

Nachhaltige Bürogebäude in Stahl- und Stahlverbundbauweise

Dissertation

vorgelegt an der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.)

von

Christine Podgorski, geb. Franz
geboren am 10.02.1985 in Rostock

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. Richard Stroetmann

Prof. Dr.-Ing. Martin Mensinger

Prof. Dipl.-Ing. Arch. Johann Eisele

eingereicht: Oktober 2018

verteidigt: Mai 2019

Kurzfassung

Die dramatischen Folgen des Klimawandels, die Zunahme der Weltbevölkerung und die Endlichkeit natürlicher Ressourcen, wie fossiler Brennstoffe, Erz aber auch Wasser und fruchtbaren Bodens, zwingen uns zum Übergang von einer überwiegend verbrauchenden zu einer ressourcenschonenden, nachhaltigen Wirtschaftsweise. Die EU hat sich ambitionierte Klimaschutzziele gesetzt: Bis 2050 sollen die jährlichen Treibhausgas-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 80 bis 95 Prozent sinken. Um diese Ziele zu erreichen, müssen wir den Verbrauch nicht erneuerbarer Energieträger drastisch reduzieren und natürliche Ressourcen schonen. Mit der Einführung von Bewertungssystemen rückt das Bauwesen die Nachhaltigkeit in den Fokus der am Planungsprozess Beteiligten. Die vorliegende Dissertation „Nachhaltige Bürogebäude in Stahl- und Stahlverbundbauweise“ gibt auf Grundlage von Parameterstudien Empfehlungen, wie die Tragkonstruktion von Bürogebäuden nachhaltig gestaltet werden kann.

Unter Berücksichtigung der langfristigen Anpassungsfähigkeit eines Bürogebäudes an sich ändernde Nutzungsbedürfnisse, werden in der vorliegenden Arbeit verschiedene Nutzungsformen und Entwicklungen der strukturellen Organisation von Bürogebäuden zusammengestellt. Daraus ergeben sich typische Raster der tragenden Bauteile, die als Grundlage für die Gestaltung der Tragkonstruktion dienen. Von entscheidender Bedeutung für die Nachhaltigkeit ist die Frage, bis zu welchen Spannweiten unter Berücksichtigung der statischen und konstruktiven Randbedingungen auf eine Mittelstützenreihe verzichtet werden kann.

Nach einer Zusammenstellung der bei Bürogebäuden in Stahl- und Stahlverbundbauweise überwiegend eingesetzten Deckensysteme, Stützen- und Trägerprofile sowie der technischen Anforderungen an die Tragkonstruktion, werden die Regeln für die Bemessung und Konstruktion der einzelnen Tragglieder nach den gültigen Eurocodes erläutert. Ausgehend von den deutschen Bewertungssystemen DGNB und BNB, werden die Grundlagen und die Methoden zur Bewertung der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit von Tragkonstruktionen ausführlich betrachtet. Um eine möglichst ganzheitliche Lebenszyklusbetrachtung der Tragkonstruktionen unter Berücksichtigung aller Arbeitsprozesse abbilden zu können, wurden fehlende oder nur mit ausgewählten Lebenszyklusmodulen ausgestattete Umweltproduktdeklarationen durch geeignete Annahmen ergänzt.

Unter Berücksichtigung der verschiedenen Bauweisen, Rastermaße, Materialgüten und Konstruktionsformen werden Optimierungsmöglichkeiten der Tragsysteme mithilfe von Parameterstudien aufgezeigt. Beginnend mit einzelnen Bauelementen, wie Deckentypen, Träger- und Stützenkonstruktionen, werden die Tragsysteme bestehend aus den verschiedenen Komponenten evaluiert. Daraus werden abschließend die Empfehlungen zur nachhaltigen Gestaltung der Tragkonstruktion abgeleitet.

Die Untersuchungen der Unterzugsdecken und Slim-Floor-Systeme mit Stahl- oder Verbundstützen ergaben, dass die Deckensysteme den signifikanten Einfluss auf die Ökologie und die Kosten ausüben. Die Aufwendungen für die Stützen sind wesentlich geringer, so dass sich deren Anordnung in erster Linie an der Nutzung und den Erfordernissen der Deckensysteme orientiert.

Im Ergebnis der Parameterstudien zeigt sich, dass sich unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten für eine freie Grundrissgestaltung bei Spannweiten von 6 m bis 15 m Unterzugsdecken mit einem Trägerabstand von 4,80 m ohne Rand- und Mittelträger besonders eignen. Werden Rand- und Mittelträger angeordnet, sind Trägerabstände von 2,40 m bis 3,60 m zu bevorzugen. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht ist ein Verzicht auf eine Mittelstützenreihe bis etwa 12 m von Vorteil. Bei größeren Spannweiten steigen die Konstruktionshöhe und der Profilstahlbedarf gegenüber Systemen mit Mittelstützenreihe deutlich an. Die Unterzugsdecken können in Stahlbeton- oder Verbunddecken ausgeführt werden. Verbunddecken sind aufgrund der Aufwendungen für Profilbleche ökologisch ungünstiger. Sie bieten jedoch aufgrund der Montagefreundlichkeit gegenüber den Stahlbetondecken ökonomische Vorteile. Bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Ökologie und Kosten sind die Stahlbeton- und Verbunddecken mit ihren unterschiedlichen Vor- und Nachteilen als gleichwertig einzustufen. Durch den Einsatz höherer Stahlfestigkeiten können häufig Profilstahlmassen reduziert werden. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Tragfähigkeit für die Bauteildimensionen maßgebend wird. Die Einsparungen haben sowohl positive Auswirkungen auf die Ökologie, und trotz höherer Stahlpreise auch auf die Kosten. Durch den Einsatz höherer Betonfestigkeiten können die Deckenstärken nur geringfügig reduziert werden, und die höheren Kosten des Betons werden nur in wenigen Fällen durch die Masseneinsparungen kompensiert. Ein Ausgleich der höheren ökologischen Belastungen durch die Masseneinsparungen konnte bei den untersuchten Decken nicht festgestellt werden.

Bei geringen bis mittleren Spannweiten ist die Ausführung von Flachdecken mit integrierten Stahlträgern möglich. Mit Blick auf die Konstruktionshöhe, die Ökologie und die Kosten, ist der Einsatz der Slim-Floor-Systeme mit Mittelstützenreihe zu empfehlen. Durch die geringe Konstruktionshöhe können die Geschosshöhe und damit das zu beheizende Gebäudevolumen sowie die Fassadenfläche reduziert, beziehungsweise die Anzahl der Geschosse bei gleicher Gebäudehöhe vergrößert werden. Die ebene Deckenunterseite erlaubt eine flexible Anordnung nichttragender Wände und eine einfache Leitungsführung. Es ist jedoch zu beachten, dass der technische Ausbau unterhalb der Tragkonstruktion anzuordnen ist und somit bei der Festlegung der Geschosshöhe die Tragkonstruktion und der Ausbau gemeinsam zu berücksichtigen sind. Die Slim-Floor-Systeme sollten mit Spannbetonhohldielen oder anderen Deckenelementen kombiniert werden, die ein vergleichsweise geringes Konstruktionsgewicht aufweisen und gleichzeitig größere Trägerabstände ermöglichen. Bei Systemen mit Spannbetonhohldielen haben sich aus ökologischer Sicht Trägerabstände von 6,0 m bis 7,2 m als günstig erwiesen. Darüber hinaus sollte die Länge der Spannbetonhohldiele das 1,0- bis 1,5-fache der Spannweite der Deckenträger betragen.

Die Auswahl der Gebäudestützen hängt von der erforderlichen Tragfähigkeit, den Brandschutzanforderungen, der konstruktiven Gestaltung und dem Platzbedarf ab. Es wurden Stahl- und Verbundstützen untersucht. Die Verwendung von Verbundstützen ist aus statischer und ökonomischer Sicht erst bei Querschnittsabmessungen ab 200 mm von Relevanz. Durch die Verwendung höherer Stahlfestigkeiten ist sowohl für Stahl- als auch für Verbundstützen im üblichen Schlankheitsbereich von Geschosstützen eine Steigerung der Tragfähigkeit oder die Ausführung kleinerer Querschnitte möglich. Analog dazu führt auch die Erhöhung der Betongüte bei Verbundstützen zu einer Tragfähigkeitssteigerung.

Zur Berücksichtigung der Brandschutzanforderungen wurden Stahlstützen mit Feuerchutzplatten und Verbundstützen mit geometrischen und konstruktiven Anforderungen

nach dem Tabellenverfahren nach DIN EN 1994-1-2 untersucht. Beim Vergleich der Varianten zeigte sich, dass bei Verbundstützen die Ökologie und die Kosten mit zunehmenden Anforderungen an den Brandschutz (R-Klasse) ungünstiger werden und dieser Einfluss bei den Brandschutzbekleidungen kaum eine Rolle spielt. Im untersuchten Parameterbereich konnten bis zur Klasse R60 mit den kammerbetonierten Verbundstützen wirtschaftlichere Ergebnisse gegenüber den bekleideten Stahlstützen erzielt werden.

Weitere Ergebnisse der Parameterstudien sind in der Dissertation erörtert und mit Diagrammen belegt. Durch die umfangreichen Auswertungen kann beim Abwägen von ökologischen und ökonomischen Interessen zwischen verschiedenen nachhaltigen Bausystemen und Spannweiten sowie Materialgütern und Konstruktionsformen gewählt werden.

Abstract

Due to the dramatic consequences of climate change, the development of the world's population, and the increasing scarcity of natural resources, such as fossil fuels, ore, but also water and fertile soil, humanity is forced to move from a predominantly consuming to a resource-efficient, sustainable economy. The EU has set itself ambitious climate protection targets: By 2050, the annual greenhouse gas emissions are to be reduced by 80 to 95 percent compared to 1990 levels. We must drastically reduce the consumption of non-renewable energy sources, and conserve natural resources. With the introduction of assessment systems, the construction industry is focussing on sustainability in the planning process. On the basis of parameter studies, the dissertation "Sustainable office buildings in steel and composite construction" provides recommendations on how the load bearing system of office buildings can be designed sustainably.

Taking into account the long-term adaptability of an office building to the changing needs of its users, this dissertation presents various forms of use and development of the structural organisation of office buildings. This results in typical grids of the load bearing components, which serve as a basis for the design of the load bearing system. In order to create a sustainable construction, it is important to calculate the maximum span that allow the forgoing of the inner columns, but still meets all structural and static requirements.

After a compilation of the predominantly used slab systems, support and beam profiles for office buildings in steel and composite construction, as well as the technical requirements for the load bearing system, the rules for the design and construction of the individual structural components are explained according to the valid Eurocodes. Based on the German assessment systems DGNB and BNB, the basic principles and methods for assessing the ecological and economic sustainability of load bearing systems are examined in detail. In order to be able to depict a holistic analysis of the life cycle of the load bearing system that takes into account all working processes, this dissertation adds suitable assumptions for missing or incomplete environmental product declarations.

Taking into account the different construction methods, grid dimensions, material grades and construction forms, the parameter studies conducted within the scope of this dissertation provide optimisation possibilities of the load bearing system. Starting with an analysis of the individual structural elements, such as slab types, beam and column constructions, the structural systems consisting of those various components are being evaluated. As a result, recommendations regarding the sustainable construction of load bearing systems are being derived.

The examination of floor systems with downstand beams and slim-floor systems with steel or composite columns showed that the dominant influence on the ecology and the costs is caused by the slab systems. The expenses for the columns are substantially lower, so that their arrangement is based primarily on the requirements of the slab systems.

The parameter studies showed that, from an ecological and economical point of view, floor systems with downstand beams, providing a beam distance of 4.80 m excluding edge and holding beams, are particularly suitable for a free floor layout with span widths

of 6 m to 15 m. If edge and holding beams are arranged, beam distances of 2.40 m to 3.60 m are preferable. Considering ecological and economical effects, it is better to forgo the construction of inner columns up to about 12 m. For larger spans, the construction height and the required amount of profile steel increase significantly compared to systems that include inner columns. The floor slabs can be made of reinforced concrete or composite slabs. Composite slabs are ecologically unfavourable due to the expenses of profiled sheets. However, due to their relatively easy instalment compared to reinforced concrete slabs, they offer economic advantages. Considering ecological and economical effects, both the reinforced concrete and the composite slabs with their different advantages and disadvantages show equal results. The use of higher steel strengths can often reduce profile steel masses. This is always the case when the load bearing capacity is decisive for the component dimensions. The savings have a positive impact on the environment and, despite higher steel prices, are also reducing the costs. By using higher concrete strengths, the thickness of the slabs can only be reduced slightly, and the higher costs of the concrete are compensated only in a few cases by the mass savings. It was not possible to determine any compensation for the higher ecological impact of the mass savings in slabs examined.

For small to medium span widths, it is possible to implement slim-floor-systems with integrated floor beams. With regard to the construction height, ecological and economical aspects, the usage of the slim-floor-systems with inner columns is recommended. Due to the low construction height, the storey height and thus the volume that needs to be heated, as well as the facade area, can be reduced. As well, the number of storeys can be increased with the same building height. The flat underside of the ceiling allows a flexible arrangement of non-load-bearing walls and a simple cable routing. However, it should be noted that the technical equipment is to be arranged below the load bearing system; therefore, the load bearing system and the additional construction must be considered together when determining the floor height. The slim-floor-systems should be combined with prestressed hollow core slabs or other slab systems, which have a comparatively low weight, but at the same time allow larger distances between beams. From an ecological point of view, beam distances of 6.0 m to 7.2 m have proven to be favourable for systems with prestressed hollow core slabs. In addition, the length of the prestressed hollow core slab should be 1.0 to 1.5 times the span of the slab beams.

The selection of the building columns depends on the required load bearing capacity, fire protection regulations, the structural design and the required space. Within the scope of this dissertation, steel and composite columns have been examined. From a static and economic point of view, the use of composite columns is only required when the cross-sectional dimensions exceed 200 mm. The use of higher steel strengths makes it possible to increase the load bearing capacity, or to design smaller cross-sections for both steel and composite columns in the usual slenderness range of storey columns. Similarly, increasing the concrete strength of composite columns also enhances the load bearing capacity.

Considering fire protection regulations, the parameter studies examine steel columns with fire protection plates and composite columns with geometric and structural requirements according to the table method corresponding to DIN EN 1994-1-2. A comparison of the variants showed that the increasing requirements of the fire protection regulations (R-Class) have a negative impact on the ecology, and furthermore increase the costs of con-

struction and this influence hardly plays a role for fire protection plates. Within the investigated parameter range more economical results could be achieved for columns with concrete cores up to the class R60 compared to the clad steel columns.

Further results of the parameter studies are discussed in the dissertation and documented with charts. Based on these extensive evaluations and considering weighted economical and ecological interests, an informed choice between different sustainable building systems and span widths, as well as material grades and constructional forms, can be taken.