# Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240

## Überarbeitung Heft 240 (neu: Heft 631)

## Softwareunterstützte Schnittgrößenermittlung

Prof. Dr.-Ing. **Günter Axel Rombach**
Institut für Massivbau, Technische Universität Hamburg (TUHH)

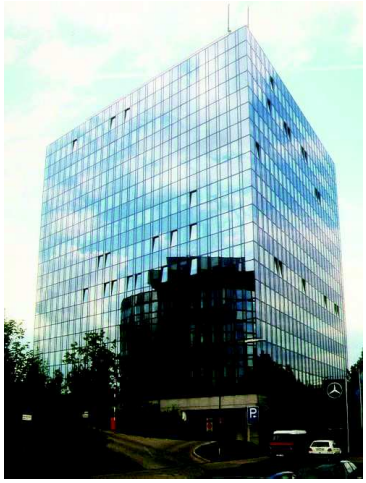
**5. Jahrestagung des DAfStb** | TU Kaiserslautern | Mittwoch 20.09.2017



## Vortragsgliederung

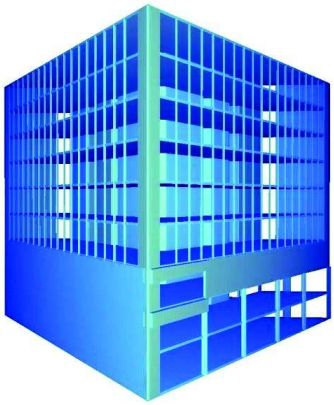
- **Einführung**
- **Kontrolle von FE-Berechnungen**
  - Geometrie
  - Elementierung
  - Auflager – Festhaltungen
  - Einwirkungen
  - Materialmodelle – elastisch- nichtlinear
  - Bemessung
  - Konstruktive Durchbildung
  - Dokumentation

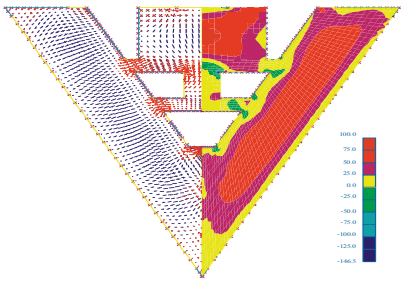
Reales Bauwerk



⇓

FE-Modell





## Die Handrechnung wird zunehmend von komplexen FE-Berechnungen abgelöst (BIM, Digitales Bauen)

- Näherungsansätze für die Schnittgrößenermittlung werden im Wesentlichen nur noch für die Kontrolle von FE-Berechnungen benötigt.

**DAfSTb Heft 240**

**1. Schnittgrößen von Stabtragwerken**

1.1 ~~Allgemeines~~

1.2 ~~Mitwirkende Plattenbreite von Plattenbalken~~

1.3 Zwangbeanspruchungen

1.4 Torsionssteifigkeit

1.5 ~~Schnittgrößen in Durchlaufträgern~~

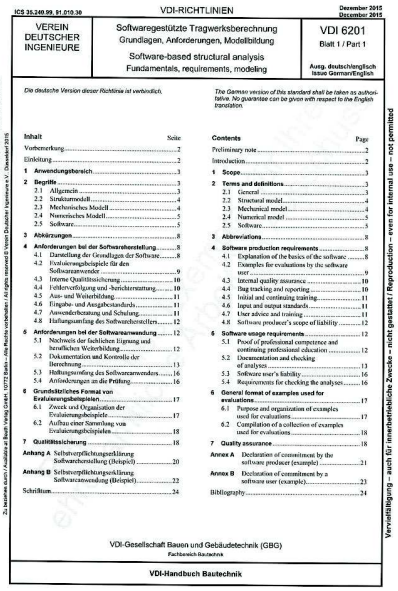
1.6 ~~Schnittgrößen in rahmenartigen Tragwerken~~

- Grundlegende Überarbeitung des Kapitels 1 erforderlich
  Schwerpunkt: Kontrolle von FE-Berechnungen

Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Softwareunterstützte Schnittgrößenermittlung (neu: Heft 631)

## Die Handrechnung wird zunehmend von komplexen FE-Berechnungen abgelöst (BIM, Digitales Bauen)

- Tragwerksplaner muss eingehende Erfahrungen in der Tragwerksberechnung und der numerischen Berechnung haben (VDI 6201, Dipl.-Ing. oder M.Sc. + 2 Jahre Berufserfahrung)
- Wichtige Aspekte
  - Das verwendete numerische Rechenmodell basiert, wie auch eine Handrechnung, auf Annahmen und Vereinfachungen.
  - Die Finite Elemente Methode ist ein Näherungsverfahren.
  - Die Softwarehersteller garantieren nicht die Fehlerfreiheit der ausgelieferten Software (bspw. bei der Bemessung). Sie können nur bei grob fahrlässigen Verhalten haftbar gemacht werden.



ICS 35.240.99; 91.010.30 — VDI-RICHTLINIEN — December 2015 / December 2015

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Softwaregestützte Tragwerksberechnung
Grundlagen, Anforderungen, Modellbildung

Software-based structural analysis
Fundamentals, requirements, modeling

VDI 6201
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt — Seite

Vorbemerkung ... 2
Einleitung ... 2
1 Anwendungsbereich ... 3
2 Begriffe ... 3
2.1 Allgemein ... 3
2.2 Strukturmodell ... 4
2.3 Mechanisches Modell ... 4
2.4 Numerisches Modell ... 5
2.5 Software ... 5
3 Abkürzungen ... 8
4 Anforderungen bei der Softwareherstellung ... 8
4.1 Darstellung der Grundlagen der Software ... 8
4.2 Evaluierungsbeispiele für den Softwareanwender ... 9
4.3 Interne Qualitätssicherung ... 10
4.4 Fehlerverfolgung und -berichterstattung ... 10
4.5 Aus- und Weiterbildung ... 11
4.6 Eingabe- und Ausgabestandards ... 11
4.7 Anwenderberatung und Schulung ... 11
4.8 Haftungsumfang des Softwareherstellers ... 12
5 Anforderungen bei der Softwareanwendung ... 12
5.1 Nachweis der fachlichen Eignung und beruflichen Weiterbildung ... 12
5.2 Dokumentation und Kontrolle der Berechnung ... 13
5.3 Haftungsumfang des Softwareanwenders ... 16
5.4 Anforderungen an die Prüfung ... 16
6 Grundsätzliches Format von Evaluierungsbeispielen ... 17
6.1 Zweck und Organisation der Evaluierungsbeispiele ... 17
6.2 Aufbau einer Sammlung von Evaluierungsbeispielen ... 18
7 Qualitätssicherung ... 18
Anhang A Selbstverpflichtungserklärung Softwareherstellung (Beispiel) ... 20
Anhang B Selbstverpflichtungserklärung Softwareanwendung (Beispiel) ... 22
Schrifttum ... 24

Contents — Page

Preliminary note ... 2
Introduction ... 2
1 Scope ... 3
2 Terms and definitions ... 3
2.1 General ... 3
2.2 Structural model ... 4
2.3 Mechanical model ... 4
2.4 Numerical model ... 5
2.5 Software ... 5
3 Abbreviations ... 8
4 Software production requirements ... 8
4.1 Explanation of the basics of the software ... 8
4.2 Examples for evaluations by the software user ... 9
4.3 Internal quality assurance ... 10
4.4 Bug tracking and reporting ... 10
4.5 Initial and continuing training ... 11
4.6 Input and output standards ... 11
4.7 User advice and training ... 11
4.8 Software producer's scope of liability ... 12
5 Software usage requirements ... 12
5.1 Proof of professional competence and continuing professional education ... 12
5.2 Documentation and checking of analyses ... 13
5.3 Software user's liability ... 16
5.4 Requirements for checking the analyses ... 16
6 General format of examples used for evaluations ... 17
6.1 Purpose and organization of examples used for evaluations ... 17
6.2 Compilation of a collection of examples used for evaluations ... 18
7 Quality assurance ... 18
Annex A Declaration of commitment by the software producer (example) ... 21
Annex B Declaration of commitment by a software user (example) ... 23
Bibliography ... 24

VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG)
Fachbereich Bautechnik

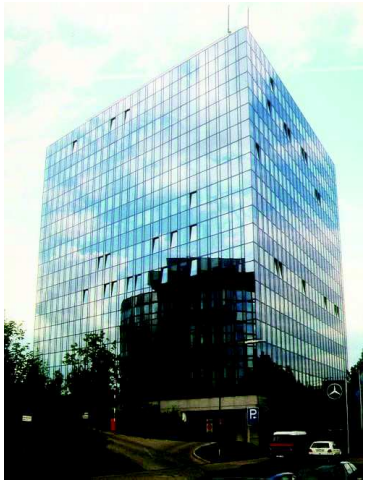
VDI-Handbuch Bautechnik

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH · 10772 Berlin · Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V. · Düsseldorf 2015

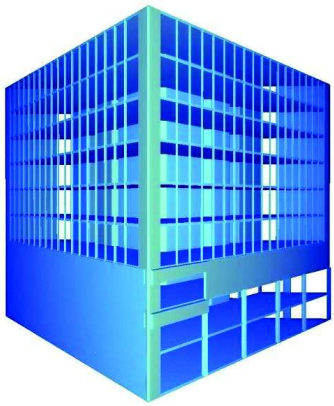
Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

## Die Handrechnung wird zunehmend von komplexen FE-Berechnungen abgelöst (BIM, Digitales Bauen)

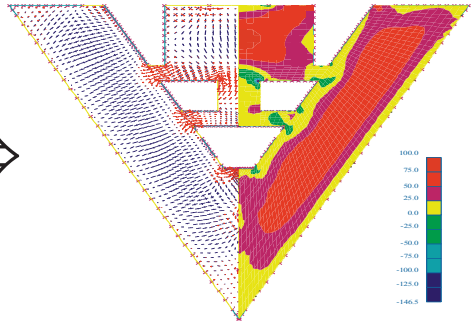
- Tragwerksplaner muss seine FE-Berechnungen eingehend überprüfen (und Kontrollen dokumentieren)
- Die Grundlage jeder Kontrolle sollten Berechnungen an einfachen statischen Ersatzsystemen sowie die Veranschaulichung des Kraftflusses bilden.



⇒



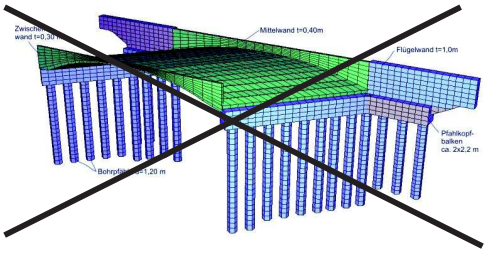
⇒



Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Softwareunterstützte Schnittgrößenermittlung (neu: Heft 631)

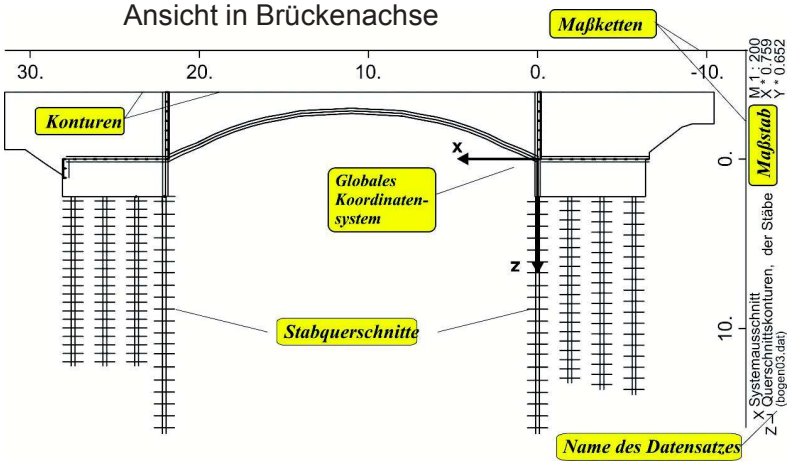
## Kontrolle der Strukturgeometrie

- **Maßstäbliche Plots (2-dimensionale Schnittbilder)**
  - ✓ Festgehaltene Freiheitsgrade (Auflager) müssen eindeutig zu erkennen sein.
  - ✓ Stabquerschnitte einschl. Lage der Bewehrung sowie Schwer- und Schubmittelpunkt

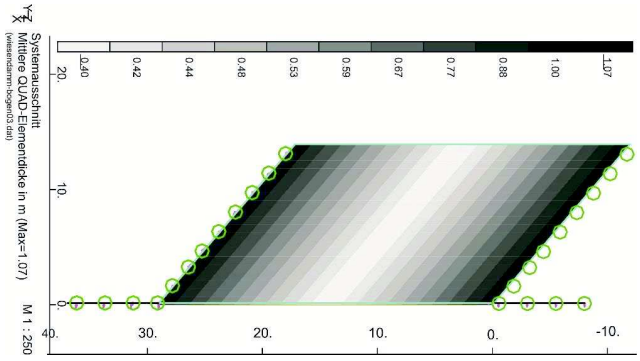



- **Numerische Ausgabe:** Querschnittswerte, …

Ansicht in Brückenachse

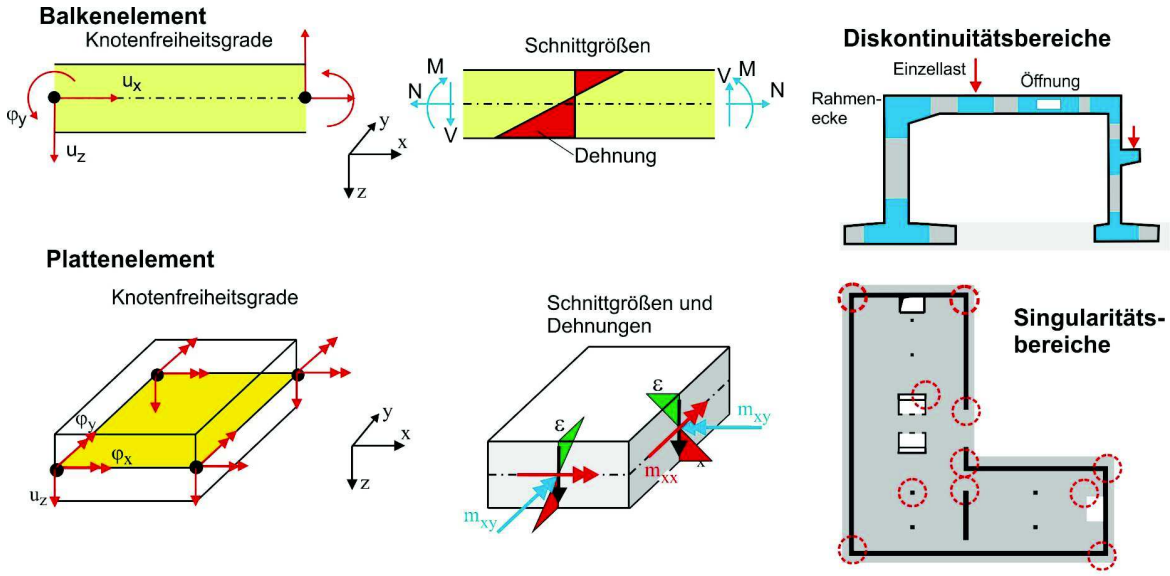



Draufsicht mit Plattendicken und Pfahlanordnung



# Kontrolle der Modellannahmen - Elementierung

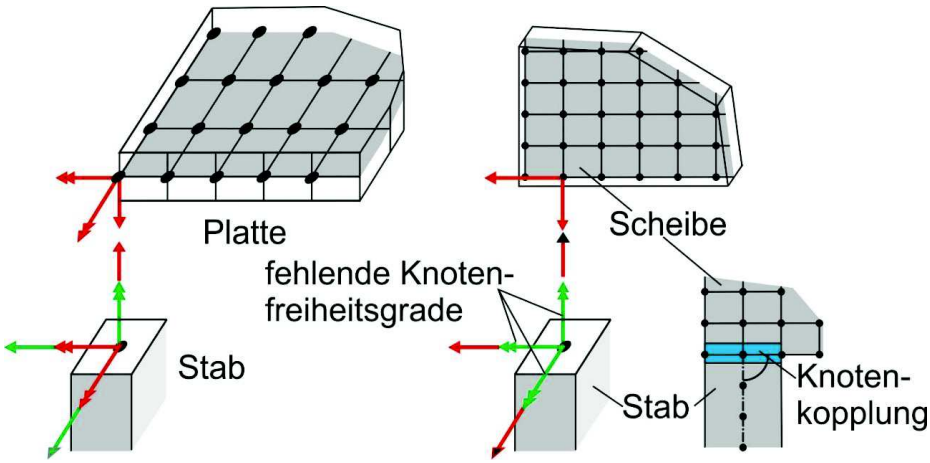
- **Diskontinuitäts- und Singularitätsbereiche** → Steifigkeit realitätsnah abbilden
- **Elementierung ausreichend fein** (abhängig vom Schnittgrößenverlauf, der Lastfläche {← Knotenlasten} sowie dem Bemessungsschnitt)



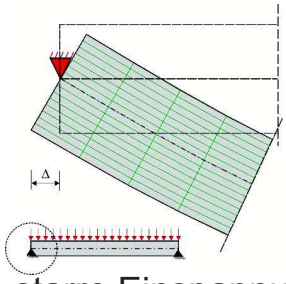

Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Softwareunterstützte Schnittgrößenermittlung (neu: Heft 631)

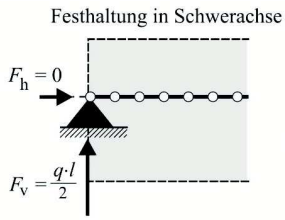
# Kontrolle der Modellannahmen - Elementierung

- **Inkompatible Elemente**

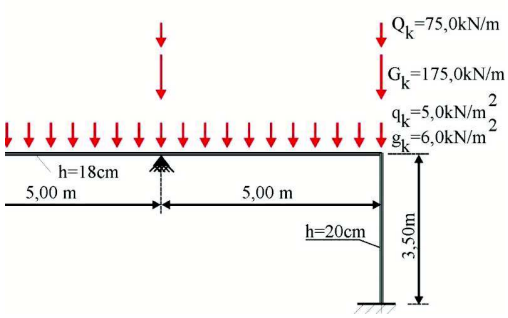


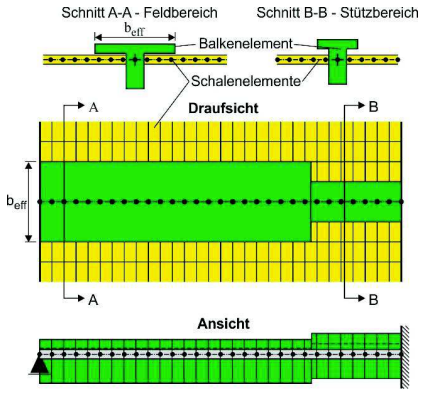
# Kontrolle der Festhaltungen - Auflager






- Zwängungen vermeiden (bspw. breite Auflager)
- Lage der Schwerachse
- Steifigkeitsabnahmen infolge Rissbildung (bspw. starre Einspannung)
- Bettungs- bzw. Steifemodulverfahren
- Unterzüge → Plattenbalken in Mittelfläche der Platte (beachte lin. Dehnungsverlauf)

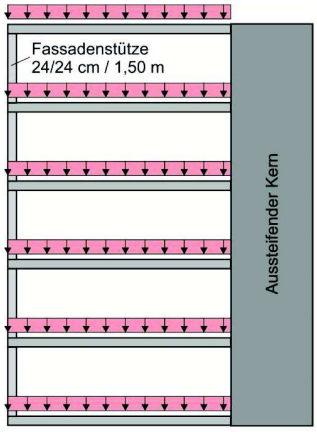


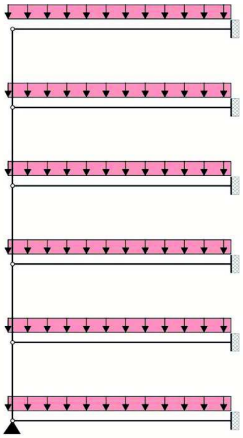



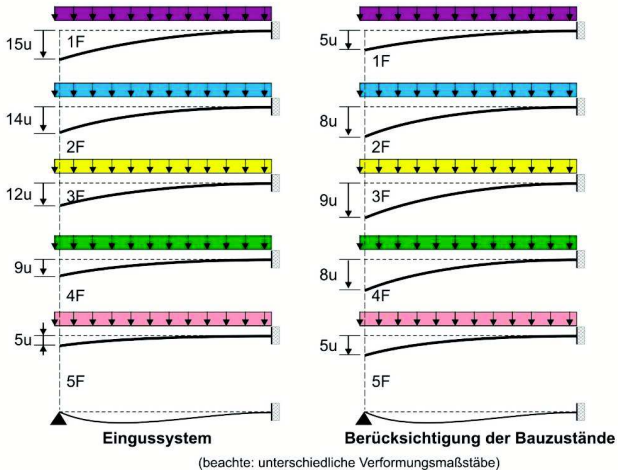

Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Softwareunterstützte Schnittgrößenermittlung (neu: Heft 631)

# Kontrolle der Einwirkungen

- Grafische Kontrolle + Summe der Lasten für jeden Lastfall
- Zulässige Einwirkung hängt vom Elementtyp ab (bspw. Plattenelement)
- Imperfektionen berücksichtigen (Schiefstellung, Herstellungstoleranzen, ..)
- Bauzustände (bspw. Gebäudemodell, Brücken, ..)

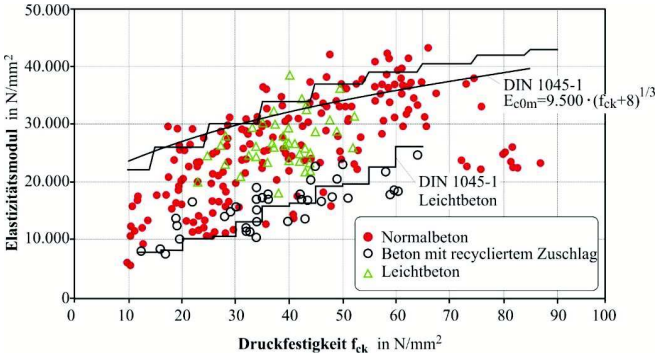




## Kontrolle der Materialmodelle

- **Linear elastische Materialverhalten - Materialparameter**
  - Große Streuungen
  - Querdehnzahl ($\mu$ = 0,0 ÷ 0,3) – bei biegebeanspruchten Platten $\mu$ = 0,2
  - Biegesteifigkeit in stark gerissenen Bereichen auf den 0,4-fachen el. Wert reduzieren.
  - Torsionssteifigkeit auf ca. 30 % des elastischen Wertes reduzieren.

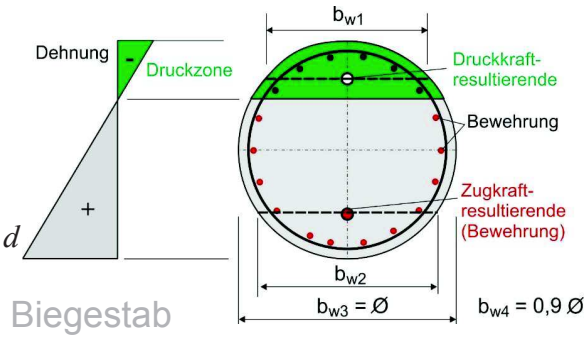



Neufassung der DAfStb Hefte 220 / 240
Softwareunterstützte Schnittgrößenermittlung (neu: Heft 631)

## Kontrolle der Materialmodelle

- **Nichtlineares Materialverhalten**
  - Anwendung erfordert eingehende Kenntnisse (Materialmodell, Iterationsverfahren, Konvergenzkontrolle, …).
  - Realistische Materialkennwerte ansetzen (im Allg. modifizierte Mittelwerte).
  - Betonzugfestigkeit darf keinen signifikanten Einfluss auf die Biegetragfähigkeit haben (ggf. Grenzbetrachtungen).
  - Riss- und Nachrissverhaltens zutreffend abbilden.
  - Mitwirkungen des Betons auf Zug zwischen den Rissen ggf. berücksichtigen.
- **Verfizierung des Rechenverfahrens anhand von Versuchsnachrechnungen** erf.
- **Sicherheitskonzept bislang nicht geklärt ($\gamma_R$-Verfahren, doppelte Buchführung, ECOV, …).**

## Kontrolle der Bemessung




- **Kontrolle der Bemessungsverfahren**

➢ Querkraft $V_{\mathrm{Rd,c}} = \left[ C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{\mathrm{ck}}\right)^{1/3} + 0{,}12 \cdot \sigma_{\mathrm{cp}} \right] \cdot b_{\mathrm{w}} \cdot d$

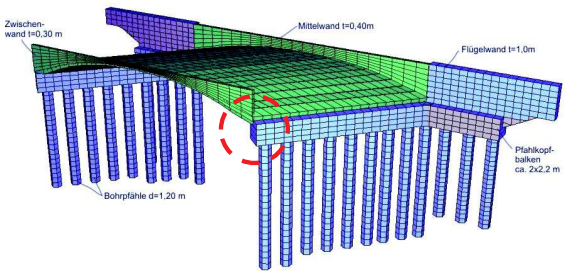
- ✓ Modell gilt nur für den vollkommen gerissenen Biegestab
  Elastische Berechnungen können dies nicht abbilden.
- ✓ Kontrolle der angesetzten Stegbereite $b_{\mathrm{w}}$, Längsbewehrungsgrad $\rho$, $V_{\mathrm{ccd}}$, $V_{\mathrm{td}}$, …
- ✓ Querkraftbemessung von Platten mit : $v_I = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$

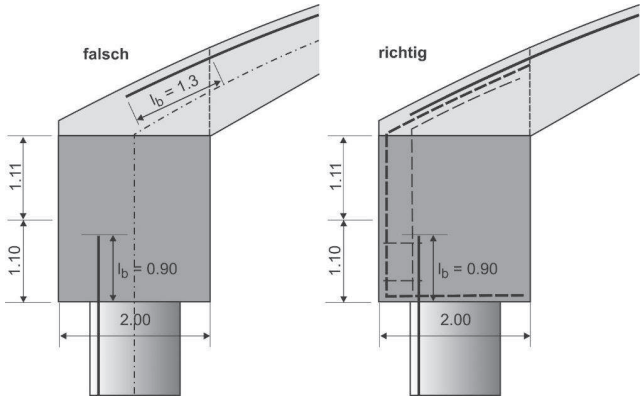
- **Torsionsbemessung nur bei Gleichgewichtstorsion**
- **Elementweise Bemessung von Scheiben- und Schalenelementen meistens nicht sinnvoll → Bemessung mit integralen Schnittgrößen, Stabwerkmodell**
- **Mindestbewehrung ist abhängig ob Stütze oder Biegestab (Stütze $e_{\mathrm{d}}/h < 3{,}5$)**



## Kontrolle der konstruktiven Durchbildung

- **Kraftfluss beachten** (bspw. Rahmenecke)



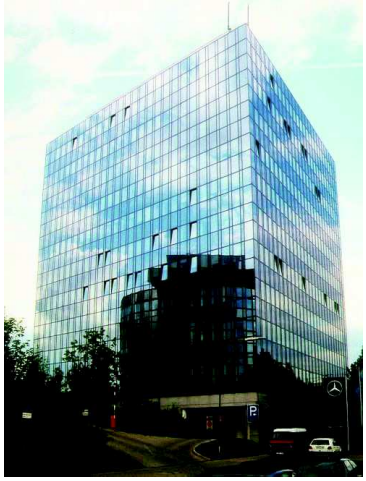

## Dokumentation

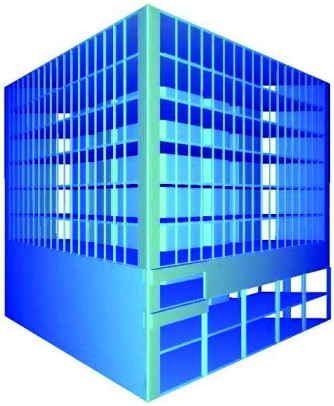
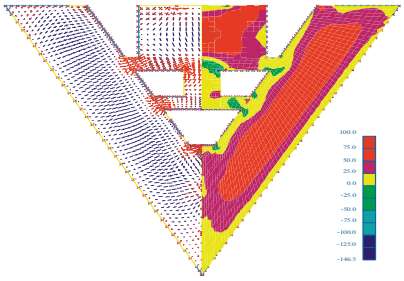
- Nur das **ausgeben**, was zur **eigenen und fremden Kontrolle** einer Berechnung notwendig ist.
- Kontrollrechnungen sollten den statischen Unterlagen **beigefügt** werden.
- Auf den Plots sollte die Richtung positiver Schnittgrößen sowie die Lage und Richtung der dargestellten Bewehrung **eindeutig** erkennbar sein.

# Zusammenfassung

- **Einführung**
- **Kontrolle von FE-Berechnungen**
  - Geometrie
  - Elementierung
  - Auflager – Festhaltungen
  - Einwirkungen
  - Materialmodelle – elastisch- nichtlinear
  - Bemessung
  - Konstruktive Durchbildung
  - Dokumentation

Reales Bauwerk



⇓

FE-Modell