# PROBABILISTIC ASSESSMENT OF EXISTING MASONRY STRUCTURES

The Influence of Spatially Variable Material Properties and a Bayesian Method for Determining Structure-Specific Partial Factors

**Dr.-Ing. Dominik Müller**

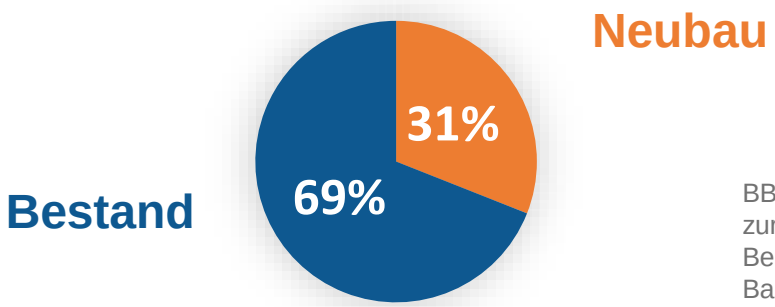
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

## PROBABILISTISCHE BEWERTUNG BESTEHENDEN MAUERWERKS

Der Einfluss räumlich streuender Materialeigenschaften und eine bayessche Methode zur Ermittlung bauwerksspezifischer Teilsicherheitsbeiwerte

# MOTIVATION

Bauleistungen in Deutschland (Wohngebäude):

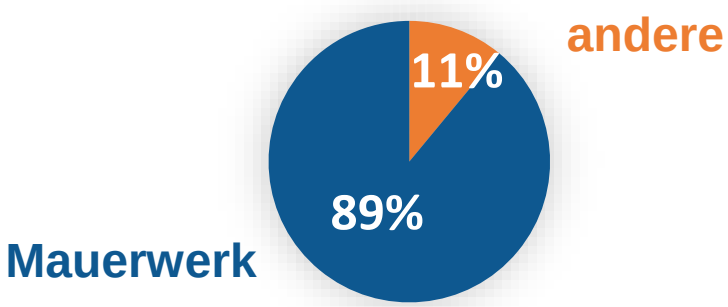



BBSR (2021): Strukturdaten zur Produktion und Beschäftigung im Baugewerbe

Verlängerung der Nutzungsdauer bestehender Bauwerke
→ Weniger **Ressourcenverbrauch** und geringere **$CO_2$-Emissionen**

Schwerpunkt der Eurocodes: Bemessung von Neubauten
→ Bedarf an **Regelwerken** für die **Nachrechnung von Bestandstragwerken**

Außenwände im deutschen Wohngebäudebestand:




Cischinsky & Diefenbach (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016

# ZUVERLÄSSIGKEIT BESTEHENDER TRAGWERKE

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

**Zielzuverlässigkeitsindex $\beta_t$ =**

Optimaler Kompromiss zwischen Sicherheit und Baukosten

Höhere Kosten zur Steigerung der Tragwerkszuverlässigkeit

→ **$\beta_t$ geringer** (= höhere akzeptierte Versagenswahrscheinlichkeit)

**EN 1990:**
**Bemessung von Neubauten**

$\beta_{t,1a}$ = 4,7

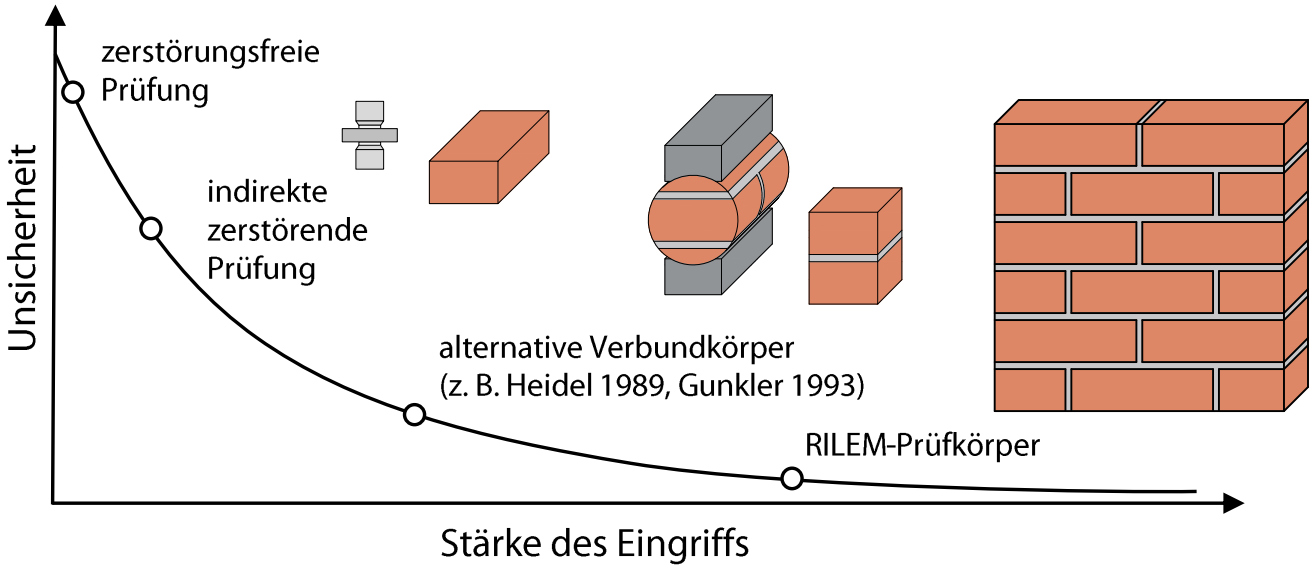
Versagenswahrscheinlichkeit
1:1 Mio. pro Jahr

**ISO 2394:**
**Differenzierung nach Kosten zur Erhöhung der Zuverlässigkeit**

$\beta_{t,1a}$ = 3,3 bei <u>hohen Kosten</u>

*Gezeigte Werte $\beta_t$ beziehen sich auf die mittlere Schadensfolgeklasse.*

## Methoden zur Ermittlung der Mauerwerksdruckfestigkeit




Indirekte zerstörende Prüfung:

- Prüfung der **Stein- und Mörteldruckfestigkeit** $f_b$ und $f_j$
- Rechnerische Ermittlung der **Mauerwerksdruckfestigkeit** $f_{ma}$

EN 1996:

$$f_{ma} = K \; f_b^{\alpha} \; f_j^{\beta}$$

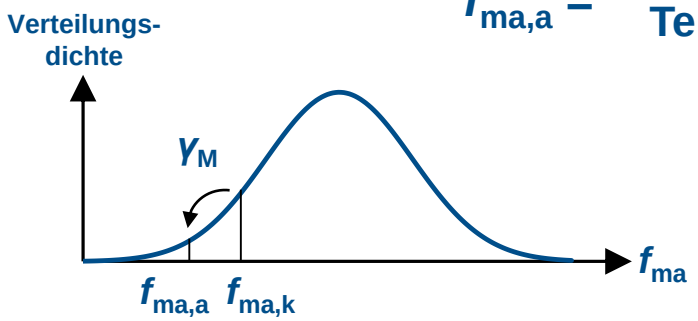
$K$, $\alpha$, $\beta$: Empirische Parameter

# FORSCHUNGSZIELE

Praxistaugliches Verfahren zur Ermittlung von **Nachrechnungswerten der Mauerwerksdruckfestigkeit $f_{ma,a}$** basierend auf Prüfergebnissen

**Definition:**
„Nachrechnungswert“ (assessment value) entspricht Bemessungswert (design value)

$$f_{ma,a} = \frac{\text{charakteristischer Wert } f_{ma,k}}{\text{Teilsicherheitsbeiwert } \gamma_M}$$




Untersuchung von

**Räumlicher Streuung**
der Materialeigenschaften
(Heterogenität innerhalb Wand)

**Statistischer Unsicherheit**
bei kleinem Stichprobenumfang
(wenige Prüfergebnisse)

Schwerpunkt: **Vollziegelmauerwerk** (häufigster Typ vor 1950)

# AUFBAU DER DISSERTATION

**Räumliche Streuung**

Experimentelle Untersuchungen

⇩

Finite-Elemente-Modellierung

⇩

Monte-Carlo-Simulation

**Statistische Unsicherheit**

Bayessche Statistik

⇩

Prüfdatenbank

⇩

Modellierung Vorinformationen

⇩ ⇩

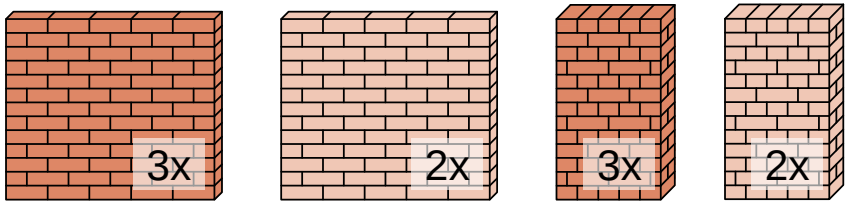
Entwicklung praxistaugliches Verfahren

# EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

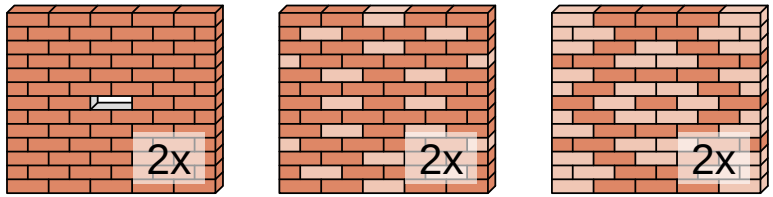
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

## 24 Prüfungen an Ziegelwänden

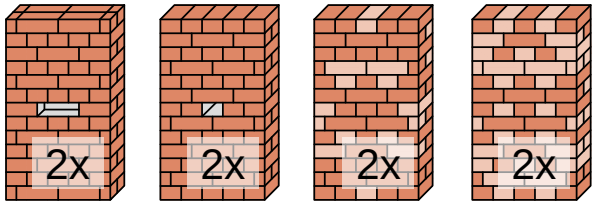
Referenzwände




Einsteinmauerwerk mit Schwachstellen



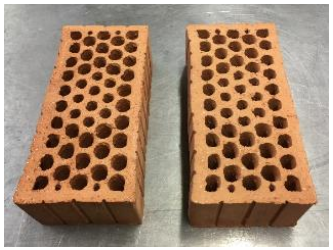

Kreuzverband mit Schwachstellen

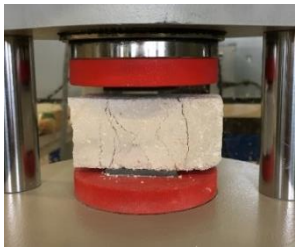



Voll-ziegel

Hochloch-ziegel

## Begleitende Prüfung an Steinen, Mörtelproben und RILEM-Prüfkörpern

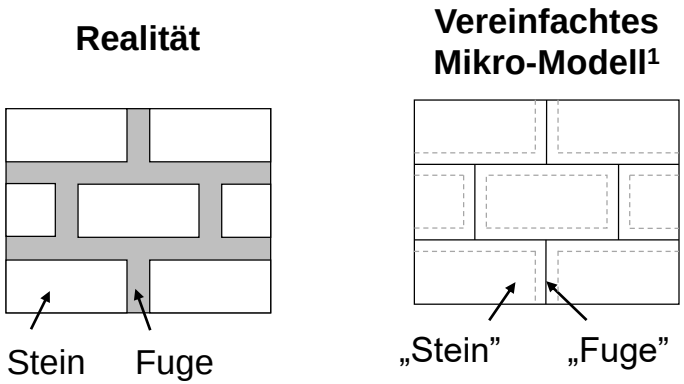




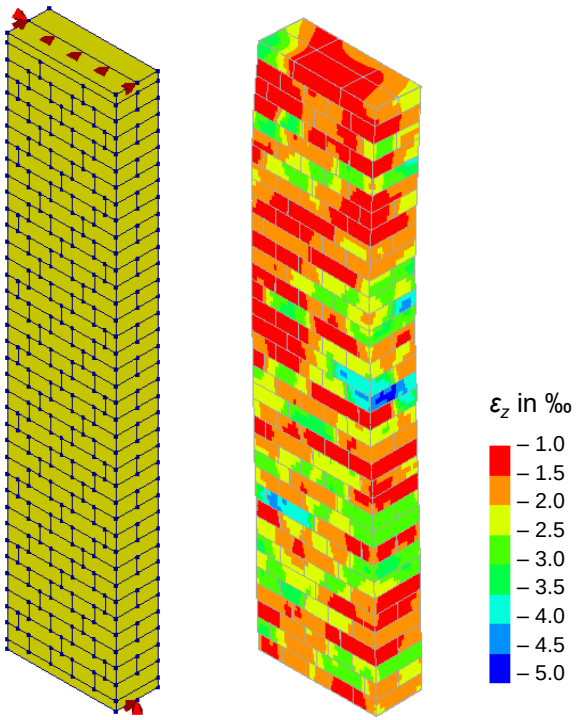
# FE-MODELLIERUNG & MONTE-CARLO-SIMULATION

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

## Vereinfachte Mikro-Modellierung




[1] Lourenco (1996): Computational Strategies for Masonry Structures




**Zufällige Materialeigenschaften** für jeden Stein
→ Ermittlung der Traglast
→ **Vielfache Wiederholung**
→ Verteilungsfunktion der Traglast

**Ziel:** Zusammenhang zwischen **Materialstreuung** und **Streuung Wandtragfähigkeit**

**Parameterstudien:** Wandlänge, Schlankheit, Lastausmitte, Verbandstyp, Steinformat

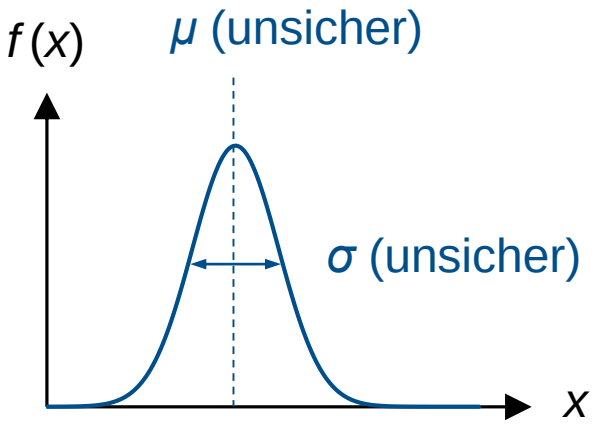
# STATISTISCHE UNSICHERHEIT

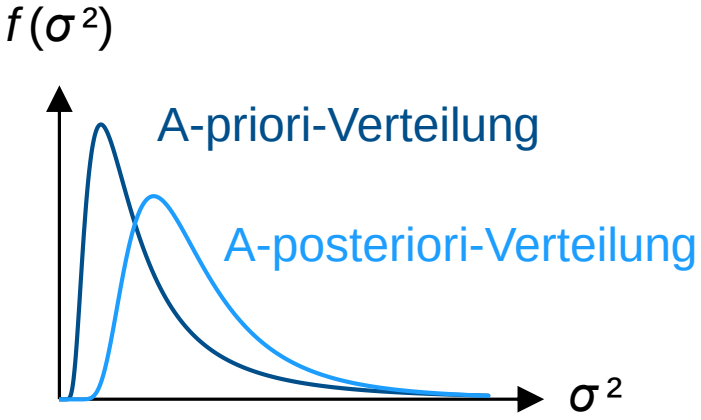
**Statistische Unsicherheit:**
„Wahrer“ Mittelwert und Standardabweichung der Stein- und Mörteldruckfestigkeit unsicher

**Bei wenigen Probekörpern:**
Starke Abminderung der Stein- und Mörteldruckfestigkeit erforderlich

**Bayessche Statistik:**
Berücksichtigung von Vorinformationen (z. B. typische Bandbreite der Streuung)

→ **Reduktion der statistischen Unsicherheit**



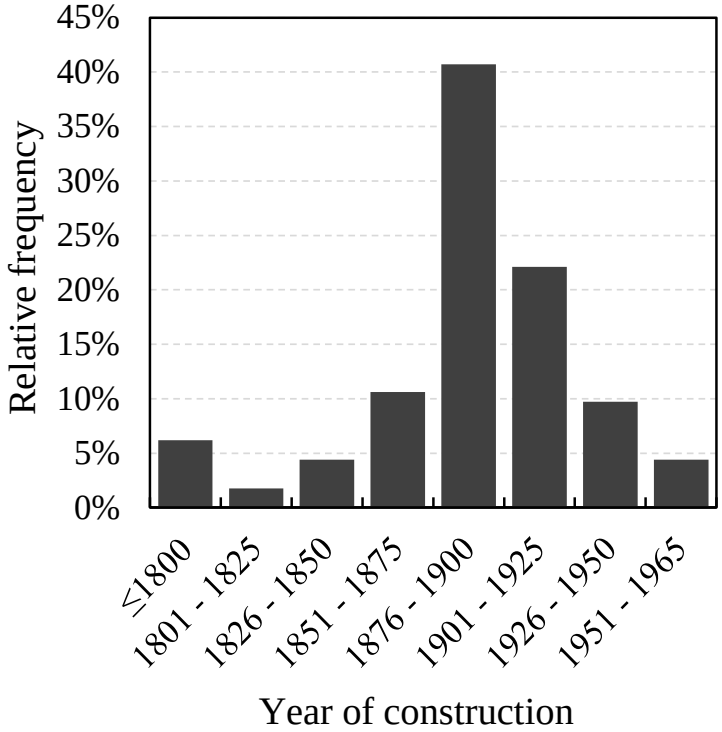



# PRÜFDATENBANK

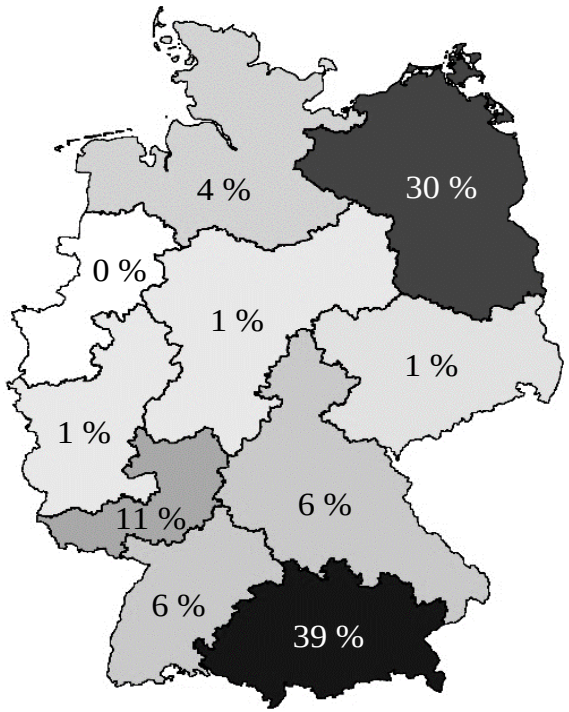
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Daten von 6 Prüflaboren:
über 4000 einzelne Prüfergebnisse der Stein- und Mörteldruckfestigkeit von **140 Bestandsgebäuden** mit **Vollziegelmauerwerk**

Anteil der Bauwerke nach Alter

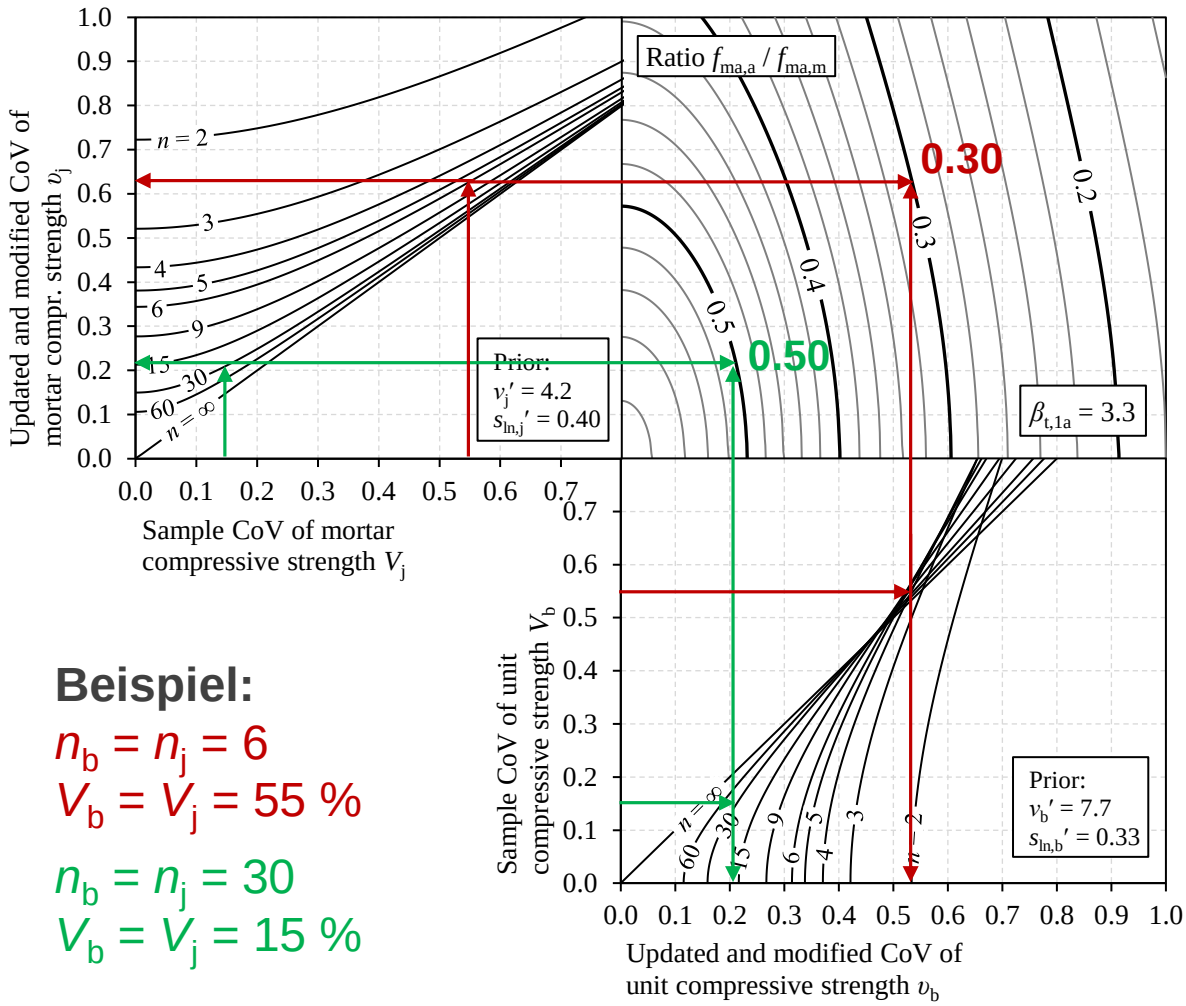


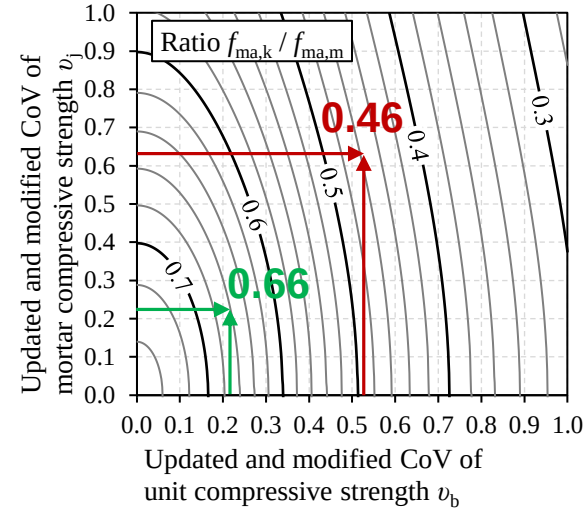

und nach 1. Ziffer Postleitzahl

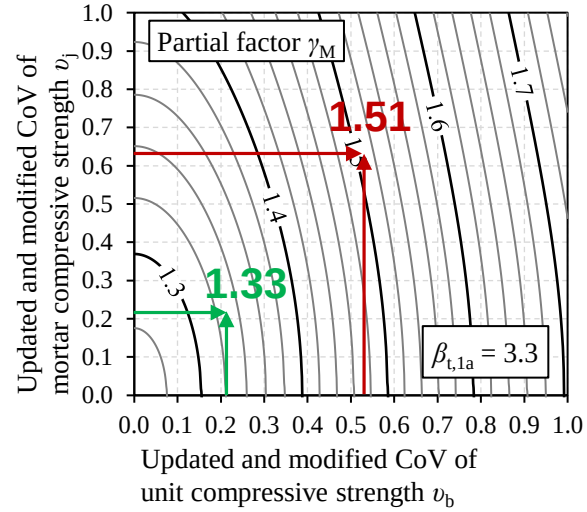


TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

## Vorgehen bei indirekter Prüfung der Mauerwerksdruckfestigkeit




**Beispiel:**

$n_b = n_j = 6$
$V_b = V_j = 55\ \%$

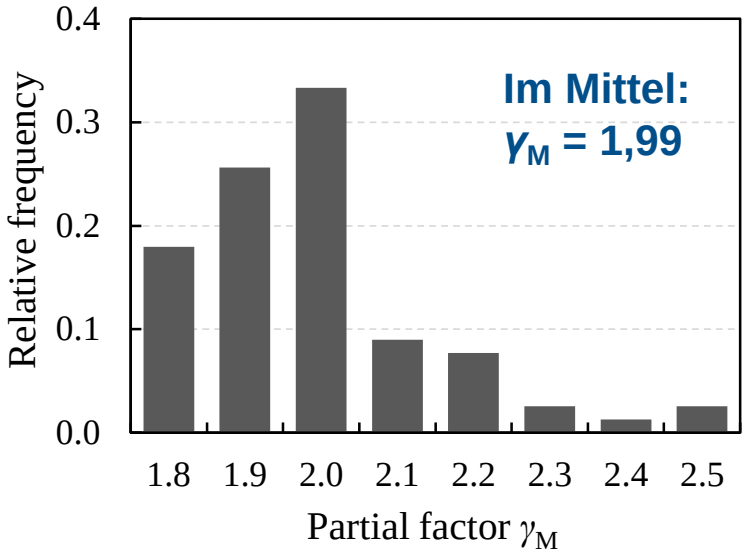
$n_b = n_j = 30$
$V_b = V_j = 15\ \%$

# TYPISCHE ERGEBNISSE

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

**Anwendung auf 78 bestehende Mauerwerksgebäude der Datenbank**
(Vollziegelmauerwerk, indirekte Prüfung)

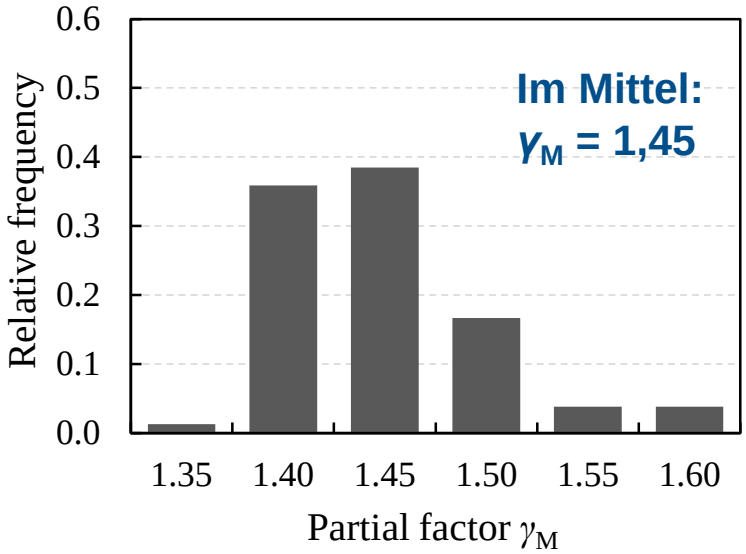
## $\beta_t$ gemäß EN 1990




Im Mittel: $\gamma_M$ > 1,5 (DIN EN 1996/NA)

**Hohe Materialstreuung**
historischen Mauerwerks

## $\beta_t$ reduziert (ISO 2394)




Im Mittel: $\gamma_M$ < 1,5

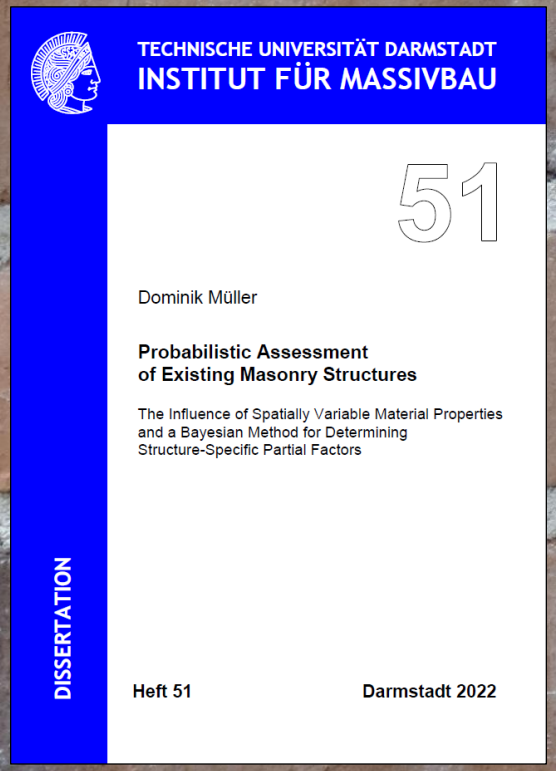
**Niedriger Ziel-Zuverlässigkeitsindex**
kompensiert hohe Streuung

# VIELEN DANK!

## PROBABILISTIC ASSESSMENT OF EXISTING MASONRY STRUCTURES

The Influence of Spatially Variable Material Properties and a Bayesian Method for Determining Structure-Specific Partial Factors

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



**Dr.-Ing. Dominik Müller**
✉ dominik.mueller@rsp-ingenieure.de
☎ 069 405 669 262