

**Grenzen der Anwendbarkeit  
von Drahtankern für die  
Verankerung der Vormauerschale  
an einer Hintermauerschale aus  
Kalksandhohlblocksteinen oder  
Hohlblöcken aus Beton oder  
Leichtbeton**

**T 3375**

T 3375

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2020

ISBN 978-3-7388-0485-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

# Schlussbericht

„Grenzen der Anwendbarkeit von Drahtankern für die Verankerung der Vormauerschale an einer Hintermauerschale aus Kalksandhohlblocksteinen oder Hohlblöcken aus Beton oder Leichtbeton“

Projektleiter:	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Lohaus
Bearbeiter:	Tobias Schack, M.Sc.

## Forschungsstelle



Institut für  
**Baustoffe**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Lohaus

Leibniz Universität Hannover

Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen

Institut für Baustoffe

Appelstraße 9A und Nienburger Straße 3

30167 Hannover

Tel.: 0511 – 762 – 3722

Fax: 0511 – 762 - 4736

E-Mail: [institut@baustoff.uni-hannover.de](mailto:institut@baustoff.uni-hannover.de)

<http://www.institut-fuer-baustoffe.de>



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>3</b>
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	3
1.2	Ziel des Forschungsvorhabens .....	4
<b>2</b>	<b>Marktanalyse gängiger Lochanordnungen in Mauersteinen.....</b>	<b>5</b>
2.1	Kalksandsteine.....	5
2.2	Hohlblöcke aus Normalbeton .....	8
2.3	Hohlblöcke aus Leichtbeton .....	10
2.4	Theoretisch mögliche ungünstige Einbausituationen bei üblichen Steinformaten .	10
<b>3</b>	<b>Versuchsplanung .....</b>	<b>13</b>
3.1	Arbeitsprogramm .....	13
3.1.1	Kalksand-Lochsteine .....	13
3.1.2	Hohlblöcke aus Leichtbeton.....	15
3.2	Prüfverfahren .....	16
3.2.1	Steinprüfungen.....	16
3.2.2	Bestimmung der Zug- und Drucktragfähigkeit von Mauerankern.....	16
3.3	Verwendete Materialien .....	18
3.3.1	Drahtanker .....	18
3.3.2	Normalmauermörtel .....	18
3.3.3	Kalksand-Lochsteine .....	18
3.3.4	Hohlblöcke aus Leichtbeton.....	18
<b>4</b>	<b>Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen.....</b>	<b>20</b>
4.1	Ergebnisse der Steinprüfungen.....	20
4.2	Ergebnisse der Zug- und Drucktragfähigkeitsuntersuchungen der Drahtanker.....	20
4.2.1	Kalksand-Lochsteine .....	21
4.2.2	Hohlblocksteine aus Leichtbeton.....	25
<b>5</b>	<b>Ergänzende Versuche – Wandversuche .....</b>	<b>28</b>
5.1	Verwendete Materialien und Versuchsaufbau .....	29
5.2	Versuchsergebnisse.....	29
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>32</b>
	<b>Literatur.....</b>	<b>36</b>
	<b>Durchführende Forschungsstelle .....</b>	<b>37</b>

Anhang.....38

**Förderhinweis:**

*Das Forschungsvorhaben wurde durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) gefördert.*

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Zweischaliges Mauerwerk wird in Deutschland gemäß DIN EN 1996-1-1 [N1] gemeinsam mit DIN EN 1996-1-1/NA [N2] hergestellt. Dabei kommen u. a. Mauersteine nach DIN EN 771-1 [N3] bis DIN EN 771-4 [N4] mit den zusätzlichen Verwendungsregeln nach DIN V 20000-402 [N5] bis DIN V 20000-404 [N6] zur Anwendung. Zur Verankerung der Vor- mit der Hintermauerschale werden Maueranker verwendet. Werden sowohl die Hinter- als auch die Vormauerschale im Dickbettverfahren mit Normalmauermörtel hergestellt, können Drahtanker mit L-Haken als Maueranker verwendet werden. Dieser Standardfall wird in DIN EN 1996-1-1 gemeinsam mit DIN EN 1996-1-1/NA mit definierten Randbedingungen beschrieben und kann als Standardbauweise angewendet werden. Die wesentlichen Randbedingungen, wie z. B. Dickbettverfahren mit Normalmauermörtel, Drahtanker mit L-Haken ( $\varnothing$  4 mm), Schalenabstand bis 150 mm, gelten für alle Mauersteine nach den o. g. Normen. Der Einbau der Drahtanker im Standardfall mit den zugehörigen Grenzabständen ist in DIN EN 1996-1-1/NA, Bild NA.9 abgebildet (vgl. Abbildung 1). Die Norm gibt für diesen Fall in Abhängigkeit der Windzone und der Gebäudehöhe die Mindestanzahl der Drahtanker je  $m^2$  an. Weichen Form und Maße der Drahtanker oder andere Randbedingungen von den festgelegten Anforderungen ab, so müssen Maueranker auf Grundlage einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung verwendet werden. In der Vorgängernorm zur Herstellung von zweischaligem Mauerwerk (DIN 1053-1 [N7]) waren vergleichbare Anforderungen zur Anwendung von Drahtankern angegeben. Ergänzend wurde dort der Hinweis aufgenommen, dass bei einer vergleichbaren nicht der Norm entsprechenden Drahtankervariante eine Zug- und Druckkraft von mindestens 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf je Drahtanker nachgewiesen werden muss.

Neben Vollsteinen werden in Deutschland vorwiegend gelochte Steine der Gruppe 2 gemäß DIN EN 1996-1-1 verwendet. Die Grenzen der Lochung und der verbleibenden Stegdicken sind dabei für die einzelnen Steinarten relativ weit gefasst. Bei Kalksand-Lochsteinen sowie Kalksandhohlblocksteinen und bei Hohlblöcken aus Normalbeton oder Leichtbeton sind, je nachdem, wie weit aus der darüber versetzten Steinschicht Löcher über den eingemörtelten Ankern liegen verminderte Auszugswerte als bei Vollsteinen bzw. Vollblöcken zu erwarten. Einzelne Tastversuche mit ausgewählten

präparierten Kalksandsteinen der Steingruppe 2 zeigten bei Auszugversuchen deutlich geringere Tragfähigkeiten unterhalb von 1 kN bei 1,0 mm Schlupf<sup>1</sup>. Insofern ist beim gegenwärtigen Normungsstand eine Sicherheitslücke unbekannter Größe nicht auszuschließen.

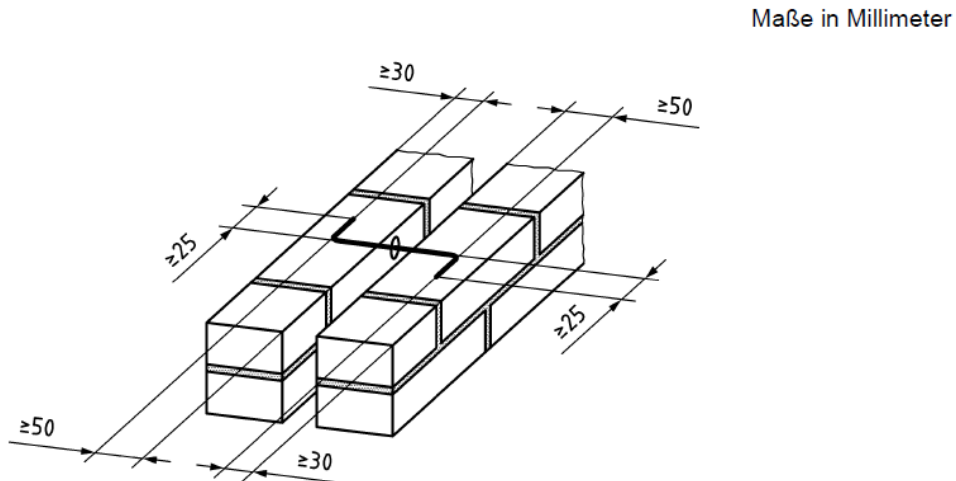


Abbildung 1: Drahtanker für zweischalige Außenwände (DIN EN 1996-1-1/NA, Bild NA.9)

## 1.2 Ziel des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, durch entsprechende Versuchsserien die Grenzen der Anwendbarkeit von Drahtankern insbesondere hinsichtlich Lochung und Steinart festzustellen und einen Vorschlag für eine Korrektur bei den Anwendungsgrenzen der Bauart in DIN EN 1996-1-1/NA zu erarbeiten. Die folgenden Arbeitspakete werden im Rahmen des Forschungsvorhabens bearbeitet:

- Marktanalyse gängiger Lochanordnungen in Mauersteinen im Spiegelbild zur Normungssituation
- Durchführung von experimentellen Versuchen zur Bestimmung der Zug- und Drucktragfähigkeit von Drahtankern unter Variation der Steinart (Kalksandstein, Beton und Leichtbeton), der Lochung und der Positionierung der Drahtanker zum Loch
- Auswertung und Identifizierung sinnvoller Anwendungsgrenzen von Drahtankern hinsichtlich Steinart und Lochung

<sup>1</sup> Materialprüfanstalt für das Bauwesen Hannover - Prüfbericht Nr. 150685

## 2 Marktanalyse gängiger Lochanordnungen in Mauersteinen

In Deutschland gilt für den Entwurf, die Berechnung und Bemessung von tragenden und nicht tragenden Außenwänden aus Mauerwerk die DIN EN 1996-1-1 in Verbindung mit DIN EN 1996-1-1/NA. Die Merkmale und Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der einzelnen Mauersteinarten werden dabei in jeweils gesonderten Normen festgelegt. Darin sind Produkteigenschaften, z. B. bezüglich Festigkeit, Rohdichte und Maßabweichungen festgelegt, die nach in gesonderten europäischen Normen enthaltenen Prüfverfahren bestimmt werden. Mauersteine, die außer dem CE-Kennzeichen keine weitere Kennzeichnung zu deren Verwendbarkeit tragen, sind vom Anwender gemäß den Bestimmungen der deutschen Anwendungsnormen zu überprüfen.

### 2.1 Kalksandsteine

Tabelle 1 zeigt die maßgebenden geometrischen Anforderungen für Kalksandsteine aller Formate gemäß DIN EN 1996-1-1 mit DIN EN 1996-1-1/NA sowie der deutschen Anwendungsnorm DIN 20000-402. Infolge des prozentualen Anteils und der Lage der Lochungen werden die Mauersteine in der DIN EN 1996-1-1 in die Mauersteingruppen 1-4 unterteilt. Innerhalb dieser einzelnen Steingruppen erfolgt eine zusätzliche Unterteilung infolge der Steinarten. Die DIN V 20000-402 berücksichtigt dagegen keine Einteilung in unterschiedliche Steingruppen. Der Gesamtlochanteil wird gemäß DIN EN 1996-1-1 prozentual in Abhängigkeit des Bruttovolumens und der jeweiligen Steingruppe begrenzt. Demgegenüber ist nach DIN V 20000-402 der zulässige Gesamtlochanteil für Loch- und Hohlblocksteine zwischen 15 % und 50 % der Lagerfläche begrenzt. Die minimalen Innenstegdicken variieren zwischen den beiden Normen nur geringfügig. Zur Verankerung von Mauerwerk mit Drahtankern stellt die Außenstegdicke eine maßgebende Einflussgröße dar. Unabhängig der Normen darf die Außenstegdicke bei Kalksandsteinen 10 mm nicht unterschreiten.



Tabelle 1: Anforderungen an Kalksandsteine gemäß DIN EN 1996-1-1 und DIN V 20000-402

Steinart	Kalksandstein	
	DIN EN 1996-1-1 (europäisch)	DIN V 20000-402 (deutsch)
<b>Gesamtlochanteil</b>	in Abh. der jeweiligen Gruppe [% des Bruttovolumens] Gruppe 1: $\leq 25$ Gruppe 2: $> 25; \leq 60$	$\leq 50$ [% der Lagerfläche] (Loch- und Hohlblocksteine: $> 15; \leq 50$ )
<b>Einzellochanteil</b>	in Abh. der jeweiligen Gruppe [% des Bruttovolumens] Gruppe 1: $\leq 12,5$ Gruppe 2: Mehrfachlöcher $\leq 15$ ; Grifflöcher bis 30	in Abh. der Lochung werden Grenzdurchmesser der Einzellöcher angegeben
<b>Innenstegdicke [mm]</b>	Gruppe 1: k.A. Gruppe 2: $\geq 5$	7 bzw. 5 (vereinzelt)
<b>Außenstegdicke [mm]</b>	Gruppe 1: k.A. Gruppe 2: $\geq 10$	10

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen Kalksand-Lochsteine im Format 3DF mit zwei in der Praxis vielfach eingesetzten Lochbildern. Die einzelnen Lochdurchmesser der Variante 1 variieren neben dem mittigen Griffloch zwischen 30 mm und 42 mm. Die minimale Außenstegdicke beträgt 22 mm, so dass die normativ geforderte Mindest-Außenstegdicke von 10 mm deutlich überschritten ist. Bei Variante 2 ist die Lochgeometrie neben dem mittigen Griffloch durch mehrere über die Lagerfläche des Steines verteilte Löcher mit geringem Durchmesser (26 mm) gekennzeichnet. Die minimale Außenstegdicke beträgt dabei 23 mm, so dass die normativ geforderte Mindest-Außenstegdicke von 10 mm auch hier deutlich überschritten ist.

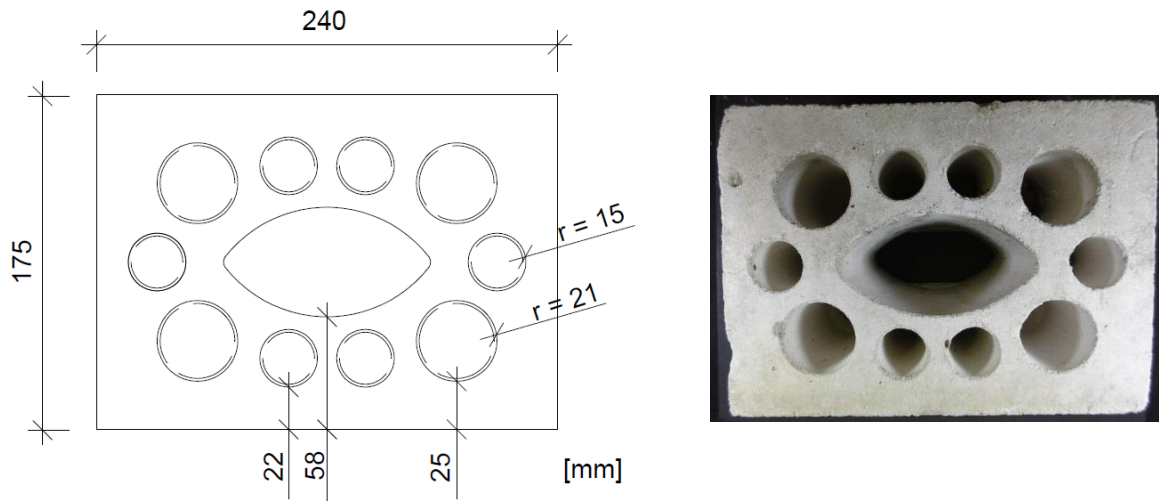


Abbildung 2: Gängiges Lochbild für Kalksand-Lochsteine (3DF) – Variante 1

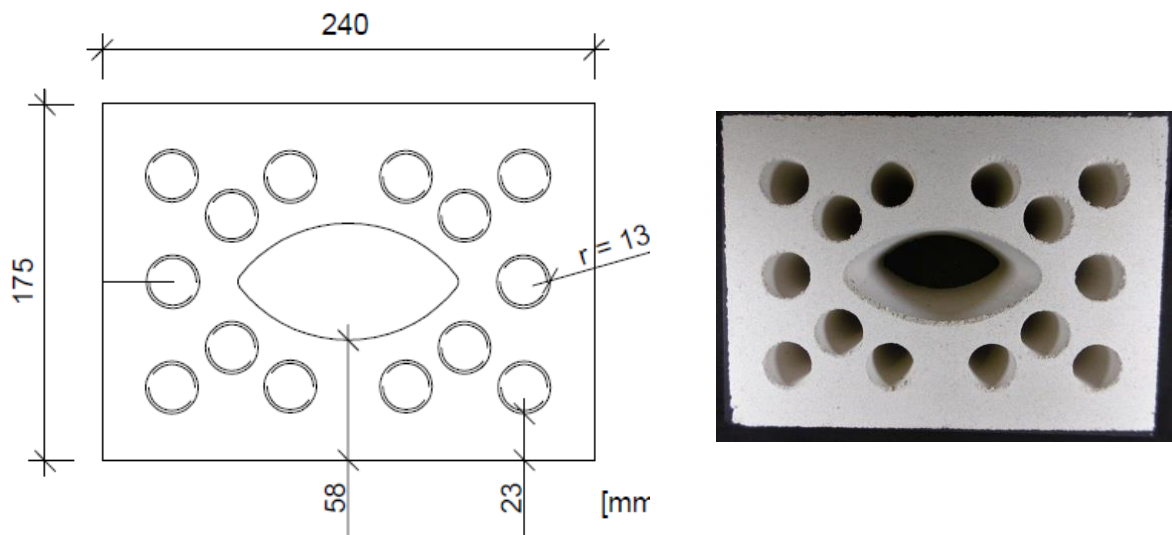


Abbildung 3: Gängiges Lochbild für Kalksand-Lochsteine (3DF) – Variante 2

Großformatige Kalksandsteine mit besonderer Lochung sind u.a. in der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Nr. Z-17.1-878 [1] geregelt. Abbildung 4 zeigt exemplarisch jeweils ein Lochbild eines Kalksand-Hohlblocksteines im Format 5DF (links) und 6DF (rechts). Der Kalksand-Hohlblockstein im Format 5DF weist eine minimale Außenstegdicke von 27 mm und der im Format 6DF von 17,5 mm auf. Die normativ geforderte Mindest-Außenstegdicke von 10 mm ist somit deutlich überschritten.

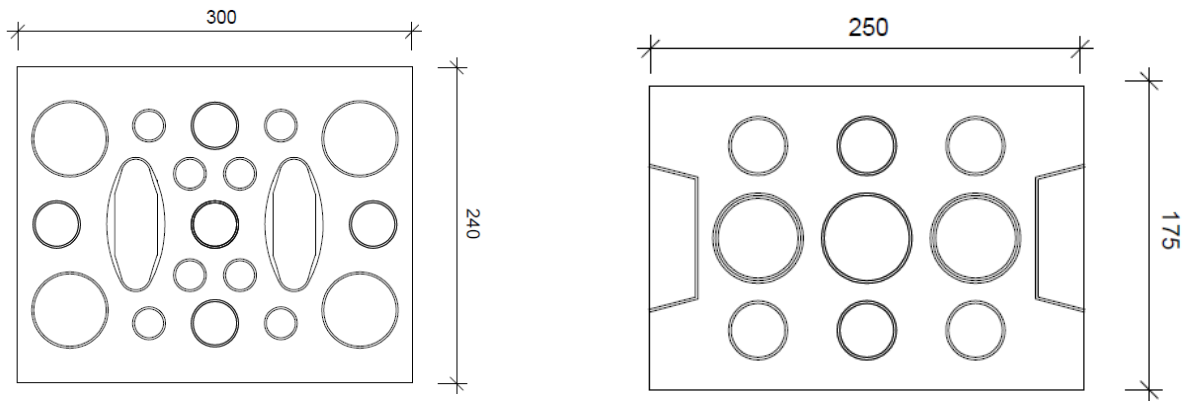


Abbildung 4: Lochbilder für Kalksand-Hohlblocksteine 5DF (links) und 6DF (rechts)

## 2.2 Hohlblöcke aus Normalbeton

Tabelle 2 zeigt einen Überblick über die geometrischen Anforderungen für Hohlblöcke aus Normalbeton nach DIN EN 1996-1-1 mit DIN EN 1996-1-1/NA und der deutschen Anwendungsnorm DIN V 20000-403 [N8].

In der DIN EN 1996-1-1 wird der maximale Gesamtlochanteil in Abhängigkeit von Steingruppen und des Bruttovolumens festgelegt. Dagegen gibt die DIN V 20000-403 lediglich einen maximalen Gesamtlochanteil von 60 % der Lagerfläche als Grenzwert an. Zum Einzellochanteil werden ausschließlich in der DIN EN 1996-1-1 Angaben gemacht. Minimale Innsteg- sowie Außenstegdicken gibt die DIN EN 1996-1-1 in Abhängigkeit der jeweiligen Steingruppe an. Dagegen werden die minimalen Innensteg- und Außenstegdicken in DIN V 20000-403 in Abhängigkeit der Steinbreite sowie der Kammeranzahl festgelegt. Die minimalen Innensteg- und Außenstegdicken sind nach DIN EN 1996-1-1 mit 15 mm bzw. 18 mm (Gruppe 2) deutlich geringer gegenüber den geforderten Werten nach DIN V 20000-403. In Abhängigkeit der Steinbreite sowie der Kammeranzahl wird in DIN V 20000-403 eine minimale Außenstegdicke von 25 mm bei z. B. einer Steinbreite von 175 mm und 2 Kammern gefordert.

Tabelle 2: Anforderungen an Betonsteine gemäß DIN EN 1996-1-1 und DIN V 20000-403

Steinart	Hohlblöcke aus Normalbeton	
Anforderungen gemäß	DIN EN 1996-1-1 (europäisch)	DIN V 20000-403 (deutsch)
<b>Gesamtlochanteil</b>	in Abh. der jeweiligen Gruppe [% des Bruttovolumens] Gruppe 1: $\leq 25$ Gruppe 2: $> 25; \leq 55$	$\leq 60$ [% der Lagerfläche]
<b>Einzellochanteil</b>	in Abh. der jeweiligen Gruppe [% des Bruttovolumens] Gruppe 1: $\leq 12,5$ Gruppe 2: Mehrfachlöcher $\leq 30$ ; Grifflöcher bis 30	-
<b>Innenstegdicke [mm]</b>	Gruppe 1: k. A. Gruppe 2: $\geq 15$	in Abh. der Steinbreite und der Kammeranzahl (K): 175 mm: 25 (1 und 2 K)
<b>Außenstegdicke [mm]</b>	Gruppe 1: k.A. Gruppe 2: $\geq 18$	in Abh. der Steinbreite und der Kammeranzahl (K) z.B.: 240 mm: 30 (3 K); 35 (2 K)

Abbildung 5 zeigt zwei gängige Lochbilder für Hohlblöcke aus Normalbeton mit unterschiedlichen Steinbreiten. Variationen der Lochanordnung sind bei Hohlblöcken aus Normalbeton, im Gegensatz zu Kalksandhohlblocksteinen, nur geringfügig vorhanden. In Abhängigkeit der Steinbreite variiert lediglich die Kammeranzahl und somit die jeweilige Innenstegdicke. Die Verankerung mit Drahtankern ist bei Hohlblöcke aus Normalbeton vor allem bei Steinen mit Außenstegdicken zwischen 25 mm (bzw.  $\geq 18$  mm) und 40 mm als kritisch zu bewerten, da hierbei eine gewisse Länge des Drahtankers in den Lochbereich einbindet.

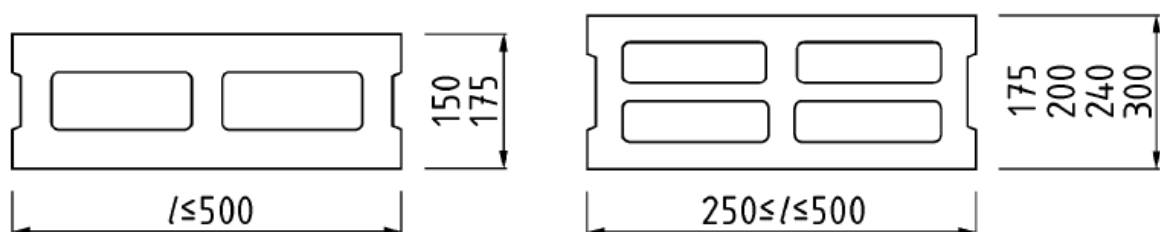


Abbildung 5: Gängige Lochbilder für Hohlblöcke aus Beton und Hohlblöcke aus Leichtbeton

## 2.3 Hohlblöcke aus Leichtbeton

Tabelle 3 zeigt einen Überblick zu den maßgebenden Anforderungen für Hohlblöcke aus Leichtbeton nach DIN EN 1996-1-1 (europäisch) sowie DIN V 20000-403 (deutsch). In Abbildung 5 sind dazu zwei Beispiellochbilder für Hohlblöcke aus Leichtbeton (175 mm) dargestellt.

Tabelle 3: Anforderungen an Leichtbetonsteine gemäß DIN EN 1996-1-1 und DIN V 20000-403

Steinart	Hohlblöcke aus Leichtbeton	
	Anforderungen gemäß DIN EN 1996-1-1 (europäisch)	DIN V 20000-403 (deutsch)
<b>Gesamtlochanteil</b>	in Abh. der jeweiligen Gruppe [% des Bruttovolumens] Gruppe 1: ≤ 25 Gruppe 2: > 25; ≤ 55	≤ 50 [% der Lagerfläche]
<b>Einzellochanteil</b>	in Abh. der jeweiligen Gruppe [% des Bruttovolumens] Gruppe 1: ≤ 12,5 Gruppe 2: Mehrfachlöcher ≤ 30; Grifflöcher bis 30	-
<b>Innenstegdicke [mm]</b>	Gruppe 1: k. A. Gruppe 2: ≥ 15	in Abh. der Steinbreite und der Kammeranzahl (K): 175 mm: 40 (1 K) 30 (2 K)
<b>Außenstegdicke [mm]</b>	Gruppe 1: k.A. Gruppe 2: ≥ 18	in Abh. der Steinbreite und der Kammeranzahl (K): 175 mm: 50 (1 K); 35 (2 K)

## 2.4 Theoretisch mögliche ungünstige Einbausituationen bei üblichen Steinformaten

Die Zug- und Drucktragfähigkeit von in Mörtel eingebetteten Drahtankern wird durch unterschiedliche Kriterien infolge der Lochung und der Positionierung der Anker beeinflusst. So wird die Zugtragfähigkeit vor allem durch die Außenstegdicke und die einzelnen Lochdurchmesser beeinflusst. Für die Drucktragfähigkeit ist dagegen hauptsächlich eine ausreichende Vermörtelung hinter dem Drahtanker notwendig. Demnach beeinflusst die Lochanordnung der unteren Steinreihe (Grifflöcher) vor allem die Drucktragfähigkeit von Drahtankern (vgl. Abbildung 6).

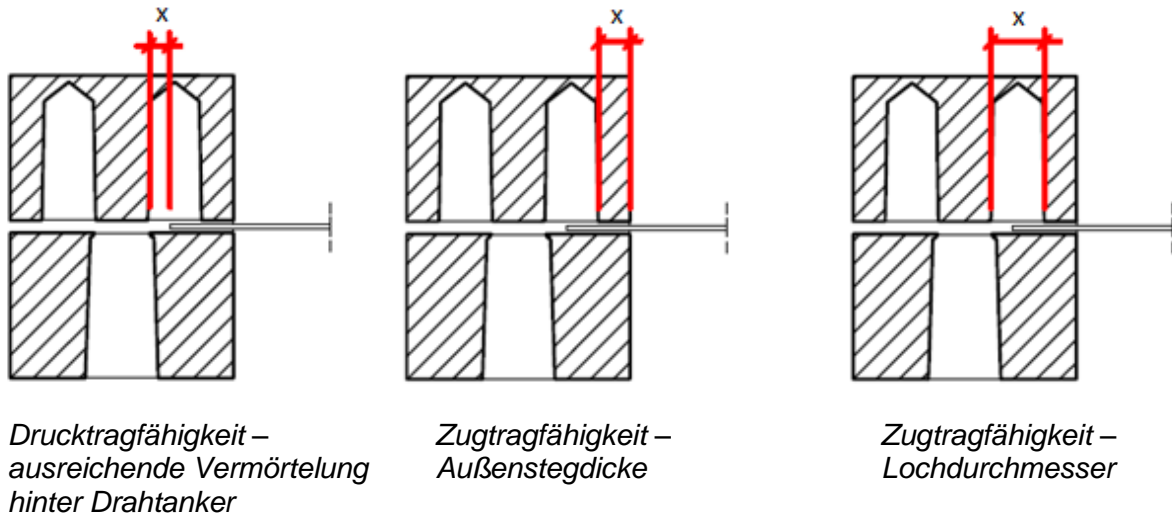


Abbildung 6: Maßgebende Kriterien der Lochung und der Positionierung von Drahtankern zur Beeinflussung der Zug- und Drucktragfähigkeit von Drahtankern

Die normativ festgelegte Mindest-Außenstegdicke von 10 mm wird von den in der Praxis vorrangig verwendeten Kalksand-Lochsteinen sowie Kalksandhohlblocksteinen deutlich überschritten. Kalksand-Lochsteine im Format 3DF weisen eine minimale Außenstegdicke von 22 mm auf. Die geringste Außenstegdicke von 17,5 mm konnte bei Kalksandhohlblocksteinen im Format 6DF festgestellt werden.

Als mögliche kritische Einbausituationen ergeben sich bei Kalksand-Lochsteinen im Format 3DF u.a. die in Abbildung 7 dargestellten Situationen. Das Überbindemaß der Steinreihen beträgt dabei  $0,4 \cdot \text{Steinhöhe}$ . Das Ankerende mit dem L-Haken liegt bei Variante 1 in der oberen Steinreihe vollständig innerhalb des größten Loches (ungünstige Lage für Zugversuch). Die Außenstegdicke beträgt dabei 26 mm. Des Weiteren ist nur eine geringe Vermörtelung hinter dem Drahtanker bis zum Griffloch der unteren Steinreihe vorhanden (ungünstige Lage für Druckversuch (Durchstanzen)). Die Variante 2 unterscheidet sich in der minimal geringeren Außenstegdicke von 25 mm. Der L-Haken liegt dabei jedoch nicht vollständig im Lochbereich der oberen Steinreihe.

Bei den in Abschnitt 2.1 beschriebenen Kalksand-Hohlblocksteinen im Format 5DF und 6DF sind vergleichbare ungünstige Einbausituationen denkbar.

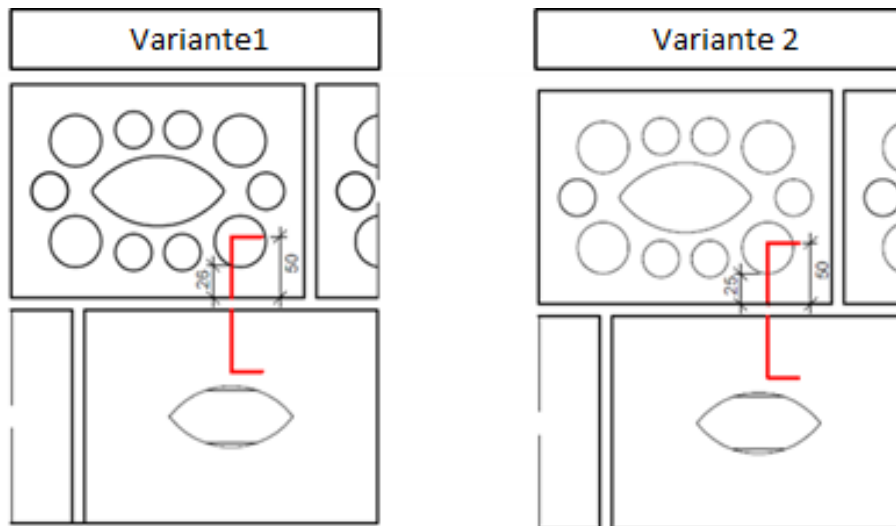


Abbildung 7: Theoretisch mögliche ungünstige Einbausituationen von Drahtankern bei Kalksand-Lochsteinen (3DF)

Aufgrund der relativ gleichmäßigen Lochanordnung (Kammern) bei Hohlblöcken aus Beton oder Leichtbeton ergeben sich bei diesen Steinarten nur eine geringe Anzahl kritischer ungünstiger Einbausituationen von Drahtankern. Maßgeblich für die Zugtragfähigkeit ist wiederum die Außenstegdicke. Bei einer Außenstegdicke kleiner als 50 mm befindet sich das Ankerende im Bereich des Loches (Kammer) der oberen Steinreihe. Als kritische Position lässt sich bei Hohlblöcken aus Beton oder Leichtbeton der Bereich der durchgehenden Grifföffnungen der unteren Steinreihe identifizieren. Bei einer unzureichenden Vermörtelung hinter dem Ankerende weisen diese vermutlich eine geringe Drucktragfähigkeit (Durchstanzen) auf.

### 3 Versuchsplanung

#### 3.1 Arbeitsprogramm

Zum Erreichen der angestrebten Ziele wurde die Zug- und Drucktragfähigkeit von in Mörtel eingebetteten Drahtankern ( $\varnothing$  4 mm; L-Haken) gemäß DIN EN 846-5 [N12] ermittelt. Folgende Kombinationen wurden untersucht:

- Zug, zentrisch
- Zug, zentrisch (mit vorherigem Auf- und Abbiegen der Anker)
- Druck, zentrisch
- Druck, exzentrisch (mit vorherigem Auf- und Abbiegen der Anker)

Die Zug- und Drucktragfähigkeit der Drahtanker wurde unter Variation der Steinart, der Lochung und der Positionierung zum Loch ermittelt. Der Schalenabstand betrug bei allen Versuchsserien 150 mm.

##### 3.1.1 Kalksand-Lochsteine

Für die jeweiligen Versuchsserien wurden die in Kapitel 3.3.3 beschriebenen Kalksand-Lochsteine im Format 3DF verwendet. Insgesamt wurden vier Versuchsserien mit unterschiedlicher Positionierung der Drahtanker durchgeführt. Die Abbildung 8 gibt einen Überblick über die Positionierung der Drahtanker bei den jeweiligen Versuchsserien. Tabelle 4 zeigt die Versuchs-Kombinationen der einzelnen Versuchsserien.

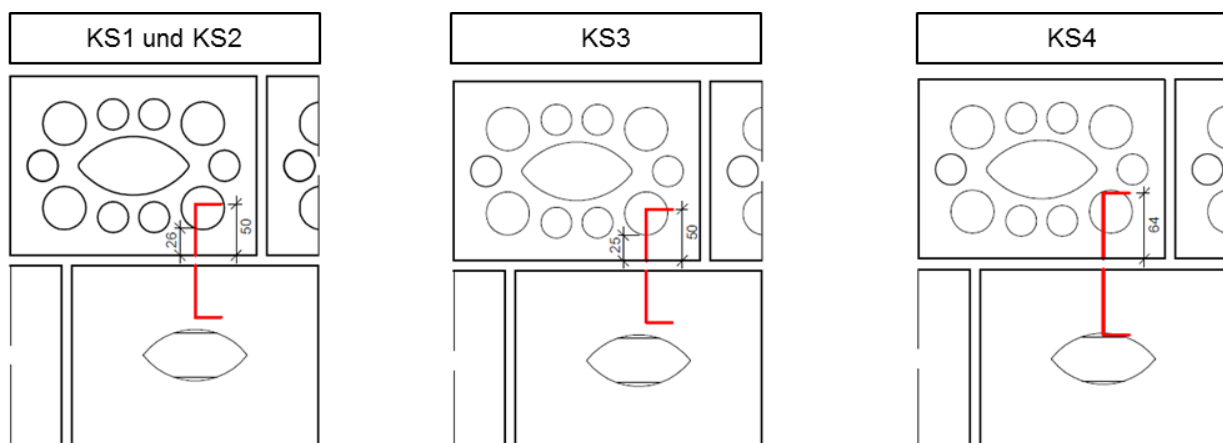


Abbildung 8: Überblick über die Platzierung der Drahtanker (Versuchsserien KS-1 - KS-4)



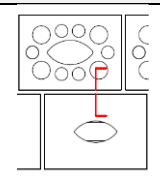
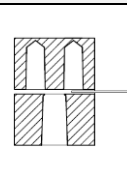
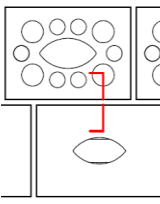
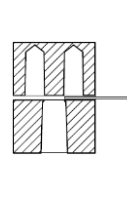
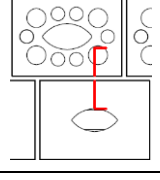
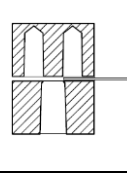
Bei der Versuchsserie KS-1 wurde der Drahtanker im Bereich des größten Loches in die Lagerfuge eingelegt. Das Ankerende mit dem L-Haken liegt dabei vollständig innerhalb des größten Loches der oberen Steinreihe (ungünstige Lage für Zugversuch). In der unteren Steinreihe befindet sich die Endverankerung nahezu direkt vor dem Griffloch bei einer Einbindelänge des Ankers von 50 mm (ungünstige Lage für Druckversuch (Durchstanzen)). Dabei ergab sich eine Außenstegdicke zum Griffloch in der unteren Steinreihe von 12 mm.

Bei der Versuchsserie KS-3 wurde der Drahtanker ebenfalls im Bereich des größten Loches (obere Steinreihe) so platziert, dass dieser bei der minimalen Außenstegdicke des Loches (25 mm) einbindet. Das Ankerende mit dem L-Haken lag dabei nicht mehr vollständig im Loch. Die Einbindelänge des Ankers betrug bei dieser Versuchsserie ebenfalls 50 mm.

Bei der Versuchsserie KS-4 wurde eine abweichende Einbindelänge der Drahtanker gewählt. Das Ankerende mit dem L-Haken wurde unmittelbar vor das Griffloch der unteren Steinreihe platziert, so dass sich für diese Versuchsserie eine Einbindelänge von 64 mm ergibt.

Die Mörteldruckfestigkeit stieg bei der Versuchsserie KS1 unerwartet schnell auf 14,6 N/mm<sup>2</sup> nach 9 Tagen an. Der Normalmauermörtel konnte somit bei dieser Versuchsserie nicht mehr der Mörtelgruppe MGIIa zugeordnet werden. Ungeachtet dessen wurden jeweils fünf Prüfkörper der Versuchsserie KS1 geprüft. Zudem wurden weitere identische Prüfkörper mit einem anderen Normalmauermörtel MGIIa hergestellt (Versuchsserie KS-2). Die Mörteldruckfestigkeit dieser Prüfkörperserie betrug bei Versuchsdurchführung 5,7 N/mm<sup>2</sup>.

Tabelle 4: Überblick über die Versuchs-Kombinationen (Versuchsserien KS-1 – KS-4)

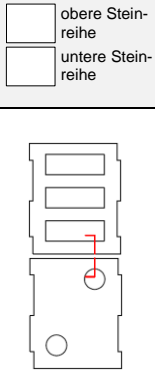
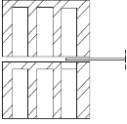
Versuchs- serie	Merkmal	Systembild (Draufsicht)	Systembild (Schnitt in Quer- richtung)	Zug zentrisch	Zug zentrisch (mit vorherigem Auf- und Abbiegen der Anker)	Druck zentrisch	Druck exzentrisch ( $e = 40 \text{ mm}$ ; mit vorherigem Auf- und Abbiegen)
KS-1 und KS-2	Endverankerung vollständig im Loch			x	x	x	x
KS-3	minimale Außenstegdicke					x	x
KS-4	Endverankerung liegt unmittelbar vor Griffloch				x		

### 3.1.2 Hohlblöcke aus Leichtbeton

Die Versuchsserien wurden mit den in Kapitel 3.3.4 beschriebenen Hohlblöcken aus Leichtbeton durchgeführt. Die Hohlblöcke mit drei Kammern weisen eine mittlere Außenstegdicke von 35 mm auf. Der Drahtanker überbindet den Außensteg der oberen Steinreihe demnach um 15 mm. In der unteren Steinreihe wurde der Drahtanker im Bereich des Griffloches eingelegt. Die durchgeführten Versuchskombinationen der einzelnen Versuchsserien können Tabelle 5 entnommen werden.

Wie bereits in Kapitel 3.1.1 beschrieben, stieg die Mörteldruckfestigkeit bei dieser Versuchsserie unerwartet schnell auf 11,9 N/mm<sup>2</sup> an. Demnach wurden jeweils nur fünf Prüfkörper der Versuchsserie HbL-1 geprüft. Bei Versuchsserie HbL-2 wurden jeweils zehn Prüfkörper (Mörteldruckfestigkeit 5,4 N/mm<sup>2</sup>) geprüft.

Tabelle 5: Überblick über die Versuchskombinationen (Versuchsserien Hbl1 und Hbl2)

Versuchs- serie	Merkmal	Systembild (Draufsicht)	Systembild (Schnitt in Quer- richtung)	Zug zentrisch	Zug zentrisch (mit vorherigem Auf- und Abbiegen der Anker	Druck zentrisch	Druck exzentrisch (e = 40 mm; mit vorherigem Auf- und Abbiegen)
Hbl-1 und Hbl-2	Endverankerung liegt im Griffloch	 <p> <input type="checkbox"/> obere Stein- reihe  <input type="checkbox"/> untere Stein- reihe         </p>		x	x	x	x

## 3.2 Prüfverfahren

### 3.2.1 Steinprüfungen

Die maßgebenden Steineigenschaften wurden nach den jeweils gültigen Produkt- und Prüfnormen durchgeführt:

- Bestimmung der Druckfestigkeit - DIN EN 772-1 [N9]
- Bestimmung des prozentualen Lochanteils – DIN EN 772-9 [N10]
- Bestimmung des Loch- und Nettovolumens – DIN EN 772-9 [N10]
- Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohddichte – DIN EN 772-13 [N11]
- Bestimmung der Maße – DIN EN 772-16 [N12]

### 3.2.2 Bestimmung der Zug- und Drucktragfähigkeit von Mauerankern

Die Versuchsdurchführung der zentrischen Zug- sowie zentrischen und exzentrischen Druckversuche erfolgte gemäß DIN EN 846-5 [N13]. Die freie Ankerlänge betrug jeweils 150 mm. Für die exzentrischen Druckversuche wurde eine Ausmitte von 40 mm angesetzt.

Die Probekörper wurden jeweils in eine Vorrichtung, die an der Grundplatte einer Universalprüfmaschine verankert war, mit senkrecht nach oben stehendem Anker eingebaut. Die nach DIN EN 846-5 geforderte Druckspannung von  $0,1 \pm 0,01$  N/mm<sup>2</sup> quer zur Lagerfuge wurde mittels dieser Vorrichtung auf den Probekörper aufgebracht.

Über eine Klemmvorrichtung, die in der oberen Aufnahme der Prüfmaschine eingebaut war, wurde die entsprechende Prüfkraft (Zug oder Druck) auf den Anker aufgebracht. Mittels eines Videoextensometers wurde während der Versuchsdurchführung die Verformung zwischen einer oberen am Anker befestigten und einer unteren Messmarke, die mittels eines Stativs auf dem Probekörper aufgestellt wurde, aufgezeichnet. Die obere Messmarke wurde in einem Abstand von 140 mm vom Probekörper befestigt. Bei der Versuchsdurchführung wurde die Prüfkraft mit einer Geschwindigkeit von 800 N/min bis zum Versagen gesteigert und die Kraft-Verformungs-Linie kontinuierlich aufgezeichnet. Die Abbildung 9 zeigt schematisch die Versuchsanordnung der zentrischen Zugversuche und die Abbildung 10 die der exzentrischen Druckversuche.

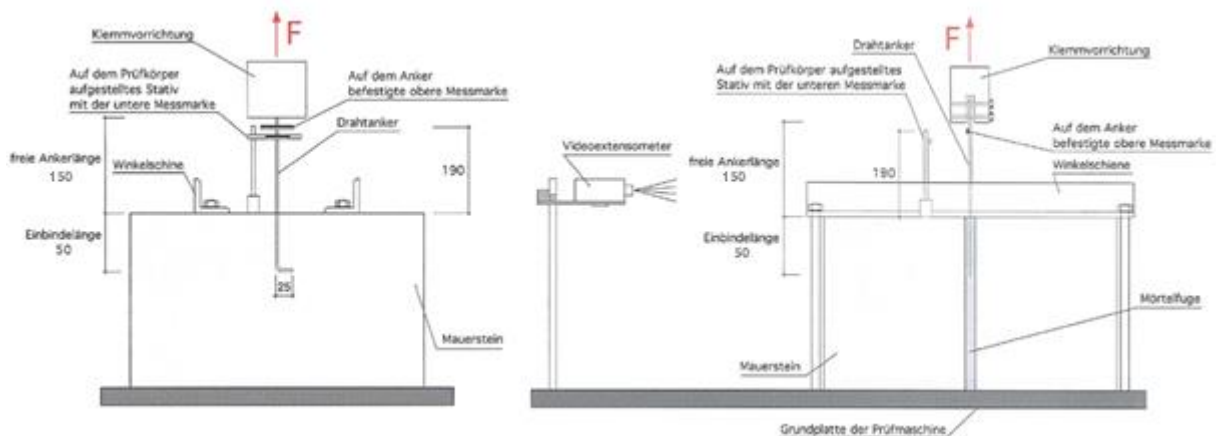


Abbildung 9: Versuchsanordnung der zentrischen Zugversuche

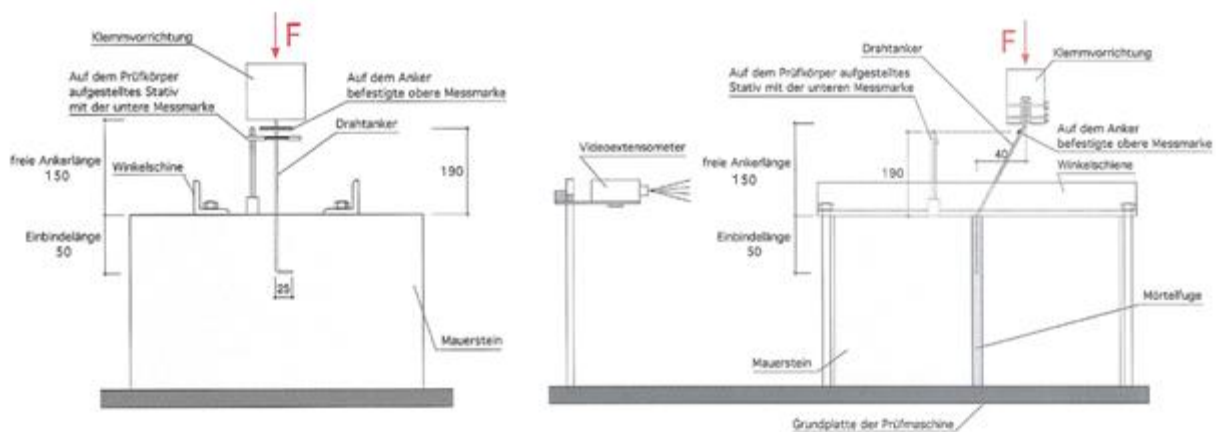


Abbildung 10: Versuchsanordnung der exzentrischen Druckversuche

### 3.3 Verwendete Materialien

#### 3.3.1 Drahtanker

Es wurden L-Luftschichtanker ( $\varnothing$  4 mm) mit einem um  $90^\circ$  abgebogenen Haken von ca. 25 mm Länge verwendet. Das andere Ankerende war nicht profiliert.

#### 3.3.2 Normalmauermörtel

Es wurde Normalmauermörtel der Mörtelgruppe IIa verwendet. Der Normalmauermörtel wurde nach den Herstellerangaben auf dem Sack in einem Zwangsmischer kellengerecht angemischt.

#### 3.3.3 Kalksand-Lochsteine

Es wurden Kalksand-Lochsteine im Format 3DF mit der in Abbildung 11 abgebildeten Lochung verwendet. Die minimale Außenstegdicke beträgt 22 mm (vgl. Abbildung 11, Loch 2).

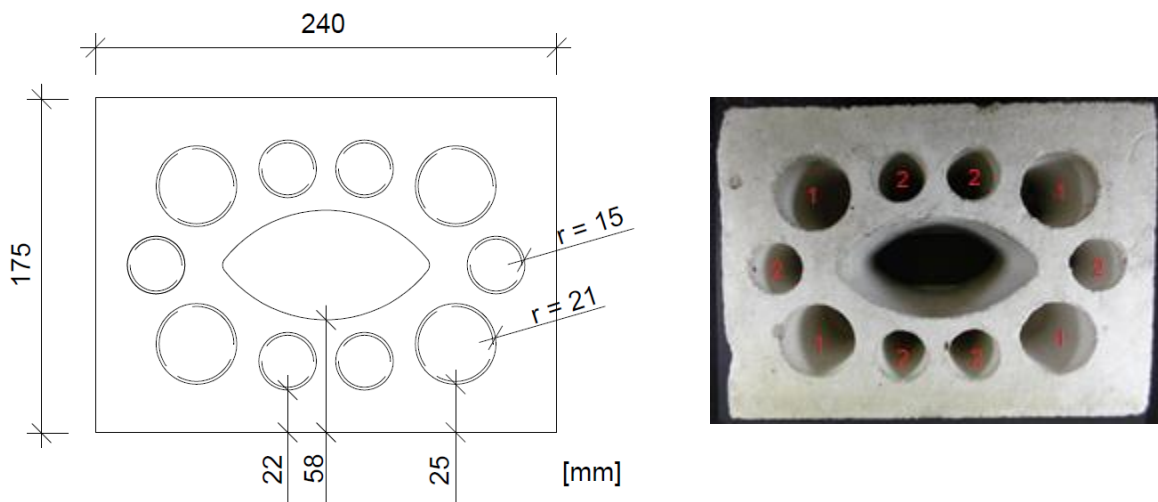


Abbildung 11: Lochbild der verwendeten Kalksand-Lochsteine

#### 3.3.4 Hohlblöcke aus Leichtbeton

Es wurden Hohlblöcke aus Leichtbeton mit 3 Kammern mit der in Abbildung 12 abgebildeten Lochung verwendet. Im Mittel beträgt die Außenstegdicke 35 mm.

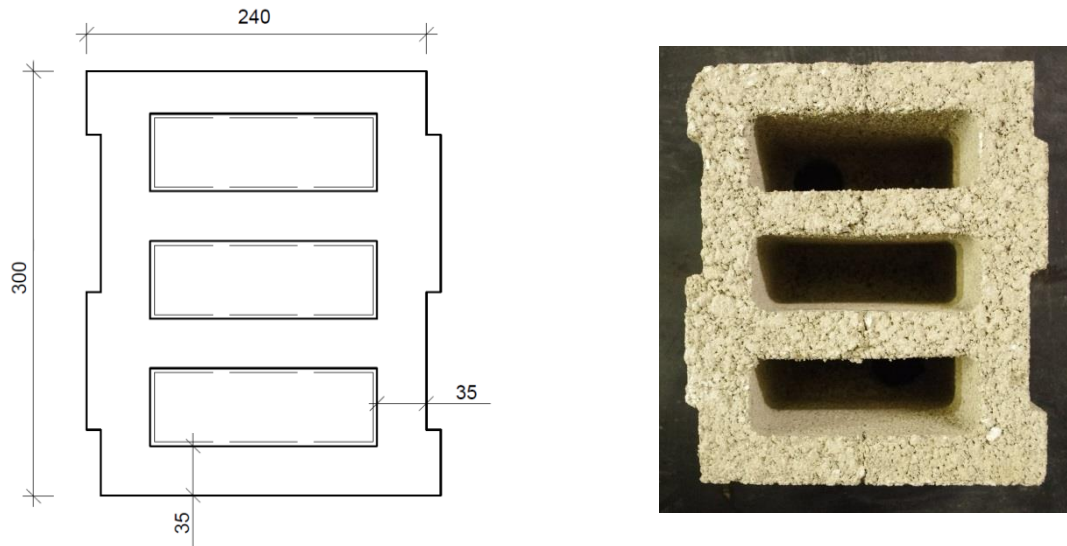


Abbildung 12: Lochbild der verwendeten Hohlblocksteine aus Leichtbeton

## 4 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

### 4.1 Ergebnisse der Steinprüfungen

Die Ergebnisse zu den Steineigenschaften der Steinprüfungen können dem Anhang A, Tabelle A.1 bis Tabelle A.4 entnommen werden.

### 4.2 Ergebnisse der Zug- und Drucktragfähigkeitsuntersuchungen der Drahtanker

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Zug- und Drucktragfähigkeitsuntersuchungen der Drahtanker dargestellt und beschrieben. Als maßgebende Bruchlast ergibt sich bei den einzelnen Versuchsergebnissen entweder die maximale Bruchlast oder die gemessene Kraft bei einer Ankerverformung von 5 mm. Der jeweils geringere Wert wird dabei zur Versuchsauswertung herangezogen. Weiterhin wird die jeweilige Kraft bei einer Verformung von 1 mm ausgewertet.

Zur Feststellung von Versuchsstreuungen wurden die einzelnen Ergebnisse der Versuchsserien auf statistische Ausreißer untersucht. Als Definition der oberen und unteren Grenzwerte wurde der Ansatz nach Tukey verwendet. Demnach sind die oberen und unteren Grenzwerte vom Medianwert sowie dem 0,75-Quantil ( $x_{0,75}$ ) und 0,25-Quantil ( $x_{0,25}$ ) der Messdaten abhängig [2]. Der obere und untere Grenzwert ergeben sich folgendermaßen:

$$\text{oberer Grenzwert} = x_{0,75} + 1,5 \cdot r$$

$$\text{unterer Grenzwert} = x_{0,25} - 1,5 \cdot r$$

$$r = x_{0,75} - x_{0,25}$$

Statistische Ausreißer wurden bei der Mittelwertbildung der Ergebnisse der einzelnen Versuchsserien nicht berücksichtigt. Die jeweiligen Ergebnisse der Einzelversuche können dem Anhang B, Tabelle B.1 bis Tabelle B.6 entnommen werden. Die dazugehörigen Kraft-Verformungs-Linien sind ebenfalls im Anhang B enthalten.

Die einzelnen Versuchsserien sind nachfolgend folgendermaßen gekennzeichnet:

1. Stelle: Steinart (KS = Kalksandsandstein; HbL = Hohlblockstein aus Leichtbeton)
2. Stelle: Seriennummer
3. Stelle: Mörteldruckfestigkeit zum Versuchszeitpunkt

#### 4.2.1 Kalksand-Lochsteine

Tabelle 6 und Abbildung 13 zeigen die Mittelwerte der maßgebenden Bruchlast der Versuchsserien mit Kalksand-Lochsteinen. Es ist ersichtlich, dass sich die maßgebende Bruchlast bei den zentrischen Zugversuchen mit abnehmender Mörteldruckfestigkeit zum Prüfzeitpunkt bei identischer Anordnung der Drahtanker reduziert. Bei einer Mörteldruckfestigkeit von  $5,7 \text{ N/mm}^2$  ist die maßgebende Bruchlast etwa um 45 % geringer gegenüber den Prüfkörpern mit einer Mörteldruckfestigkeit von  $14,6 \text{ N/mm}^2$ .

Infolge des vorherigen Auf- und Abbiegens der Drahtanker ist bei den zentrischen Zugversuchen kein eindeutiges Verhalten erkennbar. Zum einen nimmt die maßgebende Bruchlast dabei geringfügig ab (KS-1-14,6) und zum anderen ist ein minimaler Anstieg feststellbar (KS-2-5,7). Das vorherige Auf- und Abbiegen scheint zu keiner wesentlichen Schädigung des Lagerfugenmörtels zu führen, obwohl sich das Ankerende vollständig im Bereich des größten Loches befindet. Die geringfügige Abnahme der maßgebenden Bruchlast bei Versuchsserie KS-1-14,6 lässt sich auf vereinzelte Risse bzw. Auflockerungen des Lagerfugenmörtels zurückführen.

Die zentrischen Druckversuche lassen die Mörteldruckfestigkeit zum Prüfzeitpunkt als einen maßgebenden Einflussfaktor erkennen (vgl. Abbildung 14). Mit zunehmender Mörteldruckfestigkeit steigt die maßgebende Bruchlast bei identischen Einbindelängen (hier: 50 mm).

Bei der Versuchsserie KS-4-11,1 wurde die Endverankerung der Drahtanker unmittelbar vor dem Griffloch positioniert (Einbindelänge: 64 mm). Ein Mörtelaufleger zur Aufnahme der Druckkräfte war somit nicht vorhanden. Folglich beträgt die maßgebende Bruchlast nur 418 N. Trotz der erhöhten Mörteldruckfestigkeit ( $11,1 \text{ N/mm}^2$ ) stanzte der Drahtanker bei sehr geringer Belastung durch, da zur Aufnahme der Druckkräfte keine ausreichende Vermörtelung hinter dem Drahtanker vorhanden ist.



Tabelle 6: maßgebende Bruchlast – Versuchsserien Kalksand-Lochsteine (KS)

Versuchsserie	Zug zentrisch	Zug zentrisch (auf- und abgebogen)	Druck zentrisch	Druck exzentrisch (auf- und abgebogen)
	[N]			
KS-1-14,6	1298	1082	1070	1235
KS-2-5,7	687	772	625	584
KS-3-11,1	n.b.	n.b.	717	1018
KS-4-11,1	n.b.	n.b.	418	n.b.

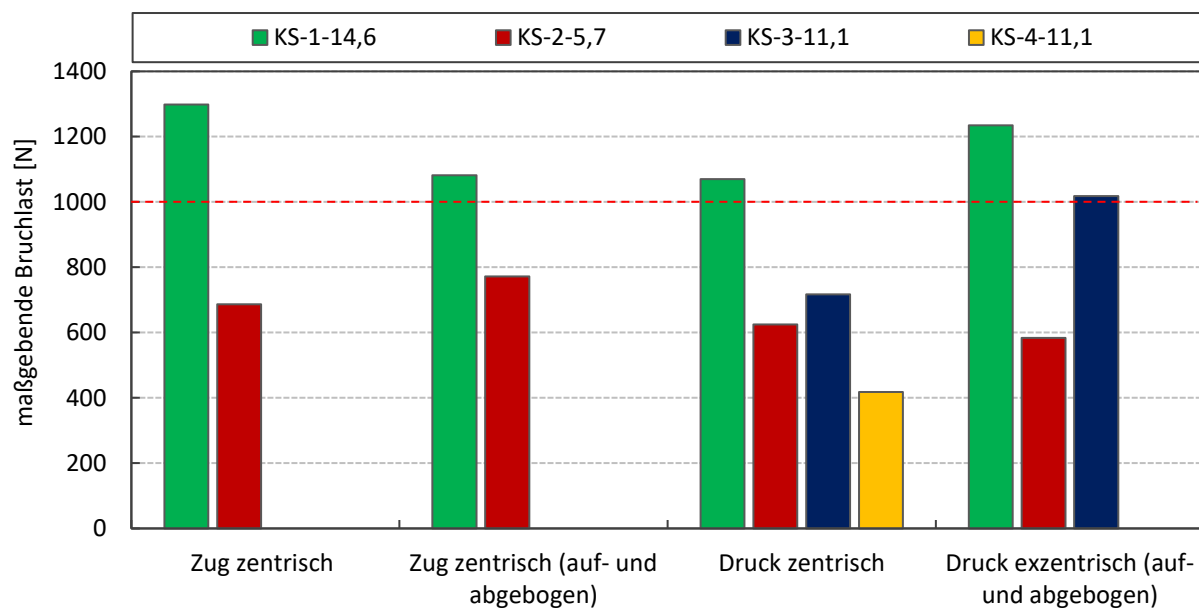


Abbildung 13: maßgebende Bruchlast – Versuchsserien Kalksand-Lochsteine (KS)

Die Drucktragfähigkeit der Drahtanker wird infolge eines vorherigen Auf- und Abbiegens nur geringfügig negativ beeinflusst. Einzig bei der Versuchsserie KS-2-5,7 kann dabei eine minimale Reduzierung der maßgebenden Bruchlast festgestellt werden. Dagegen ist bei den anderen Versuchsserien (KS-1-14,6 und KS-3-11,1) eine Zunahme der maßgebenden Bruchlast infolge des vorherigen Auf- und Abbiegens feststellbar. Die Mörteldruckfestigkeit scheint auch dabei ein entscheidender Einflussfaktor zu sein, da mit zunehmender Mörteldruckfestigkeit geringere Beschädigungen im Lagerfugenmörtel beim Auf- und Abbiegen induziert werden.

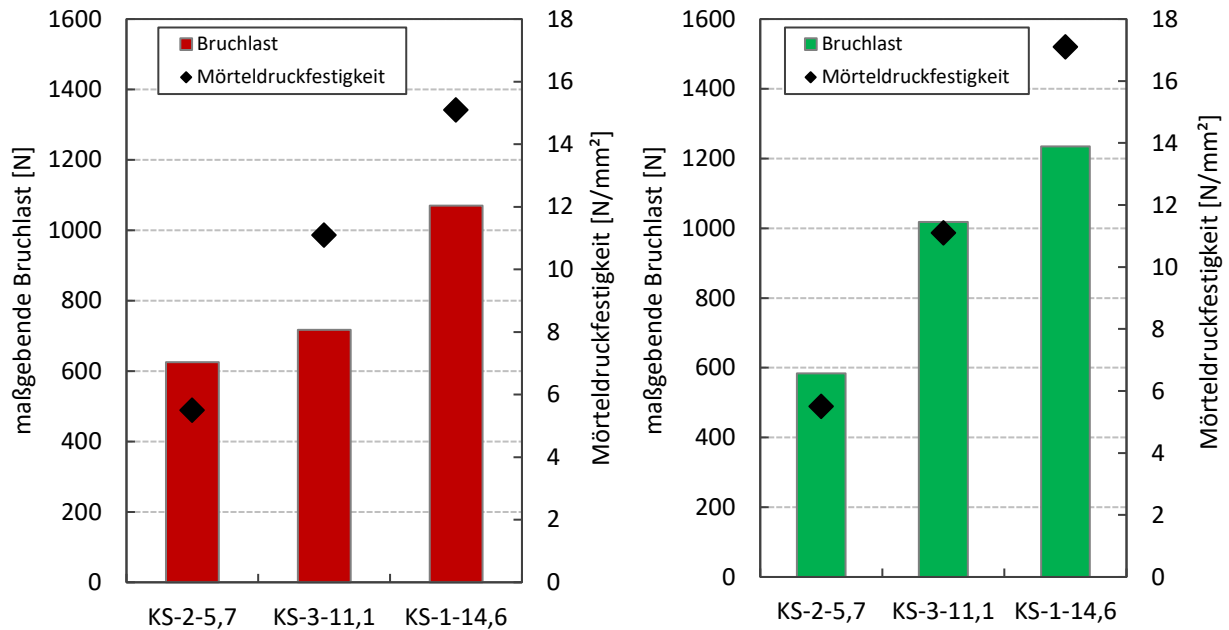


Abbildung 14: Vergleich der maßgebenden Bruchlast der zentrischen Druckversuche (links) und der exzentrischen Druckversuche (rechts) bei variierender Mörteldruckfestigkeit

Tabelle 7 und Abbildung 15 zeigen die Mittelwerte der Kraft bei 1 mm Verformung der Versuchsserien mit Kalksand-Lochsteinen. Vergleichbar mit der maßgebenden Bruchlast, ist auch bei den ermittelten Kräften bei 1,0 mm Verformung eine Abhängigkeit von der Mörteldruckfestigkeit bei den exzentrischen Druckversuchen erkennbar (vgl. Abbildung 16). Die zentrischen Druckversuche weisen diese Abhängigkeit nicht vollständig auf, lediglich zwischen der Serie KS-2-5,7 und KS-3-11,1 ist ein deutlicher Anstieg festzustellen. Mit zunehmender Mörteldruckfestigkeit stagniert jedoch die Kraft bei 1 mm Verformung. Der in DIN 1053 [N7] genannte Mindestwert von 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf wird lediglich bei den exzentrischen Druckversuchen der Versuchsserie KS-1-14,6 erreicht.

Tabelle 7: Kraft bei 1 mm Verformung – Versuchsserien Kalksand-Lochsteine (KS)

Versuchsserie	Zug zentrisch	Zug zentrisch (auf- und abgebogen)	Druck zentrisch	Druck exzentrisch (auf- und abgebogen)
	[N]			
KS-1-14,6	850	870	852	1160
KS-2-5,7	650	726	450	546
KS-3-11,1	n.b.	n.b.	890	808
KS-4-11,1	n.b.	n.b.	-	n.b.

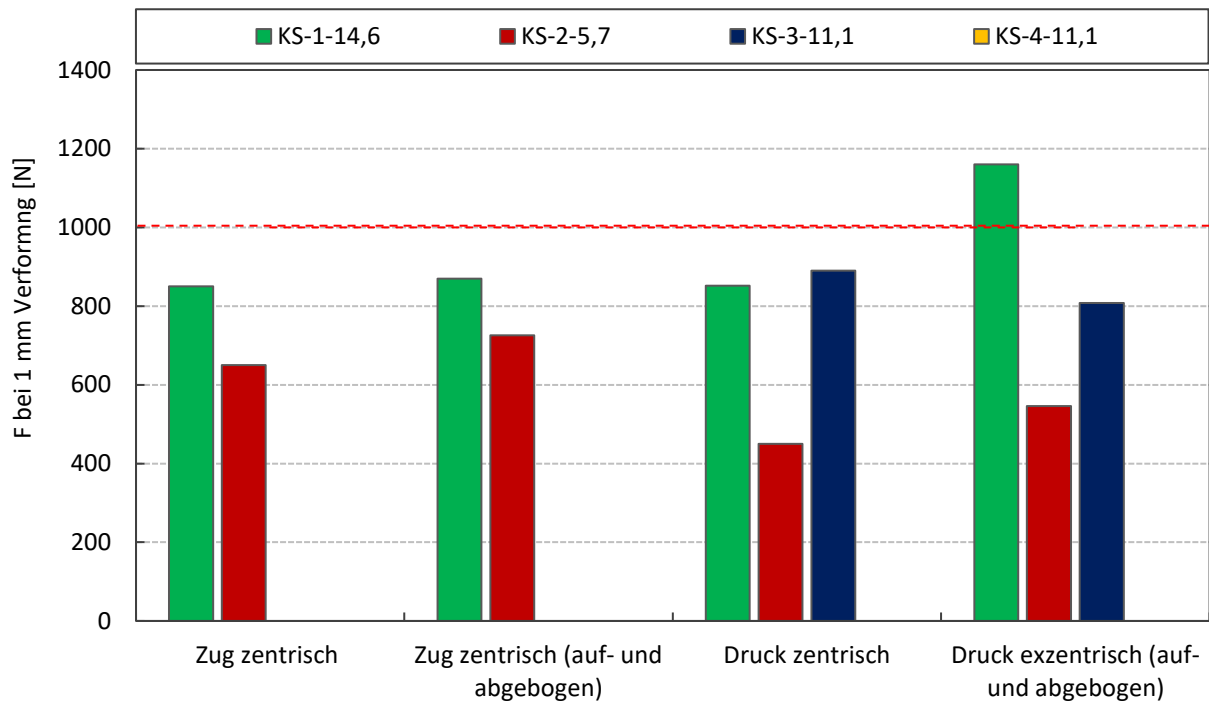


Abbildung 15: Kraft bei 1 mm Verformung – Versuchsserien Kalksand-Lochsteine (KS)

Anhand der Kraft-Verformungslinien können differenzierte Charakteristika zwischen den zentrischen und exzentrischen Druckversuchen abgeleitet werden (vgl. Anhang B). Bei den zentrischen Druckversuchen ist eher ein schlagartiges Versagen feststellbar. Dagegen ist bei einer exzentrischen Lasteinleitung und vorherigem Auf- und Abbiegen der Drahtanker auch bei großer Verformung immer noch eine Kraftübertragung messbar. Infolge der exzentrischen Lasteinleitung wird der Drahtanker bei einem Versagen des Lagerfugenmörtels gegen die obere Steinreihe gedrückt und kann somit weitere Lasten aufnehmen bzw. die Kraft übertragen.

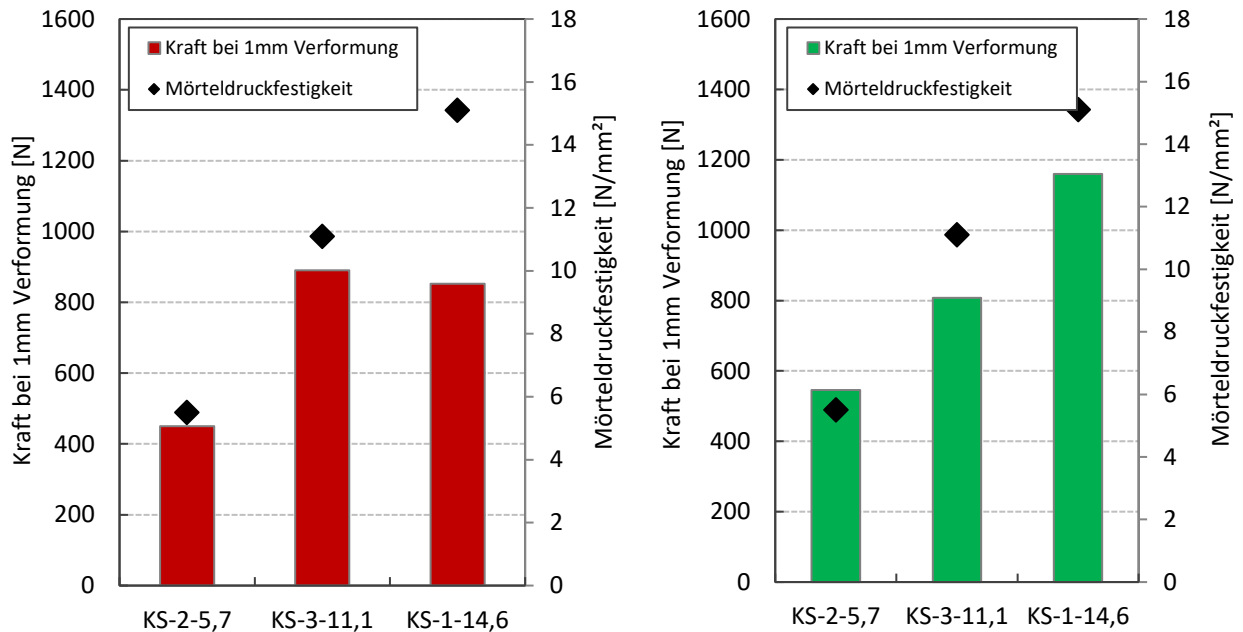


Abbildung 16: Vergleich der Kraft bei 1mm Verformung der zentrischen Druckversuche (links) und der exzentrischen Druckversuche (rechts) bei variierender Mörteldruckfestigkeit

#### 4.2.2 Hohlblocksteine aus Leichtbeton

Tabelle 8 und Abbildung 17 zeigen die Mittelwerte der maßgebenden Bruchlast der Versuchsserien mit Hohlblöcken aus Leichtbeton. Mit abnehmender Mörteldruckfestigkeit ist eine deutliche Reduzierung der maßgebenden Bruchlast bei den zentrischen Zugversuchen feststellbar. Die maßgebende Bruchlast reduziert um etwa 50 % bei einer Abnahme der Mörteldruckfestigkeit von 11,9 N/mm<sup>2</sup> auf 5,4 N/mm<sup>2</sup>. Das vorherige Auf- und Abbiegen der Drahtanker führt lediglich bei erhöhter Mörteldruckfestigkeit zu einer Verminderung der Zugtragfähigkeit.

Tabelle 8: maßgebende Bruchlast – Versuchsserien Hohlblöcke aus Leichtbeton (HbL)

Versuchsserie	Zug zentrisch	Zug zentrisch (auf- und abgebogen)	Druck zentrisch – Griffloch bedeckt	Druck zentrisch – Griffloch unbedeckt	Druck exzentrisch (auf- und abgebogen)
	[N]				
HbL-1-11,9	2663	1960	1744	1744	1526
HbL-2-5,4	1348	1343	1358	548	1128

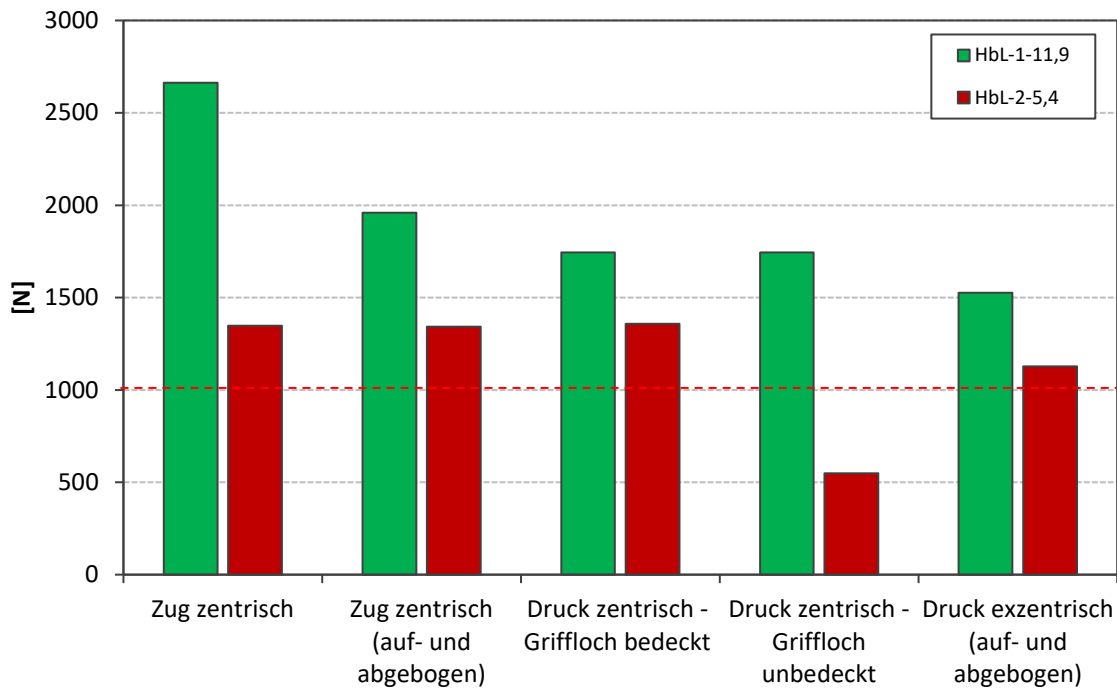


Abbildung 17: maßgebende Bruchlast – Versuchsserien HbL

Die Drucktragfähigkeit wird primär durch die Vermörtelung hinter dem Drahtanker beeinflusst. Zwei unterschiedliche Szenarien können sich bei der Platzierung der Drahtanker im Bereich des Griffloches der unteren Steinreihe ergeben – Griffloch ist mit Mörtel bedeckt oder Griffloch ist nicht mit Mörtel bedeckt (vgl. Abbildung 18, links). Infolge des unbedeckten Griffloches reduziert sich die maßgebende Bruchlast bei geringer Mörteldruckfestigkeit ( $5,4 \text{ N/mm}^2$ ) signifikant um etwa 60 %. Die Kraft-Verformungslinien der beiden Szenarien weisen deutlich unterschiedliche Charakteristika auf (vgl. Abbildung 18, rechts). Aufgrund der fehlenden Vermörtelung hinter dem Drahtanker ist kein ausreichendes Auflager zur Aufnahme der Druckkräfte vorhanden, sodass die Drahtanker bei geringer Belastung schlagartig durchstanzen. Dagegen ist bei einem mit Mörtel bedecktem Griffloch eine ausreichende Drucktragfähigkeit vorhanden. Bei einer exzentrischen Krafteinleitung ist dagegen kein systematischer Einfluss der Vermörtelung hinter dem Anker festzustellen, da die Anker bei dieser Variante in Richtung des Steins gedrückt werden und so ein Durchstanzen bei geringer Belastung verhindert wird.

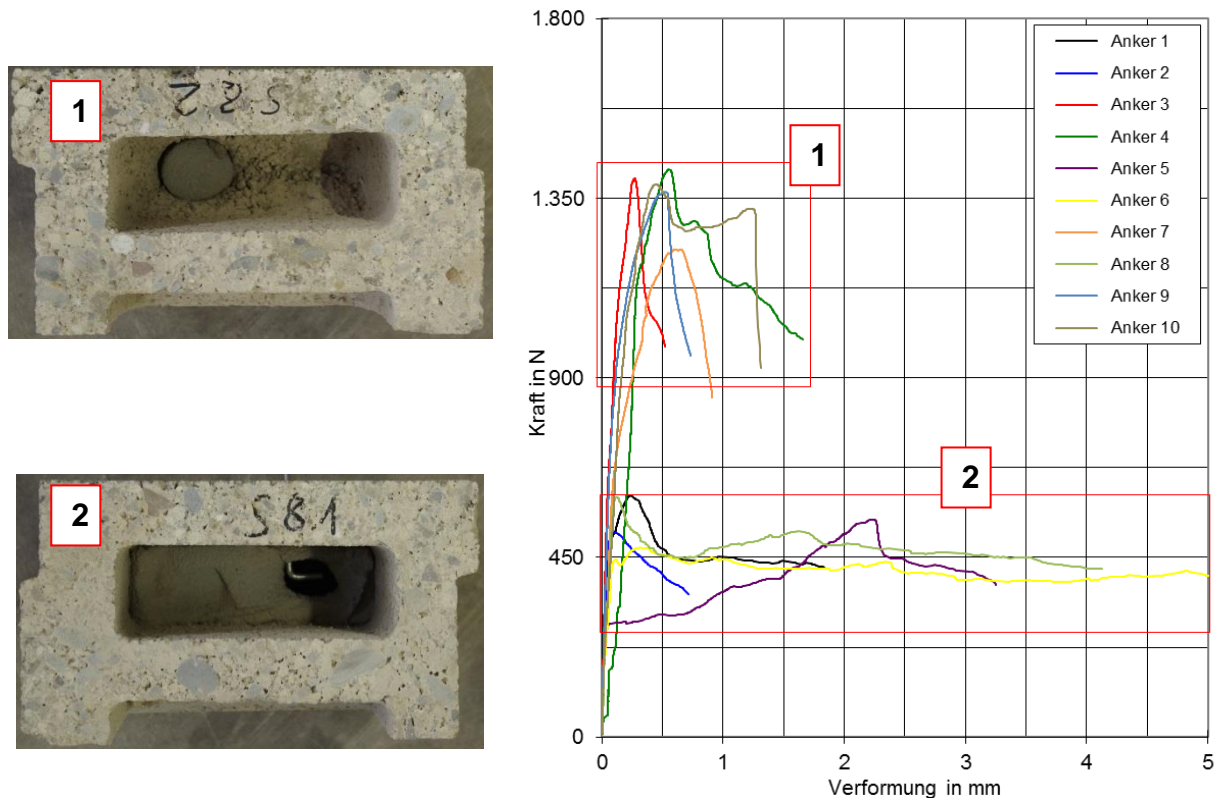


Abbildung 18: Prüfkörper der Versuchsserie HbL-2-5,4 – zentrische Druckversuche – Griffloch mit Mörtel bedeckt (1) und Griffloch nicht mit Mörtel bedeckt (2) und Kraftverformungslinien der zentrischen Druckversuche (1=Griffloch bedeckt; 2=Griffloch nicht bedeckt)

Die ermittelten Kräfte bei 1 mm Verformung sind in Tabelle 9 und Abbildung 19 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der in DIN 1053 [N1] genannte Mindestwert von 1 kN bei 1 mm Schlupf für die Zugtragfähigkeit unabhängig der Mörteldruckfestigkeit erreicht wird. Bei der Ermittlung der zentrischen Drucktragfähigkeit konnten keine Kräfte bei 1,0 mm Verformung bei einer Mörteldruckfestigkeit von 11,9 N/mm<sup>2</sup> ermittelt werden (vgl. u.a. Abbildung 18). Infolge der exzentrischen Lasteinleitung und dem vorherigen Auf- und Abbiegen der Drahtanker weist die Drucktragfähigkeit dagegen eine hinreichende Tragfähigkeit bei erhöhter Mörteldruckfestigkeit auf. Bei geringerer Mörteldruckfestigkeit wird der Mindestwert nicht erreicht.

Tabelle 9: Kraft bei 1 mm Verformung – Versuchsserien Hohlblöcke aus Leichtbeton (HbL)

Versuchsserie	Zug zentrisch	Zug zentrisch (auf- und abgebogen)	Druck zentrisch	Druck exzentrisch (auf- und abgebogen)
	[N]			
HbL-1-11,9	2512	1620	-	1490

HbL-2-5,4	1043	1086	360	938
-----------	------	------	-----	-----

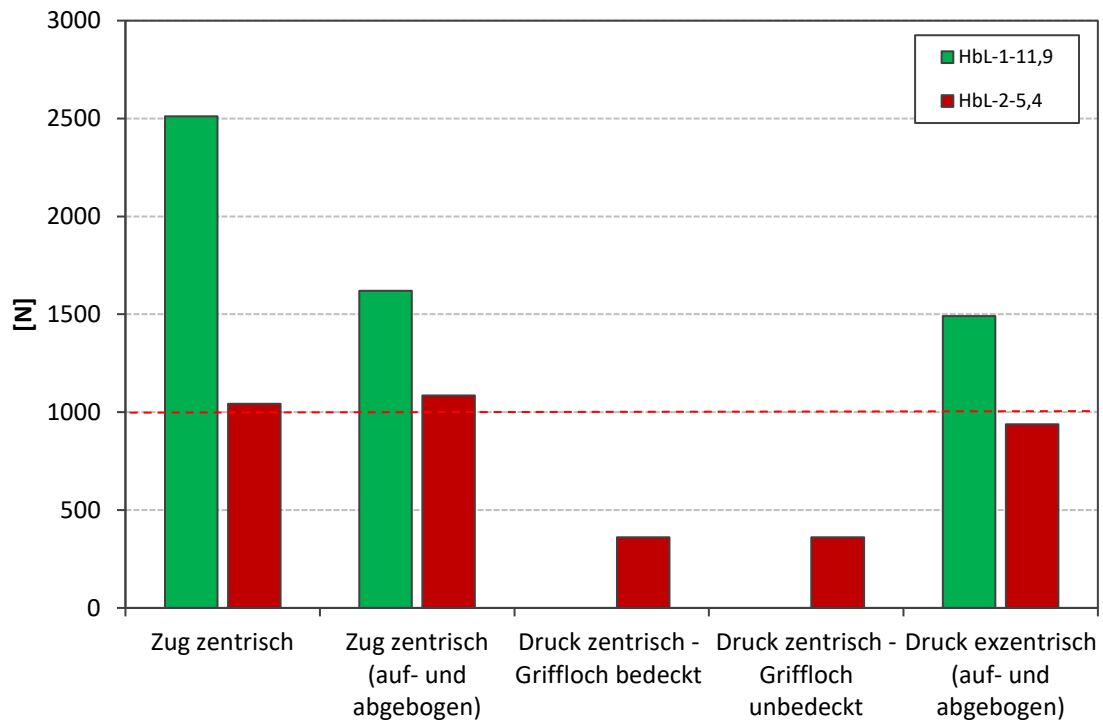


Abbildung 19: Kraft bei 1 mm Verformung – Versuchsserien HbL

## 5 Ergänzende Versuche – Wandversuche

Als Ergänzung zu den Auszugversuchen mit 2-Stein-Prüfkörpern (vgl. Kapitel 3.2.1) wurden Auszugversuche mit einem geänderten Versuchsaufbau durchgeführt. Dazu wurde eine Wand aus Kalksand-Lochsteine (3DF, vgl. Kapitel 3.1.1) hergestellt und dort

jeweils in den Lagerfugen Drahtanker eingelegt. Die Auszugversuche der Anker wurden direkt an der Wand mit einem portablen Auszug-Prüfgerät durchgeführt.

## 5.1 Verwendete Materialien und Versuchsaufbau

Steine: Kalksand-Lochsteine 3DF (Lochbild siehe Abbildung 1 bzw. Kapitel 3.1.1)

Mörtel: M5 (MG IIa; mittlere Druckfestigkeit zum Auszugszeitpunkt = 9,6 N/mm<sup>2</sup>)

Es wurden 6 Steinreihen, bestehend aus jeweils 5 Kalksand-Lochsteinen gemauert und die Drahtanker dabei entsprechend Abbildung 20 platziert. Das Überbindemaß der Steine betrug jeweils 5 cm (0,4\*Steinhöhe). Abbildung 20, rechts zeigt die fertiggestellte Wand mit dem Prüfgerät zur Prüfung der Zugtragfähigkeit der Anker.

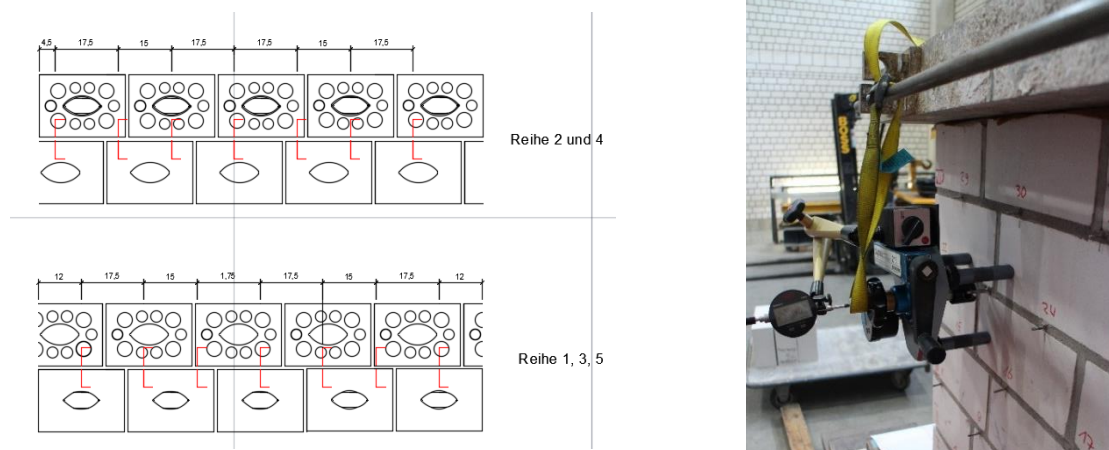


Abbildung 20: Schematische Darstellung der platzierten Anker in den jeweiligen Steinreihen (links) und Prüfgerät an fertiggestellter Mauer (rechts)

## 5.2 Versuchsergebnisse

Abbildung 21 zeigt zum einen die maßgebende Bruchlast sowie die Kraft bei 1 mm Verformung für die einzelnen Anker. Die Anker wurden dabei jeweils nach ihrer Platzierung zum Lochbereich sortiert. Es ist ersichtlich, dass Anker, die nicht im Lochbereich platziert wurden, eine signifikant höhere maßgebende Bruchlast aufweisen gegenüber Ankern die im Lochbereich platziert wurden. Vergleichbare Ergebnisse können bei der Betrachtung der Kraft bei 1 mm Verformung festgestellt werden. Anker, die nicht im Lochbereich platziert waren, wiesen bei 1 mm Verformung signifikant höhere Werte auf. Bei Ankern, die im Lochbereich platziert waren, konnten hingegen nur vereinzelte Werte bei 1 mm Verformung festgestellt werden, da zumeist bereits bei geringeren Verformungswerten ein Versagen festzustellen war. Für alle geprüften Anker



ist dieses Verhalten anhand der Kraft-Verformungs-Linien in Abbildung 22 zusammenfassend dargestellt.

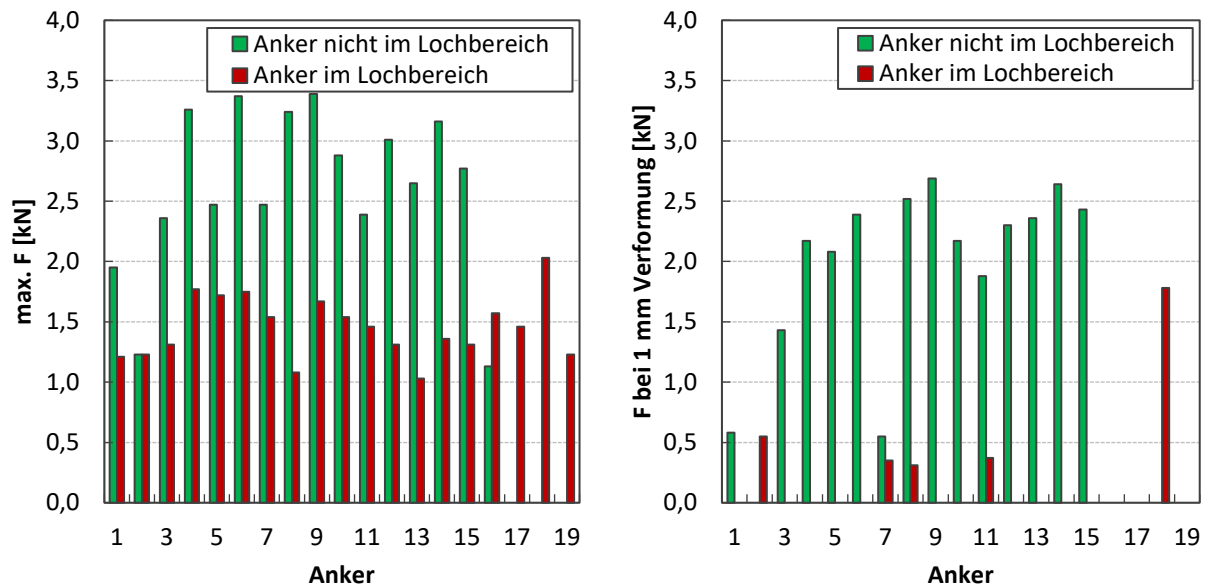


Abbildung 21: maßgebende Bruchlast und Kraft bei 1 mm Verformung aller Anker in Abhängigkeit der Platzierung zum Lochbereich

Abbildung 23 zeigt die Mittelwerte der maßgebenden Bruchlast sowie der Kraft bei 1 mm Verformung aller eingelegten Anker der Wand. Es ist ersichtlich, dass sowohl der Mittelwert der maßgebenden Bruchlast als auch die mittlere Kraft bei 1 mm Verformung mit 1,98 kN bzw. 1,66 kN deutlich über dem erforderlichen Mindestwert von 1 kN gemäß DIN 1053 liegen. Bei Betrachtung der Ergebnisse in Abhängigkeit der Platzierung der Anker zum Loch ist dagegen die signifikante Reduzierung der Zugtragfähigkeit der Anker infolge der Platzierung erkennbar. Es ist ein Abfall der maßgebenden Bruchlast um ca. 45 % und der Kraft bei 1 mm Verformung um ca. 65 % bei einer Platzierung der Anker im Lochbereich feststellbar.

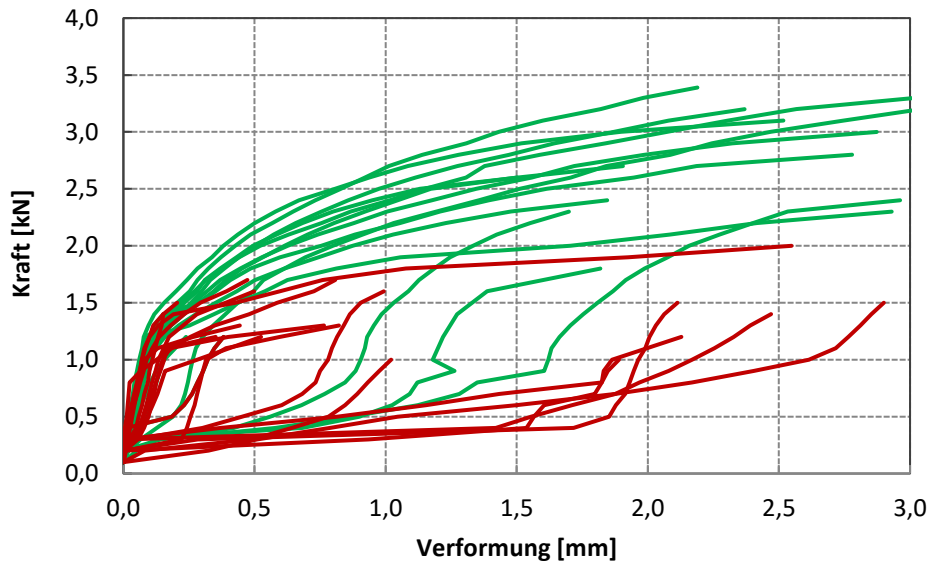


Abbildung 22: Kraft-Verformungs-Linien aller Anker in Abhängigkeit der Platzierung zum Lochbereich

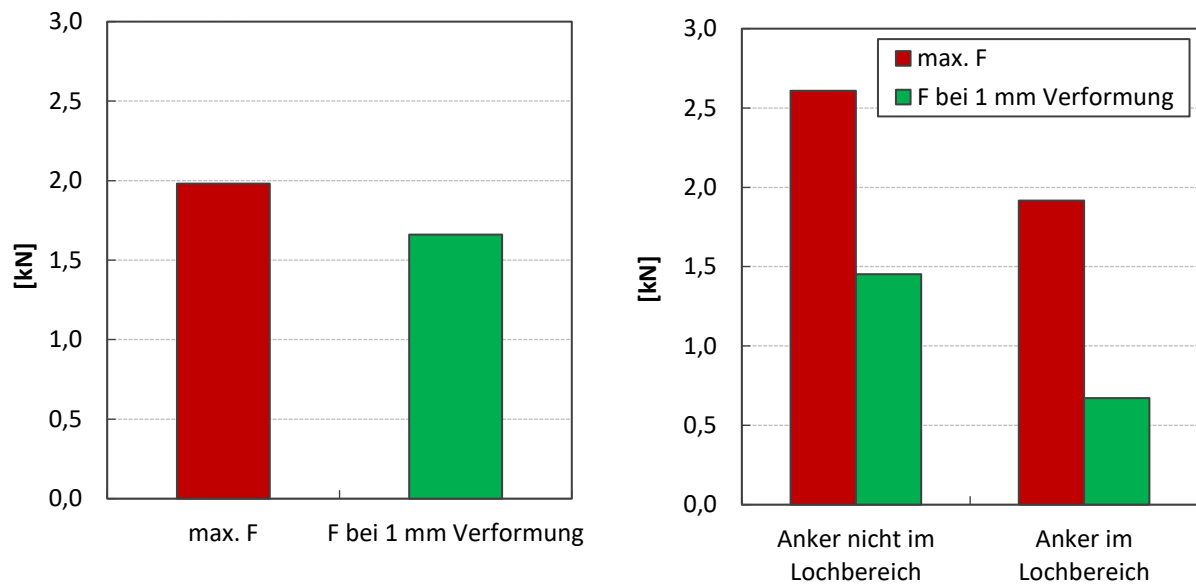


Abbildung 23: Mittelwerte der maßgebenden Bruchlast und der Kraft bei 1 mm Verformung aller Anker (links) und in Abhängigkeit der Platzierung zum Lochbereich (rechts)

## 6 Schlussfolgerungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden gängige Lochanordnungen in Mauersteinen im Spiegelbild zur Normungssituation analysiert sowie vergleichende Versuche zur Zug- und Drucktragfähigkeit von Drahtankern in Abhängigkeit der Steinart, der Lochung und der Positionierung zum Loch durchgeführt. Es können folgende Aussagen zusammenfassend abgeleitet werden:

- Die geforderte minimale Außenstegdicke von 10 mm gemäß DIN EN 1996-1-1 bzw. DIN V 20000-402 wird bei praxisüblichen Kalksand-Lochsteinen aller deutschen Formate deutlich überschritten. Demnach gibt es in Deutschland offenbar keine wirtschaftliche Notwendigkeit für eine Regelung derart dünner Außenstegdicken. Die sich bei dünnen Außenstegdicken für Drahtanker ergebenden Risiken zur Tragfähigkeit konnten somit für praxisübliche Steine nicht abschließend quantifiziert werden.
- Auch für Hohlblöcke aus Leichtbeton oder Normalbeton wird die gemäß DIN EN 1996-1-1 europäisch geforderte minimale Außenstegdicke von 18 mm bei in Deutschland praxisüblichen Hohlblöcken (Außenstegdicke  $\geq 35$  mm) deutlich überschritten. Die Außenstegdicken befinden sich im Bereich der in Deutschland einzuhaltenden variablen Grenzwerte in Abhängigkeit der Steinbreite und der Kammeranzahl gemäß DIN V 2000-403.
- Die Mörteldruckfestigkeit besitzt einen maßgeblichen Einfluss auf die Zug- und Drucktragfähigkeit von Drahtankern unabhängig von der Steinart und von der Positionierung zum Loch. Handelsübliche Mörtelsysteme weisen oftmals deutlich höhere Druckfestigkeiten auf als der jeweilige in DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.2 anzusetzende Rechenwert für die Druckfestigkeit.
- Eine Reduzierung der Zugtragfähigkeit infolge eines vorherigen Auf- und Abbiegens ist vorrangig bei erhöhter Mörteldruckfestigkeit feststellbar.
- Eine hinreichende Drucktragfähigkeit der Drahtanker ist unabhängig von der Steinart nur bei einer ausreichenden Vermörtelung hinter dem Drahtanker gegeben. Dabei ist vor allem die Positionierung der Drahtanker im Bereich der Grifflöcher der unteren Steinreihe als kritisch zu bewerten.

Die Versuchsergebnisse zur Zug- und Drucktragfähigkeit von Drahtankern können in Abhängigkeit der Steinart und der Lochung unter Beachtung des in DIN 1053-1

geforderten Mindestwertes der mittleren Zug- und Druckkraft von 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf wie folgt zusammengefasst werden:

- Bei Kalksand-Lochsteinen weisen die Mittelwerte der Zug- und Drucktragfähigkeiten bei einer Positionierung des Drahtankers im Bereich des größten Loches (hier:  $\varnothing$  42 mm) Werte deutlich unter 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf (Außenstegdicke 25 mm bzw. 26 mm) auf. Die Mittelwerte der Versuchsergebnisse zur Zugtragfähigkeit sind bei einer Mörteldruckfestigkeit der Gruppe IIa (MG IIa) um ca. 35 % und die zur Drucktragfähigkeit um ca. 55 % reduziert. Selbst bei einer erhöhten Mörteldruckfestigkeit (hier: 14,6 N/mm<sup>2</sup>) wurden bei ungünstiger Positionierung der Anker zum Loch nur ca. 85 % des Mindestwertes der Zug- und Drucktragfähigkeit von 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf erreicht.
- Bei Hohlblöcken aus Leichtbeton weisen die Mittelwerte der Zugtragfähigkeit bei einer Mörteldruckfestigkeit der Gruppe IIa (MG IIa) geringfügig höhere Werte (1043 kN bzw. 1086 kN) als der geforderte Mindestwert von 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf je Drahtanker auf. Eine Drucktragfähigkeit bei 1,0 mm Verformung war im zentrischen Druckversuch bei der Positionierung der Drahtanker im Bereich des Griffloches der unteren Steinreihe nur vereinzelt bestimmbar, weil meist die Drahtanker bereits bei wesentlich geringeren Verformungen versagten. Bei exzentrischer Druckbelastung (mit vorherigem Auf- und Abbiegen der Drahtanker) weist die Drucktragfähigkeit geringfügig geringere Werte als 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf auf.
- Der Mindestwert der mittleren Zugtragfähigkeit von 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf wurde bei den durchgeführten Versuchsserien mit Leichtbeton-Hohlblocksteinen bei einer Mörteldruckfestigkeit der Mörtelgruppe IIa ganz knapp (ohne Reserven) erreicht. Dagegen war eine Drucktragfähigkeit nur bei exzentrischer Druckbelastung bestimmbar, da die Drahtanker bei zentrischer Druckbeanspruchung schon bei geringeren Verformungen versagten. Es ist festzuhalten, dass die Versuche an Leichtbeton-Hohlblocksteinen mit einer Außenstegdicke von 35 mm durchgeführt wurden, die minimale normativ (DIN V 20000-403) festgelegte Außenstegdicke weist jedoch nur 30 mm auf (z. B. bei Steinbreite = 240 mm und bei 4 Kammern). Mit abnehmender Außenstegdicke ist vor allem eine Abnahme

der Zugtragfähigkeit zu erwarten, so dass dabei nur Zugtragfähigkeiten unterhalb des Mindestwertes von 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf zu erwarten sind.

Zusammenfassend lässt sich anhand der Versuchsergebnisse feststellen, dass bei geringen Außenstegdicken, gängigen Lochanordnungen und extremalen Drahtankerpositionierungen sowohl bei Kalksand-Lochsteinen als auch bei Hohlblöcken aus Leichtbeton oder Normalbeton Sicherheitslücken in der Anwendung von Drahtankern abgeleitet werden können. Diese Sicherheitslücken sind bei Kalksand-Lochsteinen deutlich stärker ausgeprägt als bei den Hohlblöcken aus Leichtbeton. Es sollten folgende Anwendungsgrenzen zur Reduzierung der Sicherheitslücken in der Anwendung von Drahtankern diskutiert werden:

- Eine Positionierung der Drahtanker im Bereich des Griffloches der unteren Steinreihe sollte vermieden werden.
- Bei Hohlblocksteinen aus Leichtbeton oder Normalbeton ist eine Außenstegdicke von mindestens 35 mm erforderlich.

Unterstellt man wie in DIN 1053-1 einen erforderlichen Mindestwert der Zug- und Drucktragfähigkeit von 1,0 kN bei 1,0 mm Schlupf je Drahtanker, sind bei Kalksand-Lochsteinen der Steingruppe 2 derzeit signifikante Sicherheitslücken bei ungünstiger Positionierung der Drahtanker vorhanden. Die Mittelwerte der Zug- und Drucktragfähigkeiten liegen bei einer Positionierung des Drahtankers im Bereich des größten Loches (hier:  $\varnothing$  42 mm) bei der 2-Stein-Prüfung jeweils unter 1 kN bei 1,0 mm Schlupf (Außenstegdicke 25 mm bzw. 26 mm). Bei der Bewertung der Versuchsergebnisse ist zu berücksichtigen, dass bei den durchgeführten Versuchsreihen jeweils die ungünstigste Lage der Drahtanker geprüft wurde, die bei Verwendung der Drahtanker in der Praxis jedoch nicht immer vorhanden ist. Eine Verschiebung hin zu höheren Mittelwerten kann somit für die Praxis angenommen werden. Die ergänzenden Wandversuche bestätigen diese Hypothese. Wertet man die Mittelwerte der Maximallast sowie der Kraft bei 1 mm Verformung über alle eingelegten Anker der Wand aus, so liegen diese deutlich über dem erforderlichen Mindestwert von 1 kN. Bei einer gesonderten Betrachtung der im Lochbereich platzierten Anker musste jedoch ein signifikanter Abfall der maßgebenden Bruchlast festgestellt werden.

Zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit von Drahtankern können für Kalksand-Lochsteine der Gruppe 2 zudem folgende Korrekturen bei den Anwendungsgrenzen diskutiert werden:

- Erhöhung der gemäß DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.18 erforderlichen Mindestanzahl von Drahtankern je m<sup>2</sup> Wandfläche
- Einteilung der Mindestanzahl von Drahtankern je m<sup>2</sup> Wandfläche gemäß DIN EN 1996-1-1/NA, Tabelle NA.18 in Abhängigkeit der jeweiligen Steinart und Steingruppe

Die Festlegung der Mindestanzahl der jeweiligen Drahtanker könnte alternativ für alle Drahtankerarten gemäß DIN EN 1996-1-1, Abs. 6.5 (4) erfolgen. Dabei wären die Anwendungsregeln der DIN EN 845-1 bzw. die vom Hersteller für jeden Drahtankertyp zu deklarierenden Werte der Tragfähigkeit zu verwenden.

## Literatur

### Normen

- [N1] DIN EN 1996-1-1: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten – Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. 02-2013
- [N2] DIN EN 1996-1-1/NA: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk. 03.2014
- [N3] DIN EN 771-1: Festlegungen für Mauersteine - Teil 1: Mauerziegel. 11.2015
- [N4] DIN EN 771-4: Festlegungen für Mauersteine - Teil 4: Porenbetonsteine. 11.2015
- [N5] DIN V 20000-402: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 402: Regeln für die Verwendung von Kalksandsteinen nach DIN EN 771-2:2015-11
- [N6] DIN V 20000-404: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 404: Regeln für die Verwendung von Porenbetonsteinen nach DIN EN 771-4. 07.2011
- [N7] DIN 1053: Mauerwerk – Teil 1: Berechnung und Ausführung. 11-1996
- [N8] DIN V 20000-403: Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken - Teil 403: Regeln für die Verwendung von Mauersteinen aus Beton (mit dichten und porigen Zuschlägen) nach DIN EN 771-3:2015-11
- [N9] DIN EN 772-1: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. 05.2016
- [N10] DIN EN 772-9: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 9: Bestimmung des Loch- und Nettovolumens sowie des prozentualen Lochanteils von Mauerziegeln und Kalksandsteinen mittels Sandfüllung. 05.2005
- [N11] DIN EN 772-13: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 13: Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohichte von Mauersteinen (außer Natursteinen). 02.2000
- [N12] DIN EN 772-16: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 16: Bestimmung der Maße. 07.2011
- [N13] DIN EN 846-5: Prüfverfahren für Ergänzungsbauteile für Mauerwerk - Teil 5: Bestimmung der Zug- und Drucktragfähigkeit sowie der Steifigkeit von Mauerankern (Steinpaar-Prüfung). 11.2012

## Literatur

- [1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-17.1-262
- [2] Havbro Faber, M.: Statistics and Probability Theory – In Pursuit of Engineering Decision Support. Springer, 2012

## Durchführende Forschungsstelle

Institut für Baustoffe

Leibniz Universität Hannover

Appelstraße 9A

D-30167 Hannover

Tel.: 0511 – 762 – 3722

Fax: 0511 – 762 - 4736

E-Mail: [institut@baustoff.uni-hannover.de](mailto:institut@baustoff.uni-hannover.de)

Web: [www.baustoff.uni-hannover.de](http://www.baustoff.uni-hannover.de)

Projektleiter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Lohaus

Sachbearbeiter:

Tobias Schack, M.Sc.

Hannover, den 22.07.2019



## Anhang

### Anhang A: Steinprüfungen

**Tabelle A.1:** Abmessungen der verwendeten Hohlblöcke aus Leichtbeton

Proben- bezeichnung	Abmessungen [mm]				
	Länge	Breite	Höhe	Außenstege	Innenstege
1	252	298	236	36	32
2	246	298	234	37	32
3	246	299	234	36	33

**Tabelle A.2:** Kennwerte der verwendeten Hohlblöcke aus Leichtbeton

Proben- bezeichnung	Steinrohddichte	Bruchlast	Steindruckfestigkeit
	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	1,04	403,0	5,4
2	1,06	428,0	5,8
3	1,06	424,0	5,8
Mittelwert	1,05	-	5,7

**Tabelle A.3:** Abmessungen der verwendeten Kalksandsteine

Proben- bezeichnung	Abmessungen [mm]				
	Länge	Breite	Höhe	Außenstege	Innenstege
1	240	175	114	> 22	> 9
2	240	175	114		
3	240	175	114		

**Tabelle A.4:** Kennwerte der verwendeten Kalksandsteine

Proben- bezeichnung	Steinrohddichte	Steindruckfestigkeit
	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	1,30	27,1
2	1,29	28,6
3	1,30	28,2
Mittelwert	1,30	28,0

## Anhang B: Auszugversuche (Zug- und Drucktragfähigkeit)

**Tabelle B.1:** Ergebnisse der Versuchsserie KS-1-14,6

PK-Nr.	Mörtel- festigkeit	Prüfungs- art <sup>2</sup>	Ankervor- behandlung <sup>3</sup>	Bruchlast F <sub>u</sub>	F bei 5mm Verfor- mung	maßge- bende Bruchlast	F bei 1mm Verformung
	[N/mm <sup>2</sup> ]						
1	14,6	1	1	1630	1440	1440	880
2	14,6	1	1	1170	-	1170	-
3	14,6	1	1	1120	-	1120	-
4	14,6	1	1	1600	1420	1420	800
5	14,6	1	1	1340	-	1340	870
6	14,6	1	2	850	-	850	-
7	14,6	1	2	890	-	890	-
8	14,6	1	2	930	-	930	-
9	14,6	1	2	1540	1490	1490	870
10	14,6	1	2	1250	-	1250	-
11	17,1	2	1	1180	-	1180	1024
12	17,1	2	1	950	-	950	680
13	17,1	2	1	1030	-	1030	-
14	17,1	2	1	1800	-	1800	1630
15	17,1	2	1	1120	-	1120	-
16	17,1	3	2	1240	-	1240	-
17	17,1	3	2	1220	-	1220	1140
18	17,1	3	2	1130	-	1130	-
19	17,1	3	2	1350	-	1350	1180
20	17,1	3	2	1780	1680	1680	850

**Tabelle B.2:** Ergebnisse der Versuchsserie KS-2-5,7

PK-Nr.	Mörtel- festigkeit	Prüfungs- art	Ankervor- behandlung	Bruchlast F <sub>u</sub>	F bei 5mm Verfor- mung	maßge- bende Bruchlast	F bei 1mm Verformung
	[N/mm <sup>2</sup> ]						
1	5,7	1	1	1700	-	1700	1430
2	5,7	1	1	830	-	830	600
3	5,7	1	1	900	-	900	-

<sup>2</sup> Prüfungsart: 1 = Zug, zentrisch; 2 = Druck, zentrisch; 3 = Druck, exzentrisch

<sup>3</sup> Ankervorbehandlung: 1 = ohne; 2 = vorheriges Auf- und Abbiegen der Drahtanker

4	5,7	1	1	700	-	700	-
5	5,7	1	1	550	-	550	-
6	5,7	1	1	600	-	600	-
7	5,7	1	1	740	-	740	-
8	5,7	1	1	520	-	520	-
9	5,7	1	1	640	-	640	-
10	5,7	1	1	700	-	700	700
11	5,7	1	2	1120	820	820	680
12	5,7	1	2	790	-	790	-
13	5,7	1	2	850	-	850	690
14	5,7	1	2	550	-	550	-
15	5,7	1	2	870	-	870	860
16	5,7	1	2	850	-	850	690
17	5,7	1	2	620	-	620	610
18	5,7	1	2	1020	-	1020	960
19	5,7	1	2	810	810	810	590
20	5,7	1	2	540	-	540	-
21	5,7	2	1	580	-	580	-
22	5,7	2	1	580	-	580	-
23	5,7	2	1	1140	-	1140	-
24	5,7	2	1	640	-	640	-
25	5,7	2	1	720	-	720	-
26	5,7	2	1	610	-	610	-
27	5,7	2	1	1900	490	490	450
28	5,7	2	1	790	-	790	-
29	5,7	2	1	1340	-	1340	-
30	5,7	2	1	590	-	590	-
31	5,7	3	2	1320	550	550	440
32	5,7	3	2	1200	640	640	540
33	5,7	3	2	1200	570	570	510
34	5,7	3	2	1320	590	590	540
35	5,7	3	2	990	-	990	700
36	5,7	3	2	580	-	580	-
37	5,7	3	2	540	-	540	-
38	5,7	3	2	590	-	590	-
39	5,7	3	2	650	-	650	-
40	5,7	3	2	550	-	550	-

**Tabelle B.3: Ergebnisse der Versuchsserie KS-3-11,1**

PK-Nr.	Mörtel- festigkeit	Prüfungs- art	Ankervor- behandlung	Bruchlast $F_u$	F bei 5mm Verfor- mung	maßge- bende Bruchlast	F bei 1mm Verformung
	[N/mm <sup>2</sup> ]				[N]		
1	11,1	2	1	1150	-	1150	890
2	11,1	2	1	750	-	750	-
3	11,1	2	1	710	-	710	-
4	11,1	2	1	690	-	690	-
5	-	-	-	-	-	-	-
6	11,1	3	2	1010	930	930	790
7	11,1	3	2	1300	1260	1260	870
8	11,1	3	2	1020	-	1020	700
9	11,1	3	2	1210	-	1210	870
10	11,1	3	2	670	-	670	-

**Tabelle B.4: Ergebnisse der Versuchsserie KS-4-11,1**

PK-Nr.	Mörtel- festigkeit	Prüfungs- art	Ankervor- behandlung	Bruchlast $F_u$	F bei 5mm Verfor- mung	maßge- bende Bruchlast	F bei 1mm Verformung
	[N/mm <sup>2</sup> ]				[N]		
1	11,1	2	1	240	-	240	-
2	11,1	2	1	340	-	340	-
3	11,1	2	1	580	-	580	-
4	11,1	2	1	480	-	480	-
5	11,1	2	1	450	-	450	-

**Tabelle B.5: Ergebnisse der Versuchsserie HbL-1-11,9**

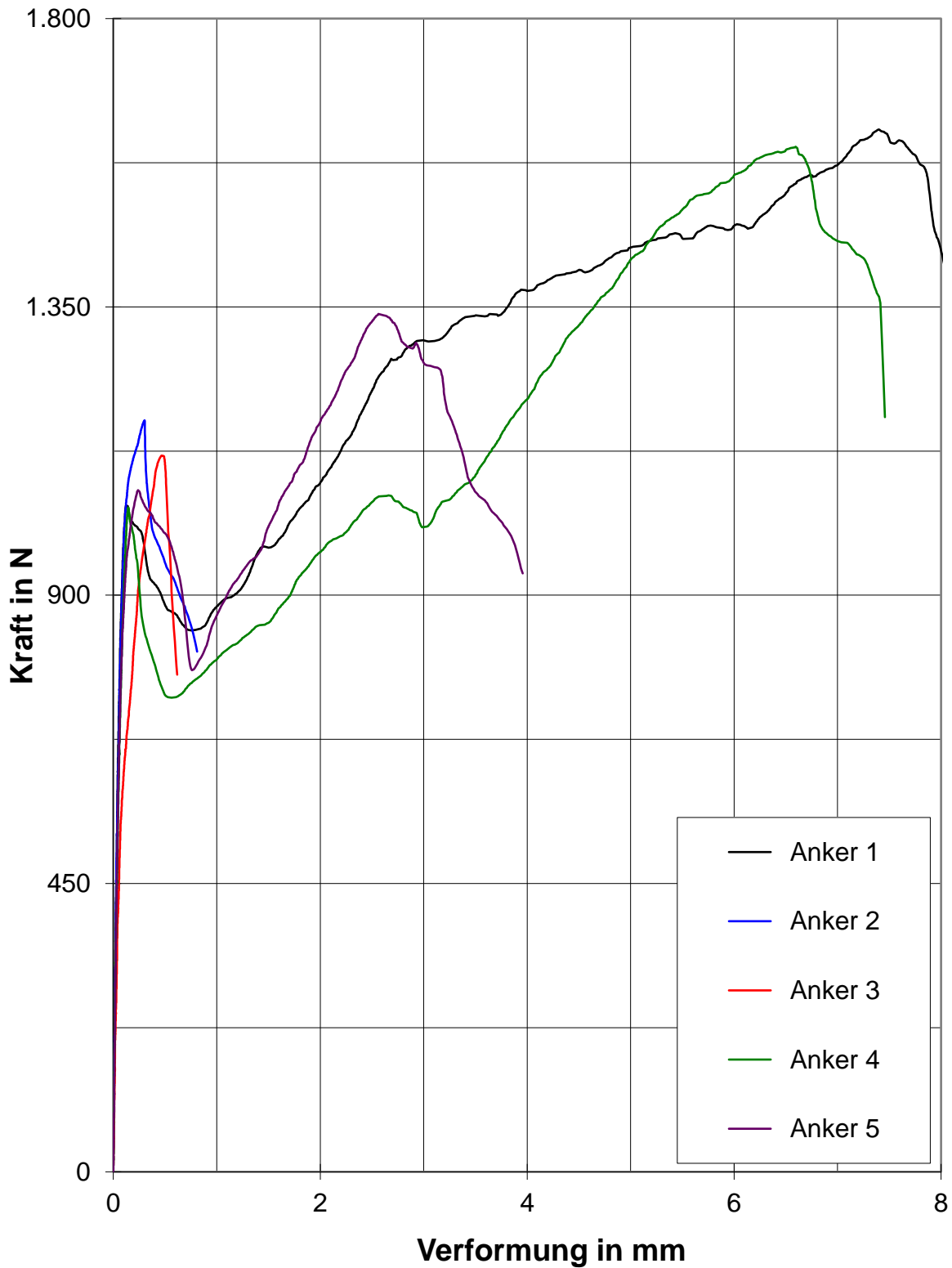
PK-Nr.	Mörtel- festigkeit	Prüfungs- art	Ankervor- behandlung	Bruchlast $F_u$	F bei 5mm Verfor- mung	maßge- bende Bruchlast	F bei 1mm Verformung
	[N/mm <sup>2</sup> ]				[N]		
1	11,9	1	1	2690	-	2690	2560
2	11,9	1	1	3360	3080	3080	2430
3	11,9	1	1	3230	1950	1950	2650
4	11,9	1	1	3340	2690	2690	2120
5	11,9	1	1	4450	2610	2610	2800
6	11,9	1	2	1710	-	1710	1260
7	11,9	1	2	3720	2230	2230	1720

8	11,9	1	2	1820	-	1820	-
9	11,9	1	2	2060	-	2060	1880
10	11,9	1	2	1980	-	1980	-
11	15,1	2	1	1760	-	1760	-
12	15,1	2	1	1620	-	1620	-
13	15,1	2	1	1900	-	1900	-
14	15,1	2	1	1510	-	1510	-
15	15,1	2	1	1930	-	1930	-
16	15,1	3	2	16810	-	1680	1490
17	15,1	3	2	1460	-	1460	-
18	15,1	3	2	1590	-	1590	-
19	15,1	3	2	1340	-	1340	-
20	15,1	3	2	1560	-	1560	-

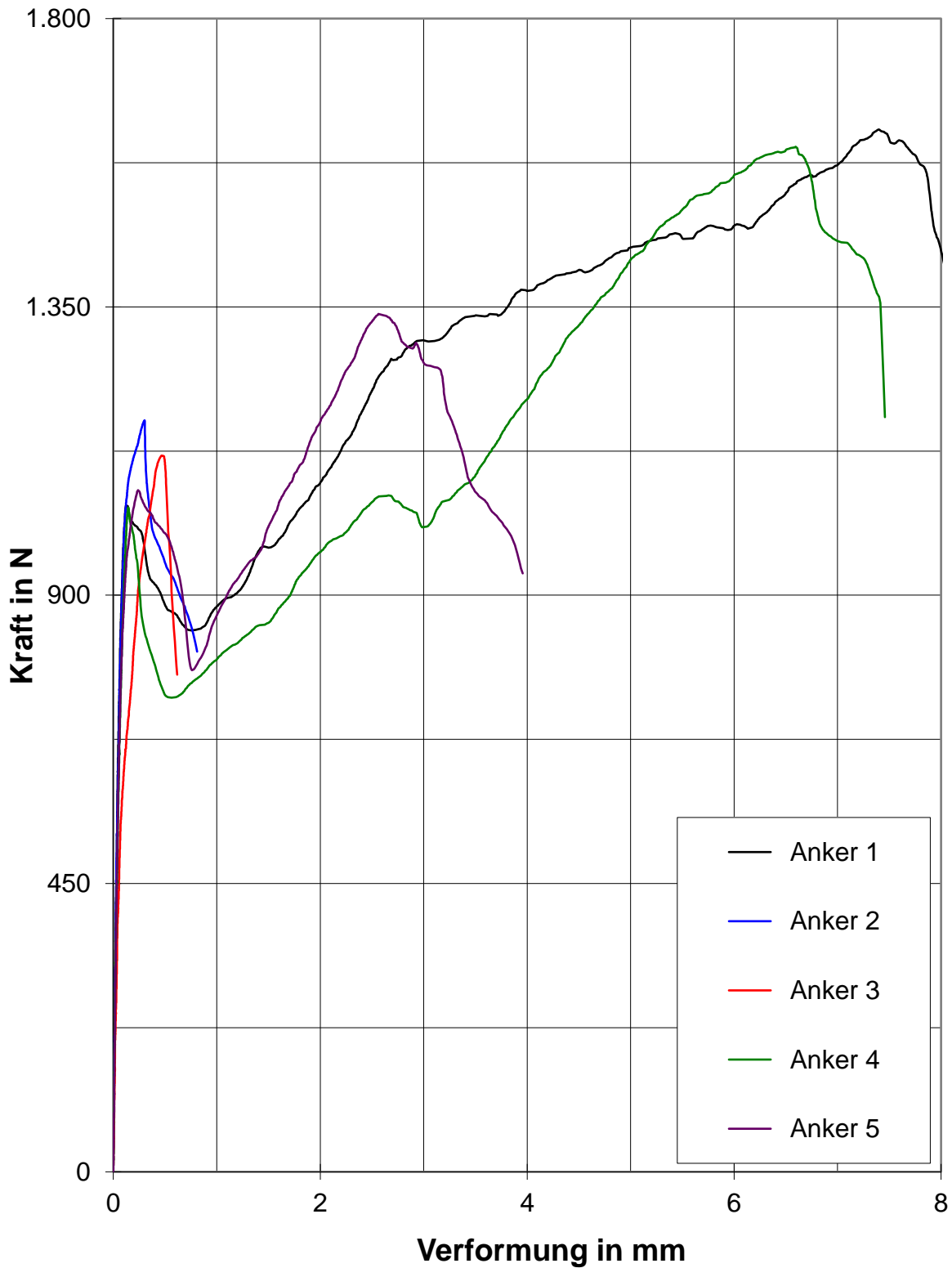
**Tabelle B.6:** Ergebnisse der Versuchsserie HbL-2-5,4

PK-Nr.	Mörtel- festigkeit	Prüfungs- art	Ankervor- behandlung	Bruchlast F <sub>u</sub>	F bei 5mm Verfor- mung	maßge- bende Bruchlast	F bei 1mm Verformung
	[N/mm <sup>2</sup> ]			[N]	[N]	[N]	[N]
1	5,4	1	1	1830	1440	1440	720
2	5,4	1	1	1020	-	1020	1000
3	5,4	1	1	1660	1290	1290	1270
4	5,4	1	1	1390	-	1390	1210
5	5,4	1	1	1640	1520	1520	990
6	5,4	1	1	1090	-	1090	1080
7	5,4	1	1	1150	-	1150	-
8	5,4	1	1	2110	1670	1670	1210
9	5,4	1	1	2180	1680	1680	1050
10	5,4	1	1	1710	1230	1230	860
11	5,4	1	2	2140	1650	1650	1270
12	5,4	1	2	110	-	1100	-
13	5,4	1	2	2160	1190	1190	880
14	5,4	1	2	1220	-	1220	-
15	5,4	1	2	840	-	840	780
16	5,4	1	2	1940	1240	1240	940
17	5,4	1	2	1400	1380	1380	1190
18	5,4	1	2	2270	1970	1970	940
19	5,4	1	2	1810	1180	1180	1110

20	5,4	1	2	1660	-	1660	1580
21	5,4	2	1	610	-	610	-
22	5,4	2	1	510	-	510	-
23	5,4	2	1	1400	-	1400	-
24	5,4	2	1	1420	-	1420	-
25	5,4	2	1	540	-	540	360
26	5,4	2	1	480	-	480	-
27	5,4	2	1	1220	-	1220	-
28	5,4	2	1	600	-	600	-
29	5,4	2	1	1370	-	1370	-
30	5,4	2	1	1380	-	1380	-
21	5,4	3	2	1430	-	1430	1280
32	5,4	3	2	1020	900	900	430
33	5,4	3	2	1290	730	730	650
34	5,4	3	2	1440	1370	1370	790
35	5,4	3	2	1410	850	850	770
36	5,4	3	2	1150	-	1150	1100
37	5,4	3	2	1310	-	1310	1280
38	5,4	3	2	1320	-	1320	1310
39	5,4	3	2	1270	1110	1110	740
40	5,4	3	2	1110	-	1110	1030

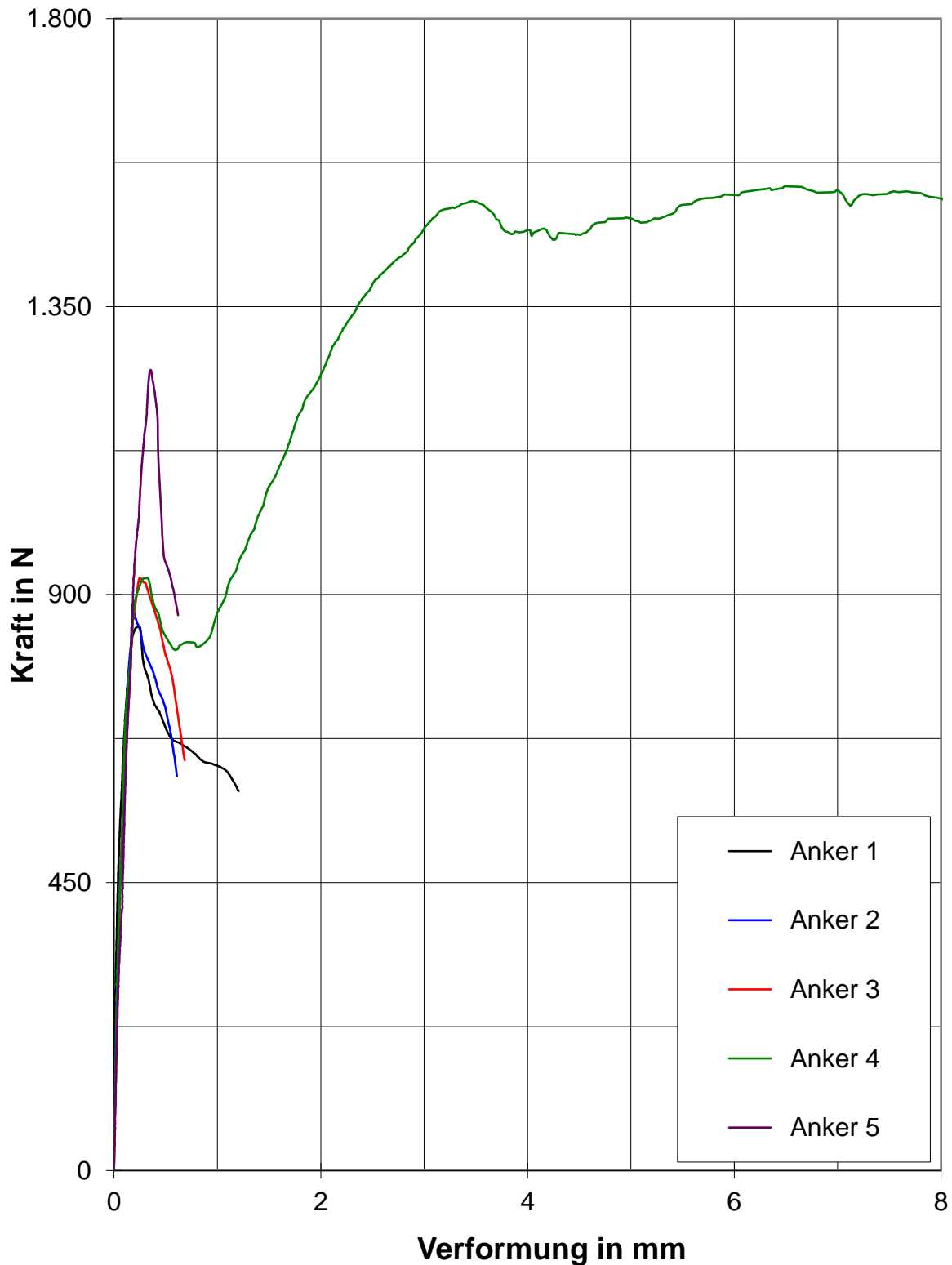


**KS-1-14,6: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 8 mm Verformung

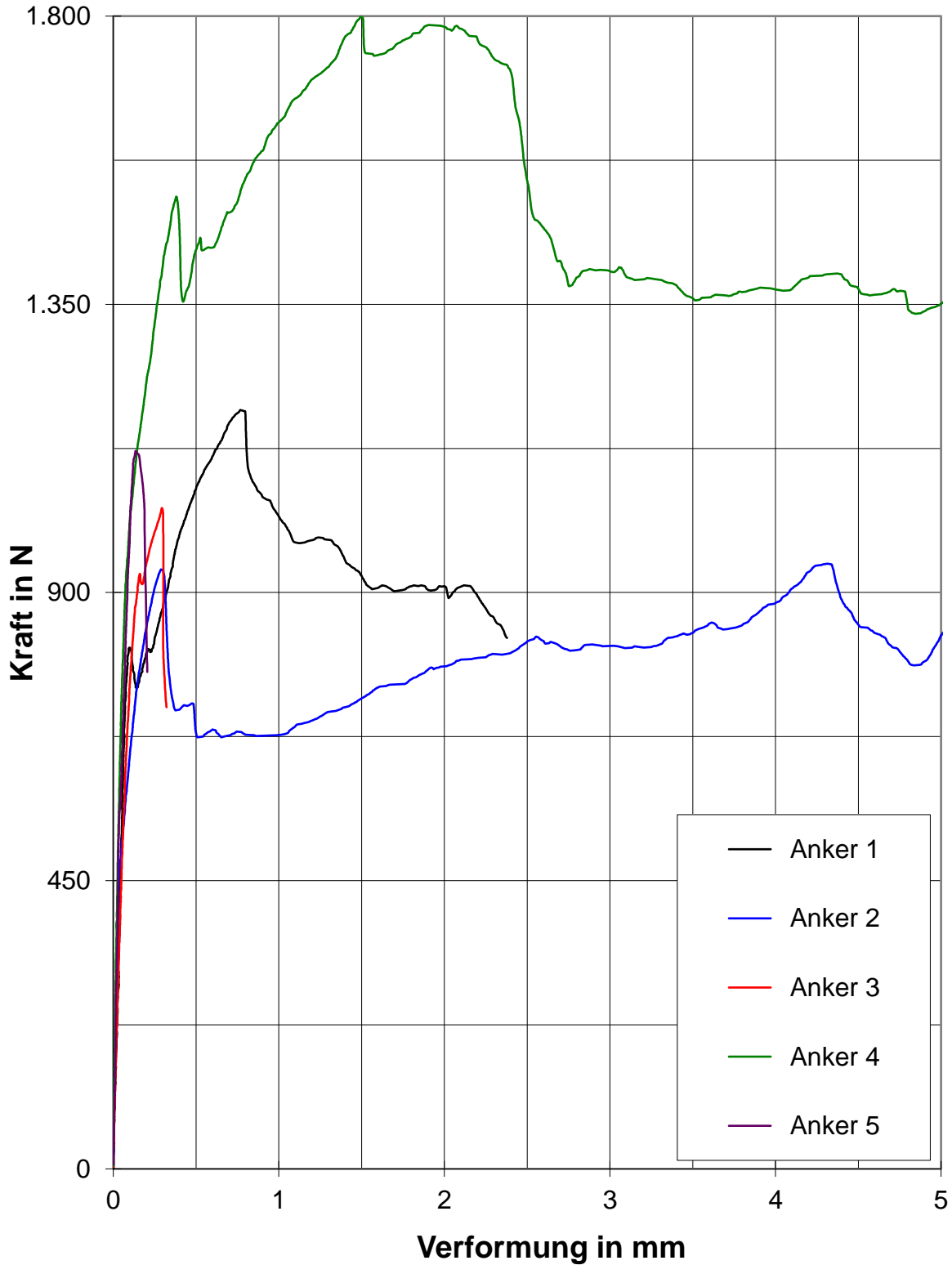


**KS-1-14,6: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 8 mm Verformung

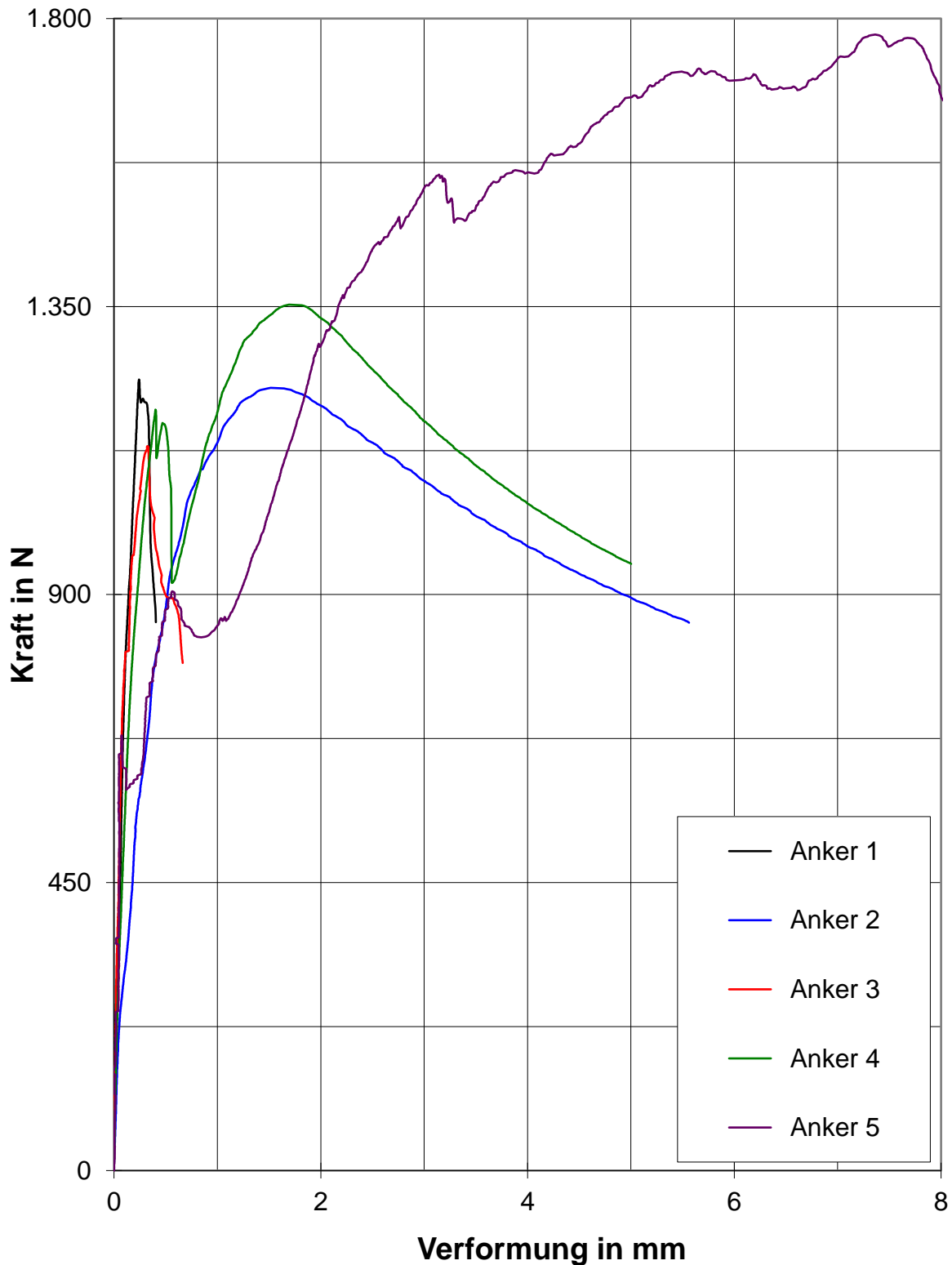




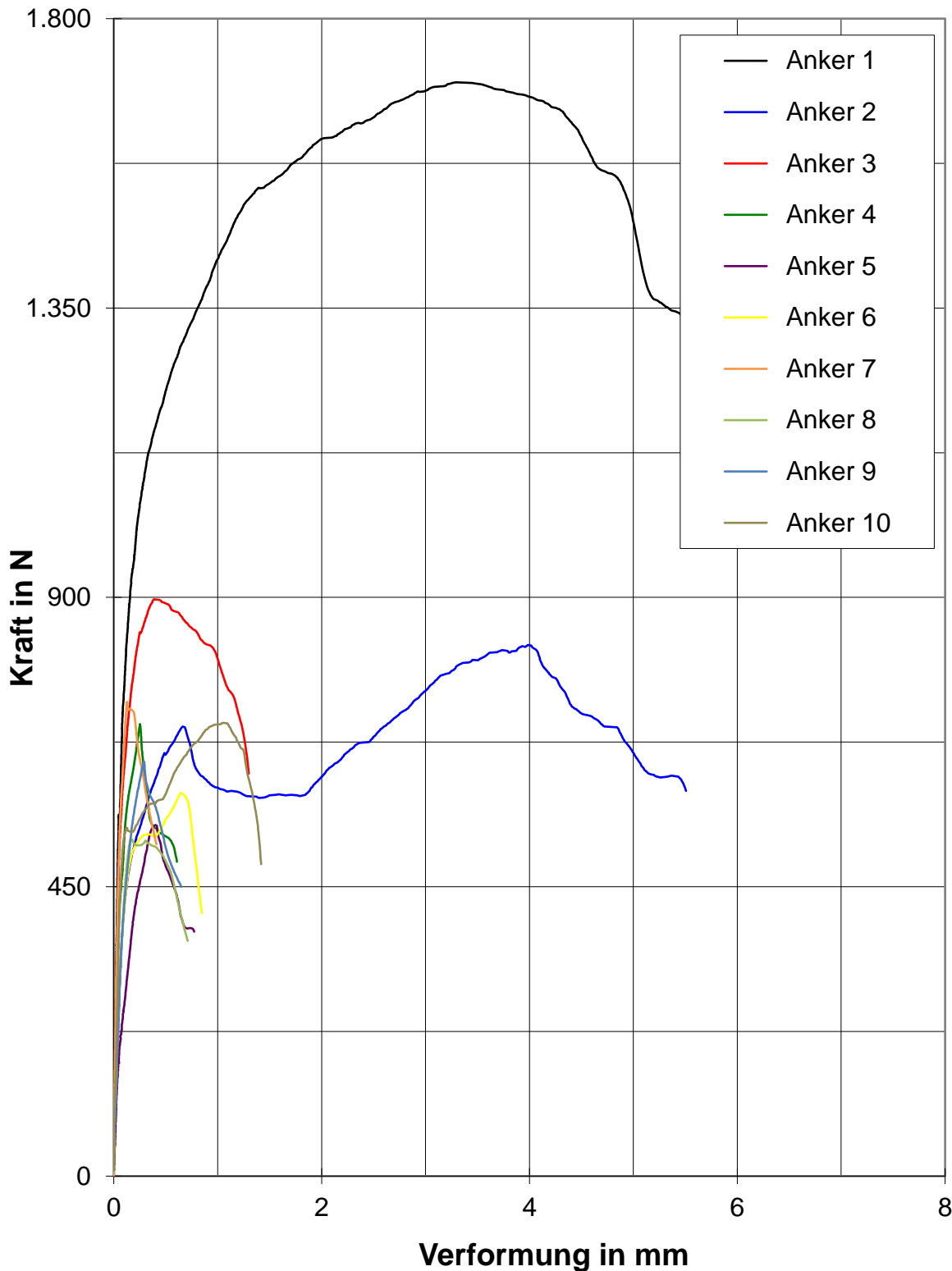
**KS-1-14,6: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / Anker ab- und hochgebogen



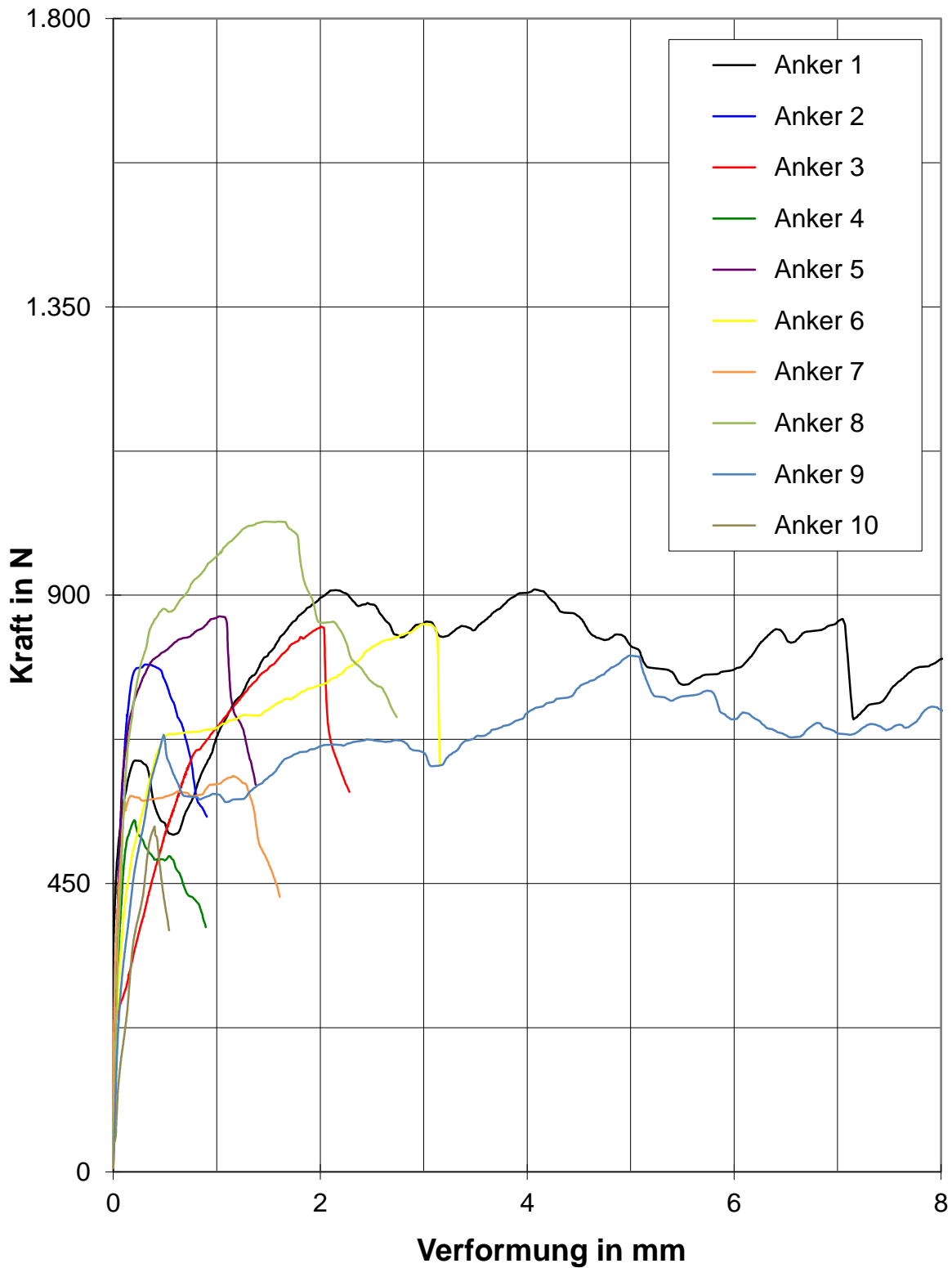
**KS-1-14,6: Zentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 5 mm Verformung



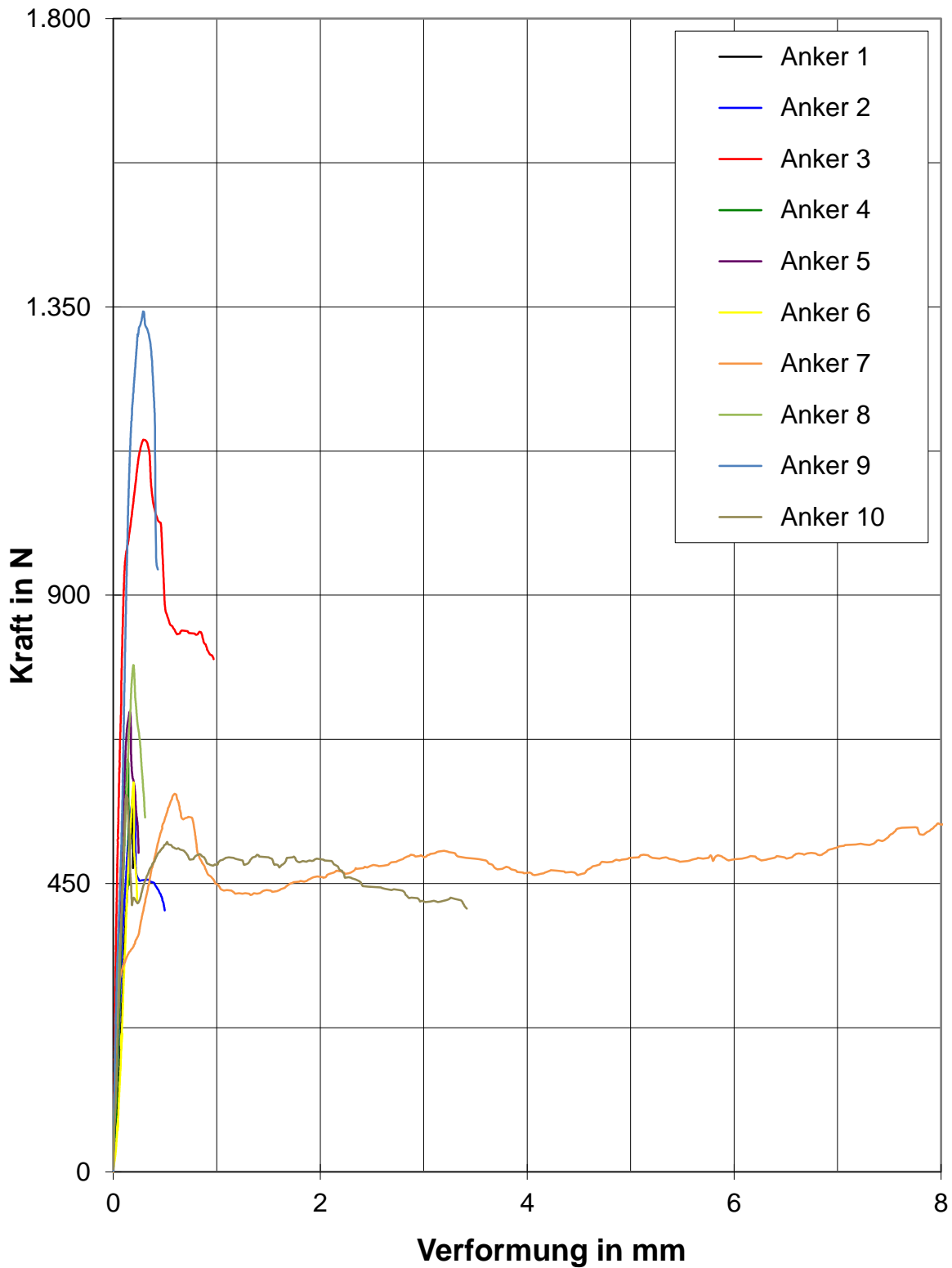
**KS-1-14,6: Exzentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / Anker ab- und hochgebogen



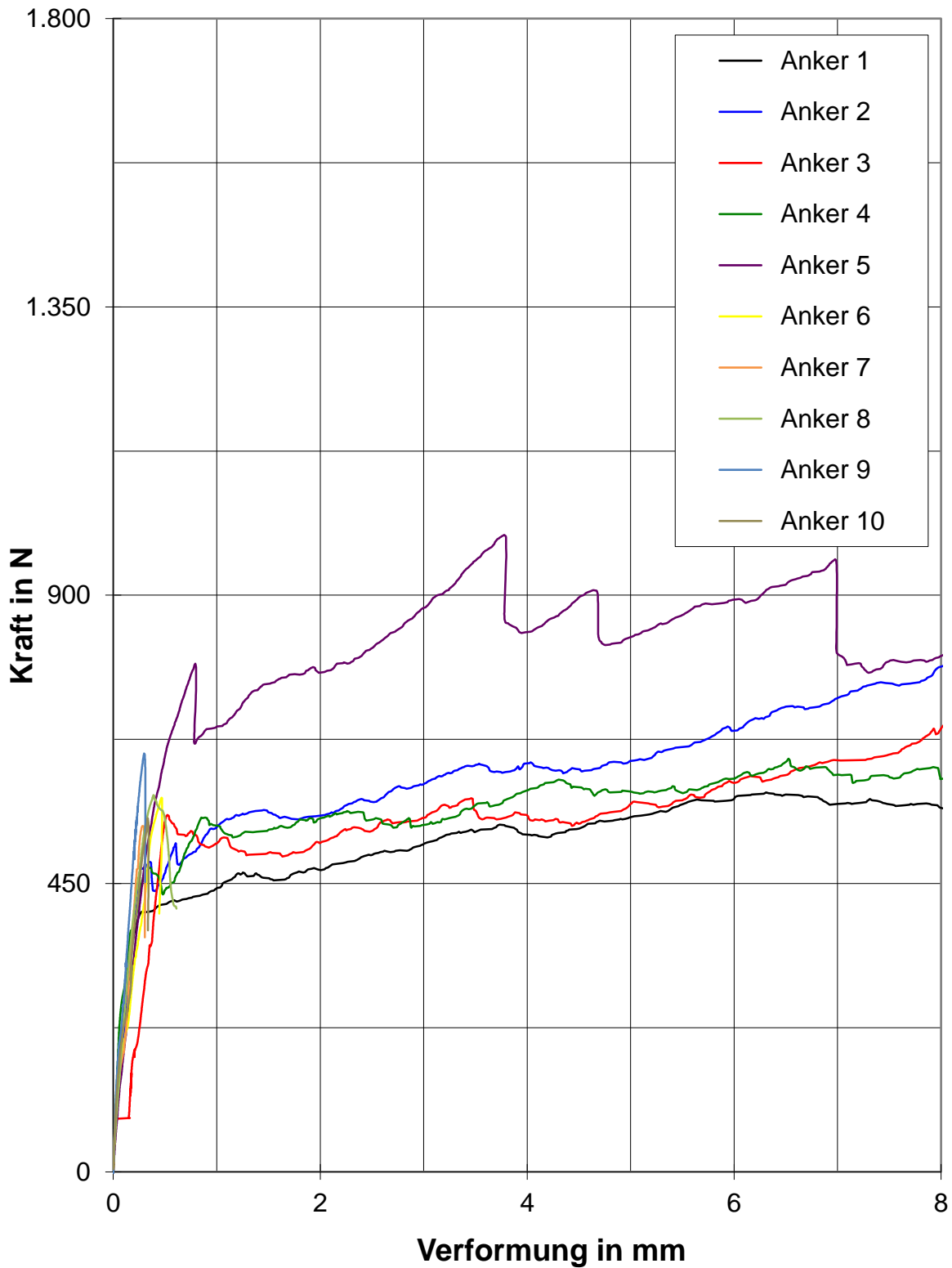
**KS-2-5,4: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtankern  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 8 mm Verformung



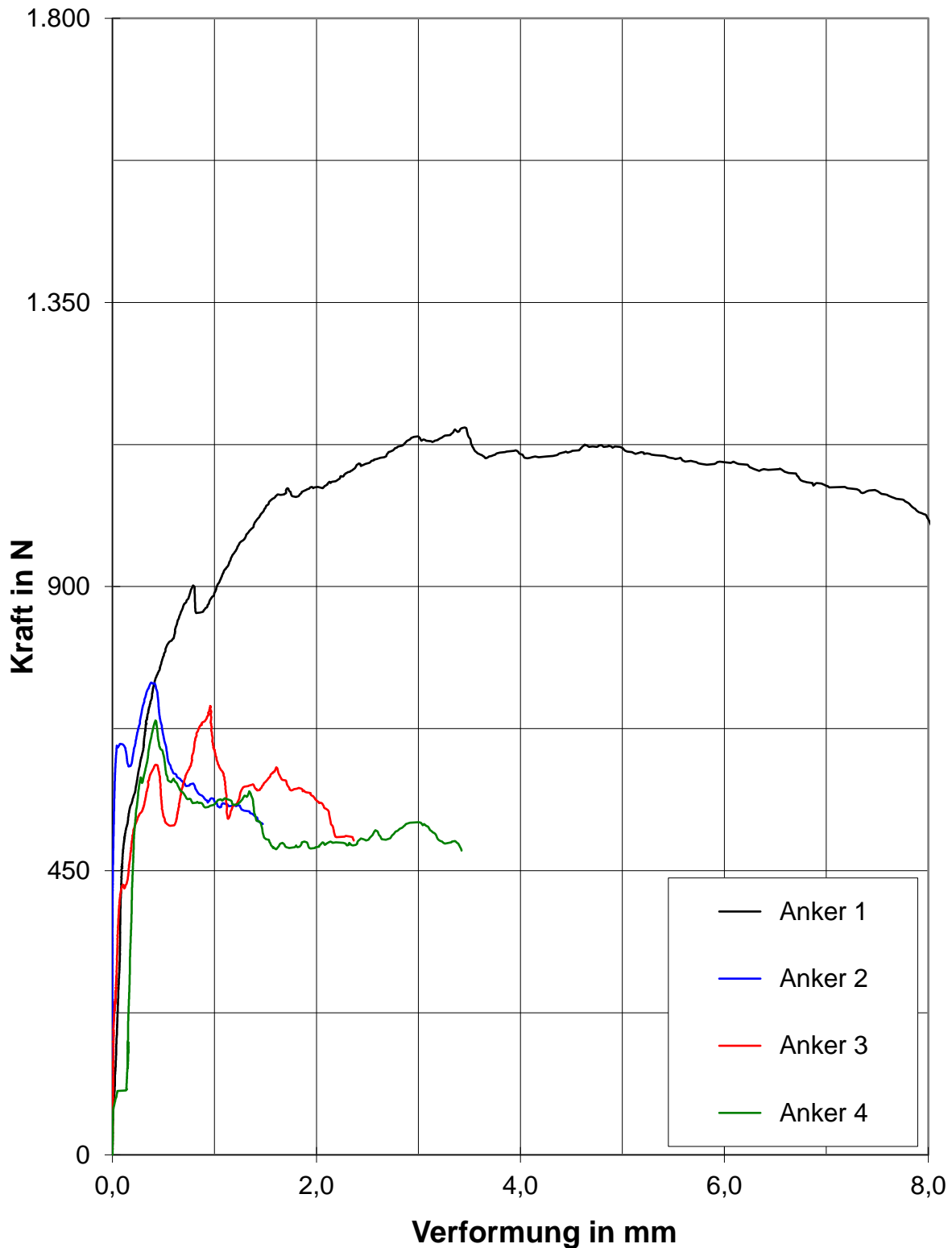
**KS-2-5,4: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / Anker ab- und hochgebogen



**KS-2-5,4: Zentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 8 mm Verformung

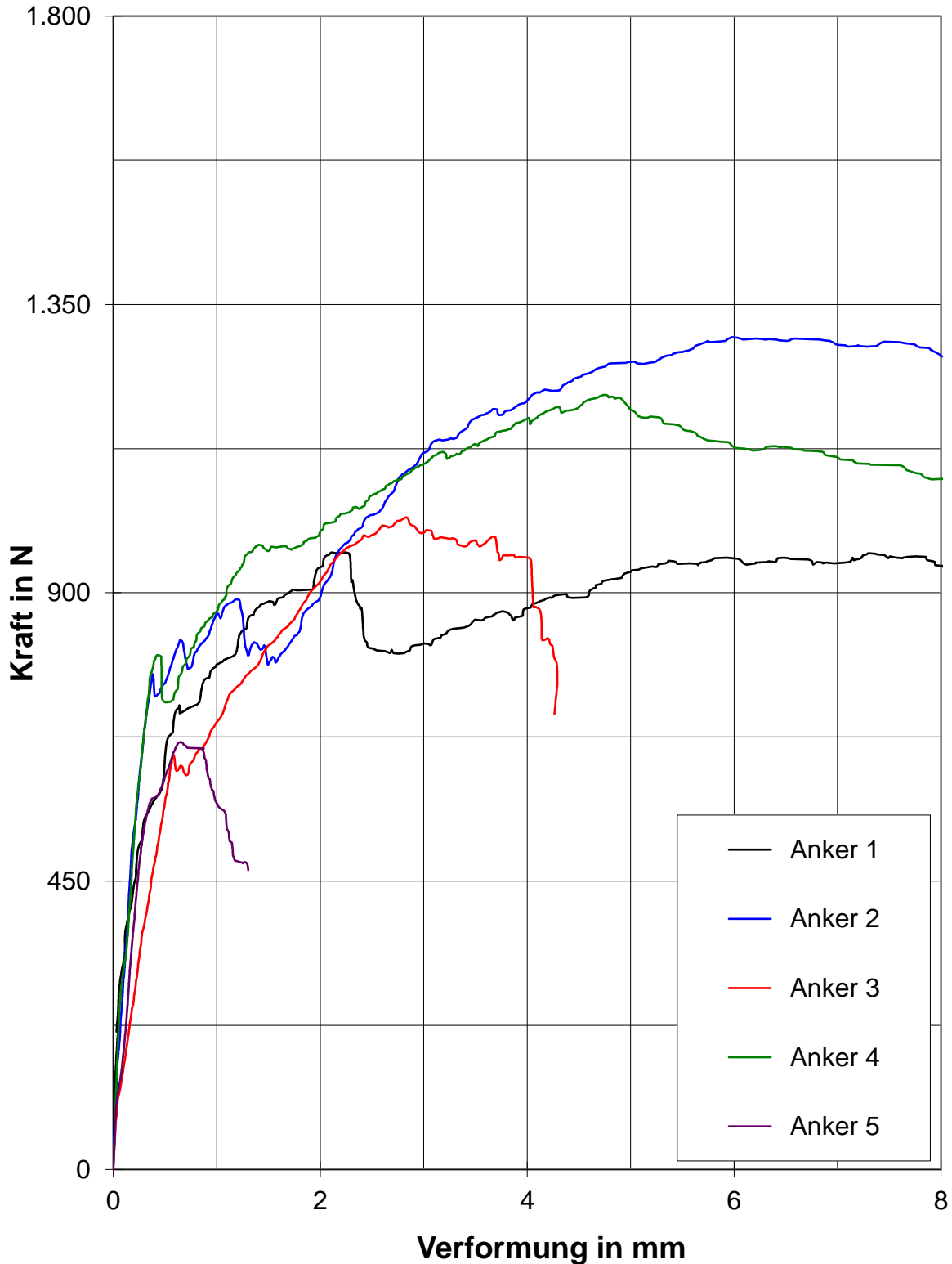


**KS-2-5,4: Exzentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / Anker ab- und hochgebogen



**KS-3-11,1: Zentrische Druckversuche; L-Drahtankern  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / hier: Darstellung bis 1,0 mm Verformung

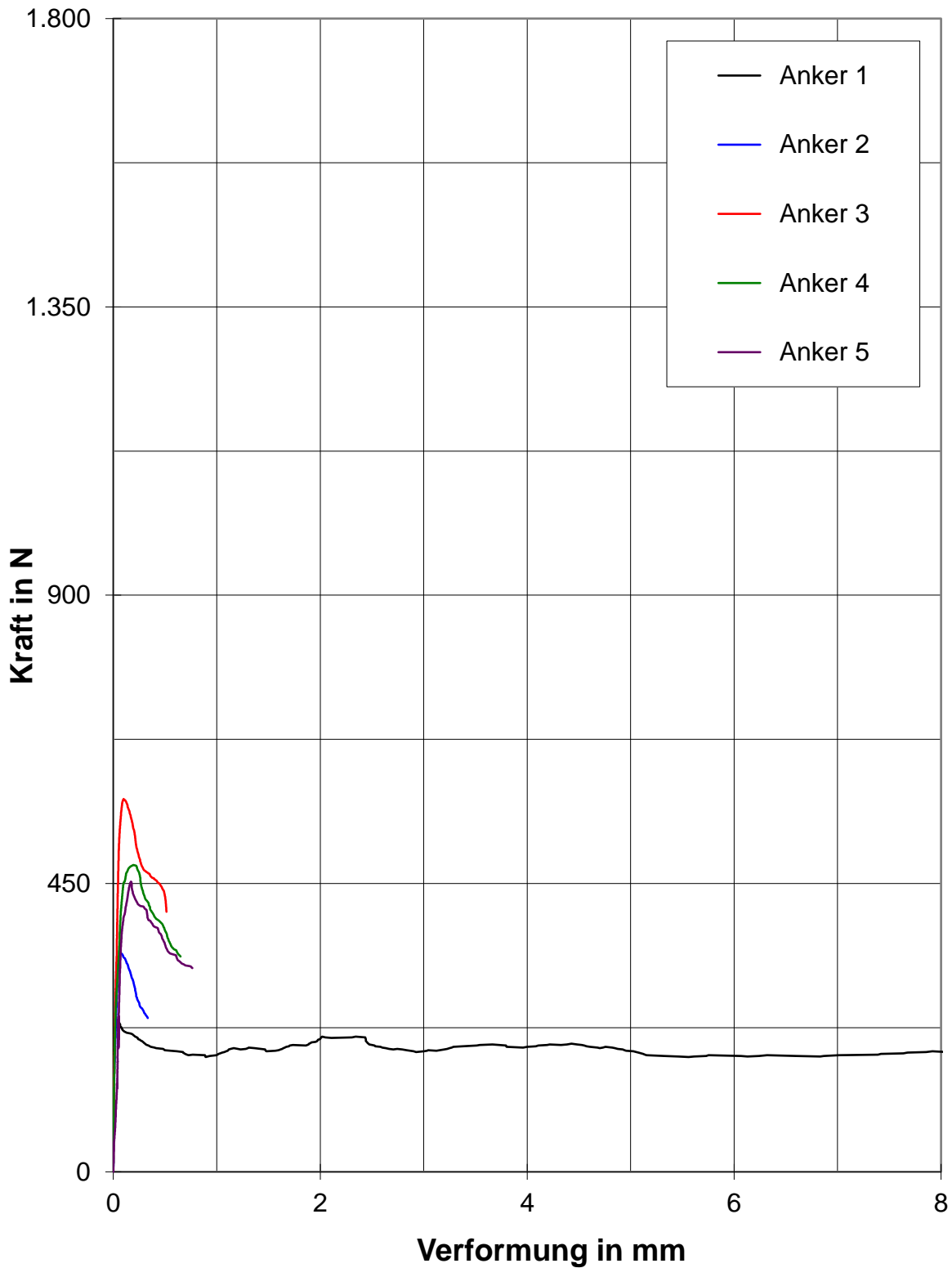




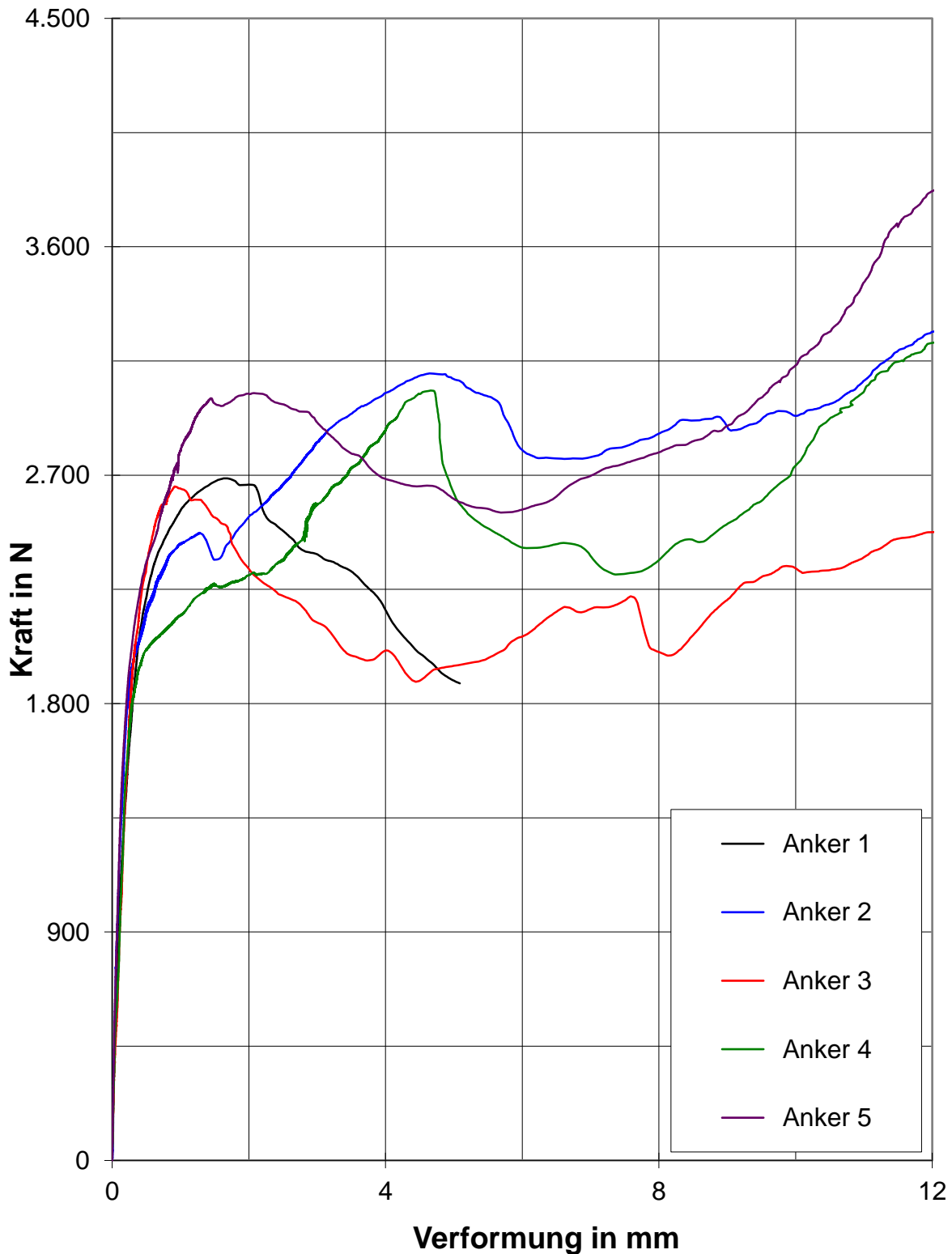
**KS-3-11,1: Exzentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**

Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa

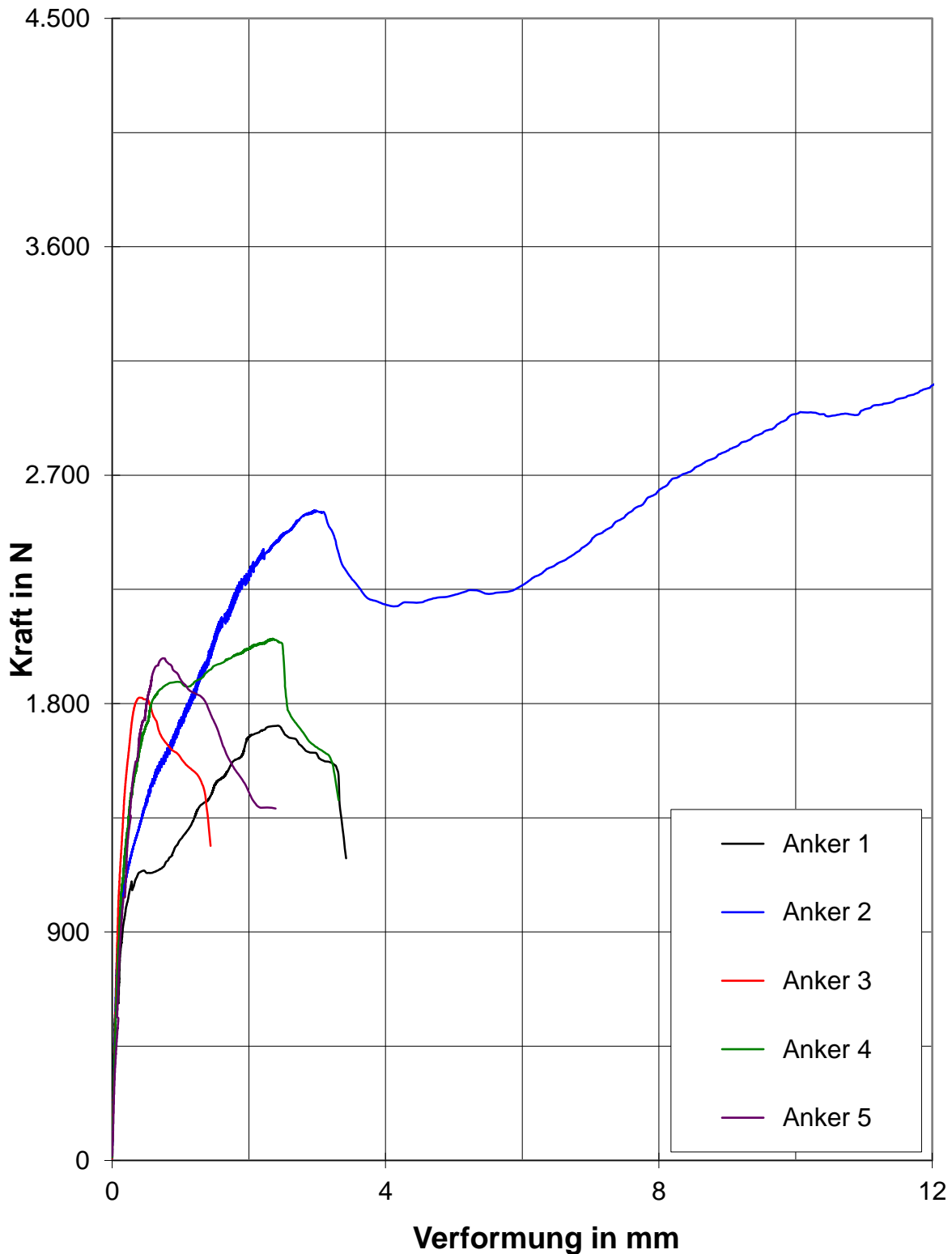
Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / Anker ab- und hochgebogen / hier: Darstellung bis 8 mm Verformung



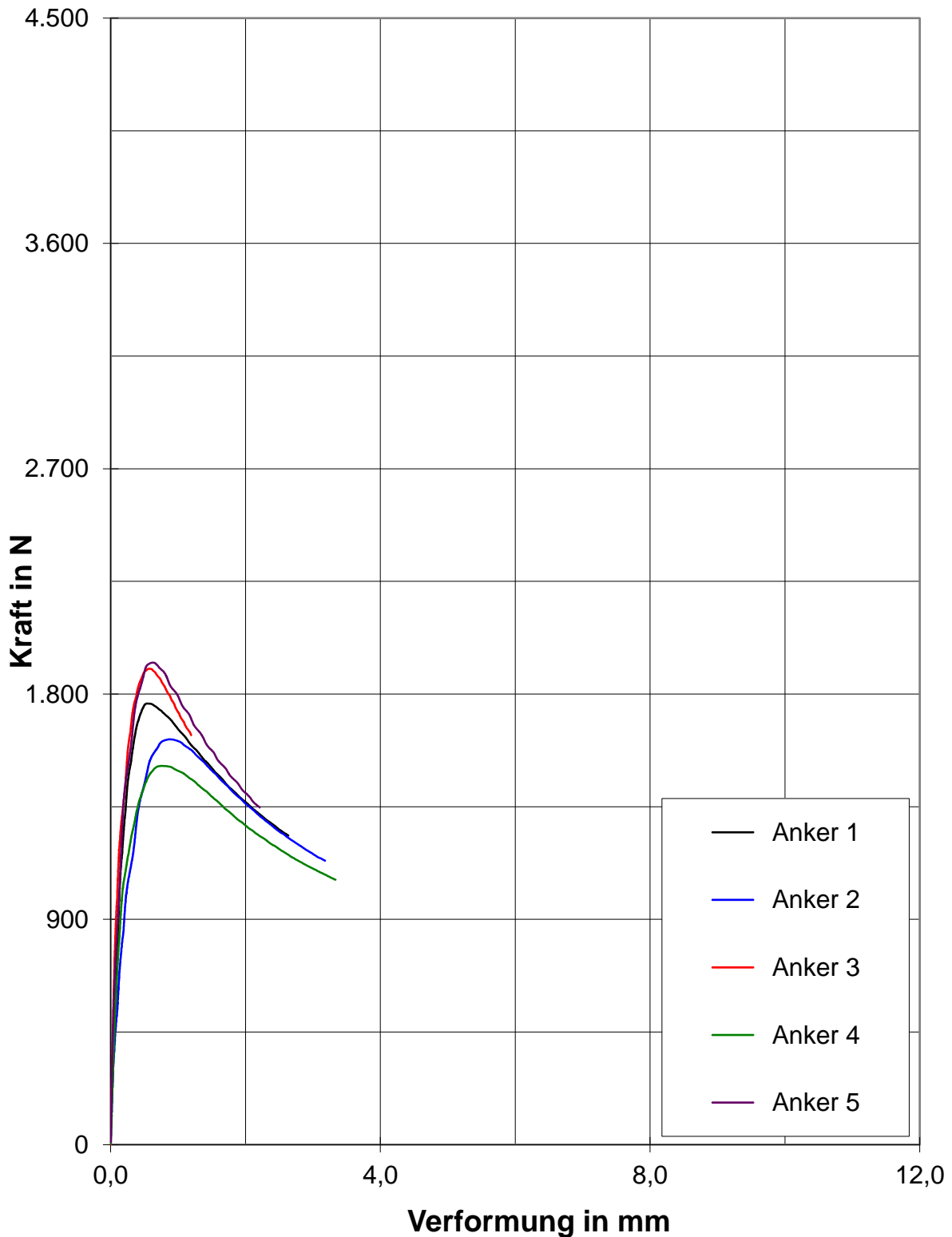
**KS-4-11,1: Zentrische Druckversuche; L-Drahtankernø 4 mm**  
 Stein: Kalksand-Lochstein KSL 3 DF / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 64 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / L-Haken bis zum Griffloch  
 hier: Darstellung bis 8 mm Verformung



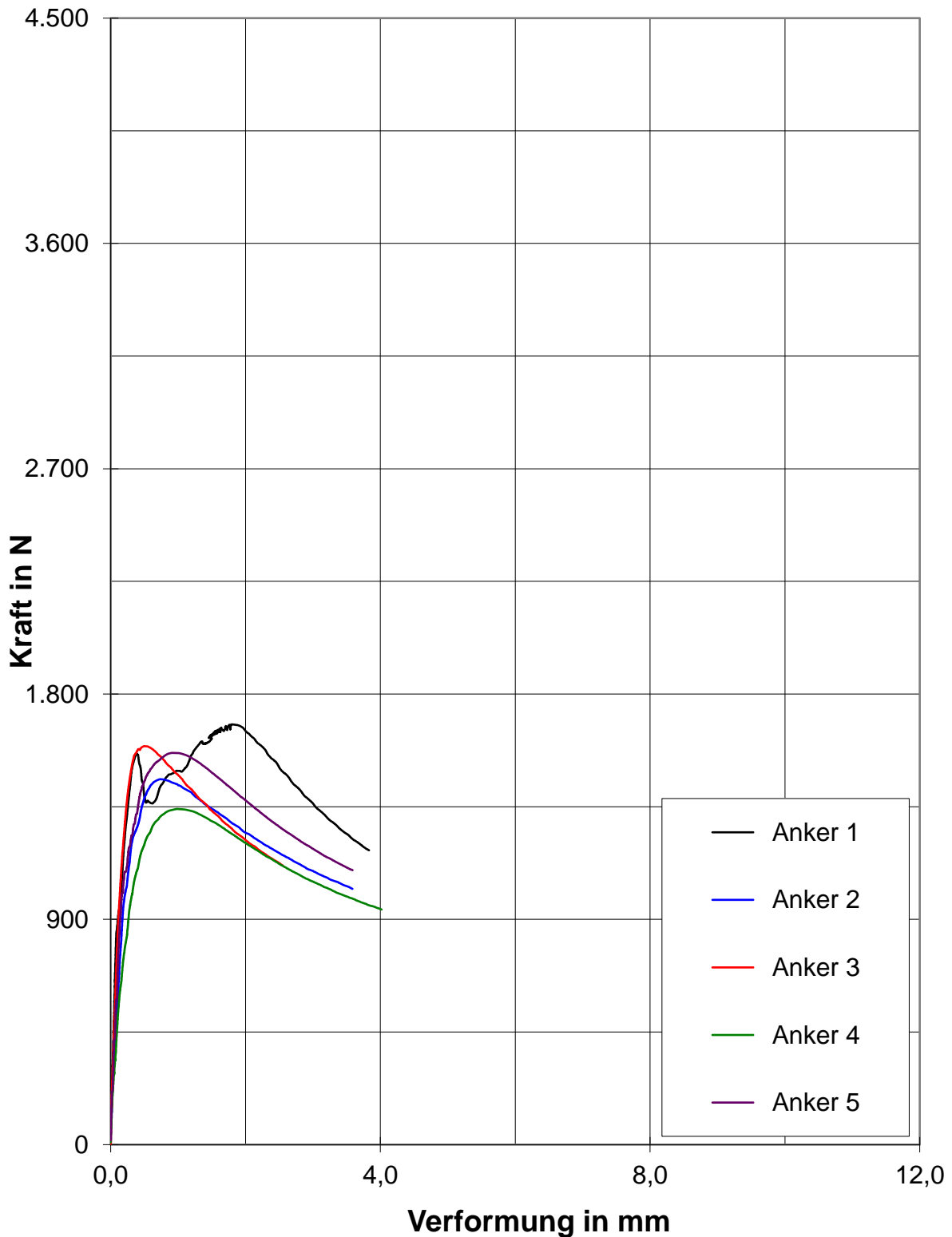
**HbL-1-11,9: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Leichtbeton-Blockstein 3 Kammern / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 12,0 mm Verformung



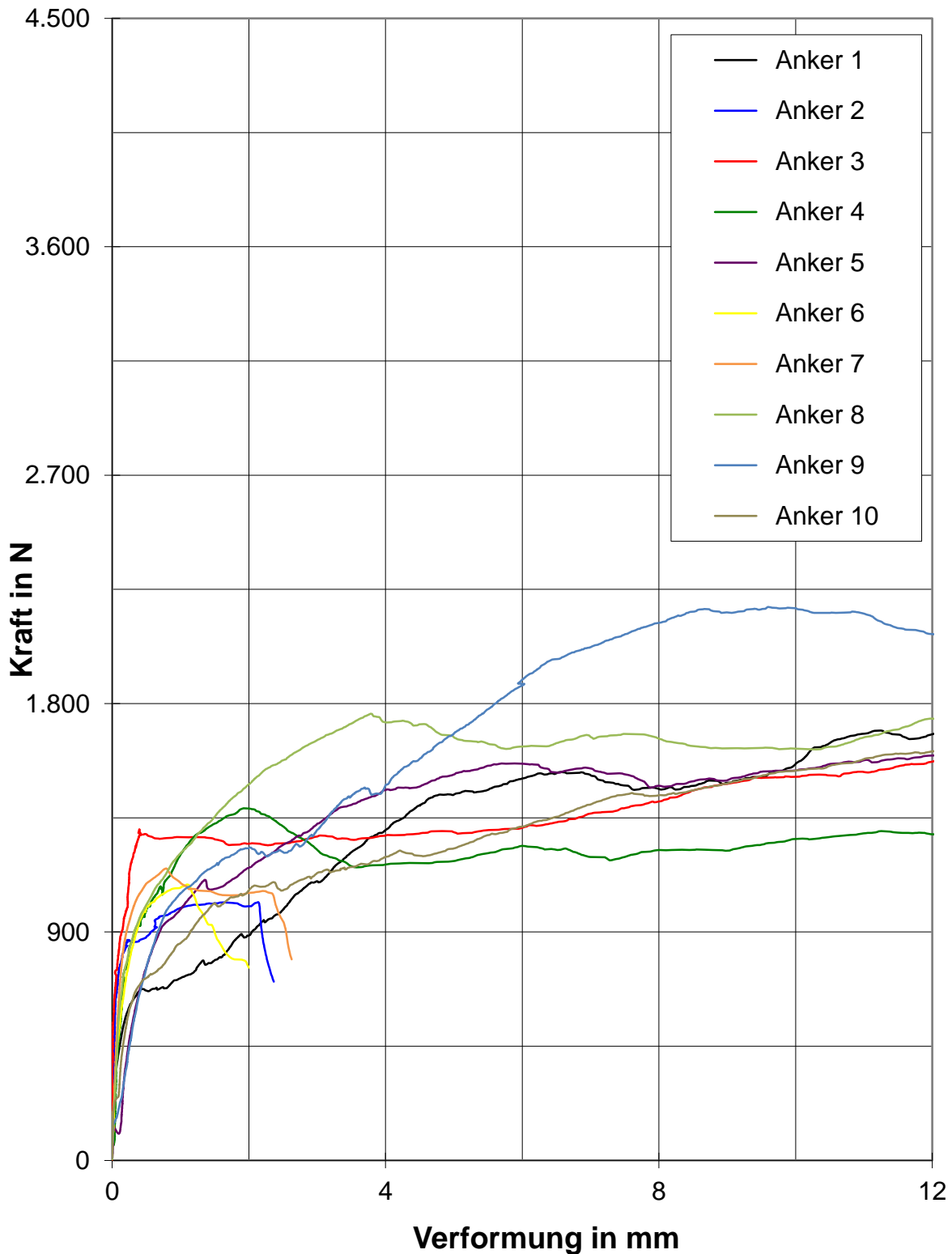
**HbL-1-11,9: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Leichtbeton-Blockstein 3 Kammern / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / Anker ab- und hochgebogen  
 hier: Darstellung bis 12,0 mm Verformung



**HbL-1-11,9: Zentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Leichtbeton-Blockstein 3 Kammern / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 12,0 mm Verformung



**HbL-1-11,9: Zentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Leichtbeton-Blockstein 3 Kammern / Mörtel: Normalmauermörtel MGIIa  
 Einbindelänge: 50 mm / Anker ab- und hochgebogen  
 hier: Darstellung bis 12,0 mm Verformung

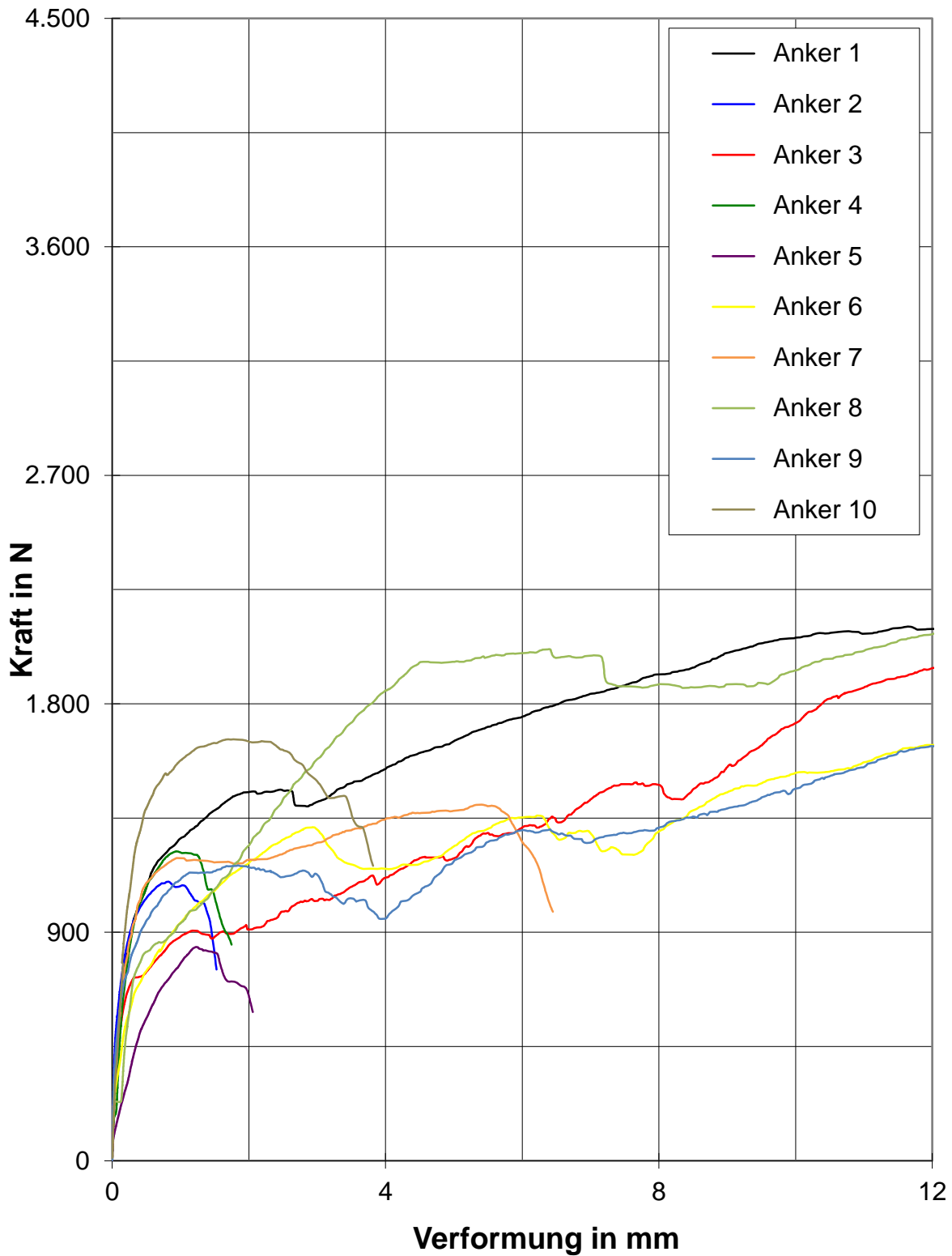


**HbL-2-5,4: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**

Stein: Leichtbeton-Blockstein mit 3 Kammern / Mörtel: MG IIa

Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm

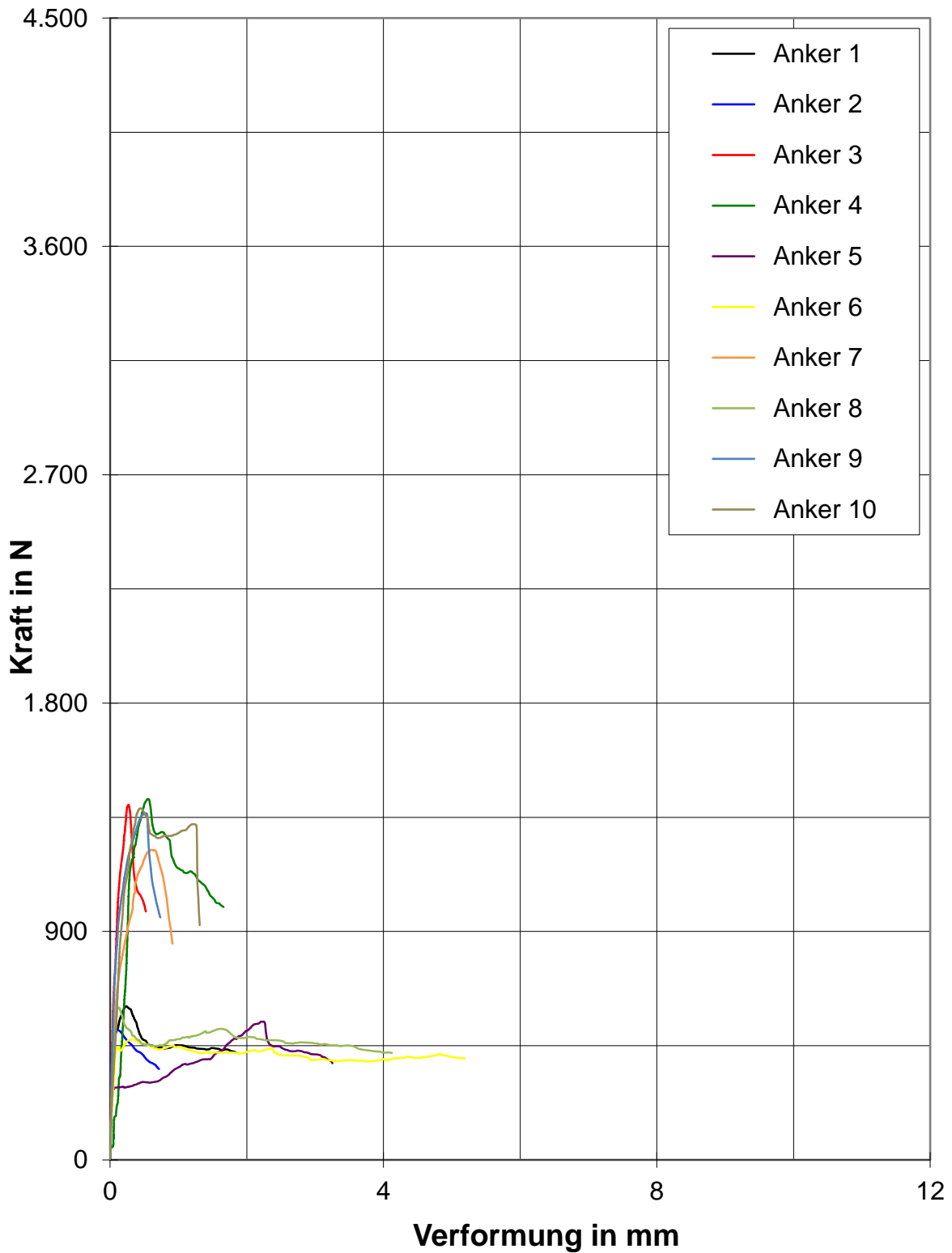
hier: Darstellung bis 12 mm Verformung



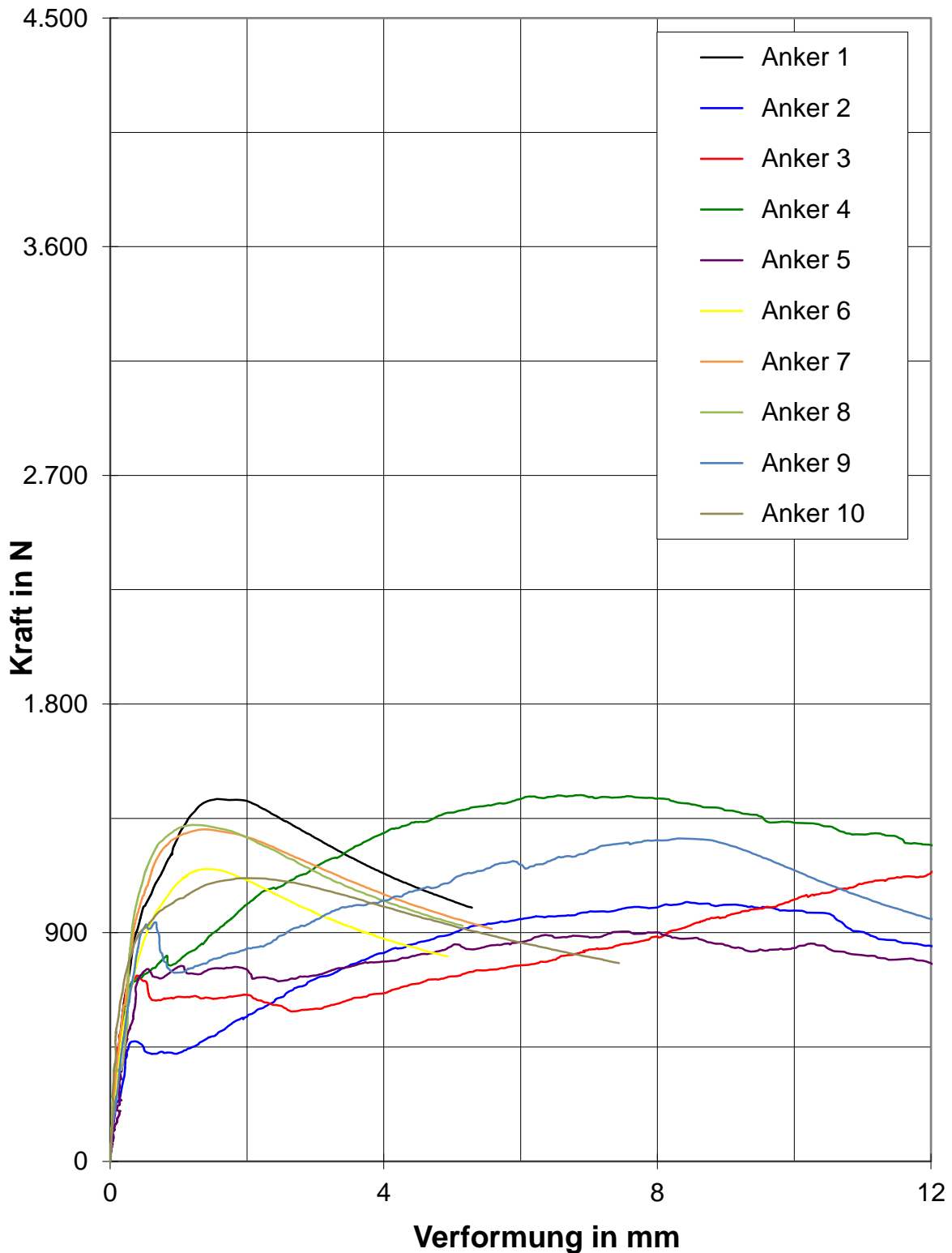
**HbL-2-5,4: Zentrische Auszugversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**

Stein: Leichtbeton-Blockstein mit 3 Kammern / Mörtel: MG IIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / Anker ab- und hochgebogen





**HbL-2-5,4: Zentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**  
 Stein: Leichtbeton-Blocksteine mit 3 Kammern / Mörtel: MG IIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm  
 hier: Darstellung bis 12 mm Verformung



**HbL-2-5,4: Exzentrische Druckversuche; L-Drahtanker  $\varnothing$  4 mm**

Stein: Leichtbeton-Blocksteine mit 3 Kammern / Mörtel: MG IIa  
 Einbindelänge: 50 mm / freie Ankerlänge: 150 mm / Anker ab- und hochgeboten