Dietger Weischede, Martin Stump

### VORWORT

Das vorliegende Handbuch zur **Tragwerksentwicklung mit Stabwerkmodellen** ist eine Zusammenfassung der Vorlesung Weischede am *Fachgebiet Entwerfen* und *Tragwerksentwicklung* des Fachbereiches Architektur an der TU Darmstadt, der Fortbildungsveranstaltung im Ingenieubüro Weischede, Herrmann und Partner in Stuttgart sowie der Vorlesung Stumpf in Baustatik, FH-Nordwestschweiz.

Das Planen mit Stabwerkmodellen setzt den Weg fort, der mit der Fachwerkanalogie (Mörsch) begann, dann am Institut für Massivbau (Schlaich) der Universität Stuttgart in den 1980-er Jahren grundlegend entwickelt und 1982 im CEB-Manual Nr. 150 von Schlaich und Weischede als 1. Fassung eines konsistenten, nachvollziehbaren Bemessungskonzepts vorgestellt wurde. Die weiteren Entwicklungen sind dann in den folgenden Jahren vor allem von Jörg Schlaich und Kurt Schäfer in der Fachliteratur publiziert worden.

### **EINLEITUNG**

Stabwerkmodelle sind Tragstrukturen aus Stäben. Sie stellen den beabsichtigten Lastabtrag als Bild dar. Der Lastabtrag ist eine Entwurfsleistung und vereint den architektonischen Gestaltungswillen mit der vorgegebenen Lastsituation und dem wirklichkeitsnahen Materialverhalten.

Stabwerkmodelle stellen **Gedankengänge** als **Bild** dar. Dadurch sind sie nachvollziehbar, kommunizierbar, beurteilbar. Sie können als Grundlage zur Weiterentwicklung dienen. Stabwerkmodelle konzentrieren den flächigen Kraftfluss bezüglich Richtung und Größe in einem einfachen linearen Element, dem Stab. Das minimierte Stabwerkmodell ist die Reduzierung des Tragverhaltens auf ihr absolutes Grundproblem.

Dieses Buch soll einen Weg aufzeigen, wie trageffektive Strukturen entstehen können. Eine Bogenbrücke ist so eine Struktur, eine Hängebrücke auch. Sie tragen ihre Last über Krümmung und in konzentrierter Form als Knick ab. So geschieht es auch im Innern eines Biegetragwerks. Immer trägt ein gekrümmter oder geknickter Stabzug die Last, im Idealfall allein über Normalkräfte und ohne Biegung. Das ist der Kernansatz für lastkonforme Formen: Krümmung trägt! Deshalb heißt auch unser Buch so: KRÜMMUNG TRÄGT

→ GRUNDLAGEN

### Grundlagen

- Krummuna träst



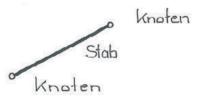
Transtruktur: sekrümmte Stäbe: Krümmung träst Sleichlast

- Lasten erzeusen Reaktionen



an <u>Gesantsustem</u> in den Auflasern

- Stäbe verbinden Knoten





Trasstruktur: **3eknickte** Stäbe <u>Knick</u> träst <u>Einzellast</u>

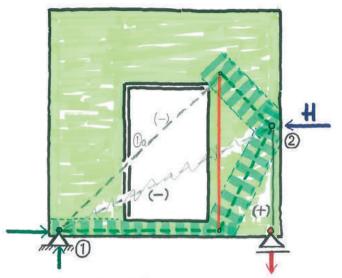


der inneren Kräfte an den Knoten





### Umfahrungen a) beidseitig



Der Stab 0/2 kann ganz (oder teilweise) durch die Stäbe Da, Qa und Ob, Ob ersetzt werden.

Dabei entsteht ein neuer Stab 3.

Dieser muss eine Serade sein, !

die an beliebiser Stelle und

unter einem beliebisen Winkel

den Stab 1/2 schneiden

Kann.

Der Winkel zwischen einem Zug (+) - und einem Druck (-) - Stab muss > 10° (~2:10) sein ?



Ein Zug (+) - Stab ist dunn (filigran)

Ein Druck (-) - Stab ist dick (massiv)

Zug- und Druck- Stab müssen im Knoten miteinander verknürft werden.

Beidseitise
Umfahrung
des Stabes 0/2:

(a)

(b)

(b)

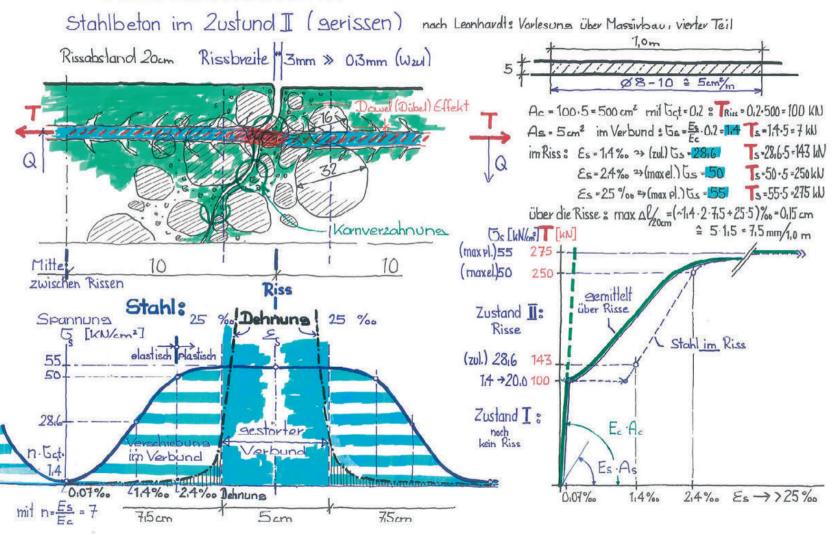
(c)

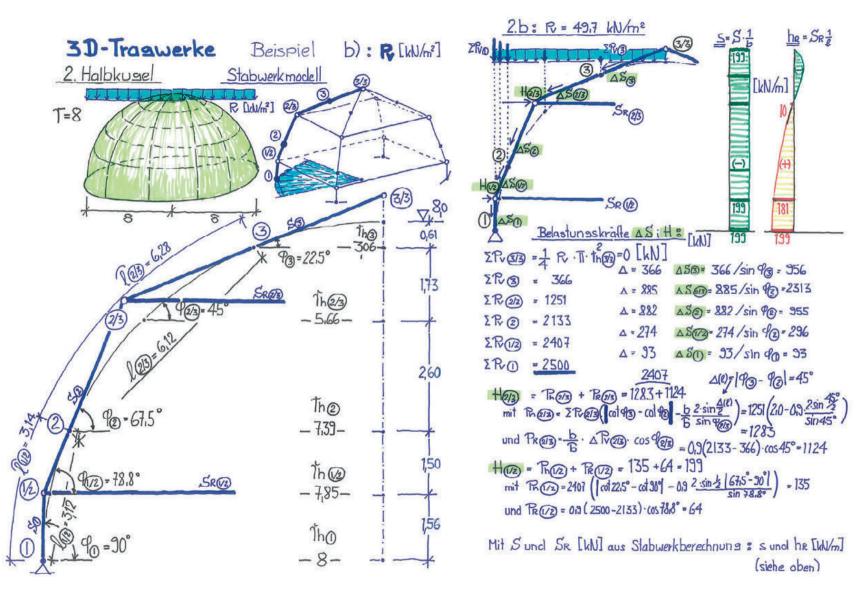
(b)

(c)

## → ANWENDUNGEN

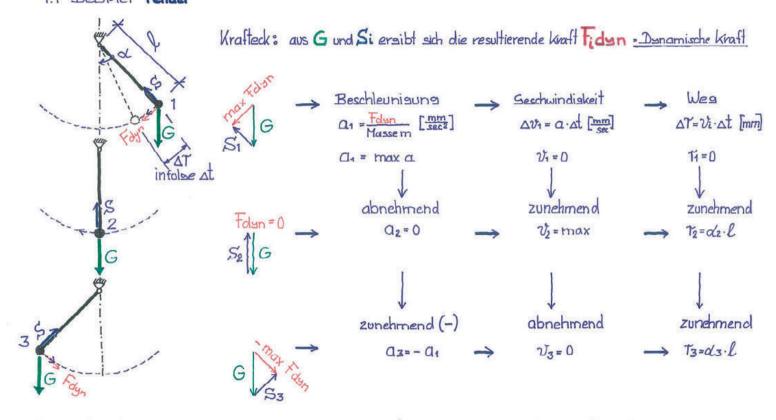
### Materialausnutzuna





# → DYNAMISCHE STABWERMODELLE

Danamische Stab werk modelle F. Brückner, D. Weischede, Bautechnik 92 (2015) Heft 4 sind eine avalische Davstellung zur Analye dynamischer Prozesse
1.1 Beispiel Pendel



Beispiel: für do=10° l=63,6 cm m=0,85 kg at=0,1 sec ergab sich eine Abweichung der zurückgelegten Wegstrecke aus demolyn. Stabwerkmodell- und der theoretischen Lösung von 0,6%.

### Beispiel Tragwerk: Glasdach in Wasseralfingen: Resttragfähigkeit

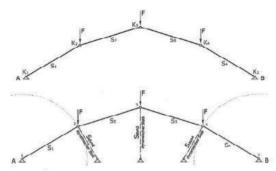


### aus: Brückner, F.: Dynamisches Stobwerkmodell eines Versagenden Bosens aus Verbund -

sicherheitsalas mit Zuaband TU Darmstadt, Dissertation 2011 8

# Die Nachrechnung des Slasbogenversagens Fi = 1,519 IN A

### b) Danamisches Stabwerkmodell



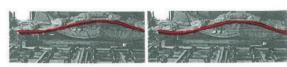
a) Versuch Glasversagen

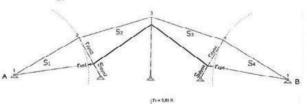




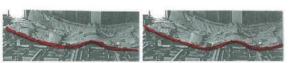


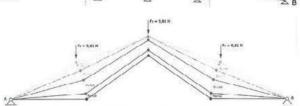


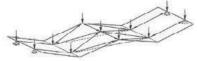












Bilder der Filmaufnahme zum Versuch Zeitschritte at = 0,033 s

Dynamisches Stabwerkmodell des versagenden Glasbagens

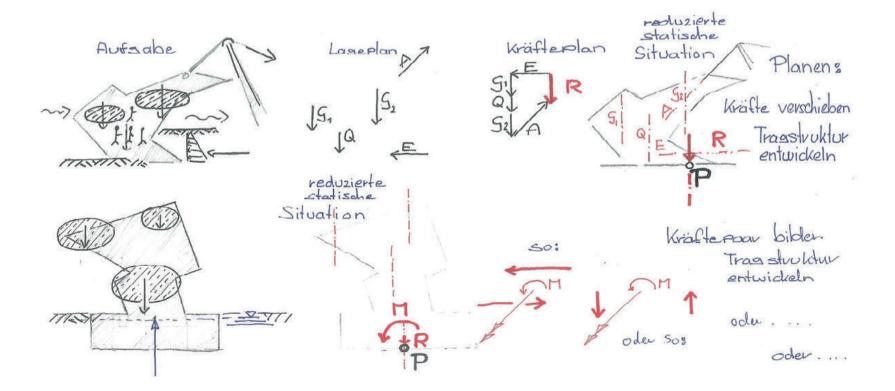
→ ENTWICKLUNGEN

### Entwicklungen

### Idee - Ing. → Traswerk

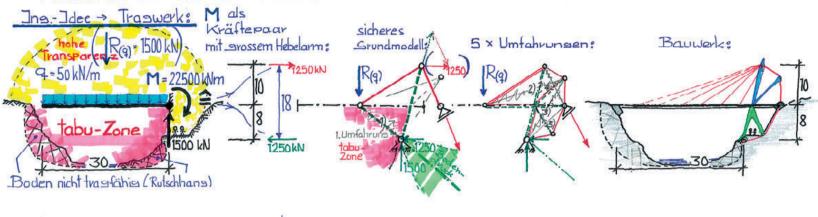
Um <u>direkte</u> Lösungen 20 Jinden, muss der <u>Kern</u> der Aufgabe erkennbar werden.

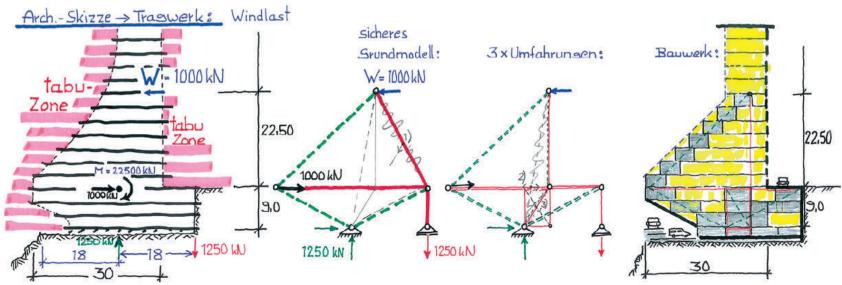
Für Insenieure wird die statische, auf ihre einfachste Aussaue. reduzierte Situation zum Kern des Lösungsansatzes!



### Mit Kräften traswerksplanen







# → TRAGWERKSPLANUNG MIT STABWERKMODELLEN

## Tragwerksplanung mit Stabwerkmodellen

Stahlbetonhaus in der Entwurfsphase

Phase: vor Vorentwurf (Skizze) vor Senehmisuns kommunizieren dokumentieren Konzep bilden verstehen entwickeln

### Traswerksplanung mit Stabwerkmodellen (Entwurfsphase) Stahlbetonhaus aus C25/30 Phase: 5 Offnuns in der Tonnenschale DG zwischen Achsen I und I 10 kN/m2 100 kN/m Cote a Schale = 40 Achsen I bis II Z= 450 LN 830 +200 = 1030. 180 Momenten 1,5 6 E=0.8 m=450-0,6 0/m=08-1030 = (+) 270 KNm 2,0 =(-) 824 450 7540 450 0,0 300+3:50= 450 kN =1,5 me= 1545 kNm C = - 1270/2 - 824/03=-4020 kN C=600/2-270/03=-600KN (11) = T= 1080 b= 10m 2) as=40m/m 5= 4020 /200 40 = -0.5 < 1.0 kU/cm² T= +2100 4 as= 74/2.0 = 37 cm²/m \$\text{\$\text{\$\pi\$}}20 - 8\$ G=-600/60-40=-0,25 KN/cm2 < 1,0 T= + 1200 2 As= 1200 /28.6 = 42 cm2 d=40 b~2,0 (12): G=-430 b=40 d=~20 b=60 5 = - 430 /40:20 = -0,5 kN/cm2 d=450/2-540/03 =- 1575 kN G = - 2540/2 - 2.1545/1,2 = - 3845 KN G=-1575/60.40 = -0.7 kW/cm 41,0 5 = -3845 /120.40 = -0.8 < 1.0 kU/cm2 T=+2025 23 As= 2025/28.6 = 71 cm2 T=+1305 4 As=46cm2 : 10025 14 \$ 25

G

### PROJEKT ZU TRAGWERKSPLANUNG MIT STABWERKMODELLEN: ROCHE BAU I







Foto: © Beat Ernst, Roche Ltd.

Neubau der 41-geschossigen Roche-Konzernzentrale in Basel

Im September 2015 wurde in Basel das höchste Gebäude der Schweiz eingeweiht: das neue Bürohochhaus Bau 1 des Schweizer Pharmakonzerns F. Hoffmann-La Roche überragt mit einer Höhe von 178 Metern das bis dato höchste Gebäude, den Züricher Prime Tower, um 50 Meter. Mit seiner schlichten, aber unverwechselbaren Form fügt sich das 41-geschossige Hochhaus optimal in das Roche-Areal und das Basler Stadtbild ein. Neben 2.000 Arbeitsplätzen umfasst das Gebäude ein 14 m auskragendes Auditorium mit 500 Sitzplätzen, mehrgeschossige Kommunikationszonen sowie ein Mitarbeiterrestaurant.

Die Grundrissfläche des terrassenförmigen Entwurfs verjüngt sich von 35 m x 70 m im EG auf 35 m x 20 m im 41. OG. Ein mittig angeordneter Stahlbetonkern bildet die Aussteifung des Hochhauses und wurde aufgrund der Erdbebengefährdung Basels für ein speziell analysiertes Starkbeben ausgelegt. Durch eine duktile Koppelung von Teilkernen kann die Erdbebenenergie in Verformung umgewandelt werden. Eine besondere Herausforderung war die Einspannung in den Kellerkasten, der in seinen Abmessungen nicht größer als das aufgehende Gebäude ist. Somit war keine Reduzierung der Einspannkräfte möglich.

ARCHITEKTUR Herzog & de Meuron, Basel

BAUHERR F. Hoffmann – La Roche AG

STANDORT / FERTIGSTELLUNG Basel, Schweiz, 2015

### PROJEKT ZU TRAGWERKSPLANUNG MIT STABWERKMODELLEN: ROCHE BAU II



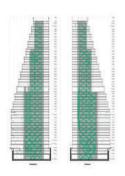
Visualisierung: © Herzog & de Meuron

Neubau eines 50-geschossigen Bürohochhauses in Basel

ARCHITEKTUR Herzog & de Meuron, Basel

BAUHERR F. Hoffmann – La Roche AG

STANDORT / FERTIGSTELLUNG Basel, Schweiz, 2021





Der 2015 fertiggestellte, 41-geschossige Bau 1 des Schweizer Pharmakonzerns F. Hoffmann-La Roche bekommt einen großen Bruder: direkt vis-à-vis entsteht das neue Bürohochhaus Bau 2, das mit 205 Metern Höhe und 50 Geschossen den Bau 1 als höchstes Gebäude der Schweiz ablösen wird. Neben rund 1.700 Büroarbeitsplätzen sind im Neubau Zonen zur Förderung der Kommunikation und Zusammenarbeit geplant. Zudem sind in verschiedenen Sondernutzungsgeschossen moderne Sitzungs- und Videokonferenzräume sowie zwei Cafeterien vorgesehen.

Das als Massivbau geplante Gebäude verjüngt sich von 32 m x 59 m im EG auf 32 m x 16 m im 49. OG. Es wird durch zwei, nach oben abgetreppte Stahlbetonkerne ausgesteift, die in den dreigeschossigen Kellerkasten eingespannt sind. Die Deckenauskragungen von bis zu 3,60 m sowie die großzügigen Treppenausschnitte im Bereich der Kommunikationszonen können durch Vorspannung der betroffenen Deckenfelder realisiert werden. Die Gründung des Gebäudes erfolgt analog zum Bau 1 mittels einer kombinierten Pfahl-Platten-Gründung.

In der schwachen Gebäudeachse sind analog zum Bau 1 die beiden Teilkerne mittels Balken gekoppelt. Durch Stabwerkmodelle für alle Kernwände wurde das Tragsystem des Aussteifungskerns für alle Planungsbeteiligte »sichtbar« gemacht. Über ein Skript können die Knoten der Stäbe interaktiv im 3D Modell verschoben werden. Die entsprechende Druckstrebenbreite wird in Echtzeit berechnet und im Modell dargestellt. Neue Öffnungen konnten so immer direkt im Modell auf Machbarkeit überprüft werden, in dem die Streben interaktiv verschoben wurden. Die Zug- und Druckstreben des Stabwerkmodells sind im BIM Modell bzw. im Teilmodell Struktur als Sperrzonen enthalten und sind für alle Planer sichtbar.