

## Zur Ermittlung von Mauerwerksfestigkeitsklassen

On the Determination of masonry strength classes  
von

Prof. Dr.-Ing. K. Kirtschig und Dr.-Ing. D. Kasten  
Universität Hannover, Bundesrepublik Deutschland

Zusammenfassung: In Ergänzung zu einem bei der 5. Internationalen Mauerwerkskonferenz gebrachten Beitrag werden Ergebnisse von weiteren Versuchen zur Ermittlung charakteristischer Mauerwerksfestigkeiten ausgewertet. Darüber hinaus wird eine Gleichung zur Ermittlung der charakteristischen Mauerwerksfestigkeiten in Abhängigkeit von der Stein- und Mörtelfestigkeit entwickelt. Sie soll vor allem für internationale Vergleiche und Festlegungen herangezogen werden können.

Summary: Complementing a report given during the 5<sup>th</sup> International Masonry Conference results of further tests for the determination of characteristic masonry strengths are evaluated. Furthermore an equation for the calculation of characteristic masonry strength depending of the brick and mortar strength is developed. It can especially be useful for international comparisons and fixations.

### 1. Einleitung

Nach der in der Bundesrepublik z.Z. gültigen Mauerwerksnorm DIN 1053 Teil 1 erfolgt die Bemessung auf Druck beanspruchter Mauerwerksbauteile nach dem System der zulässigen Spannungen. Bei dem als Entwurf vorliegenden Teil 2 von DIN 1053 "Ingenieurmäßig bemessene Bauten" wird von Festigkeitsklassen ausgegangen, denen -entgegen der bisher üblichen Vorgehensweise (mittl. Druckfestigkeiten)- Fraktilwerte zugrunde liegen. Wie bei anderen Bauarten wie beispielsweise dem Stahlbetonbau wird die Klassifizierung auch hier auf der Basis von 5 %-Fraktilwerten vorgenommen.

Auf der 5. Internationalen Mauerwerkskonferenz in Washington wurde bereits eingehend über die Auswertung von rd. 900 vorliegenden Mauerwerksversuchen berichtet, die zur Festlegung der Festigkeitsklassen führten. Da für einzelne Stein-Mörtel-Kombinationen nur eine geringe Anzahl von Versuchen vorlag bzw. die errechneten Fraktilwerte unter den vorgeschlagenen Festigkeitsklassen lagen, wurden zwischenzeitlich rd. 250 weitere Versuche durchgeführt. Alle Versuchsergebnisse sollen nunmehr in eine Gesamtauswertung einfließen.

Auf den wichtigsten Gebieten des Bauingenieurwesens wird z.Z. eine internationale Vereinheitlichung der technischen Baubestimmungen angestrebt. Dies ist auch im Bereich des Mauerwerksbaues insbesondere auch durch die Erarbeitung einer ISO-Norm der Fall. Ein wesentlicher Bestandteil eines Forschungsvorhabens, das am Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der Universität Hannover durchgeführt wird, ist die vergleichende Untersuchung der wichtigsten internationalen Mauerwerksnormen. Es soll daher in diesem Beitrag versucht werden, die in anderen Normen festgelegten Mauerwerksfestigkeitsklassen denen der deutschen Vorschrift gegenüberzustellen, um so zu international abgesicherten und anwendbaren Mauerwerksklassen zu kommen.

## 2. Berücksichtigung aller vorliegenden Versuchsergebnisse

Die bei der oben erwähnten Auswertung der Versuchsergebnisse gewählte Vorgehensweise sei hier noch einmal kurz zusammengefaßt:

1. Zur Berücksichtigung der Gestalt der Mauerwerksprüfkörper wurden die Mauerwerksfestigkeitsklassen auf an RILEM-Prüfkörpern ermittelte Festigkeiten umgerechnet.
2. Die in DIN 1053, Teil 2 angegebene Zuordnung zwischen Steinfestigkeitsklasse, Mörtelgruppe und Mauerwerksfestigkeitsklasse gilt für die Mindestwerte der bei den einzelnen Steinfestigkeitsklassen und verschiedenen Mörtelgruppen einzuhaltenden Druckfestigkeiten. Da bei den vorliegenden Versuchsergebnissen naturgemäß die Mindestwerte nicht genau gegeben waren, wurde eine Umrechnung der Mauerwerksfestigkeiten mit Hilfe der folgenden Gleichung vorgenommen:

$$R_{\text{korr.}} = \frac{\sqrt{\bar{R}_s} \cdot \sqrt[3]{\bar{R}_{\text{m}ö}}}{\sqrt{\beta_s} \cdot \sqrt[3]{\beta_{\text{m}ö}}}$$

- ( $\bar{R}_s$  = mittlere Mindestdruckfestigkeit der Steine,  
 $\beta_s$  = beim Versuch ermittelte mittl. Steinfestigkeit,  
 $\bar{R}_{\text{m}ö}$  = mittlere Mindestdruckfestigkeit des Mörtels,  
 $\beta_{\text{m}ö}$  = beim Versuch ermittelte mittlere Mörtelfestigkeit).

3. Aus den nach 1. und 2. umgerechneten Mauerwerksfestigkeiten wurden für die verschiedenen Stein-Mörtel-Kombinationen die 5 %-Fraktilwerte errechnet. Hierbei wurde eine logarithmische Normalverteilung zugrunde gelegt und die Standardabweichung der Grundgesamtheit verwendet.
4. Anhand der unter 3. ermittelten 5 %-Fraktilen wurden die Mauerwerksfestigkeitsklassen festgelegt.

Aus der Tabelle 1 ist die Aufteilung aller vorliegenden Mauerwerksversuche auf die verschiedenen Steinarten und Mörtelgruppen zu ersehen. Hierzu sei noch angemerkt, daß die Mörtelgruppe II in DIN 1053, Teil 2 nicht vorgesehen ist. Die Versuche mit dieser Mörtelgruppe wurden dennoch wegen der vergleichenden Untersuchung mit anderen internationalen Mauerwerksnormen mit einbezogen.

Tabelle 1: Aufteilung der vorliegenden Mauerwerksversuche auf die verschiedenen Steinarten und Mörtelgruppen

Steinart	Anzahl der Versuche bei Mörtelgruppe (Mörteldruckfestigkeit in N/mm <sup>2</sup> )			
	II	IIa	III	IIIa
	(2,5)	(5,0)	(10,0)	(20,0)
1	2	3	4	5
Mauerziegel DIN 105	29	70	60	42
Kalksandsteine DIN 106	100	181	152	40
Gasbetonsteine DIN 4165	27	68	48	-
Hohlblocksteine aus Leichtbeton DIN 18151	25	52	64	-
Vollsteine und Vollblöcke aus DIN 18152 Leichtbeton	4	41	16	-
Hohlblocksteine aus Beton mit geschlosse- nem Gefüge DIN 18153	3	6	6	-

Die errechneten Fraktilwerte der Mauerwerksfestigkeiten (charakteristische Festigkeiten) sind in den Bildern 1 - 4 getrennt für die einzelnen Mörtelgruppen über den mittleren Steindruckfestigkeiten aufgetragen. Sie sind außerdem in Tabelle 2 zusammengestellt. Die vorgesehenen Mauerwerksfestigkeitsklassen nach DIN 1053, Teil 2 sind ebenfalls in den Bildern eingezeichnet. Bei den im Bild 1 für die Mörtelgruppe II eingetragenen Mauerwerksfestigkeitsklassen handelt es sich um einen aus den errechneten 5 %-Fraktilen abgeleiteten Vorschlag, der in DIN 1053, Teil 2 nicht enthalten ist. Den Darstellungen kann man entnehmen, daß mit den festgelegten Mauerwerksfestigkeitsklassen die 5 %-Fraktilen überwiegend nicht unterschritten werden, daß aber auch z.T. Anlaß besteht, noch einige Werte experimentell zu überprüfen.

Tabelle 2: Zusammenstellung der charakteristischen Festigkeiten

Stein- festig- keits- klasse	Stein- art nach DIN	Charakteristische Mauerwerksfestigkeit $\text{N/mm}^2$ bei Verwendung von Mörtel der Mörtelgruppe			
		II	IIa	III	IIIa
1	2	3	4	5	6
2	4165	1,36	1,50	1,72	-
	18151	1,19	1,54	1,72	-
	18152	1,20	1,40	-	-
4	4165	2,21	2,53	2,56	-
	18151	2,06	2,75	2,77	-
	18152	-	2,27	2,98	-
	106 <sup>2)</sup>	2,05	2,44	-	-
6	4165	-	2,64	2,53	-
	18151	2,71	2,97	3,06	-
	18152	-	3,26	3,09	-
	105	-	3,73	4,24	-
	106 <sup>2)</sup>	2,51	3,14	3,22	-
12	18153	4,61	5,51	7,30	-
	18152	-	5,64	6,42	-
	105 <sup>2)</sup>	-	5,05	5,80	-
	106 <sup>1)</sup>	5,40	6,11	5,25	-
	106 <sup>2)</sup>	4,42	4,14	-	-
20	105 <sup>1)</sup>	3,74	-	-	-
	105 <sup>2)</sup>	3,12	5,21	6,25	7,54
	106 <sup>1)</sup>	6,37	8,00	8,94	11,00
	106 <sup>2)</sup>	5,69	6,09	7,45	6,00
28	105 <sup>2)</sup>	4,96	5,78	7,94	-
	106 <sup>1)</sup>	10,71	9,38	10,91	9,39
	106 <sup>2)</sup>	-	8,56	-	-
36	105 <sup>2)</sup>	3,64	-	10,18	13,33
	106 <sup>1)</sup>	12,31	-	12,93	14,21
	105 <sup>1)</sup>	-	-	7,28	9,06
48	105 <sup>2)</sup>	-	-	11,25	14,58
	106 <sup>1)</sup>	-	-	16,83	17,21
60	105 <sup>2)</sup>	-	-	13,30	19,13
	106 <sup>1)</sup>	-	-	19,60	24,08

1) Vollsteine    2) Lochsteine

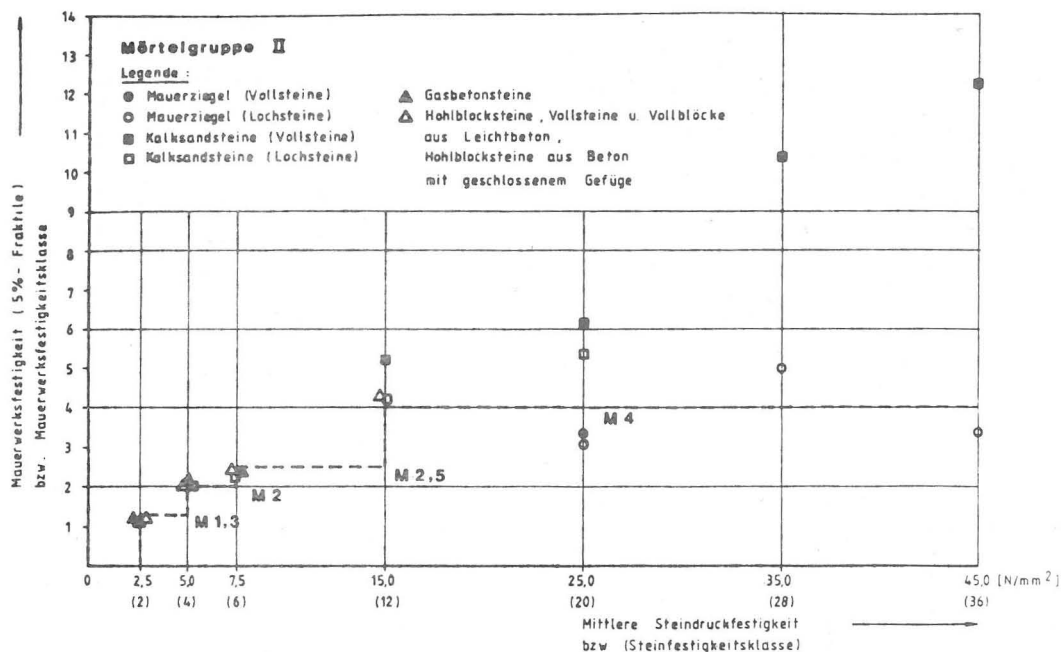


Bild 1: Zusammenhang zwischen der 5 %-Fraktile der Mauerwerksfestigkeit und der Steindruckfestigkeit (Mörtelgruppe II)

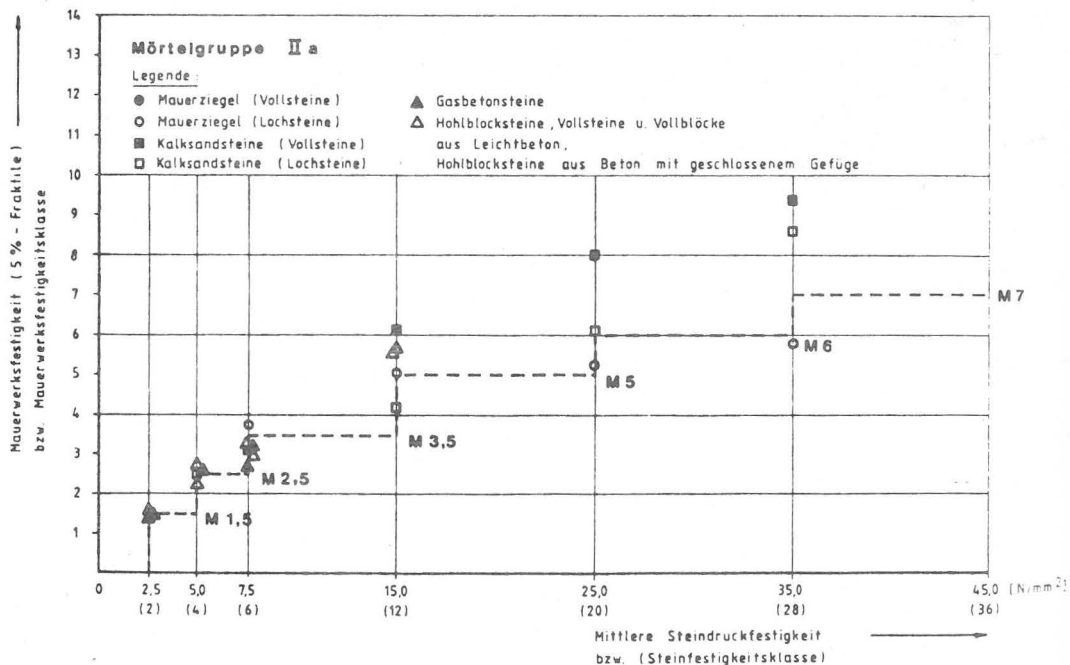
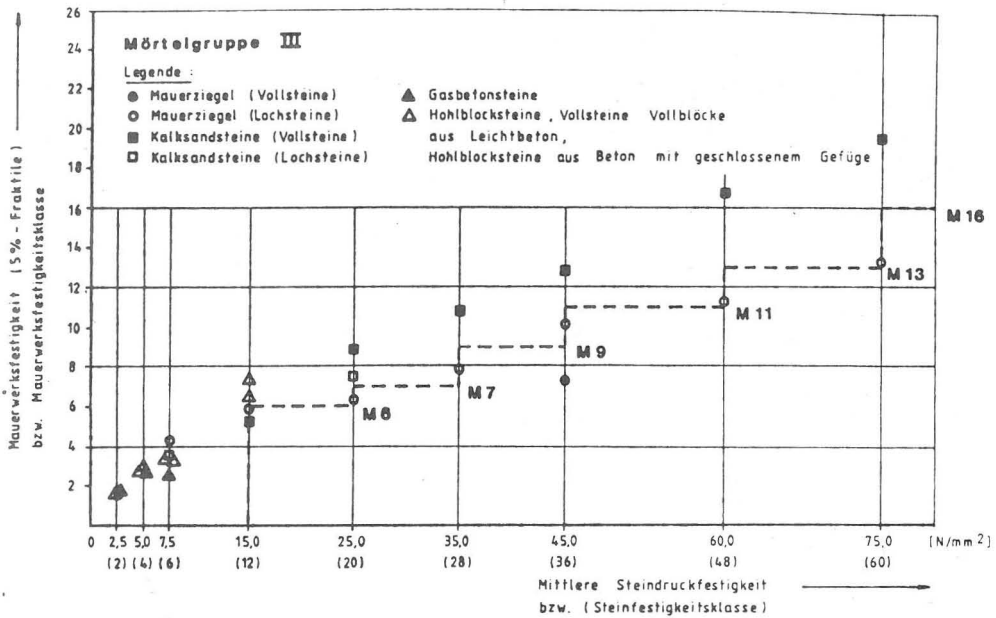
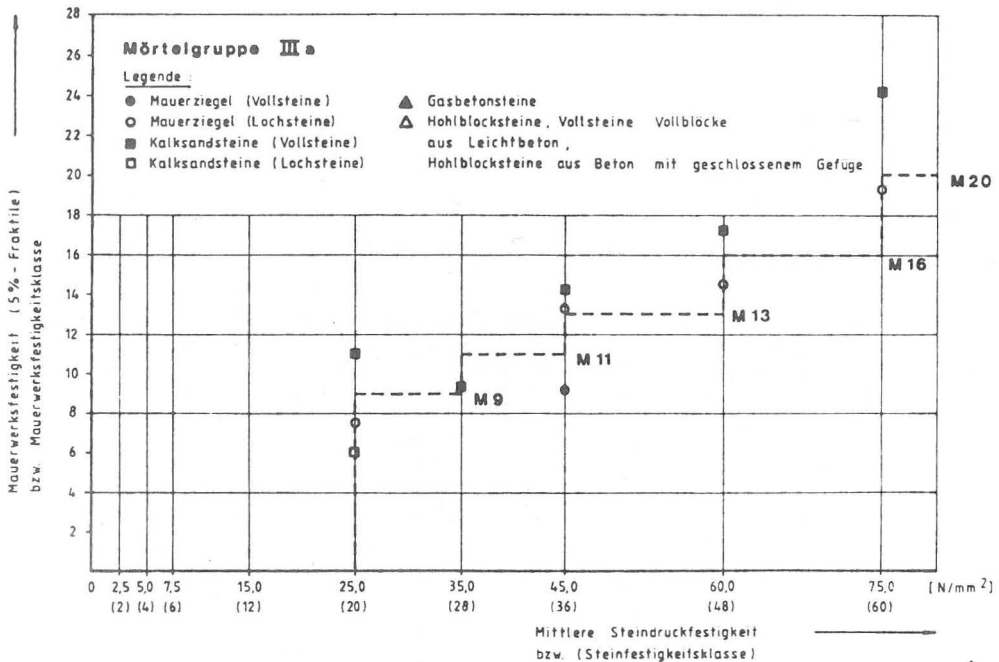


Bild 2: Zusammenhang zwischen der 5 %-Fraktile der Mauerwerksfestigkeit und der Steindruckfestigkeit (Mörtelgruppe IIa)



**Bild 3:** Zusammenhang zwischen der 5 %-Fraktile der Mauerwerksfestigkeit und der Steindruckfestigkeit (Mörtelgruppe III)



**Bild 4:** Zusammenhang zwischen der 5 %-Fraktile der Mauerwerksfestigkeit und der Steindruckfestigkeit (Mörtelgruppe IIIa)

Die bisher gebrachten Darlegungen sind -abgesehen vielleicht von der Darlegung zur Vorgehensweise zur Ermittlung von Mauerwerksfestigkeitsklassen- nur von nationalem Interesse. Folgt man allerdings den Bestrebungen, technische Vorschriften zu internationalisieren, so können die für den nationalen Bereich durchgeführten Versuche ebenfalls herangezogen werden, wenn man nur davon ausgeht, daß die Mauerwerksfestigkeit von der mittleren Steinfestigkeit und der mittleren Mörteldruckfestigkeit abhängig ist. Man kann dann wie folgt vorgehen:

1. Die ermittelten mittleren 5 %-Fraktilen der Mauerwerksfestigkeit werden getrennt für jede Mörtelgruppe in Abhängigkeit von der mittleren Steinfestigkeit aufgetragen (vgl. die Bilder 5 und 6).

2. Durch die Einzelwerte können ausgleichende Kurven von der Form

$$R_M = \frac{a \cdot R_{St}}{b + R_{St}}$$

( $R_M$  = mittlere 5 %-Fraktilen,  
 $R_{St}$  = mittlere Steinfestigkeit,  
 a und b durch Ausgleichsrechnungen zu bestimmende Festwerte),

gelegt werden (siehe ebenfalls Bilder 5 und 6).

3. Die bei den verschiedenen Mörtelgruppen errechneten Festwerte a und b können in Abhängigkeit von der mittleren Mörteldruckfestigkeit aufgetragen und als Funktionen von dieser ebenfalls durch Ausgleichsrechnungen ermittelt werden (siehe Bild 7). Die so erhaltenen Funktionen  $a = f_1$  (mittlere Mörteldruckfestigkeit) und  $b = f_2$  (mittlere Mörteldruckfestigkeit) können in die Gleichung für  $R_M$  (siehe unter 2.) eingesetzt werden. Man erhält dann eine Gleichung zur Berechnung der 5 %-Fraktilen der Mauerwerksfestigkeit in Abhängigkeit von der mittleren Steindruckfestigkeit und mittleren Mörteldruckfestigkeit. Diese Gleichung hat den Vorteil, daß sie in einer internationalen Norm verankert werden könnte und daß aber in korrespondierenden nationalen Normen, die die örtlichen und traditionellen Gegebenheiten zu berücksichtigen haben, beliebige mittlere Stein- bzw. Mörtelfestigkeiten eingesetzt werden können. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß die Prüfverfahren zur Ermittlung der Stein- und Mörteldruckfestigkeit international festgelegt werden. Auch hieran wird auf ISO-Ebene gearbeitet.

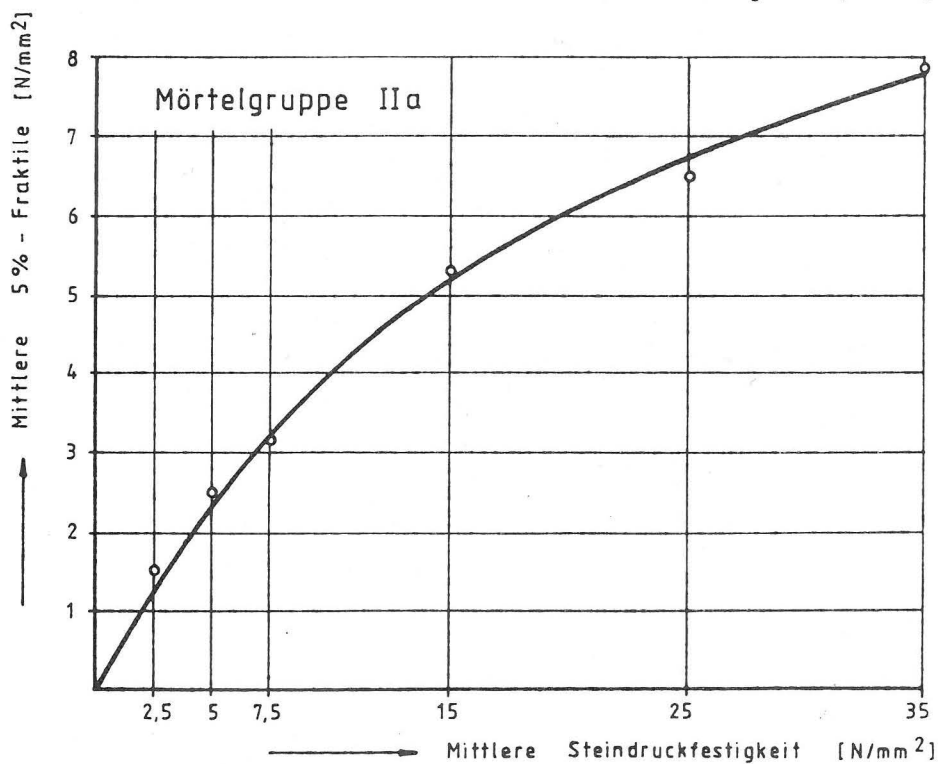
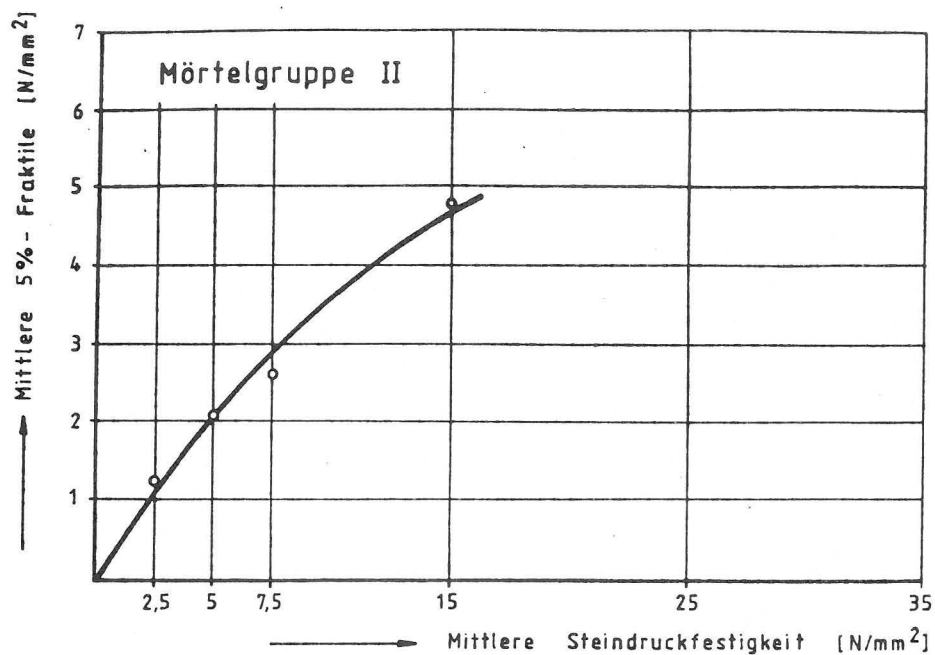


Bild 5: 5 %-Fraktile in Abhängigkeit von der mittleren Steinfestigkeit bei den Mörtelgruppen II (oben) und IIa (unten)



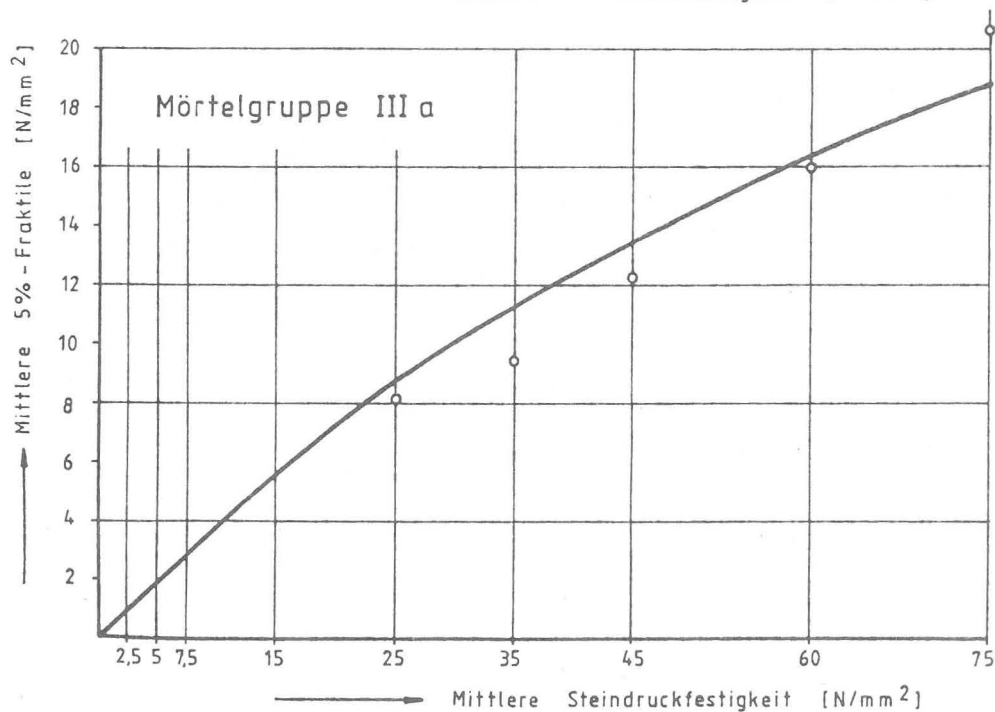
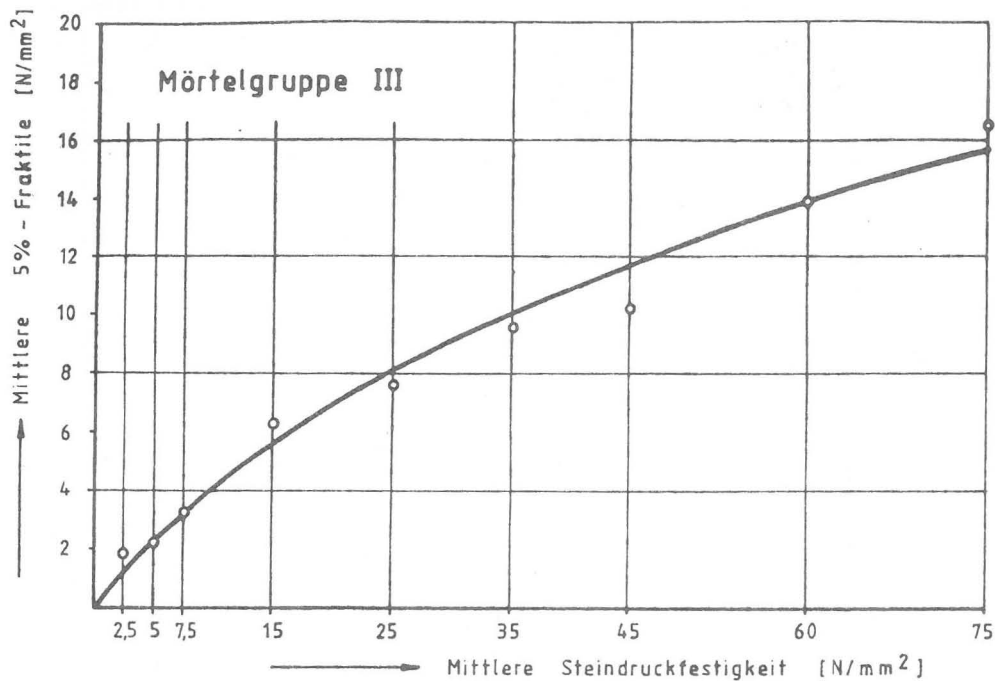


Bild 6: 5 %-Fraktilen in Abhängigkeit von der mittleren Steinfestigkeit bei den Mörtelgruppen III (oben) und IIIa (unten)

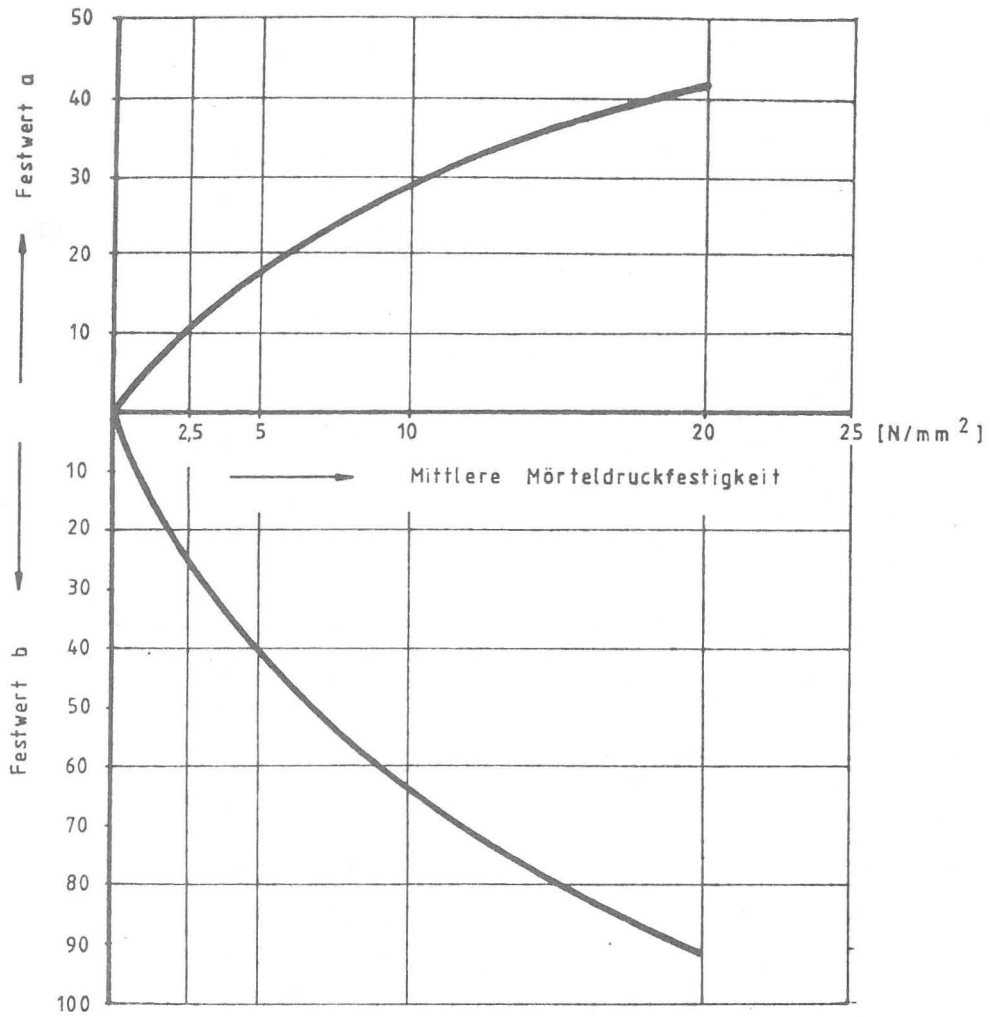


Bild 7: Festwerte a und b in Abhängigkeit von der mittleren Mörteldruckfestigkeit

Die vorstehend beschriebenen Schritte wurden im einzelnen durchgeführt: Als Festwerte a und b für die Gleichung nach 2. wurden erhalten:

bei MG II	:	a = 12,8	b = 25,8
bei MG IIa	:	a = 12,5	b = 21,1
bei MG III	:	a = 27,9	b = 60,6
bei MG IIIa	:	a = 42,3	b = 95,2

Für die unter 3. genannten Funktionen  $a = f_1$  und  $b = f_2$  wurde ermittelt:

$$a = \frac{73,6 \cdot R_{Mö}}{15,6 + R_{Mö}} \quad b = \frac{150,6 \cdot R_{Mö}}{13,1 + R_{Mö}}$$

Setzt man diese in die Gleichung für  $R_M$  ein, so erhält man die allgemein gültige Gleichung

$$R_M = \frac{\frac{73,6 \cdot R_{Mö}}{15,6 + R_{Mö}} \cdot R_{St}}{\frac{150,6 \cdot R_{Mö}}{13,1 + R_{Mö}} + R_{St}}$$

Von nicht geringem Interesse ist, wie sich die aus vorstehender Gleichung zu errechnenden Fraktilwerte in z.Z. vorhandene nationale Normenwerke einfügen. Hierzu sind in den Bildern 8 und 9 entsprechende Werte eingezeichnet. Man erkennt, daß die errechneten charakteristischen Werte sich praktisch als obere Einhüllende der verschiedenen Mauerwerksfestigkeitsklassen darstellen. Dies bedeutet, daß die entwickelte Gleichung zu brauchbaren charakteristischen Mauerwerksfestigkeiten führt und Grundlage für internationale Festlegungen sein kann.

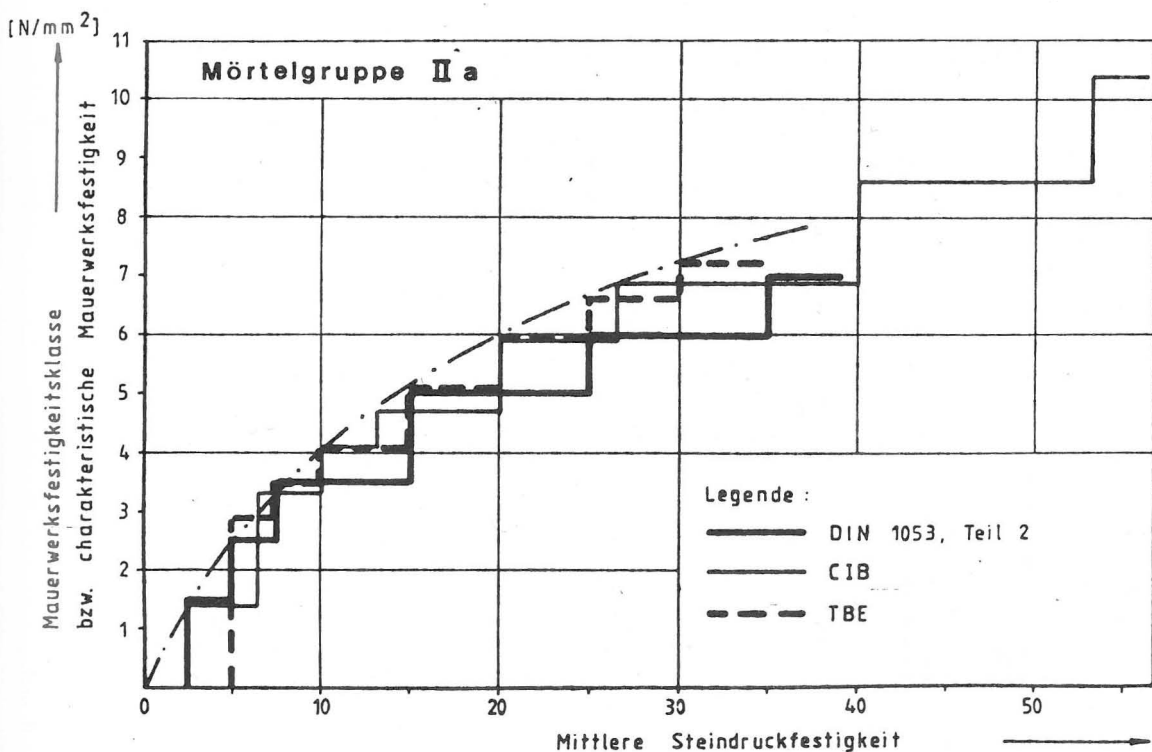
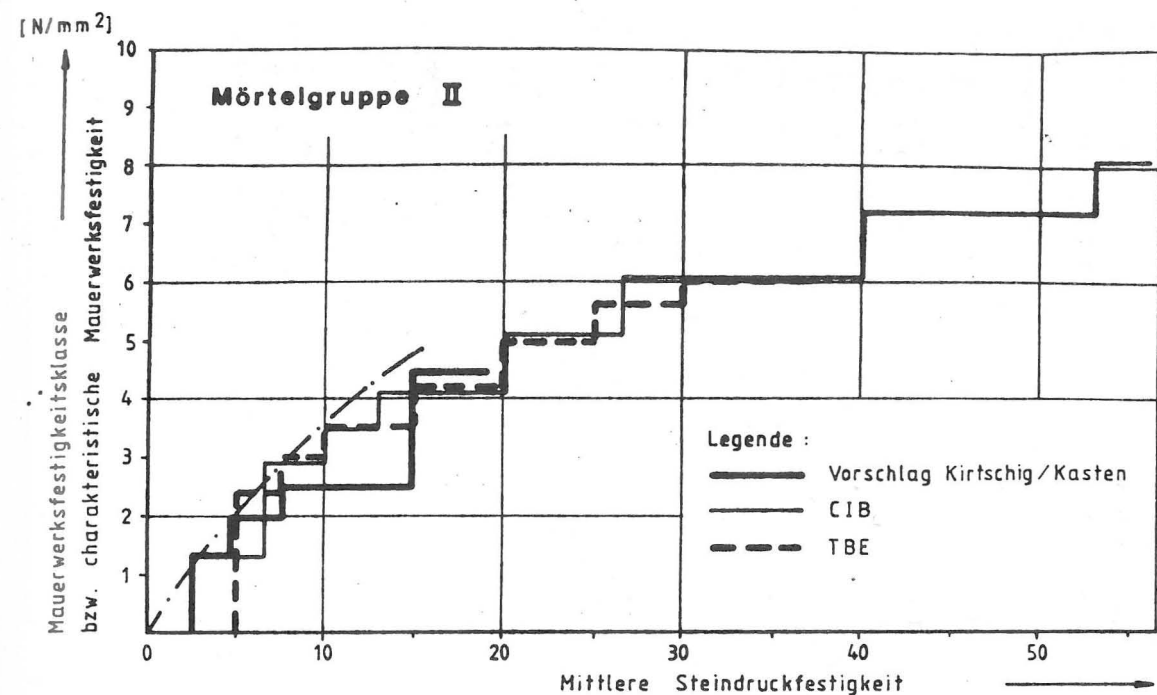


Bild 8: Zusammenhang zwischen der Mauerwerksfestigkeitsklasse und der Steindruckfestigkeit bei den verschiedenen internationalen Mauerwerksnormen (Mörtelgruppen II u. IIa)

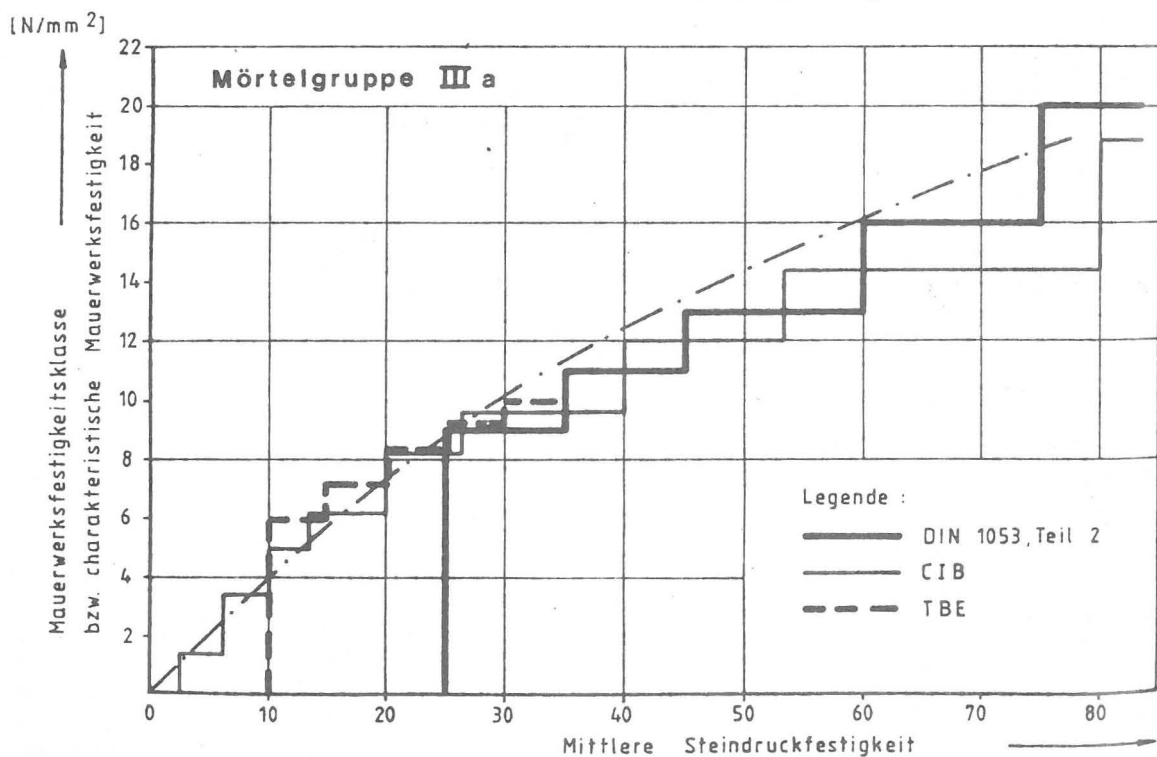
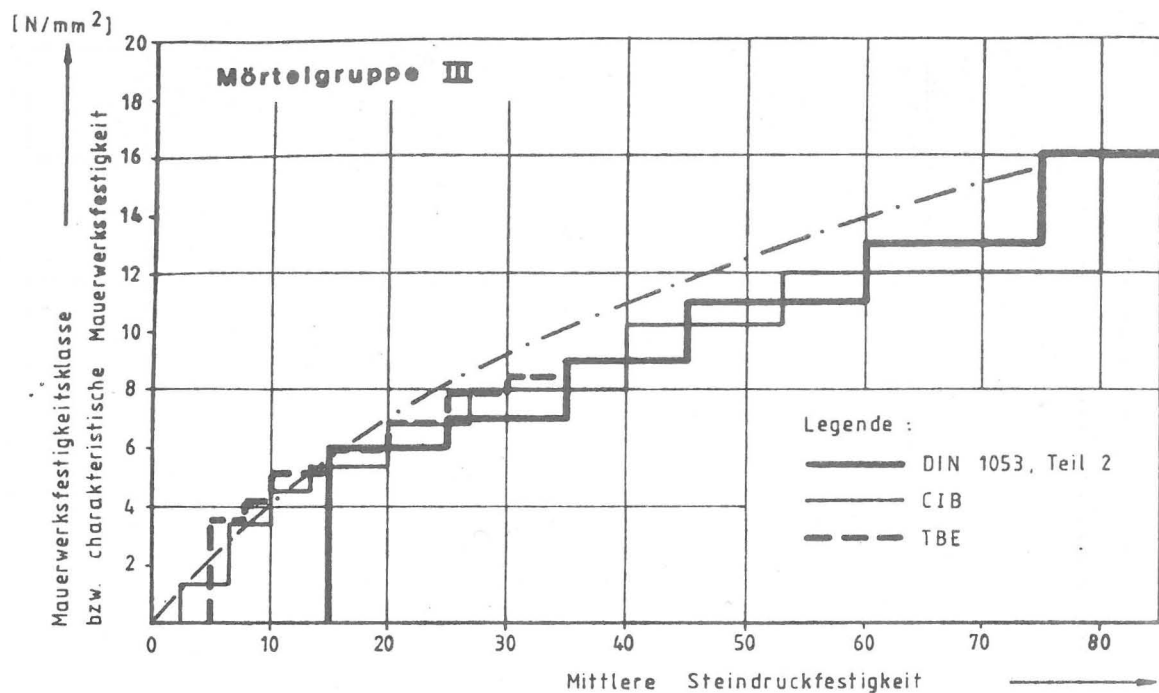


Bild 9: Zusammenhang zwischen der Mauerwerksfestigkeitsklasse und der Steindruckfestigkeit bei den verschiedenen internationalen Mauerwerksnormen (Mörtelgruppen III u. IIIa)