Institut für Massivbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Leibniz Universität Hannover

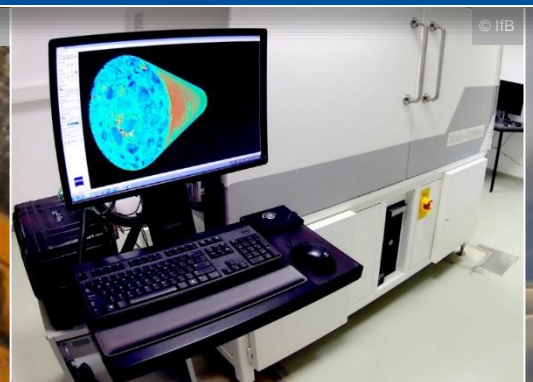
Neufassung der DAfStb-Richtlinie „Belastungsversuche an Betonbauwerken“

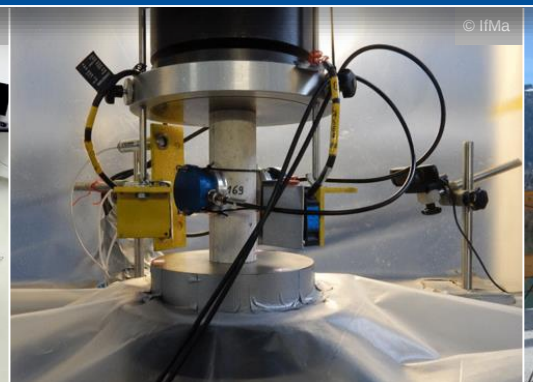
Steffen Marx

7. Jahrestagung
60. Forschungskolloquium

DAfStb

Hannover, 28. und 29. Oktober 2019





Experimentelle Tragsicherheitsbewertung

BELASTUNGSRAHMEN

ONLINE-MESSTECHNIK

Bildnachweis: © Marx Krontal Partner

Neufassung DAfStb-Richtlinie Belastungsversuche an Betonbauwerken

- Anpassung an aktuelle Vorschriften
- Versuchsarten A, B & C
- Selbstsichernde Belastung & Online-Messtechnik zwingend vorgeschrieben
- Neues Zuverlässigkeitskonzept inklusive Übertragung auf nicht beprobte Bauteile

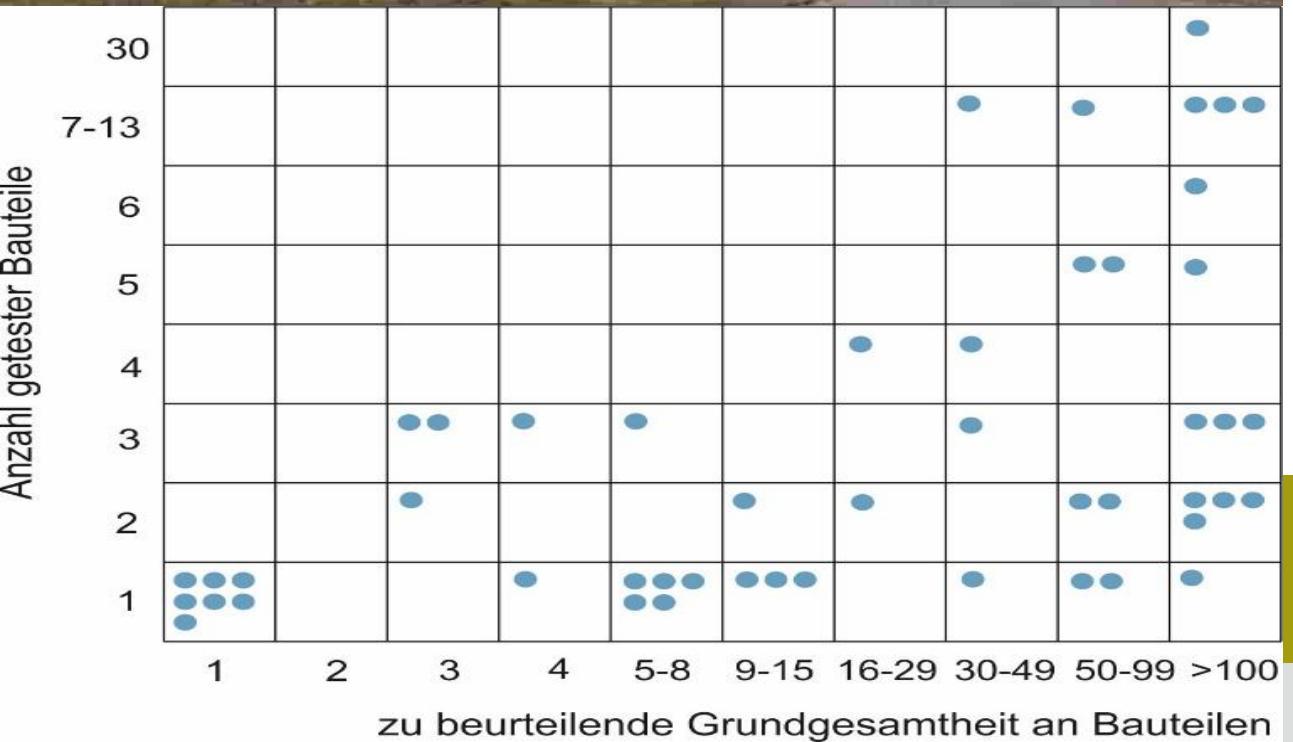
ENTWICKLUNG ZUVERLÄSSIGKEITSKONZEPT

- *Wie viele muss man testen?*
- *Mit welcher Sicherheit kann man übertragen?*

Herausforderung

- Kleine Stichprobenanzahl
- Kleine Grundgesamtheit
- Kein Bruch (damit unbekannter Widerstand)

klassische statistische Auswertung nicht möglich
(Mittelwert, Standardabweichung, Versagenswahrscheinlichkeit, ...)



Gleichartigkeit?

- Geometrie
- Zustand
- Auflagerung
- Bewehrung
- Beanspruchung
- Nutzungsbedingungen

Test des schlechtesten Bauteils?

Anforderungen an das Sicherheitskonzept

- Berücksichtigung der Anzahl der Versuche (in Abhängigkeit von der Grundgesamtheit)
- Größe der Grundgesamtheit, wann gelten Bauteile als gleichartig
- Zu erwartende Streuung ist abhängig von der Versagensart
- Einfache und praktisch anwendbare Übertragungsfaktoren
- Vergleichbares Sicherheitsniveau zur rechnerischen Nachweisführung

n / N

N?

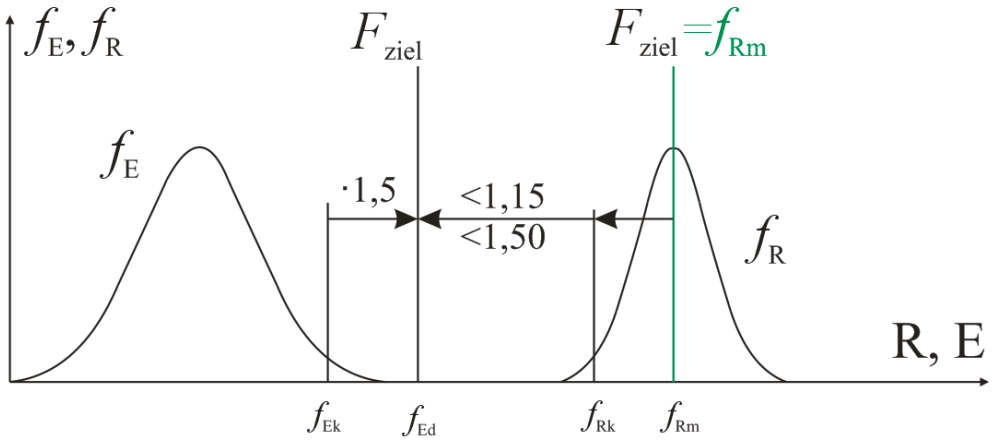
Biegung, Querkraft?

$\gamma_{ü}$

β = 3,8 *oder* 3,2?

Bayes‘sche Verfahren – EC0

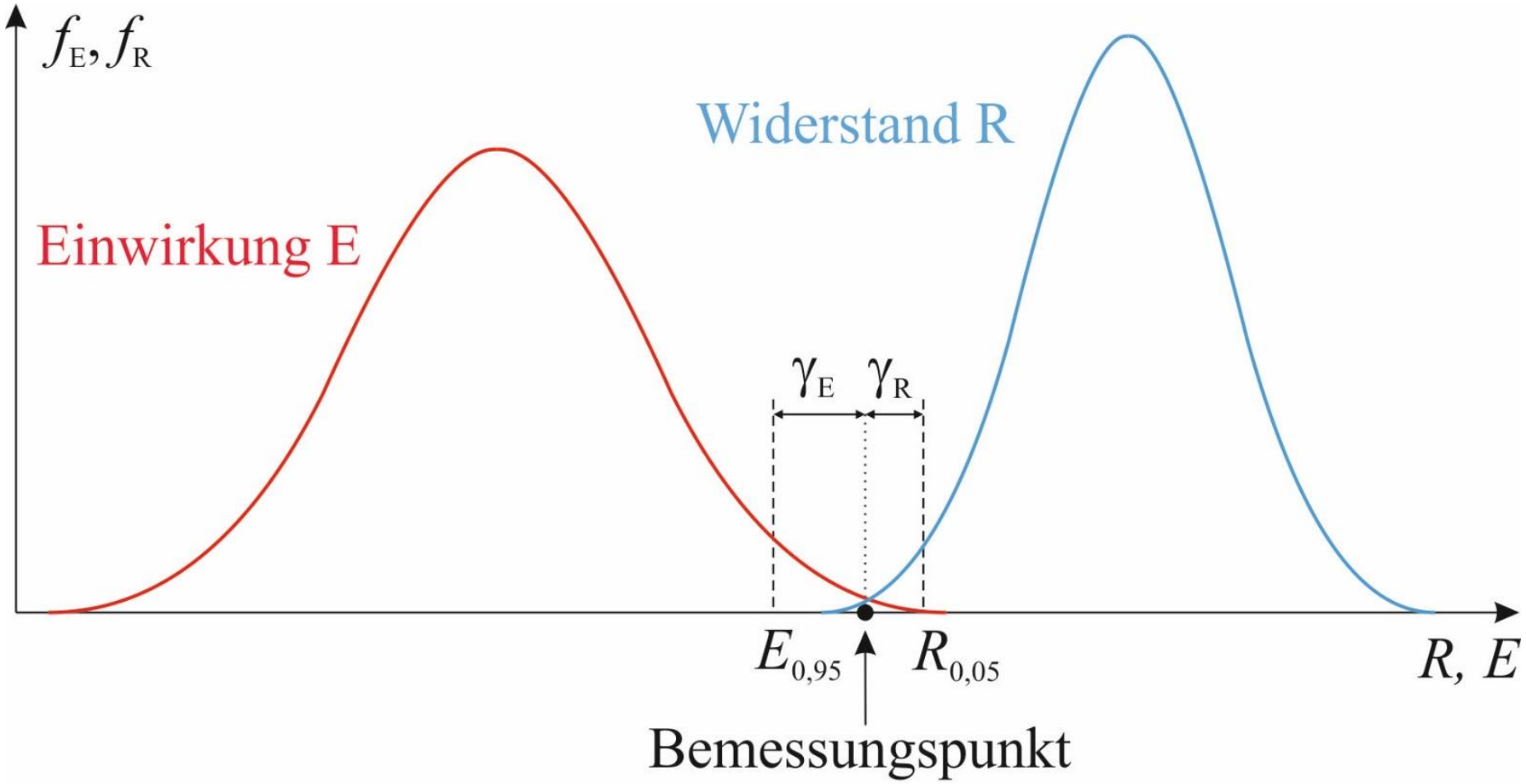
n	1	2	3	10	20	30	∞
V_X bekannt	2,31	2,01	1,89	1,72	1,68	1,67	1,64
V_X unbekannt	–	–	3,37	1,92	1,76	1,73	1,64



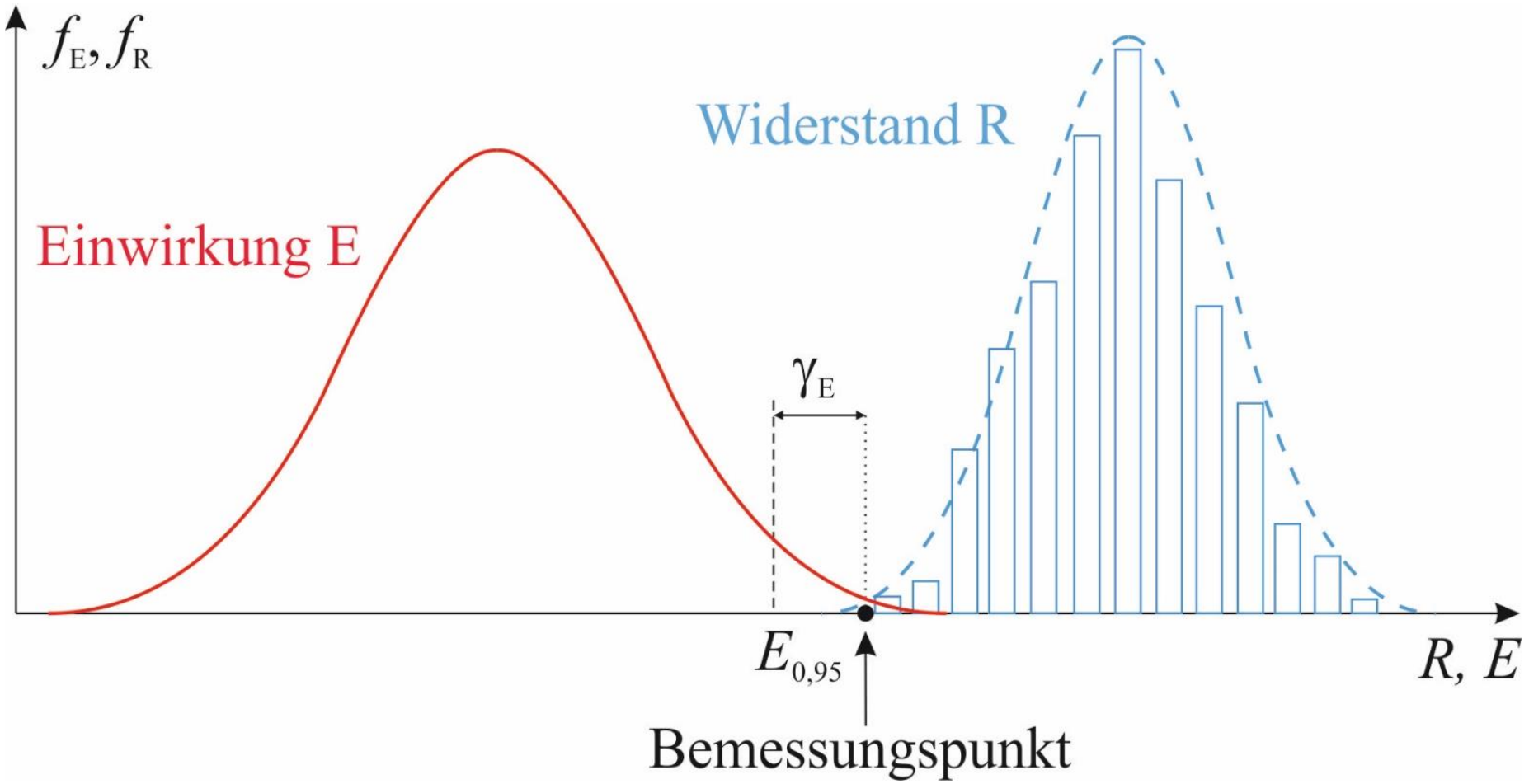
- F_{Ziel} wird als Mittelwert interpretiert
- V_x bekannt
- Streckung der Verteilung in Abhängigkeit von n
- Keine Berücksichtigung der Grundgesamtheit N

Nicht geeignet für sehr geringe Stichproben und kleine Grundgesamtheit

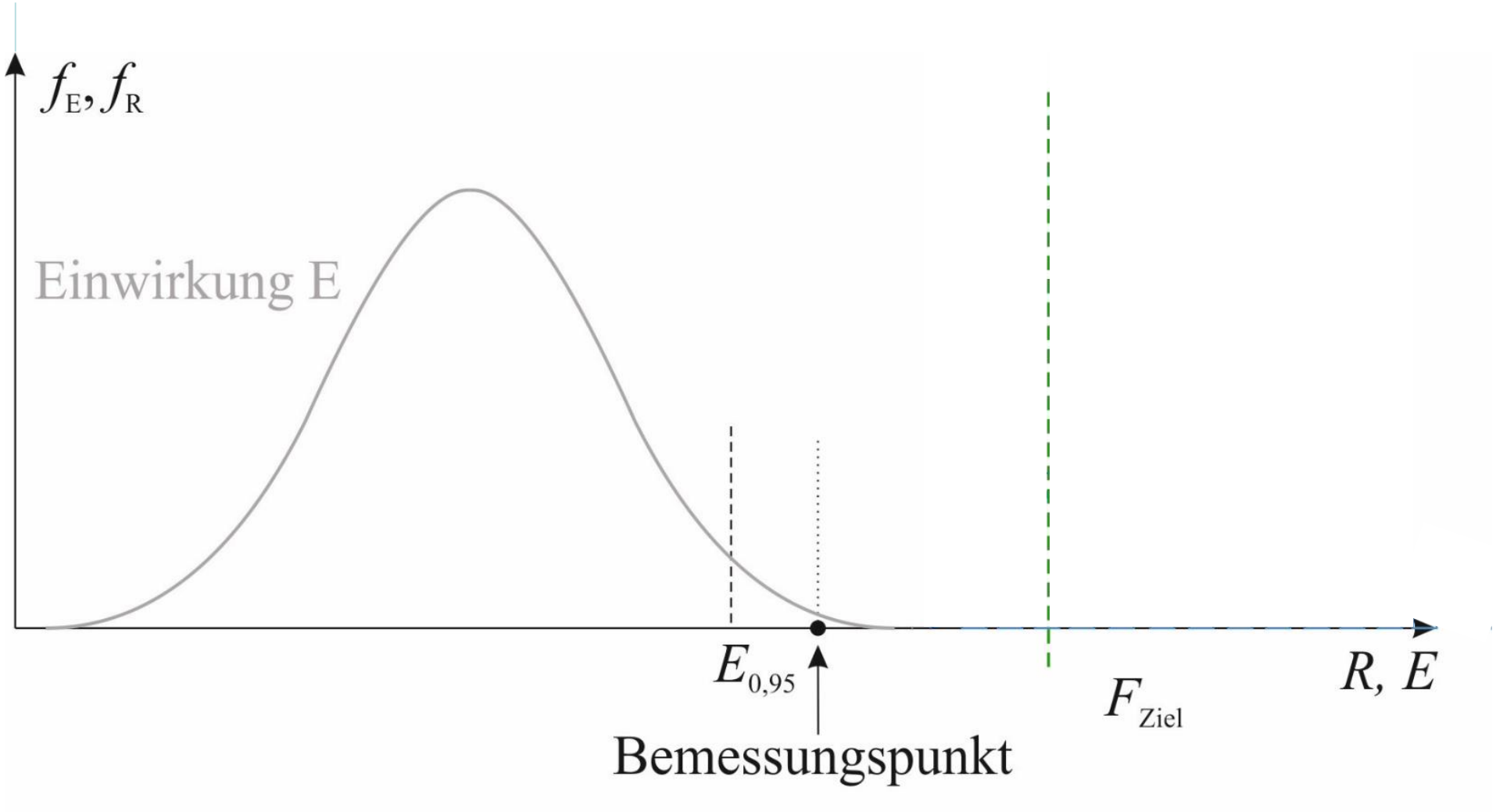
Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz



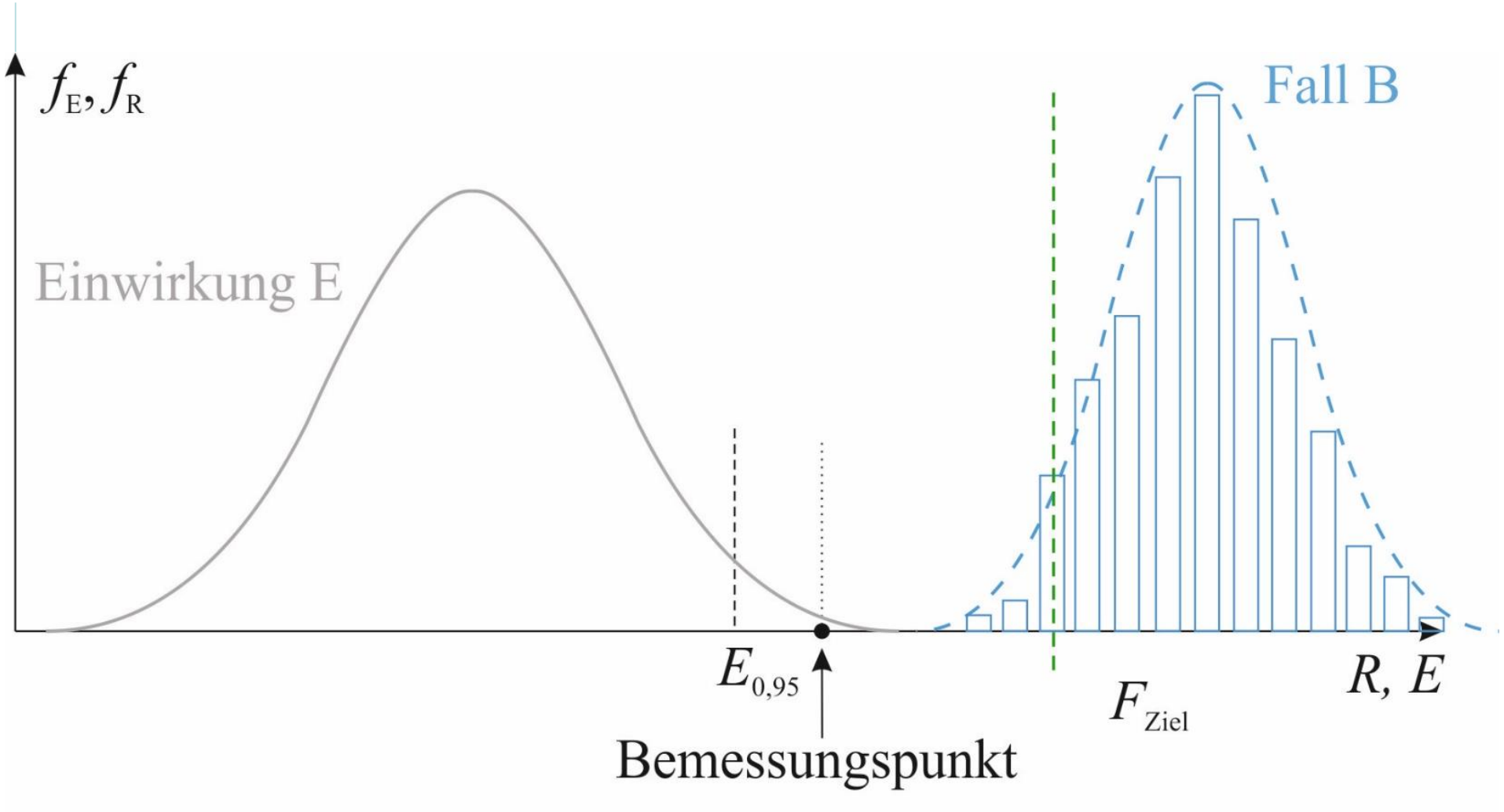
Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz



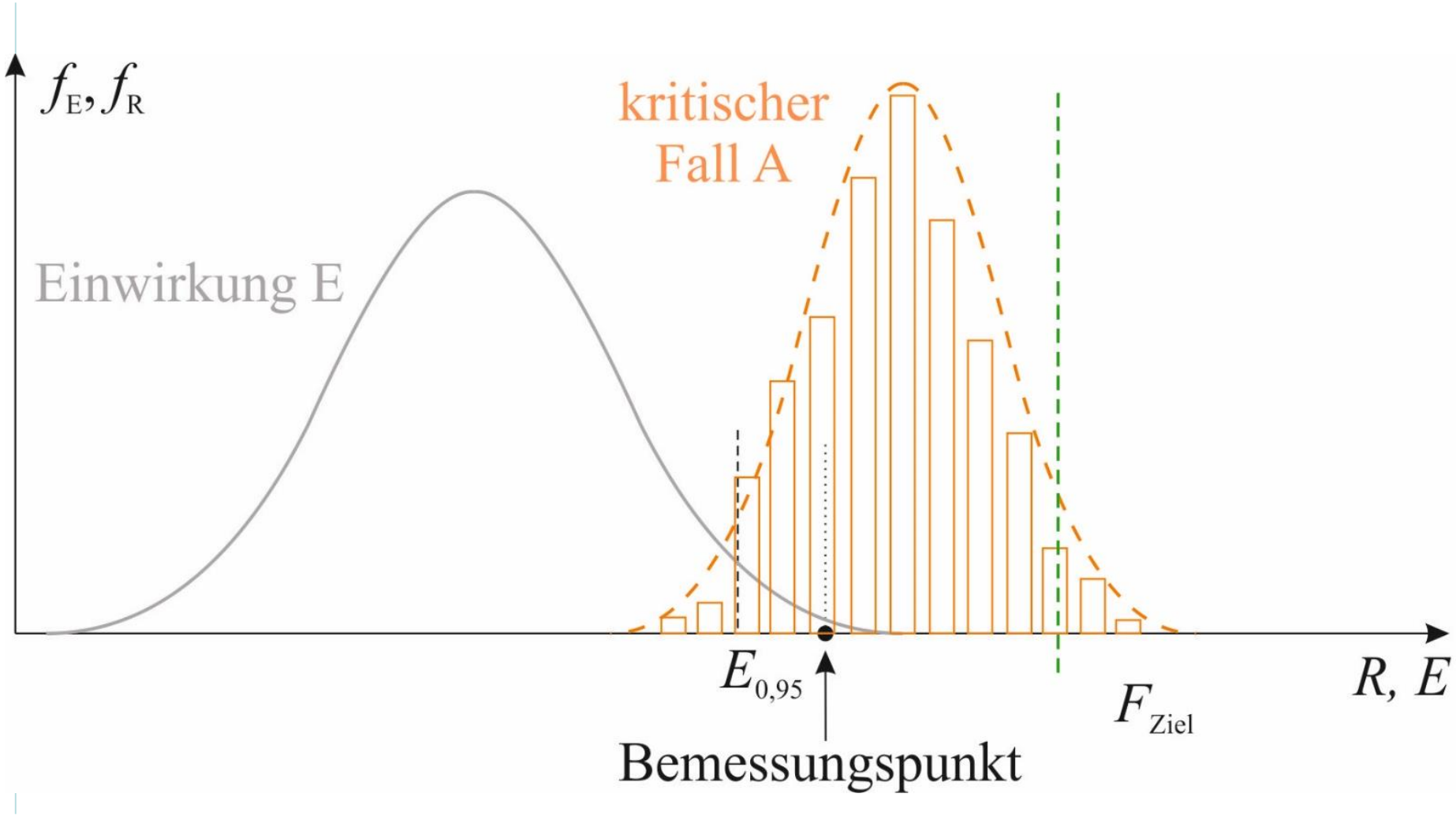
Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz



Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz

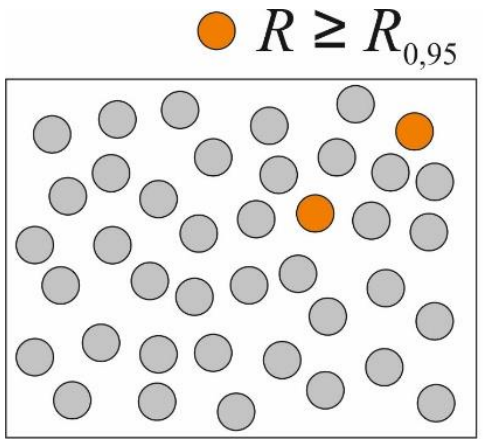


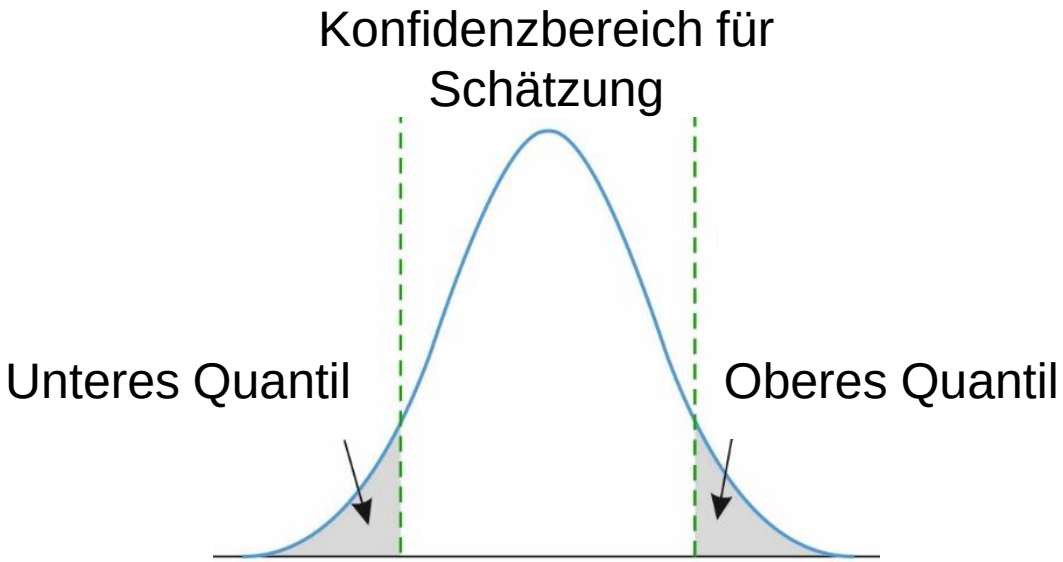
Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz

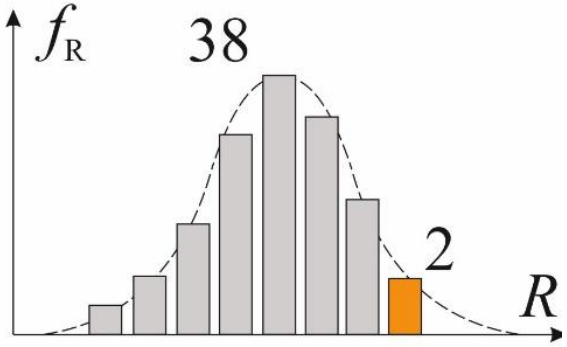


Konfidenzniveau und Irrtumswahrscheinlichkeit

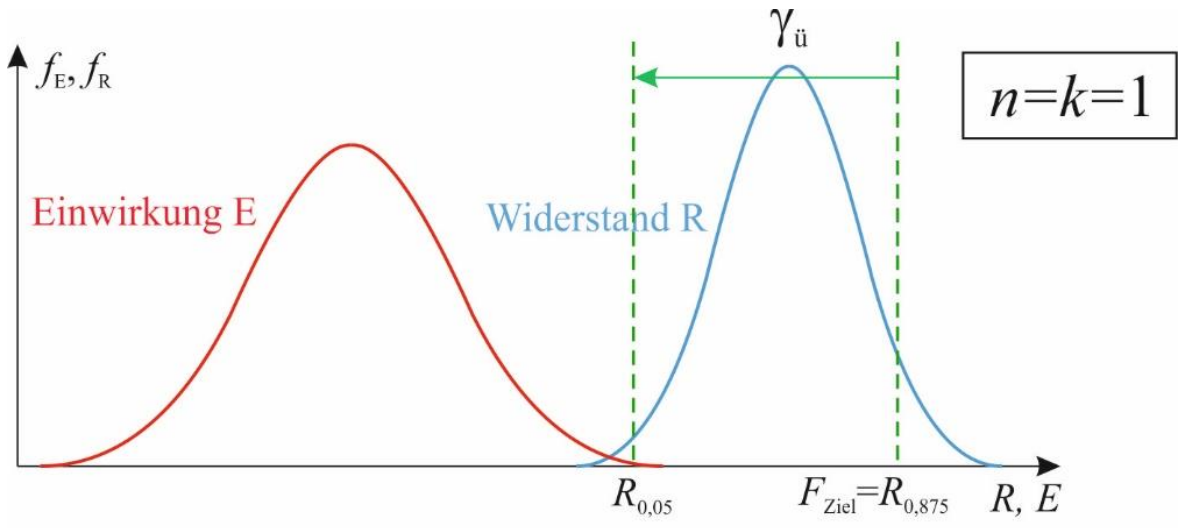
- EC 0 Anhang D: Konfidenzniveau 75% bei der Anwendung statistischer Methoden
- Irrtumswahrscheinlichkeit für die Schätzung des oberen/unteren Quantils 12,5 %

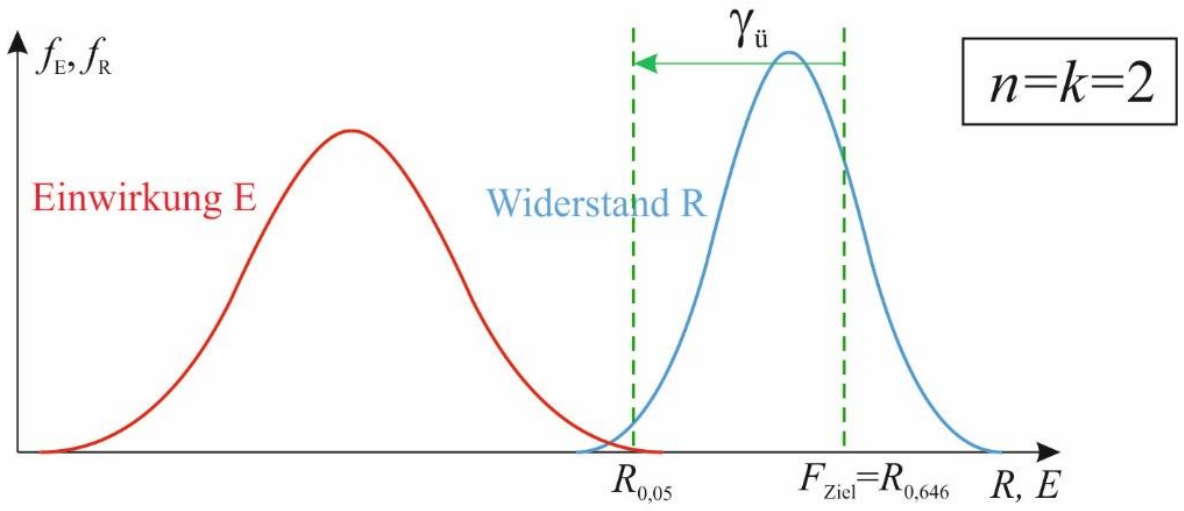






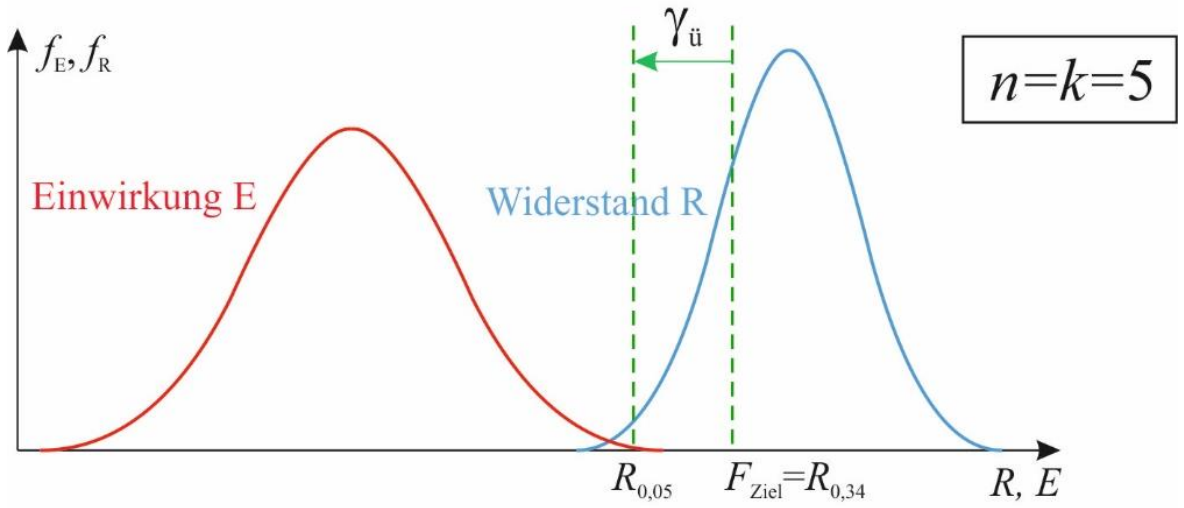
Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz

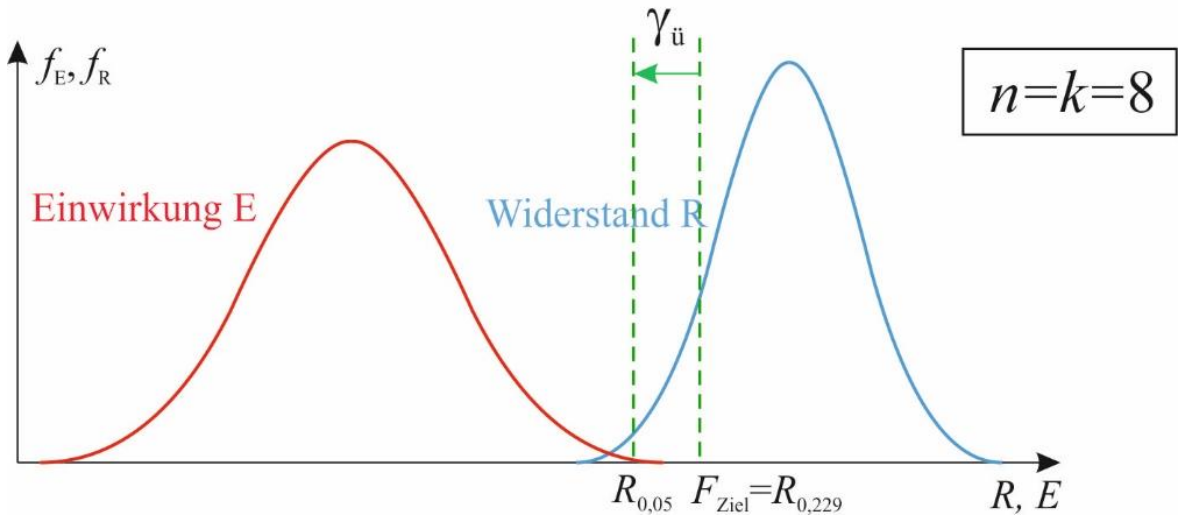




- Irrtumswahrscheinlichkeit von 12,5 % wird akzeptiert dafür, dass das getestete Element zufällig einen sehr hohen Tragwiderstand aufweist (>87,5%-Quantil des Widerstands)
- Die Versuchsziellast darf dann bei einem getesteten Element als 87,5%-Quantilwert des Widerstands interpretiert werden
- Mit P = 12,5% = konst, kann bei mehreren Tests der Zielllastwert günstiger interpretiert werden (z.B. n = 2: r = 1-0,125^(1/2)=0,646)

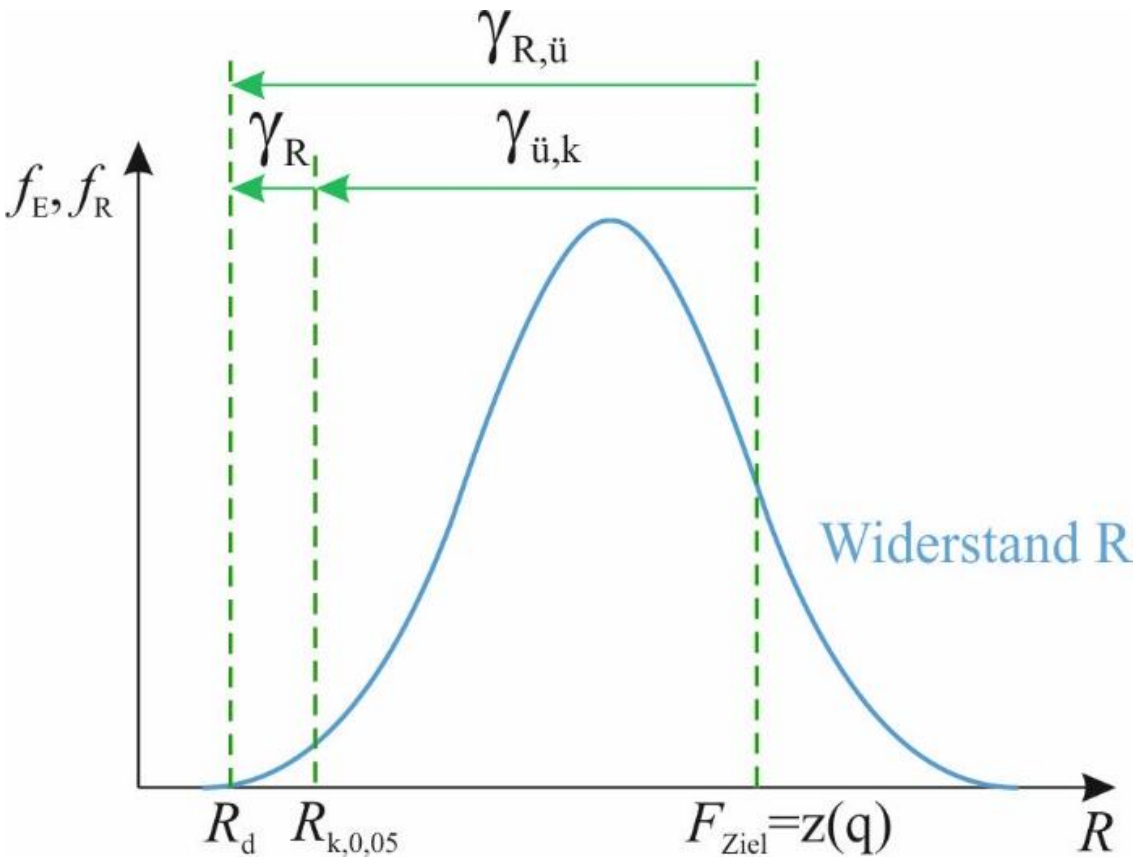
Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz





n=k	Erforderlicher Quantilwert q	$z_k(q) = -\Phi^{-1}(q)$
1	87,5%-Quantil	1,150
2	64,6%-Quantil	0,376
3	50,0%-Quantil	0
5	34,0%-Quantil	-0,412
8	22,9%-Quantil	-0,742
10	18,8%-Quantil	-0,886
20	9,9%-Quantil	-1,289
50	4,1%-Quantil	-1,742

Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz



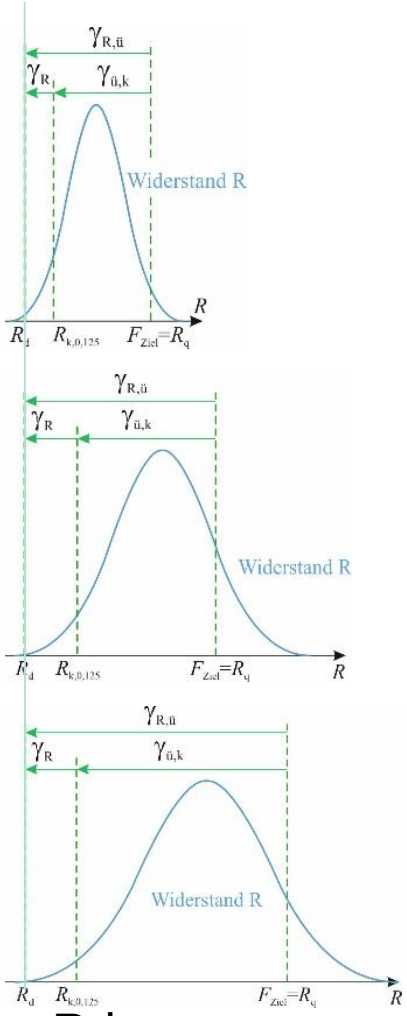
$$\gamma_{ü,k} = \frac{R_q}{R_{k,0,05}} = \frac{\mu_R \cdot \exp\left(z(q) \cdot V_R\right)}{\mu_R \cdot \exp\left(-1,645 \cdot V_R\right)}$$

$$E_d = F_{Ziel} \leq R_d = \frac{R_{k,0,05}}{\gamma_R}$$

$$F_{Ziel} \leq \frac{R_q}{\gamma_{ü,k} \cdot \gamma_R}$$

$$\gamma_{R,ü} = \gamma_{ü,k} \cdot \gamma_R = \frac{R_q}{R_d} = \frac{\mu_R \cdot \exp\left(z(q) \cdot V_R\right)}{\mu_R \cdot \exp\left(-\alpha_R \cdot \beta \cdot V_R\right)}$$

Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz



Stahlversagen

Betondruckversagen

Querkraftversagen

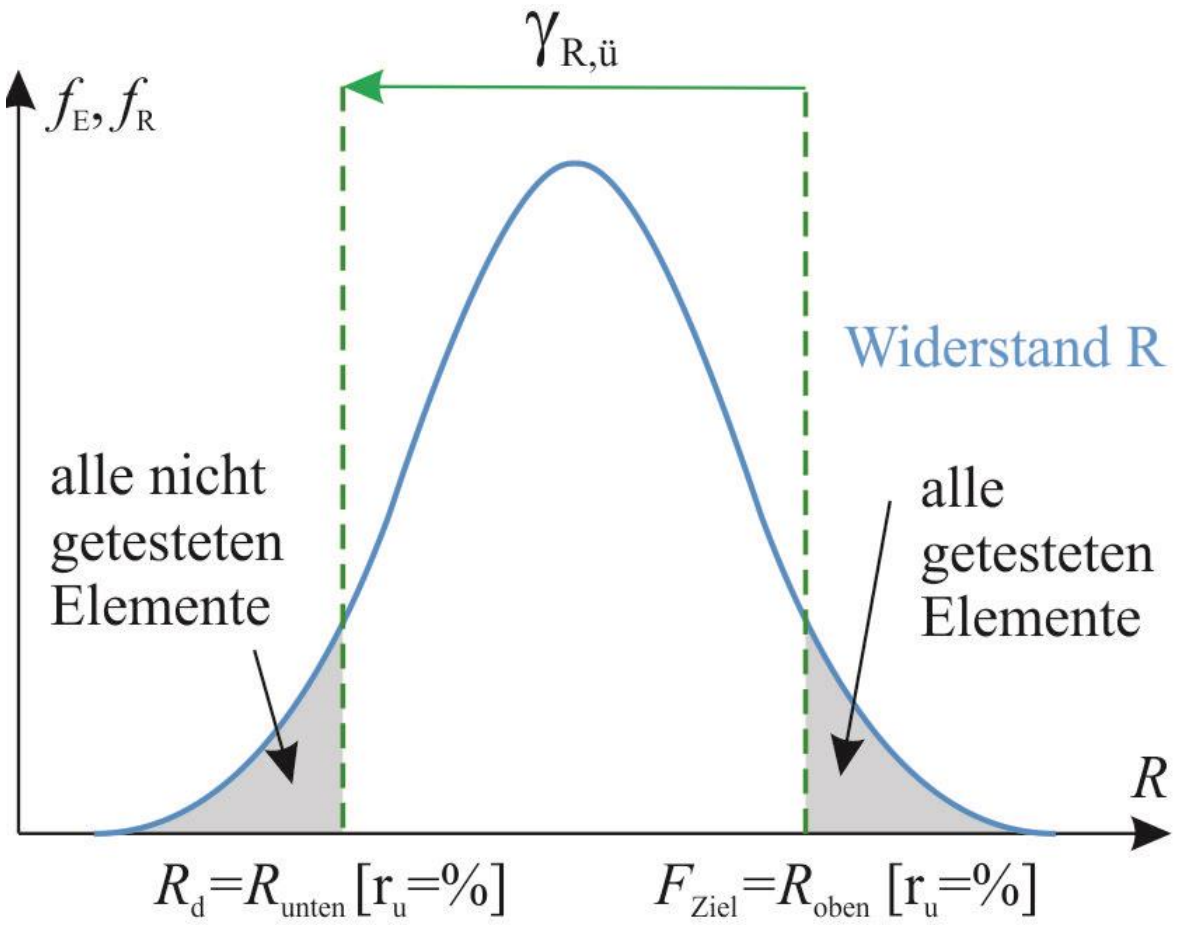
$\gamma_{R,ü}$ n = k	Maßgebende Versagensart		
	Stahlzug $V_R = 0{,}07$	Betondruck $V_R = 0{,}167$	Betonzug $V_R = 0{,}20$
1	1,30	1,86 *(1,58)*	2,10
2	1,23	1,63 *(1,45)*	1,80
3	1,20	1,53 *(1,40)*	1,67
4	1,18	1,47 *(1,38)*	1,59
5	1,16	1,43 *(1,37)*	1,54
6	1,15	1,40 *(1,35)*	1,50
7	1,14	1,38 *(1,35)*	1,46
8	1,14	1,36 *(1,34)*	1,44
9	1,13	1,34 *(1,33)*	1,42
10	1,12	1,32 *(1,33)*	1,40
20	1,10	1,24 *(1,32)*	1,29
50	1,06	1,15 *(1,31)*	1,18

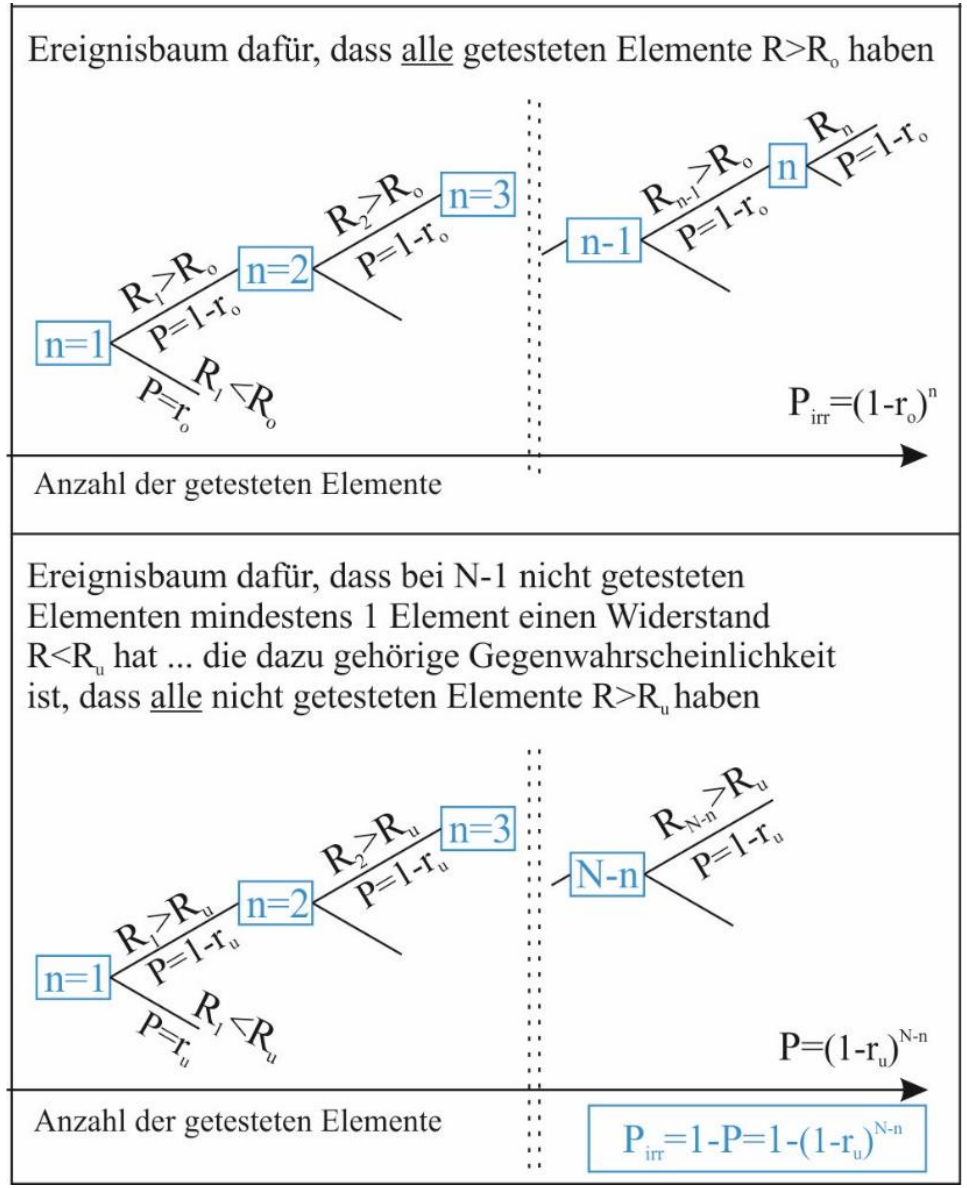
Ed = Rd

Bemessungspunkt

- *Grundgesamtheit N = ∞*
- *Versagensart und Variationskoeffizient bekannt*

Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz für kleine Grundgesamtheit





Wahrscheinlichkeitstheoretischer Ansatz für kleine Grundgesamtheit

N/n	1	2	3	5	8
1	1,0				
2	1,17	1,0			
3	1,21	1,11	1,0		
5	1,23	1,16	1,11	1,0	
8	1,25	1,18	1,15	1,10	1,0
10	1,26	1,19	1,16	1,11	1,06
20	1,29	1,22	1,18	1,15	1,11
∞ ($\beta = 3{,}2$)	1,30	1,23	1,20	1,16	1,14

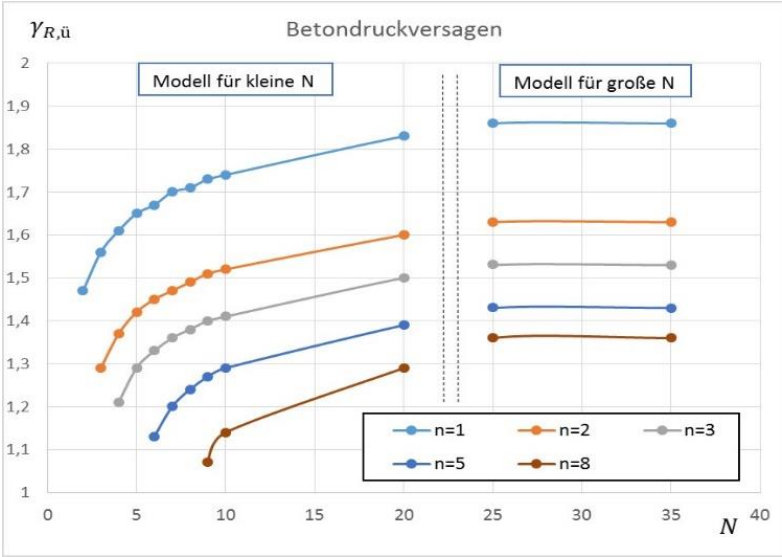
STAHLVERSAGEN

N/n	1	2	3	5	8
1	1,0				
2	1,58	1,0			
3	1,70	1,36	1,0		
5	1,82	1,52	1,35	1,0	
8	1,91	1,61	1,47	1,30	1,0
10	1,95	1,65	1,51	1,36	1,17
20	2,06	1,76	1,62	1,48	1,36
∞ ($\beta = 3{,}2$)	2,10	1,80	1,67	1,54	1,44

BETONZUG- BZW. QUERKRAFTVERSAGEN

N/n	1	2	3	5	8
1	1,0				
2	1,47	1,0			
3	1,56	1,29	1,0		
5	1,65	1,42	1,29	1,0	
8	1,71	1,49	1,38	1,24	1,0
10	1,74	1,52	1,41	1,29	1,14
20	1,83	1,60	1,50	1,39	1,29
∞ ($\beta = 3{,}2$)	1,86	1,63	1,53	1,43	1,36

BETONDRUCKVERSAGEN



Ermittlung der Versuchsziellast

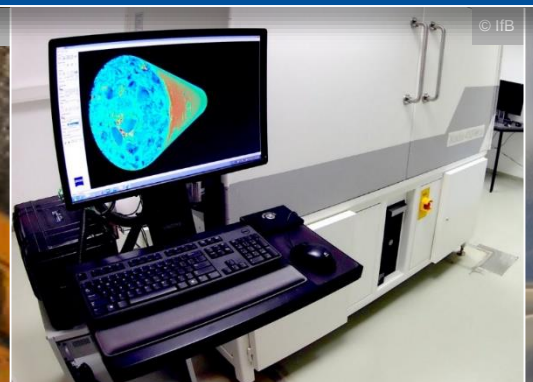
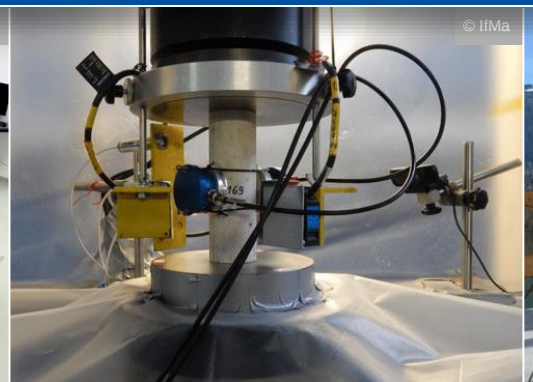
$$F_{\text{Ziel}} = \gamma_{\text{ü}R} \cdot \left[\left(\gamma_{G,1} - 1{,}0\right) \cdot G_1 + \sum_{\text{j}>1} \gamma_{\text{G,j}} \cdot G_{\text{k,j}} + \gamma_{\text{Q,1}} \cdot Q_{\text{k,1}} + \sum_{\text{i}>1} \gamma_{\text{Q,i}} \cdot \Psi_{0,\text{i}} \cdot Q_{\text{k,i}} \right]$$

Institut für Massivbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Leibniz Universität Hannover

Neufassung der DAfStb-Richtlinie „Belastungsversuche an Betonbauwerken“

Steffen Marx

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Hannover, 28. und 29. Oktober 2019