

**Tragverhalten von Slim Floor Decken mit Betonhohlplatten
bei Raumtemperatur und Brandeinwirkungen**



ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels

Doktor der technischen Wissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Walter Borgogno

geboren am 12. Juli 1967

von Altstätten SG

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. Mario Fontana, Referent

Prof. Dr. Hugo Bachmann, Korreferent

Zusammenfassung

Der Kostendruck im Bauwesen verlangt zunehmend rationelle und wirtschaftliche Baumethoden. Dies führt vermehrt zu Bauteilen, die industriell gefertigt und auf der Baustelle nur noch montiert werden müssen. Betonhohlplatten als Deckenelemente sowie Stahlträger- und -stützen für die dazugehörige Rahmenkonstruktion erfüllen diese Forderungen. Hohlplatten werden im Spannbett in Bahnen betoniert, sind durch Litzen im direkten Verbund vorgespannt und werden noch im Werk auf die verlangte Länge zugeschnitten. Eine industrielle Fertigung findet auch für die Stahlteile statt. Sämtliche Bauteile können "just-in-time" für die Montage auf die Baustelle geliefert werden, womit platzintensive Lager wegfallen. Die Deckenelemente von Slim Floor Decken werden nicht wie im traditionellen Verbundbau auf den Oberflansch eines Walzprofils, sondern auf den Unterflansch eines asymmetrischen Stahlträgers gelegt. Mit dieser Bauweise erreicht man eine nahezu trockene Konstruktionsform mit den Vorteilen einer Flachdecke.

Der Stahlträger biegt sich unter dem Eigengewicht der Hohlplatten und den Nutzlasten durch und bildet für die Hohlplatten ein nachgiebiges Auflager. Dabei entsteht eine erhöhte Beanspruchung in den Randhohlplatten. Zusätzlich herrscht ein Verbund zwischen Hohlplatten und Unterflansch des Stahlträgers. Im Falle eines Brandes entsteht in den Hohlplatten eine Temperaturbeanspruchung in Form von Eigenspannungen und die Baustofffestigkeiten vermindern sich infolge Temperatur. Während die Eigenspannungen das Tragverhalten des Betons ungünstig beeinflussen, ist für den Stahlunterflansch vor allem die Festigkeitsreduktion infolge der starken Erwärmung von Bedeutung. Untersuchungen zum Schubtragverhalten der Hohlplatten im Auflagerbereich und zur Abtragung der Auflagerkräfte beim Ausfall des Stahlunterflansches fehlen noch weitgehend. Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung von entsprechenden Tragmodellen und deren Überprüfung durch an der ETH und am CTICM (Frankreich) durchgeführte Versuche.

Die Grundlagen für die Berechnung des Temperaturverlaufs im Querschnitt und für das Stoffverhalten von Beton, Stahl und Verbund bei erhöhten Temperaturen werden im zweiten Kapitel behandelt. Im dritten Kapitel werden die Resultate der ETH-Versuche bei Raumtemperatur mit bestehenden Tragmodellen für Hohlplatten verglichen. Sie dienen als Grundlage für Tragmodelle bei erhöhten Temperaturen. Das vierte Kapitel zeigt Verfahren zur Berechnung der Eigenspannungen infolge erhöhter Temperaturen. Es werden neue Tragmodelle bei Brandeinwirkung, insbesondere für das Schubtragverhalten, der Hohlplatten entwickelt und an den ETH- und CTICM-Versuchen überprüft. Das fünfte Kapitel analysiert das Tragverhalten bei nachgiebiger Auflagerung und vergleicht am VTT (Finnland) und an der ETH neu entwickelte Tragmodelle mit den VTT-Versuchen. Das sechste Kapitel zeigt Konstruktions- und Berechnungsmöglichkeiten zur Sicherung des Auflagers beim Ausfall des Stahlunterflansches im Brandfalle. Weiter wird die Auswirkung verschiedener konstruktiver Ausbildungsformen des Auflagerbereiches der Hohlplatten auf die Feuerwiderstandsdauer anhand von neuen Tragmodellen untersucht.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass durch konstruktive Massnahmen im Auflagerbereich der Hohlplatten ein gutmütiges Tragverhalten sowohl bei Raumtemperatur als auch im Brandfalle erreicht werden kann. Entscheidend beeinflusst wird das Tragverhalten der Hohlplatten durch die Randbedingungen bei den Auflagern. Es sind Feuerwiderstandsdauern von über 90 Minuten mit duktilem Bruchverhalten möglich.

Résumé

Dans le domaine de la construction, le besoin de méthodes de construction rationnelles et économiques est en constante augmentation. Ce fait conduit à l'emploi d'éléments porteurs préfabriqués industriellement qui peuvent ainsi être montés plus rapidement sur chantier. Dans la construction de bâtiments, les dalles en béton alvéolé précontraintes ainsi que les colonnes et traverses métalliques visent à satisfaire ce besoin. Ces dalles sont bétonnées en ligne, précontraintes par fils adhérents et découpées en usine à la longueur demandée. La préfabrication existe également pour les éléments en acier. Tous les éléments porteurs peuvent être ainsi fournis sur chantier dans des délais fixés afin d'éviter des installations et dépôts encombrants sur place. Les dalles ne sont pas supportées par l'aile supérieure du profilé métallique comme en construction mixte traditionnelle, mais par l'aile inférieure d'une poutre asymétrique. Grâce à cette méthode de construction, appelée Slim Floors, la construction se fait "à sec", avec les avantages d'une dalle à hauteur constante restreinte.

Les poutres métalliques fléchissent sous le poids des dalles en béton alvéolé ainsi que sous celui des charges et se comportent comme des appuis flexibles. Il en résulte une augmentation de la sollicitation dans les dalles constituant les éléments extrêmes des champs. En outre, il existe une adhérence indésirable entre les dalles et l'aile inférieure des profilés métalliques. En cas d'incendie, des autocontraintes d'origine thermique apparaissent, de même qu'une réduction de la résistance due à la température. Celle-ci a de plus une influence décisive sur la résistance de l'aile inférieure du profilé métallique. La résistance au cisaillement des dalles, ainsi que celle de l'aile inférieure du profilé métallique sous l'effet d'augmentation de température n'ont pas été étudiés jusqu'à présent. Le but du présent travail consiste donc à développer un modèle de comportement et à examiner la concordance entre les essais réalisés à l'ETH et ceux réalisés en France (CTICM).

Les bases pour le calcul des températures en section, ainsi que le comportement rhéologique du béton, de l'acier, et de la surface de contact entre les deux, sont étudiés dans le chapitre 2. Dans le troisième chapitre, les essais réalisés à température ambiante seront analysés par le biais de modèles existants. Ceux-ci serviront également de base à l'élaboration de modèles applicables en cas de température élevée. Le quatrième chapitre quant à lui expose des méthodes permettant le calcul de la répartition des contraintes thermiques. Des modèles de comportement sont également développés pour le cas des dalles en béton alvéolé, en particulier en ce qui concerne le comportement en cisaillement. Ceux-ci seront validés à l'aide des essais réalisés à l'ETH et au CTICM. Le chapitre cinq analyse le comportement en cas d'appuis flexibles et le compare aux essais du VTT en Finlande. Dans le sixième chapitre, les méthodes de calcul permettant d'assurer la sécurité de l'appui en cas de rupture de l'aile inférieure du profilé métallique sont décrites en fonction du type de construction employé. L'influence sur la résistance au feu des différents détails de construction situés autour de la zone d'appui est en outre étudiée au moyen des modèles développés dans la présente étude.

Les résultats de ce travail montrent qu'un bon comportement peut être obtenu grâce à des mesures constructives appropriées dans la zone d'appui, aussi bien à température ambiante qu'en cas d'incendie. Le comportement des dalles en béton alvéolé est donc influencé de façon décisive par les conditions d'appui. Enfin, des résistances au feu supérieures à 90 minutes sont ainsi possibles, accompagnées de rupture ductile.

Summary

In today's construction there is an increasing demand for efficient and economical structures. This leads to structural elements which are fabricated in an industrial manner and assembled on site. Concrete hollow core elements for slabs and steel beams and columns for the structural framework fulfil these requirements. Hollow core elements are concreted in long casting beds (in the slipforming process or by extruding machines), prestressed by strands with direct bond and cut in the factory to the required length. The structural steel elements are also prefabricated. All the structural elements can be delivered "just-in-time" to the site allowing less material and site intensive installations. In Slim Floor construction the slab elements are not supported by the upper flange of a hot rolled steel profile as in traditional composite construction but by the lower flange of an asymmetric steel beam. By this method of construction, called Slim Floors, a dry type of construction is achieved with all the advantages of a concrete flat slab.

The steel beam deflects under the variable load and the weight of the hollow core elements resulting in a flexible support and leading to higher shear action in the edge hollow core elements. Additionally, an undesirable bond acts between these elements and the lower flange of the steel beam. In the case of fire thermal stresses develop in the concrete because of the temperature gradient as well as a reduction of the material strength because of high temperatures. Whereas the thermal stresses influence the structural behaviour of concrete, the strength reduction in the lower steel flange because of the high temperature is significant. The shear behaviour of hollow core elements and of the support zone (i.e. lower flange) of Slim Floors in fire have hardly been investigated before. The aim of this work is the development of corresponding structural models and comparison with tests carried out at the ETH and CTICM (France).

The fundamentals and thermal properties for the calculation of the section temperatures and the material properties of concrete, steel and bond at high temperatures are dealt with in the second chapter. In the third chapter the results of the ETH tests at room temperature are analysed with existing structural models for hollow core elements forming a basis for the models at high temperatures. The fourth chapter gives methods for the calculation of thermal stresses at high temperatures. Further structural models describing the shear resistance of hollow core elements in fire have been developed, and they are compared to the ETH and CTICM tests. The fifth chapter analyses the behaviour due to the flexible support and compares different models with tests. In the sixth chapter, calculation models and constructional details for the support zone are discussed to improve the reliability of that zone in the fire case.

The results of this work show that by constructional measures in the support zone a good structural behaviour is obtained both at room temperature and in the case of fire. The structural behaviour of the hollow core elements is influenced decisively by the conditions at the supports. Fire resistances of more than 90 minutes can be achieved with a ductile failure behaviour only if adequate measures are taken.