

Die Aktualisierung als zentrales Element in den Erhaltungsnormen

Jochen Köhler



Einleitung

SIA 269 - Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken

«Aktualisierung: Prozess, um vorhandene Kenntnisse mit neuen Informationen zu ergänzen.»

«Grundsätzlich sind die Einwirkungen, die Baustoff- und Baugrundeigenschaften, das Tragwerksmodell, die geometrischen Grössen, die Tragwiderstände und das Verformungsvermögen zu aktualisieren.»

Aktualisierung basierend auf neuer Information

ÜBERPRÜFUNG	GENERELL	DETAILLIERT
Grundlagen	<ul style="list-style-type: none"> • Studium Bauwerksakten • Aktualisierung Nutzungsvereinbarung • Aktualisierung Projektbasis 	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse der generellen Überprüfung • Ergänzendes Studium Bauwerksakten • Aktualisierung Nutzungsvereinbarung • Aktualisierung Projektbasis
Zustands- erfassung	<ul style="list-style-type: none"> • visuell u./o. einfache Untersuchungen 	<ul style="list-style-type: none"> • vertiefte Untersuchungen relevanter Bauteile
Tragwerks- analyse und Nachweise	<ul style="list-style-type: none"> • Definition massgebender Grenzzustände • einfache deterministische Nachweise 	<ul style="list-style-type: none"> • Definition massgebender Grenzzustände • deterministische, • semi-probabilistische oder • probabilistische Nachweise

Nachweis ausreichender Tragsicherheit

Deterministisch:

$$n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}} \geq 1$$

Semi-Probabilistisch:

$$n = \frac{R_{d,act}}{E_{d,act}} \geq 1$$

Basierend auf den Verteilungen,
Zielzuverlässigkeit und
Sensitivitäten

Probabilistisch:

$$P_f = \Pr[g(\mathbf{X}) = R(\mathbf{X}) - E(\mathbf{X}) \leq 0]$$

Beispiel

Biegebalken Brettschichtholz GL24h, 440 mm x 160 mm, Spannweite $\ell = 6$ m

Materialkenngrößen:
(SIA 265)

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \quad E_{m,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

Partielle Sicherheitsbeiwerte
und Modifikationsfaktor:
(SIA 260, 265)

$$\gamma_M / \eta_M = 1.5 \quad \gamma_G = 1.35 \quad \gamma = 1.5$$

Nutzungsänderung:

Versamlungsfläche
C2 (SIA 261)

$$g_k = 1 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 10 \text{ kN/m}$$

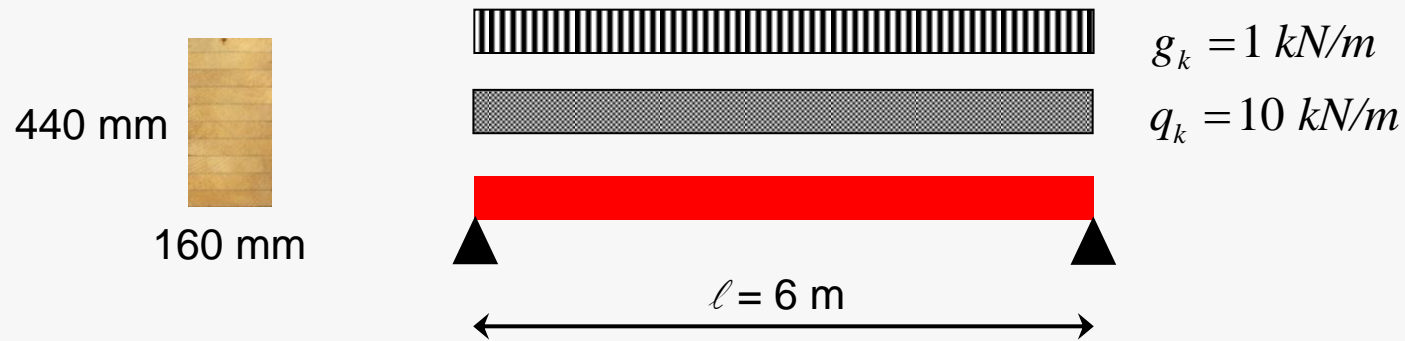


Verkaufsfläche
D (SIA 261)

$$g_k = 1 \text{ kN/m}$$

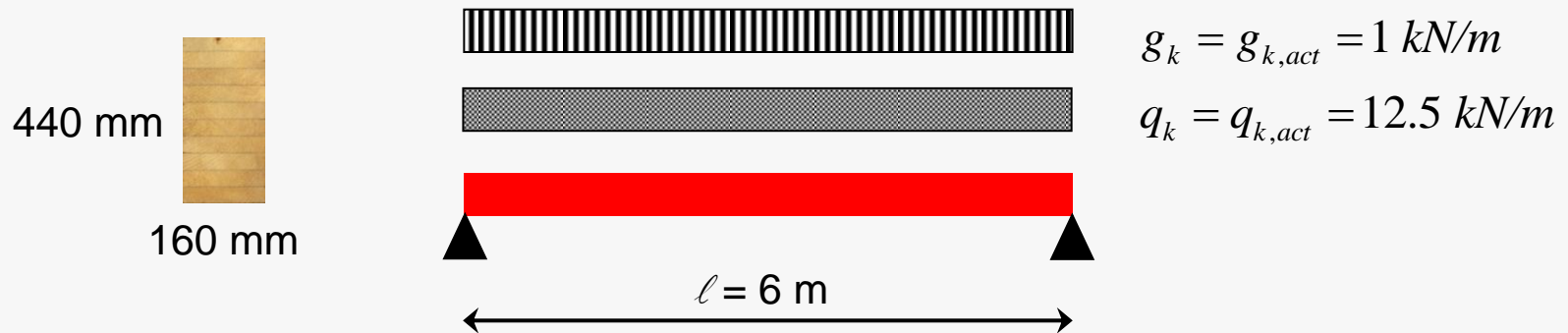
$$q_k = 12 \text{ kN/m}$$

Beispiel – ursprünglicher Nachweis



$$E_{M,d} = \frac{1}{8} (\gamma_G g_k + \gamma_Q q_k) \ell^2 = 73.6 \text{ kNm} \leq 82.6 \text{ kNm} = \frac{\eta_M}{\gamma_M} f_{m,k} \frac{160 \times 440^2}{6} = R_{M,d} \quad \checkmark$$

Beispiel – aktualisierte Einwirkung



$$E_{M,d,act} = \frac{1}{8} (\gamma_G g_{k,act} + \gamma_Q q_{k,act}) l^2 = 90.5 \text{ kNm} > 82.6 \text{ kNm} = \frac{\eta_M}{\gamma_M} f_{m,k} \frac{160 \times 440^2}{6} = R_{M,d} \bullet$$

$$n_M = \frac{82.6}{90.5} = 0.91$$

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis

« Falls *statistische Verteilungen für Variablen von veränderlichen Einwirkungen (Variablen zur Ermittlung des Tragwiderstands)* aufgrund von Messreihen oder anderen Informationen vorhanden sind, darf aktualisiert werden, indem

...

der Überprüfungswert einer Auswirkung $E_{d,act}$ ($R_{d,act}$) nach dem Verfahren gemäss *Anhang C* ermittelt wird. »

Anhang C:

« Überprüfungswerte dürfen nach dem folgenden semi-probabilistischen Verfahren ermittelt werden. »

$$R_{d,act} = R_{m,act} \left(1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act} \right)$$

$$E_{d,act} = E_{m,act} \left(1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act} \right)$$

$R_{d,act}, E_{d,act}$: Überprüfungswerte

$R_{m,act}, E_{m,act}$: Mittelwerte

$v_{R,act}, v_{E,act}$: Variationskoeffizienten

α_R, α_E : Sensitivitätsfaktoren

β_0 : Zielwert des Zuverlässigkeitsindex

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis (SIA 269, Anhang C)

$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act})$$

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act})$$

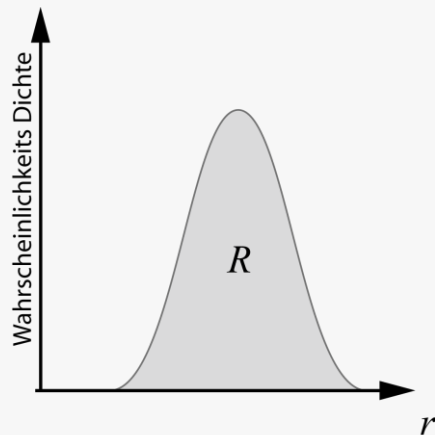
$R_{d,act}, E_{d,act}$: Überprüfungswerte

$R_{m,act}, E_{m,act}$: Mittelwerte

$v_{R,act}, v_{E,act}$: Variationskoeffizienten

α_R, α_E : Sensitivitätsfaktoren

β_0 : Zielwert des Zuverlässigkeitsindex



Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis (SIA 269, Anhang C)

$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act})$$

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act})$$

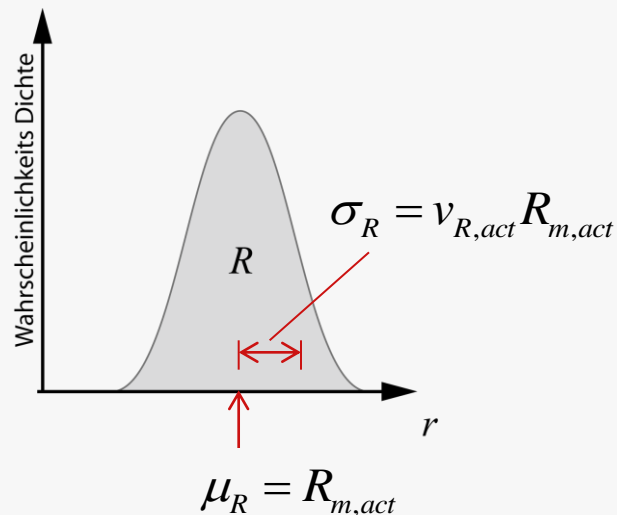
$R_{d,act}, E_{d,act}$: Überprüfungswerte

$R_{m,act}, E_{m,act}$: Mittelwerte

$v_{R,act}, v_{E,act}$: Variationskoeffizienten

α_R, α_E : Sensitivitätsfaktoren

β_0 : Zielwert des Zuverlässigkeitsindex



Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis (SIA 269, Anhang C)

$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act})$$

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act})$$

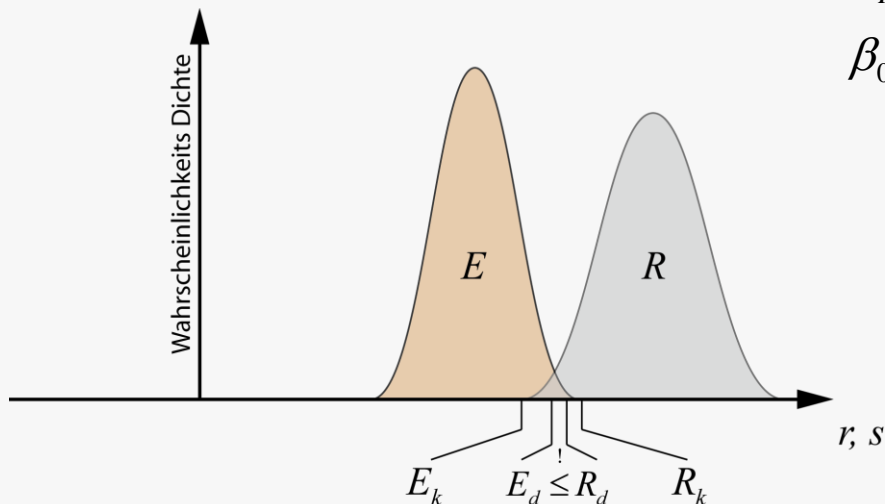
$R_{d,act}, E_{d,act}$: Überprüfungswerte

$R_{m,act}, E_{m,act}$: Mittelwerte

$v_{R,act}, v_{E,act}$: Variationskoeffizienten

α_R, α_E : Sensitivitätsfaktoren

β_0 : Zielwert des Zuverlässigkeitsindex



Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis (SIA 269, Anhang C)

$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act})$$

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act})$$

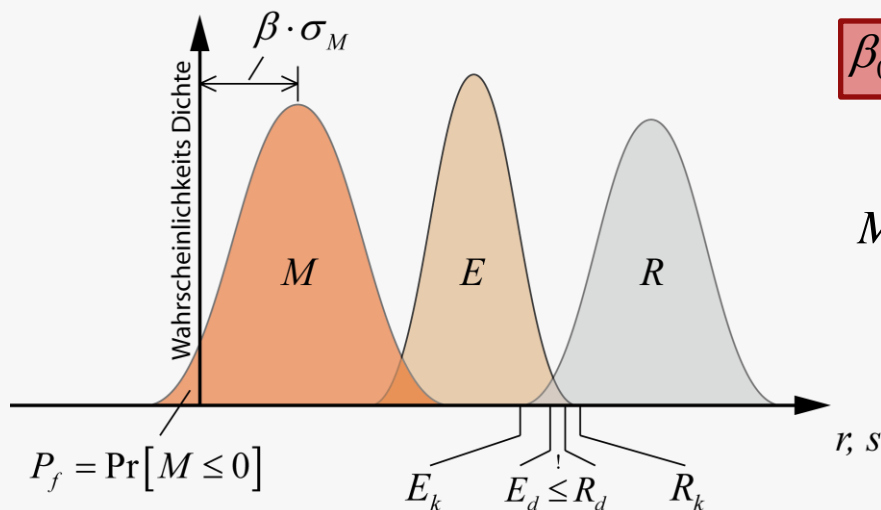
$R_{d,act}, E_{d,act}$: Überprüfungswerte

$R_{m,act}, E_{m,act}$: Mittelwerte

$v_{R,act}, v_{E,act}$: Variationskoeffizienten

α_R, α_E : Sensitivitätsfaktoren

β_0 : Zielwert des Zuverlässigkeitsindex



$$M = R - E$$

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis (SIA 269, Anhang C)

$$R_{d,act} = R_{m,act} (1 + \alpha_R \beta_0 v_{R,act})$$

$$E_{d,act} = E_{m,act} (1 + \alpha_E \beta_0 v_{E,act})$$

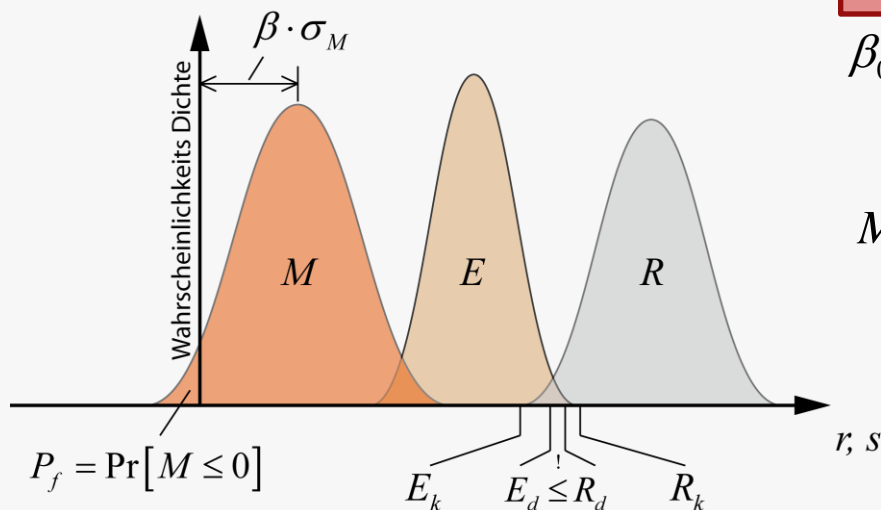
$R_{d,act}, E_{d,act}$: Überprüfungswerte

$R_{m,act}, E_{m,act}$: Mittelwerte

$v_{R,act}, v_{E,act}$: Variationskoeffizienten

α_R, α_E : Sensitivitätsfaktoren

β_0 : Zielwert des Zuverlässigkeitsindex



$$M = R - E$$

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sigma_M}$$

$$\alpha_E = \frac{\sigma_E}{\sigma_M}$$

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis (SIA 269, Anhang C)

Normalverteilung

$$X_{d,act} = X_{m,act} \left(1 + \alpha_X \beta_0 v_{X,act} \right)$$

Log-Normalverteilung

$$X_{d,act} = X_{m,act} \exp \left(\alpha_X \beta_0 \delta_{X,act} - 0.5 \delta_{X,act}^2 \right)$$

mit $\delta_{X,act}^2 = \ln \left(v_{X,act}^2 - 1 \right)$

Gumbelverteilung

$$X_{d,act} = X_{m,act} \left[1 - v_{X,act} \left(0.45 + 0.78 \ln \left\{ -\ln \left[\Phi \left(\alpha_X \beta_0 \right) \right] \right\} \right) \right]$$

$\alpha_E = 0.7$: Leiteinwirkungen
$\alpha_E = 0.3$: Begleiteinwirkungen
$\alpha_R = -0.8$: massgebende Bedeutung
$\alpha_R = -0.3$: untergeordneter Bedeutung
$\beta_0 = [3.1, 4.7]$: abh. EF, Konsequenzen

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis I

Verkaufsfläche D: $q_{k,act} = 12.5 \text{ kN/m}$ (SIA 261), $\Rightarrow E_{Q,m,act} = 4.44 \text{ kN/m}$
 $v_{Q,act} = 0.7$, Gumbel (JCSS)

Leiteinwirkung: $\alpha_Q = 0.7$

Zielzuverlässigkeit: $\beta_0 = 4.2$ (moderate Konsequenzen, mittlere Massnahmeneffizienz)

$$E_{d,act} = E_{m,act} \left[1 - v_{E,act} \left(0.45 + 0.78 \ln \left\{ -\ln \left[\Phi \left(\alpha_E \beta_0 \right) \right] \right\} \right) \right]$$

$$E'_{Q,d,act} = 18.6 \text{ kN/m}$$

$$E'_{M,d,act} = \frac{1}{8} \left(E'_{Q,d,act} + \gamma_G g_{k,act} \right) \ell^2 = 89.8 \text{ kNm}$$

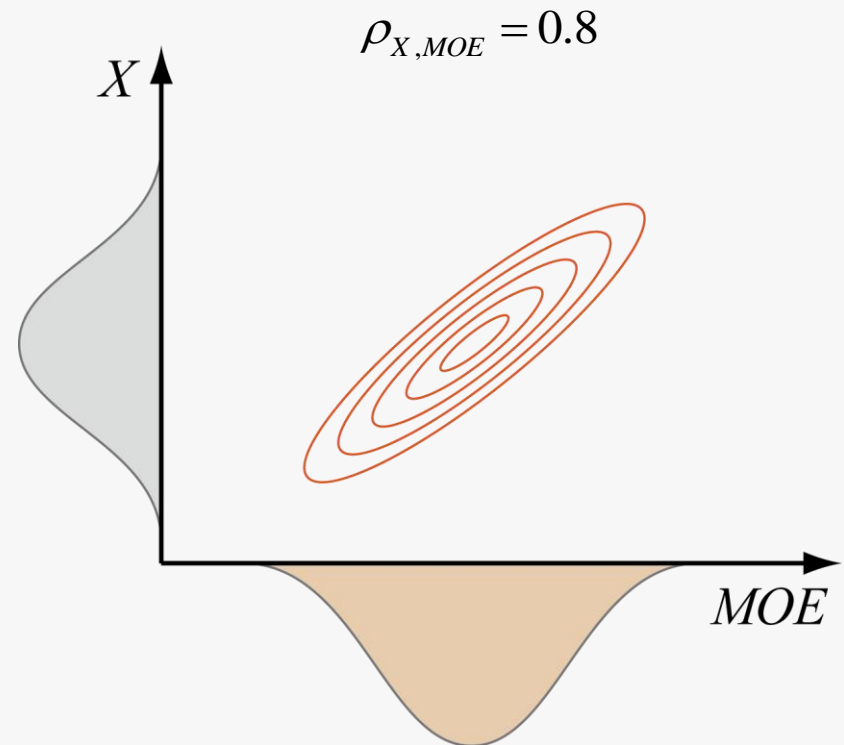
$$n_M = \frac{82.6}{89.8} = 0.92$$

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis II

Idee:

- Integration von zusätzlicher Information, z.B. Durchbiegung infolge Probelastung.
- Durch bekannte Beziehungen zwischen Biegesteifigkeit und -festigkeit wird aktualisiert.

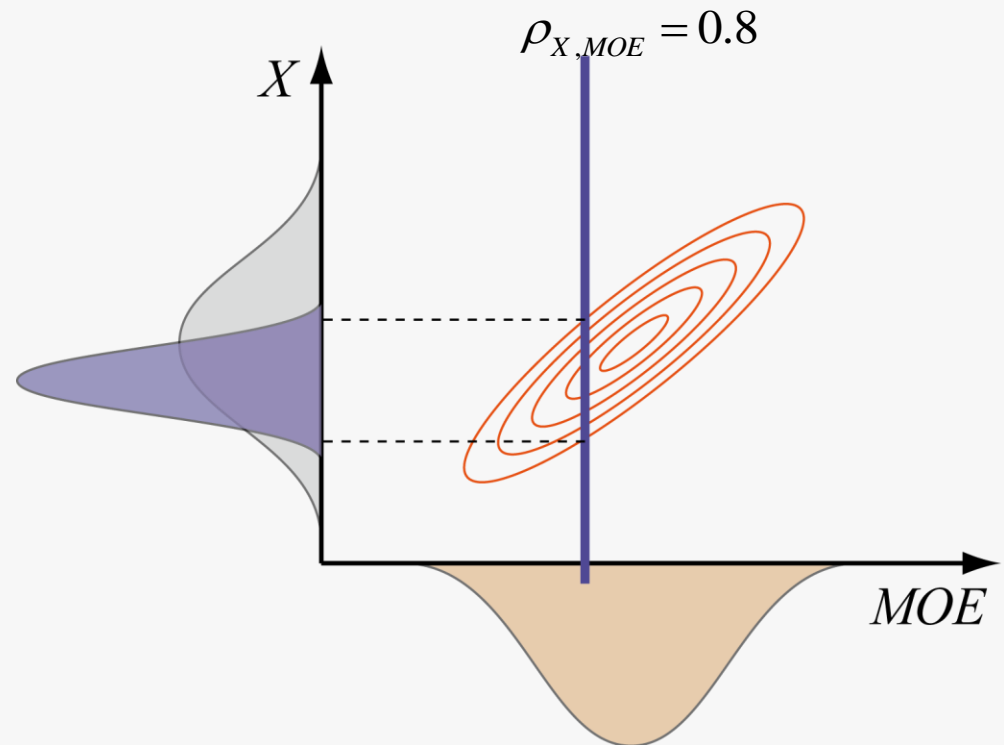


Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis II

Idee:

- Integration von zusätzlicher Information, z.B. Durchbiegung infolge Probelastung.
- Durch bekannte Beziehungen zwischen Biegesteifigkeit und -festigkeit wird aktualisiert.

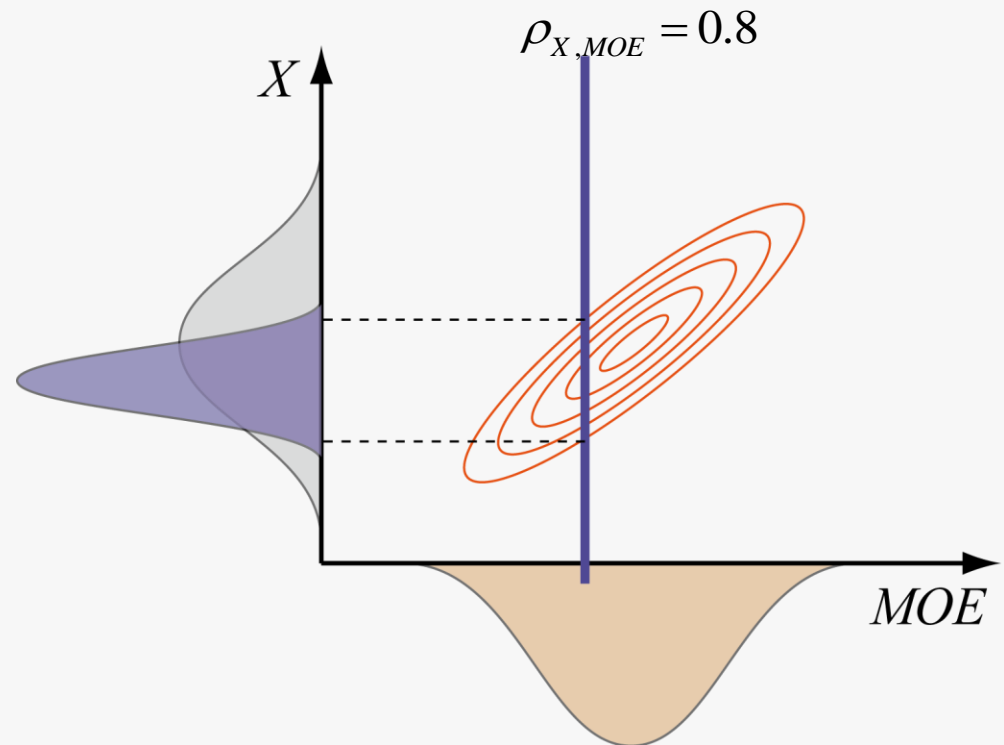


Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis II

Benötigte Information:

- Korrelation: $\rho_{X,MOE} = 0.8$
- Biegefestigkeit normalverteilt:
 $x_k = 24 \text{ N/mm}^2$ (SIA 265)
 $v_X = 0.15$ (JCSS)
 $\Rightarrow \mu_X = 31.8 \text{ N/mm}^2$
- Biegesteifigkeit normalverteilt:
 $moe_k = 11000 \text{ N/mm}^2$ (SIA 265)
 $v_{MOE} = 0.15$ (JCSS)

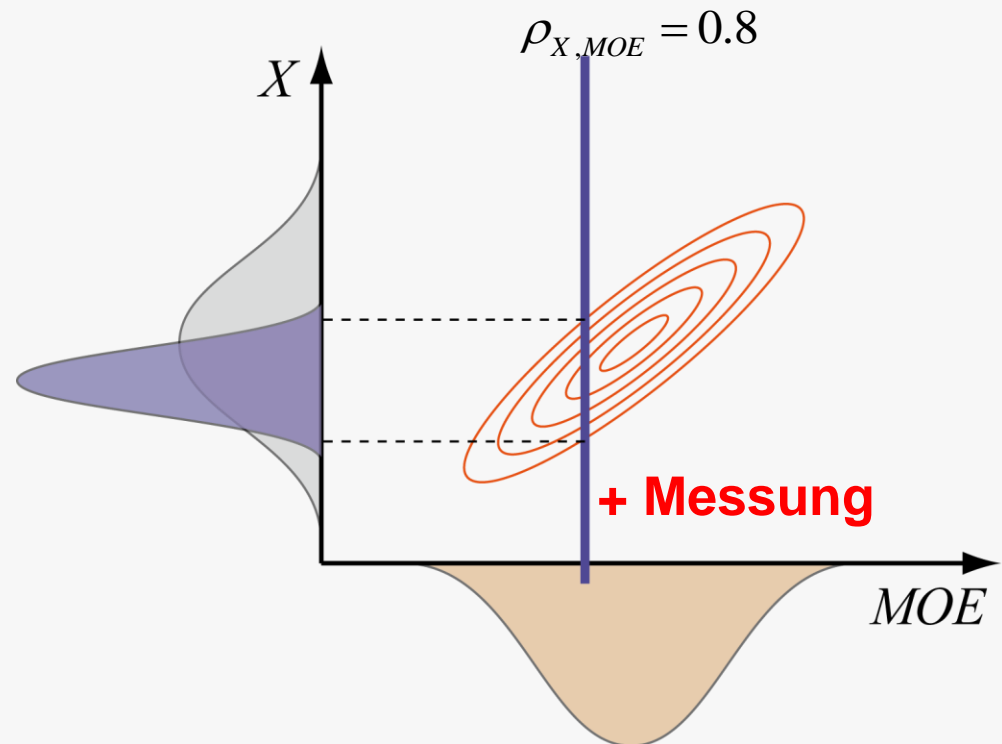


Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis II

Benötigte Information:

- Korrelation: $\rho_{X,MOE} = 0.8$
- Biegefestigkeit normalverteilt:
 $x_k = 24 \text{ N/mm}^2$ (SIA 265)
 $v_X = 0.15$ (JCSS)
 $\Rightarrow \mu_X = 31.8 \text{ N/mm}^2$
- Biegesteifigkeit normalverteilt:
 $moe_k = 11000 \text{ N/mm}^2$ (SIA 265)
 $v_{MOE} = 0.15$ (JCSS)



Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis II

Bei einer Probenbelastung von 20 kN wird eine Durchbiegung von $\Delta u = 6$ mm gemessen.

$$\Rightarrow moe_{ist} \approx 13200 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu_{X|moe_{ist}} = \mu_X \left(1 + \rho_{X,MOE} v_X \frac{moe_{ist} - \mu_{MOE}}{\mu_{MOE} v_{MOE}} \right) = 35.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{X|moe_{ist}} = v_X \mu_X \sqrt{1 - \rho_{X,MOE}^2} = 2.9 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow v_{X|moe_{act}} = 0.08$$

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Semi-Probabilistischer Nachweis II

Bei einer Probenbelastung von 20 kN wird eine Durchbiegung von $\Delta u = 6$ mm gemessen.

$$\Rightarrow moe_{ist} \approx 13200 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu_{X|moe_{ist}} = \mu_X \left(1 + \rho_{X,MOE} v_X \frac{moe_{ist} - \mu_{MOE}}{\mu_{MOE} v_{MOE}} \right) = 35.7 \text{ N/mm}^2 = X_{m,act}$$

$$\sigma_{X|moe_{ist}} = v_X \mu_X \sqrt{1 - \rho_{X,MOE}^2} = 2.9 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow v_{X|moe_{act}} = 0.08 = v_{X,act}$$

$$X_{d,act} = X_{m,act} \left(1 + \alpha_X \beta_0 v_{X,act} \right) = 26.06 \text{ N/mm}^2$$

mit $\alpha_X = -0.8$; $\beta_0 = 4.2$

$$R_{M,d} = 0.8 X_{d,act} \frac{160 \times 440^2}{6} = 107.6 \text{ kNm}$$

$$n_M = \frac{107.6}{89.8} = 1.2$$

Beispiel – detaillierte Überprüfung

Probabilistischer Nachweis

$$g(\mathbf{X}) = \eta_M X \frac{bh^2}{6} - \frac{1}{8}(G + Q)\ell^2$$

$$P_f = \Pr[g(\mathbf{X}) \leq 0]$$

- Die Basisvariablen X , G und Q werden mit Zufallsvariablen repräsentiert.
- Die Versagenswahrscheinlichkeit wird ermittelt und mit dem Zielwert verglichen.

Zusammenfassung

- Die Überprüfung von Tragwerken muss basierend auf den aktualisierten Kenntnissen über das Tragwerk erfolgen.
- Dies betrifft die entsprechende Aktualisierung der Nutzungsvereinbarungen und der Projektbasis.
- Nachweise werden mit aktualisierten Bemessungswerten der Einwirkung und des Widerstandes geführt.
- Je nach Problemstellung können die Nachweise deterministisch, semi-probabilistisch und/oder probabilistisch geführt werden.
- Die Kenntnis über die genannten Nachweisformen sind entscheidend für deren Akzeptanz und Verwendung.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

Jochen Köhler

