringer die Schneelast, da der Schnee nicht mehr liegen bleiben kann. Ab einem Winkel von 60° muss keine Schneelast mehr angesetzt werden. Vorsicht ist jedoch bei Höhengsprüngen sowie Sheddächern geboten, da sich in den Kehlen der Schnee sammelt, und somit zu einer erheblich höheren Schneelast als auf dem Rest des Daches führen kann. [11]

In ÖNORM EN 1991-1-3:2016 sind in Anhang C Karten mit den Schneelastzonen der europäischen Klimaregionen zu finden. Eine genauere Angabe der charakteristischen Schneelast ist in den jeweiligen nationalen Teilen dieser Norm zu finden. Für Österreich ist in ÖNORM B 1991-1-3:2018 in Anhang A eine Liste von ausgewählten Orten zu finden, für welche die charakteristische Schneelast, bezogen auf die Seehöhe des Ortes, angegeben wird. Der geringste Wert ist in Zone 2* in Wien Simmering und der höchste Wert in Zone 4 in St. Christoph am Arlberg in Tirol zu finden. Am einfachsten ist es allerdings die Online-Karte für Schneelasten, welche auf <https://www.hora.gv.at/> zu finden ist, zu verwenden. Hier kann die Adresse des Bauvorhabens eingegeben und die charakteristische Schneelast abgelesen werden. [16]

2.4 Windlasten

Die Belastung auf ein Bauwerk durch Wind entsteht durch die unterschiedlichen atmosphärischen Druckverhältnisse um das Objekt. Auf der vom Wind angeströmten Seite entsteht ein Überdruck (Druck) und auf der vom Wind abgewandten Seite ein Unterdruck (Sog). An den Seitenflächen entsteht durch Ablösen der Luftströmung ebenfalls ein Unterdruck. Auf Dachflächen kann es je nach Geometrie zu Über- oder Unterdruck kommen. Um die unterschiedlichen Strömungsphänomene besser beschreiben zu können, werden in der Norm die Außenflächen in verschiedene Bereiche unterteilt. In jedem Bereich wird dann ein konstanter Wert für den Winddruck bzw. Sog berechnet. [8]

Um die Windkräfte berechnen zu können ist zunächst die Basiswindgeschwindigkeit zu bestimmen. In der ÖNORM B 1991-1-4:2013 sind für ausgewählte Orte in Österreich Basiswindgeschwindigkeit und Basisgeschwindigkeitsdruck tabellarisch aufgelistet. Weiters hängt die Windeinwirkung auf ein Bauwerk von dessen Höhe und von der Geländerauigkeit ab. Um den Einfluss der Geländerauigkeit berücksichtigen zu können, gibt die Norm fünf verschiedene Geländekategorien an. Im Folgenden werden fünf Kategorien mit steigender Rauigkeit beschrieben. (vergl. ÖNORM EN 1991-1-4:2011, Anhang A.1)

Geländekategorie 0 steht für Küstengebiete an der offenen See (Kategorie 0 kommt in Österreich nicht vor).

Geländekategorie 1 beschreibt Gebiete mit geringer Vegetation ohne Hindernisse (Kategorie 1 kommt in Österreich nicht vor).

Geländekategorie 2 wird bei Gebieten mit niedriger Vegetation und einzelnen Hindernissen mit Abständen größer als die 20-fache Objekthöhe angenommen.

Geländekategorie 3 steht für Flächen mit Bebauung oder Vegetation bei denen die Objekte näher als die 20-fache Objekthöhe beieinander sind. Darunter fallen Dörfer, Gemeinden, Stadtrandgebiete oder Wälder.

Geländekategorie 4 wird angewendet, wenn min. 15 % der Fläche mit Gebäuden, deren mittlere Höhe mehr als 15 m beträgt, bebaut sind. Dies ist im städtischen Bereich der Fall.

2.5 Erdbebenlasten

Die Ursache der meisten Erdbeben ist auf die Plattentektonik zurückzuführen. Verschieben sich die einzelnen Platten gegeneinander, entstehen an den Plattengrenzen Spannungen. Werden diese Spannungen zu groß, kommt es zu einem Bruch und die Spannungen entladen sich in Form eines Bebens. An der Oberfläche wird dies als Erschütterung wahrgenommen. Die Bewegungen der Erdoberfläche werden über die Fundamente in die Bauwerke übertragen und verursachen dadurch dort Kräfte. Um

die Sicherheit von Personen zu gewährleisten und Schäden auf ein akzeptables Maß zu begrenzen, müssen diese Kräfte vom Bauwerk aufgenommen werden. Durch Aufnahme der Kräfte treten geometrische Verformungen des Gebäudes auf, welche als Eigenschwingungsformen bezeichnet werden. Diese Eigenschwingungsformen sind von der Eigenfrequenz des Objektes abhängig. Je größer die Steifigkeit eines Gebäudes, desto schwerer ist es dieses zu seinen Eigenschwingungen anzuregen.

Um ein Bauwerk auf Erdbebensicherheit bemessen zu können, wird es meist in einem FE-Programm modelliert und mittels sogenanntem Antwortspektrumverfahren berechnet. Dabei wird eine Gesamterdbebenlast ermittelt und gemäß der Bauwerksteifigkeit auf das Bauwerk aufgeteilt. Um diese Last bestimmen zu können, wird das komplexe Tragwerk durch ein stark vereinfachtes dynamisches System ersetzt. Die so erhaltenen Lasten werden anschließend an konzentrierten Punkten, bei Hochbauten meist die Geschoßdecken, angesetzt und damit das Bauwerk bemessen. [8]

Für die Berechnung ist es notwendig, die Beschleunigung des Bodens zu kennen. Hierfür gibt die Norm verschiedene Erdbebenzonen für Österreich an. Jeder Zone ist eine bestimmte Referenzbeschleunigung zugeordnet. In ÖNORM B 1991-1-8:2017 wird für ausgewählte Orte in Österreich die Referenzbeschleunigung angegeben. Grob kann die Referenzbeschleunigung auch aus der Erdbebenzonenkarte, welche Österreich in fünf Erdbebenzonen teilt, abgelesen werden. Es kann auch die Onlinekarte auf <https://www.hora.gv.at/> verwendet werden. Hier muss lediglich die Adresse eingegeben werden und schon kann die Referenzbeschleunigung für den Standort des Bauwerks abgelesen werden. [18]

3. SICHERHEITSKONZEPT UND EINWIRKUNGSKOMBINATIONEN

3.1 Grundlegende Begriffe (ÖNORM EN 1990:2013, 1.5)

Die folgenden Begriffsbestimmungen wurden direkt aus der ÖNORM EN 1990:2013 entnommen und sollen dem besseren Verständnis der in den nächsten Unterkapiteln beschriebenen Konzepte und Nachweisverfahren dienen (vergl. ÖNORM EN 1990:2013, 1.5)

Bauart

Gibt die hauptsächlich verwendeten tragenden Baustoffe an, z. B. Stahlbetonbau, Stahlbau, Holzbau, Mauerwerksbau, Verbundbau.

Bauteil

Physisch unterscheidbarer Teil des Tragwerks, z. B. ein Träger, eine Deckenplatte, ein Gründungspfahl.

Bauwerk

Alles, was baulich erstellt wird oder von Bauarbeiten herrührt.

Bemessungskriterien

Quantitative Aussagen, welche die für jeden Grenzzustand zu erfüllenden Bedingungen beschreiben.

Bemessungssituationen

Eine Reihe von physikalischen Bedingungen, ersatzweise für die wirklichen Bedingungen innerhalb eines bestimmten Zeitabschnitts angenommen werden kann, für die die Tragwerksplanung nachweist, dass maßgebende Grenzzustände nicht überschritten werden.

Einwirkungen

Eine Gruppe von Kräften (Lasten), die auf ein Tragwerk wirken (direkte Einwirkung). Eine Gruppe von aufgezwungenen Verformungen oder Beschleunigung, die z. B. durch Temperaturänderungen, Feuchtigkeitsänderung, ungleiche Setzung oder Erdbeben hervorgerufen werden (indirekte Einwirkung).

Geplante Nutzungsdauer

Angenommener Zeitdauer, innerhalb der ein Tragwerk unter Berücksichtigung vorgesehener Instandhaltungsmaßnahmen für seinen vorgesehenen Zweck genutzt werden soll, ohne dass jedoch eine wesentliche Instandsetzung erforderlich ist.

Grenzzustände

Zustände, bei deren Überschreitung das Tragwerk die Entwurfsanforderungen nicht mehr erfüllt.

Lastfall

Untereinander verträgliche Lastanordnungen, Verformungen und Imperfektionen mit vorgegebenen veränderlichen und ständigen Einwirkungen, die für einen bestimmten Nachweis gleichzeitig zu berücksichtigen sind.

Ständige Einwirkung (G)

Eine Einwirkung, von der vorausgesetzt wird, dass sie während der gesamten Nutzungsdauer wirkt und deren zeitliche Größenänderung gegenüber dem Mittelwert vernachlässigbar ist oder bei der die Änderung bis zum Erreichen eines bestimmten Grenzwertes immer in der gleichen Richtung (gleichmäßig) stattfindet.

Tragfähigkeit

Mechanische Eigenschaft eines Bauteils oder eines Bauteilquerschnitts im Hinblick auf Versagensformen, z. B. Biegewiderstand, Knickwiderstand, Zugwiderstand.

Tragwerk

Planmäßige Anordnung miteinander verbundener Bauteile, die so entworfen sind, dass sie ein bestimmtes Maß an Tragfähigkeit und Steifigkeit aufweisen.

Tragwerksmodell

Idealisierung des Tragsystems zum Zwecke der Berechnung und Bemessung.

Veränderliche Einwirkung (Q)

Eine Einwirkung, deren zeitliche Größenänderung nicht vernachlässigbar ist oder für die die Änderung nicht immer in der gleichen Richtung stattfindet.

Zuverlässigkeit

Fähigkeit eines Tragwerks oder Bauteils die festgelegten Anforderungen innerhalb der geplanten Nutzungszeit zu erfüllen. Die Zuverlässigkeit wird i. d. R. mit probabilistischen Größen ausgedrückt.

3.2 Nachweis mittels zulässiger Spannungen

Eine der ersten Methoden, um die Tragfähigkeit von Bauteilen rechnerisch nachweisen zu können, war der Vergleich mit zulässigen Spannungen. Hierfür ist es notwendig die maximal aufnehmbaren Spannungen für einen Baustoff zu kennen. Diese können aus Belastungsversuchen ermittelt werden und geben an, welche Spannung ein Baustoff aufzunehmen vermag. Um die vorhandene Spannung in einem Querschnitt berechnen zu können, bedarf es an Kenntnissen aus der Statik, Mechanik sowie Festigkeitslehre. Zu Beginn war es nur möglich, die Schnittgrößen von statisch bestimmten Systemen zu berechnen. Mit der Zeit wurden verschiedene Methoden entwickelt, um auch statisch unbestimmte Systeme berechnen zu können. Zunächst war die Berechnung auf Stabtragwerke beschränkt, wurde aber allmählich auch auf Flächentragwerke erweitert. Um die mittels geeignetem Berechnungsverfahren ermittelten Schnittgrößen in Spannungen des Querschnittes umrechnen zu können, ist es notwendig, die Gesetze der Festigkeitslehre anzuwenden, welche auf dem Ebenbleiben der Querschnitte und dem linearen Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung beruhen. Um den maximalen Spannungswert zu erhalten, müssen die einzelnen Spannungszustände aus Biegung um die beiden Achsen und aus der Normalkraft addiert werden. Der erhaltene Wert sollte nun betragsmäßig kleiner als der für den Baustoff zulässige Spannungswert sein. [21]

3.3 Globales Sicherheitskonzept

Um die Abweichungen auf Seiten der Materialkennwerte und die Unsicherheiten auf der Einwirkungsseite abzudecken, wurde ein globaler Sicherheitsfaktor eingeführt. Dieser Faktor wird mit der einwirkenden Belastung multipliziert oder die zulässige Spannung wird durch den Faktor dividiert. Die Abweichungen auf der Materialseite können auf Grund der Herstellung des Baustoffes bzw. durch Unregelmäßigkeiten bei der Entstehung, wie z. B. beim Wachstum von Holz, auftreten. Die Unsicherheiten auf der Einwirkungsseite können, z. B. durch Änderung des Feuchtegehaltes eines Baustoffes, auftreten. Bei Verbundwerkstoffen kann der Anteil des Verbundstoffes das Gesamtgewicht erhöhen, wie z. B. bei hoch bewehrten Stahlbetonbauteilen. Bei den veränderlichen Lasten kann es durch eine unsachgemäße Nutzung oder bei zu vielen Personen in einem Raum, zu einer höheren Last als der berechneten, kommen. Damit auch bei Aufeinandertreffen der ungünstigsten Zustände nicht ein Versagen des Tragwerks eintritt, muss der globale Sicherheitsbeiwert in der Lage sein, die gesamten Streuungen abzudecken. [21]

3.4 Teilsicherheitskonzept

3.4.1 ANFORDERUNGEN UND EINWIRKUNGEN

Um die einzelnen Streuungen auf Seite des Materials und auf Seite der Einwirkungen besser erfassen zu können, wurden Teilsicherheitsbeiwerte eingeführt. Für die Einwirkungsseite wurde eine weitere Unterteilung vorgenommen, um zwischen ständigen und veränderlichen Lasten unterscheiden zu können. Aufgabe des Sicherheitskonzeptes ist es ein Berechnungsverfahren anzugeben, mit dem einerseits die notwendige Bauwerkssicherheit gewährleistet wird und andererseits ein möglichst wirtschaftliches Bauen angestrebt wird. Anders als beim deterministischen Sicherheitskonzept wird beim probabilistischen Sicherheitskonzept eine Häufigkeitsverteilung und nicht ein einzelner Wert angegeben. Dies gilt sowohl für die Einwirkung, als auch für den Widerstand des Baustoffes. In Abbildung 3-1 sind die Verteilungsfunktionen von Einwirkung und Widerstand dargestellt. Die Schnittfläche der beiden Kurven stellt die Versagenswahrscheinlichkeit p_f dar. [8] [4]

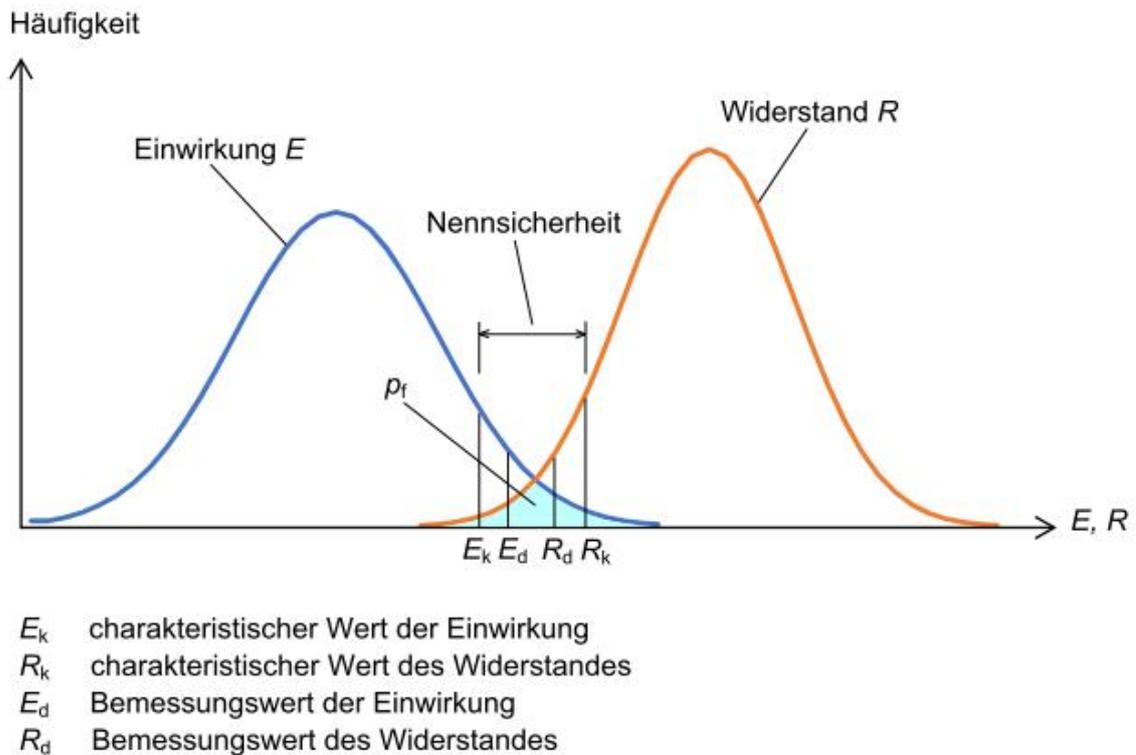


Abb. 3-1: Verteilungsfunktion von Einwirkung und Widerstand nach [4]

Die absolute Sicherheit eines Bauwerks gegen Versagen kann, wie aus Erfahrungen bekannt ist, in der Realität nicht erreicht werden. Dies wird auch durch die beiden Kurven in Abbildung 2 wiedergegeben, da sie, auch bei beliebiger Entfernung voneinander, immer eine gemeinsame Schnittfläche haben. Es wird deshalb versucht die Versagenswahrscheinlichkeit auf ein für den Menschen akzeptables Maß zu reduzieren. In der Norm wird in Abhängigkeit des Grenzzustandes und des Bezugszeitraumes ein Zuverlässigkeitsindex β angegeben, welcher in direktem Zusammenhang mit der Versagenswahrscheinlichkeit p_f steht. [4]

Da für einen solchen Nachweis eine große Menge an Daten für Einwirkungs- und Widerstandsseite vorhanden sein muss und dies in den meisten Fällen nicht gegeben ist, gibt die Norm ein vereinfachtes Berechnungsverfahren für die Nachweise von Bauwerken an.

3.4.2 GRENZZUSTÄNDE DER TRAGFÄHIGKEIT

Beim Grenzzustand der Tragfähigkeit geht es in erster Linie um den Schutz von Personen. Das heißt, dass bei Überschreiten dieses Grenzzustandes Menschen akut gefährdet sein können. Es kann auch der Schutz von Gegenständen in Bauwerken einen solchen Zustand definieren, dies ist allerdings gesondert festzulegen. [4]

Um ein Bauwerk oder ein Bauteil für die Grenzzustände der Tragfähigkeit nachzuweisen, müssen laut ÖNORM EN 1990:2013 folgende Punkte eingehalten werden (vergl. ÖNORM EN 1990:2013):

- *Lagesicherheit des starren Körpers, d. h. Nachweis gegen Kippen, Gleiten, Abheben, usw.*
- *Tragfähigkeit gegenüber übermäßiger Verformung bzw. Bruch, sowie Ermüdung der Baustoffe*
- *Stabilität der einzelnen Bauteile sowie des gesamten Tragwerks*

Der Nachweis der Lagesicherheit spielt im Hochbau nur eine untergeordnete Rolle, da selten Einwirkungen vorhanden sind, welche die Lagesicherheit des Bauwerks oder Bauteils gefährden. Genauere Betrachtungen sind im Grund- und Wasserbau vorzunehmen, da es in diesen Bereichen in Folge von Erd- und Wasserdruck durchaus zu einem Verlust der Lagesicherheit kommen kann.

Der Nachweis gegen Bruch oder durch übermäßige Verformung ist der im Hochbau am meisten vorkommende. Die übermäßige Verformung kann nur bei ausreichend Duktilität des Baustoffes auftreten und hat bei weiterer Laststeigerung den Bruch des Bauteils zur Folge. Diese starke Verformung eines Bauteils hat den Vorteil, dass ein totales Versagen durch einen Bruch vorher angekündigt wird. Somit ist es möglich Maßnahmen zu treffen, um ein totales Versagen zu verhindern bzw. können sich die im Gebäude befindlichen Personen rechtzeitig in Sicherheit bringen. Anders ist dies bei einem Sprödebruch, welcher ohne Vorankündigungen eintritt. Daher sind für solche Materialien höhere Teilsicherheitsbeiwerte als für Materialien mit duktilem Verhalten vorgesehen. [4]

Ebenfalls ein schlagartiges Versagen hat der Verlust der Stabilität eines Bauteils zur Folge. Ob eine Stabilitätsgefährdung des Bauteils oder des Bauwerks vorliegt, ist vom statischen System und von der Belastung abhängig. Stabiles Gleichgewicht liegt vor, wenn das System nach geringer Auslenkung aus der Gleichgewichtslage, nach Entfernen der Last, wieder in die Ausgangslage zurückkehrt. Versagen durch Verlust der Stabilität kann z. B. in Form von Ausknicken eines Druckstabes oder Biegedrillknicken (früher auch als Kippen bezeichnet) eines Trägers auftreten. Auch hier sind auf Grund des plötzlichen Auftretens ohne jegliche Vorankündigung erhöhte Materialicherheiten zu verwenden. Um die Ungenauigkeit bei der Herstellung der Bauteile bzw. beim Einbau auf der Baustelle Rechnung zu tragen, werden in der ÖNORM EN 1990:2013 Verfahren angegeben, mit denen diese Abweichungen vom idealisierten Tragwerk berücksichtigt werden können. Um die Momente zufolge Normalkraft am geraden Druckstab berücksichtigen zu können, ist die Berechnung am verformten System notwendig. Diese Berechnung wird als Theorie 2. Ordnung bezeichnet. [4]

Der Übergang in einen kinematischen Zustand kann bei statisch unbestimmten Systemen von Bedeutung sein, da bei gewissen Voraussetzungen die Überlastung eines Tragwerksabschnittes durch Umlagerung der Kräfte von einem anderen Tragwerksteil aufgenommen werden kann. Voraussetzung ist jedoch zum einen, dass ein ausreichend duktiler Werkstoff vorhanden ist und dass der Querschnitt über genügend Rotationsfähigkeit verfügt und dass zum anderen noch Tragfähigkeitsreserven im System vorhanden sind. [4]

3.4.3 GRENZZUSTÄNDE DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

Als Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden laut ÖNORM EN 1990:2013 Zustände bezeichnet, welche folgenden Punkte umfassen (vergl. ÖNORM EN 1990:2013):

- *die Funktion des Tragwerks oder seiner Teile unter normalen Gebrauchsbedingungen*
- *das Wohlbefinden der Nutzer*
- *das Erscheinungsbild des Bauwerks*

Es wird zwischen umkehrbaren und nicht umkehrbaren Zuständen unterschieden. Letztere sind in jedem Fall zu vermeiden. Bei umkehrbaren Grenzzuständen befinden sich die Baustoffe des Bauteils noch im elastischen Bereich, das heißt, es bleiben keine dauerhaften Verformungen nach Entfernen der Last bestehen. Anders ist dies bei nicht umkehrbaren Grenzzuständen. Hier befindet sich der Baustoff bereits im plastischen Bereich oder hat sogar schon infolge eines Bruches versagt. Aus diesem Grenzzustand kehrt der Bauteil nicht mehr in seinen ursprünglichen Zustand zurück, was auch deutlich macht, weshalb die nicht umkehrbaren Grenzzustände unbedingt vermieden werden sollten.

Die Verformung und die Verschiebung können das Erscheinungsbild und in weiterer Folge auch das Wohlbefinden der Nutzer beeinträchtigen. Bei großen Durchbiegungen von Trägern kann es den Eindruck erwecken, die Konstruktion sei nicht ausreichend dimensioniert. Außerdem kann die Funktion des Bauteils unter Umständen nicht mehr gegeben sein. Ein Beispiel wäre die Durchbiegung oder einseitige Absenkung eines Flachdaches, so dass die geplante Entwässerung nicht mehr sachgemäß funktioniert. Auch angrenzende Bauteile können durch zu große Verformungen eines tragenden Bauteils in Mitleidenschaft gezogen werden. Dies kann bei Deckenaufleger von Stahlbetondecken auf Mauerwerk der Fall sein. Eine zu große Durchbiegung führt zu einer zu großen Kantenpressung an der Innenseite des Auflagers, wodurch es zu Abplatzungen des Mauerwerks kommen kann. An der Außenseite hebt die Decke im Gegenzug ab und kann dadurch Risse an der Außenseite der Wand erzeugen. [4]

Schwingungen sind ein weiterer Punkt, welcher im Zuge der Gebrauchstauglichkeit zu untersuchen ist. Zu starke Schwingungen von Bauwerken lösen ein unbehagliches Gefühl bei den Nutzern aus. Dies gilt für Frequenzen bis etwa drei Herz, daher werden Eigenfrequenzen von Bauteilen und Bauwerken

angestrebt, die höher sind und somit keine Resonanz in diesem Bereich auftreten kann. Es kann auch die Funktionsfähigkeit eines Bauwerks durch den Einfluss von Schwingungen beeinträchtigt werden. Das kann bei maschineninduzierten Schwingungen der Fall sein, aber auch windinduzierte Schwingungen bei turmartigen Bauwerken oder Brücken können hier eine Rolle spielen, wenn die Erregerfrequenz zu nahe an der Eigenfrequenz des Bauwerks liegt. Um das Auftreten von Resonanzen zu vermeiden, müssen die Eigenfrequenzen weit genug von den Erregerfrequenzen entfernt sein. [4]

4. BISHERIGE NUTZLASTMESSUNGEN

4.1 Charles G. Culver (1976)

In der Arbeit werden Brandlast und Nutzlast in Bürogebäuden in den USA untersucht. Die Zusammenfassung der Ergebnisse bezieht sich nur auf die Nutzlasten, da die Brandlasten für die vorliegende Arbeit nicht von Bedeutung sind.

Für die Messungen wurden 23 beliebig ausgewählte Bürogebäude in den USA herangezogen. Es wurden sowohl Regierungs- als auch Privatgebäude untersucht, wobei keine markanten Unterschiede zwischen den Gebäudenutzungen bezüglich Nutzlast und Brandlast festgestellt werden konnten. Bei den Messungen wurden unter anderem die Raumnutzung, die Fläche, die Einrichtungsgegenstände und deren Beschaffenheit festgehalten. Die Belastung durch Personen wurde nicht berücksichtigt. Es wurden außerdem die Einflüsse der Gebäudebeschaffenheit, das Nutzerverhalten und die Raumnutzung auf die Nutzlasten untersucht. Unter dem Punkt Gebäudeeigenschaften wurde versucht, die geographische Lage und die Höhe der Gebäude in Zusammenhang mit der Nutzlast zu bringen. Es konnten jedoch keine klaren Zusammenhänge zwischen den Werten festgestellt werden. Beim Nutzerverhalten wurde zum einen zwischen Regierungs- und Privatgebäuden und zum anderen zwischen den Typen von Firmen, welche die Büros nutzen, unterschieden. Für die Typen von Firmen wurde Nutzungszeitraum für ein Büro und in weiterer Folge der Zusammenhang zwischen Nutzungszeitraum und Belastung untersucht. Ein signifikanter Unterschied der Lasten in Regierungs- und Privatgebäuden konnte bei der Auswertung der Daten nicht festgestellt werden. Der Mittelwert der Lasten in Bezug auf den Nutzungszeitraum änderte sich kaum, jedoch stieg die Schwankungsbreite der Lasten mit Abnahme der Nutzungsdauer stark an. Der Vergleich einer Nutzlastmessung im NBS Administration Building aus dem Jahr 1967 mit einer Messung aus dem Jahr 1974 zeigt einen Anstieg des Mittelwertes der Nutzlast um 31 %. In Tabelle 4-1 sind die Mittelwerte der Nutzlasten in den Räumen und der Bezugszeitraum dargestellt (Werte aus [7] übernommen und in SI-Einheiten umgerechnet). [7]

Tabelle 4-1: Mittelwerte der Nutzlasten nach [7]

Jahr der Messung	Bezugszeitraum [a]	Anzahl der gem. Räume	Mittelwert [kN/m ²]	Standardabw. [kN/m ²]
1967	2	252	0,570	0,249
1974	9	149	0,752	0,388

Tabelle 4-2 stellt Messungen der Lasten sowie Flächen und deren Quotient in den einzelnen Geschossen gegenüber (Werte aus [7] übernommen und in SI-Einheiten umgerechnet).

Tabelle 4-2: Nutzlasten in den Geschößen nach [7]

Geschoß	Messung 1967			Messung 1974		
	Gesamtlast Q [kN]	Gesamt- fläche A [m ²]	Q/A [kN/m ²]	Gesamtlast Q [kN]	Gesamt- fläche A [m ²]	Q/A [kN/m ²]
EG	292,3	1038,4	0,282	-	-	-
1. OG	-	-	-	-	-	-
2. OG	245,6	544,3	0,450	355,7	563,0	0,632
3. OG	392,6	552,5	0,709	525,9	538,4	0,977
4. OG	359,6	560,8	0,642	364,5	540,2	0,675
5. OG	275,1	561,1	0,488	423,1	569,6	0,742
6. OG	489,7	548,1	0,895	454,0	558,3	0,814
7. OG	397,4	556,4	0,713	-	-	-
8. OG	422,5	583,7	0,723	401,2	432,0	0,929
9. OG	341,9	583,7	0,608	-	-	-
10. OG	254,9	557,0	0,460	-	-	-
11. OG	191,4	513,9	0,373	234,1	560,2	0,417

Die Lasten in Geschoß 2 wurden nicht erhoben, da dies ein Haustechnikgeschoß ist. Es wird keinen Grund für die fehlenden Daten von EG, 7. OG, 9. OG und 10. OG in der 1974 durchgeführten Messung in der Arbeit von Culver angegeben. Der Anstieg der Nutzlasten mit der Nutzungsdauer ist zwar für das NBS Administration Building gegeben, spiegelt sich jedoch nicht in den restlichen Messergebnissen wieder. Das heißt, es zeichnet sich kein Anstieg des Durchschnittswertes der Nutzlasten von mehreren Gebäuden in einem bestimmten Zeitintervall ab. [7]

Im Gegensatz zu den ersten beiden Parametern hat die Raumnutzung einen eindeutigen Einfluss auf die Nutzlast. Es sollte allerdings berücksichtigt werden, dass für gewisse Raumtypen nur eine geringe Anzahl an Daten vorliegt und deshalb eine Verzerrung der Ergebnisse vorliegen kann. Bibliotheken, Aktenräume und Lagerräume haben die höchsten Nutzlasten und Konferenzräume und Empfangsräume die niedrigsten. Dies gilt sowohl für Regierungs- als auch für Privatgebäude. In Tabelle 4-3 sind die Einflüsse der Raumnutzung auf die Nutzlast dargestellt (Werte aus [7] übernommen und in SI-Einheiten umgerechnet). [7]

Tabelle 4-3: Nutzlast in Abhängigkeit der Raumnutzung nach [7]

Raumnutzung	Regierungsgebäude		Privatgebäude	
	Mittelwert [kN/m ²]	Standardabw. [kN/m ²]	Mittelwert [kN/m ²]	Standardabw. [kN/m ²]
Büro	0,474	0,282	0,417	0,235
Sekretariat	0,488	0,335	0,479	0,330
Foyer	0,110	0,072	0,220	0,230
Konferenzraum	0,244	0,335	0,292	0,239
Aktenzimmer	1,293	0,780	1,168	0,919
Lageraum	0,790	1,116	0,742	0,661
Bibliothek	1,642	0,134	1,192	0,469
Gesamt	0,493	0,450	0,464	0,388

Der Einfluss der Raumgröße auf die vorhandene Nutzlast ist ebenfalls untersucht worden. Es wurde ein leichter Rückgang der Nutzlast in Sekretariaten und Büroräumen mit Zunahme der Fläche festgestellt. Bei den anderen Räumen ist kein Bezug zwischen Raumgröße und Nutzlast zu erkennen. Dies mag allerdings auch an den geringen Datenmengen liegen, welche für die anderen Räume zu Verfügung standen. Um die verschiedenen Kombinationen von Einflüssen aus Raumnutzung, Raumfläche, Gebäudehöhe, geographische Lage, Nutzungszeitraum, Gebäudealter und Firmentyp auf einen Zusammenhang mit der Nutzlast zu untersuchen, wurde ein Computerprogramm verwendet. Dabei hat sich gezeigt, dass nur die Raumnutzung eine bedeutende Rolle spielt. Der Mittelwert der Nutzlast für alle 1354 Räume beträgt umgerechnet 0,474 kN/m² und die Standardabweichung 0,412 kN/m². Die Auswertung der Messungen ergab folgende Gleichung für die Bestimmung des Mittelwertes der Nutzlast (Gleichung aus [7] übernommen):

$$\text{Mittelwert der Nutzlast [kN/m}^2\text{]} = 0,661 - 0,220 * x_1 - 0,177 * x_2 - 0,469 * x_3 - 0,388 * x_4 + + 0,551 * x_5 + 0,096 * x_6 + 0,608 * x_7$$

In Tabelle 4-4 ist der Zusammenhang zwischen der Variablen x_i und der Raumnutzung dargestellt. Außerdem wurde die Formel ausgewertet, in dem das x_i der jeweiligen Raumnutzung den Wert 1 erhält und alle anderen x_k gleich Null gesetzt werden. [7]

Tabelle 4-4: Auswertung der Nutzlast für Raumnutzung nach [7]

Variable	Raumnutzung	Mittelwert der Nutzlast [kN/m ²]
X ₁	Büroraum	0,440
X ₂	Sekretariat	0,484
X ₃	Foyer	0,192
X ₄	Konferenzraum	0,273
X ₅	Aktenzimmer	1,211
X ₆	Lagerraum	0,757
X ₇	Bibliothek	1,269

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Lage, Höhe and Alter eines Gebäudes keinen Einfluss auf die Nutzlast haben. Auch zwischen privaten und Regierungsgebäuden gibt es keinen eindeutigen Unterschied. Einzig die Raumnutzung zeigt einen klaren Einfluss auf die Nutzlast, wobei Bibliotheken, Aktenräume und Lagerräume die höchste Nutzlast aufweisen und Empfangs- und Konferenzräume die niedrigste. Außerdem konnte eine höhere Belastung nahe den Wänden festgestellt werden.

4.2 Baumgart, Hosser und König (1986)

In dem Forschungsbericht wurden die vorhandenen Nutzlasten in Wohngebäuden erfasst und mit den Werten in der Norm verglichen. Hierfür wurden mehrere bereits durchgeführte Lastmessungen analysiert und die Kernaussagen wiedergegeben. Zusätzlich wurden eigene Nutzlastmessungen in Wohnungen in Deutschland durchgeführt, um die verwendeten Daten aus den anderen Lastmessungen zu verifizieren bzw. zu vervollständigen.

Beim Lastbeschreibungskonzept wird zwischen quasiständigen und kurzzeitigen Lastanteilen unterschieden. Zu den quasiständigen Lasten werden Einrichtungsgegenstände und die üblich anwesenden Personen sowie bewegliche Güter gezählt. Zu den kurzzeitigen Lasten zählen Personenansammlungen auf Grund von Feierlichkeiten oder Notsituationen, sowie Stapelung von beweglichen Gegenständen im Zuge von Renovierungsarbeiten. [3]

Im folgenden Abschnitt werden die zusammengefassten Arbeiten nochmal kurz wiedergegeben. Die Messungen dieser Berichte wurden in den Jahren 1950 bis 1975 durchgeführt. Als erste Arbeit wird die von Johnson aus dem Jahr 1952 angeführt. Hier wurden 139 Wohnungen in Stockholm und dessen Umgebung gemessen. Es wurde zwischen Wohnraum, Schlafrum und Küche unterschieden, wobei

die Belastung durch die Mieter nicht berücksichtigt wurde. In Tabelle 4-5 sind die Mittelwerte der gemessenen Lasten dargestellt.

Tabelle 4-5: Messungen von Johnson nach [3]

Raum	mittlere Größe [m ²]	Anzahl	mittlere Last [kN/m ²]
Wohnraum	22	123	0,265
Schlafraum	13	205	0,235
Küche			0,248
Gesamt (ohne Küchen)	18	371	0,248

Um die kurzzeitigen Lasten durch Personen zu erfassen, wurden die Familien nach den maximal anwesenden Personen befragt. Da nicht festzustellen war, in welchen Räumen sich die Personen aufhielten, wurden die Lasten auf eine Fläche von 30 m² bezogen. [3]

In der Arbeit von Karman aus dem Jahr 1966 wurden 183 Wohnungen mit insgesamt 830 Räumen untersucht. Die Wohnungen lagen in Budapest und Umgebung und hatten eine gesamte Fläche von 12545 m². Etwa die Hälfte waren Wohnhäuser und die andere Hälfte Wohnungen in Apartmenthäusern. Bei der Auswertung wurden nur die quasi-ständigen Lastanteile berücksichtigt. Die Auswertung der Messungen für die quasi-ständigen Lasten ohne Mieteranteil ergab einen Mittelwert von 0,358 kN/m² und eine Standardabweichung von 0,156 kN/m². Die Auswertung mit Mieteranteil ergab einen Mittelwert von 0,545 kN/m² und eine Standardabweichung von 0,182 kN/m². Aus den Messungen geht ebenfalls hervor, dass die Lastintensität mit zunehmender Fläche einen geringen Rückgang erfährt. [3]

Die Arbeit von Paloheimo und Ollila aus dem Jahr 1973 beinhaltet 40 Lastmessungen in Appartements in und um Helsinki. Es wurde das Gewicht der gesamten Einrichtung festgehalten und durch Befragungen die normal sowie maximal anwesenden Personen ermittelt. In Tabelle 4-6 sind die Ergebnisse der Messungen, unterteilt in quasi-ständige und kurzzeitige Lastanteile, dargestellt. [3]

Tabelle 4-6: Messungen von Paloheimo und Ollila nach [3]

Dauer der Nutzlast	Einwirkung	Mittelwert [kN/m ²]	Standardabw. [kN/m ²]
quasi-ständig	Mieter	0,036	0,019
	Einrichtung	0,235	0,067
	Gesamt	0,236	0,098
kurzzeitig	Mieter	0,272	0,066

In der Arbeit von Sentler aus dem Jahr 1974 wurden 120 Wohnungen in Stockholm und dessen Umgebung zu Lastmessungen herangezogen. Da die meisten Wohnungen in den Vororten von Stockholm um etwa 20 Jahre später als die Wohnungen in Stockholm, gebaut wurden, sind aus Aktualitätsgründen, in der hier beschriebenen Arbeit, nur die neueren Wohnungen berücksichtigt worden. In Tabelle 4-7 sind die Werte der einzelnen Räume der Vollständigkeit halber für Wohnungen erbaut vor 1940 und für Wohnungen erbaut nach 1940 dargestellt. [3]

Tabelle 4-7: Messungen von Sentler nach [22]

Baujahr	Raumnutzung	Anzahl	Mittelwert [kN/m ²]	Standardabw. [kN/m ²]
Vor 1940	Wohnzimmer	65	0,318	0,124
	Schlafzimmer	73	0,264	0,112
	Flur	14	0,202	0,088
	Alle Räume	152	0,289	0,121
Nach 1940	Wohnzimmer	67	0,266	0,096
	Schlafzimmer	89	0,198	0,079
	Flur	33	0,086	0,089
	Alle Räume	189	0,227	0,093

Eine zusammenfassende Auswertung der vier Arbeiten ist in Tabelle 4-8 dargestellt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Messergebnisse unter anderem von der Probenzusammensetzung und der Auswertungsmethode abhängen.

Tabelle 4-8: Zusammenfassung der vier Arbeiten nach [3]

Auswertung von	Quasi-ständige Last		Kurzzeitige Last	
	Mittelwert [kN/m ²]	Standardabw. [kN/m ²]	Mittelwert [kN/m ²]	Standardabw. [kN/m ²]
Paloheimo A _{ges} = 2500 m ² A _m = 62 m ²	0,235 (0,236)	0,067 (0,098)	0,272	0,066
Johnson A _{ges} = 7400 m ² A _m = 18 m ²	0,248 (0,300)	0,099 (0,122)	0,294 A _m = 30 m ²	0,147
Sentler A _{ges} = 3800 m ² A _m = 18 m ²	0,230 (0,285)	0,093 (0,118)		
Karman A _{ges} = 12500 m ²	0,358 (0,545)	0,156 (0,182)		
Gesamtmittel A _{ges} = 26200 m ²	0,296 (0,409)	0,122 (0,148)	0,288	0,127
Gesamtmittel ohne Karman A _{ges} = 13700 m ²	0,024 (0,284)	0,092 (0,117)	0,288	0,127
Die Werte in Klammer sind inklusive Mieter				

Der nächste Abschnitt geht auf die im Zuge der hier beschriebenen Arbeit durchgeführten Nutzlastmessungen ein. Es wurden dabei 30 Wohnungen gemessen um unter anderem feststellen zu können, ob die Werte der oben angeführten Arbeiten auch für Deutschland repräsentativ sind. [3]

Für die Messung der quasiständigen Lasten wurden Standort, Fläche und natürlich Gewicht aller Einrichtungsgegenstände gemessen. Um die kurzzeitigen Lasten beschreiben zu können, wurden die

maximale Personenzahl, die Dauer und die Häufigkeit, mit der solche Ereignisse auftreten, ermittelt. Für die Auswertung wurden Histogramme der quasi-ständigen Lasten, bezogen auf den Raum und bezogen auf die Wohnung, erstellt. Außerdem wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen Einzugsfläche und quasi-ständigen Lasten bzw. kurzzeitigen Lasten besteht. Ebenfalls wurde überprüft, ob sich die quasiständigen und die kurzzeitigen Lasten gegenseitig beeinflussen. [3]

In diesem Absatz wird versucht die Auswertung der Analysen zusammenzufassen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der quasi-ständigen Lasten der Räume waren höher als bei den Vergleichsarbeiten. Die Differenz verringert sich jedoch bei Bezug auf die Wohnungsfläche. Als mögliche Ursache für diese erhöhten Werte werden Schätzfehler der schweren Gegenstände angeführt. Eine Abnahme der Flächenlast mit zunehmender Fläche kann für die Räume bestätigt werden, für die Wohnungen ist dies jedoch nicht der Fall. [3]

Bei kurzzeitigen Lasten durch Personenansammlungen ist auch ein Rückgang des Mittelwertes und der Standardabweichung von Bezug auf die Raumfläche zu Bezug auf die Wohnungsfläche festzustellen. Hier stimmen die Werte allerdings mit den vorher angeführten Arbeiten ausreichend genau überein, um die Werte aus den Arbeiten als repräsentativ für Deutschland ansehen zu können. Beim Zusammenhang zwischen kurzzeitiger Flächenlast und Raumgröße konnte mit zunehmender Raumgröße eine geringe Abnahme festgestellt werden. Dass ein Zusammenhang zwischen den quasi-ständigen und den kurzzeitigen Nutzlasten besteht, konnte bei der Auswertung der Daten nicht bestätigt werden. Das bedeutet, dass die beiden Lasten als voneinander unabhängig betrachtet werden können. [3]

In Tabelle 4-9 ist die Auswertung der Daten aus den gesammelten Arbeiten, sowie aus den Lastmessungen der hier beschriebenen Arbeit, dargestellt. Es werden die charakteristischen und die Bemessungswerte der Nutzlast für Wohnungen, bezogen auf die Einzugsfläche, angegeben. Die quasi-ständigen Lasten werden mit p_s abgekürzt und die kurzzeitigen Lasten mit p_t . Den charakteristischen Wert der Last stellt p_k dar und den Bemessungswert p . Es wurden zwei verschiedene Lastkombinationen untersucht. Bei der Lastkombination A wird der Extremwert des quasi-ständigen Lastanteils für 50 Jahre und 5 Lastwechsel und der kurzzeitige Lastanteil als Extremwert des Grundzeitintervalles der quasi-ständigen Last mit 10 Lastwechseln verwendet. Bei der Lastkombination B wird für den kurzzeitigen Lastanteil ein Zeitraum von 50 Jahren und 50 Lastwechsel und für den quasi-ständigen Lastanteil der Momentanwert verwendet. [3]

Tabelle 4-9: Auswertung der Messdaten nach [3]

Daten nach	Grenz- zustand	Einzugsflä- che [m ²]	Lastkombi- nation	Lastintensität [kN/m ²]			
				p _s [*]	p _t [*]	p [*]	p _k
den vier Arbeiten von Paloheim, Johnson, Sentler und Karman	Tragfähig- keit	10	A	1,07	1,51	2,59	1,73
			B	0,80	1,80	2,62	1,75
		18	A	0,09	1,09	1,95	1,30
			B	0,71	1,24	1,95	1,30
		50	A	0,62	0,69	1,31	0,87
			B	0,56	0,75	1,31	0,87
	Gebrauchs- tauglichkeit	10	A	0,73	0,93	1,66	1,66
			B	0,40	1,27	1,67	1,67
		18	A	0,62	0,74	1,36	1,36
			B	0,40	0,94	1,34	1,34
		50	A	0,49	0,54	1,03	1,03
			B	0,38	0,63	1,01	1,01
den Messungen der hier beschriebenen Arbeit von Baumgart, Hossler, König	Tragfähig- keit	10	A	1,83	1,28	3,11	2,07
			B	1,41	1,62	3,03	2,02
		18	A	1,31	1,34	2,65	1,77
			B	0,94	1,70	2,64	1,76
		50	A	0,65	1,45	2,10	1,40
			B	0,37	1,81	2,18	1,45
	Gebrauchs- tauglichkeit	10	A	0,99	0,98	1,97	1,97
			B	0,53	1,34	1,87	1,87
		18	A	0,76	0,87	1,63	1,63
			B	0,37	1,24	1,61	1,61
		50	A	0,49	0,74	1,22	1,22
			B	0,21	1,09	1,30	1,30
p _s [*] quasi-ständiger Lastanteil der äquivalenten gleichförmigen Last							
p _t [*] kurzzeitiger Lastanteil der äquivalenten gleichförmigen Last							
p [*] Bemessungswert der äquivalenten gleichförmigen Last (p _s [*] + p _t [*])							
p _k charakteristischer Wert der Last (p [*] /γ)							

In der letzten Spalte von Tabelle 4-9 ist zu erkennen, dass der in der Norm angeführte Wert für die Nutzlast von Wohnräumen von 2 kN/m² für kleine Räume einen durchaus realistischen Wert darstellt.

Mit zunehmender Raumgröße wird die Last allerdings geringer und entfernt sich somit immer mehr vom Wert der Norm.

4.3 Kwesi A. Andam (1986)

Die Messungen für die Studie von Kwesi A. Andam wurden 1985 durchgeführt und umfassen sieben Bürogebäude in Accra, der Hauptstadt von Ghana. In der Vergangenheit wurden Messungen von Nutzlasten hauptsächlich in den Industrienationen durchgeführt. Entwicklungsländer haben dann diese Werte einfach übernommen, ohne eigene Messungen zur Verifizierung durchzuführen. Dies birgt zum einen die Gefahr der Unterdimensionierung von Bauwerken und somit Gefährdung der Nutzer und zum anderen kann eine Überdimensionierung vorhanden sein, welche zu unwirtschaftlichem Bauen führt. [1]

Bei den Messungen wurde eine Nutzfläche von insgesamt 27 818 m² erfasst. Eine Unterscheidung von Regierungs- und Privatbüros wurde nicht vorgenommen, da der Anteil der privaten Büros zu gering war, um für sich eine Aussagekraft zu haben. Auf Grund der äußerst geringen Anzahl an Bürogebäuden in den Kleinstädten wurden die Messungen auf die Hauptstadt beschränkt. Die Durchführung der Messungen wurde ausschließlich von qualifizierten Mitarbeitern durchgeführt, um ein professionelles Erfassen der Daten sicherzustellen. Eine Unterscheidung zwischen Gegenständen, die üblicherweise befüllt sind, wie z. B. Kästen und Schränke und Gegenständen die nicht befüllt werden können, wie z. B. Computer, Stühle, Pflanzen usw. wurde vorgenommen. Für Gegenstände mit einer Beschreibung des Herstellers wurde diese für die Gewichtsdaten herangezogen. Bewegbare Trennwände wurden bei der Messung erfasst, fix verbaute Trennwände nicht, da für diese ein extra Lastzuschlag in der Norm vorhanden ist. Es wurden alle Räume bis auf Toiletten und Küchen erfasst. [1]

Von einer anderen Studie mit rund 2000 Büroangestellten wurden die Werte für das mittlere Gewicht einer Person und die Standardabweichung übernommen. Das mittlere Gewicht einer Person betrug darin 67 kg und die Standardabweichung 11 kg. Diese Werte wurden auch für die Ermittlung der Belastung durch das Personal verwendet. Wie die Messung des Inventars eine Zeitpunktmessung ist, wurde auch die Erfassung der Belastung durch Personen als solche betrachtet. In den Büros wurden die normal anwesenden Personen erfasst und in den Gemeinschaftsräumen, wie Bibliothek, Konferenzräume und Rezeption, wurde der Mittelwert der täglich anwesenden Personen über eine Woche verwendet. Dies ergab einen Mittelwert aller Räume der Belastung durch Personen von 0,074 kN/m². [1]

Die Erfassung der Daten wurde anschließend digitalisiert, um sie für spätere Nutzung einfach zugänglich zu machen. Es wurden für jeden Raum unter anderem Adresse, Fläche, Nutzung, Personenzahl, Einrichtungsart und Gesamtflächenlast gespeichert. Die Auswertung der Daten ist in Tabelle 4-10

dargestellt Hier wurden die Räume nach ihrer Nutzung und anschließend noch nach der Fläche unterteilt. [1]

Tabelle 4-10: Ergebnisse der Messungen von Andam nach [1]

Raumnutzung	Einflussfläche [m ²]	Anzahl der Räume	Gesamtfläche [m ²]	Nutzlast [kN/m ²]	
				Mittelwert	Standardabw.
Sekretariat	A ≤ 10	91,000	710,6	0,441	0,273
	10 < A ≤ 20	528,000	7845,9	0,330	0,183
	20 < A ≤ 50	456,000	11630,8	0,291	0,194
	50 < A ≤ 80	13,000	810,4	0,406	0,176
	A > 80	4,000	362,3	0,425	0,950
Bürraum	A ≤ 10	18,000	234,9	0,340	0,359
	10 < A ≤ 20	0,000	-	-	-
	20 < A ≤ 50	34,000	1081,9	0,357	0,449
	50 < A ≤ 80	7,000	408,7	0,224	0,110
	A > 80	0,000	-	-	-
Gang	A ≤ 10	10,000	89,5	0,311	0,212
	10 < A ≤ 20	22,000	297,4	0,230	0,119
	20 < A ≤ 50	14,000	402,7	0,155	0,008
	50 < A ≤ 80	6,000	342,8	0,075	0,033
	A > 80	0,000	-	-	-
Rezeption	A ≤ 10	3,000	21,8	0,037	0,015
	10 < A ≤ 20	11,000	150,9	0,148	0,056
	20 < A ≤ 50	23,000	836,4	0,107	0,107
	50 < A ≤ 80	1,000	63,0	-	-
	A > 80	0,000	-	-	-
Konferenzraum	A ≤ 10	0,000	-	-	-
	10 < A ≤ 20	9,000	133,7	0,280	0,213
	20 < A ≤ 50	25,000	753,9	0,244	0,110
	50 < A ≤ 80	3,000	173,6	0,311	0,045
	A > 80	0,000	-	-	-

Lagerraum	A	≤ 10	4,000	25,1	0,630	0,165	
	10 <	A	≤ 20	16,000	231,1	0,649	0,370
	20 <	A	≤ 50	10,000	279,5	0,522	0,387
	50 <	A	≤ 80	1,000	78,0	-	-
		A	> 80	0,000	-	-	-
Aktenzimmer	A	≤ 10	6,000	47,9	0,855	0,304	
	10 <	A	≤ 20	13,000	192,1	0,601	0,366
	20 <	A	≤ 50	8,000	216,4	0,828	0,529
	50 <	A	≤ 80	0,000	-	-	-
		A	> 80	0,000	-	-	-
Bibliothek	A	≤ 10	0,000	-	-	-	
	10 <	A	≤ 20	5,000	73,0	0,426	0,152
	20 <	A	≤ 50	11,000	268,6	0,754	0,221
	50 <	A	≤ 80	1,000	72,9	-	-
		A	> 80	0,000	-	-	-
Gesamte Räume	A	≤ 10	118,000	926,7	0,446	0,287	
	10 <	A	≤ 20	618,000	9121,7	0,344	0,244
	20 <	A	≤ 50	581,000	15470,1	0,302	0,244
	50 <	A	≤ 80	32,000	1936,7	0,302	0,209
		A	> 80	4,000	362,3	0,425	0,095

Für die mittlere Raumgröße wurde eine Fläche von 20,6 m² ermittelt. Der Mittelwert der Flächenlast wurde mit 0,334 kN/m² berechnet. Der höchste Wert der Nutzlast wurde in einem Lagerraum gemessen und betrug 3,19 kN/m². Der niedrigste Wert wurde im Gang gemessen und betrug 0,016 kN/m². Der Zusammenhang von Gebäudehöhe und Nutzlast wurde ebenfalls untersucht. Für den Mittel- und den Minimalwert wurde ein relativ konstanter Wert über die gesamte Bandbreite der erfassten Gebäudehöhen ermittelt. Die Maximalwerte der Nutzlast waren im 1. Stock der Gebäude am höchsten. Auch der Zusammenhang zwischen Bezugszeitraum und Belastungen wurde untersucht. Für Minimal- und Mittelwert konnte keine Abhängigkeit festgestellt werden. Ein ausgeprägter Anstieg der Maximalwerte zeichnete sich zwischen 10 und 15 Jahren Bezugszeitraum ab. Wie auch schon in anderen Arbeiten [3] [7] festgestellt, gibt es auch hier den Trend der Nutzlastabnahme bei zunehmender Raumgröße. [1]

Die hier beschriebene Arbeit wurde mit zwei ähnlichen Arbeiten aus den USA und England verglichen. Die Arbeit aus den USA stammt von Charles G. Culver aus dem Jahr 1976 und die Arbeit aus dem England von G. R. Mitchell und R. W. Woodgate aus dem Jahr 1971. Für die Unterschiede der Nutzlasten

zwischen den Raumnutzungen konnte eine recht gute Übereinstimmung festgestellt werden. Korridore, Empfangs- und Konferenzräume waren am geringsten belastet und Aktenzimmer, Lagerräume und Bibliotheken am höchsten. Der Mittelwert der Nutzlast war in den beiden Vergleichsarbeiten allerdings beträchtlich höher als bei der hier beschriebenen Arbeit. Der Wert aus den USA war um 66 % und der Wert aus dem U.K. sogar um 85 % höher. Bei den Arbeiten wurde eine höhere Belastung durch Personen angenommen, da diese aber nur einen geringen Teil der Gesamtlast ausmacht, wird vermutet, dass es am Material der Einrichtungsgegenstände lag. Bei der Arbeit aus Ghana waren fast 70 % der Einrichtung aus Holz. Es wird angenommen, dass in den Vergleichsarbeiten ein höherer Anteil der Einrichtung aus Metall war und dadurch die höheren Lasten gemessen wurden. [1]

Um nun aus den ermittelten Messwerten eine gleichwertige, gleichmäßig verteilte Nutzlast zu erhalten, ist es notwendig, aus den Daten mittels stochastischen Modells vernünftige Werte für die anzusetzende Nutzlast zu ermitteln. Für die quasi-ständigen Lasten gibt es relativ gut erprobte Modelle. Anders ist dies bei der kurzzeitigen Lasteinwirkung. Hier gab es zum Zeitpunkt der Entstehung der Arbeit eher wenig Modelle zur Bestimmung des Extremwertes. Das gewählte Modell, welches eines der verlässlichsten zu sein schien, baut darauf auf, dass sich die Personen in einem Raum zu Zellen zusammenschließen und die Anzahl der Zellen sowie Personen pro Zelle bestimmt werden kann. [1]

Für die wurde der 90 %- und der 99 % -Fraktilwert der Verteilungsfunktion der quasiständigen und kurzzeitigen Lasten herangezogen. Dies ergab mit dem 90 %-Fraktilwert für einen Büroraum mit 20 m² ein Wert von 1,5 kN/m² war deutlich unter dem von der Norm angegebenen Wert von 2,5 kN/m² liegt.

4.4 Edmund C. C. Choi (1990)

Die Arbeit von Edmund C. C. Choi behandelt Lastmessungen von elf Bürogebäuden in Sydney, Australien. Die Messungen wurden im Jahr 1979 abgeschlossen. Das Alter der Gebäude zum Zeitpunkt der Messung reicht von 1 bis 17 Jahren und die Anzahl der Stockwerke von 9 bis 50. Es wurden die Einrichtungsgegenstände gewogen und ihre Position im Raum aufgezeichnet. Außerdem wurden die normal anwesenden Personen notiert und durch Befragung die maximal anwesenden Personen, sowie die Häufigkeit mit der ein solches Ereignis eintritt, ermittelt. Es wurden auch noch Raumnutzung, durch Einrichtung belegte Fläche und andere Daten zum Gebäude erfasst. [5]

Die Nutzlast in Gebäuden setzt sich aus zwei Teilen zusammen, den ständigen Lasten und den kurzzeitigen Lasten. Die ständigen Lasten entstehen durch Einrichtungsgegenstände und normal anwesenden Personen. Die kurzzeitigen Lasten durch Personenansammlungen auf Grund von Veranstaltungen oder Notsituationen oder durch Stapelung von Einrichtung in einem Bereich für z. B. Renovierungsarbeiten. [5]

Um einen vernünftigen Rechenwert zu erhalten, ist es notwendig Wahrscheinlichkeitsberechnungen durchzuführen. Um den Einfluss der Lastverteilung auf die Schnittgrößen abzudecken, wird ein Formfaktor verwendet. Dieser Faktor hängt von der Art des Tragwerks ab. Da es aber zu aufwändig wäre, den Faktor für jedes Tragsystem eigens zu wählen, wird meist, wie auch in der hier beschriebenen Arbeit, ein mittlerer Wert gewählt.

Die Darstellung der Messwerte ergab, dass die Verteilung am besten mit einer Lognormalverteilung angenähert werden kann. Für die kurzzeitigen Lasten wurden jährliche Menschenansammlungen, Not-situationen und Stapelung von Einrichtung untersucht. Die gesamte gemessene Fläche betrug 144 136 m², wobei die geringste Fläche von Büros für Öffentlichkeitsarbeit und Gewerkschaften und die größte Fläche von Regierungsbüros genutzt wurden. Die Regierungsbüros machten etwas mehr als die Hälfte der gesamten untersuchen Fläche aus. Deshalb wurde für die Auswertung die Unterteilung in Regierungs- und nicht Regierungs- bzw. Privatbüros gewählt. Die durchschnittliche Bezugsdauer von Regierungsfirmen war fast doppelt so hoch wie von Privatfirmen. In Tabelle 4-11 sind die Mittelwerte und die 95 %-Fraktile der ständigen Last über die gesamte Lebensdauer in Abhängigkeit zur Einzugsfläche aufgelistet. Es ist zu erkennen, dass bei den Regierungseinrichtungen die 95 %-Fraktile, bis auf die kleinste Einzugsfläche, höher als bei den Privatbüros sind. Die Mittelwerte der Regierungsbüros sind für kleine Einzugsflächen kleiner und für große Einzugsflächen größer als die Mittelwerte der Privatbüros. [5]

Tabelle 4-11: Ergebnisse der Messung von Choi [5]

Bezugsfläche [m ²]	Mittelwert [kN/m ²]			95 %-Fraktile		
	Regierungseinrichtung	Privateinrichtung	Beide zusammen	Regierungseinrichtung	Privateinrichtung	Beide zusammen
2,5	1,20	1,36	1,22	4,03	4,12	3,99
5,0	1,13	1,24	1,15	3,58	3,49	3,58
10,0	1,05	1,11	1,05	3,07	2,85	3,07
20,0	0,98	0,99	0,97	2,60	2,29	2,60
40,0	0,92	0,89	0,90	2,25	1,88	2,25
80,0	0,87	0,83	0,85	2,01	1,60	2,01
160,0	0,85	0,78	0,82	1,86	1,44	1,86
320,0	0,83	0,76	0,80	1,78	1,34	1,78
640,0	0,82	0,74	0,79	1,73	1,29	1,73

Die maximale Last über die gesamte Lebensdauer besteht aus dem maximalen ständigen und dem kurzzeitigen Lastanteil. Auf Grund der etwa doppelt so langen Bezugsdauer von

Regierungseinrichtungen gegenüber Privatfirmen und der höheren Lastparameter ist auch der maximale Mittelwert der kurzzeitigen Lasten bei den Regierungseinrichtungen höher als bei den Privatfirmen. Die 95 %-Fraktile der Gesamtnutzlast sind für die Regierungsbüros deutlich höher als für die Privatbüros. Die Mittelwerte der Gesamtnutzlast sind für beide etwa gleich. In der Arbeit von Choi wurde auch ein Zusammenhang zwischen Geschoßanzahl und gesamter Nutzlast untersucht. Dabei ist eine Abnahme des 95%-Fraktilewertes der Gesamtnutzlast mit Zunahme der Geschoße zu erkennen. [5]

Im nächsten Schritt wurden die Kurven der 95 %-Fraktile der Gesamtlasten von Regierungs-, Privatbüros und beiden zusammen mit den Werten aus der amerikanischen, englischen und australischen Norm verglichen. Die Kurven der amerikanischen Norm und dem australischen Normenteil für Träger sind fast identisch und liegen ein wenig unterhalb der Kurve für Regierungs- und Privatbüros zusammen. Die Kurve des australischen Teils der Norm für Stützen liegt etwas oberhalb der Kurve für die gesamten Büros und minimal unterhalb der Kurve für Regierungseinrichtungen. Einzig die Kurve der englischen Norm liegt über den Kurven aller Messwerte. [5]

4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Als erste Arbeit wird die von Baumgart, Hosser und König angeführt, da es die einzige der vier Arbeiten ist, die Messungen in Wohngebäuden beinhaltet. In der Arbeit werden vier bereits durchgeführte Arbeiten zusammengefasst und analysiert. Die Arbeiten stammen aus Stockholm, Helsinki und Budapest. Es wurde mittels stichprobenartiger Messungen untersucht, ob sich die Ergebnisse aus den Arbeiten auch auf Deutschland übertragen lassen. Dies konnte ausreichend genau bestätigt werden. Anschließend wurden die gesamten Messergebnisse aus den vier Arbeiten und die selbst erhobenen Werte mittels stochastischem Modell auf eine äquivalente Flächenlast umgerechnet und mit den in der Norm angegebenen Werten für Wohnhausnutzlasten verglichen. Der Vergleich zeigte, dass der in der Norm angeführte Wert von 2 kN/m^2 für kleine Flächen realistisch ist. Für größere Flächen kann eine Abminderung vorgenommen werden, um eine Unwirtschaftlichkeit der Gebäude zu vermeiden.

Als zweites werden die drei Arbeiten, welche sich mit Bürogebäuden befassen, nochmal kurz wiedergegeben. In der Arbeit von Charles G. Culver wurden 23 Bürogebäude in den USA auf Brandlast und Nutzlast untersucht. Es wurden Zusammenhänge zwischen Brand- und Nutzlast und Gebäudehöhe, Gebäudealter, Nutzungsdauer, Raumnutzung und anderes untersucht. Einzig bei der Raumnutzung konnte ein eindeutiger Trend festgestellt werden.

Die Arbeit von Kwesi A. Andam umfasst sieben Bürogebäude in Accra, der Hauptstadt von Ghana. Bei dieser Arbeit wurde die Adaptierbarkeit der Normen aus den USA und England für Ghana untersucht bzw. die Frage gestellt, ob eine Übernahme der westlichen Normen für Entwicklungsländer gerechtfertigt ist. Das Ergebnis des Vergleichs ergab, dass die Werte in den USA um zwei Drittel und in England

sogar um vier Fünftel höher waren als der in Ghana gemessene Wert. Es wird vermutet, dass das Material der Einrichtungsgegenstände die Ursache für diesen Unterschied sein könnte. In den westlichen Ländern ist das Mobiliar vermehrt aus Metall und in Ghana größtenteils aus Holz. Es ist hier zu überlegen, ob eine Anpassung der Normwerte aus Wirtschaftlichkeitsgründen sinnvoll ist.

In der Arbeit von Choi wurden die Daten der Lastmessungen von elf Bürogebäuden in Sydney analysiert und ausgewertet. Um einen Vergleich mit den Werten der Normen vornehmen zu können, wurde der 95 %-Fraktilwert in Abhängigkeit der Einzugsfläche bestimmt. Der Vergleich wurde mit den Normen aus den USA, England und Australien vorgenommen. Es wurden die Kurven für Regierungseinrichtungen, Privatbüros und beide zusammen in Abhängigkeit der Fläche aufgetragen. Der Vergleich mit den Normen ergab, dass nur die englische Norm oberhalb von allen drei Kurven lag.

5. EIGENE NUTZLASTMESSUNGEN

5.1 Vorgangsweise und Zielsetzung

Es wurden Lastmessungen in Wohnungen und Büroräumen in Wien im Oktober und November 2018 durchgeführt. Die erfassten Wohnungen, es waren insgesamt 12, sind von Verwandten und Freunden des Verfassers dieser Arbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt worden. Für Objekte für die kein Grundriss zu finden war, wurde die Wohnung vermessen, da die Grundflächen der Zimmer für die späteren Berechnungen benötigt wurden. War ein Grundriss mit Flächenangaben vorhanden, wurde dieser direkt für die Berechnung verwendet. Die Größe der untersuchten Wohnungen lag zwischen 33 und 96 m² und die Anzahl der Zimmer reichte von eins bis drei, wobei die meisten Wohnungen zwei Zimmer, drei Wohnungen ein Zimmer und ebenfalls drei Wohnungen drei Zimmer aufwiesen. Die Geschosßanzahl der Häuser, in denen die Wohnungen liegen, wurde in dieser Arbeit nicht erfasst. Ebenso wenig wurde festgehalten, in welchem Geschoß die Wohnungen liegen, da dies als nicht notwendig erachtet wurde. Die Gesamtfläche aller Wohnungen beträgt 625 m². Dem Verfasser dieser Arbeit ist durchaus bewusst, dass diese Messung nur als Stichprobe angesehen werden kann, doch würden weitere Messungen den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Die Nutzlastmessungen in Büroräumen wurden im Hauptgebäude der Technischen Universität Wien, einem Bürogebäude der Generali und im Generalplanungsbüro Hnik Hempel Meler ZT GmbH, in welchem der Verfasser dieser Arbeit angestellt ist, durchgeführt. Insgesamt wurden 28 Räume mit einer Gesamtfläche von 1007 m² erfasst. Es wurden Messungen in Einzelbüros, Großraumbüros, Konferenzräumen und Bibliotheken durchgeführt. Bezugszeitraum der Firmen bzw. Institute wurde nicht berücksichtigt, da bei vorliegender Datenmenge keine vernünftige Aussage über den Zusammenhang zwischen Bezugszeitraum und Nutzlast gemacht werden könnten. Auch hier ist klar, dass diese Messungen nur als Stichprobe angesehen werden können. Trotz der eher beschränkten Menge an Daten lassen sich statistische Aussagen zu den vorhandenen Nutzlasten machen. Die Auswertung der Daten und die daraus abgeleiteten Erkenntnisse werden in den folgenden Kapiteln behandelt.

Mit den Nutzlastmessungen in den Wohnungen und Büroräumen soll Aufschluss über folgende Fragen geben:

- Liegen die erhaltenen Werte im Bereich der Messungen aus anderen Ländern?
- Gibt es Zusammenhänge zwischen Raumgröße und Lastintensität?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen Raumnutzung und Lastintensität?
- In wie weit stimmen die Werte aus der Realität mit den von der Norm vorgegebenen Werten überein?

- Besteht eine gegenseitige Beeinflussung von kurzzeitigen und quasi-ständigen Lasten?

In den folgenden Kapiteln wird die Grundlage geschaffen, mittels der versucht wird, diese Fragen zu beantworten.

5.2 Durchführung der Messungen

Dieses Kapitel beschreibt die Vorgangsweise bei den Messungen sowie der Erfassung und Digitalisierung der Daten. Für die Flächen der einzelnen Räume wurden Angaben aus vorhandenen Grundrissen genommen bzw. wenn keine Flächen angegeben waren, aus den PDF-Dateien gemessen. Bei Wohnungen bzw. Büros, für die kein Grundriss vorhanden war, wurden die Räume mittels Meterstab vermessen und eine Handskizze des Grundrisses angefertigt. Für die Nutzlastmessung selbst wurde zunächst jeder Einrichtungsgegenstand in den Grundriss eingetragen und durchnummeriert. Anschließend wurde jeder Gegenstand gewogen, oder wenn dies nicht möglich war, das Gewicht mittels Herstellerangaben oder vergleichbaren Objekten ermittelt bzw. abgeschätzt. Zum Wiegen wurden eine Koffer- und eine Personenwaage verwendet.

Bei großen Objekten, wie z. B. Tischen, wurde zuerst die eine und dann die andere Seite gewogen und anschließend beide Messwerte zusammengezählt. Bei Bücher- oder Kleiderschränken wurden ein paar Objekte gewogen und anschließend auf das Gesamtgewicht hochgerechnet. Wandregale und Wandschränke wurden ebenfalls erfasst, obwohl sie keine direkte Einwirkung auf die Belastung der Decke haben. Bilder wurden aufgrund ihres geringen Einflusses auf die Gesamtlast vernachlässigt. Die Anzahl der normalerweise anwesenden sowie maximal anwesenden Personen wurde durch Befragung der Bewohner bzw. der Angestellten ermittelt. Nach Fertigstellung der händisch angefertigten Listen wurden diese in das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel übertragen, um die Daten einfacher auswerten zu können. Diese Auswertung wird in den nächsten beiden Kapiteln vorgenommen.

5.3 Auswertung der Wohnungen

In diesem Kapitel werden die gesammelten Daten in Tabellen dargestellt. In Tabelle 5-1 sind die grundlegenden Daten wie Fläche und Gesamtlast der Einrichtungen angeführt.

Tabelle 5-1: Grunddaten der Wohnungen

Wohnungs-Nr.	Fläche A [m ²]	Last aus Einr. Q [kN]	norm. anw. Personen	max. anw. Personen	Lastintensität Q/A [kN/m ²]
1	95,75	30,90	3	10	0,323
2	57,15	20,65	2	12	0,361
3	72,38	17,75	2	25	0,245
4	65,85	17,09	2	12	0,260
5	38,10	11,48	1	17	0,301
6	33,43	8,43	1	12	0,252
7	42,56	13,86	2	28	0,326
8	50,57	11,57	1	14	0,229
9	41,50	11,56	1	12	0,279
10	41,65	8,37	1	8	0,201
11	35,82	12,66	2	8	0,354
12	50,57	18,47	1	15	0,365
Σ	625,33	182,80	19	173	-

In diesem Kapitel werden die Daten in Tabellen dargestellt. In Tabelle 5-1 sind die grundlegenden Daten wie Fläche und Gesamtlast der Einrichtungen angeführt.

Tabelle 5-2: Daten der Wohnungen bezogen auf die Raumnutzung

Raumnutzung	Anzahl	mittlere Fläche A _m [m ²]	ges. Fläche A _{ges} [m ²]	ges. Last Q [kN]	Lastintensität Q/A _{ges} [kN/m ²]
Wohnzimmer	12	22,37	268,42	61,90	0,231
Zimmer	11	12,92	142,09	29,33	0,206
Küche	10	7,89	78,87	57,12	0,724
Bad	11	3,63	39,91	16,276	0,408

Für die weiteren Berechnungen ist es notwendig, die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Lasten zu kennen. Daher wurden diese für die quasi-ständigen und die kurzzeitigen Lasten berechnet und in Tabelle 5-3 eingetragen. Für die quasi-ständigen Lasten wurden die Einrichtungsgegenstände plus die normal anwesenden Personen herangezogen. Für die kurzzeitigen Lasten wurden die maximal anwesenden Personen genommen. Für das Gewicht eine Person wurden laut [19] 74 kg angenommen.

Tabelle 5-3: Mittelwert und Standardabweichung der Wohnungen

Wohnungs-Nr.	quasi-ständige Last [kN/m ²]	kurzzeitig Last [kN/m ²]
1	0,345	0,076
2	0,387	0,152
3	0,265	0,251
4	0,282	0,132
5	0,320	0,324
6	0,274	0,261
7	0,360	0,478
8	0,243	0,201
9	0,296	0,210
10	0,218	0,139
11	0,394	0,162
12	0,380	0,215
<hr/>		
Mittelwert \bar{m}	0,314	0,217
Standardabw. σ	0,059	0,106

5.4 Ergebnisse der Wohnungen

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Nutzlastmessungen in den Wohnungen in verschiedenen Diagrammen dargestellt, um bestimmte Abhängigkeiten sichtbar zu machen. In Abb. 5-1 wurden die quasi-ständigen Lastanteile der vier ausgewählten Raumnutzungen über die Fläche aufgetragen. In Abb. 5-2 wurden die Mittelwerte der quasi-ständigen Lastanteile bezogen auf die Fläche dargestellt. In Abb. 5-3 und Abb. 5-4 sind Histogramme der quasi-ständigen Lasten für Räume und Wohnungen abgebildet. In Abb. 5-5 wurden die kurzzeitigen Lasten der Räume und in Abb. 5-6 die Lasten der Wohnungen bezogen auf die Fläche aufgetragen. Die Histogramme in Abb. 5-7 und Abb. 5-8 stellen die kurzzeitigen Lasten für die Räume und die Wohnungen dar. Die Abhängigkeit zwischen quasi-ständigen und kurzzeitigen Lasten ist in Abb. 5-9 zu sehen.

Quasi-ständige Lasten

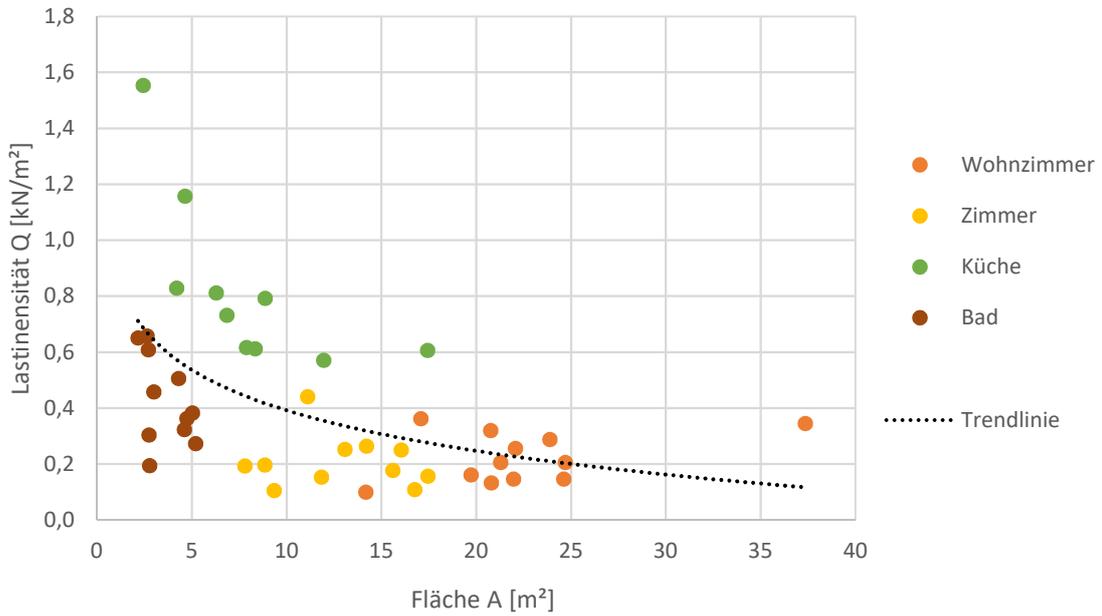


Abb. 5-1: Quasi-ständige Lasten der Räume

Quasi-ständige Lasten

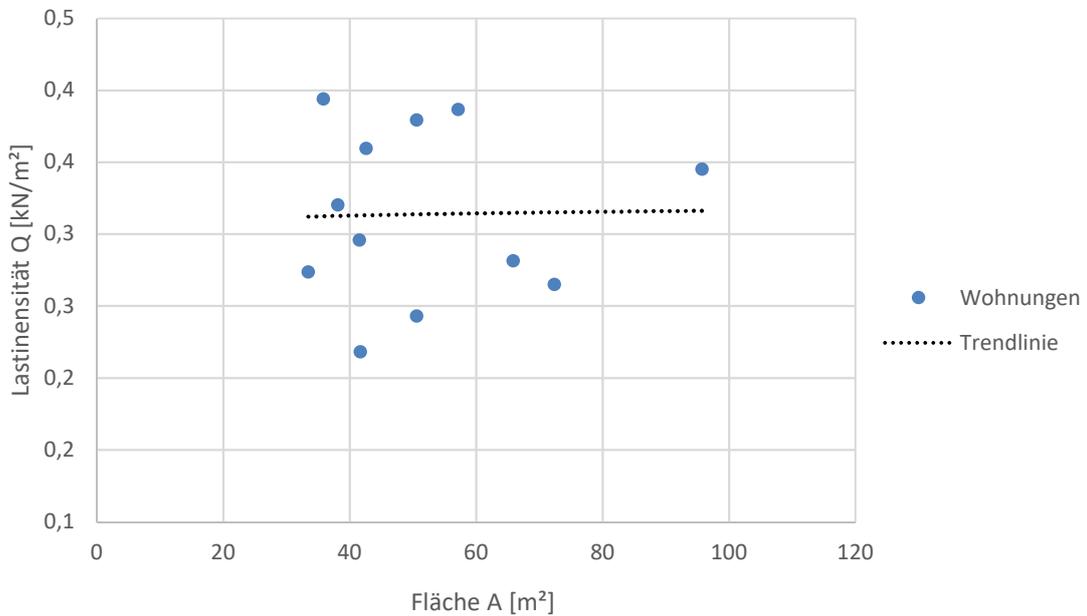


Abb. 5-2: Quasi-ständige Lasten der Wohnungen

Die in Abb. 5-2 dargestellte Trendlinie ist auf Grund der relativ geringen Anzahl der Messungen und der Verteilung der Punkte eher kritisch zu betrachten.

Histogramm der quasi-ständigen Lasten

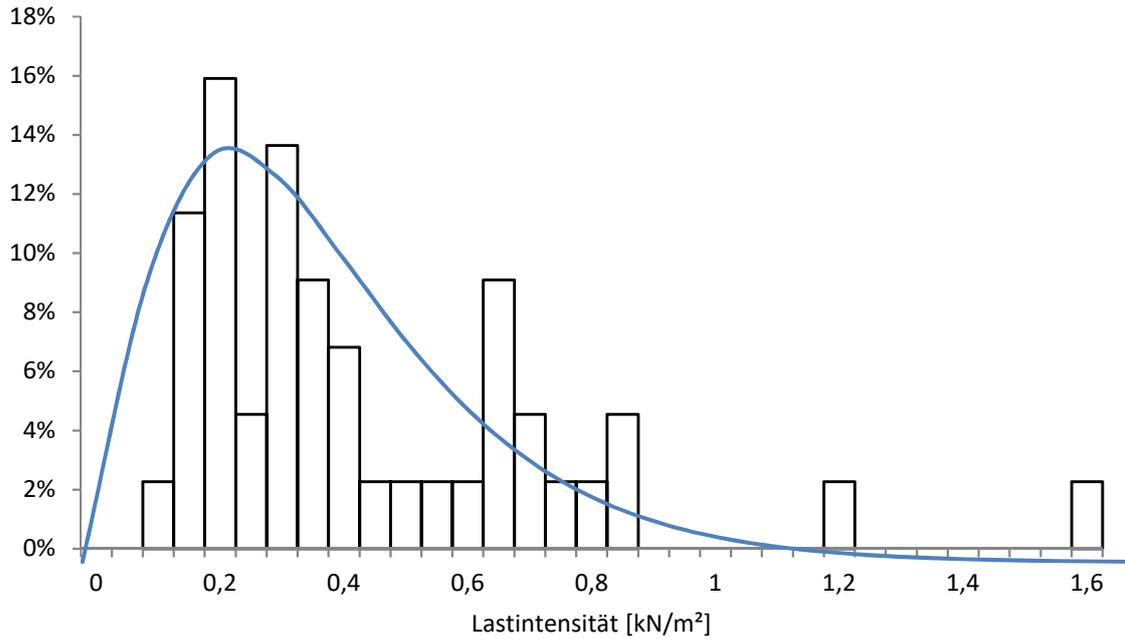


Abb. 5-3: Histogramm der quasi-ständigen Lasten bezogen auf die Räume

Histogramm der quasi-ständigen Lasten

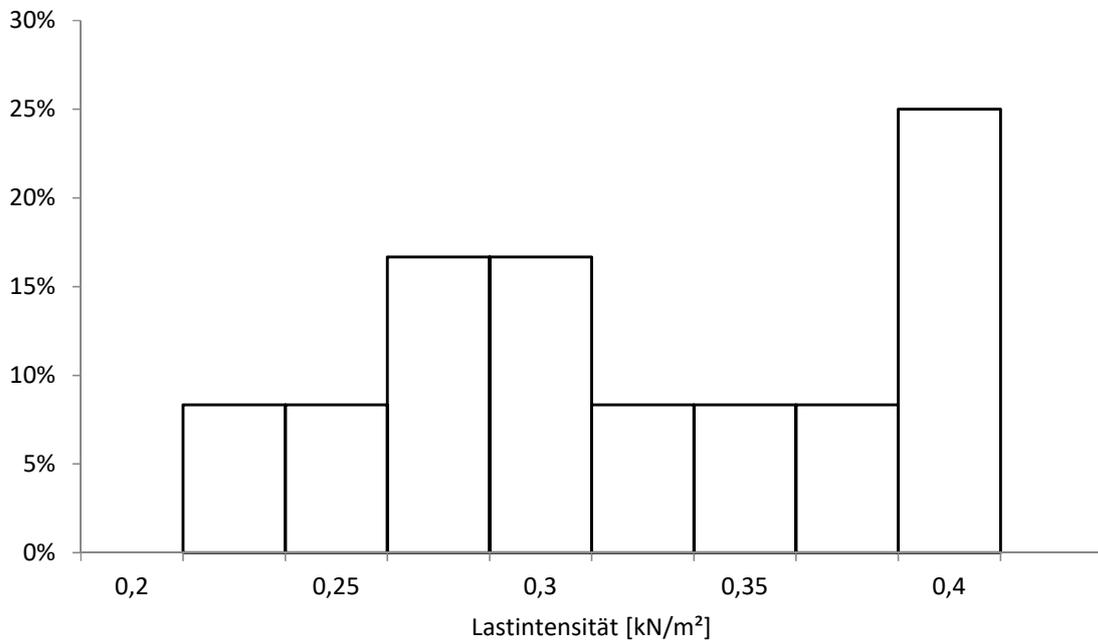


Abb. 5-4: Histogramm der quasi-ständigen Lasten bezogen auf die Wohnungen

Kurzzeitige Lasten

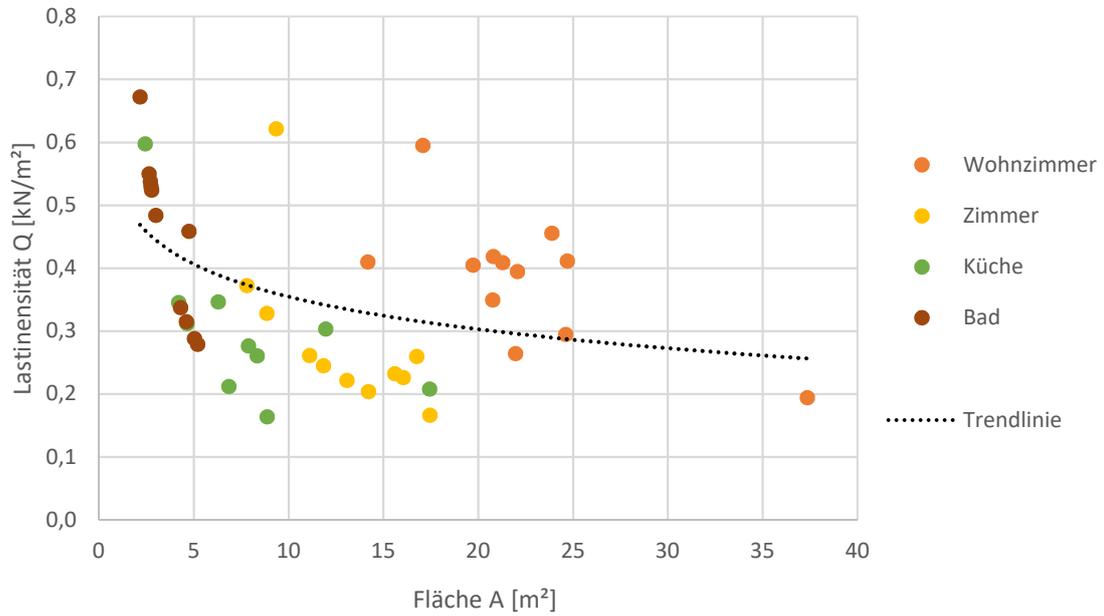


Abb. 5-5: Kurzzeitige Lasten der Räume

Kurzzeitige Lasten

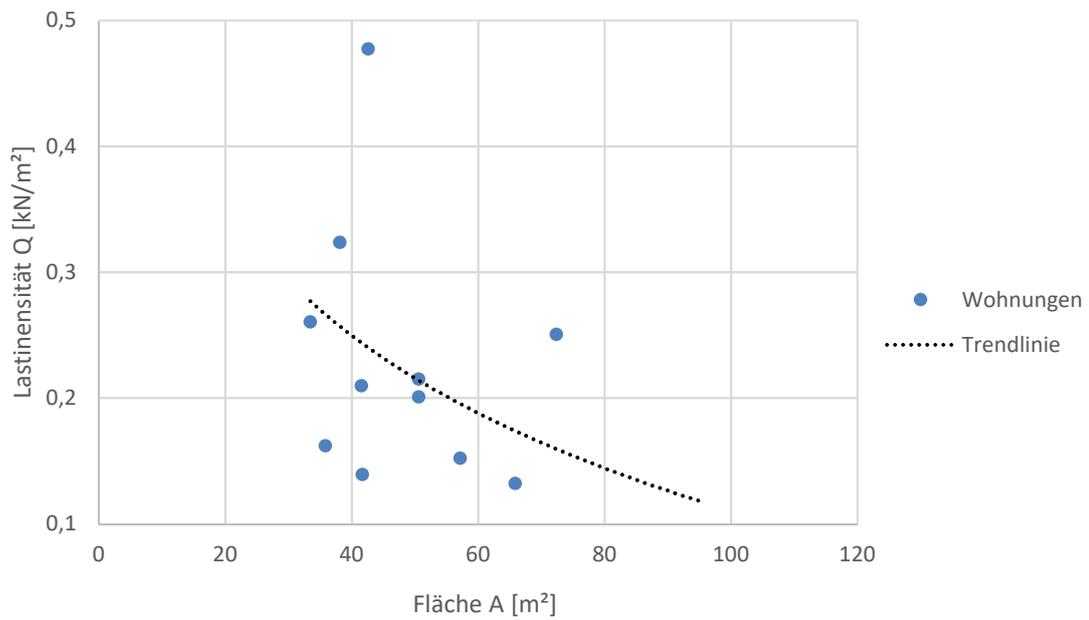


Abb. 5-6: Kurzzeitige Lasten der Wohnungen

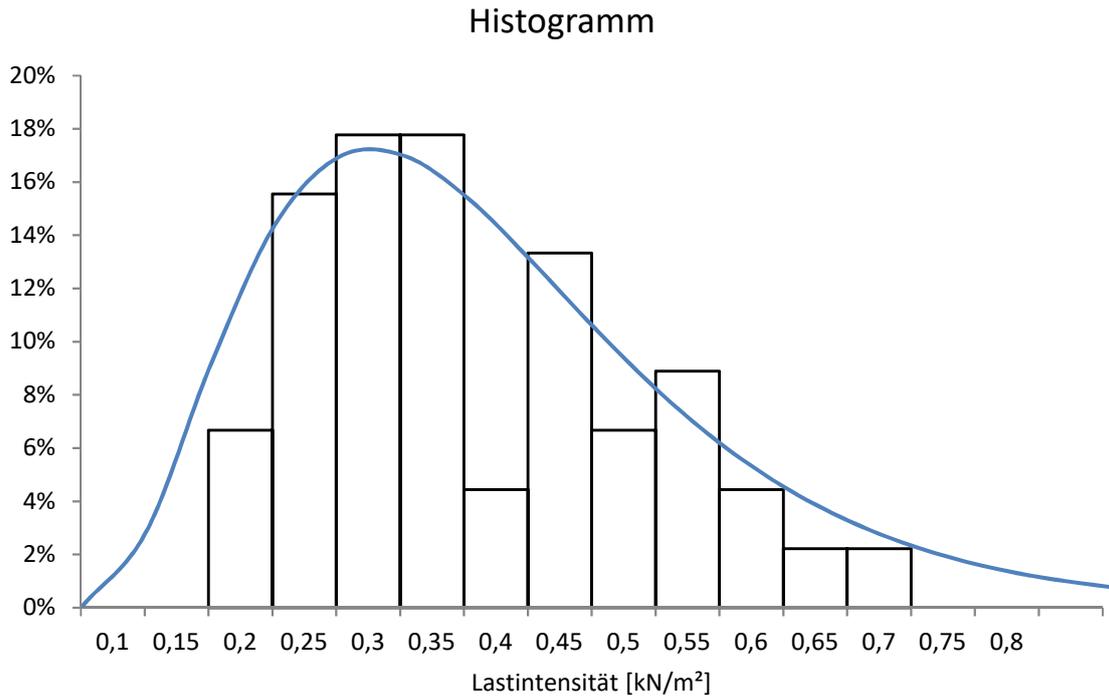


Abb. 5-7: Histogramm der kurzzeitigen Lasten bezogen auf die Räume

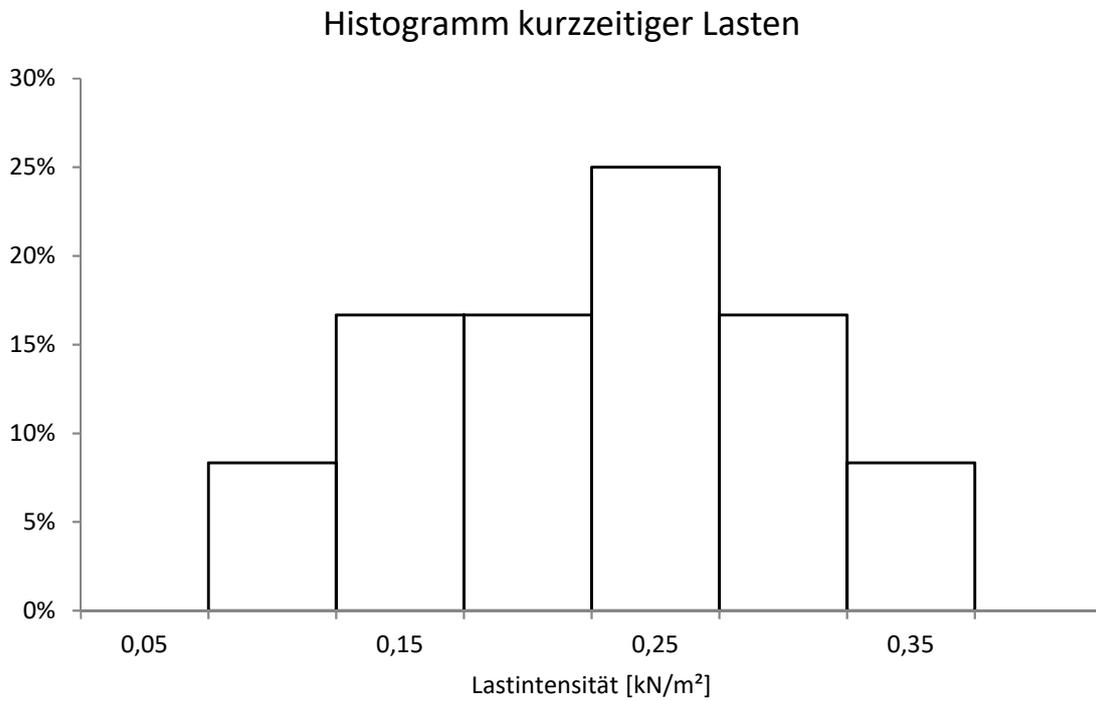


Abb. 5-8: Histogramm der kurzzeitigen Lasten bezogen auf die Wohnungen

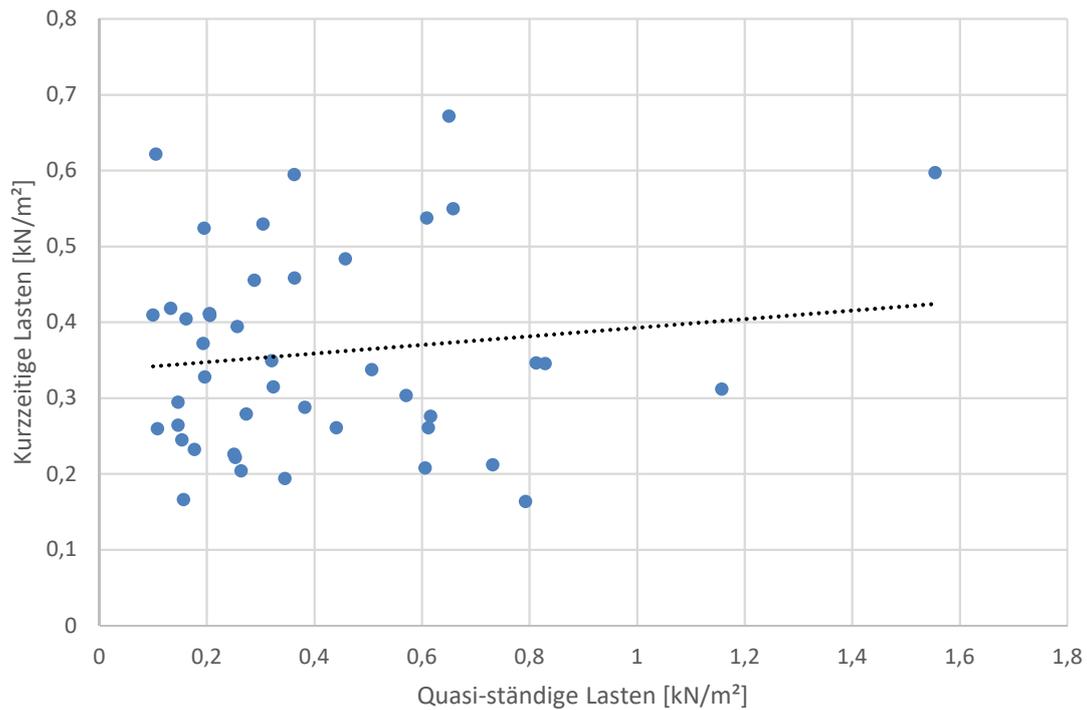


Abb. 5-9: Korrelation von quasi-ständigen zu kurzzeitige Lasten der Räume

5.5 Auswertung der Büroräume

Dieses Kapitel befasst sich mit den Daten aus den Lastmessungen in den Büroräumen. Um einen besseren Überblick zu erhalten, wurden die Räume in vier Nutzungskategorien unterteilt. Die ermittelten Werte dieser Kategorien sind in Tabelle 5-4 zu sehen.

Tabelle 5-4: Grunddaten der Büroräume

Raumnutzung	Anzahl	mittlere Fläche A_m [m ²]	ges. Fläche A_{ges} [m ²]	ges. Last Q [kN]	Lastintensität Q/A_{ges} [kN/m ²]
Großraumbüro	12	47,09	565,10	240,41	0,425
Einzelbüro	5	20,50	102,49	31,49	0,307
Konferenzraum	9	26,03	234,28	34,79	0,148
Bibliothek	2	104,65	104,65	108,479	1,037
Σ	28	-	1006,52	415,17	0,412

Für die weiteren Auswertungen der Daten mittels Lastbeschreibungsmodell ist es notwendig die statistischen Größen Mittelwert und Standardabweichung zu kennen. Diese sind für die quasi-ständigen und die kurzzeitigen Lasten in Tabelle 5-5 zu finden. Für die quasi-ständigen Lasten wurden die Einrichtung sowie die normal anwesenden Angestellten herangezogen. Die kurzzeitigen Lasten ergeben sich aus den maximal anwesenden Personen, welche durch Befragung ermittelt wurden.

Tabelle 5-5: Mittelwert und Standardabweichung der Büroräume

Raumnutzung		quasi-ständige Last [kN/m ²]	kurzzeitige Last [kN/m ²]
Großraumbüro	m	0,515	0,247
	σ	0,227	0,059
Einzelbüro	m	0,339	0,214
	σ	0,089	0,094
Konferenzraum	m	0,148	0,306
	σ	0,074	0,089
Gesamte Räume	m	0,429	0,298
	σ	0,329	0,163
m.....Mittelwert			
σStandardabweichung			

5.6 Ergebnisse der Büroräume

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Nutzlastmessungen in den Büroräumen in Diagrammen und Histogrammen dargestellt. Es wird damit versucht Zusammenhänge verschiedener Einflussfaktoren darzustellen. In Abb. 5-10 sind die quasi-ständigen Lasten über die Fläche der Büroräume aufgetragen. Abb. 5-11 stellt das Histogramm dieser quasi-ständigen Lasten dar. Da Diagramm der kurzzeitigen Lasten über die Raumfläche ist in Abb. 5-12 zu finden und das Histogramm zu den kurzzeitigen Lasten in Abb. 5-13. Der Zusammenhang zwischen quasi-ständigen und kurzzeitigen Lasten wird im Diagramm in Abb. 5-14 ersichtlich gemacht.

Quasi-ständige Lasten

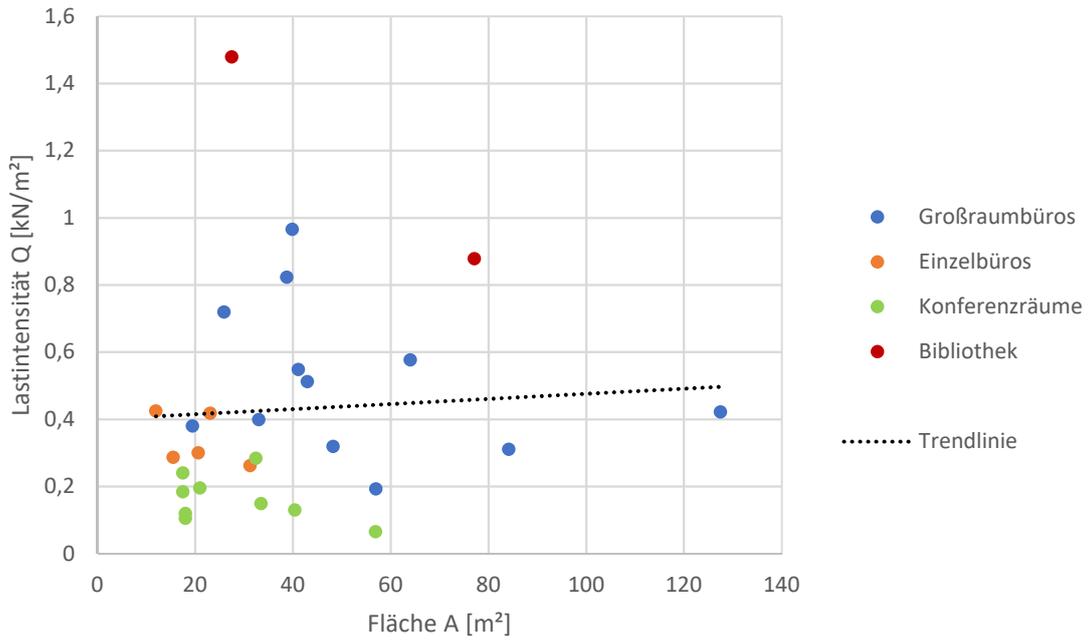


Abb. 5-10: Quasi-ständige Lasten der Büroräume

Histogramm der quasi-ständigen Lasten

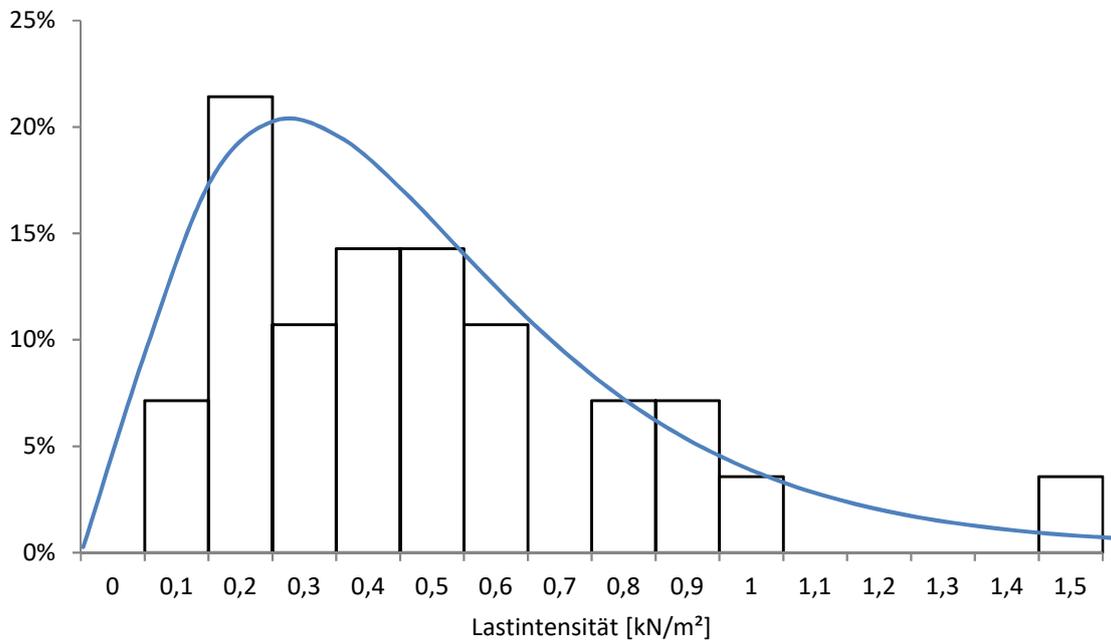


Abb. 5-11: Histogramm der quasi-ständigen Lasten der Büroräume

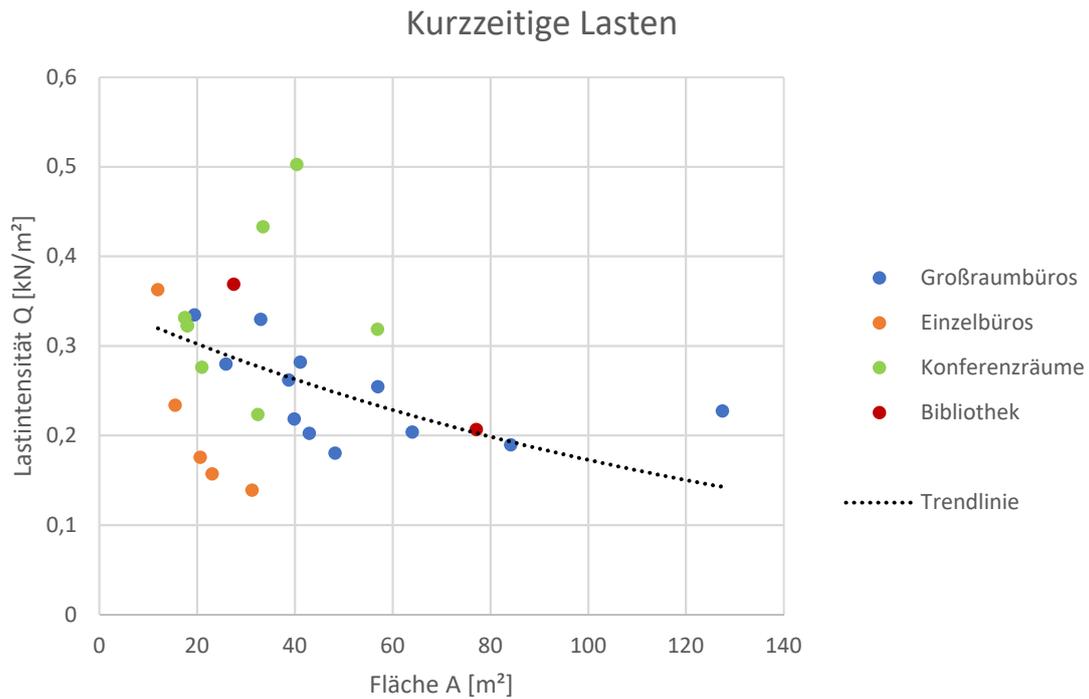


Abb. 5-12: Kurzzzeitige Lasten der Büroräume

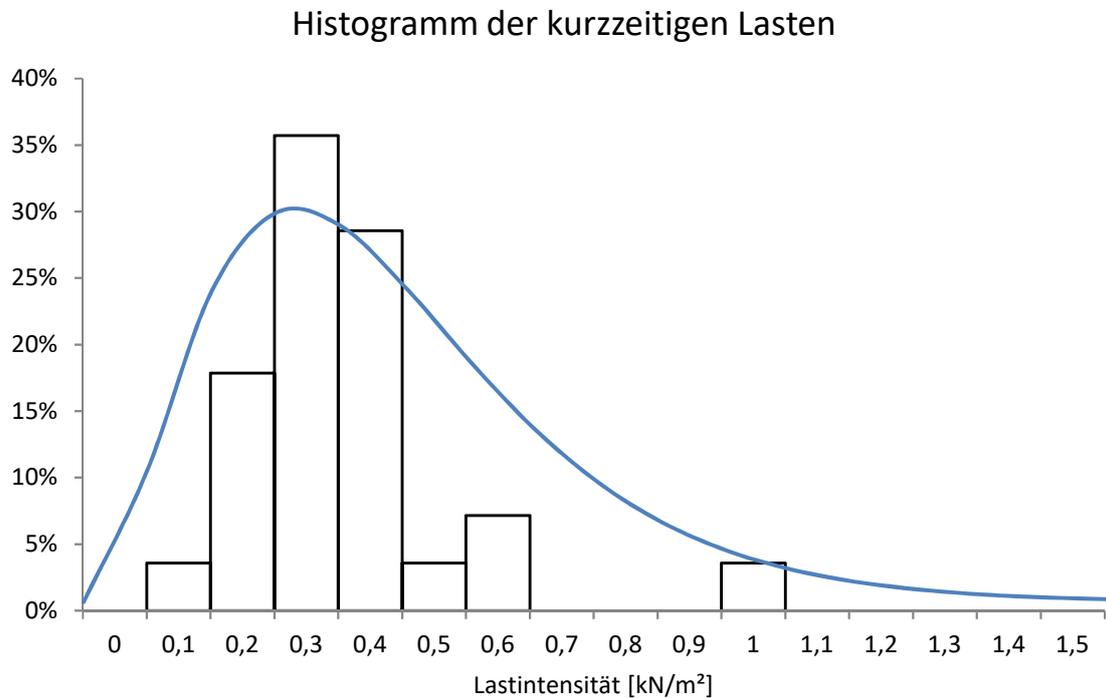


Abb. 5-13: Histogramm der kurzzzeitigen Lasten der Büroräume

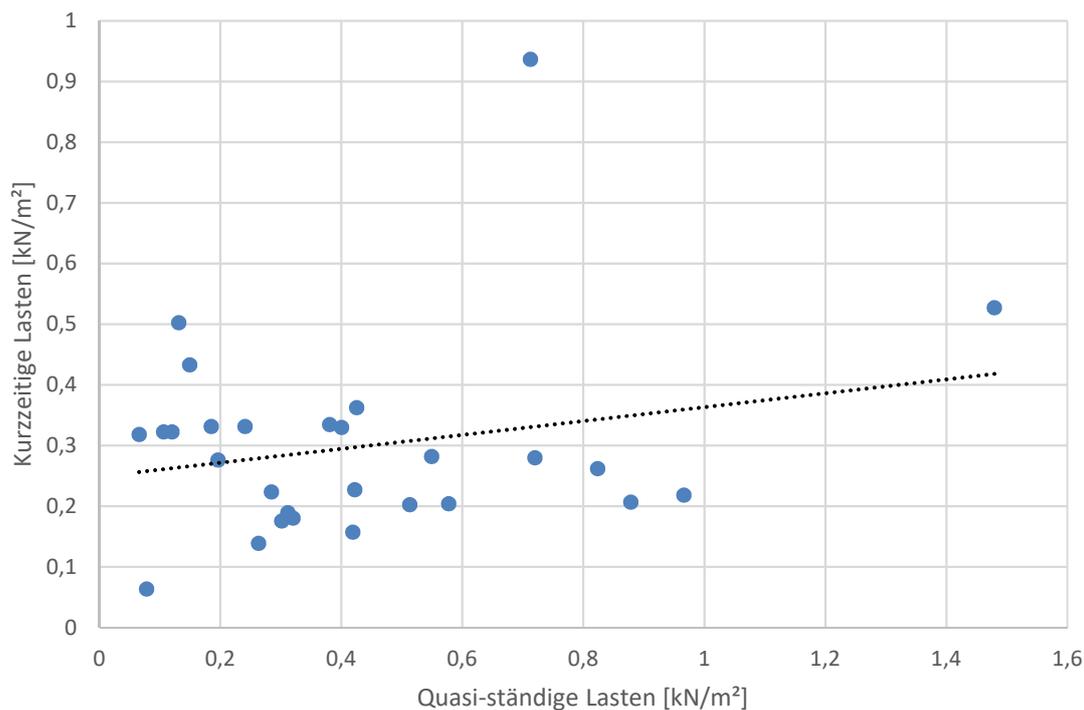


Abb. 5-14: Verhalten von quasi-ständigen zu kurzzeitigen Lasten der Büroräume

5.7 Zusammenfassung und Bewertung

Auf die vorliegenden Daten aus den Lastmessungen in den Wohnungen wird im folgenden Abschnitt näher eingegangen. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der quasi-ständigen und der kurzzeitigen Lasten liegen im Bereich der in Kapitel 4.2 beschriebenen Arbeiten. Dies bedeutet, dass die Lastmessungen aus anderen Ländern in guter Näherung auch für Österreich repräsentativ sind. Das Diagramm der quasi-ständigen Lasten bezogen auf die Raumnutzung in Abb. 5-1 zeigt einen geringen Rückgang der Lastintensität mit Zunahme der Einzugsfläche. Die höchste Belastung pro Fläche tritt eindeutig in den Küchen auf. Da hier mehrere schwere Geräte sowie Schränke auf meist kleinem Raum vorhanden sind, ist dies auch leicht nachvollziehbar. Wohnzimmer und Zimmer liegen bei der Lastintensität ziemlich gleich auf. Die Belastungen der Badezimmer liegen etwas über Wohnzimmer und Zimmer. Was aber auch an der geringeren Fläche liegen mag. Das in Abb. 5-2 dargestellte Diagramm bezieht die Lasten auf die Wohnungsfläche, hier verschwindet allerdings die Abnahme der Lastintensität mit zunehmender Fläche. Die Lastintensität mit steigender Fläche gilt also nur für einzelne Räume nicht aber für ganze Wohnungen. Das Histogramm der quasi-ständigen Lasten mit Bezug auf die Raumgrößen, welches in Abb. 5-3 dargestellt ist, kann am besten mit einer Gamma- oder Lognormalverteilung beschrieben werden. Beim Histogramm der quasi-ständigen Lasten mit Bezug auf die Wohnungen lässt sich keine eindeutige Verteilung feststellen, dies mag aber an der zu geringen Anzahl der Messobjekte liegen. Bei den kurzzeitigen Lasten ist ebenfalls ein leichter Rückgang der Lastintensität mit

zunehmender Einzugsfläche zu erkennen. Das zugehörige Diagramm ist in Abb. 5-5 zu sehen. Dieser Rückgang ist auch bei Bezug auf die Wohnungen vorhanden und in Abb. 5-6 dargestellt. Die Aussage in Bezug auf die Wohnungen ist allerdings mit Vorsicht zu genießen, da wie schon oben erwähnt, nur eine geringe Menge an Daten zur Verfügung standen. Das Histogramm der kurzzeitigen Lasten bezogen auf die Räume kann, wie auch das Histogramm der quasi-ständigen Lasten, am besten durch eine Gamma- oder Lognormalverteilung angenähert werden. Beim Histogramm der kurzzeitigen Lasten bezogen auf die Wohnungen ist es auf Grund der geringen Datenmenge schwer eine konkrete Aussage zu treffen. In Abb. 5-9 sind die kurzzeitigen Lasten in Abhängigkeit der quasiständigen Lasten dargestellt. Hier soll ein möglicher Zusammenhang zwischen den beiden Lastarten ermittelt werden. Die Verteilung der Punktwolke weist jedoch auf keinen Zusammenhang der beiden Lastarten hin, das heißt, sie können für die weiter Berechnung als unabhängig voneinander angesehen werden.

Auf die Lastmessungen in den Büroräumen und deren Ergebnisse wird in diesem Abschnitt eingegangen. Die in Tabelle 5-5 der Lasten von Büroräumen decken sich in etwa mit den in Kapitel 4 angeführten Werten von Nutzlastmessungen aus anderen Ländern. Die Werte für Konferenzräume liegen bei den eigenen Messungen allerdings deutlich unter den Werten aus Kapitel 4. Dies mag daran liegen, dass die Konferenzräume der anderen Lastmessungen vermehrt zur Lagerung von Akten verwendet wurden. Aktenschränke weisen ein erhebliches Gewicht auf, wie auch an den hohen Werten in Aktenzimmern zu erkennen ist. In Abb. 5-10 sind die quasi-ständigen Lasten der verschiedenen Büroraumnutzungen über die Fläche aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass Konferenzräume am geringsten belastet sind. Die Lastwerte der Großraumbüros liegen etwas über den Werten der Einzelbüros und am höchsten belastet sind die Bibliotheken. Eine Abnahme der Lastintensität mit zunehmender Fläche wie bei den Wohnräumen ist hier nicht der Fall. Das Histogramm der quasi-ständigen Lasten lässt sich, wie auch bei den Wohnräumen, am besten mit einer Gamma- oder Lognormalverteilung annähern. Die in Abb. 5-12 zu sehenden kurzzeitigen Lasten der Büroräume zeigen einen leichten Rückgang mit zunehmender Fläche. Hier sind die Einzelbüros am geringsten belastet. Die Lasten der Konferenzräume liegen etwas über den Lasten der Großraumbüros. Das Histogramm der kurzzeitigen Lasten lässt sich, wie auch das der quasi-ständigen Lasten, am besten mit einer Gamma- oder Lognormalverteilung annähern. Im Diagramm in Abb. 5-14 sind die kurzzeitigen Lasten über die quasi-ständigen Lasten aufgetragen, um veranschaulichen zu können, ob es eine Abhängigkeit der beiden Lastarten gibt. Es ist jedoch auch hier keine Abhängigkeit der beiden zu erkennen, was zu dem Schluss führt, dass die beiden Lasten als weitestgehend unabhängig voneinander angesehen werden können.

6. LASTBESCHREIBUNGSMODELL

6.1 Allgemeines

Um Nutzlasten in einem Gebäude erfassen und mittels mathematischen Modells beschreiben zu können, müssen bestimmte Annahmen bzw. Vereinfachungen getroffen werden. Damit eine möglichst realitätsnahe Beschreibung durchgeführt werden kann, werden die Lasten in kurzzeitige und langzeitige (quasi-ständige) Lasten unterteilt. Zu den quasi-ständigen Lasten gehören Möbel, Einrichtungsgegenstände und normal anwesende Personen. Zu den kurzzeitigen Lasten zählen Personenansammlungen bei Feiern oder Notsituationen, sowie Stapelung von Möbeln bei Renovierungsarbeiten. Für die quasi-ständigen Lasten ist es um einiges leichter Daten aus Lastmessungen zu erhalten, als für die kurzzeitigen Lasten. Für diese muss meist eine Befragung der Mieter oder eine ingenieurmäßige Schätzung ausreichen.

Ein Lastbeschreibungsmodell zur Ermittlung einer gleichförmig verteilten Ersatzlast, welches in den meisten Arbeiten zu diesem Thema zu finden ist, wird in [6] vorgeschlagen. Es beruht auf der Annahme, dass die Lastintensität $w(x,y)$ durch den Mittelwert m , eine Zufallsvariable v mit Mittelwert Null und ein Zufallsfeld mit Mittelwert Null $u(x,y)$ ausgedrückt werden kann. Die Formel lautet somit:

$$W(x, y) = m + V + U(x, y) \quad (6.1)$$

[10]

Um dies Formel in der Praxis anwenden zu können, müssen gewisse Vereinfachungen getroffen werden. Somit ergibt sich für die statischen Kennwerte der gleichförmig verteilten Ersatzlast folgende Formeln:

$$E(q) = m \quad (6.2)$$

$$\text{VAR}(q) = \sigma_U^2 + \sigma_V^2 \cdot \frac{A_0}{A} \cdot \kappa \quad (6.3)$$

$$F_{q \max}(x) = \exp(-\lambda \cdot T \cdot (1 - F_q(x))) \quad (6.4)$$

[10]

In den beiden folgenden Kapiteln werden die oben angeführten Formeln für Wohnungen und Büroräume ausgewertet und die Ergebnisse tabellarisch dargestellt.

6.2 Modellauswertung der Wohnungen

In diesem Abschnitt werden mittels der in Kapitel 6.1 angeführten Formeln die gleichförmig verteilten Ersatzlasten ermittelt. Die dafür benötigten Eingangsdaten sind in Tabelle 6-1 zu finden.

Tabelle 6-1: Eingangsdaten der Wohnungen

Kennwert	Quasi-ständige Lasten	Kurzzeitige Lasten	Einheit
	q_s	q_t	
m	0,314	0,217	[kN/m ²]
σ_v	0,150	-	[kN/m ²]
σ_u	0,300	0,400	[kN/m ²]
A_0	20	20	[m ²]
κ	2	2	-
λ	1/7	1	[1/a]
T	50	50	[a]
Werte, für die aus den Nutzlastmessungen keine Daten zur Verfügung standen, wurden aus [6] Tabelle 2.2.1 entnommen			

Für die Auswertung der Tabelle 6-1 müssen die quasi-ständigen und die kurzzeitigen Lasten kombiniert werden. Das hier verwendete Kombinationsmodell geht von der Annahme aus, dass das Maximum der Gesamtlast entweder dann auftritt, wenn die quasi-ständige Last oder die kurzzeitige Last ihr Lebenszeitmaximum erreichen. Daraus folgen unter der Voraussetzung, dass die beiden Lasten unabhängig voneinander sind, die beiden Lastkombinationen A und B. Dabei beschreibt A das Lebenszeitmaximum der quasi-ständigen Lasten plus den Mittelwert der kurzzeitigen Lasten und B das Lebenszeitmaximum der kurzzeitigen Lasten plus den Mittelwert der quasi-ständigen Lasten. Das Maximum von A und B entspricht somit dem Lebenszeitmaximum der Gesamtlast. Die Ermittlung der quasi-ständigen und der kurzzeitigen Maximallasten erfolgt über den 95 % - Quantilwert. In Tabelle 6-2 sind die Ergebnisse der Auswertung angeführt. [3]

Tabelle 6-2: Modellauswertung der Wohnungen

Lastkombi- nation	Einzugsflä- che A [m ²]	q _s [kN/m ²]	q _t [kN/m ²]	q _s + q _t	q _k [kN/m ²]
A	10	1,42	0,22	1,63	1,92
B	10	0,31	1,60	1,92	
A	20	1,42	0,22	1,63	1,92
B	20	0,31	1,60	1,92	
A	50	1,07	0,22	1,28	1,41
B	50	0,31	1,09	1,41	
A	80	0,95	0,22	1,17	1,22
B	80	0,31	0,91	1,22	

6.3 Modellauswertung der Büroräume

Die statistische Auswertung der Büroräume wurde im folgenden Abschnitt durchgeführt. Die Kenngrößen für die Ermittlung der charakteristischen Nutzlast sind in Tabelle 6-3 zu finden.

Tabelle 6-3: Eingangsdaten der Büroräume

Kennwert	Quasi-ständige Lasten	Kurzzeitige Lasten	Einheit
	q _s	q _t	
m	0,429	0,298	[kN/m ²]
σ _v	0,300	-	[kN/m ²]
σ _u	0,600	0,400	[kN/m ²]
A ₀	20	20	[m ²]
κ	2	2	-
λ	0,20	3,3	[1/a]
T	50	50	[a]

Werte, für die aus den Nutzlastmessungen keine Daten zur Verfügung standen, wurden aus [6] Tabelle 2.2.1 entnommen

Die Auswertung der Daten mit den Formeln aus Kapitel 6.1 ist in Tabelle 6-4 dargestellt. Die Auswertung erfolgt analog Kapitel 6.2.

Tabelle 6-4: Modellauswertung der Büroräume

Lastkombi- nation	Einzugsflä- che A [m ²]	q _s [kN/m ²]	q _t [kN/m ²]	q _s + q _t	q _k [kN/m ²]
A	10	2,74	0,30	3,04	3,04
B	10	0,43	1,75	2,18	
A	20	2,74	0,30	3,04	3,04
B	20	0,43	1,75	2,18	
A	50	2,01	0,30	2,31	2,31
B	50	0,43	1,22	1,65	
A	80	1,76	0,30	2,06	2,06
B	80	0,43	1,02	1,45	
A	120	1,61	0,30	1,90	1,90
B	120	0,43	0,89	1,32	

Wie auch bei den Wohnhausnutzlasten ist mit zunehmender Einzugsfläche eine Abnahme der Lastintensität zu erkennen. Die Lastwerte der Einzugsflächen von 10 und von 20 m² sind gleich hoch, da laut [10] empfohlen wird bei $A < A_0$ für $A_0/A = 1$ zu verwenden.

7. VERGLEICH MIT DER NORM

7.1 Charakteristische Lasten

Die in der Norm angeführten Werte für das Eigengewicht von Baustoffen stützen sich auf eine Vielzahl von Messungen. Für diese Daten gibt es nur einen kleinen Interpretationsspielraum, da sich die Schwankungsbreiten in einem relativ kleinen Bereich befinden. Aufgrund der einfachen Bestimmbarkeit der Eigenlasten wurden die ersten Bemessungen von Tragwerken nur mit Ansetzen des Eigengewichtes durchgeführt. Veränderliche Lasten wie Nutzlasten, Schnee und Wind wurden erst nach und nach als Einwirkungen miteinbezogen. Für klimatische Einwirkungen stand eine große Menge an Daten aus Messstationen zur Verfügung, die statistisch ausgewertet werden konnten. Anders war dies bei den Nutzlasten, hier mussten zunächst Werte aufgrund von Erfahrungen, Schätzungen oder Versuchen angenommen werden. Erst später wurden Messungen in verschiedenen Bereichen wie Wohnungen und Bürogebäuden durchgeführt und mittels verschiedener Modelle auf eine charakteristische Nutzlast hochgerechnet. Das Problem bei den Nutzlasten ist die hohe Fluktuation, welche zu höheren statischen Lasten führt. [9]

In Kapitel 6 wurden die gemessenen Werte der Wohnungen und der Büroräume mittels stochastischem Lastmodell ausgewertet und tabellarisch dargestellt. In diesem Abschnitt werden die erhaltenen Ergebnisse mit den in der Norm angeführten Werten verglichen. Die Gegenüberstellung der Werte ist in Tabelle 7-1 zu finden.

Tabelle 7-1: Normwerte und berechnete Werte

Raumnutzung	Einzugsfläche A [m ²]	Nutzlasten lt. Norm [kN/m ²]	Nutzl. stochast. Mod. [kN/m ²]	% der angeg. Normlast
Wohnraum	20	2	1,92	96%
	50	2	1,49	75%
	80	2	1,22	61%
Büroraum	20	3	3,04	101%
	50	3	2,31	77%
	80	3	2,06	69%
	120	3	1,90	63%

Es ist zu erkennen, dass für kleine Einzugsflächen das Lastmodell die Normwerte recht gut wiedergibt. Für größere Einzugsflächen sinken die Werte für Wohnräume und Büroräume jedoch auf etwa 2/3 der Normwerte ab.

7.2 Lastbeschreibungskonzept

Mit den in Kapitel 7 gewonnenen Erkenntnissen wird versucht, ein möglichst realitätsnahes Lastbeschreibungskonzept zu entwickeln. Zunächst wird festgehalten, dass die Normwerte für kleine Einzugsflächen recht gut mit den aus dem stochastischen Lastbeschreibungsmodell ermittelten Werten übereinstimmen. Somit werden die aktuellen Normwerte als Basiswert übernommen. In Tabelle 6-2 und Tabelle 6-4 ist zu erkennen, dass die Lastintensität mit zunehmender Einzugsfläche abnimmt. Die Abnahme ist bei kleinen Flächen am stärksten ausgeprägt und flacht bei größeren Flächen allmählich ab. Daraus folgt, dass die Abnahme der Lastintensität als Funktion über die Einzugsfläche eine positive Krümmung oder, anders ausgedrückt, einen Durchhang aufweist. Dadurch liegt eine Funktion mit einer Geraden zur Abminderung der Nutzlast immer auf der sicheren Seite. Es wird deshalb folgende Funktion für die Abminderung der Wohnhausnutzlasten vorgeschlagen, wobei A in m^2 einzusetzen ist:

$$f(A) = \begin{cases} A \leq 20 & f = 1,0 \\ 20 < A \leq 80 & f = -0,005 \cdot A + 1,1 \\ A > 80 & f = 0,7 \end{cases} \quad (7.1)$$

In Abb. 7-1 ist der Verlauf der Formfunktion zur Reduktion der Wohnhausnutzlasten in Abhängigkeit der Einzugsfläche aufgetragen. Die Formel zur Abminderung von q_k lautet somit:

$$q_{k,red} = f(A) \cdot q_k \quad (7.2)$$

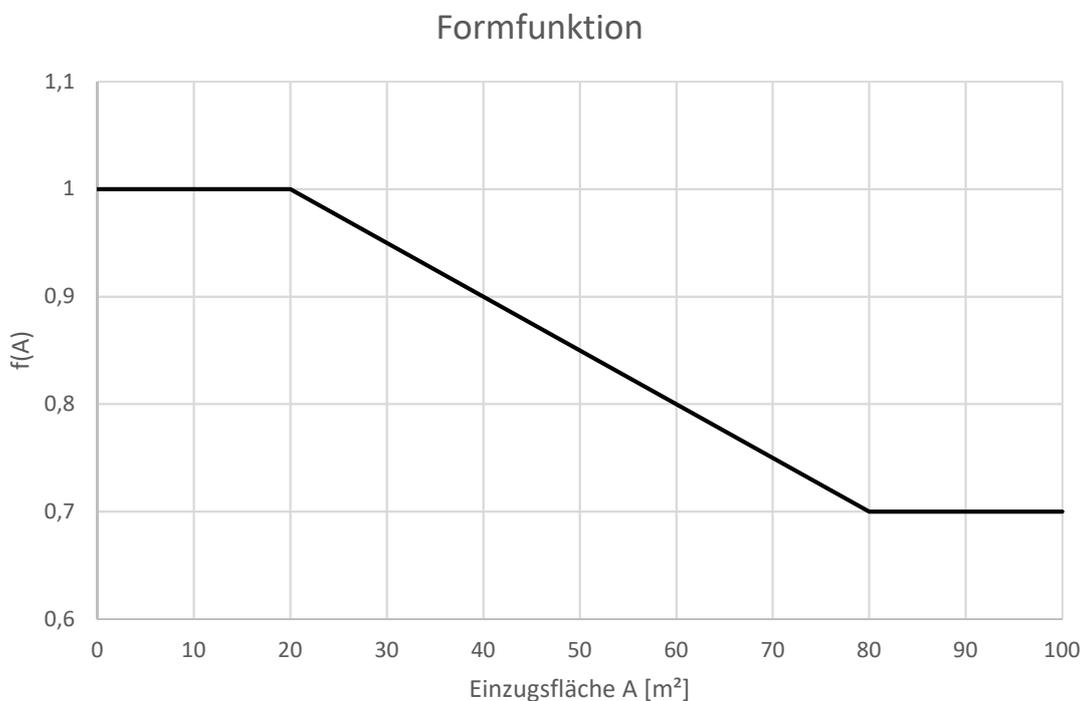


Abb. 7-1: Formfunktion zur Abminderung der Wohnhausnutzlasten

Analog zu den Überlegungen für die Abminderung der Wohnhausnutzlasten wird für die Büronutzlasten folgende Formfunktion zur Reduktion von q_k vorgeschlagen, wobei A in m^2 einzusetzen ist:

$$f(A) = \begin{cases} A \leq 30 & f = 1,0 \\ 30 < A \leq 80 & f = -0,006 \cdot A + 1,18 \\ A > 80 & f = 0,7 \end{cases} \quad (7.3)$$

Die Formfunktion zur Abminderung der Büronutzlasten ist in Abb. 7-2 dargestellt. Die Formel für die Abminderung von q_k ist in Formel (7.2) angegeben.

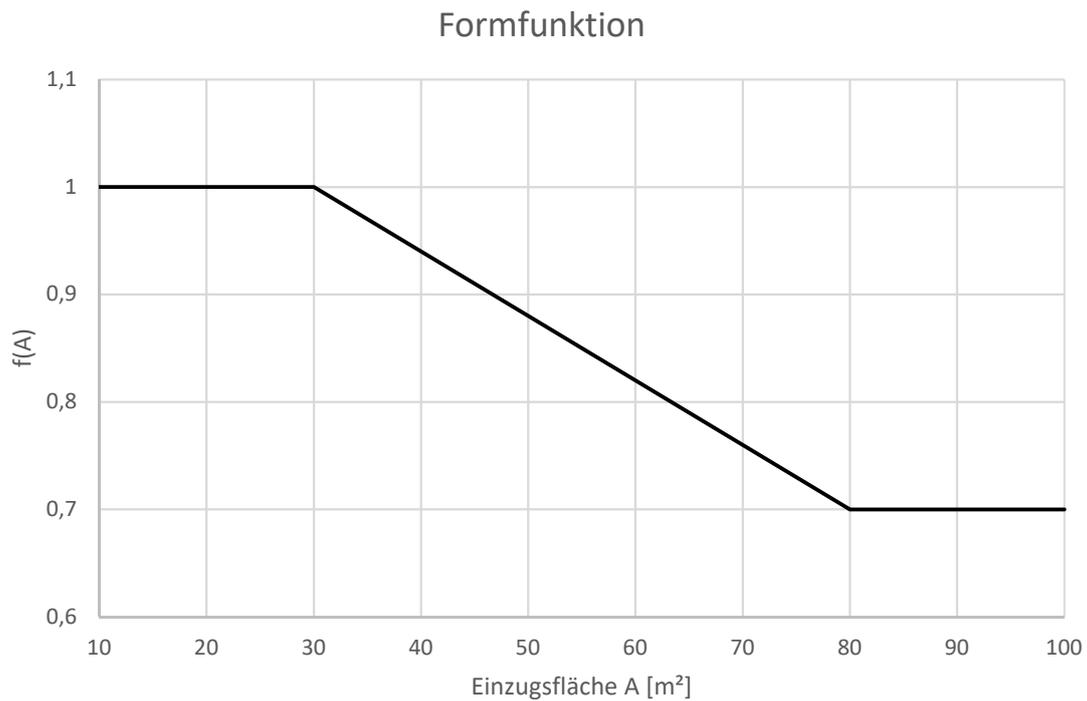


Abb. 7-2: Formfunktion zur Abminderung der Büronutzlasten

8. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Nutzlasten in Wohn- und Bürogebäuden. Im ersten Teil wird versucht, einen Überblick über die verschiedenen Einwirkungen auf Bauwerke zu schaffen. Es wird grob zwischen ständigen und veränderlichen Lasten unterschieden, wobei für diese Arbeit nur die veränderlichen Lasten von Interesse sind. Bei den veränderlichen Lasten gibt es wieder eine Unterteilung in Nutzlasten, klimatisch bedingte Lasten, verursacht durch Schnee und Wind, und außergewöhnliche Lasten, wie Erdbebeneinwirkungen. Nur auf die veränderlichen Nutzlasten wird näher eingegangen.

Im zweiten Teil folgt die Beschreibung der unterschiedlichen Sicherheitskonzepte und Nachweisverfahren beschrieben. Hier werden die Anfänge der Nachweisführung mittels Vergleichsspannungen kurz erläutert. Das später entwickelte globale Sicherheitskonzept, welches mit einem globalen Sicherheitsfaktor arbeitet, ist der Vorläufer des heute verwendeten Teilsicherheitskonzeptes, bei dem der Einwirkungs- und der Widerstandsseite Sicherheitsfaktoren zugeordnet werden. Die Grundlage für diese Arbeit stellt das semiprobabilistische Sicherheitskonzept dar. Dieses Konzept weist der Einwirkung und dem Widerstand eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zu, welche durch mathematische Auswertung auf die Sicherheit eines Bauwerks oder Bauteils gegen Versagen schließen lässt. Dabei sind zwei Grenzzustände zu betrachten: der Grenzzustand der Tragfähigkeit und der der Gebrauchstauglichkeit. Diese beiden Zustände müssen für eine positive Nachweisführung eingehalten werden. Um eine solche Nachweisführung überhaupt zu ermöglichen, müssen zuerst Einwirkungen definiert werden. Damit befasst sich der dritte Abschnitt der Arbeit, in welchem bereits durchgeführte Nutzlastmessungen in Wohn- und Bürogebäuden gesammelt und zusammengefasst wurden. Diese sollen dazu dienen, einen Vergleich mit den selbst durchgeführten Nutzlastmessungen anstellen zu können. Der Vergleich soll Aufschluss über die Adaptierbarkeit von Messwerten aus anderen Ländern geben. Die eigenen Nutzlastmessungen wurden in Wohnungen und Bürogebäuden in Wien sowie Büroräumen der Technischen Universität Wien durchgeführt. Dabei wurden sämtliche Gegenstände in den Räumen gewogen bzw. durch Referenzobjekte das Gewicht ermittelt und zusammen mit der Raumfläche die Lastintensität bestimmt. Für die Belastung durch Personen wurden die Mieter bzw. die Angestellten nach den normalerweise und den maximal anwesenden Personen befragt. Die gesammelten Daten wurden in das Tabellenkalkulationsprogramm MS Excel eingetragen und anschließend ausgewertet. Um Zusammenhänge zwischen verschiedenen Größen sichtbar zu machen wurden die Ergebnisse in Tabellen, Dia- und Histogrammen dargestellt. Diese decken sich weitgehend mit den Arbeiten aus den anderen Ländern. Somit kann davon ausgegangen werden, dass diese auch für Österreich repräsentativ sind.

Im vierten Teil werden die Messwerte mittels stochastischem Lastbeschreibungsmodell ausgewertet. Das verwendete Modell liefert durchaus plausible Werte, welche eine deutliche Abhängigkeit zwischen Einzugsfläche und Lastintensität zeigen. Im letzten Abschnitt werden die zuvor erhaltenen Ergebnisse mit den in der Norm angegebenen Werten verglichen und anschließend versucht aufgrund der erhaltenen Daten ein Lastbeschreibungskonzept zu entwickeln, welches eine Reduktion der Nutzlasten bei großen Einzugsflächen ermöglicht.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: Nutzlasten nach [3].....	10
Abb. 3-1: Verteilungsfunktion von Einwirkung und Widerstand nach [4]	18
Abb. 5-1: Quasi-ständige Lasten der Räume	42
Abb. 5-2: Quasi-ständige Lasten der Wohnungen	42
Abb. 5-3: Histogramm der quasi-ständigen Lasten bezogen auf die Räume	43
Abb. 5-4: Histogramm der quasi-ständigen Lasten bezogen auf die Wohnungen	43
Abb. 5-5: Kurzzeitige Lasten der Räume	44
Abb. 5-6: Kurzzeitige Lasten der Wohnungen.....	44
Abb. 5-7: Histogramm der kurzzeitigen Lasten bezogen auf die Räume	45
Abb. 5-8: Histogramm der kurzzeitigen Lasten bezogen auf die Wohnungen.....	45
Abb. 5-9: Korrelation von quasi-ständigen zu kurzzeitige Lasten der Räume.....	46
Abb. 5-10: Quasi-ständige Lasten der Büroräume	48
Abb. 5-11: Histogramm der quasi-ständigen Lasten der Büroräume	48
Abb. 5-12: Kurzzeitige Lasten der Büroräume	49
Abb. 5-13: Histogramm der kurzzeitigen Lasten der Büroräume	49
Abb. 5-14: Verhalten von quasi-ständigen zu kurzzeitigen Lasten der Büroräume.....	50
Abb. 7-1: Formfunktion zur Abminderung der Wohnhausnutzlasten	57
Abb. 7-2: Formfunktion zur Abminderung der Büronutzlasten	58

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2-1: Wichten von Baustoffen nach [15].....	8
Tabelle 2-2: Nutzungskategorien und Lasten nach [15].....	11
Tabelle 4-1: Mittelwerte der Nutzlasten nach [7].....	22
Tabelle 4-2: Nutzlasten in den Geschoßen nach [7].....	23
Tabelle 4-3: Nutzlast in Abhängigkeit der Raumnutzung nach [7].....	24
Tabelle 4-4: Auswertung der Nutzlast für Raumnutzung nach [7].....	25
Tabelle 4-5: Messungen von Johnson nach [3].....	26
Tabelle 4-6: Messungen von Paloheimo und Ollila nach [3].....	27
Tabelle 4-7: Messungen von Sentler nach [22].....	27
Tabelle 4-8: Zusammenfassung der vier Arbeiten nach [3].....	28
Tabelle 4-9: Auswertung der Messdaten nach [3].....	30
Tabelle 4-10: Ergebnisse der Messungen von Andam nach [1].....	32
Tabelle 4-11: Ergebnisse der Messung von Choi [5].....	35
Tabelle 5-1: Grunddaten der Wohnungen.....	40
Tabelle 5-2: Daten der Wohnungen bezogen auf die Raumnutzung.....	40
Tabelle 5-3: Mittelwert und Standardabweichung der Wohnungen.....	41
Tabelle 5-4: Grunddaten der Büroräume.....	46
Tabelle 5-5: Mittelwert und Standardabweichung der Büroräume.....	47
Tabelle 6-1: Eingangsdaten der Wohnungen.....	53
Tabelle 6-2: Modellauswertung der Wohnungen.....	54
Tabelle 6-3: Eingangsdaten der Büroräume.....	54
Tabelle 6-4: Modellauswertung der Büroräume.....	55
Tabelle 7-1: Normwerte und berechnete Werte.....	56

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Andam, Kwesi A., 1986: Floor Live Loads for Office Buildings. Building and Environmental, 1986, Vol. 21, No. 3/4, Seite 211 – 219.
- [2] Bargmann, Horst, 2013: Historische Bautabellen. Normen und Konstruktionshinweise 1870-1960. 5. Auflage, Hamburg: Werner Verlag.
- [3] Baumgart, Rudolf; Hosser, Dietmar; König, Gert, 1986: Überprüfung der Lastannahmen in DIN 1055 Teil 3 für den Wohnungsbau. T 1796. Darmstadt: IRB Verlag.
- [4] Benko, Vladimir; Eichinger, Eva Maria; Fornather, Jochen; Halvonik, Jaroslav; Potucek, Walter; Rieder, Anton; Strauss, Alfred, 2005: Grundlagen der Tragwerksplanung-EUROCODE 0. Erläuterungen zu ÖNORM EN 1990 und ÖNORM B 1990-1. Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut.
- [5] Choi, Edmund C. C.: 1990: Live Load for Office Buildings: Effect of Occupancy and Code Comparison. 1990, Journal of Structural Engineering, 116(11), Seite 3162 – 3174.
- [6] CIB Report, Action on Structures, Live Loads in Buildings, Publication 116, Juni 1989.
- [7] Culver, Charles G., 1976: Survey Results for Fire Loads and Live Loads in Office Buildings. Washington D. C.: National Bureau of Standards.
- [8] Holschemacher, Klaus; Klug, Yvette, 2016: Lastannahmen im Bauwesen. Grundlagen, Erläuterungen, Praxisbeispiele. 2. Auflage, Leipzig: Beuth.
- [9] Holzer, Stefan, M.; 2006: Kleine Geschichte der Schnee- und Windlastannahmen im 19. Jahrhundert, Bautechnik 83, 2006, Heft 11, Seite 781 – 788.
- [10] JCSS Probabilistic Model Code 2001, Part 2: Load Models, 2.2 Live Load, Joint Committee on Structural Safety, Februar 2001.
- [11] Kasperek, Astrid, 2014: Wieviel Schnee (ver)trägt ein Dach? <https://www.austrian-standards.at/presse/meldung/wieviel-schnee-vertraegt-ein-dach/>, 14.11.2018
- [12] Krapfenbauer, Thomas, 2013: Bautabellen. 19. Auflage, Wien: Jugend & Volk.
- [13] Krings, Wolfgang; Wanner, Artur, 2009: Kleine Baustatik. Grundlagen der Statik und Berechnungen von Bauteilen. 14. Auflage, Köln: Vieweg + Teubner.
- [14] ÖNORM EN 1990, Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung, Ausgabe: 2013-03-15 und ÖNORM B 1990-1, Eurocode – Grundlagen der Tragwerksplanung, Teil1: Hochbau, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1990 und nationale Ergänzungen, Ausgabe: 2013-01-01.
- [15] ÖNORM EN 1991-1-1, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau, Ausgabe: 2011-09-01 und ÖNORM B 1991-1-1, Eurocode 1- Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen, Ausgabe: 2017-02-01.
- [16] ÖNORM EN 1991-1-3, Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten, Ausgabe: 2016-01-15 und ÖNORM B 1991-1-3, Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen – Schneelasten, Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen, Ausgabe: 2018-12-01.

- [17] ÖNORM EN 1991-1-4, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Ausgabe: 2011-05-15 und ÖNORM B 1991-1-4, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten, Nationale Festlegung zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen, Ausgabe: 2013-05-01
- [18] ÖNORM EN 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, Ausgabe 2013-06-15 und ÖNORM B 1998-1, Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten, Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1998-1 und nationale Erläuterungen, Ausgabe: 2017-07-01.
- [19] News, Fakten, Leben, Menschen. <https://www.news.at/a/typischer-oesterreicher-74-1-72-52143>. 10.12.2018
- [20] Rosemeier, Gustav, 2009: Windbelastung von Bauwerken. Hoch- und Brückenbauten, Schalen, Leichte Flächentragwerke. 2. Auflage, Berlin: Bauwerk.
- [21] Schröder, Karl; Drigert, Karl-August, 1993: Neues Sicherheitskonzept in der europäischen Normung. Entwicklung der Berechnungsverfahren im Bauwesen, Eine Kurzdarstellung für die Baupraxis, 1. Auflage, Berlin: Werner-Verlag.
- [22] Sentler, Lars, 1975. A Live Load Survey in Domestic Houses, Report 47, Division of Building Technology, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.
- [23] Spaethe, Gerhard, 1992: Die Sicherheit tragender Baukonstruktionen, 2. Auflage, Zeuthen: Springer-Verlag.