

Innovation und Nachhaltigkeit im Betonbau

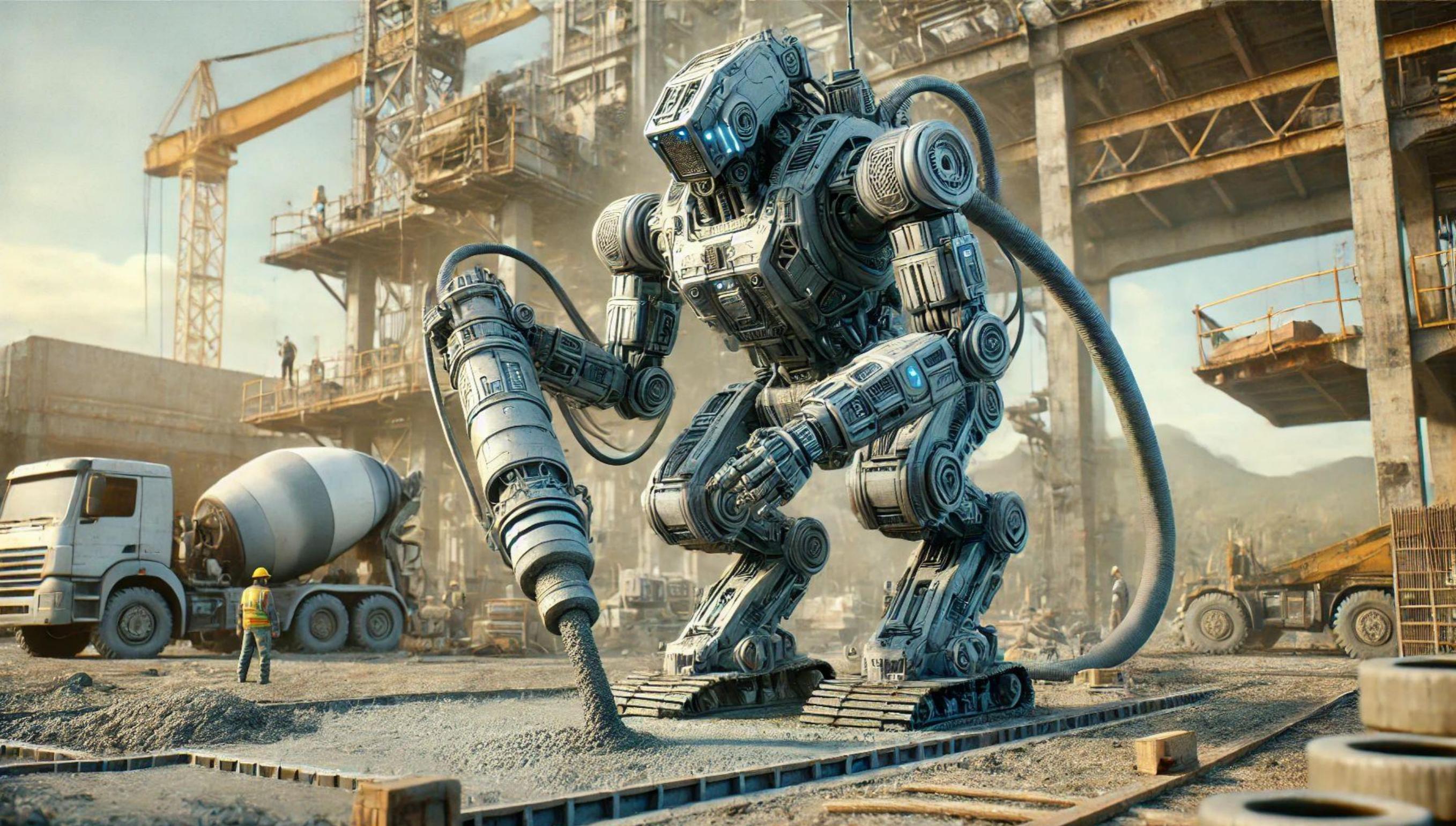
Die Zukunft des Bauens mit Beton

Dirk Schlicke

Institut für Betonbau, TU Graz

Die Zukunft des Bauens mit Beton





Betonbauwerke als Basis unserer Zivilisation...



Beton
ist mit einem
weltweiten Anteil
von ~90 % der mit
Abstand meist
eingesetzte
Baustoff

- leistungsfähig
- dauerhaft
- großer Gestaltungsspielraum
- vergleichsweise geringe Anforderungen an die Herstellung auf der Baustelle
- vergleichsweise kostengünstig

Betonbauwerke als Basis unserer Zivilisation...



nicht-ohne-beton.at

beton
Werte für Generationen

WIE FAHREN WIR ZUG, OHNE BETON?

EINE WELT OHNE BETON IST EINE WELT OHNE BRÜCKEN UND TUNNEL.

Beton schafft nachhaltige Infrastruktur. Mit seiner Stabilität, Flexibilität und Langlebigkeit ist er das Fundament unseres Fortschritts.

Entdecken Sie, wie Beton unsere Zukunft sichert!



Handlungsbedarf

GWP-Abdruck des Bauwesens
und insbesondere des
Betonbaus

Erfassung des komplexen Werkstoff- und
Bauteilverhaltens mit empirischen und
teils heuristischen Ingenieurmodellen

Domaindenken und
-handeln am Bau

unerwünschte Rissbildung
ohne wirksame Steuerungsmöglichkeit
mit der Mindestbewehrung

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

material- und energieeffizientes
Planen und Bauen

mechanisch konsistentere
Bemessungsmodelle

mit gleichzeitiger Einhaltung der Gleichgewichts- und
Verträglichkeitsbedingungen unter Berücksichtigung des
tatsächlichen Material- und Bauteilverhaltens

physikalisch sinnvolle
Austauschformate anstatt
zeitoptimierter Schnittstellen

Verformungsbasierte Zwangbemessung
mit Fokus auf der Rissvermeidung infolge
Betonhärtung anstatt Verlassens auf die
Mindestbewehrung für frühen Zwang

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

material- und energieeffizientes
Planen und Bauen

mechanisch konsistentere
Bemessungsmodelle

mit gleichzeitiger Einhaltung der Gleichgewichts- und
Verträglichkeitsbedingungen unter Berücksichtigung des
tatsächlichen Material- und Bauteilverhaltens

**physikalisch sinnvolle
Austauschformate anstatt
zeitoptimierter Schnittstellen**

Verformungsbasierte Zwangbemessung
mit Fokus auf der Rissvermeidung infolge
Betonhärtung anstatt Verlassens auf die
Mindestbewehrung für frühen Zwang

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

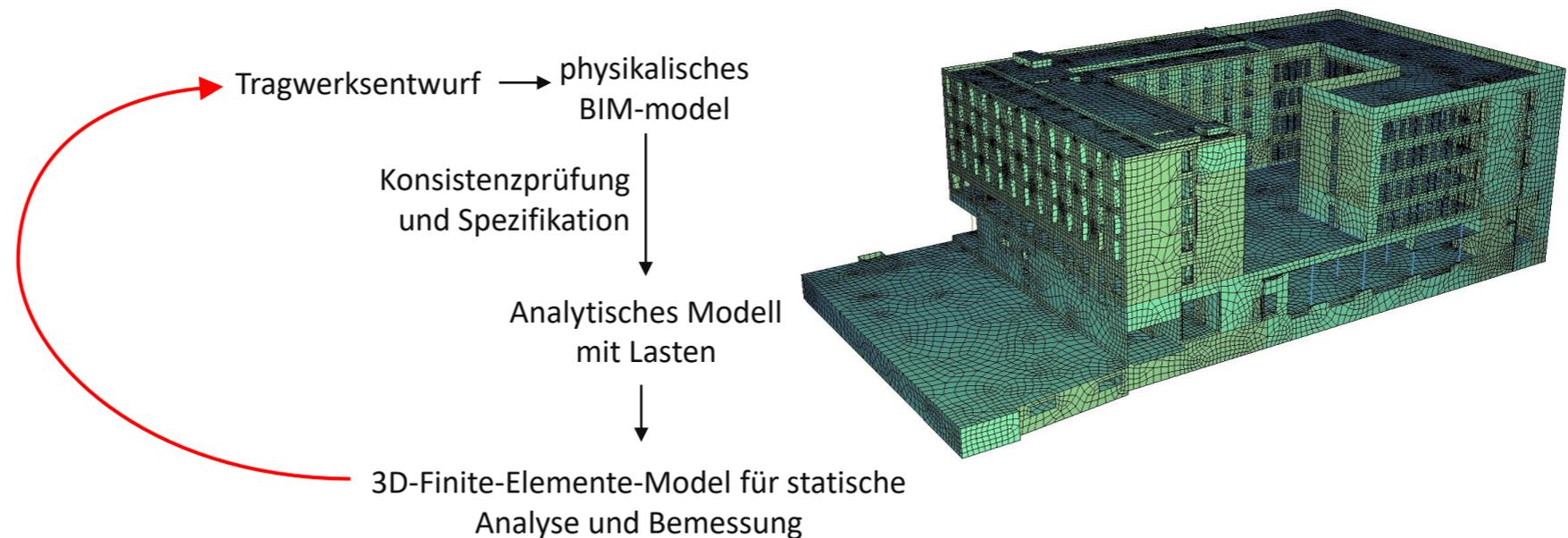
- physikalisch sinnvolle Austauschformate anstatt zeitoptimierter Schnittstellen

Interaktion / Schnittstelle	Etablierte Vorgehensweise	Vorschlag Agile Tragwerksplanung
• TWP + Architektur.....	Aposteriori Tragwerksnachweis	Integraler Tragwerksentwurf
• TWP + Geotechnik.....	Bettungsmodulverteilung	charakteristische Setzungsmulde
• TWP + Betontechnologie.....	ausschl. Festigkeitsklasse	tatsächliches Verhalten
• TWP + Haustechnik.....	Durchbruchfreigabe	tragsystemverträgliche Go-Areas
• TWP + Ausführung.....	Mindestbewehrung für zentr. Zwang	Einschalzeit u. Nachbehandlung (sowie Rezeptur und Frischbetonkühlung)

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

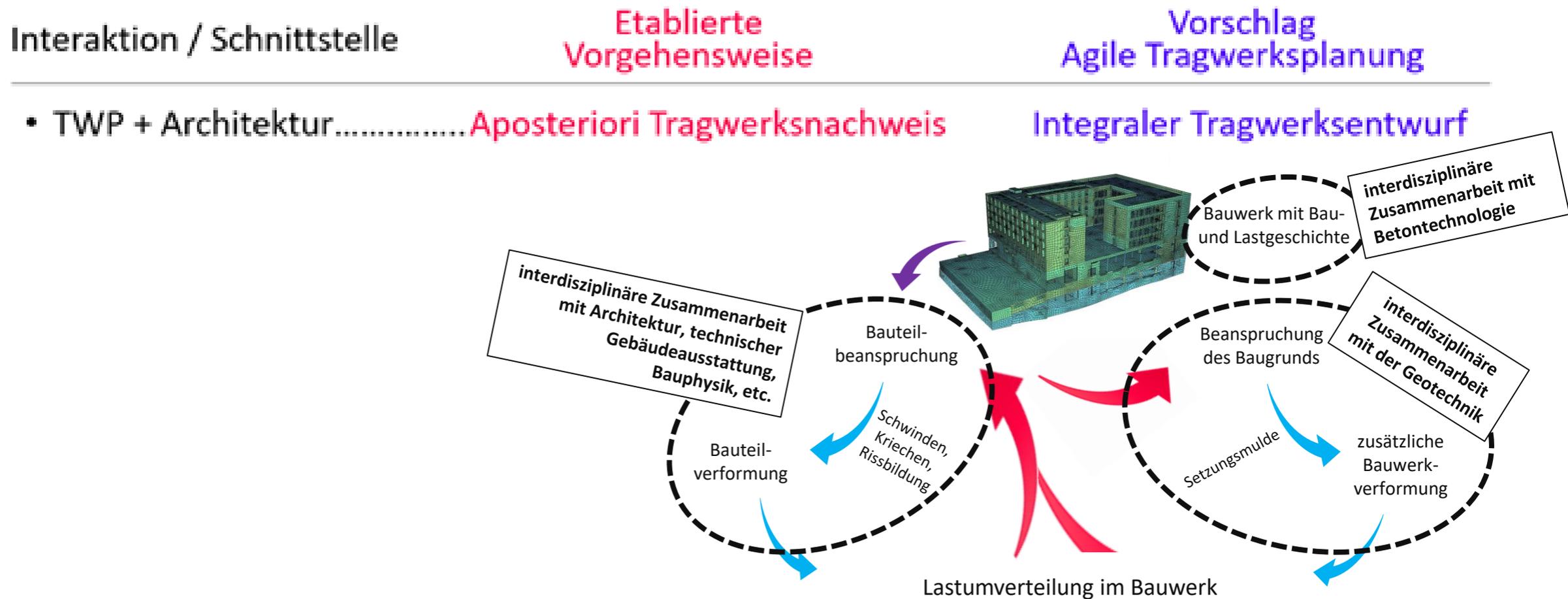
- physikalisch sinnvolle Austauschformate anstatt zeitoptimierter Schnittstellen

Interaktion / Schnittstelle	Etablierte Vorgehensweise	Vorschlag Agile Tragwerksplanung
• TWP + Architektur.....	Aposteriori Tragwerksnachweis	Integraler Tragwerksentwurf



Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

- physikalisch sinnvolle Austauschformate anstatt zeitoptimierter Schnittstellen



Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

- physikalisch sinnvolle Austauschformate anstatt zeitoptimierter Schnittstellen



Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

- physikalisch sinnvolle Austauschformate anstatt zeitoptimierter Schnittstellen

Interaktion / Schnittstelle	Etablierte Vorgehensweise	Vorschlag Agile Tragwerksplanung
• TWP + Architektur.....	Aposteriori Tragwerksnachweis	Integraler Tragwerksentwurf



oder



etablierte ökonomische Variante ist im Allgemeinen nicht hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen optimiert!



Optimierung hinsichtlich Umweltwirkungen muss nicht gleichzeitig weniger ökonomisch sein!

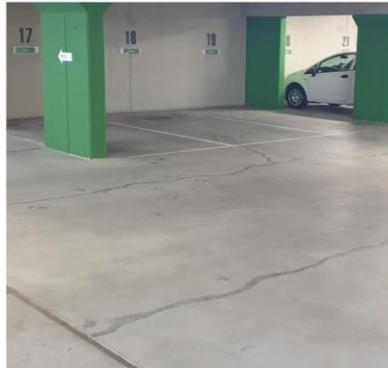
Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

- physikalisch sinnvolle Austauschformate anstatt zeitoptimierter Schnittstellen

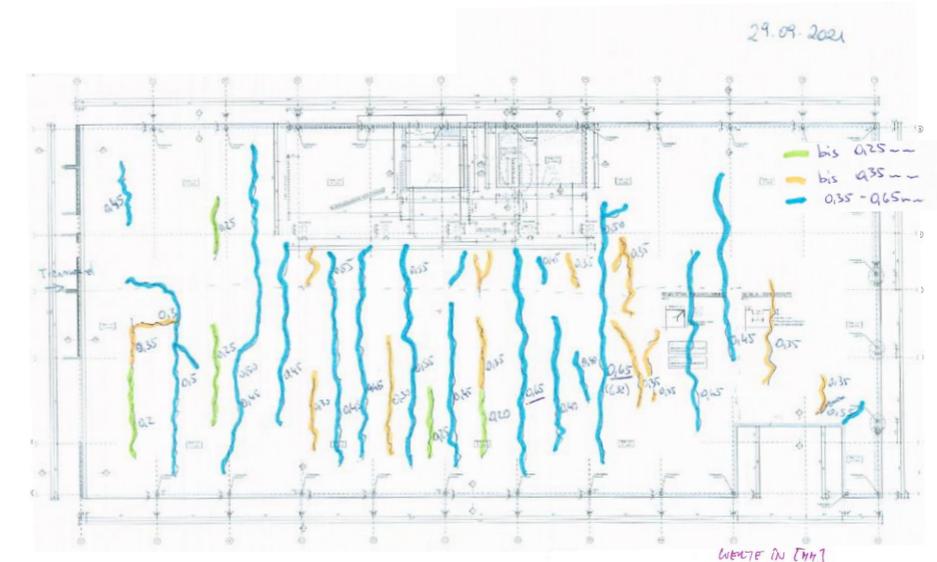
Interaktion / Schnittstelle	Etablierte Vorgehensweise	Vorschlag Agile Tragwerksplanung
• TWP + Architektur.....	A posteriori Tragwerksnachweis	Integraler Tragwerksentwurf
• TWP + Geotechnik.....	Bettungsmodulverteilung	charakteristische Setzungsmulde
• TWP + Betontechnologie.....	ausschl. Festigkeitsklasse	tatsächliches Verhalten
• TWP + Haustechnik.....	Durchbruchfreigabe	tragsystemverträgliche Go-Areas
• TWP + Ausführung.....	Mindestbewehrung für zentr. Zwang	Einschalzeit u. Nachbehandlung (sowie Rezeptur und Frischbetonkühlung)

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

- unerwünschte Rissbildung ohne wirksame Steuerungsmöglichkeit mit der Mindestbewehrung
$$A_{s,min} = k \cdot k_c \cdot A_{ct} \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{1}{\sigma_{s,zul}}$$



Vermeidung von früher Rissbildung essentiell für eine effektive Begrenzung der Rissbreite im gesamten Bauwerksleben!



Betontechnologie, Nachbehandlung und klimatische Randbedingungen müssen viel stärker in den Fokus genommen werden!

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

material- und energieeffizientes
Planen und Bauen

mechanisch konsistentere
Bemessungsmodelle

mit gleichzeitiger Einhaltung der Gleichgewichts- und
Verträglichkeitsbedingungen unter Berücksichtigung des
tatsächlichen Material- und Bauteilverhaltens

physikalisch sinnvolle
Austauschformate anstatt
zeitoptimierter Schnittstellen

Verformungsbasierte Zwangbemessung
mit Fokus auf der Rissvermeidung infolge
Betonerhärtung anstatt Verlassens auf die
Mindestbewehrung für frühen Zwang

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

- mechanisch konsistentere Bemessungsmodelle
 - Rissbreitenberechnung unter Berücksichtigung des verschieblichen Verbunds: www.crack-control.com

Explanatory note

Cracks are an essential characteristic of reinforced concrete (RC) construction. To ensure the durability and serviceability of the structure, the crack width is therefore limited to acceptable values by arranging suitable reinforcement. In this context, the maximum crack width in a RC member is decisive. The prediction of the maximum crack width of RC, however, is not trivial and has been much debated over the past decades.

The calculation application provided here is a mechanically based approach for the prediction of the maximum possible crack width. The calculation is based on two basic assumptions, namely (1) the tensile strength of the concrete is not exceeded at any point along the entire member; and (2) the interaction between concrete and reinforcement is suitably represented by a given bond stress – slip relation (i.e. bond law), which is explicitly regarded in the calculation. Furthermore, a distinction is made between the crack stage with single cracks and the stabilized crack stage. By this, the maximum possible crack width can be determined for a given cross-section configuration and loading.

This approach differs from the normative calculation models in the EUROCODE base document and MODELCODE, which on the one hand include model approaches calibrated to test databases and on the other hand assume a mean bond stress of $1.8 \cdot f_{ct,eff}$ independently of the crack condition and crack width. The latter, in particular, is a very gross simplification that can be on the unsafe side, especially for crack widths smaller than 0.2 mm.

Further information on the presented approach and the difference between mechanical models and calibrated models can be found in:

- Schlicke, D., Dorfmann, EM, Fehling, E., Tue, NV. Calculation of maximum crack width for practical design of reinforced concrete. *Civil Engineering Design*. 2021; 3: 45– 61. <https://doi.org/10.1002/cend.202100004>
- Tue, NV, Fehling, E., Schlicke, D., Krenn, C. Crack width verification and minimum reinforcement according to EC 2: Current model with specifications in Germany and Austria vs proposal for revision. *Civil Engineering Design*. 2021; 3: 210– 228. <https://doi.org/10.1002/cend.202100045>
- Schlicke, D., Krenn, C., Mayer, M. and Betschoga, C. (2022), FE-basierte Verifikation der Rissbreitenberechnung nach DAfStb-Heft 466. *Beton- und Stahlbetonbau*, 117: 666-679. <https://doi.org/10.1002/best.202200055>
- Fehling, E., Lorenz, P. and Schlicke, D. (2022), Energiebasierte direkte Berechnung der Bewehrung zur Rissbreitenbegrenzung. *Beton- und Stahlbetonbau*, 117: 680-688. <https://doi.org/10.1002/best.202200069>



Calculation application provided by Institute of Structural Concrete, Graz University of Technology

Governing equations

single crack stage:

$$w_k = \frac{\sigma_s \cdot \phi_s}{2 \cdot \tau_{sm} \cdot (1 + \alpha_E \cdot \rho_s)} \cdot \left(\frac{\sigma_s}{E_s} \cdot (1 - k_t) \right)$$

stabilized crack stage:

$$w_k = \frac{\phi_s \cdot f_{ct,eff}}{2 \cdot \tau_{sm} \cdot \rho_{eff}} \cdot \left(\frac{\sigma_s}{E_s} - \frac{f_{ct,eff}}{E_s \cdot \rho_{eff}} \cdot (1 + \alpha_E \cdot \rho_{eff}) \right)$$

width:

$$\tau_{sm} = \frac{C}{1 + \lambda \alpha} \cdot \left(\frac{w}{2} \right)^\alpha$$

for bond law:

$$\tau_s(x) = C \cdot s^\alpha(x)$$

Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

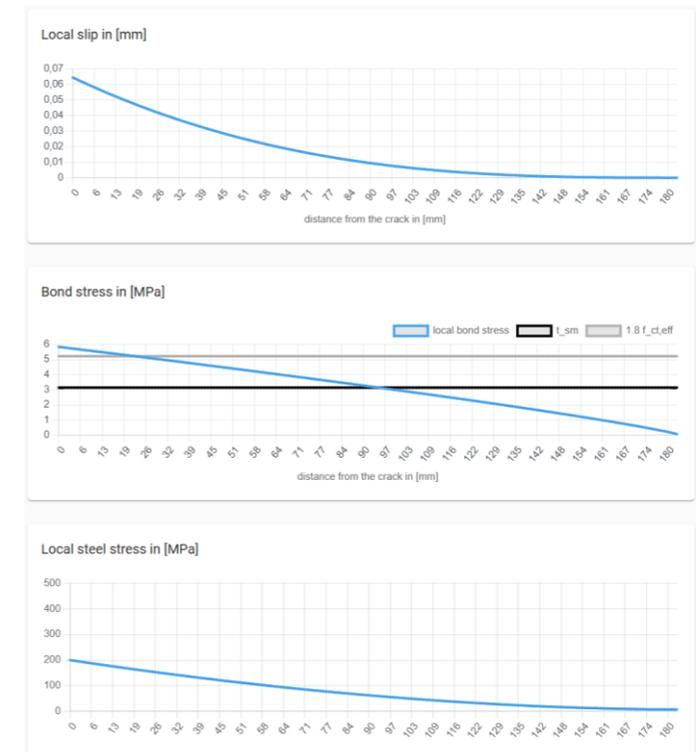
- mechanisch konsistentere Bemessungsmodelle
 - Rissbreitenberechnung unter Berücksichtigung des verschieblichen Verbunds: www.crack-control.com

Concrete			
f_{cm} [MPa]	compressive strength cylinder 38	$f_{ct,eff}$ [MPa]	tensile strength 2,9
E_c [MPa]	elastic modulus 30000	C/f_{cm} [-]	bond parameter (const.) 0,35
a [-]	bond parameter (expo.) 0,3	h [mm]	height of cross section 400
b [mm]	width of cross section 200		
Reinforcement			
ϕ_s [mm]	diameter 12	E_s [MPa]	elastic modulus 200000
n [-]	number of bars 4	c_{nom} [mm]	concrete cover 60
σ_{s2} [MPa]	steel stress 200	$k_{t,EC2}$ [-]	form parameter strain 0,6

use example values for single crack, stabilized crack

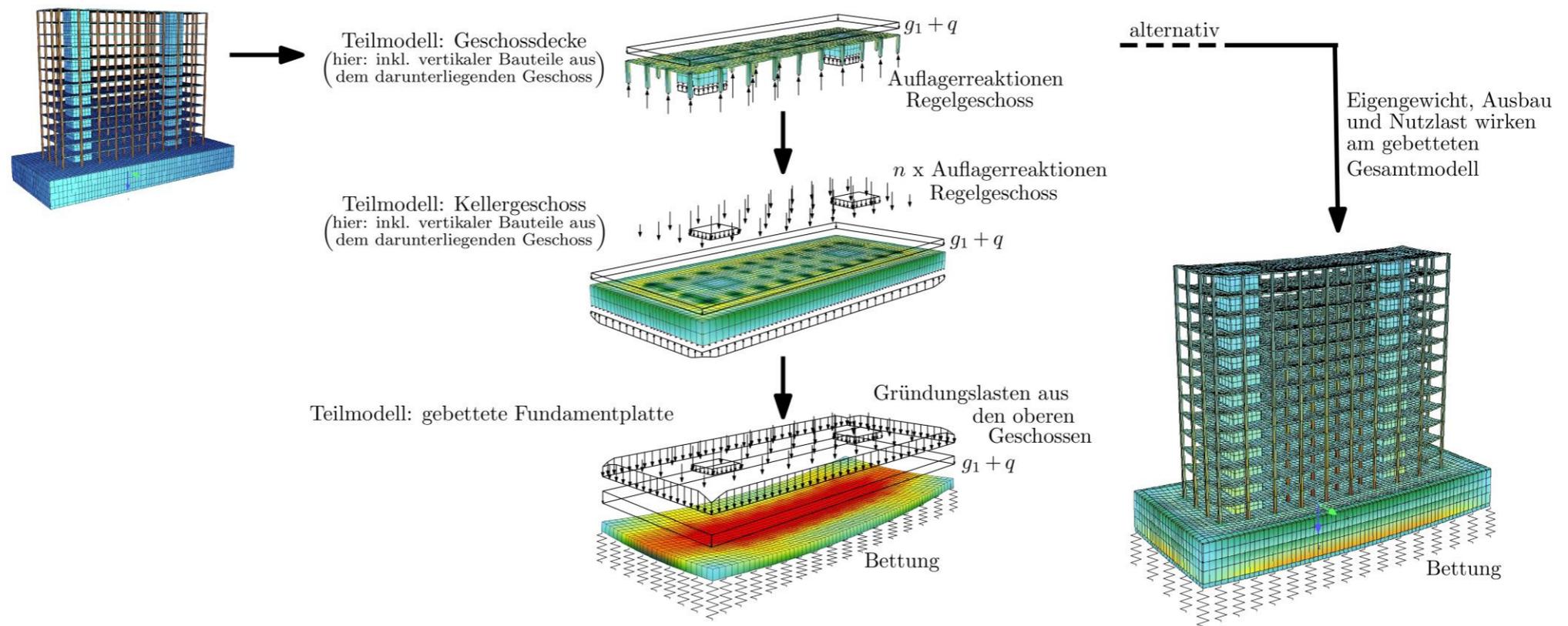
Calculate Reset

d_1	66	[mm]
α_e	6.67	[-]
A_s	452	[mm ²]
A_c	79548	[mm ²]
F_{cr}	239434	[N]
F_s	90478	[N]
crack stage	single crack	[-]
s_{rel}	1	[-]
λ	2.86	[-]
$\rho_{s,eff}$	0.57	[%]
k_t	0.65	[-]
l_e	184	[mm]
τ_{sm}	3.14	[MPa]
w	0.129	[mm]



Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

- mechanisch konsistentere Bemessungsmodelle
 - 2D-Positionsstatik vs. konsequente statische Analyse am 3D-Gesamtmodell



Ausblick - öbv-Forschungsprojekt

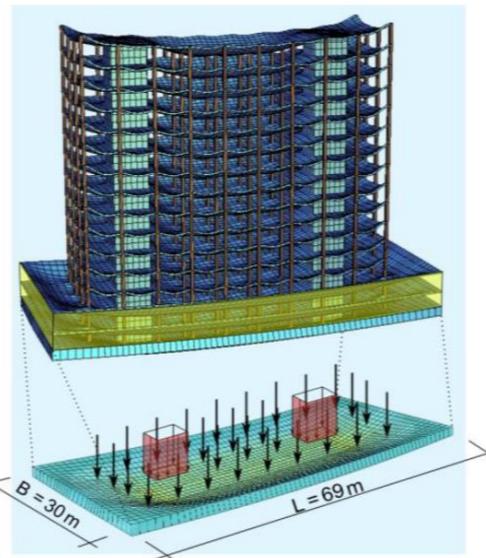
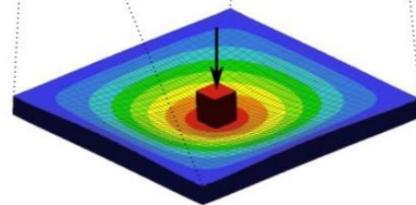


Handlungsbedarf und Handlungsspielraum

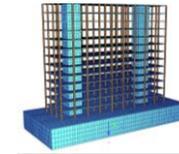
- mechanisch konsistentere Bemessungsmodelle
 - Durchstanznachweis in Bodenplatten unter Berücksichtigung der globalen Verformungsfigur der Bodenplatte



Source: Oldrich Sucharda 2018



Handlungsbedarf und Handlungsspielraum



Skelettbau
15 Etagen
BGF 16,5k m²

■ Einsparungspotenzial des Beispiels in Betonkalender 2024

– Beton Fundamentplatte:

- 25 % oder 672 m³ oder >100 LKW Transportbeton oder 200 t Zement (ca. 10 % Gesamtbetonvolumen der Tragstruktur)

– Bewehrung Fundamentplatte

- bedingt sich aus Zusammenspiel von Mindestbewehrung und statisch erforderlicher Bewehrung (ca. 10 bis 20 % möglich)

– weitere Auswirkungen

- situationsabhängig: Aushub und dessen Abtransport sowie Verwertung; Wasserdruck / Auftriebssicherheit
- Baugrundbelastung infolge Tragstruktur ebenfalls um 10% reduziert
- Massenoptimierung des Deckensystems hier noch nicht betrachtet!

Finanzielle Einsparung

- Beton ca. 100k EUR
- Bewehrung ca. 72k EUR

Herzlichen Dank für die Aufmerksamkeit

TU Graz Institut für Betonbau / Prof. Dr. Dirk Schlicke

Kolloquium | Forschung & Entwicklung für Zement und Beton 2024