

**Ausgabe 1/2000  
Juni 2000**

- **Flachdecken mit integrierten Stahlträgern**
- **Dimensionierung und Nachweis instabilitätsgefährdeter gevouteter Kragträgern mit T-förmigem Querschnitt**
- **Plastische Bemessung von Stirnplatten-Anschlüssen mit 4 Schrauben in einer Reihe**
- **Biegedrillknicken von kammerbetonierten Verbundträgern ohne Betongurt**
- **Nutzung von Heißrauchgeneratoren bei der Beurteilung von Verrauchung und Entrauchungsmaßnahmen in bestehenden Gebäuden**
- **Datenaustausch im Bauwesen**
- **Pendelschlagversuche - weicher Stoß an absturzsichernden Verglasungen**

## **Flachdecken mit integrierten Stahlträgern**

### **1. Einleitung**

Spannbetonhohlplatten sind Betonfertigteile, die außer dem Spannstahl keine Bewehrung aufweisen. Die Verwendung von Spannbetonhohlplatten ist in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. Die Lagerungsart solcher Platten kann eingeteilt werden in starre Lagerung, wie z. B. auf massiven Wänden, oder in die sogenannte nachgiebige Lagerung, wie z. B. auf Trägern. Bei der nachgiebigen Lagerung entstehen infolge der Durchbiegung der Träger zusätzliche Beanspruchungen in Querrichtung der Platten. Diese Zusatzbeanspruchungen vermindern die Querkraft-Tragfähigkeit mehr oder weniger.

### **2. Beschreibung des Forschungsprojektes**

Im Rahmen des DAST / AIF-Forschungsprojektes (11447 N) wurden im Fachgebiet Stahlbau an der Universität Kaiserslautern sowohl numerische Un-

tersuchungen als auch Versuche mit Einzelplatten und ganzen Deckenfeldern durchgeführt, um das Tragverhalten von Flachdecken mit integrierten Stahlträgern zu erforschen.

#### **2.1 Nichtlineare FE-Berechnungen an Einzelplatten**

Da eigene Versuche erst im zweiten Teil des Forschungsprojektes durchgeführt wurden, wurde eine Platte von Pajari [1] mit einem FE-Modell abgebildet. Die nachstehende Abbildung (Abb. 1) zeigt den Vergleich von Versuch und Berechnung einer starr gelagerten Platte. Die Traglast und die Steifigkeit stimmen gut überein, die tatsächlich erreichten Verformungen werden rechnerisch aber etwas unterschätzt. Die Traglast wurde bei dem Lastniveau definiert, bei dem die Hauptzugspannungen die Zugfestigkeit des Betons erreichen.

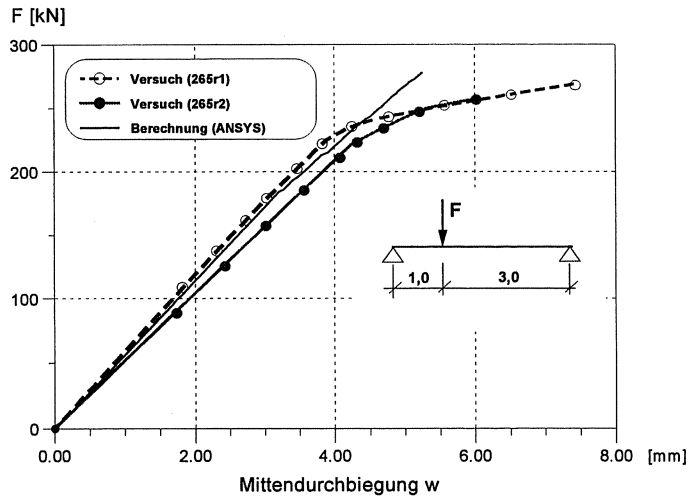
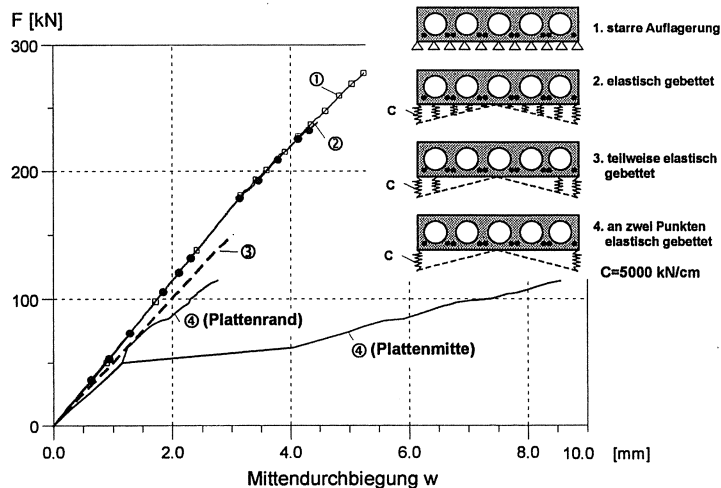


Abb. 1: Pajari-Versuch Nr. 265: Versuchsergebnisse und nichtlineare Vergleichsberechnung (ANSYS)

Um den Einfluß der nachgiebigen Lagerung zu simulieren, wurde die Linienlagerung verlassen, mit dem Ziel die Umlagerung der Auflagerung zu den Eckpunkten hin zu berücksichtigen. Dabei wurden Anzahl und Steifigkeit der elastischen Federn variiert. Es zeigt sich

eine Abminderung der Querkraft-Tragfähigkeit bis auf 42 % im Vergleich zur Linienlagerung (vgl. Abb. 2). Dieses Ergebnis stimmt mit den Pajari-Versuchen und mit unseren Beobachtungen gut überein.






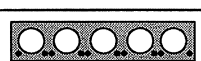
Hohlplatten		$F_{pl}$ (starr) [kN]	$F_{ANSYS}$ [kN]	$F_{ANSYS}/F_{pl}$ [ - ]	$w$ [cm]	$w/L$ [ - ]	Versa- gen
Nr.	Lagerung						
1		535	277	0,52	0,524	1/763	Schub
2		535	242,6	0,45	0,457	1/875	Schub
3		535	152,2	0,28	0,307	1/1303	Schub
4		535	114,8	0,22	0,277 (0,86)	1/1444 (1/465)	Schub

Abb. 2: Pajari-Versuch Nr. 265: Rechnerische Traglasten bei starrer und nachgiebiger Lagerung

## 2.2 FE-Berechnungen als „Trägerrost“

Das gesamte Deckenfeld wurde außerdem in einem FE-Modell abgebildet. Hierzu wurde eine Art „Trägerrost“ simuliert. Die Spannbetonhohlplatten wurden als starre Volumenelemente auf den Trägern (Stabelemente) elastisch gelagert. Die Platten wurden mit Federn, die nur Druck aufnehmen, miteinander gekoppelt. Auch die Federn zwischen Träger und Platte konnten nur Druckkräfte übertragen. Dadurch konnte die Kräfteumlagerung zu den Eckpunkten hin und die abstützenden Druckkräfte zwischen den Platten nachvollzogen werden. Die Platten waren an

den vier Ecken des Deckenfeldes in horizontaler Richtung gehalten. Diese Lagerung sollte die steifen Stirnplatten an Trägerenden zum Anschluß an Stützen abbilden. Das System ist in Abbildung 3 dargestellt.

Der aus den Federkräften ermittelte Schubfluß in Plattenquerrichtung stimmte mit dem Versuchsergebnis gut überein. Die Schubbeanspruchung im Versuch wurde mit der Modellvorstellung einer „Enddübelwirkung“, wie sie in Absatz 2.3 erläutert ist, ermittelt. Die Übereinstimmung zwischen Versuch und FE-Berechnung liegt bei 97 %.

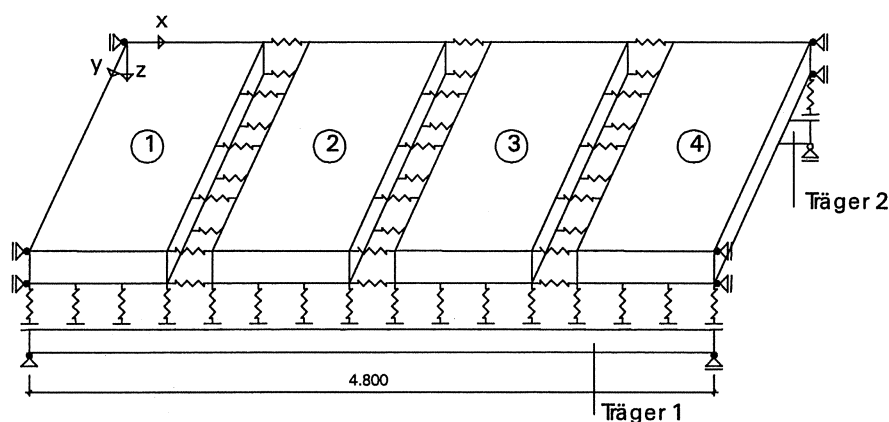


Abb. 3: System zur Trägerrost-Generierung

### 2.3 Durchgeführte Versuche

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden drei Versuche an Einzelplatten und zwei großmaßstäbliche Deckenfeldversuche durchgeführt. Die Einzelplatten waren alle starr gelagert, um Vergleichswerte zum Deckenfeldversuch mit nachgiebiger Lagerung zu erhalten. Die Deckenfelder waren statisch bestimmt gelagert, und jeder Träger konnte sich an seinen Enden frei verdrehen. Im folgenden Bild (Abb. 4) ist der Versuchsaufbau der Deckenfeldversuche dargestellt.

Tabelle 1 beinhaltet zusammenfassend die Ergebnisse. In Spalte 3 sind die im Versuch bzw. die in den FE-Berechnungen erzielten Querkraft-Tragfähigkeiten aufgeführt. Die Abminderung beim Versuch DF150HD (Zeile 6) bezieht sich auf den Mittelwert der starr gelagerten Platte von Zeile 3 und 4. Die Abminderung vom Deckenfeldversuch mit 270 mm hohen Platten (DF270TR, Zeile 7) gilt für den Vergleich mit der starr gelagerten Platte (Zeile 5). Bei den FE-Berechnungen (Zeile 8 bis 11) war die Platte von Zeile 8 starr gelagert (vgl.

Abb. 2). Die Versuche T2, T3 und T4 wurden bereits in einem vorhergehenden Forschungsprojekt im Fachgebiet Stahlbau an der Universität Kaiserslautern durchgeführt, aber neu ausgewertet. Es zeigt sich eine Abminderung bei den Deckenfeldversuchen bis auf 42 %. Dies liegt auch in der Größenordnung von den Pajari-Versuchen (Tab. 2, Spalte 5). Pajari hat die Platten zum Teil vertikal und horizontal belastet, um die Beanspruchungen in Querrichtung zu simulieren.

Bei den in Kaiserslautern durchgeführten Versuchen zeigte sich, daß die im Versuch ermittelte Querkraft-Tragfähigkeit deutlich über der zulässigen Querkraft liegt, die vom Hersteller angegeben wird. Die berechnete Querkraft-Tragfähigkeit ( $Q_{u,calc,k}$ ) von der 150 mm hohen Platte (Zeile 3) mit charakteristischen Werten zeigt, daß sie im Mittel etwa 10 % über der im Versuch ermittelten liegt. Grundlage für die Berechnung war hierfür die Querkraft-Tragfähigkeit in Zone a nach den Zulassungen [11] (Gl. 1).

$$Q_{u,calc,k} = \frac{J \cdot b_s}{S} \cdot \left( \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\beta_{bz} + 0,9 \cdot \alpha \cdot \sigma_{bv} \cdot \beta_{bz}} - 0,9 \cdot \tau_{sp} \right) \quad (1)$$

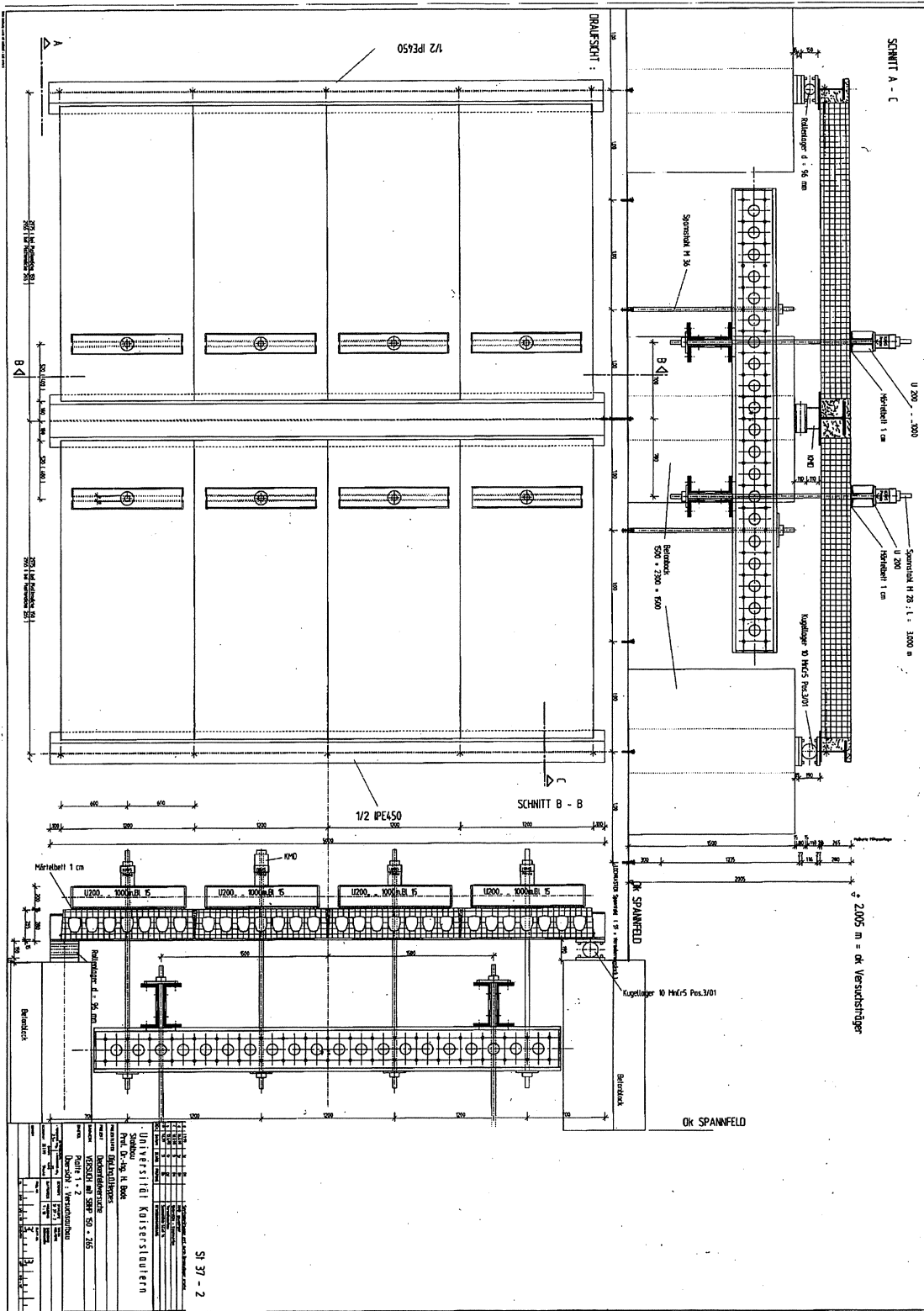


Abb. 4: Versuchsaufbau der Deckenfelder mit Lasteinleitungsstruktur

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Versuch	$Q_{u,Test}$ [kN/m]	Abmind.	zul $Q_a$ [kN/m]	$Q_{u,Test} /$ zul $Q_a$	$Q_{u,calc,k}$	Durchb. w / l
3	E150HD-1	108,3	---	45,7	2,37	117,6	---
4	E150HD-2	101,9	---	45,7	2,23	117,6	---
5	E270TR-1	194,6	---	68,2	2,85		---
6	DF150HD	57,0	0,48	45,7	1,25	117,6	1/145
7	DF270TR	75,3	0,62	68,2	1,10	---	1/384
8	ANSYS265-1	173,1	1,00	---	---	---	---
9	ANSYS265-2	151,6	0,88	---	---	---	---
10	ANSYS265-3	95,1	0,55	---	---	---	---
11	ANSYS265-4	71,8	0,42	---	---	---	---
12	T2	54,4	---	49,3	1,10	---	---
13	T3	49,0	---	43,0	1,14	---	---
14	T4	81,9	---	43,0	1,90	---	---

Tab. 1: Zusammenstellung der Versuchsergebnisse

1	2	3	4	5
2		Versuch	$Q_{u,Test}$ [kN/m]	Abmind.
3	Referenz	265R1	176,1	1,02
4		265R2	169,3	0,98
5	vert. + horiz. belastet	265A1	131,4	0,76
6		265B1	131,4	0,76
7		265A2	174,1	1,01
8		265B2	169,8	0,98
9		265C1	175,2	1,01
10		265C2	86,3	0,50
11		265D1	89,1	0,52
12		265D2	284,8	1,65
13	Referenz	400R1	284,8	0,93
14		400R2	326,1	1,07

1	2	3	4	5	
2		Versuch	$Q_{u,Test}$ [kN/m]	Abmind.	
15	vert. + horiz. belastet	400A1	177,0	0,58	
16		400B1	177,0	0,58	
17		400A2	314,5	1,03	
18		400B2	302	0,99	
19		400C1	214,5	0,70	
20		400C2	168,2	0,55	
21		400D1	94,7	0,31	
22		400D2	91,3	0,30	
23		full scale	265	134,0	0,78
24			265	89,0	0,52
25	400		244,8	0,80	

Tab. 2: Ergebnisse der Pajari-Versuche

Um den Einfluß der nachgiebigen Lagerung mit zu erfassen, wird die Querkraft-Tragfähigkeit ebenfalls durch die Begrenzung der Hauptzugspannungen auf die Betonzugfestigkeit ermittelt.

Hierzu wird Gleichung 1 um die Schubspannung in Plattenquerrichtung  $\tau_2$  erweitert (Gl. 2).

$$Q_{u,calc,k} = \frac{J \cdot b_s}{S} \cdot \left( \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\beta_{bz} + 0,9 \cdot \alpha \cdot \sigma_{bv} \cdot \beta_{bz} - \tau_2^2} - 0,9 \cdot \tau_{sp} \right) \quad (2)$$

Bei der Ermittlung von  $\tau_2$  wird davon ausgegangen, daß die Beanspruchung am Ende des Trägers durch eine Steife, wie z. B. eine Stirnplatte, eingeleitet wird. Sie verhält sich ähnlich wie ein kräftiger Enddübel eines Verbundträgers. Die Kräfte, die durch diesen Dübel entstehen, müssen dann anteilmäßig von der Spannbetonhohlplatte, d. h. von den Stegen der Hohlplatte aufgenommen werden. Durch diese Modellvorstellung gelang es, die Querkraft-Tragfähigkeit vom Versuch DF150HD mit einer Abweichung von nur 4 % nachzurechnen. Dieses Rechenmodell muß jedoch durch weitere Versuchsnachrechnungen und Computersimulationen bestätigt und verfeinert werden.

### 3. Bemessungsvorschlag

Sicher ist, daß die Querkraft-Tragfähigkeit bei der Auflagerung auf Trägern abgemindert werden muß. Die Zulassungen dürfen zwar angewendet werden, aber um sicher zu gehen, sollte die Querkraft-Tragfähigkeit bis auf weiteres auf 40 % abgemindert werden. Da aber dann von vorn herein der wesentliche Einfluß berücksichtigt ist, wäre die erhöhte Sicherheit von 2,5 beim Nachweis nach den Zulassungen in Zone a nicht mehr erforderlich. Eine Abminderung könnte in der Größenordnung von:

$$2,5 / 1,75 \cdot 40 \% = \approx 60 \%$$

liegen.

### 4. Abkürzungen:

Sbhp: Spannbetonhohlplatte

J: Flächenträgheitsmoment der Sbhp

$b_s$ : Summe der Stegbreiten der Sbhp

S: Statisches Moment der Sbhp

$$K: 1 - \left( \frac{1}{2} - \frac{b_a}{3 \cdot d} \right)^2$$

$b_a$ : Auflagerlänge

$\beta_{bz}$ : Betonzugfestigkeit

$$\alpha: 1 - \left( \frac{l_{\bar{u}} - l_x}{l_{\bar{u}}} \right)^2; l_x < l_{\bar{u}} (\alpha=1; l_x > l_{\bar{u}})$$

$l_{\bar{u}}$ : Übertragungslänge

$l_x$ : Abstand des Nachweisquerschnitts vom Plattenende

$\sigma_{bv}$ : mittlere Betondruckspannung infolge Vorspannung

$\tau_{sp}$ : Schubspannung aus Spannkrafteinleitung

$\tau_2$ : Schubspannung in Plattenquerrichtung

## 5. Literatur

- [1] Pajari, M.: Design Recommendations for Hollow Core Slabs Supported on Beams. VTT International Report 2/1995
- [2] Bode, H.; Stengel, J.; Sedlacek, G.; Feldmann, M.; Müller, Ch.: Untersuchung des Tragverhaltens von Flachdecken-Systemen (Slim-Floor-Konstruktionen) mit verschiedener Ausbildung der Platten und verschiedener Lage der Stahlträger. Forschungsbericht P 261, Studiengesellschaft Stahlanwendung, Düsseldorf 1997.
- [3] Feldmann, M.; Sedlacek, G.; Bode, H.: Geschoßbau in Stahl, Dokumentation 605, Flachdeckensysteme; Herausgeber: Bauberatung Stahl, Düsseldorf 1996.
- [4] Walraven, J. C.; Merckx, W. P. M.: The Bearing Capacity for Prestressed Hollow Core Slabs. HERON, Vol. 28, 1983.
- [5] Stahltragwerk für Flachdecken. Arbed Building Concepts, Luxemburg.
- [6] Pajari, M.: Design Recommendations for Hollow Core Slabs Supported on Beams. VTT International Report 2/1995
- [7] Fontana, M.; Borgogno, W.: Brandverhalten von Slim-Floor-Verbunddecken. Stahlbau 64 (1995).
- [8] Stengel, J.; Feldmann, M.: Flachdecken mit Spannbetonhohldielen. DFG-Fachtagung Verbundkonstruktionen, Kaiserslautern 1997.
- [9] Bode, H.: Schlanke Geschoßdecken mit integrierten Stahlträgern. Stahlbautag Leipzig 1999.
- [10] Guidelines for the Application of Prestressed Hollow Core Slabs Supported on Built-in Beams. ECCS/IPHA - Final draft for comment (8.1.98).
- [11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen des DIBt, Berlin, für Spannbeton-Hohlplattendecken.
- [12] Bode, H.; Dorka, U.; Stengel, J.; Sedlacek, G.; Feldmann, M.: Composite Action in Slim Floor Systems. EF Conference Composite Construction III, Irsee 1996.

Das Forschungsprojekt AiF-Nr. 11447 wurde an der Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Stahlbau – Bauingenieurwesen mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei der vorliegenden Arbeit bestens gedankt. Der Bericht ist zum Preis von DM 42,-- zzgl. MwSt über die Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, zu beziehen.



## Dimensionierung und Nachweis instabilitätsgefährdeter gevouteter Kragträgern mit T-förmigem Querschnitt (rechnerische und experimentelle Untersuchungen)

Gevoutete Kragträger mit T-förmigem Querschnitt werden in letzter Zeit vermehrt eingesetzt. Zwar ist es statisch betrachtet nachteilig, den unteren Druckgurt fehlen zu lassen, es sind aber andere Vorteile beim T-Querschnitt offenkundig, die diesen Nachteil je nach Situation mehr als aufwiegen. Zu diesen Vorteilen gehören die Werkstattfertigung, der konstruktive Korrosionsschutz und die ästhetische Wirkung. Im Hochbau hat sich der gevoutete T-Träger schon einen Namen gemacht: Er wird häufig als Schwertträger bezeichnet.

Für einen schlanken Träger muss neben dem allgemeinen Spannungsnachweis bekanntlich auch der Stabilitätsnachweis geführt werden. Es geht aber beim Bauen nicht nur um einen nachträglichen Nachweis sondern auch um den sinnvollen Entwurf. Der gute Ingenieur wird daher, hat er sich aus oben genannten Gründen für den T-Querschnitt entschieden, das Material im Entwurf so anordnen, dass eine optimale Tragfähigkeit entsteht. Für Nachweis und Entwurf ist aber die Kenntnis des "wirklichkeitsnahen" Stabilitätsnachweises erforderlich. Da der schlanker T-Träger nicht nur global biegedrillknicken sondern sein schlanker, gedrückter Steg auch örtlich beulen kann, handelt es sich hier im allgemeinen Fall um eine sogenannte gekoppelte Instabilität, die wir in Deutschland mit dem Wort Gesamt(in)stabilität bezeichnen.

Bislang wurde in der Praxis meist versucht, diesem Problem durch die getrennten Teiluntersuchungen Biegedrillknicken und Beulen gerecht zu werden. Aber selbst dabei treten wegen der Voutung des Trägers beim Praktiker schon große Schwierigkeiten auf. Dasselbe gilt für die Berücksichtigung der möglichen, unterschiedlichen Randbedingungen für die Lagerung des globa-

len Trägers und der beiden Bleche, Gurt und Steg.

### Ergebnisse

In der vorliegenden Forschung wurden für einen weiten praktischen Parameterbereich der Trägergeometrie, der Randbedingungen und der Belastungen die idealen Verzweigungslasten des Gesamt(in)stabilitätsproblems ermittelt. Entsprechend wie beim reinen Beulproblem, bei dem die Verzweigungslasten in Form von Beulwerten  $k$  in sogenannten Beulwert-Kurventafeln niedergelegt sind, wurden hier die Verzweigungslasten in Form von Gesamt(in)stabilitätswerten  $k_{ges}$  in Gesamt(in)stabilitätswert-Kurventafeln im Anhang für den Anwender bereitgestellt. Dieser kann dann für seinen Anwendungsfall den  $k_{ges}$ -Wert aus den Tafeln ablesen (notfalls durch Interpolation) und damit die kritische Spannung ermitteln, die ihm, wie bei jedem Stabilitätsnachweis, die bezogene Schlankheit liefert. Er benötigt sie, um aus der zugehörigen Abminderungskurve der Norm den für den Stabilitätsnachweis erforderlichen Abminderungsbeiwert  $\kappa$  abzulesen. Da bislang in den Normen zwar Abminderungskurven für das Biegedrillknicken und das Beulen aber nicht für das Gesamt(in)stabilitätsproblem vorliegen, mussten im Forschungsvorhaben auch Traglastuntersuchungen gemacht werden um eine geeignete Abminderungskurve zu empfehlen. Insbesondere dazu waren auch eine Anzahl von Versuchen notwendig. Sie wurden ebenfalls in diesem Forschungsvorhaben durchgeführt. Mit Kenntnis des bereitgestellten Gesamt(in)stabilitätswertes  $k_{ges}$  und der hier empfohlenen Abminderungskurve  $\kappa$  kann der Anwender nunmehr in üblicher Form einen wirklichkeitsnahen Stabilitätsnachweis für diese Trägerart führen. **"Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde somit erreicht."**

### **Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Zielsetzungen des Forschungsantrages (Kurzfassung)**

Die Zielsetzungen dieses Vorhabens wurden sowohl in der AiF-Kurzbeschreibung unseres Forschungsantrages als auch in der ausführlichen Beschreibung des Antrages jeweils im Punkt 3 niedergelegt.

Hier für einen Vergleich das zusammengefasste Ergebnis:

- Für den im Teil 3 dieses Forschungsberichtes dargelegten, umfangreichen baupraktischen Parameterbereich wurden die Verzweigungslasten des vorliegenden Gesamt(in)stabilitätsproblems mit Hilfe des FEM-Programmes ANSYS 5.4 ermittelt. Durch Einführen von Macros konnte eine weitgehende Automatisierung der FEM-Modellierung, der Rechenanweisungen und Auswertungen erreicht werden. Nur dadurch konnten die umfangreichen Berechnungen bewältigt werden. Die Verzweigungslasten wurden in Form von Gesamt(in)stabilitätswert-Kurventafeln im Anhang niedergelegt. Aus ihnen kann der Praktiker den Gesamt(in)stabilitätswert  $k_{ges}$  für seinen speziellen Fall herauslesen (gegebenenfalls durch Interpolation).
- Da in den Normen bislang Abminderungskurven für Gesamt(in)stabilitätsprobleme nicht speziell angegeben sind, mussten wir durch einige Traglastberechnungen und mit Hilfe von Versuchen klären, welche Traglastkurve (Abminderungskurve) dem Praktiker dafür zu empfehlen ist. Das Ergebnis, nämlich die Angabe einer "sicheren" Kurve, ist im Teil 5 niedergelegt.
- Aus Kostengründen waren wir gezwungen worden, lediglich 4 Versuche zu beantragen. Wir haben mit entsprechenden eigenen Anstrengungen (Selbstausschöpfung) schließlich doch 8 Versuche durchgeführt. Ihre Dokumentation ist im Teil 4 niedergelegt. Durch entsprechende Voruntersuchungen ist es uns, wie

gewünscht, gelungen, die unterschiedlichen Versagensfälle auch in den Versuchen sichtbar werden zu lassen.

- Mit den erreichten Ergebnissen kann der Praktiker den Nachweis für das Gesamt(in)stabilitätsproblem von gevouteten Kragträgern mit T-Querschnitt führen.
- Zum wirtschaftlichen Nutzen: Konstruktionen, die als baupraktisch sinnvoll erkannt wurden, wie der gevoutete Kragträger mit T-Querschnitt, für die jedoch der Standsicherheitsnachweis kaum und außerdem nicht wirklichkeitsnah geführt werden kann, werden entweder nicht ausgeführt oder mit Angstzuschlägen belegt. Dies behindert ihre Anwendung. Insbesondere kleinere und mittlere Unternehmen sind nicht in der Lage, entsprechende Untersuchungen durchzuführen. Mit Hilfe der Ergebnisse dieser Forschung können nunmehr die gevouteten Kragträger mit T-Querschnitt vom Praktiker nicht nur sicher nachgewiesen werden, es ist auch möglich die Tragreserven auszunützen, die in der Erfassung der wirklichkeitsnahen Randbedingungen liegen.

### **" Zielsetzung und Ergebnis stimmen überein."**

Das Forschungsprojekt AiF-Nr. 11449 wurde an der Universität Dortmund, Lehrstuhl für Stahlbau, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei der vorliegenden Arbeit bestens gedankt. Der Bericht enthält 77 Seiten sowie eine CD und ist zum Preis von DM 42,-- zzgl. MwSt über die Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, zu beziehen.

## Plastische Bemessung von Stirnplatten-Anschlüssen mit 4 Schrauben in einer Reihe

Der Anhang J des Eurocode 3, Teil 1.1 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“ enthält Bemessungsregeln für Träger-Stützen-Anschlüsse, die unter Berücksichtigung der Verformbarkeit elastisch und/oder plastisch bemessen werden können. Diese Betrachtungsweise ist in Hinblick auf viele sogenannte gelenkige Anschlüsse wirklichkeitsnäher, und es wird eine Optimierung der Schnittgrößenverteilung im Tragwerk ermöglicht. Die Regeln für geschraubte Stirnplattenverbindungen beruhen auf dem sogenannten T-Stummel-Modell unter der Annahme von plastischen Starrkörperverdrehungen einer kinematischen Kette.

In Deutschland werden oft Stirnplattenverbindungen mit vier Schrauben in einer (horizontalen) Reihe eingesetzt, für die das T-Stummel Modell, wie es im Anhang J des Eurocode 3 Anwendung findet, nicht uneingeschränkt gültig ist, da eine plastische Berechnung aufgrund der fehlenden Duktilität der Schrauben nicht möglich ist. Anstelle einer kinematischen Kette wird der Grenzzustand der Tragfähigkeit für die Versagensmodi 2 und 3 durch ein teilplastiziertes System beschrieben. Diese Forschungsarbeit liefert Bemessungshilfen auf der Grundlage eines Balkenmodells, mit deren Hilfe Anfangssteifigkeiten und Tragfähigkeiten äquivalenter T-Stummel-Modelle mit vier Schrauben pro horizontaler Schraubenreihe bestimmt werden können.

Zur Verifizierung des analytischen Modells wurde eine Versuchsreihe an ausgesteiften und nicht ausgesteiften T-Stummeln mit unterschiedlichen Profildicken und Festigkeiten durchgeführt. Diese Versuche wurden numerisch simuliert, so dass zusätzlich kalibrierte Finite-Element-Modelle als Basis für

weitere Sensitivitäts- und Parameterstudien herangezogen werden konnten.

Mit der Definition der Anschluss-Komponente „T-Stummel mit vier Schrauben pro horizontaler Schraubenreihe“ kann die Komponentenmethode, wie sie im Anhang J des Eurocode 3, Teil 1.1 beschrieben ist, nun auch für Stirnplattenanschlüsse mit 4 Schrauben in einer Reihe angewendet werden. So kann von vornherein von wirtschaftlicher herstellbaren konstruktiven Prinziplösungen ohne Steifen ausgegangen werden und die tatsächlichen Steifigkeiten und Tragfähigkeiten der Anschlüsse bestimmt werden. Das führt zu Optimierungsmöglichkeiten, mit denen gegenüber den klassischen Lösungen erhebliche Kosten eingespart werden können.

Die Ergebnisse dieses Projektes sollten in das Ringbuch des DSTV eingebunden werden, so dass auch diese Anschlussform effizient mit Tabellenwerken nach modernen Regeln bemessen werden kann.

Das Forschungsprojekt AiF-Nr. 11446 wurde an der Westfälischen Technischen Hochschule Aachen RWTH, Lehrstuhl für Stahlbau, mit finanzieller Förderung durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft im Auftrage des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASt durchgeführt. Den Förderern sei für die Unterstützung und Hilfe bei der vorliegenden Arbeit bestens gedankt. Der Bericht enthält 96 Seiten und ist zum Preis von DM 42,-- zzgl. MwSt über die Stahlbau-Verlagsgesellschaft mbH, Sohnstr. 65, 40237 Düsseldorf, zu beziehen.

## Aus der Arbeit der Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf

### Biegedrillknicken von kammerbetonierten Verbundträgern ohne Betongurt

Verbundkonstruktionen haben eine große Bedeutung im Bauwesen. Aus Gründen des konstruktiven Brandschutzes werden in vielen Fällen die Bereiche zwischen den Gurten des Stahlträgers ausbetoniert, dann liegen kammerbetonierte Verbundträger vor. Für diese Verbundträger ohne Betongurt ist häufig das Biegedrillknicken, bei dem sich im Versagenszustand der Träger seitlich verschieben und gleichzeitig verdrehen kann, maßgebend für die Bemessung. Da beim Biegedrillknicken Verdrehungen auftreten, ist die Berücksichtigung der maßgebenden Torsionssteifigkeit von entscheidender Bedeutung. Wenn man für den kammerbetonierten Verbundträger nur die Torsionssteifigkeit des Stahlträgers allein ansetzt, dann liegt man auf der sicheren Seite. Aus wirtschaftlichen Gründen ist es jedoch wünschenswert und notwendig, auch in Bezug auf das Biegedrillknicken den Beton rechnerisch zu berücksichtigen. Die für Stahlbetonbalken üblichen Werte können für kammerbetonierte Verbundträger in der Regel nicht angesetzt werden, da sie eine durchgehende Längsbewehrung und geschlossene Bügel voraussetzen. Außerdem muss das Zusammenwirken des Kammerbetons mit dem Stahlträger durch Verbundmittel sichergestellt werden. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden 22 Großversuche an kammerbetonierten Verbundträgern durchgeführt. Besonderes Augenmerk wurde der konstruktiven Ausbildung der Kammern gewidmet. Es zeigte sich, dass mit allen Ausführungsformen eine ausreichende Mitwirkung des Betons in bezug auf die Torsionssteifigkeit erreicht werden kann. Der Fall der Z-

Haken mit Kopfbolzendübeln war besonders wirkungsvoll, der wirtschaftlich besonders interessante Fall "nur Kopfbolzendübel" ist jedoch ebenfalls befriedigend. Ausgehend von den Ergebnissen der Großversuche wird als wichtigstes Forschungsergebnis ein Rechenverfahren vorgestellt, mit dem das Biegedrillknicken von kammerbetonierten Verbundträgern einfach untersucht werden kann. Zur Ermittlung der Steifigkeitswerte wird der Teil des Betons als statisch wirksam angesetzt, der im rechnerischen Versagenszustand den plastischen Druckbereich bildet. Dieser darf über die gesamte Trägerlänge konstant berücksichtigt werden. Um die Berechnung der Tragfähigkeit anhand des vorgeschlagenen Rechenverfahrens in häufig vorkommenden Fällen zu vermeiden, werden zur Erleichterung der Anwendung in der Praxis Tragfähigkeitstabellen angegeben. Hier kann die maximal aufnehmbare Streckenlast eines Einfeldträgers entnommen werden, wobei Walzprofile der Reihen IPE und HEA der Stahlsorte S355 und die Betongüte B 35 berücksichtigt wurden.

Das Forschungsprojekt (AiF-Nr. 11385 N) wurde an der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Stahlbau durchgeführt. Eine finanzielle Förderung erfolgte durch die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) Köln, aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Der Forschungsbericht umfasst 224 Seiten und enthält 168 Abbildungen/Tabellen. Schutzgebühr: DM 70,- inkl. MwSt zzgl. Versandkosten, ISBN 3-934238-14-9

## Aus der Arbeit des Sächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst SMWK

### Nutzung von Heißrauchgeneratoren bei der Beurteilung von Verrauchung und Entrauchungsmaßnahmen in bestehenden Gebäuden

Zur Beurteilung von Verrauchungsvorgängen im Brandfall oder der Wirksamkeit geplanter Entrauchungssysteme in neu erbauten oder umstrukturierten bestehenden Sonderbauten werden zunehmend - als Ersatz für reale Brandversuche - Rauchversuche mit sogenannten 'Rauchmaschinen' durchgeführt. Diese Maschinen produzieren einen vergleichsweise kalten Rauch, der auch bei Kombination mit einem kleinen Poolbrand erheblich kühler als die Brandgase eines 'echten' Feuers ist. I.d.R. uninterpretiert werden die Testergebnisse auf die Wirkungsweise im real anzunehmenden Schadensfall übertragen, obwohl phänomenologisch die Unterschiede im Einmischungsverhalten in den Feuerplume und damit hinsichtlich der Rauchproduktion durchaus bekannt sind.

Ziel der Forschungsarbeit war es, den Einsatz von Rauchmaschinen zur Beurteilung der Verrauchung oder Entrauchung größerer Gebäude hinsichtlich der Übertragung der Verrauchungsergebnisse auf den thermisch ganz anders gelagerten Brandfall kritisch zu hinterfragen. Es sollte versucht werden, Gesetzmäßigkeiten für diese Abbildung zweier voneinander abweichender Brandszenarien innerhalb derselben Raumgeometrie zu finden, die Hilfestellung geben können, Ergebnisse von durchgeführten Rauchversuchen in Richtung veränderter Quellterme zu interpretieren sowie - andersherum - zu einem anzunehmenden Brandereignis passende Rauchversuche durchzuführen.

Nach einer eingehenden Untersuchung zum 'Rauch'ausstoß der im Hause der MFPA Leipzig e.V. verfügbaren Nebelmaschinen ist die Verrauchung einer

großen Halle - sowohl experimentell als auch theoretisch - erforscht worden. Entsprechend gliedert sich diese Arbeit in vier nahezu selbständige Abschnitte.

Nach einem Vorspann zu den theoretischen Grundlagen werden im ersten Teil der Arbeit die drei Verdampfer-Nebelmaschinen hinsichtlich ihres Ausstoßes eines Wasserdampf-Paraffin-Nebels charakterisiert. Temperatur, Geschwindigkeit, Kegelgeometrie, Transmissionsgrad. Dazu wurden die Volumen- und Massenströme sowie Extinktionskoeffizienten des sichtrübenden Nebels - in Abhängigkeit von der Einmischungsweglänge - ermittelt.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden mit zweien der oben näher betrachteten Nebelmaschinen Rauchversuche - unterstützt durch ein Poolfeuer - in einer 10 m hohen, 40 m mal 100 m großen Halle durchgeführt. Diese Versuche wurden ergänzt durch Vergleichsversuche mit denselben Poolbränden, jedoch ohne Einsatz einer Rauchmaschine. Auch die Pool-Brandgüter (Isopropanol, Methanol, Benzin) sowie die Poolgröße (von 0,04 m<sup>2</sup> bis 0,135 m<sup>2</sup>) wurden variiert.

Im Ergebnis der Analysen konnten spezifische Abbranddaten (flächenspezifische Pyrolyse- und Energiefreisetzungsraten) für die Poolbrände gewonnen werden. Aus einer Zuordnung der gemessenen Transmissionswerte zu den chemischen Umsetzungsprozessen des Poolfeuers konnten dann Rauchpotentiale der 'kombinierten Brandgüter' (Rauchmaschinen-Nebel und Pool-Brandgut) abgeleitet werden.

Der dritte Teil der Arbeit befasst sich - ganz hypothetisch - mit einer Parameterstudie zu den Quelltermen von Energie und Rauch sowie den sich trübenden Eigenschaften der Rauchteilchen. Mit Faktor 10 wurden jeweils einzelne dieser Parameter erhöht oder vermindert und als Eingabegrößen für Vergleichsrechnungen zu einer Halle mit o.g. Abmessungen mit dem gut verifizierten Zonenmodell FIGARO genutzt.

Die Berechnungsergebnisse wurden hinsichtlich vierer markanter Größen miteinander verglichen: Verlauf der Rauchgas-Frischluft-Grenze, Temperatur(-erhöhung) im Rauchgas, Rauchpartikelbeladung des Rauchgases, Sichtweiten im Rauchgas. Schon hier fiel eine umgekehrt proportionale Zuordnung zwischen der Änderung von vorgegebenem Rauchpotential und berechneter Sichtweite und eine proportionale Zuordnung zwischen der Änderung von Rauchfreisetzungsrate und Rauchpartikelbeladung auf - sofern die Energiefreisetzungsrate unverändert blieb.

Änderungen hinsichtlich der vorgegebenen Energiefreisetzungsrate beeinflussten sowohl die ermittelten Heißgas-Temperaturerhöhungen als auch die Sichtweiten und Rauchpartikelbeladungen. Es zeigt sich ein Einfluss auf die zeitliche Entwicklung der Verrauchung. In Abhängigkeit von der Änderung der Energiefreisetzungsrate tritt ein Zeitfaktor (Zeitdilatation, Zeitkontraktion) in Wirkung, der die zeitlichen Abläufe bei der 'Auffüllung' der Halle mit Rauchgas rafft oder streckt - wobei die ermittelten Zahlenwerte zu Temperaturerhöhung, Sichtweite und Rauchpartikelbeladung auch nur um einen (jeweils unterschiedlichen), aber über Raum und Zeit konstanten Faktor zu skalieren sind.

Die Feststellung eines Zeitfaktors führte zu den seit etwa '95 von W.K. Chow publizierten Theorien der 'time constants', die im Produkt aus einem den Brand charakterisierenden Faktor und

einem die Halle charakterisierenden Faktor bestehen und das zeitabhängige

Auffüllverhalten als Funktion

$$\frac{H_L}{H} = f\left(\frac{t}{\tau}\right) \text{ beschreiben.}$$

Der Bezug auf ein weiteres Plumenmodell von Zukoski /6/, /7/, das auch im oben genutzten Zonenmodell FIGARO schon gute Dienste leistet, führte dann zur analogen Definition einer weiteren Zeitkonstanten, die im Vergleich mit den drei von Chow benannten Zeitkonstanten zwischen der von Chow präferierten und einer empirisch begründeten Konstanten liegt.

Im vierten Teil der Arbeit werden zu den Zeitkonstanten - unter Vorgabe skaliertener Quellterme (Energiefreisetzung, Pyrolyserate bzw. Heizwert, Rauchpartikelmassenanteil am Brandgut und der spezifische Absorptionsfläche) für eine gegebene Halle die Änderungen hinsichtlich der vier Verrauchungsgrößen 1. Verlauf der Rauchgas-Frischluft-Grenze, 2. Temperaturerhöhung im Rauchgas, 3. Rauchpartikelbeladung des Rauchgases und 4. Sichtweiten im Rauchgas theoretisch abgeleitet und damit Abbildungsgesetze für die Verrauchung großer Hallen bei Skalierung der Brandquellterme begründet.

### Einleitung und Legitimation

Zwecks Bewertung der Wirksamkeit von Entrauchungssystemen in neu erbauten oder umstrukturierten bestehenden Sonderbauten (z.B. Großmarkthallen, Atrien) werden zunehmend - anstelle von realen Brandversuchen - Rauchversuche mit sogenannten 'Rauchmaschinen' durchgeführt. Diese Maschinen produzieren einen vergleichsweise kalten, eher hellen und kaum aggressiven Rauch, so dass dem jeweiligen Gebäude mit seinen baulichen Strukturen und den i.d.R. schon vorhandenen Installationen und Einbauten durch die durchgeführten Versuche weder thermische

noch chemisch-korrosive Schädigungen entstehen.

Um in etwa ein brandgerechtes Auftriebsverhalten dieser eher kühleren Rauchgase zu erhalten, wird dem Rauch aus der Rauchmaschine gelegentlich zusätzlich Heißgas aus einem kleinen Poolbrand zugeführt. Dazu wird der Rauchmaschinenrauch in den Feuerplume eines Poolfeuers mit einer nur schwach rauchenden, brennbaren Flüssigkeit (z.B. Isopropanol, Benzin, Ethanol, Methanol) eingeblasen. Dieses Verfahren findet international zunehmend Anwendung (Australien, Großbritannien /1/) und wurde auch von der MFPA Leipzig e.V. schon mehrfach herangezogen.

Obwohl durch die Poolbrände eine Erwärmung der Rauchgase erfolgt, ist der erzeugte Rauch doch - im Vergleich zu echten Brandgasen - deutlich kühler. Die am Brandherd entstehenden primären Rauchgasmassen sind vergleichsweise klein. Das Einmischungsverhalten von Frischluft in den Feuerplume - das aufgrund von Dichteunterschieden und daraus resultierend durch Auftrieb, Geschwindigkeit, Turbulenzen, Einmischungskegel bestimmt wird - geschieht hier völlig abweichend gegenüber dem Einmischungsverhalten bei einem wirklichen Brand.

Diese Unterschiede sind phänomenologisch zwar bekannt - gerade bei komplexen und hohen Gebäudegeometrien wird immer wieder auch auf die unterschiedlichen Erfordernisse zur Rauchabsaugung bei Schwelbränden gegenüber Vollbränden hingewiesen /2/,/3/,/4/ - dennoch werden immer wieder Testergebnisse aus Rauchversuchen ohne weitergehende Interpretation und Extrapolation auf real anzunehmende Brandsituationen übertragen.

### **Zielsetzung**

Ziel der Forschungsarbeit ist die

- Ermittlung charakteristischer Größen zur Rauchproduktion für die in der MFPA Leipzig e.V. eingesetzten Rauchmaschinen sowie eventuell auch der Rauchmaschinen-Konfigurationen mit Poolbränden
- theoretische (gegebenenfalls auch experimentelle) Untersuchung des Verrauchungsverhaltens großer Hallen durch Einsatz kühlen bis lauwarmen Rauches (Rauchmaschine + Poolfeuer) im Vergleich zu der zu erwartenden Verrauchung dieser Hallen bei großmaßstäblichen Bränden mit der in diesem Falle anzunehmenden Heißgasproduktion - mit
- Entwicklung von Hilfestellungen für einen sinnvollen Rauchmaschinen-Einsatz (z.B. Rauchmaschinen-Konfiguration mit Poolbränden) bei Rauchversuchen mit einer Rauchmaschine und
- Entwicklung von Interpretationsregeln für die Bewertung und Übertragung der Versuchsergebnisse von mit Rauchmaschinen durchgeführten Versuchen auf Verrauchungsauswirkungen bei Bränden mit höher-skalierten Freisetzungsraten.

### **Auszüge aus den Untersuchungsergebnissen**

#### **Teil 1: Die Rauchmaschinen und ihre Einsatzweise**

Die MFPA Leipzig e.V. verfügt über drei sogenannte 'Rauchmaschinen', richtiger 'Verdampfer-Nebelmaschinen', deren bestimmungsgemäßer Einsatzort Diskotheken und Theater sind. Die Maschinen und die zugehörigen Verdampfungsflüssigkeiten werden kommerziell vertrieben; damit unterliegen weitergehende Informationen über Funktionsweise und Fluid-Zusammensetzung gewissen Geheimhaltungsbestrebungen. Im wesentlichen wird ein Paraffin-Wassergemisch verdampft, wobei vermutlich die Paraffinteilchen als Konden-

sationskeime zur Bildung kleinster (als weißer Nebel sichtbarer) Tröpfchen aus dem gasförmigen (unsichtbaren) Wasserdampf dienen. Damit kann dem Paraffin auch die Eigenschaft zur Steuerung der Nebelstabilität zugeschrieben werden /9/.

"Paraffin ist ein festes oder flüssiges Gemisch gereinigter Kohlenwasserstoffe. Es ist geruchs-, farb- und geschmacklos und wird hauptsächlich verwendet bei der Herstellung von Salben und Cremes, Kerzen, Holz- und Metallpflegemitteln, Linoleum, Obst- und Käsewachsen sowie im Paraffinöl als Schmiermittel in der Feinmechanik." (aus /5/) Mittels einer Pumpe wird das Nebelfluid in einer Rohrwendel durch einen 'Heizblock' getrieben und durch eine Düse aus dem Gerät geblasen. Der Ausstoß lässt sich zumeist (ferngesteuert) regeln.

Es wurden Messungen zu den Kenngrößen der drei Rauchmaschinen (Ausblasöffnung, - Geschwindigkeit, -Temperatur ) unter Verwendung von 'Super-Fog' durchgeführt. Die Messungen zu Geschwindigkeit und Temperatur wurden z.T. direkt vor der Ausblasöffnung, z.T mit einer direkt auf die Öffnung dicht aufgesetzten Rohrhülse, sowie ohne Rohrhülse im variierten Abstand von 1 m und 2 m Entfernung zur Ausblasöffnung durchgeführt. Hieraus lassen sich die direkt ausgestoßenen sowie die durch weitere Einmischungen mit zunehmender Entfernung vergrößerten Volumen- und Massenströme ermitteln.

Parallel zu Temperatur und Geschwindigkeit wurde in größerer Entfernung von der Austrittsöffnung auch der Transmissionsgrad gemessen. Unter Beachtung der Rauchkegel- Geometrie (Messstrecke, zusätzliche Verdünnung durch Aufweitung des Querschnittes) wird damit eine Beschreibung der optischen Eigenschaften des Rauches möglich. Die für Verdampfermaschine und Nebelfluid charakteristischen Daten

sind dem Forschungsbericht zu entnehmen.

Auf der Grundlage dieser Messwerte lassen sich die ausgeblasenen Volumen- und Massenströme sowie die optischen Eigenschaften des Rauches in etwa abschätzen. Mit zunehmender Entfernung von der Ausblasöffnung nehmen die Extinktionskoeffizienten deutlich ab, obwohl durch die Transmissionsmessstrecke jeweils der gesamte Rauchkegel erfasst wird. Da sich jedoch der Rauchkegel zweidimensional aufweitet (bei gleicher Breite des analysierenden parallelen Lichtbündels), müssen diese Werte mit zunehmendem Abstand von der Ausblasöffnung kleiner werden.

Bei rechnerischer Überprüfung dieser Werte zeigt sich dennoch, dass über eine Einmischungswirkung hinaus eine Abnahme sich trübender Wirkung zu verzeichnen ist, die sich nur auf den Zerfall von sichtbeeinträchtigenden Teilchen zurückführen lässt.

Das Phänomen einer unbefriedigenden, rasch abnehmenden sich trübenden Wirkung zeigt sich nicht nur mit zunehmender (größerer) Entfernung von der Ausblasöffnung, sondern auch bei Einsatz der Rauchmaschinen in Verbindung mit Poolbränden. An sich sollte doch in diesen Fällen wegen der zusätzlichen Einmischung weiterer Rauchpartikel aus dem Poolfeuer von einer verstärkt sich trübenden Wirkung ausgegangen werden dürfen.

Zu vermuten ist, dass der chemische Zerfall/Abbau der sichtbeeinträchtigenden 'Rauchpartikel nicht nur in Abhängigkeit von der Zeit, sondern auch - sehr sensibel - in Abhängigkeit von der Gastemperatur (mit zunehmender Gastemperatur erheblich beschleunigt) vorstatten geht.



Resumierend aus diesem niederschmetternden Ergebnis kann abgeleitet werden,

- dass neben einem Poolfeuer der Einsatz einer solchen Rauchmaschine entbehrlich scheint
- dass Verbesserungen beim Einsatz von Rauchmaschinen an der Entwicklung temperaturbeständigerer Nebelfluide und Erhöhung der Heizleistung der Rauchmaschine ansetzen müssten.

## **Teil 2: Poolbrandversuche in einer großen Halle - mit und ohne Rauchmaschinenunterstützung**

Nur einmal innerhalb des Beantragungszeitraumes für dieses Forschungsvorhaben ergab sich wegen eines geplanten Gebäudeabrisses die Möglichkeit, in einer größeren Halle Rauchversuche durchführen zu können. Der Zeitraum zwischen Bekanntgabe und Versuchsdurchführung betrug nur wenige Tage; daher konnte die Vorbereitung der Versuche und die messtechnische Ausgestaltung der Halle nur mit einigen Einschränkungen erfolgen.

Die Halle hatte eine Grundfläche von etwa 40 m x 100 m; die Höhe betrug 10 m, wobei auf 8 m Höhe in Längsachse der Halle eine begehbare Kranbahn verlief, an die u.a. Rauchmelder, ein Geschwindigkeitsmessgerät, ein Gasanalysator (CO<sub>2</sub>), ein Rauchdichtemessgerät (Fa. Sick) und Thermoelemente - zentral über dem Brandherd angebracht wurden. Weitere Thermoelemente - jeweils im Meterabstand - erlaubten die Messung der Plumeachsensentemperatur über der Plumehöhe. Zwei Meter über dem Brandherd wurde außerdem noch einmal die Heißgas-Geschwindigkeit im Bereich der Plumeachse gemessen.

Auf halber Hallenhöhe (von 5 m bis 8 m) befanden sich an den Längsseiten der Halle Fensterbänder, deren Fenster sich nur bedingt öffnen ließen. Diese Fenster wurden - zur Vermeidung von Windeinflüssen - weniger während der Versuche als - zur Bereinigung der Hallenluft - zwischen den einzelnen Versuchen geöffnet. Die Deckenträger waren bzgl. der Hallenachse quer verlaufend alle 5 m und etwa 80 cm stark. An den Längsseiten befanden sich in 4,5 m Höhe etwa 5 m breite Galerien, die z.T. unterbaut waren.

**Tabelle 1: Parametervariation beim Versuchsprogramm 'Messehalle 5'**

Versuch	Brandgut	Poolfläche [m <sup>2</sup> ]	Volumen Brandgut [l]	Brand-dauer [Min:Sek]	Rauchmaschine	Auslösung Rauchmelder	
						Voralarm	Alarm
V1	Isopropanol	0,2 x 0,2	0,4	7:16	RM2 Spaceball	-	-
V2, V22, V23				7:00 – 7:20	RM3 Enterprise	1:2	-
V5		0,3 x 0,3	1,0	7:38	-	-	-
V6				7:00	RM3 Enterprise	0:42	0:57
V3				Methanol	8:10	-	-
V4	7:45				RM3 Enterprise	0:33	0:40
V16	Benzin	6:20	-	1:11	1:26		
V12	Isopropanol	0,3 x 0,45	2,0	9:00	-	-	-
V11	Methanol			11:30		-	-
V17	Benzin			8:00		0:41	1:03
V7	Isopropanol	0,4 x 1,2	5,0	5:20	-	0:56	1:30
V8				6:00	RM3 Enterprise	0:51	1:18
V9	Methanol			9:00	-	-	-
V10				8:20	RM3 Enterprise	-	-

**Tabelle 2: Mittlere Abbranddaten zum Versuchsprogramm ,Messehalle 5'**

Versuch	Brandgut	$\rho$ [kg/l]	$H_u$ [kJ/g]	$E_{ges}$ [MJ]	$dM/dt$ [g/s]	$dE/dt$ [kW]	$Dm/dt$ [g/m <sup>2</sup> s]	$dq/dt$ [MW/m <sup>2</sup> ]
V1	Isopropanol	0,789	32,0	10,1	0,72	23,1	18,0	0,577
V2, V22, V23					0,71-0,75	22,9-23,9	18,3	0,57-0,6
V5					1,72	54,9	19,0	0,61
V6					25,2	59,9	20,8	0,67
V3	Methanol	0,794	20,0	15,9	1,62	32,7	18,3	0,36
V4					1,71	34,2	19,0	0,38
V16	Benzin	0,740	44,7	33,1	1,95	87,0	21,6	0,97
V12	Isopropanol	0,786	32,0	50,3	2,91	93,15	21,7	0,69
V11	Methanol	0,794	20,0	31,8	2,3	46,0	17,0	0,34
V17	Benzin	0,740	44,7	66,2	3,08	137,8	22,8	1,02
V7	Isopropanol	0,786	32,0	125,8	12,3	393,0	25,6	0,82
V8					10,9	350,3	22,7	0,73
V9	Methanol	0,794	20,0	79,4	7,4	147,0	15,3	0,31
V10					7,9	158,8	16,5	0,33

Für die Rauchentstehung und Beurteilung der Rauchfreisetzung sind diese raumgeometrischen und ventilationsgegebenen Bedingungen jedoch vergleichsweise unerheblich, da die Sauerstoffversorgung bei allen Versuchen als ausreichend angesehen werden darf und da die Messstrecke direkt über dem Brandherd angesiedelt war. Auch bzgl. einer möglichen rechnerischen Nachbildung dieser Rauchversuche sind diese Randbedingungen wenig bedeutsam, da die Verrauchung der Halle in ihrer gesamten Ausdehnung in der Kürze der Vorbereitungszeit nicht messtechnisch dokumentiert werden konnte.

Tabelle 2 gibt die zugehörigen Heizwerte, Brandenergien, mittleren Energiefreisetzungs- und Abbrandraten wieder. Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass jeweils vier Versuchspaare die Variation von Poolbränden mit und ohne Rauchmaschine bei sonst gleichbleibender Parameter-Vorgabe aufweisen (doppelt gerändert).

Die für die einzelnen Brandgüter und Poolgrößen ermittelten flächenspezifischen Abbrand- und Energiefreisetzungsraten werden nur teilweise durch Angaben aus der Literatur bestätigt: Während die Messwerte zum Abbrandverhalten von Methanol mit dem Literaturwert von  $17 \text{ g/m}^2 \text{ s}$  gut übereinstimmen, kann der Literaturwert von  $48 \text{ g/m}^2 \text{ s}$  für Benzin durch die Versuche (mit einer Abweichung von mehr als ‚Faktor 2‘) nicht belegt werden.

Es zeigen sich erheblichen Unterschiede im Brand- und Rauchverhalten der drei betrachteten Pool-Brandgüter: Bei ähnlicher Pyrolyserate verbrennt Benzin mit einer relativ hohen Energie- und Rauchfreisetzung, Methanol bei geringer Energiefreisetzung fast ohne Rauchbildung, während Isopropanol zwischen diesen beiden liegende Werte liefert.

In einer aufwendigen Auswertung zu den gebildeten Massenströmen von chemischen Komponenten und von

Reingas, zu den Einmischungen und Volumenströmen in Abhängigkeit von der Höhe usw. konnten näherungsweise Rauchpotentiale abgeleitet werden. Damit wurde der mit dem Extinktionskoeffizienten erfasste Rauch - von Poolfeuer sowie gegebenenfalls auch von der Rauchmaschine - zunächst ausschließlich der Abbrandrate aus dem Lachenbrand zugeordnet. Bild 1 zeigt die Bandbreite der auf diesem Weg berechneten Rauchpotentiale bezüglich der einzelnen Brandgüter.

Vergleichbar hinsichtlich der Pyrolyse- und damit Energiefreisetzungsraten bei Variation des Parameters Rauchmaschine sind hierbei die besonders gekennzeichneten Versuche V9 und V 10 mit Methanol und die Versuche V7 und V8 mit Isopropanol, wobei die doppelte Säulendarstellung zu einzelnen Versuchen durch zwei unterschiedliche Auswerteverfahren zustande gekommen ist. Werte aus der Literatur weisen übrigens für Isopropanol einen Rauchentstehungsanteil von  $0,015 \text{ g/g}$  auf, was bei dem ermittelten (im Mittel) Rauchpotential von  $0,132 \text{ m}^2/\text{g}$  einer spezifischen Absorptionsfläche von realistischen  $8,8 \text{ m}^2/\text{g}$  entsprechen würde.

Es zeigt sich hier, dass ein Einfluss aus der Rauchproduktion der Rauchmaschine - so ohne weiteres - nicht abgelesen werden kann (insbesondere für die Isopropanolbrände). Nach diesen Ergebnissen scheint der zusätzliche Einsatz einer Rauchmaschine zu einem Poolbrand entbehrlich!

### **Teil 3: Parameterstudie zur Hallenverrauchung mit Hilfe eines Zonenmodells**

Die Verteilung und sichttrübende Wirkung von Rauch lässt sich bzgl. vorzuziehender Brandkenngrößen an

- der Größe des Brandes (Energiefreisetzungsraten bzw. Abbrandrate)
- der Rauchmassen-Entstehungsrate (Rauchentstehungsanteil an der Abbrandrate) und

- der sich trübenden Wirkung (Rauchpotential) des Rauches

festmachen. Tatsächlich aber bestimmen auch räumliche Gegebenheiten wie die Raumhöhe oder der Brandherd-Durchmesser die Einmischungen in die Primärgase und damit die sekundär freiwerdenden Rauchgasmassen. Die Sichtverhältnisse in einer Halle werden nicht alleine durch das Rauchpotential gegeben, sondern sind Ausdruck von Verdünnungen, Schichtungshöhen, die wiederum von den Temperaturfeldern und damit von der Energiefreisetzungsrate bestimmt werden.

Unter Einsatz eines Zonenmodells (FIGARO /6/,/7/,/8/) und eines Feldmodells (KOBRA 3-D /9/) wurden die in Tabelle 3 aufgelisteten Simulationsrechnungen für die oben beschriebene Halle durchgeführt und der zeitliche Verlauf sowie die Werte von Temperaturerhöhung, Rauchpartikelbeladung und Sichtweite mit der Bezugsvariante 1 und untereinander verglichen. Es liegt auf der Hand, dass die erreichten Temperaturen die Energiefreisetzung, die Rauchpartikelbeladung die Rauchpartikelfreisetzung und die Sichtweiten die Rauchpotentiale widerspiegeln. Insgesamt sind von den in Tabelle 3 aufgeführten sechs Eingabegrößen nur vier voneinander unabhängig.

**Tabelle 3: Parametervariation zu den Simulationsrechnungen**

	Energie	Rauchpartikel	Heizwert	Rauchpart.-freis.anteil	Rauchpotential	spez. Absorptionsfläche
<b>Variante 1</b>	$E = 370 \text{ kW}$	$M_R = \frac{E}{H_u} \cdot Y_R$	$H_U = 32 \text{ kJ}$	$Y_R = 0,015 \text{ g/g}$	$\chi = K \cdot Y_R$	$K = 8,8 \text{ m}^2/\text{g}$
	$F_E = E_2 / E_1$	$F_M$	$F_H$	$F_Y$	$F_X$	$F_K$
Variante 1	1	1	1	1	1	1
Variante 2a	1	10	1	10	1	1/10
Variante 2b	1	1/10	1	1/10	1	10
Variante 3°	1	1	1	1	10	10
Variante 3b	1	1	1	1	1/10	1/10
Variante 4a	10	1	1	1/10	1	10
Variante 4b	1/10	1	1	10	1	1/10
Variante 5a	10	1	1	1/10	1/10	1
Variante 5b	1/10	1	1	10	10	1
Variante 6a	10	10	1	1	1/10	1/10
Variante 6b	1/10	1/10	1	1	10	10

Es zeigt sich, dass die zeitliche Entwicklung von der Variation der Energiefreisetzungsrates bestimmt wird und dass - unter Berücksichtigung der Zeitkontraktion bzw. -dilatation - die ermittelten Zahlenwerte zusammengehöriger Zeitpunkte zu Temperaturerhöhung, Sichtweite und Rauchpartikelbeladung nur um einen (jeweils unterschiedlichen), aber konstanten Faktor zu multiplizieren sind. Ohne Änderung der Energiefreisetzungsrates ergeben sich proportionale

Veränderungen von Rauchpartikelbeladung mit Änderung der Rauchpartikelfreisetzung bzw. umgekehrt-proportionale Veränderungen von Sichtweite mit Änderung der spezifischen Absorptionsfläche.

#### Teil 4: Zeitkonstanten nach Chow und Ableitung von Abbildungsgesetzen

Wie einleitend unter Teil 3 gesagt, ist die Verrauchung einer Halle nicht nur durch die Freisetzung von Rauchpartikeln, deren optischen Eigenschaften und die Freisetzung von Energie gekennzeichnet, sondern ebenfalls durch die Gegebenheiten der Halle bestimmt. Unter Annahme einiger Vereinfachungen (Idealisierung einer über die gesamte Hallenausdehnung homogenen Rauchsicht, Einmischungen zur Heißgaserzeugung nur im Plumebereich und nur bis zur Höhe der Heißgassicht, kein konvektiver Energietransfer zu den Umfassungsbauanteilen usw.) zeigte W.K.Chow, dass ausgehend von Plumemodellen das zeitliche Auffüllverhalten der Halle mit Rauch durch eine einfache Gleichung beschrieben werden kann, die i.d.R. die Gestalt

$$\frac{H_L(t)}{H} = \left(1 + \frac{t}{\tau}\right)^{-a} \quad \text{mit } \tau = F_{\text{Brand}} \cdot F_{\text{Halle}}$$

annimmt (/10/,/11/,/12/).

Den von Chow präsentierten Zeitkonstanten wird hier eine weitere, abgelei-

tet aus dem im Zonenmodell FIGARO verwendeten Zukoski-Plumemodell hergeleitete Zeitkonstante gegenübergestellt (s. auch /13/). Als Zwischenergebnis wird ein theoretischer Zusammenhang zwischen Heißgastemperaturerhöhung in Abhängigkeit von Energiefreisetzung und Hallenfüllstand und ein weiterer Zusammenhang zwischen mittlerer Heißgastemperaturerhöhung und achsenverlaufender Plumetemperaturerhöhung abgeleitet.

Als Ausgangspunkt für die Ableitung der Abbildungsgesetze gilt: Ein vergleichbarer Verrauchungszustand in der Halle für zwei verschiedene Brandszenarien (identische linke Seite von Gl.1) ist nach Gl.1 für gleiche Quotienten aus Zeitpunkt und Zeitkonstanten erreicht. Damit steht der Quotient aus den beiden Zeitkonstanten der zwei Szenarien für den Zeitveränderungsfaktor bei der Abbildung des einen Szenarios auf das andere /14/.

Unter Berücksichtigung dieser zeitlichen Beziehung und der Plumetemperaturänderung mit veränderten Quelltermvorgaben lassen sich die in Tabelle 4 zusammengefassten Abbildungsgesetze ableiten /15/.

**Tabelle 4: Abbildungsgesetze zur Verrauchung großer Hallen (Tabelle aus /15/)**

Zeitabläufe	$t^* = F_E^a \cdot F \frac{b}{p} \cdot t$	Energiefreisetzungsrate	$F_E = \dot{E}^* / \dot{E}$
Temperaturerhöhung im Heißgas	$\Delta T^* = F_E^{2/3} \cdot \Delta T$	Heizwert	$F_H = H^* / H$
Rauchpartikelbeladung im Heißgas	$B^* = \frac{F_Y}{F_H} \cdot F_E^{2/3} \cdot B$	Rauchpartikelanteil	$F_Y = Y^* / Y$
Sichtweite im Heißgas	$S^* = \frac{1}{F_K} \cdot \frac{F_H}{F_Y} \cdot F_E^{-2/3} \cdot S$	Spezifische Absorptionsfläche der Rauchpartikel	$F_K = K^* / K$

**Literatur**

- /1/ Mayhew-Smith, Alex: Business as usual. in Fire Prevention 301 July/August 1997, S.20 -23,1997.
- /2/ Kunze, Christoph: Neue Erkenntnisse bei der Entrauchung von Atrien. In Vorbeugender Brandschutz, Deutsche Feuerwehrzeitung 8/1995, S.520-522, 1995.
- /3/ Butcher, Gordon, Parnell, Alan C.: Smoke Temperatures for Smoke Control Design. In Fire Safety Engineering No.?, S.21-23, ?.
- /4/ Schoonbaert, L.: La sécurité incendie dans les immeubles á atrium pas de feu sans fumée. In ANPI magazine No. 127, Octobre 1995, S.46-53, 1995.
- /5/ Preuschoff, Olaf: Hans, mach Dampf! In Feuerwehr 5/97, S.44-47,1997.
- /6/ Heins, Thomas: Simulationsmodell zur sicherheitstechnischen Beurteilung der Rauchausbreitung bei Bränden in ausgedehnten Räumen. Dissertation TU Braunschweig, 1991.
- /7/ Heins, Th.; Kordina, K.: Untersuchungen über die Brand- und Rauchentwicklung in unterirdischen Verkehrsanlagen-Katastrophenschutz in Verkehrstunneln. Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, 1990
- /8/ Steinert, C.: Messung und Simulation von Fahrzeugbränden in Tunneln. Dissertation TU Braunschweig, Verlag Papierflieger, Clausthal-Zellerfeld, ISBN 3-932243-26-9, 1997.
- /9/ KOBRA-3D Referenzhandbuch und Benutzerhandbuch (+ Addendum Version 3.3.). Integrierte Sicherheits-Technik GmbH, Frankfurt, 1995 (1996).
- /10/ Chow, W.K.: Simulation of Car Park Fires Using Zone Models. Journal of Fire Protection Engineering, 7(2) 1995, p.65-74, 1995.
- /11/ Chow, W.K.: On the Use of Time Constants for Specifying the Smoke Filling Process in Atrium Halls. Fire Safety Journal 28 (1997), p.165-177, 1997.
- /12/ Chow, W.K.: Use of a Time Constant for Designing a Smoke Control System in Car Parks. Journal of Fire Sciences, Vol. 13, Sept-Oct 1995, p.357-377, 1995.
- /13/ Steinert, C.: Die Zeitkonstanten nach W.K. Chow – ein Beitrag zur Beurteilung der Verrauchung von Hallen im Brandfall. vfdb 3/99, 1999.
- /14/ Steinert, C.: Skallierung von Bränden – Teil 1: Quellterme. vfdb 3/99, 1999.
- /15/ Steinert, C.: Ein Diskussionsbeitrag zum Thema, Entrauchung von Hallen', vfdb 4/99, 1999.

Der Forschungsbericht wurde an der Materialforschungs- und Prüfanstalt für das Bauwesen Leipzig e.V. -MFPA-, Abteilung Baulicher Brandschutz, ausgeführt und durch das Sächsische Ministerium für Wissenschaft und Kunst – SMWK- gefördert. In 1999 wurde er abgeschlossen, enthält 126 Seiten. Eine Kopie ist über den Fraunhofer IRB Verlag, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart, Tel.: 0711/970-2500, Fax: 0711/970-2508 unter der Bestellnummer T 2875 zum Preis von DM 68,70 inkl. MwSt zu beziehen.

## **Aus der Arbeit der Rationalisierungs-Gemeinschaft „Bauwesen“ • RG-Bau im RKW**

### **Datenaustausch im Bauwesen GAEB DA 2000 – Ein Standard für Deutschland**

Seit ihrer Einführung 1985 hat sich die „GAEB-Schnittstelle“ als die Branchenlösung für den elektronischen Austausch von leistungsbezogenen Daten zwischen allen an einem Bauprojekt Beteiligten etabliert. Es gibt kaum noch einschlägige Bausoftware, die nicht GAEB-gerecht ist. Grundlage für die Programmierer sind derzeit die vom GAEB erstellten Regelungen für den Datenaustausch (1990) und die Regelungen für den Aufbau des Leistungsverzeichnisses (1991).

Jetzt erscheinen diese Festlegungen neu, vollständig überarbeitet, als „Regelungen für Informationen im Bauvertrag“ unter dem Kürzel GAEB DA 2000 auf einer CD-ROM. Wesentlich erweitert sind die Austauschmöglichkeiten, die nun auch die Inhalte von Katalogen, Rechnungen, Terminplänen, Bauteilen und Kostenelementen umfassen. Bei der Neukonzeption der Regelungen wurde dafür gesorgt, dass sie sich jederzeit flexibel und bedarfsgerecht fortschreiben lassen. So werden in Zukunft auch Strukturen eines Warenwirtschaftssystems des Bauwesens Inhalt des GAEB DA 2000 sein.

Zu den Neuerungen gehört auch eine verbesserte Syntax, die aus logischen Objekten mit eingebetteten Elementen besteht. Die Elemente wiederum werden aus Schlüsselworten mit ihren zugehörigen Werten gebildet. Der schlüsselwortorientierte Datenaustausch, den die neue Syntax ermöglicht, ist jedoch nicht aufwärtskompatibel zu der weit verbreiteten Vorgängerversion von 1990, die er künftig ablösen soll.

GAEB DA 2000 auf CD-ROM (Schutzgebühr: 49 DM) enthält beide Spezifikationen sowie die Regelungen zum Aufbau des Leistungsverzeichnisses. GAEB DA 2000 wurde zur ACS'99 erstmals der Fachöffentlichkeit vorgestellt.

Erarbeitet wurde die neue Version von den ehrenamtlich tätigen Mitgliedern der Arbeitsgruppe 13 im GAEB. In den GAEB-Arbeitsgruppen sind öffentliche und private Auftraggeber, Ingenieure, Bauwirtschaft und Bausoftwarehäuser durch ihre jeweiligen Spitzenorganisationen vertreten.

Weitere Informationen im Internet <http://www.gaebe.de>. Ibr INFORMATIONEN BAU-RATIONALISIERUNG-112000

## **Aus der Arbeit der Arbeitsgemeinschaft für Bauforschung AGB, Bonn**

### **Pendelschlagversuch weicher Stoß an absturzsichernden Verglasungen**

**Projektbeschreibung**  
Erarbeitung technischer Regeln für absturzsichernde Verglasungen des SUA „Glas im Bauwesen“ am DIBt. Ziel soll sein, die Entwicklung eines Rechenmodells „weicher Stoß“ für absturzsichernde Verglasungen anhand von Pendelschlagversuchen zu erreichen.

Das Forschungsvorhaben wird an der Universität Darmstadt, Institut für Stahlbau, von Prof. Wörner bearbeitet.

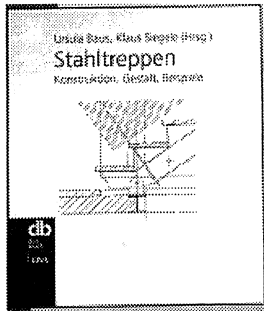
Förderer ist das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt, Berlin.

Das Vorhaben wurde im Januar 1999 begonnen und läuft z.Z. noch.

# Stahltreppen

## Konstruktion, Gestalt, Beispiele

Hrsg.: U. Baus u. K. Siegele  
 1998, 104 Seiten mit 107 Abbildungen und  
 Skizzen, Paperback  
**39,80 DM**



Stahltreppen erweisen sich hier als sehr geeignete vertikale Erschließungselemente, da ihre Montage, ihre platzsparenden und leichten Konstruktionen, ihre Haltbarkeit und ihre visuellen Reize gegebenen Randbedingungen sehr gut angepaßt werden können. Erläutert werden allgemeine Konstruktionsmerkmale, Chancen und Probleme der Kombination von Stahl mit anderen Baustoffen sowie Geländertypologien. Daran schließt eine Auswahl vorbildlicher Stahltreppen an, die in Entwurf, Bild und Konstruktionsdetails vorgestellt wird.

# Brandschutzbemessung

## Bauen in Europa, EC 1 bis EC 6 und EC 9

Bauen in Europa, Eurocode 1 bis 6 und Eurocode 9; Normen; Nationale Anwendungsdokumente

Hrsg.: DIN, 2000, 594 S., A5, broschiert  
**226,- DM**

DIN V ENV 1991-2-2: Eurocode 1 Teil 2-2: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke; Einwirkungen auf Tragwerke; Einwirkungen im Brandfall  
 Bauproduktsspezifische Bemessung und Konstruktion von Tragwerken für den Brandfall: DIN 4102-4 (Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

Eurocode 2: Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall

Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten

Eurocode 4: Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauwerken

Eurocode 6: Bemessung und konstruktive Mauerwerksbauten

Eurocode 9: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Aluminiumkonstruktionen

Stahlbau-Verlagsges. mbH, Sohnstr. 65, D - 40237 Düsseldorf, Tel.: (0211) 6 70 78 - 01

**Faxbestellung: (0211) 6 70 78 - 21**

Ich/Wir bestelle(n)  
 Exemplare

.....  
 .....

**Stahltreppen**  
**Brandschutzbemessung**

**39,80,- DM**  
**226,- DM**

zzgl. Versandkosten, inkl. Mehrwertsteuer

.....  
 Datum

.....  
 Unterschrift

.....  
 Firmenstempel