



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# SAFEBRIDGE AT-CZ190

Vertiefte numerische zuverlässigkeitsorientierte Bewertungsmethoden für Brückensystemen nach B 4008-2

**ERWEITERTE ANALYSE BESTEHENDER STAHL- UND SPANNBETONBRÜCKEN:  
NICHTLINEARITÄT, ZUVERLÄSSIGKEIT, SICHERHEITSFORMATE,  
LEBENSDAUERASPEKTE**

*Projekt des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des EU-  
Programms Interreg Österreich - Tschechische Republik*

Projektnummer: **ATCZ190**  
Akronym: **SAFEBRIDGE**  
Projektdauer: **01.09.2018–31.10.2021**  
URL: **<https://www.at-cz.eu/safebridge>**

Alfred Strauss

Institut für konstruktiven Ingenieurbau  
Department für Bautechnik und Naturgefahren  
Universität für Bodenkultur, Wien Österreich

Drahomír Novák

Institut für Strukturmechanik  
Fakultät für Bauingenieurwesen  
Technische Universität Brunn, Tschechische  
Republik



EUROPÄISCHE UNION



Österreich-Tschechische Republik  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## ATCZ190: STRATEGISCHE PARTNER

### Österreich:

ASFINAG

ÖBB Infrastructure AG

BMVIT

Amt NÖ Landesregierung

MA 29

Vill ZT GmbH

Schimetta Consult ZT GmbH

KOB ZT GmbH

### Tschechische Republik:

ŘSD ČR Brno establishment

SŽ (former SŽDC)

SÚS JMK

Brněnské komunikace a. s.

Dopravoprojekt Brno a.s.

Exprojekt s.r.o.

Klokner Institute of the CTU in Prague

 Bundesministerium  
Verkehr, Innovation  
und Technologie





EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## ATCZ190: ZIELSETZUNGEN

Ziel des Projektes "SAFEBRIDGE",

vertiefte numerische zuverlässigkeitsorientierte Bewertungsmethoden für Brückensysteme (entsprechend der ONB4008 Level III) zu konzipieren

für Ingenieurbüros als auch den Betreibern von Infrastrukturen in der Region Wien, Niederösterreich und Mähren zugänglich zu machen.

Bereitstellung relevanter Informationen zur ganzheitlichen Bewertung von Brückensystemen...

zielgerichteten Einsatz des begrenzten Budgets in der Brückenerhaltung.

# ATCZ190: INSTRUMENTE

## Richtlinien ATCZ190 SAFEBRIDGE

- Datenerhebung
- Modellbildung (Det. und Probabilistisch)
- Performance Bewertung (**Assessment**)
- Performance Vorhersage (**Prediction**)

## Fallstudien an zehn ausgewählten Brücken

- Technische Datenblätter (Fact Sheets)
- Konferenzbeiträge und Journal Beiträge

## IABSE SED Normformate für B4008-2 Level 3 TRAINING SCHOOLS

- während Projektverlauf Aufbau
- Lehrgang 2022



VORSCHLAG

ÖNORM

B 4008-2

Ausgabe: 2019-04-30

Lektorcommentare inkludiert

Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Tragwerke

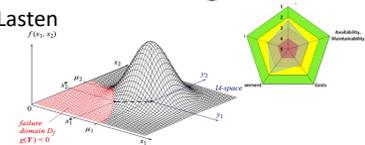
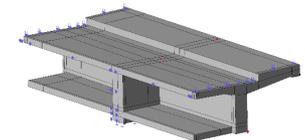
Teil 2: Brückenbau

Assessment of load capacity of existing structures - Part 2: Bridge construction

Evaluation de la capacité des structures existantes - Partie 2: Construction des ponts

- Materialparameter
- Stahlplatten
- Bewehrung
- Beton
- Geometrie
- Materialdefinition
- Rastereinstellung
- Netzgenerierung
- Randbedingungen und Lasten
- Loading History
- Lösungsparameter
- Monitoring Punkte

- Prob. Load Modelle
- Stochastische Materialmodelle
- Berichterstattung



myCommittee | 16.09.2019 | 50041028 | Universität für Bodenkultur, Institut f. alpine Naturgefahren, Prof. Dipl.-Ing. Dr. Alfred Strauss

Medieninhaber und  
 Austrian Standards Institute  
 Standardisierungsinstitut  
 Hellnerstraße 39, 1020  
 Copyright © Austria  
 Alle Rechte vorbehalten  
 Verwendungsrechte, Auslei-  
 hungen oder Reproduzier-  
 ungsrechte:  
 E-Mail: service@onust  
 Internet: www.austri-  
 anstandards.at  
 Verkauf von m- und  
 Kopierwerken durch  
 Austrian Standards p  
 Hellnerstraße 39, 1020 Wien  
 E-Mail: service@austrian-standards.at  
 Internet: www.austrian-standards.at  
 Webshop: www.austrian-standards.at/webshop  
 Tel.: +43 1 213 00-300  
 Fax: +43 1 213 00-355



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



ATCZ190: TECHNISCHE DATENBLÄTTER/FACT SHEETS – 5 BRÜCKEN (AT)

ASFINAG STRASSENBRÜCKE. Das Projekt 'SAFE BRIDGE' hat das Ziel, ein fortgeschrittenes Brücken auf der Grundlage der Zuverlässigkeitstheorie... Bauwerksdetails: 3-feldrige, punktgestützte Platte, Stützweiten: 6 m/7.5 m/6 m, Breite: 11.60 m, Plattendicke: 32 cm, Quervergung: 3.5%, Errichtet 1973. Abbildung 1: Ansicht der Brücke [1], Abbildung 2: Querschnitt des Tragwerks [2], Abbildung 3: Querverbreiterung des Tragwerks [2]. Technical Sheet #3-a www.at-cz.eu/safe

MA 29 STRASSENBRÜCKE: BAHN- HAFENBRÜCKE WIEN. Das Projekt 'SAFE BRIDGE' hat das Ziel, ein fortgeschrittenes Brücken auf der Grundlage der Zuverlässigkeitstheorie... Bauwerksdetails: 4-feldrige, 4-stufige Plattenbalkenbrücke mit Stütz- und Feldträger + aussteifender Bodenplatte im Stützbereich, Schräge Plattenbrücke, Winkel = 46°, Stützweiten = 4 x 26,20 m, Plattendicke: 22 cm, Plattenbalkenbreite: 50 cm, 60 cm/1,7 m, Baujahr: 1957/1958. Abbildung 1: Ansicht der B2009 – Bausos F – Ka, Abbildung 2: Querschnitt des Tragwerks [1], Abbildung 3: Längsbewehrung des Tragwerks [1]. Technical Sheet #3-b www.at-cz.eu/safe

GENERALISIERTE FALL- RAHMENBRÜCKE. Das Projekt 'SAFE BRIDGE' hat das Ziel, ein fortgeschrittenes Brücken auf der Grundlage der Zuverlässigkeitstheorie... Bauwerksdetails: Die wichtigsten geometrischen Parameter dieses Brückentyps, die in dieser Fallstudie als Variablen betrachtet werden, sind: Kreuzungswinkel 75° – 90°, Plattenbreite 5.2m – 11.2m, Stützweiten 12m – 20m, Stiellänge 2m – 8m, Plattendicke = Stieledicke = 1m. Die Angaben wurden aus der RVS 15.02.31 (Entwurf 18.10.2018) Rahmennormale [1] entnommen. Abbildung 1: Rahmenbrücke – Generalisierte Fallstudie Längsschnitt aus [1], Abbildung 2: Charakteristischer Querschnitt aus [1]. Technical Sheet #3-d www.at-cz.eu/safe

ÖBB EISENBahnBRÜCKE. The project 'SAFE BRIDGE' aims at the design of advanced structures based on reliability theory... Structural Details: Single Span Railway Bridge over a Road, Skewed slab design, skew angle = 46°, Clear span length = 10 m, Width: 5.5 m, Slab thickness: 85 cm, Constructed in 1981. Fig. 1: General view of the bridge [1], Fig. 2: Characteristic cross-section of the bridge [2]. Technical Sheet #1-a www.at-cz.eu/safe

AMT NÖ STRASSENBRÜCKE: B41.09-TÜ SCHÜTZBERG. Das Projekt 'SAFE BRIDGE' hat das Ziel, ein fortgeschrittenes Verfahren zur numerischen Bewertung von Brücken auf der Grundlage der Zuverlässigkeitstheorie... Bauwerksdetails: Neunfeldrige Brücke, Vorgespannte Hohlkastenbrücke, Lichte Spannweite = 28,5 m (Enfeld) und 39,0 m (Regelfeld), Gesamtbreite 13 m, Krümmungsradius: 1250 m, Errichtet 1979. Abbildung 1: Ansicht der Brücke, Abbildung 2: Querschnitt des Tragwerks [1], Abbildung 3: Spannbleiführung [1], Abbildung 4: Abstand der Kabel zu den Querschnitt Außenkanten [1], Abbildung 5: Querschnitt Plelier [1]. Technical Sheet #3-c www.at-cz.eu/safebridge 53: 2021-06-30

Linear-Probabilistisch Nachweisführung Nichtlinear – Det./Probabilistische Nachweisführung



Brückentagung 2021, 13.-14. Oktober



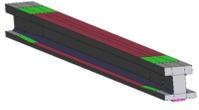
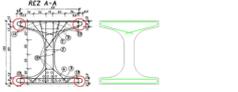
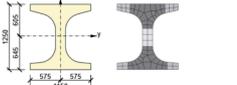
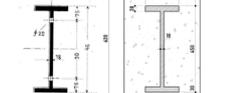
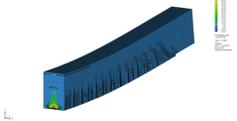
EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



ATCZ190: TECHNISCHE DATENBLÄTTER/FACT SHEETS – 5 BRÜCKEN (CZ)

<p><b>CASE STUDIES: BRIDGES ON THE PROGRAM</b></p> <p>The project "SAFE BRIDGE" aims at the design of advanced structures based on reliability theory (on the basis of EN) make this available for more engineering offices as well as of Vienna, Lower Austria and Moravia. This technical sheet procedure for advanced nonlinear stochastic analysis, that used on all five analysed bridges within the programme re</p> <p><b>a) Veslařská Bridge Across the River Svatka, Reg. No. BM-092</b></p> <p><b>Structural Details</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A three-span slab bridge from prefabricated prestressed KA-61 beams</li> <li>Total span length: 50.00 m</li> <li>Clear width: 16.00 m</li> <li>Total number of spans: 3</li> <li>Year of construction: 1966</li> </ul>  <p>Fig. 1a: View of the bridge</p> <p><b>Deterministic Model and Non-linear Analysis</b></p> <p>The very first step of advanced numerical analysis of existing structures is the development of a deterministic mathematical model, typically solved by the finite element method. First a model of the KA-61 beam was created, then a model of the entire bridge span. Here, the middle span of the bridge was selected with a span length of 19.98 m. The geometry of the individual bridge girders was assumed according to the original documentation (UTP KA-61) including reinforcement and tendons. The shape of the cross-section was simplified to regular shapes (linear haunches) in order to obtain a regular mesh. The model of analysed bridge span is shown in Fig. 2a.</p>	<p><b>b) Fryčajova Bridge Across the River Svitava, Reg. No. 374-048</b></p> <p><b>Structural Details</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A one-span slab bridge from prefabricated prestressed MPD 6 beams</li> <li>Total span length: 31.00 m</li> <li>Clear width: 16.50 m</li> <li>Total number of spans: 1</li> <li>Year of construction: 1955</li> </ul>  <p>Fig. 2b: View of the bridge</p> <p><b>Deterministic Model and Non-linear Analysis</b></p> <p>First a model of the beam was created. Geometry of type MPD 6 beam consists of an intermediate part (red colour in Fig. 2b) with the length of 23 m, a haunched part (green colour) with the length of 3.2 m and a support part (grey colour) with the length of 2.3 m. The dimensions are based on [8].</p> <p>The tracing of the prestressing tendons, due to the absence of drawings, is based on a detailed static calculation with consideration of the loads for which the bridge was designed. In the load capacity analysis, dead load, prestressing and six-axle vehicle loading were considered to determine the ultimate load capacity according to CSN 73 6222 [2]. Partial results from the nonlinear analysis of the beam are shown in Fig. 3b.</p>  <p>Fig. 2b: Geometry of intermediate type MPD 6 beam</p>	<p><b>c) Bělohorská Bridge Across Tram Lines, reg. No. 373-024</b></p> <p><b>Structural Details</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A two-span slab bridge from prefabricated prestressed I-73 beams</li> <li>Total span length: 51.66 m</li> <li>Clear width: 18.75 m</li> <li>Total number of spans: 2</li> <li>Year of construction: 1982</li> <li>Currently (year 2021) under reconstruction</li> </ul>  <p>Fig. 3c: View of the bridge</p> <p><b>Deterministic Model and Non-linear Analysis</b></p> <p>First, a model of one I-73 beam was created and calibrated. The tracing of the prestressing tendons of the beam was modelled according to the original drawing documentation. The shear reinforcement was modelled based on the longitudinal and transverse sections of the beam (Fig. 2c left). It was necessary to modify the shear reinforcement that extends outside the beam; this reinforcement is marked with red circles in Fig. 2c left. The reinforcement was modelled only inside the beam as indicated in Fig. 2c right, thus achieving better stability of the calculation. The modelled geometry of prestressing and shear reinforcement is shown in Figs. 3c and 4c.</p>  <p>Fig. 2c: Geometry of shear reinforcement – transverse section (left) and a detail of simplification (right)</p>	<p><b>d) Bridge over a Spillway near the Village of Pasohávky, Reg. No. 52-059</b></p> <p><b>Structural Details</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A four-span slab bridge from prefabricated prestressed I-73 beams</li> <li>Total span length: 106.09 m</li> <li>Clear width: 12.25 m</li> <li>Total number of spans: 4</li> <li>Year of construction: 1979</li> <li>Currently (2021) replaced by a new bridge</li> </ul>  <p>Fig. 4d: View of the bridge</p> <p><b>Deterministic Model and Non-linear Analysis</b></p> <p>A model of one I-73 beam (Fig. 2d) was developed and calibrated. The model was loaded by the dead load, prestressing, other permanent loads, and a six-axle vehicle to determine the exclusive load capacity. The effect of gradual prestressing of one beam is shown in Fig. 3d.</p> <p>Subsequently, a model of the bridge span (Fig. 4d) was developed. Based on the non-linear analysis, the exclusive load capacities were determined as: <math>V_1 = 1132</math> tonnes at ULS, <math>V_2 = 146.8</math> tonnes at SLS decompression and <math>V_3 = 709.5</math> tonnes at SLS crack initiation.</p>  <p>Fig. 2d: Cross-section of I-73 beam (left) and semi-structured mesh of cross-section of I-73 beam (right)</p>	<p><b>e) Železniční most ev. km 63,571: Horní Cerekev</b></p> <p><b>Structural Details</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A one-span deck bridge formed by cast-in steel beams</li> <li>Total span length: 7.00 m</li> <li>Total width: 21.60 m</li> <li>Total number of tracks: 4</li> <li>Year of construction: 1887</li> <li>Year of last reconstruction: 1936</li> </ul>  <p>Fig. 5e: View of the bridge</p> <p><b>Deterministic Model and Non-linear Analysis</b></p> <p>First, a model of a typical bridge segment made of cast-in steel beams I 45 (Fig. 2e) was created and calibrated. Then a model of ten typical bridge segments was developed, on which the load distribution of one track is assumed in the original structural assessment.</p>  <p>Fig. 2e: 145 beam scheme (left); cross-section of a typical segment of the deck (right)</p> <p>Based on the non-linear analysis it was found that the load-bearing capacity of a typical bridge segment is fully defined by the load-bearing capacity of the inserted steel profile. For the analysis up to the moment of failure of the steel beams (reaching the yield point), it is therefore necessary to neglect the covering concrete layer in the model and consider it only in the form of a permanent load. Principal stress after destruction of the concrete covering is shown in Fig. 3e. For the purposes of the subsequent stochastic analysis it was possible to consider only one typical bridge segment instead of ten. This simplification is possible thanks to the selected model of uniform loading of the bridge deck.</p>  <p>Fig. 3e: Principal stress after the lower concrete cover of the steel beam falls off</p> <p><b>Stochastic Model and Analysis of Load-bearing Capacity</b></p> <p>Due to the lack of information on the material parameters of the concrete and steel used, the values derived from the assumed nominal values typical for the defined quality classes of materials were considered. The mean values of material parameters were derived based on the formulas given in the normative documents (EN 1992 [3] and the fib Model Code 2010 [5]); suitable probability density functions and material parameters of steel were defined according to the JCSS [6] and also [7].</p> <p>For the needs of the stochastic load capacity analysis, 30 simulations were generated based on the stochastic model. The surface load vs. deflection curves in the middle of the span of a typical bridge segment are shown in Fig. 4e.</p> <p>Mean value of the deck load capacity at the SLS was calculated by the value of 322.14 kN/m<sup>2</sup> (standard deviation of 9.31 kN/m<sup>2</sup>), at the ULS by the value of 381.52 kN/m<sup>2</sup> (standard deviation of 20.92 kN/m<sup>2</sup>). Fig. 5e shows the response histogram at the ultimate limit state with an assumed log-normal distribution of the structural response.</p>
---	--	---	--	--

Linear-Probabilistisch Nachweisführung  
Nichtlinear – Det./Probabilistische Nachweisführung



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



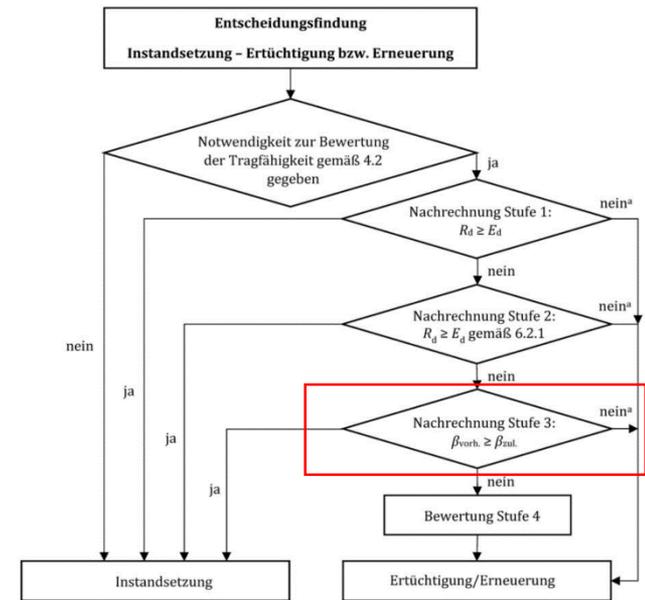
## ATCZ190: SCOPE IM DETAIL

### B4008-2 Level 3 „Vertiefte numerische Analysen“

- Lineare Nachweis – Probabilistisch (Zuverlässigkeitsindex  $\beta$  Niveau)
- Nichtlineare Nachweise
- Nichtlineare Nachweise – Probabilistisch
- Nichtlineare Nachweise – Degradationsmodelle

### Nachweisebene

- Schnittkraftebene
- Querschnittsebene
- Konstruktionsdetailenebene
- Systemebene



<sup>a</sup> In begründeten Fällen kann auf Basis der Ergebnisse der Nachrechnung nach den Stufen 1, 2 bzw. 3 auch eine Ertüchtigung oder Erneuerung des Tragwerks ohne weitere Betrachtung der nachfolgenden Stufen erfolgen (z. B. schlechter Erhaltungszustand, Alter des Tragwerks, große Tragfähigkeitsdefizite nach Stufe 1).



EUROPÄISCHE UNION

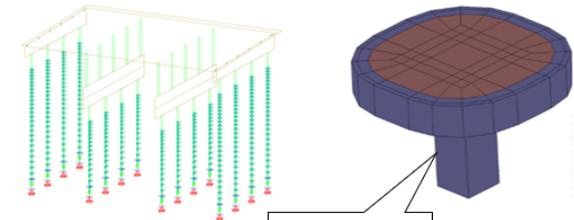
# ATCZ190: TECHNISCHE DATENBLÄTTER/FACT SHEETS – 5 BRÜCKEN (AT)

## STRABENBRÜCKE WEINVIERTLER SCHNELLSTRAßE FELDWEG BEI VIENDORF NO. S3.14

### o Durchgeführte Studien:

#### • Stufe 1 Analyse:

- Lineare FE-Analyse mit SoFiStiK und Teilsicherheitsfaktoren



Bereiche

des Details (kritischer

alyse

Versagenslast



## FREUNDENAUER HAFENBRÜCKE WIEN NO. B0209

### o Durchgeführte Studien:

#### • Stufe 1 Analyse:

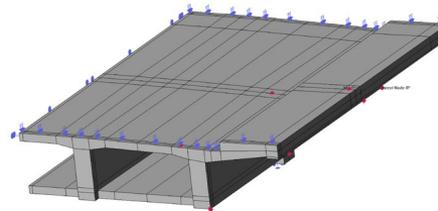
- Lineare FE-Analyse mit SoFiStiK

#### • Erweiterte Stufe 1 Analyse:

- Querkraftnachweis für Brücken mit aufgebogener Längsbewehrung nach ÖNORM B4008

#### • Stufe 3 Analyse:

- Nicht-lineare FE-Analyse der Gesamtstruktur
- NFLEM von Detailstrukturen
- Probalistische NFLEM Analyse
- Degradationsanalyse



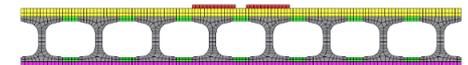


EUROPÄISCHE UNION

# ATCZ190: TECHNISCHE DATENBLÄTTER/FACT SHEETS – 5 BRÜCKEN (CZ)

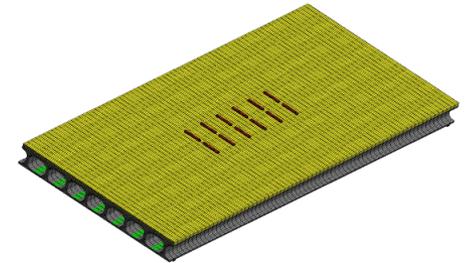
## PASOHLÁVKY BRIDGE, REG. NO. 52-059

- **Structural details**
  - A four-span slab bridge from prefabricated



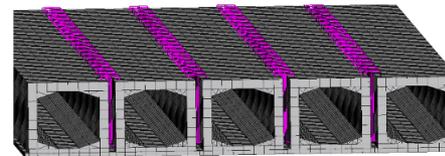
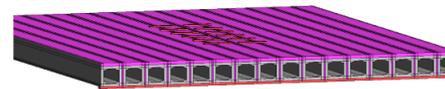
idge

yses



## VESLAŘSKÁ BRIDGE, BRNO, REG. NO. BM-092

- **Structural details**
  - A three-span slab bridge made of prefabricated prestressed KA-61 beams
  - Total span length: 50.00 m
  - Clear width: 16.00 m
  - Total number of spans: 3
  - Year of construction: 1966
- **Models and analyses**
  - Deterministic nonlinear analysis
  - Semi- and fully-probabilistic nonlinear analyses
  - Deterioration models





EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## Probabilistische Zuverlässigkeitsberechnung (Vereinfachte Verfahren / B4008-2 Level3 )

- Biegenachweis Kragträger
- Biegenachweis Plattensystem

Basler Cornell basierte Methode  
Analytische Formulierungen



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (VORLAGE BEISPIELE)

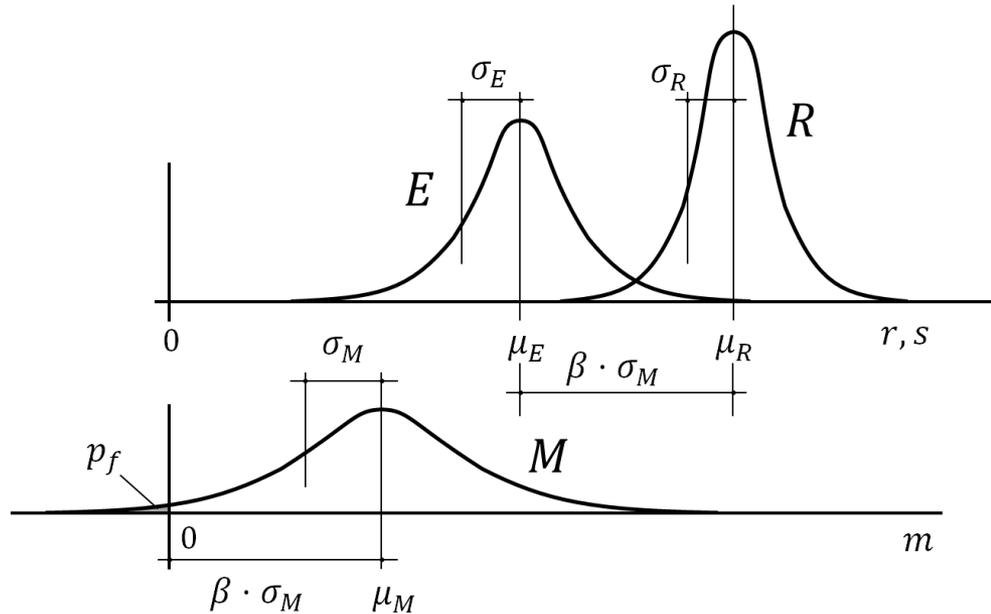
## Vereinfachte Verfahren / B4008-2 Level3

### Zuverlässigkeitsindex $\beta$

$$g(x) = \Theta_R \cdot R(x) - \Theta_E \cdot E(x)$$

$$p_f = P(M = R - E < 0)$$

$$p_f = \Phi(-\beta)$$



$\beta$	0	1.3	2.3	3.1	3.7	4.2	4.7
$p_f = \Phi(-\beta)$	0.5	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>



EUROPÄISCHE UNION

# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (BALKEN - VORLAGEBEISPIEL)

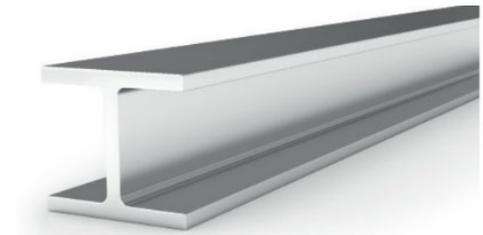
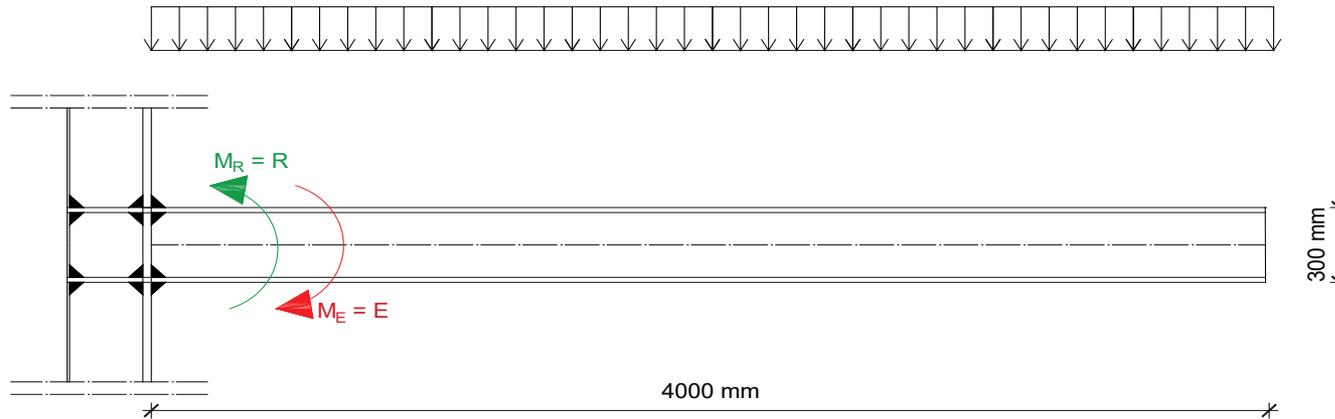
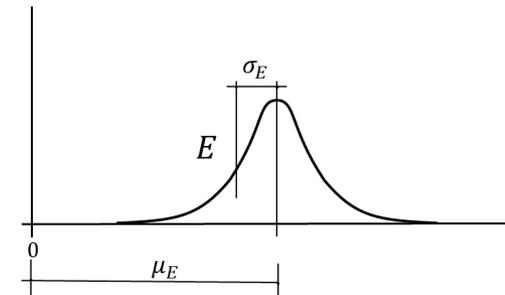


Table 3.2 shows the statistical parameters of the moment of action  $E$  and of the moment of resistance  $R$ . The model uncertainties ( $\Theta_E$  and  $\Theta_R$ ) are assumed 1.0 for simplicity and Fig 3.2 shows the given problem type.

<i>Variable <math>X_i</math></i> [kNm]	<i>Distribution Type</i>	<i>Mean Value <math>\mu_{xi}</math></i> [kNm]	<i>Standard Deviation <math>\sigma_{xi}</math></i> [kNm]
E	Normal	90	30
R	Normal	234	20





EUROPÄISCHE UNION

# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (BALKEN - VORLAGEBEISPIEL)

$$\mu_M = \mu_R - \mu_E$$

$$\mu_M = 234kNm - 90kNm$$

$$\mu_M = 144kNm$$

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}$$

$$\sigma_M = \sqrt{20^2 + 30^2}$$

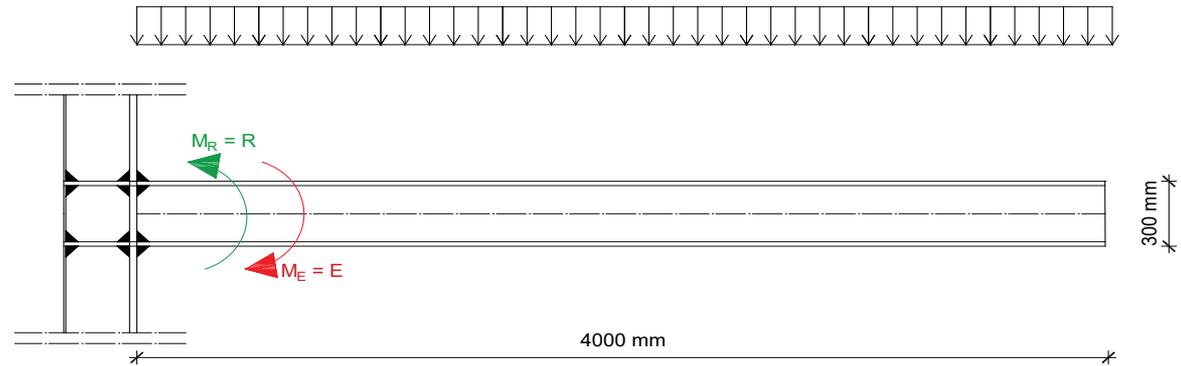
$$\sigma_M^2 = 1300$$

$$\beta = \frac{\mu_m}{\sigma_M}$$

$$\beta = \frac{1400}{\sqrt{1300}}$$

$$\beta = 4.0$$

$$p_f = \Phi(-\beta) \approx 10^{-\beta}$$



Zuverlässigkeitsklassen	Minimalwerte für $\beta$	
	1 Jahr Referenzperiode	50 Jahre Referenzperiode
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Ziel  $\beta$ -Werte für einen Referenzzeitraum von 1 Jahr und 50 Jahren  
nach EN 1990



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## Probabilistische Zuverlässigkeitsberechnung (Vereinfachte Verfahren / B4008-2 Level3 )

- Biegenachweis Kragträger
- Biege- Querkraftnachweise Balken/Plattensystem

Basler Cornell basierte Methode  
Analytische Formulierungen



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (PLATTE - VORLAGEBEISPIEL)

## Vereinfachte Verfahren / B4008-2 Level3

### Zuverlässigkeitsindex $\beta$

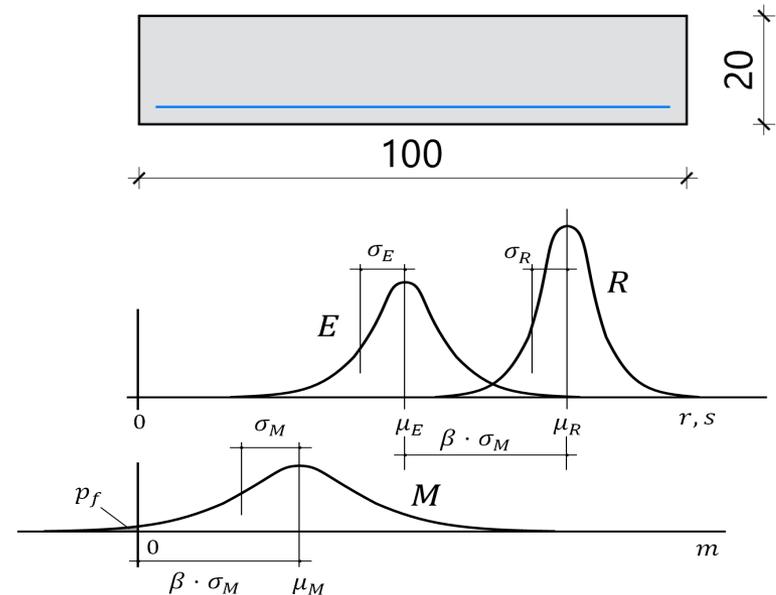
$$g(x) = \Theta_R \cdot R(x) - \Theta_E \cdot E(x)$$

$$p_f = P(M = R - E < 0)$$

$$p_f = \Phi(-\beta)$$

$$G = m \cdot (f_y \cdot A_s) \left( (h - d1) - \frac{f_y \cdot A_s}{2 \cdot b \cdot \alpha c \cdot \kappa \cdot f_c} \right) - E$$

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} = \frac{\mu_M}{\sigma_M}$$





EUROPÄISCHE UNION



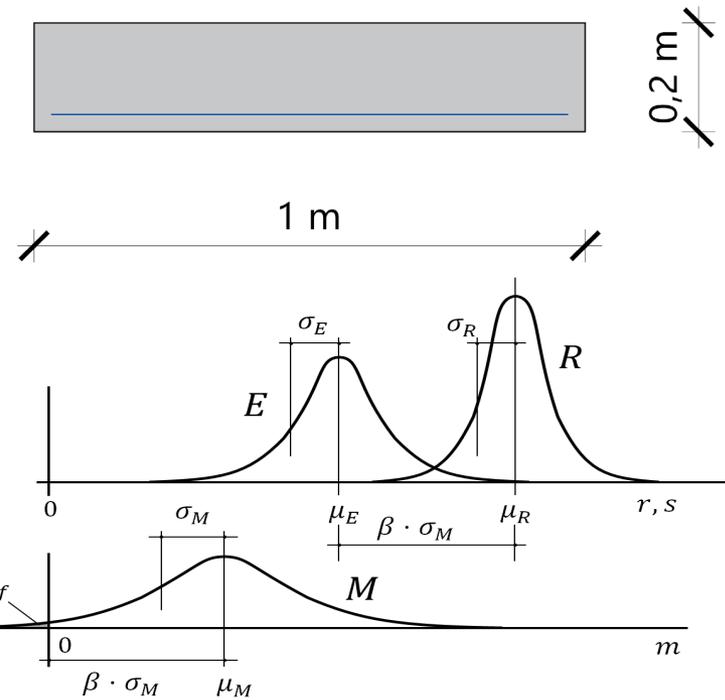
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (PLATTE - VORLAGEBEISPIEL)

## • Stochastische Eingangsparameter:

Parameter	$\mu$	$\sigma$	COV
Betonfestigkeit, $f_c$	38 N/mm <sup>2</sup>	5	0.17
Streckgrenze der Bewehrung, $f_y$	560 N/mm <sup>2</sup>	30	0.05
Bewehrungsfläche, $A_s$	0.002714 m <sup>2</sup>	5.428e-005	0.02
Plattenbreite, $b$	1 m	0.02	0.02
Plattenhöhe, $h$	0.2 m	0.004	0.02
Betondeckung, $d_1$	32 mm	0.00544	0.17
Einwirkende Kraft in der Bewehrungslage, $E$	116.03 kN	11.603	0.1
Modellunsicherheit, $m$	1.20	0.18	0.15
Alpha, $R$	0.85		
Kappa	0.95		



$$G = m \cdot (f_y \cdot A_s) \left( (h - d_1) - \frac{f_y \cdot A_s}{2 \cdot b \cdot \alpha_c \cdot \kappa \cdot f_c} \right) - E$$

$$G = R - E$$



EUROPÄISCHE UNION

# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (PLATTE - VORLAGEBEISPIEL)

## Standardabweichung und Variationskoeffizient für den Widerstand (COV)

Approximation:

$$\begin{array}{c}
 \text{0.17} \\
 \text{COVs: } \sim 0.15 \quad (0.055) \quad (0.17) \quad \sim 0.17 \\
 \text{COV } \sim 0.15 \quad (0.05 \quad 0.02) \quad (0.02) \quad 0.17 \quad (0.05 \quad 0.02) \\
 \text{s: } \text{0.17) }
 \end{array}$$

$$G = m \cdot (f_y \cdot A_s) \left( (h - d1) - \frac{f_y \cdot A_s}{2 \cdot b \cdot \alpha c \cdot \kappa \cdot f_c} \right) - E$$

$COV_R := 0.17$

Die Standardabweichung für den Widerstand ergibt sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{R1} &:= COV_R \cdot \mu_{R1} \\
 \sigma_{R1} &= 0.17 \cdot 0.261 \\
 \sigma_{R1} &= 0.0444
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= \frac{\mu_m}{\sigma_M} \\
 \beta &= \frac{0.145 \text{ MNm}}{0.046 \text{ MNm}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \beta &= 3.2 \\
 p_f &= \Phi(-\beta) \approx 10^{-\beta}
 \end{aligned}$$



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



Tabellen aus "Vorschlag ÖNORM B4008-2:2019"

Set 1

normale Ausführung

Tabelle 5

**ATCZ190: PROBABIL  
VEREINFACHTE VER**

Tabellen aus "Vorschlag ÖNORM B  
Materialbezeichnung/ Norm

Materialbezeichnung/ Norm	Tabellen a
C 12/15	Materialb
C 16/20	
C 20/25	
C 25/30	B 15
C 30/37	B 20
C 35/45	B 25
C 40/50	B 30
C 45/55	B 40
C 50/60	B 50
	B 60

Es bedeutet:

$f_{cm}$	Mittelw	$E_{cm}$	Es bedeu
$f_{ck,cube}$	charakt	$f_{cm}$	
$f_{ck}$	charakt	$f_{ck,cube}$	
$E_{cm}$	mittlere	$f_{ck}$	

Gemäß ÖNORM EN 1  
 $f_{cm} = f_c$

Gemäß Ö!  
Gemäß Ö!  
Gemäß Ö!

Materialbezeichnung/ Norm		gemäß ÖNORM EN 1992-1-1:2015						
		$f_{cwm}$	$f_{cm}$	$f_{ck,cube}$	$f_{ck}$	$E_{cm}$	$covf_{cm}$	$covE_{cm}$
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	-	-
B 120	gemäß ÖNORM B 4200-4:1953	12	10,3	2,9	2,3	22,2	0,47	0,50
B 160		16	13,8	7,2	5,8	24,2	0,35	0,37
B 225		22,5	19,4	14,2	11,4	26,8	0,25	0,26
B 300		30	25,8	22,3	17,8	29,2	0,19	0,20
B 400		40	34,4	33	26,4	31,9	0,14	0,15

Materialbezeichnung/ Norm		gemäß ÖNORM EN 1992-1-1:2015						
		$f_{cwm}$	$f_{cm}$	$f_{ck,cube}$	$f_{ck}$	$E_{cm}$	$covf_{cm}$	$covE_{cm}$
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>	-	-
B 50	gemäß ÖNORM B 4200-3:1959	5	4,3	-	-	17,1	-	-
B 80		8	6,9	-	-	19,7	-	-
B 120		12	10,3	2,9	2,3	22,2	0,47	0,50
B 160		16	13,8	7,2	5,8	24,2	0,35	0,37
B 225		22,5	19,4	14,2	11,4	26,8	0,25	0,26
B 300		30	25,8	22,3	17,8	29,2	0,19	0,20
B 400		40	34,4	33	26,4	31,9	0,14	0,15

Es bedeutet:

- $E_{cm}$  mittlerer Elastizitätsmodul
- $f_{cwm}$  mittlere Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen am 200-mm-Würfel gemäß der „alten“ Normenreihen bis zur Einführung der ÖNORM B 4200-10:1996
- $f_{cm}$  Mittelwert der Zylinderdruckfestigkeit, in N/mm<sup>2</sup>
- $f_{ck,cube}$  charakteristische Würfeldruckfestigkeit am 150-mm-Würfel (5%-Fraktile)
- $f_{ck}$  charakteristische Zylinderdruckfestigkeit (5%-Fraktile) gemäß ÖNORM EN 1992-1-1:2015



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (BIEGENACHWEISE - VORLAGEBEISPIEL)

## Biegenachweise – TEMPLATE-SOFTWARE

$$g(M_R) = U_{R,M} \cdot \left( A_{sp} \cdot f_p \cdot (h - d_{sp} - d_2) + a_R \cdot b \cdot \xi \cdot (h - d_{sp}) \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot (d_2 - k_a \cdot \xi \cdot (h - d_{sp})) \right) - U_E \cdot (M_G + M_Q + M_{VP}).$$

$U_{R,M}$  – Modellunsicherheiten für die Biegefestigkeit

$A_{sp}$  – Querschnitt aus Spannstahl

$f_p$  – Zugfestigkeit vorgespannter Stahl

$h$  – Höhe des Querschnitts

$d_{sp}$  – Abstand des Schwerpunkts des vorgespannten Stahls von der Unterkante

$d_2$  – Abstand der Druckbewehrung von der Oberkante

$\alpha_R$  – Vollständigkeitskoeffizient

$b$  – Breite des Querschnitts

$k_a$  – Höhenfaktor

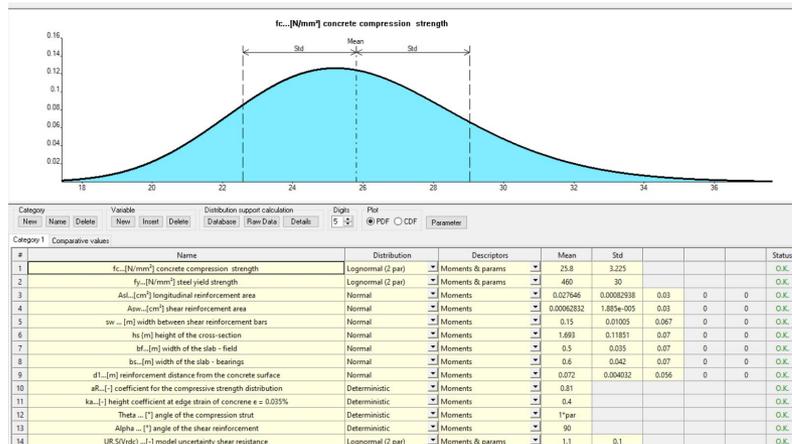
$\xi$  – Grenze der Höhe der Druckzone

$U_E$  – Modellunsicherheiten von Wirkungen

$M_G$  – Biegemoment durch Eigengewicht + Dauerlast

$M_Q$  – Biegemoment aufgrund von Verkehrslasten

$M_{VP}$  – Biegemoment durch Vorspannung





EUROPÄISCHE UNION



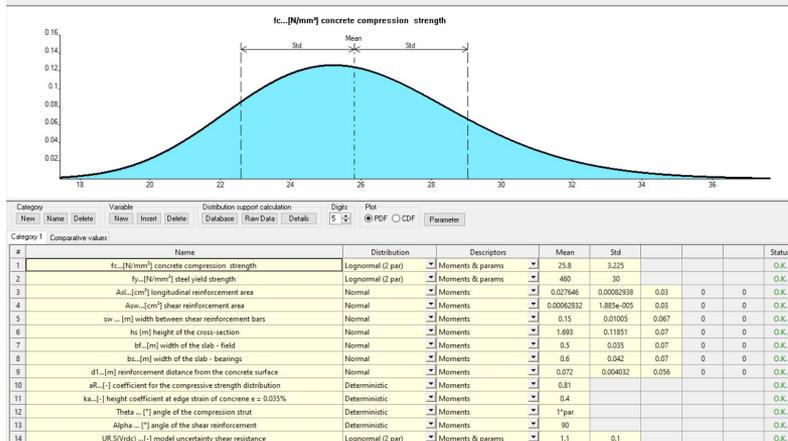
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (SCHUBNACHWEISE - VORLAGEBEISPIEL)

## Schubnachweise – TEMPLATE-SOFTWARE

$$g(V_{R,S}) = U_{R,S} \cdot \left( \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot f_y \cdot (0,9 \cdot (h_s - d_1)) \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \right) - U_E \cdot (V_G + V_Q + V_P).$$



$U_{R,M}$  – Modellunsicherheiten für die Biegefestigkeit

$A_{sp}$  – Querschnitt aus Spannstahl

$s_w$  – Abstand der Schubbewehrungen in Längsrichtung

$f_y$  – Streckgrenze der Bewehrung

$h_s$  – Höhe des Querschnitts

$\theta$  – Winkel zwischen Druckstrebe und Strukturachse

$\alpha$  – Winkel zwischen Schubbewehrung und Strukturachse

$d_1$  – Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Bewehrung und der Kante des Querschnitts

$d$  – statische Höhe

$z$  – Hebelarm der Schnittgrößen ( $\sim 0.9 \cdot d$ )

$V_G$  – Querkraft durch Eigengewicht + Dauerlast

$V_Q$  – Querkraft durch Verkehrslasten

$V_P$  – Querkraft durch Vorspannung



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## Probabilistische Zuverlässigkeitsberechnung (Vereinfachte Verfahren / B4008-2 Level3 )

### Benchmark-Studien

- Querkraftnachweise Plattenbalken an den ausgewählten Brücken

Basler Cornell basierte Methode

Analytische Formulierungen



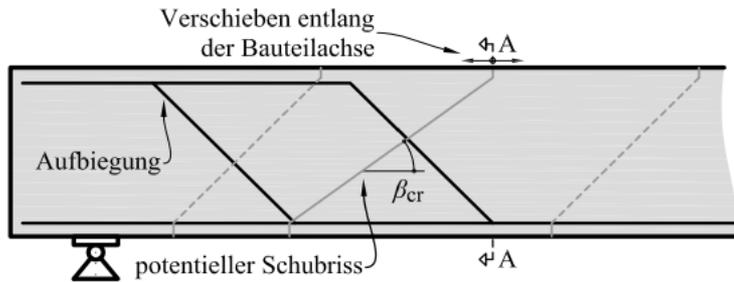
EUROPÄISCHE UNION



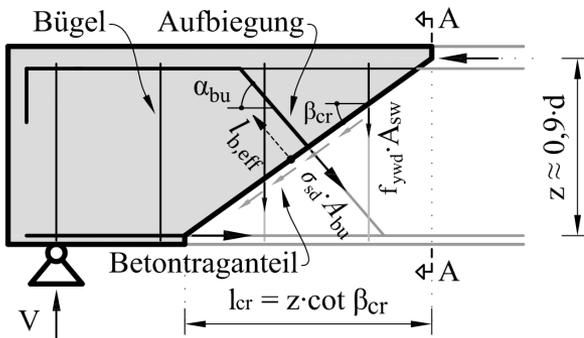
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



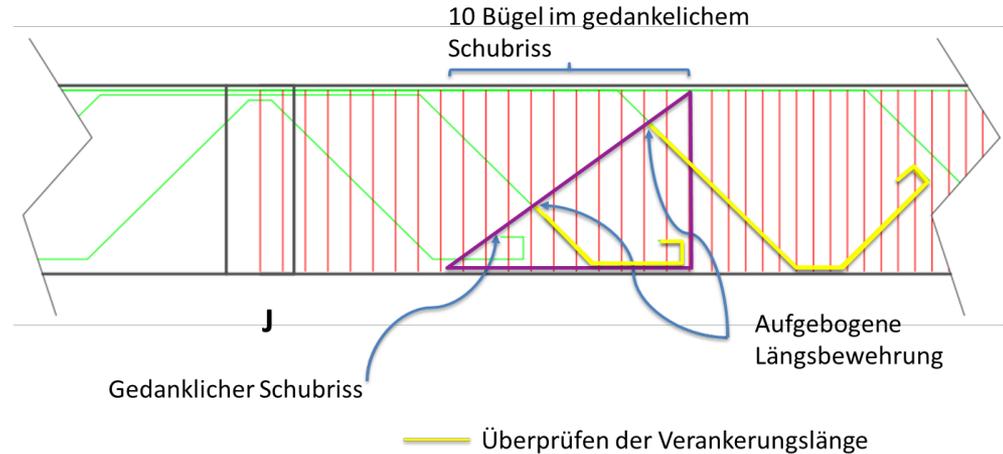
# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 „STUFE 2“



(Huber,2019)



$$V_{Rd,s} = \sum A_s \cdot \sigma_{sd} \cdot \sin \alpha + \sum A_{sw} \cdot f_{ywd}$$





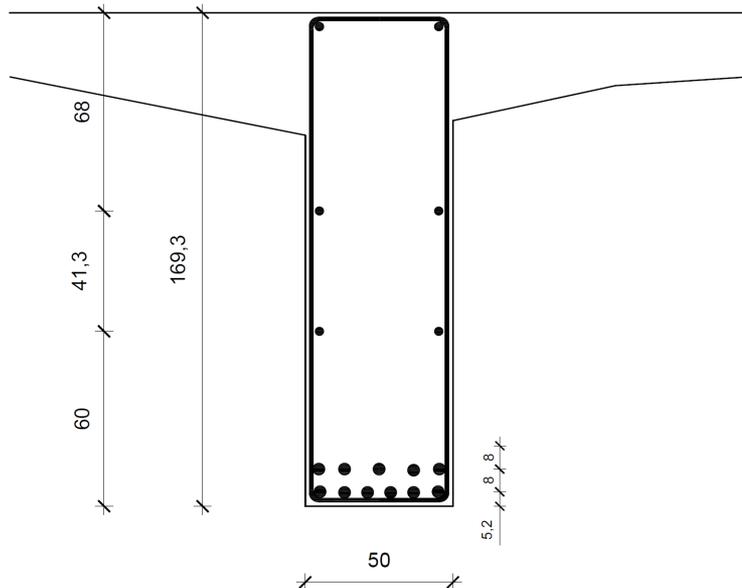
EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna

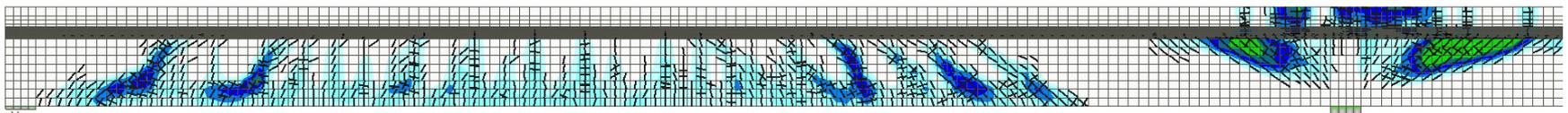


## ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG: VEREINFACHTE VERFAHREN / B4008-2 LEVEL3 (SCHUBNACHWEISE - BENCHMARK)



Beton B300	$f_{ck} = 17.8 \text{ N/mm}^2$ $f_{cm} = 25.8 \text{ /mm}^2$ $E_{cm} = 29.2 \text{ kN/mm}^2$
Bewehrungsstahl Torstahl 40	$f_{yk} = 400 \text{ N/mm}^2$ $f_{cm} = 460 \text{ N/mm}^2$ $E\text{-Modul} = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
Querschnitt	Höhe $h_s = 1.693 \text{ m}$ Breite $b = 0.50 - 0.60 \text{ m}$

$$g(V_{R,s}) = U_{R,s} \cdot \left( \frac{A_{sw}}{s_w} \cdot f_y \cdot (0,9 \cdot (h_s - d_1)) \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \right) - U_E \cdot (V_G + V_Q + V_P).$$



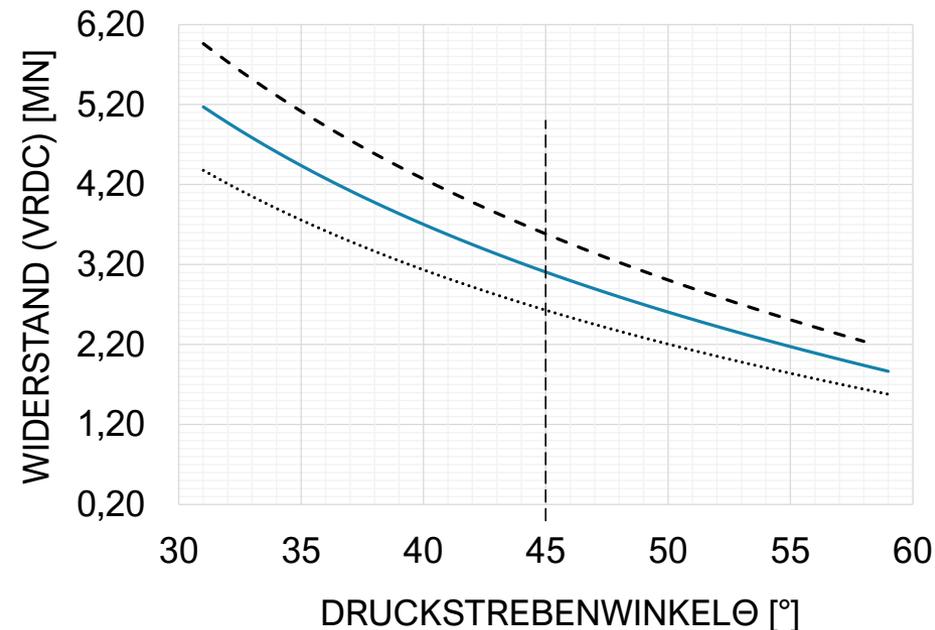


EUROPÄISCHE UNION

# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG

Variable	Symbol	Unit	Literatur & Hintergrundinformation	Verteilung*	Mittelwert	Standardabweichung	COV
Mittlere Betonfestigkeit	$f_c$	[MPa]	[2],[3],[4],[5]	LN	25.8	3.225	0.125
Mittlere Stahlstreckgrenze	$f_{ym}$	[MPa]	[[2],[3],[4],[5]]	LN	460	30	0.065
Schubbewehrungsbereich	$A_{sw}$	[m <sup>2</sup> ]	[2],[3],[4],[5]	N	$6.28 \cdot 10^{-4}$	$1.885_5 \cdot 10^{-5}$	0.03
Breite zwischen Schubbewehrungsstäben	$s_w$	[m]	[2],[3],[4],[5]				
Höhe des Querschnitts	$h_s$	[m]	[2],[3],[4],[5]				
Bewehrungsabstand von der Betonoberfläche	$d_1$	[m]	[2],[3],[4],[5]				
Winkel der Druckstrebe	$\Theta$	[°]	[2],[3],[4],[5]				
Winkel der Schubbewehrung	$\alpha$	[°]	[2],[3],[4],[5]				
Einwirkende Querkraft	$V_e$	[MN]	[2],[3],[4],[5]				
Modellunsicherheit Querkraftwiderstand	$U_{R,S}$	[-]	[2],[3],[4],[5]				
Modellunsicherheit wirkende Querkraft	$U_{E,S}$	[-]	[2],[3],[4],[5]				

Die stochastische Verteilung der Materialparameter basiert auf dem JCSS-Modellcode [2] und den in BRAML [5] vorgeschlagenen Daten in Kombination





EUROPÄISCHE UNION



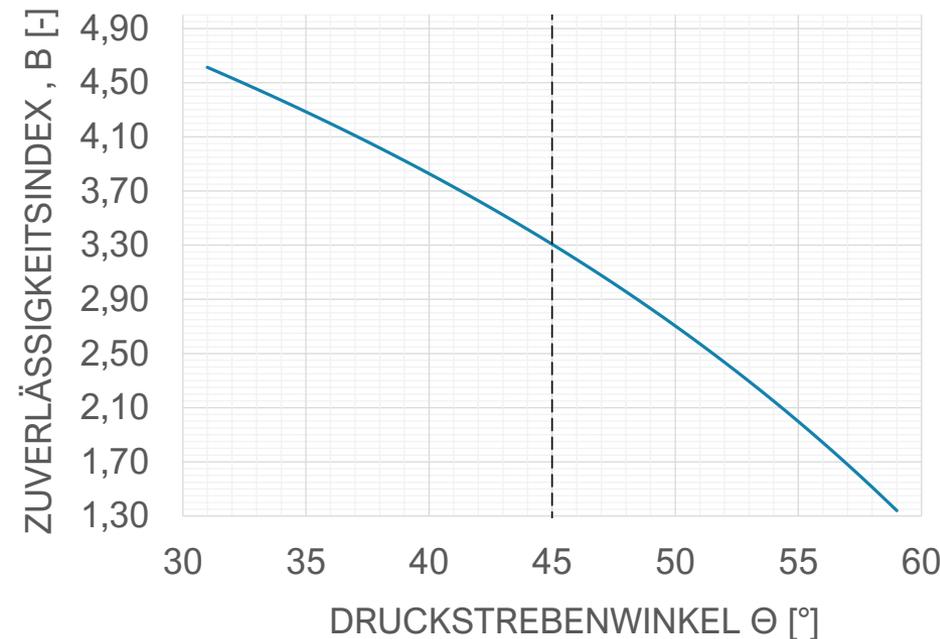
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# ATCZ190: PROBABILISTISCHE ZUVERLÄSSIGKEITSBERECHNUNG

Variable	Symbol	Unit	Literatur & Hintergrundinformation	Verteilung*	Mittelwert	Standardabweichung	COV
Mittlere Betonfestigkeit	$f_c$	[MPa]	[2],[3],[4],[5]	LN	25.8	3.225	0.125
Mittlere Stahlstreckgrenze	$f_{ym}$	[MPa]	[[2],[3],[4],[5]]	LN	460	30	0.065
Schubbewehrungsbereich	$A_{sw}$	[m <sup>2</sup> ]	[2],[3],[4],[5]	N	$6.28 \cdot 10^{-4}$	$1.885_5 \cdot 10^{-4}$	0.03
Breite zwischen Schubbewehrungsstäben	$s_w$	[m]	[2],[3],[4],[5]				
Höhe des Querschnitts	$h_s$	[m]	[2],[3],[4],[5]				
Bewehrungsabstand von der Betonoberfläche	$d_1$	[m]	[2],[3],[4],[5]				
Winkel der Druckstrebe	$\Theta$	[°]	[2],[3],[4],[5]				
Winkel der Schubbewehrung	$\alpha$	[°]	[2],[3],[4],[5]				
Einwirkende Querkraft	$Ve$	[MN]	[2],[3],[4],[5]				
Modellunsicherheit Querkraftwiderstand	$U_{R,S}$	[-]	[2],[3],[4],[5]				
Modellunsicherheit wirkende Querkraft	$U_{E,S}$	[-]	[2],[3],[4],[5]				

Die stochastische Verteilung der Materialparameter basiert auf dem JCSS-Modellcode [2] und den in BRAML [5] vorgeschlagenen Daten in Kombination





EUROPÄISCHE UNION



Österreich-Tschechische Republik  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# SAFEBRIDGE AT-CZ190

## Nichtlineare Modellierung

## Sicherheitsformate B 4008-2

**ERWEITERTE ANALYSE BESTEHENDER STAHL- UND SPANNBETONBRÜCKEN:  
NICHTLINEARITÄT, ZUVERLÄSSIGKEIT, SICHERHEITSFORMATE,  
LEBENSDAUERASPEKTE**

*Projekt des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung im Rahmen des EU-  
Programms Interreg Österreich - Tschechische Republik*

Projektnummer: **ATCZ190**  
Akronym: **SAFEBRIDGE**  
Projektdauer: **01.09.2018–31.10.2021**  
URL: **<https://www.at-cz.eu/safebridge>**

Alfred Strauss

Institut für konstruktiven Ingenieurbau  
Department für Bautechnik und Naturgefahren  
Universität für Bodenkultur, Wien Österreich

Drahomír Novák

Institut für Strukturmechanik  
Fakultät für Bauingenieurwesen  
Technische Universität Brünn, Tschechische  
Republik



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## Probabilistische Zuverlässigkeitsberechnung Nichtlineare Finite Elemente Analyse

### Sicherheitsformate

Monte Carlo basierte Methoden  
Nicht Lineare Finite Elemente Analysen



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



## ECOV ACCORDING TO FIB MODEL CODE (ČERVENKA) AND EIGEN ECOV

### ECoV according to fib Model Code (Červenka)

- Corresponds to TSE1 for fully correlated variables
- Independent on number of input variables
- Only 2 simulations with mean and characteristic values

$$R_m = r(f_{cm}, f_{ym}, a_{nom}, \dots)$$

$$R_k = r(f_{ck}, f_{yk}, a_{nom}, \dots)$$

$$v_f = \frac{1}{1.65} \ln \left( \frac{R_m}{R_k} \right)$$

### Eigen ECoV

- Corresponds to TSE2 for fully correlated variables
- 1 additional intermediate simulation
- $\Delta$  can be set for  $X_{i\Delta} = X_{ik}$  and use previously calculated  $R_k$  as  $R_{\Theta\Delta}$

$$\sigma_{\Theta}^2 = \sum \sigma_{X_i}^2 = \lambda_1,$$

$$\mu_{\Theta} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{mi})^2}$$

$$\Delta_{\Theta} = \mu_{\Theta} - \mu_{\Theta} \cdot \exp \left( -c \cdot \sqrt{\lambda_1} / \mu_{\Theta} \right)$$

$$R_{\Theta\Delta} = r(X_{1\Delta}, \dots, X_{N\Delta}) \quad R_{\Theta\frac{\Delta}{2}} = r \left( X_{1\frac{\Delta}{2}}, \dots, X_{N\frac{\Delta}{2}} \right)$$

$$v_f \approx \frac{3R_m - 4R_{\Theta\frac{\Delta}{2}} + R_{\Theta\Delta}}{\Delta_{\Theta}} \cdot \frac{\sqrt{\lambda_1}}{R_m}$$



EUROPÄISCHE UNION

# METHODIK DER ADVANCED NICHTLINEAREN NUMERISCHEN BEWERTUNG VON BRÜCKENBAUWERKEN

Einwirkungsart: Ständig, veränderlich, aussergewöhnlich

Identifizierung des kritischen Grenzzustands

Definition des angestrebten Zuverlässigkeitsniveaus  $\beta_t$

Stochastische Modellierung der Eingangs-Zufallsvariablen (Codes, Diagnose, JCSS)

Materialparameter

Modellierung von Degradationsprozessen

Überprüfung des Grenzzustands der Dauerhaftigkeit

Eigengewicht

Modellunsicherheiten - Belastung

Wiederholte deterministische Analysen und Bewertung der Zuverlässigkeit  $\beta$

$\beta_{Final}$

Sensitivity Analyses

Updated Information



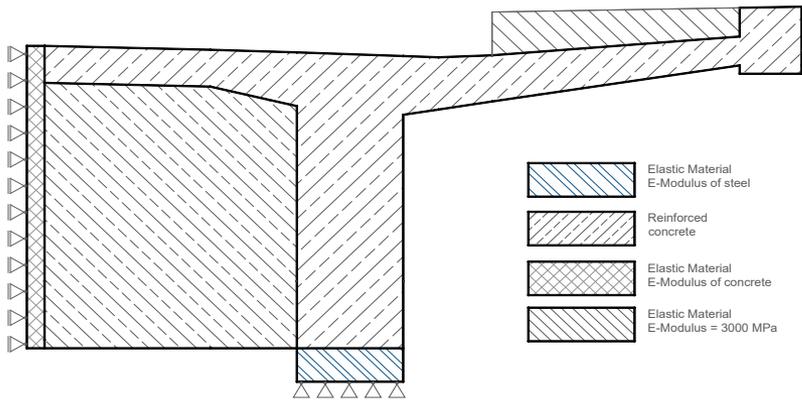
EUROPÄISCHE UNION



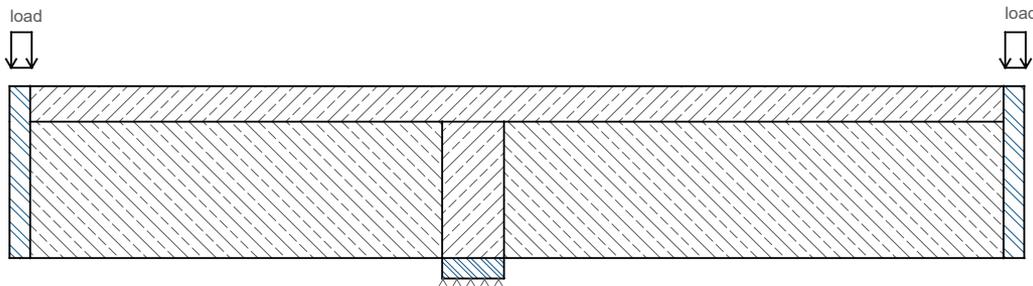
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



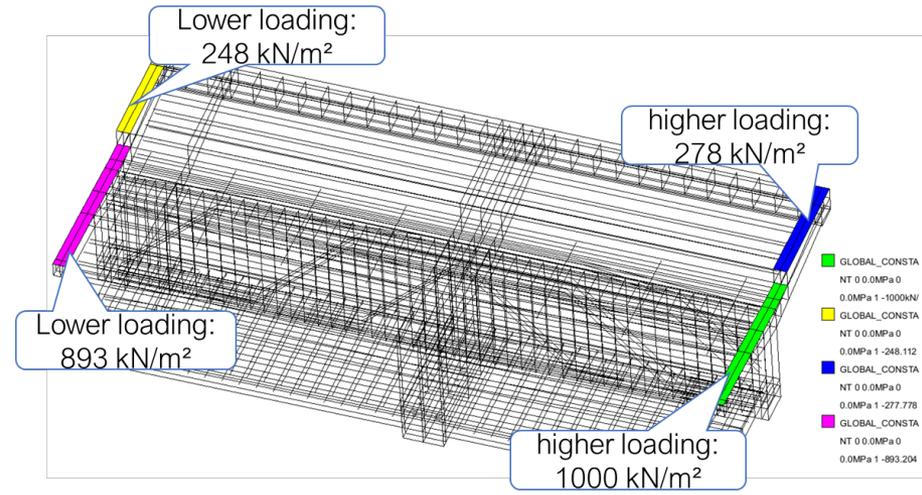
# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 „STUFE 3“ NICHT-LINEARE FEM



143 60 50 175



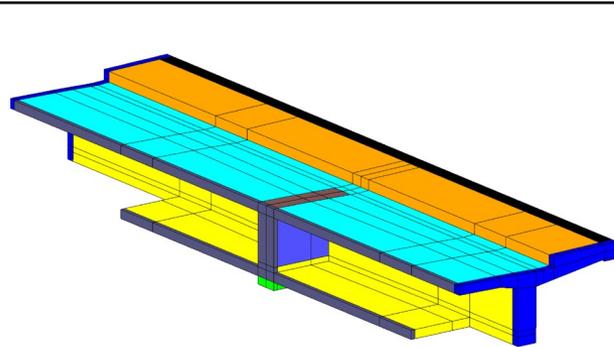
20 400 60 485 20





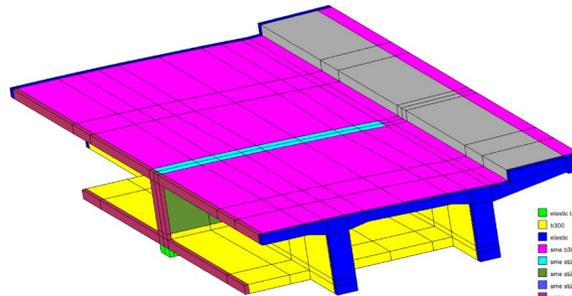
EUROPÄISCHE UNION

# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 „STUFE 3“ NICHT-LINEARE FEM



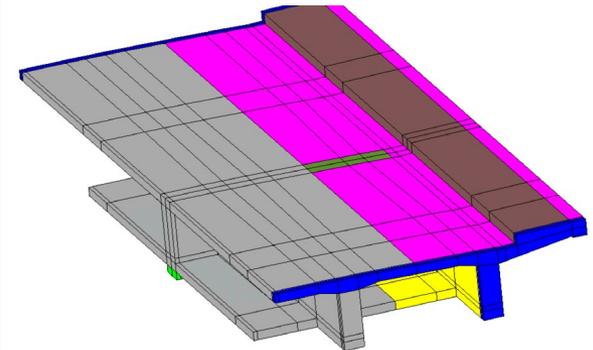
**3D-ATENA-GiD Model  
v2-1**

-  Elastic 3D
-  b300
-  elastic stahl
-  rt 40 dm40
-  sme fahrbahn x
-  sme stuetze unten
-  sme stuetze mitte
-  dm6
-  dm8
-  sme stütze oben x
-  elastic beton
-  elastic 1000
-  sme kragarm x



**3D-ATENA-GiD Model  
v3-1**

-  elastic lager
-  b300
-  elastic
-  sme b300 fahrbahn x
-  sme stütze oben x
-  sme stütze mitte
-  sme stütze unten x
-  b300 elastic
-  3000 mpa



**3D-ATENA-GiD Model  
v3-0**

-  elastic lager
-  b300
-  elastic
-  sme b300 fahrbahn x
-  rt40 dm8
-  sme stütze oben x
-  sme stütze mitte
-  sme stütze unten x
-  b300 elastic
-  3000 mpa



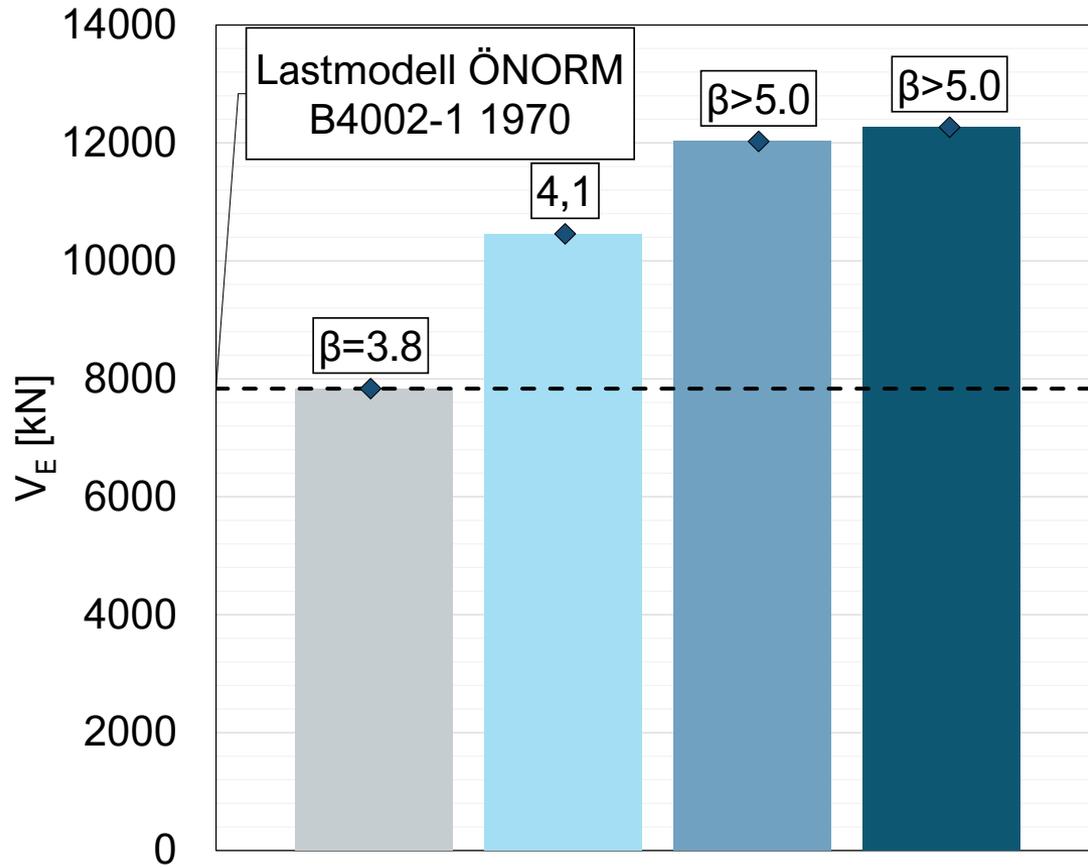
EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 „STUFE 3“ NICHT-LINEARE FEM

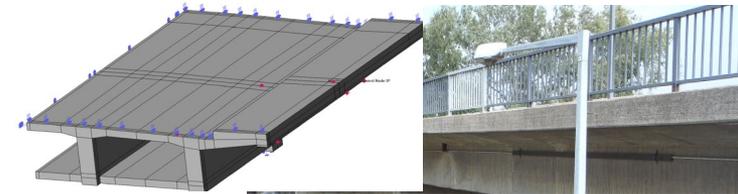


B4200-1 1970

B4008-2 Level3 Teilsicherheitsm

B4008-2 Level3 ECOV Prob.

B4008-2 Level3 Probl.-NLFEM



Zuverlässigkeitsklassen	Minimalwerte für $\beta$	
	1 Jahr Referenzperiode	50 Jahre Referenzperiode
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Ziel  $\beta$ -Werte für einen Referenzzeitraum von 1 Jahr und 50 Jahren  
nach EN 1990

Lastmodell 1970



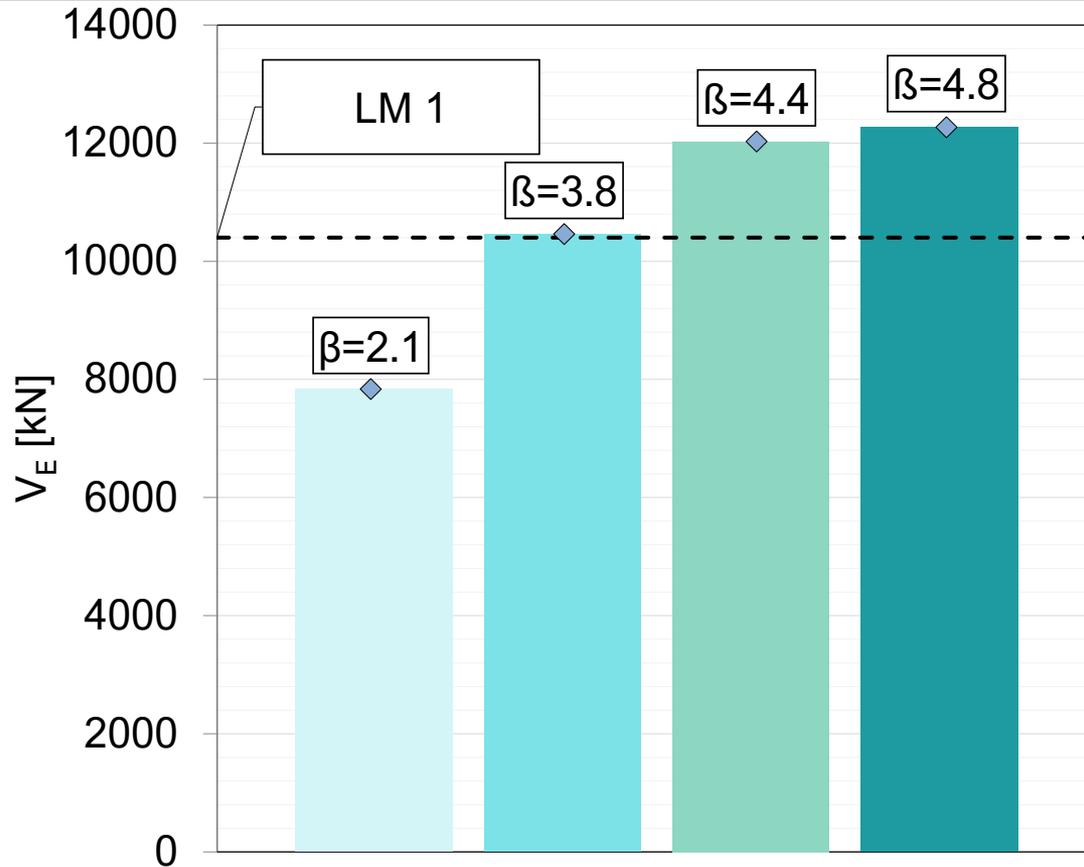
EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 „STUFE 3“ NICHT-LINEARE FEM

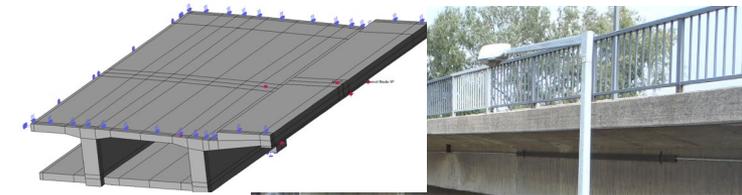


B4200-1 1970

B4008-2 Level3 Teilsicherheitsm

B4008-2 Level3 ECOV Prob.

B4008-2 Level3 Probl.-NLFEM



Zuverlässigkeitsklassen	Minimalwerte für $\beta$	
	1 Jahr Referenzperiode	50 Jahre Referenzperiode
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Ziel  $\beta$ -Werte für einen Referenzzeitraum von 1 Jahr und 50 Jahren  
**nach EN 1990**



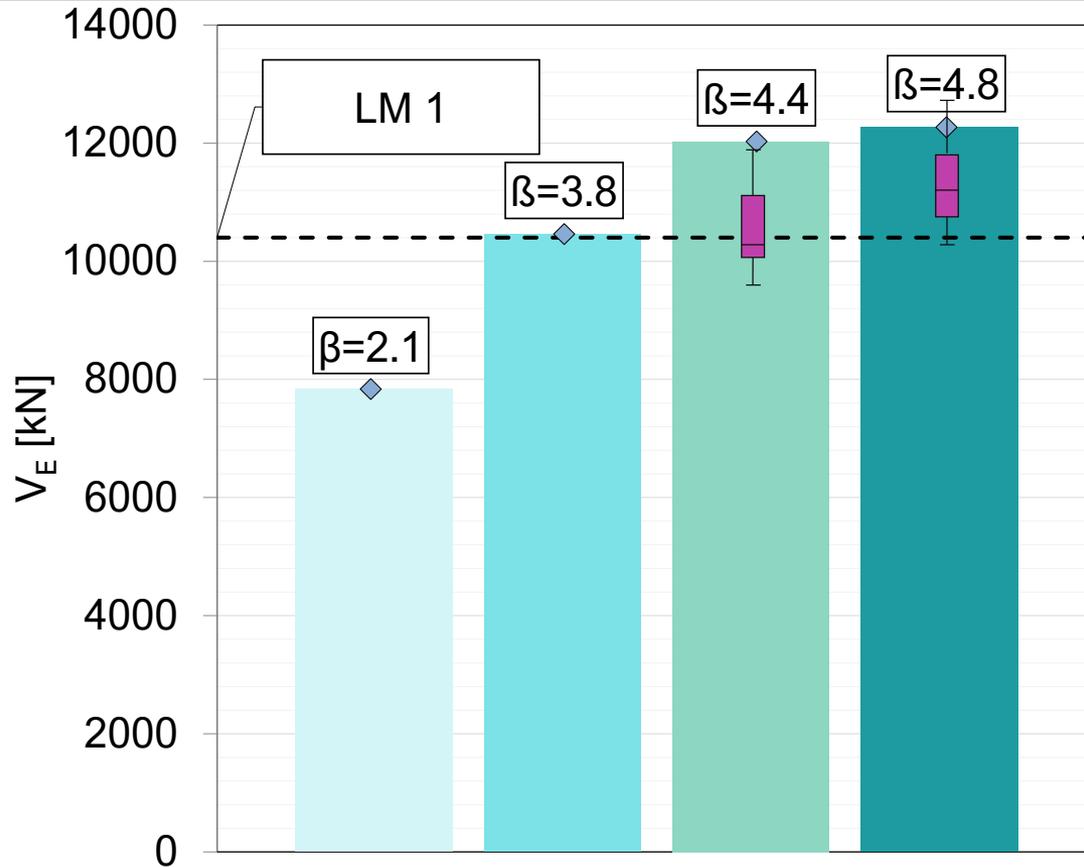
EUROPÄISCHE UNION



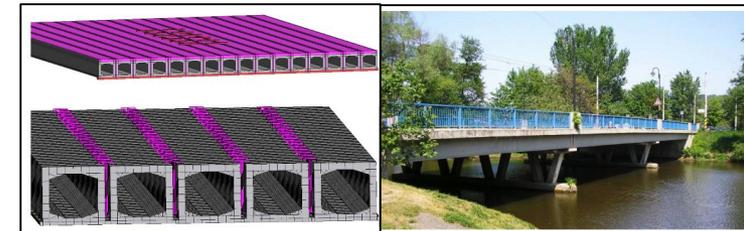
University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 „STUFE 3“ NICHT-LINEARE FEM (AT-CZ)



B4200-1 1970  
 B4008-2 Level3 Teilsicherheitsm  
 Level3 ECOV Prob.  
 Level3 Probl.-NLFEM



Zuverlässigkeitsklassen	Minimalwerte für $\beta$	
	1 Jahr Referenzperiode	50 Jahre Referenzperiode
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Ziel  $\beta$ -Werte für einen Referenzzeitraum von 1 Jahr und 50 Jahren  
 nach EN 1990



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## Probabilistische Zuverlässigkeitsberechnung Nichtlineare Finite Elemente Analyse

- Sicherheitsformate / Degradationsprozesse

Monte Carlo basierte Methoden  
Nicht Lineare Finite Elemente Analysen



EUROPÄISCHE UNION

# METHODIK DER ADVANCED NICHTLINEAREN NUMERISCHEN BEWERTUNG VON BRÜCKENBAUWERKEN

Einwirkungsart: Ständig, veränderlich, aussergewöhnlich

Identifizierung des kritischen Grenzzustands

Definition des angestrebten Zuverlässigkeitsniveaus  $\beta_t$

Stochastische Modellierung der Eingangs-Zufallsvariablen  
(Codes, Diagnose, JCSS)

Modellierung von Degradationsprozessen

Überprüfung des Grenzzustands der  
Dauerhaftigkeit

Eigengewicht

Modellunsicherheiten - Belastung

Wiederholte deterministische Analysen und Bewertung  
der Zuverlässigkeit  $\beta$

$\beta_{Final}$

Sensitivity Analyses

Updated Information



EUROPÄISCHE UNION



Österreich-Tschechische Republik  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

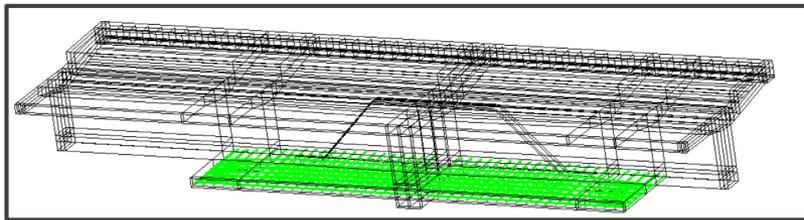


University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna

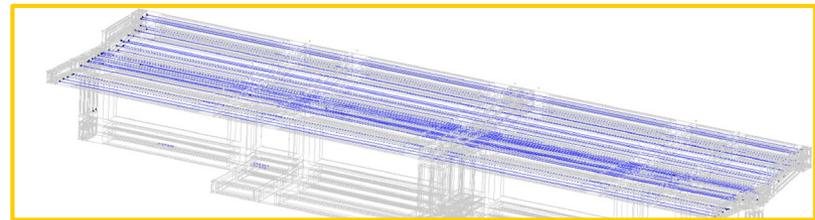


# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 - DEGRADATIONSPROZESSE

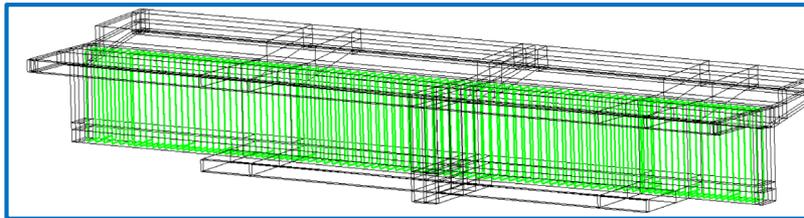
## Bewehrung der unteren Platte



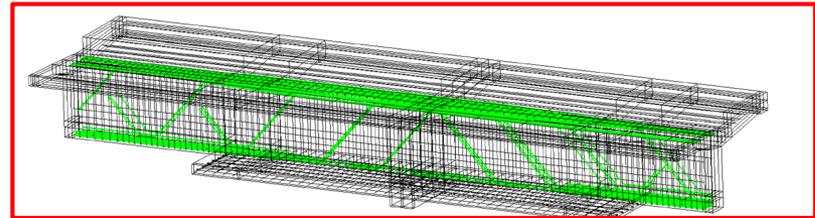
## Bewehrung der Fahrbahnplatte



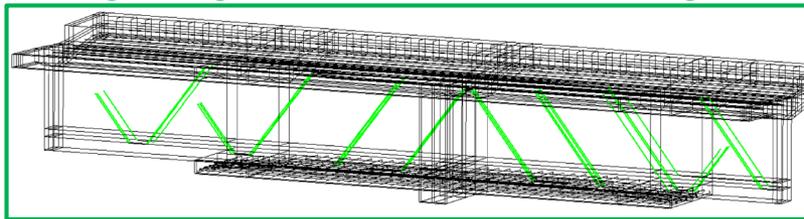
## Bügel Bewehrung



## Bewehrung Durchmesser > 28 mm



## Aufgebogene Schubbewehrung



## Bewehrung Allgemein





EUROPÄISCHE UNION

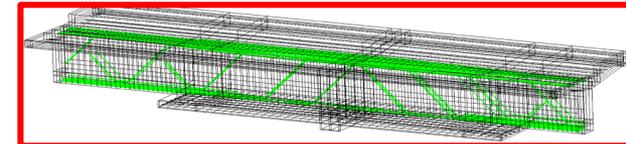
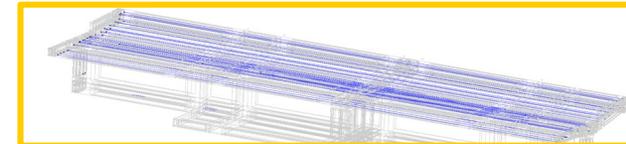
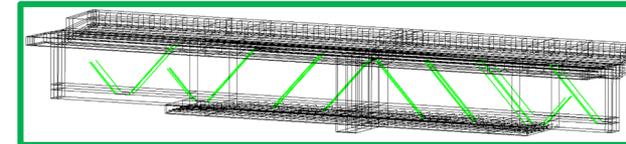
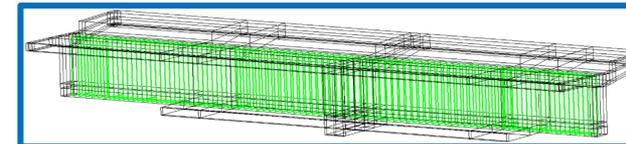
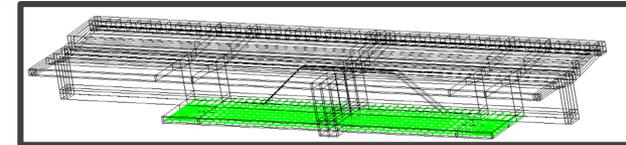
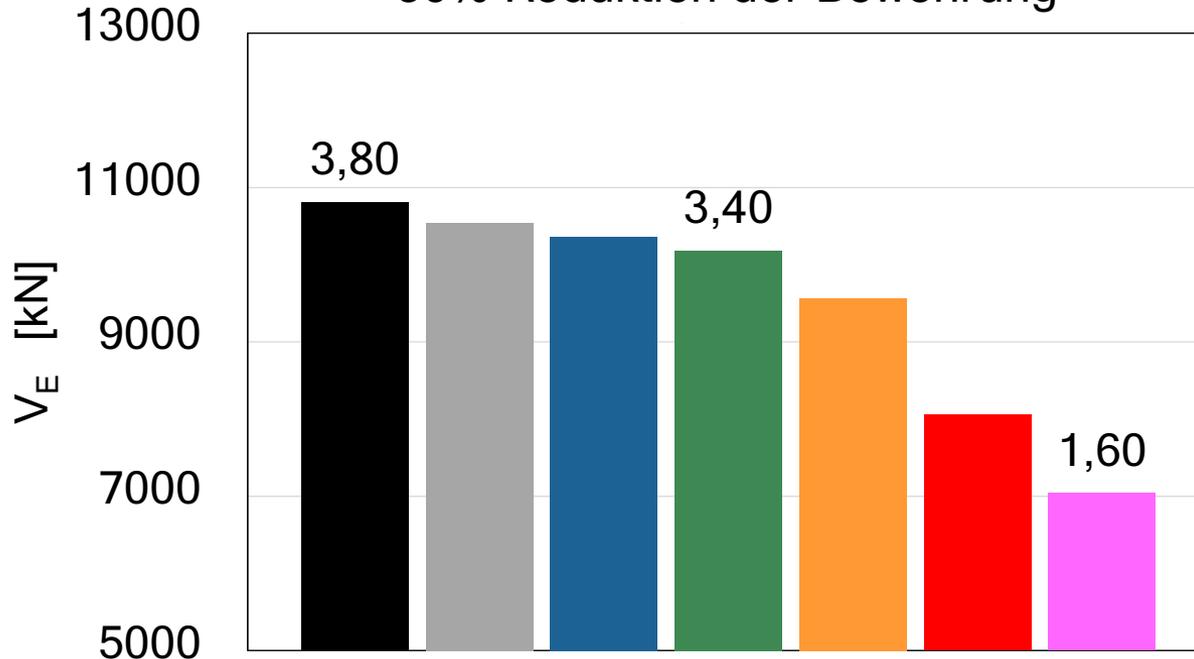


University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna



# FREUDENAUER HAFENBRÜCKE B4008-2 - DEGRADATIONSPROZESSE

### 30% Reduktion der Bewehrung



Bewehrung allgemein



EUROPÄISCHE UNION



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



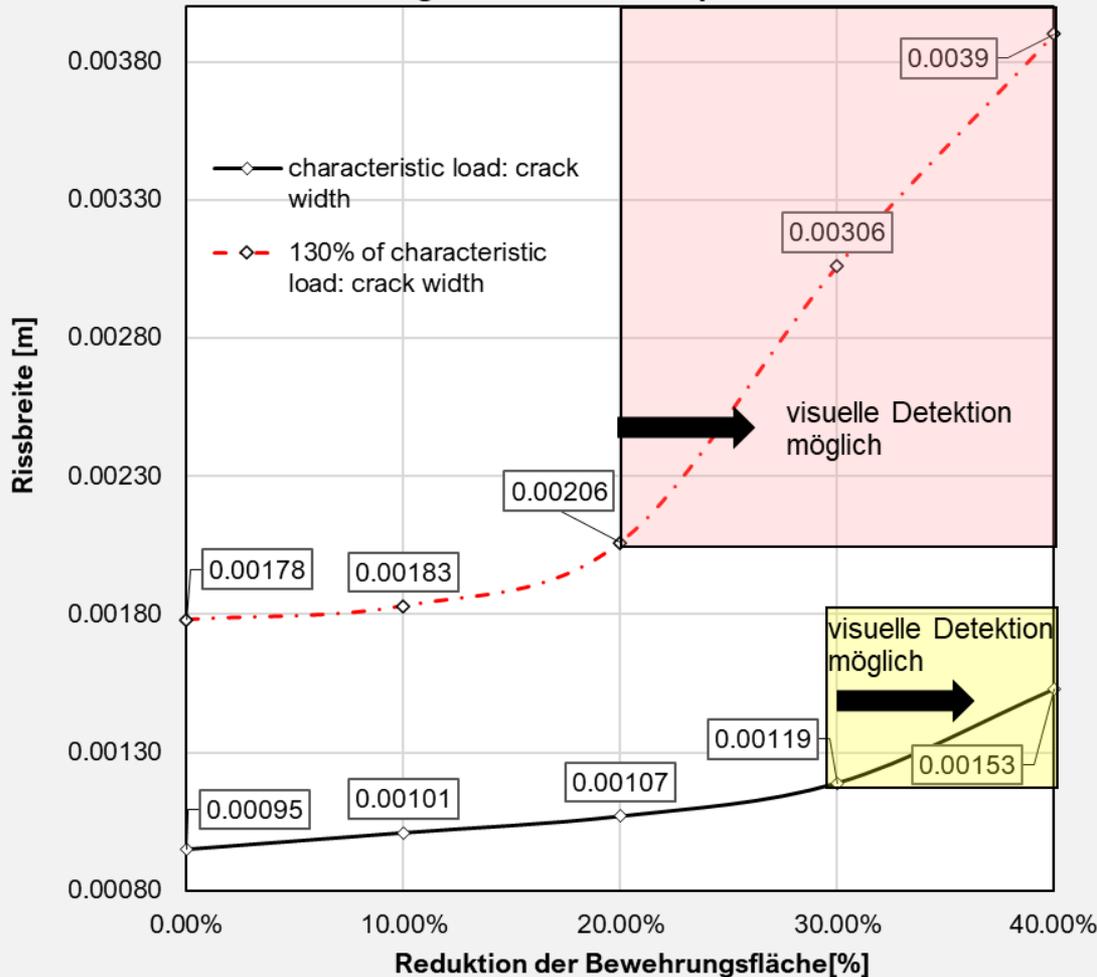
## Probabilistische Zuverlässigkeitsberechnung Nichtlineare Finite Elemente Analyse

- Sicherheitsformate / Degradationsprozesse
- Performance Indikatoren

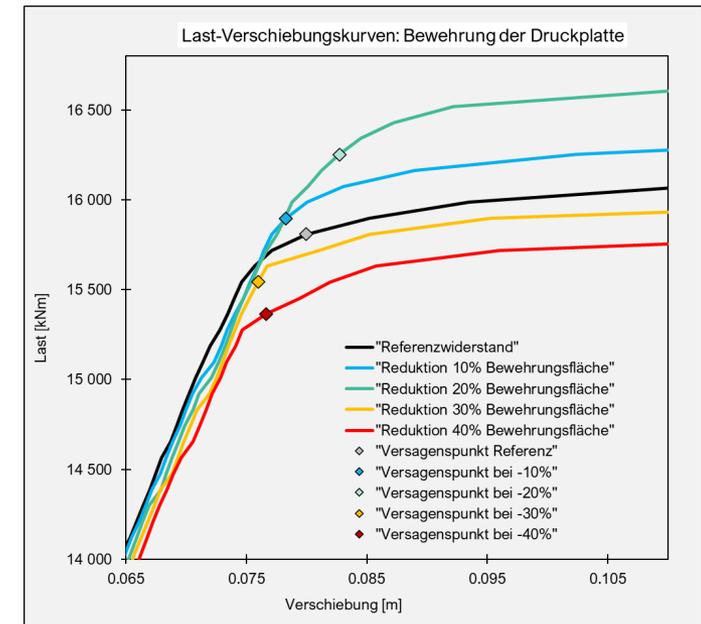
Monte Carlo basierte Methoden  
Nicht Lineare Finite Elemente Analysen



### Entwicklung der Rissbreite zu Reduktion der Bewehrungsfläche der Druckplatte



### Charakterisierung der Performance Indikatoren nach COST TU 1406 mittels NLFEM B4008-2 Level 3





EUROPÄISCHE UNION



Österreich-Tschechische Republik  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



## Danke für die Aufmerksamkeit.

### Projekt Team

Institut für konstruktiven Ingenieurbau  
Department für Bautechnik und Naturgefahren  
Universität für Bodenkultur Wien  
Peter-Jordan-Straße 82  
1190 Wien, Österreich  
e-mail: [h87500\\_safebridge@boku.ac.at](mailto:h87500_safebridge@boku.ac.at)

STRAUSS Alfred; APOSTOLIDI Eftychia;  
SCHNEIDER Anke; SATTLER Fabian;  
TÄUBLING-FRULEUX Benjamin; RIGLER Matthias;  
HAUSER Michael; LUFT Thomas; HOFFMANN Markus;  
GRANZNER Maximilian

### Projekt Team

Institut für Strukturmechanik  
Fakultät für Bauingenieurwesen  
Technische Universität Brunn  
Veveří 331/95  
602 00 Brunn, Tschechische Republik  
e-mail: [safebridge@vut.cz](mailto:safebridge@vut.cz)

NOVÁK Drahomír; LEHKÝ David;  
ŠOMODÍKOVÁ Martina; HALÍKOVÁ Dana;  
SEDLÁKOVÁ Monika; DOLEŽEL Jiří;  
LIPOWCZAN Martin; NOVÁK Lukáš; PUKL  
Radomír; SADÍLEK Václav; SLOWIK Ondřej



EUROPÄISCHE UNION



Österreich-Tschechische Republik  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna



# VERÖFFENTLICHUNG DER METHODEN UND ERGEBNISSE

