

**Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln  
in Vollsteinen unter Berücksichtigung  
der Materialeigenschaften und  
Materialzusammensetzung**

**T 3289**

T 3289

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

2012

ISBN 978-3-8167-8862-1

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)



**Universität Stuttgart**

Institut für Werkstoffe im  
Bauwesen

Abt. Befestigungs- und  
Verstärkungsmethoden

## **Prüfbericht**

### **Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln in Vollsteinen unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften und Materialzusammensetzung**

Bericht Nr.: AF12/02-DIBt20900001/01  
Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik  
Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten  
Bautechnisches Prüfamt  
Auftragsdatum: 29.11.2010  
Berichtsdatum: 12.10.2012

Der Bericht enthält 105 Seiten.

Prof. Dr.-Ing. Jan Hofmann

Dipl.-Ing. Carolin Kurz

Die Vervielfältigung und Veröffentlichung des Prüfberichts in vollem als auch gekürztem Wortlaut sowie die Verwendung zur Werbung ist nur mit der schriftlichen Genehmigung des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen und nur innerhalb eines Zeitraums von 2 Jahren nach der Ausstellung zulässig. Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Stuttgart. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.



Pfaffenwaldring 4  
70569 Stuttgart

<http://iwb.uni-stuttgart.de>



## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	4
1.1	Stand der Technik .....	4
1.1.1	Kunststoffdübel in Vollsteinen .....	4
1.1.2	Mauerwerksvollsteine .....	5
1.2	Stand der Normung .....	6
1.3	Ziel des Forschungsvorhabens .....	7
2	Vorgehen zum Erreichen der Forschungsziele .....	8
2.1	Versuchsprogramm .....	8
2.2	Verwendete Steine .....	9
3	Ermittlung der Einflussparameter .....	11
3.1	Druckfestigkeit .....	11
3.1.1	Versuchsbeschreibung .....	11
3.1.2	Ergebnisse .....	13
3.2	Statischer Elastizitätsmodul .....	16
3.2.1	Versuchsbeschreibung .....	16
3.2.2	Ergebnisse .....	18
3.3	Biegezugfestigkeit .....	19
3.3.1	Versuchsbeschreibung .....	19
3.3.2	Ergebnisse .....	20
3.4	Spaltzugfestigkeit .....	37
3.4.1	Versuchsbeschreibung .....	37
3.4.2	Ergebnisse .....	39
3.5	Bestimmung des Anteils der offenen Porosität mittels hydrostatischer Wägung .....	41
3.5.1	Versuchsbeschreibung .....	41
3.5.2	Ergebnisse .....	42
3.6	Bestimmung der Trockenrohddichte .....	42
3.6.1	Versuchsbeschreibung .....	42
3.6.2	Ergebnisse .....	43
3.7	Bestimmung der Reindichte und der Gesamtporosität .....	44
3.7.1	Versuchsbeschreibung .....	44
3.7.2	Ergebnisse .....	45
3.8	Bestimmung der Porosität (Porenvolumen, Porenverteilung, Porenform etc.) und Bestimmung der Korngrößenverteilung anhand von Dünnschliffen .....	47
3.8.1	Versuchsbeschreibung .....	47
3.8.2	Ergebnisse zu den Poren und Schwindrissen: Ziegelsteine .....	50
3.8.3	Ergebnisse Poren: Kalksandsteine .....	55
3.8.4	Ergebnisse zu den Quarzkörnern .....	63





3.9	Kristallstrukturanalyse mithilfe der Röntgendiffraktometrie .....	82
3.9.1	Versuchsbeschreibung .....	82
3.9.2	Ergebnisse der Analyse der Ziegelsteine .....	83
3.9.3	Ergebnisse der Analyse der Kalksandsteine .....	89
4	Dübelauszugversuche.....	95
4.1	Versuchsprogramm und verwendete Dübel.....	95
4.2	Montage .....	96
4.3	Versuchsdurchführung.....	96
4.4	Versuchsergebnisse .....	98
4.4.1	Übersicht.....	98
4.4.2	Versagensart .....	100
4.4.3	Höchstlast und Streuung .....	102
5	Unveröffentlichte Ergebnisse von Dübelherstellern / Forschungseinrichtungen.....	103
6	Literatur .....	104
	Anhang A1	
	Anhang A2	



# 1 Einleitung

## 1.1 Stand der Technik

### 1.1.1 Kunststoffdübel in Vollsteinen

Das Tragverhalten von Kunststoffdübeln in Mauerwerk ist bisher noch nicht ausreichend untersucht worden. In der Regel sind die Erfahrungen aus der Anwendung von Kunststoffdübeln in Beton auf der sicheren Seite liegend übertragen worden. Das Prüfprogramm für Versuche in Vollsteinmauerwerk ist bislang identisch mit dem Prüfprogramm für Versuche in Beton. Dies gilt auch für die Ableitung der charakteristischen Lasten.

Durch die bisher nicht vorhandenen Erfahrungswerte in Steinen, wird im Vergleich zu Beton für die Ermittlung der charakteristischen Lasten ein weiterer Abminderungsfaktor berücksichtigt. Wenn die Streuungen der Tragfähigkeitsversuche größer 15% (für die Funktionsversuche) bzw. 20% (für die Versuche zu den zulässigen Anwendungsbedingungen) sind, so ist die charakteristische Last in Abhängigkeit der Streuung abzumindern.

In Vollmauerwerk werden Versuche zu Anwendungsbedingungen und der Funktion durchgeführt und charakteristische Werte abgeleitet. Diese gelten für die geprüfte Steinart, Steinfestigkeit und Steingröße. Auch wird der maximale Feuchtegehalt des Steines während der Prüfung vorgeschrieben. Vorversuche zeigen, dass trotzdem die Versuchsergebnisse stark streuen und deutlich voneinander abweichen. D.h. die in den Zulassungsversuchen nach ETAG 020 ermittelten Lastwerte für eine bestimmte Steinart können in Realität mehr oder weniger nach oben oder unten hin abweichen. Grund hierfür ist, dass nicht nur die Steinfestigkeit und der Feuchtegehalt, sondern auch die Zug- und Biegezugfestigkeit, die chemische Zusammensetzung und der Sinterungsprozess einen Einfluss auf die Tragfähigkeit eines Kunststoffdübels in Vollmauerwerk haben. Diese Einflussfaktoren werden derzeit nicht berücksichtigt, sondern sollen durch den Faktor der Steinfestigkeit erfasst werden. Die oben genannten Einflüsse müssen jedoch nicht zwingend im statistischen Zusammenhang zur Steinfestigkeit stehen, so dass diese im Zweifelsfall nicht erfasst werden.

Bei der Ableitung der charakteristischen Lasten wird ebenso wie bei Beton davon ausgegangen, dass die Bruchlasten maßgeblich durch die Materialfestigkeit beeinflusst werden.

Bei Beton müssen die Bruchlasten auf den nominellen Wert abgemindert bzw. hochgerechnet werden. Dies erfolgt mit der Quadratwurzel der nominellen Festigkeit zur Ist-Festigkeit.

Bei der Ableitung der charakteristischen Werte in Vollsteinen wird die Steindruckfestigkeit ebenfalls als der maßgebende Einflussparameter angesehen. Aufgrund der vorhandenen Erfahrungen werden die Bruchlasten hier jedoch linear über die Steindruckfestigkeit normiert. Andere Einflussparameter, die bei keramischen Werkstoffen einen Einfluss haben, werden jedoch nicht berücksichtigt. Durch diese Vorgehensweise werden wichtige Einflüsse auf die Tragfähigkeit einer Befestigung in Vollsteinmauerwerk vernachlässigt. Solche Einflüsse sind z.B.:

- Porosität des Vollsteins,
- Korngröße und Verteilung des Vollsteins
- Grad der Versinterung des Vollsteins
- Zugfestigkeit bzw. Bruchenergie des Vollsteins
- Chemische Inhaltsstoffe des Vollsteins
- Elastizität des Vollsteins

Nicht nur die Druckfestigkeit sondern auch diese Einflussfaktoren beeinflussen die Tragfähigkeit eines Kunststoffdübels. In Beton korrelieren die oben genannten Einflussparameter annähernd mit der Betondruckfestigkeit, der Zusammenhang bei Mauerwerksteinen soll in Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersucht werden.



Um eine Aussage über Zusammenhänge zwischen der Tragfähigkeit eines Kunststoffdübels und den Materialeigenschaften treffen zu können, müssen folgende Materialeigenschaften vor der Prüfung der Tragfähigkeit bekannt sein:

- Korngröße
- Kornform und deren Verteilung
- Porosität
- Feuchtegehalt
- Grad der Versinterung
- Druckfestigkeit
- E-Modul
- Zug- bzw. Biegezugfestigkeit
- Chemische Zusammensetzung

Von verschiedenen Dübelherstellern wurden bereits unveröffentlichte Versuche zur Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln unter Berücksichtigung verschiedener Materialeigenschaften durchgeführt. Die dem IWB zur Verfügung stehenden Ergebnisse sind in Kapitel 5 angegeben.

### **1.1.2 Mauerwerksvollsteine**

Grundsätzlich werden Mauerwerkssteine aus den Materialien Ziegel, Kalksandstein und Beton hergestellt. Die Anforderungen hinsichtlich Geometrie, Festigkeitseigenschaften und Rohdichteklassen sind für Mauerziegel in DIN EN 771 Teil 1 und für Kalksandseine in DIN EN 771 Teil 2 geregelt. Der Unterschied zwischen Voll- und Lochsteinen besteht darin, dass Vollsteine einen Lochanteil (zum Beispiel Grifflöcher) von höchstens 15% aufweisen dürfen. Sowohl Kalksandsteine als auch Ziegel gibt es in verschiedenen Rohdichte- und Festigkeitsklassen und verschiedenen Formaten.

Ziegelsteine bestehen hauptsächlich aus Ton und Magerungsanteilen wie Quarz, Glimmer und Eisenmineralen. Sie sind gebrannte Steine und gehören damit zu den keramischen Erzeugnissen. Gebrannt bedeutet, dass die Ausgangsbestandteile durch Einwirkungen hoher Temperaturen zum Stein verbacken werden. Die Ziegelherstellung beinhaltet folgende Abläufe:

- Aufbereitung der Ausgangsstoffe: Tone werden zerkleinert und mit Wasser angereichert bzw. homogenisiert
- Formgebung durch Strangpressen in einen Endlosstrang und Abschneiden
- Trocknen der Steinrohlinge für 24 Stunden
- Brennen bei 900°C-1300°C im Tunnelofen für 15-17 Stunden

Beim Brennen erfahren die Steine eine Volumenabnahme durch Schwinden von etwa 10%, daher ist die Bildung von Schwindrissen unvermeidbar.

Kalksandsteine hingegen gehören als mineralisch gebundene Steine zu den dampfgehärteten Baustoffen. Die Grundbestandteile von Kalksandsteinen sind Sand und Branntkalk, in etwa im Verhältnis 12:1. Die Herstellung beinhaltet folgende Arbeitsschritte:



- Der gemahlene Branntkalk wird mit dem Sand vermischt und mit Wasser angereichert
- Vierstündige Zwischenlagerung im Reaktionsbehälter: Der Branntkalk löscht zu Kalkhydrat ab
- Pressung der Rohlinge
- Versetzen der schon standfesten Rohlinge in den Dampfdruckkessel
- Härten bei 16-21 bar und 160°C-200°C für 4-8 Stunden

Im Gegensatz zu den Ziegelsteinen ist bei Kalksandsteinen das Schwinden sehr gering.

## 1.2 Stand der Normung

Die ersten durchgeführten Zulassungsverfahren nach ETAG 020 zeigen, dass in bestimmten Bereichen Verbesserungspotential besteht und offene Fragen geklärt werden müssen. In ETAG 020 werden Versuche zu den zulässigen Anwendungsbedingungen und zur Funktion von Kunststoffdübeln beschrieben. Die aus den Bruchlasten abgeleiteten charakteristischen Lasten gelten ausschließlich für die Art der Mauerwerkssteine, in denen die Zulassungsversuche durchgeführt wurden. Diese müssen der Steinart, Steinfestigkeit und Steingröße entsprechen, wie sie in den Zulassungsversuchen verwendet wurden. Die Bemessung erfolgt nach ETAG 020 Annex C.

Ein Kunststoffdübel kann für die Anwendungsklassen a bis d zugelassen werden. Die Versuche in Beton (Kategorie a) müssen mit dem in Annex B angegebenen Beton durchgeführt werden. Die Erfahrungen zeigen, dass die so gewonnen Versuchsergebnisse und die daraus abgeleiteten Lasten in fast allen Fällen vergleichbar und reproduzierbar sind. Zudem zeigen Vergleichsversuche, dass die Bemessungsergebnisse in der Regel auf der sicheren Seite liegen. Bei Vollmauerwerk (Kategorie b) liegen solche Erfahrungen noch nicht vor. Grundsätzlich werden hierzu Versuche zu Anwendungsbedingungen und der Funktion durchgeführt und charakteristische Werte abgeleitet.

Die Betoneigenschaften für die Versuche nach ETAG020 klar definiert. Für Beton darf

- kein Porenbildner
- nur eine bestimmte Sieblinie mit max. Korngröße 16mm / 20 mm
- nur ein bestimmter Zement CEM I 32.5 oder CEM I 42.5 nach ENV 197-1
- ein Wasser-Zementwert kleiner 0,75
- und keinerlei chemischer Zusatzmittel

verwendet werden.

Die Art und Dauer der Nachbehandlung von Beton für die Zulassungsprüfungen sind nach ETAG 020 geregelt. Der Beton muss bei der Prüfung mindestens 21 Tage alt sein und darf weder Frost, Regen noch Sonne direkt ausgesetzt sein. Die Festigkeit  $f_{c,150}$  muss zwischen 25MPa und 35MPa betragen. Eine ausreichend gute Verdichtung wird vorausgesetzt.

Bei Vollsteinen für Mauerwerk wird hingegen festgelegt, dass die Steinfestigkeit zwischen 20MPa und 30MPa liegen muss und die Steine mindestens 4 Wochen alt sein müssen. Die Lagerung muss in einem Klima erfolgen, das weitgehend dem Klima des Prüfraums entspricht. Der Feuchtgehalt muss zwischen 10% und 30% betragen und die Lagerung soll so erfolgen, dass allseitig Luftzufuhr möglich ist.

Hierbei wird ein Umstand völlig vernachlässigt, nämlich, dass Vollsteine heutzutage vollautomatisch und hochindustriell als Massenware in einer Fertigungsstraße hergestellt werden. Die Verwendung von Zusatzmitteln für die Beschleunigung oder Stabilisierung des Herstellungsprozesses ist dabei in der Regel der Fall. Betrachtet man die engen Grenzen, die bei der Prüfung von Dübeln in Beton vorgeschrieben werden, so stellt sich die Frage ob auch die



Steine für die Zulassungsprüfungen nicht genauer spezifiziert werden müssen. Beton wird, bedingt durch die Anforderungen an die Bauteilgeometrie, auch heute überwiegend als Fertigteil oder Ortbeton eingesetzt. Zusatzmittel kommen zwar auch hier immer mehr zum Einsatz, sind aber sozusagen „kennzeichnungspflichtig“, was bei Mauersteinen nicht der Fall ist. Der Einfluss des Fertigungsverfahrens und der dabei eingesetzten Zusatzmittel beeinflusst die Steineigenschaften deutlich und muss daher bei der Tragfähigkeit der Kunststoffdübel berücksichtigt werden.

Diese Erfahrungslücke, die im Vergleich zu Beton vorhanden ist, soll durch das Forschungsvorhaben zumindest teilweise geschlossen werden.

### **1.3 Ziel des Forschungsvorhabens**

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, für die Steinarten Kalksandvollstein und Mauerziegel mögliche Zusammenhänge zwischen Dübeltragfähigkeit, Steindruckfestigkeit, Zugfestigkeit, chemischer Zusammensetzung und Sinterungsprozess festzustellen und gegebenenfalls die einzelnen Einflüsse quantifizieren zu können.

Mit den Ergebnissen des Forschungsvorhabens soll Verbesserungspotential für die ETAG 020 überprüft und identifiziert und Vorschläge anhand der versuchstechnisch ermittelten Ergebnisse formuliert werden. Durch die Erarbeitung eines Modells zur Bestimmung des Einflusses maßgebender Mauersteineigenschaften auf die Dübeltragfähigkeit kann der Anwendungsbereich der ETAG 020 erweitert werden und Versuche vor Ort am Bauwerk vermieden werden.



## 2 Vorgehen zum Erreichen der Forschungsziele

### 2.1 Versuchsprogramm

Das Versuchsprogramm beinhaltet Kalksandvollsteine und Vollziegel. Dabei sollten aus jedem Material Steine zweier verschiedener Hersteller und je Hersteller drei verschiedener Chargen untersucht werden. Somit waren insgesamt zwölf Chargen zu untersuchen.

Die Eigenschaften der Steine können in mechanische, physikalische, chemische und petrographische Eigenschaften unterteilt werden. Eine Übersicht der untersuchten Eigenschaften zeigt Tabelle 2.1.

**Tabelle 2.1: Einteilung der Materialeigenschaften**

Materialeigenschaften			
mechanische	physikalische	chemische	petrographische
Druckfestigkeit	Trockenrohdichte	kristalline	Gefüge
E-Modul	Reindichte	Zusammensetzung	Kornform
Biegezugfestigkeit	Porosität		Kornverteilung
Spaltzugfestigkeit			Porenverteilung

**Tabelle 2.2: Materialeigenschaften mit dazugehörigen Prüfverfahren**

Einteilung	Eigenschaft	Prüfung	Vorschrift
mechanisch	Druckfestigkeit	Druckfestigkeitsprüfung an ganzen Steinen	DIN EN 772-1
	Druckfestigkeit	Druckfestigkeitsprüfung an Zylindern	DIN 1048 (Beton)
	stat. E-Modul	Ermittlung an Zylindern	DIN 1048 (Beton)
	Biegezugfestigkeit	Drei-Punkt-Biegeversuch	DIN EN 772-6
	Spaltzugfestigkeit	Ermittlung an Zylindern	DIN 12390-6 (Beton)
physikalisch	Trockenrohdichte	Trocknung, Abmessung, Wägung der Steine	DIN EN 772-13
	Reindichte	Helium-Pyknometrie	DIN 66137-2
	Pososität	Aus Trockenrohdichte und Reindichte	DIN 66137-2
chemisch	kristalline Zusammensetzung	Röntgendiffraktometrie	DIN EN 13925
Petrographisch	Gefüge	Analyse von Dünnschliffen	
	Kornform	Analyse von Dünnschliffen	
	Kornverteilung	Analyse von Dünnschliffen	
	Dübeltragfähigkeit	zentrische Zugversuche mit verschiedenen Kunststoffdübeln	ETAG 020

## 2.2 Verwendete Steine

Eine Übersicht über die verwendeten Steine zeigt Tabelle 2.3.

Tabelle 2.3: Verwendete Steine

Material	Hersteller	Abkürzung	Charge Nr.	Format	Rohdichte- klasse [kg/dm <sup>3</sup> ]	Druckfestig- keitsklasse [N/mm <sup>2</sup> ]
Vollziegel	Wienerberger GmbH Werk Bollstedt/Thüringen	WB	1	NF	2,0	20
			2	2DF	2,0	20
			3	3DF	2,0	20
Vollziegel	Anton Hanrieder OHG Ziegelwerk Harland 19 1/2 Zolling/Bayern	HH	1	NF	2,0	20
			2	2DF	2,0	20
			3	4DF	2,0	20
Kalksand- vollstein	E. Bayer Baustoffwerke GmbH + Co. KG Esslingen / Baden- Württemberg	EB	1	6DF	2,0	12
			2	6DF	2,0	12
			3	6DF	2,0	12
Kalksand- vollstein	Heidelberger Kalksandstein GmbH Durmshheim / Baden- Württemberg	HD	1	4DF	2,0	20
			2	4DF	2,0	20
			3	4DF	2,0	20

Die Steine wurden direkt vom Hersteller bezogen, da in der Regel bei Zwischenhändlern keine Chargen nachvollziehbar sind. Die jeweiligen Hersteller haben die Steine chargenweise in Paketen angeordnet und dem IWB zugesandt. Bei den Kalksandsteinen der Firma Heidelberger GmbH waren die einzelnen Pakete durch Stempel mit den Herstellungsdaten gekennzeichnet. Alle Hersteller konnten mündlich garantieren, dass es sich bei den gelieferten Paketen um jeweils Steine einer beziehungsweise drei verschiedener Chargen handelte.

Bei den Ziegelsteinen konnten die verschiedenen Chargen durch Steine verschiedener Formate nachvollzogen werden. Bei den Chargen WB 1 und HH 1 handelt es sich um Steine im Normalformat (NF), bei den Chargen WB 2 und HH 2 um Steine im Format 2 DF und bei den Chargen WB 3 und HH 3 handelt es sich um großformatige Steine (WB 3: 3 DF und HH 3 4 DF).

Die Steine wurden vor der Lieferung unter keinen definierten Bedingungen gelagert.

Die Unterschiede zwischen den Chargen eines Herstellers bestehen primär aus der Abfolge und der Dauer des Brenn- beziehungsweise des Härtungsvorgangs. Unterschiedliche Chargen bedeutet, dass die Steine zu verschiedenen Zeitpunkten und nicht aus derselben Mischung hergestellt wurden. Die Mischungsentwürfe bleiben dabei grundsätzlich die gleichen. Abweichungen können durch unterschiedliche Brenntemperaturen und die unterschiedlichen Formate vorkommen. Zum Beispiel entstehen in der Regel bei größeren Ziegelsteinen mehr Brennrisse als bei kleineren.

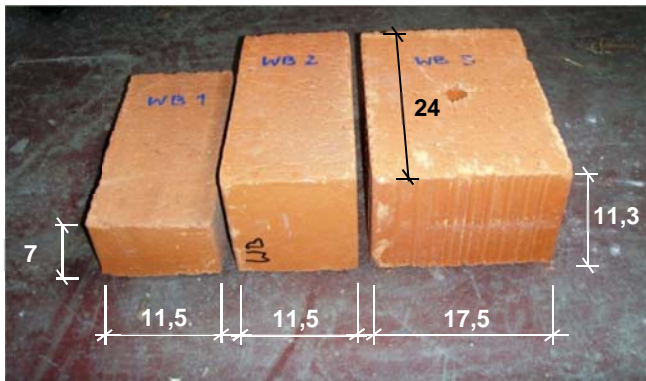


Abb. 2.1: Vollziegel, Hersteller WB, Draufsicht

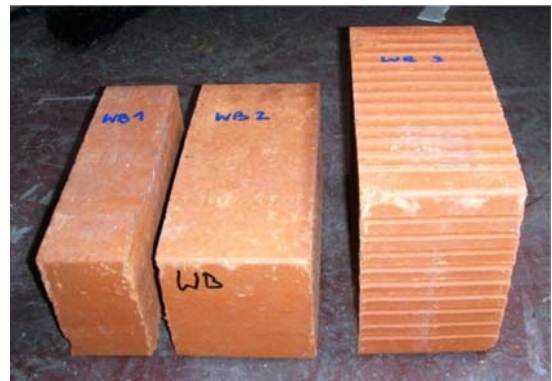


Abb. 2.2: Vollziegel, Hersteller WB, Ansicht

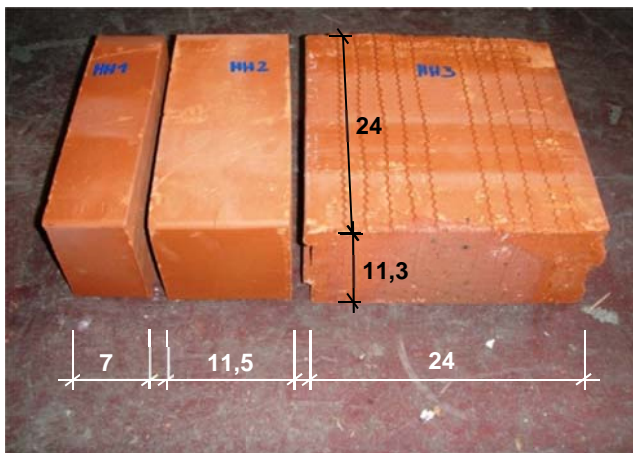


Abb. 2.3: Vollziegel, Hersteller HH, Ansicht



Abb. 2.4: Vollziegel, Hersteller HH, Draufsicht

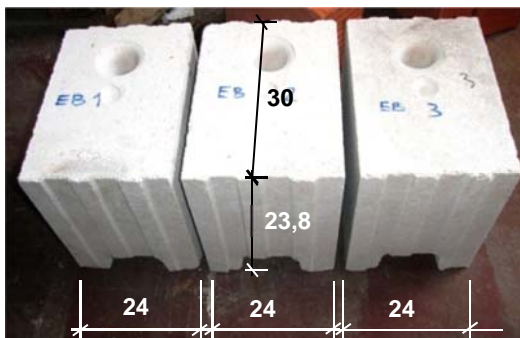


Abb. 2.5: Kalksandsteine, Hersteller EB, Draufsicht

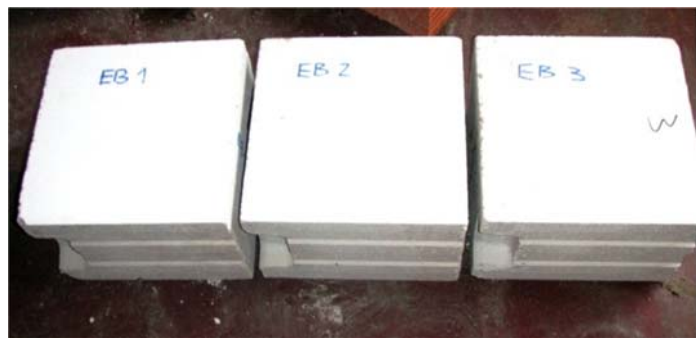


Abb. 2.6: Kalksandsteine, Hersteller EB, Ansicht

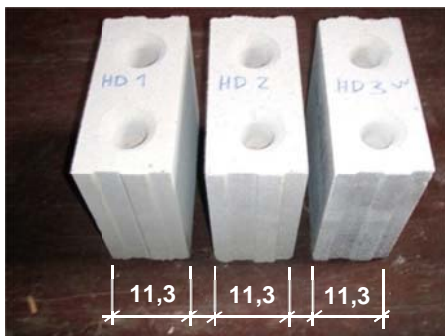


Abb. 2.7: Kalksandsteine, Hersteller HD, Draufsicht

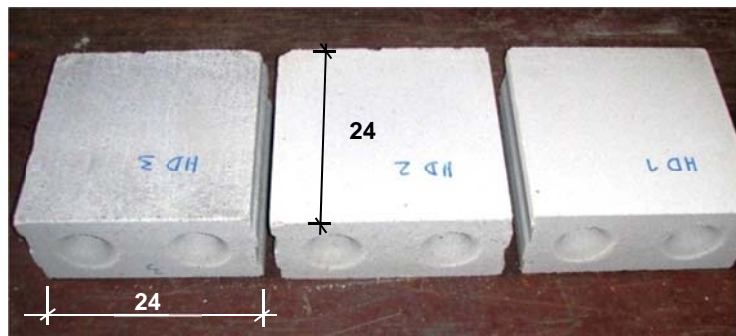


Abb. 2.8: Kalksandsteine, Hersteller HD, Ansicht



### 3 Ermittlung der Einflussparameter

#### 3.1 Druckfestigkeit

##### 3.1.1 Versuchsbeschreibung

Die Druckfestigkeit wurde zum einen an ganzen Steinen und zum anderen an zylindrischen Proben geprüft. Nach ETAG 020 soll die Druckfestigkeit zur Bemessung an ganzen Steinen bestimmt werden.

Die Versuche zur Ermittlung der Druckfestigkeit an ganzen Steinen ist in DIN EN 772 Teil 1 geregelt und wurde an der Materialprüfanstalt (MPA) der Universität Stuttgart durchgeführt. Von den Kalksandsteinen wurden je Charge drei Probekörper untersucht, wegen der erhöhten Streuung bei den Ziegeln je Charge sechs Probekörper. Alle Steine wurden unter der gleichen Lastrichtung geprüft. Die Richtung wurde so gewählt, dass die Lastaufbringung der einen unter Druck beanspruchten Mauerwerksverbands entsprach. Als Vorbereitung zur Prüfung wurde gegebenenfalls über die planmäßigen Flächen überstehendes Material entfernt und Oberflächenunebenheiten mit einem hochfesten Mörtelbett abgeglichen. Nach der Präparation werden die Prüfkörper einzeln in die Prüfmaschine mittig eingesetzt. Durch die beiden Prüfplatten der Prüfmaschine wird eine gleichmäßige Last aufgebracht, die bis zum Bruch kontinuierlich erhöht wird. Die Norm schreibt eine Konditionierung der Steine für mindestens 14 Tage bei einer Temperatur  $>15^{\circ}\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte  $<65\%$  vor. Dies wurde durch die mehrwöchige Lagerung in der Holzlagerhalle der Universität Stuttgart erzielt. Anhand der Abmessungen des Prüfkörpers und der gemessenen Prüflast kann nach Gleichung 3.1 die Druckfestigkeit ermittelt werden.

##### Gleichung 3.1

$$f_D = \frac{F}{b \cdot l}$$

*F: aufgebrachte Last*

*b: Breite des Steins*

*l: Länge des Steins*

Die Ermittlung der Druckfestigkeit an zylindrischen Proben wird analog durchgeführt. Da für Mauersteine nur die Ermittlung der Druckfestigkeit an ganzen Steinen normativ geregelt ist, wurde hierfür die Norm für gesondert hergestellte Prüfkörper aus Beton (DIN 1048) herangezogen. Die zylindrischen Proben mit einem Durchmesser von 55 mm wurden mit einer Diamantbohrkrone aus den Steinen entnommen, mit einer Diamantsäge auf eine Länge von circa 60 mm zugeschnitten und die Oberflächen anschließend geschliffen. Die Druckfestigkeitsprüfung wurde an der MPA der Universität Stuttgart durchgeführt. Abb. 3.1 zeigt einen Mauerziegelzylinder der in die Prüfmaschine eingesetzt wurde.

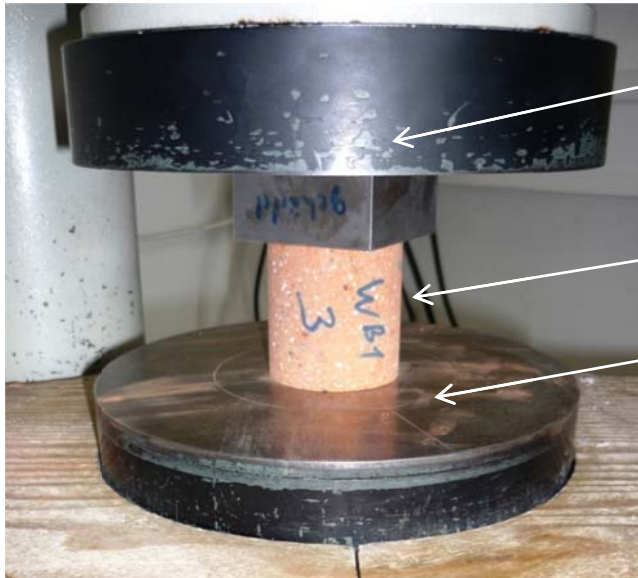
Durch die Geometrie des Zylinders kann die Druckfestigkeit bei dieser Methode nach Gleichung 3.2 ermittelt werden.

**Gleichung 3.2**

$$f_{D,Zyl} = \frac{F}{\pi \cdot r^2}$$

*F*: aufgebrachte Last

*r*: Radius der Zylinderprobe



Druckplatte mit integrierter Kraftmessdose

Prüfkörper; hier: Zylinder

Druckplatte

**Abb. 3.1:** Druckfestigkeitsprüfung am zylindrischen Prüfkörper



### 3.1.2 Ergebnisse

Tabelle 3.1: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung an ganzen Steinen: Ziegel

Charge	Versuch	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Druckfläche [cm <sup>2</sup> ]	Bruchlast [kN]	$f_D$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert $f_{D,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Variations- koeffizient
WB1	1	236,1	113,9	69,9	268,9	1195,5	44,46	46,76	6,09%
	2	236,7	114,6	70,4	271,3	1356,6	50,00		
	3	236,6	114,8	71,0	271,6	1235,2	45,48		
	4	236,4	114,0	70,5	269,5	1157,8	42,96		
	5	236,4	114,7	70,4	271,2	1327,5	48,95		
	6	236,5	114,3	70,1	270,3	1316,8	48,72		
WB2	1	235,3	113,8	112,3	267,8	735,9	27,48	28,26	4,08%
	2	235,3	113,8	110,7	267,8	801,2	29,92		
	3	235,7	114,0	111,0	267,7	729,0	27,23		
	4	235,2	113,9	112,5	267,9	773,3	28,87		
	5	235,8	114,2	113,7	269,3	780,2	28,97		
	6	235,1	113,9	111,2	267,8	725,6	27,09		
WB3	1	236,2	170,8	112,0	403,4	1615,1	40,04	38,12	3,59%
	2	236,0	170,9	112,0	403,3	1518,4	37,65		
	3	235,9	171,4	111,6	404,3	1518,0	37,55		
	4	235,2	171,8	111,7	404,1	1478,1	36,58		
	5	236,2	172,4	112,5	407,2	1611,5	39,58		
	6	235,7	172,0	110,0	405,4	1513,5	37,33		
HH1	1	234,8	115,0	69,6	270,0	1270,7	47,06	48,06	4,03%
	2	234,8	115,0	70,9	270,0	1279,1	47,37		
	3	234,9	115,0	70,0	270,1	1371,6	50,78		
	4	234,9	115,0	70,0	270,1	1317,3	48,77		
	5	234,7	114,9	70,1	269,7	1325,9	49,16		
	6	234,8	115,2	70,2	270,5	1222,6	45,20		
HH2	1	237,3	116,9	112,1	277,4	1111,3	40,06	39,63	3,82%
	2	237,5	116,0	112,8	275,5	1098,8	39,88		
	3	237,3	116,1	113,0	275,5	1034,0	37,53		
	4	237,8	116,4	112,8	276,8	1146,0	41,40		
	5	237,6	116,2	111,9	276,1	1126,7	40,81		
	6	237,3	116,1	112,8	275,5	1050,0	38,11		
HH3	1	246,4	112,7	239,8	277,7	703,5	25,33	23,13	11,60%
	2	246,6	112,4	238,6	277,2	661,0	23,85		
	3	246,5	112,8	238,3	278,1	737,6	26,52		
	4	246,4	112,8	239,6	277,9	621,9	22,38		
	5	246,6	112,8	239,6	278,2	531,4	19,10		
	6	246,7	112,8	239,2	278,3	601,5	21,61		



Tabelle 3.2: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung an ganzen Steinen: Kalksandstein

Charge	Versuch	Länge [cm]	Breite [cm]	Höhe [cm]	Druckfläche [cm <sup>2</sup> ]	Bruchlast [kN]	$f_D$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert $f_{D,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Variations- koeffizient
EB1	1	249,6	175,0	247,2	436,8	637,9	14,60	13,92	6,54%
	2	249,2	175,2	246,6	436,6	562,6	12,89		
	3	249,2	175,2	247,0	436,6	622,9	14,27		
EB2	1	249,5	175,5	247,7	437,9	532,1	12,15	13,32	7,59%
	2	249,6	175,3	247,5	437,5	606,9	13,87		
	3	249,2	177,6	247,7	442,6	616,6	13,93		
EB3	1	249,3	176,4	247,3	439,8	528,4	12,01	11,78	2,85%
	2	249,4	176,3	247,4	439,7	524,2	11,92		
	3	249,6	176,4	247,6	440,3	501,6	11,39		
HD1	1	248,6	114,9	247,3	285,6	627,5	21,97	21,16	5,80%
	2	248,7	115,1	247,3	286,3	565,3	19,75		
	3	248,3	115,1	247,4	285,8	621,8	21,76		
HD2	1	248,7	114,9	246,5	285,8	605,7	21,19	19,79	14,99%
	2	248,8	115,0	247,5	286,1	468,8	16,39		
	3	248,6	115,4	248,0	286,9	625,6	21,81		
HD3	1	248,8	115,1	247,7	286,4	668,0	23,32	23,08	0,96%
	2	248,6	115,3	247,2	286,6	659,6	23,01		
	3	248,5	114,9	247,1	285,5	653,7	22,90		



Tabelle 3.3: Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfung an Zylindern

Charge	Versuch	Gewicht	Rohdichte	Höhe	Durchmesser	Druckfläche	Bruchkraft	$f_{D,Zyl}$	Mittelwert $f_{D,Zyl,m}$	Variationskoeffizient
		[g]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[kN]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	
WB1	1	238,9	1,828	55,61	54,70	23,50	111,69	47,529	48,97	5,32%
	2	239	1,827	55,66	54,70	23,50	122,15	51,981		
	3	242,4	1,829	56,39	54,70	23,50	111,42	47,415		
WB2	1	241,5	1,882	54,78	54,62	23,43	49,68	21,203	22,53	5,86%
	2	254,8	1,882	57,78	54,62	23,43	52,81	22,539		
	3	245,6	1,880	55,77	54,62	23,43	55,87	23,845		
WB3	1	231,3	1,781	55,43	54,62	23,43	38,33	16,359	17,17	4,12%
	2	238,7	1,767	57,65	54,62	23,43	40,93	17,469		
	3	232,6	1,771	56,06	54,62	23,43	41,41	17,674		
HH1	1	259	1,897	55,82	55,80	24,45	29,08	11,892	12,07	4,78%
	2	254,9	1,863	55,95	55,80	24,45	31,08	12,710		
	3	263,5	1,897	56,80	55,80	24,45	28,36	11,597		
HH2	1	254	1,848	56,20	55,80	24,45	33,47	13,687	13,68	1,17%
	2	249,8	1,842	55,46	55,80	24,45	33,82	13,830		
	3	251,1	1,857	55,29	55,80	24,45	33,04	13,511		
HH3	1	257,9	1,877	56,18	55,80	24,45	32,70	13,372	22,82	1,30%
	2	259,1	1,875	56,50	55,80	24,45	32,90	13,454		
	3	261,2	1,890	56,51	55,80	24,45	31,56	12,906		
EB1	1	231	1,94	50,54	54,75	23,54	38,57	16,38	16,78	3,31%
	2	235,4	1,93	51,81	54,75	23,54	40,42	17,17		
EB2	1	220,8	1,85	50,18	55,00	23,76	33,15	13,95	14,84	8,49%
	2	230	1,87	52,08	54,90	23,67	37,25	15,74		
EB3	1	208,6	1,83	48,50	54,75	23,54	35,76	15,19	15,23	0,41%
	2	227,7	1,85	52,35	54,75	23,54	35,97	15,28		
HD1	1	242,4	1,86	56,75	54,10	22,99	76,37	33,22	32,80	1,84%
	2	226,7	1,86	52,83	54,15	23,03	74,55	32,37		
HD2	1	250,2	1,91	53,50	55,85	24,50	89,43	36,51	37,03	1,61%
	2	260,6	1,90	55,66	56,00	24,63	92,80	37,68		
	3	236,1	1,88	51,05	55,95	24,59	90,71	36,90		
HD3	1	225,5	1,89	52,00	54,10	22,99	84,21	36,63	37,37	1,92%
	2	220	1,92	49,81	54,10	22,99	85,98	37,40		
	3	243,4	1,96	54,13	54,10	22,99	87,51	38,07		

## 3.2 Statischer Elastizitätsmodul

### 3.2.1 Versuchsbeschreibung

Bevor der statische E-Modul an Zylindern ermittelt werden konnte, musste zunächst die Druckfestigkeit an Zylindern desselben Durchmessers bestimmt werden. Dies geschah wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben.

Der statische Elastizitätsmodul wurde in Anlehnung an die Deutsche Norm für Beton DIN 1048 geprüft. Die Versuche wurden in der MPA Stuttgart durchgeführt. Als Probekörper dienten Zylinder mit einem Durchmesser von 55 mm, die mit einer Diamantbohrkrone aus den Steinen herausgeschnitten wurden. Die Zylinder wurden auf eine Höhe von 125 mm zugeschnitten. Dadurch ergibt sich folgendes Verhältnis:

#### Gleichung 3.3

$$\frac{h}{d} = \frac{125 \text{ mm}}{55 \text{ mm}} \approx 2,3$$

$$\text{nach DIN 1048 gefordert: } 2 \leq \frac{h}{d} \leq 4$$

Somit ist die Forderung in der Norm erfüllt.

Die Schnittflächen wurden so präpariert, dass der Zylinder eben auf der Prüffläche aufstand. Der Zylinder wurde stehend in eine Druckprüfmaschine eingebaut, sodass der Druck in Richtung der Längsachse aufgebracht werden konnte. Im Abstand von je 120° wurden drei Wegaufnehmer angebracht die während des Versuchs die Verschiebung in Längsrichtung aufnahmen. Last und Verschiebung wurden mit einem Messprogramm aufgezeichnet. Den Aufbau zeigt Abb. 3.3.

Der Versuchsablauf war wie folgt und ist im Belastungs-Zeit-Diagramm in Abb. 3.2 bildlich dargestellt:

- Belastung bis zur oberen Prüfspannung, ca. ein Drittel der vorher ermittelten Druckfestigkeit
- Entlastung bis zur unteren Prüfspannung, 0,5 N/mm<sup>2</sup>
- Belastung bis zur oberen Prüfspannung
- Entlastung bis zur unteren Prüfspannung
- Halten der unteren Prüfspannung für 30 Sekunden
- Ablesen der Verschiebung bei Punkt A
- Belastung bis zur oberen Prüfspannung
- Halten der oberen Prüfspannung für 30 Sekunden
- Ablesen der Verschiebung bei Punkt B
- Belastung bis zum Bruch

Aus den gemessenen Verschiebungen und der oberen und unteren Prüfspannung wird dann der statische E-Modul nach Gleichung 3.4 ermittelt.

Nachdem der Prüfkörper bis zum Bruch belastet wurde ist die tatsächliche Druckfestigkeit des Prüfkörpers zu bestimmen. Weicht die Druckfestigkeit dabei bedeutend von der vorher angenommenen ab muss die obere Prüfspannung neu ermittelt und der Versuch wiederholt werden.

**Gleichung 3.4**

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{\varepsilon_u - \varepsilon_u}$$

$\sigma_u$ : untere Prüfspannung

$\sigma_o$ : obere Prüfspannung

$\varepsilon_u$ : Dehnung bei unterer Prüfspannung, abgelesen an Punkt A

$\varepsilon_o$ : Dehnung bei oberer Prüfspannung, abgelesen an Punkt B

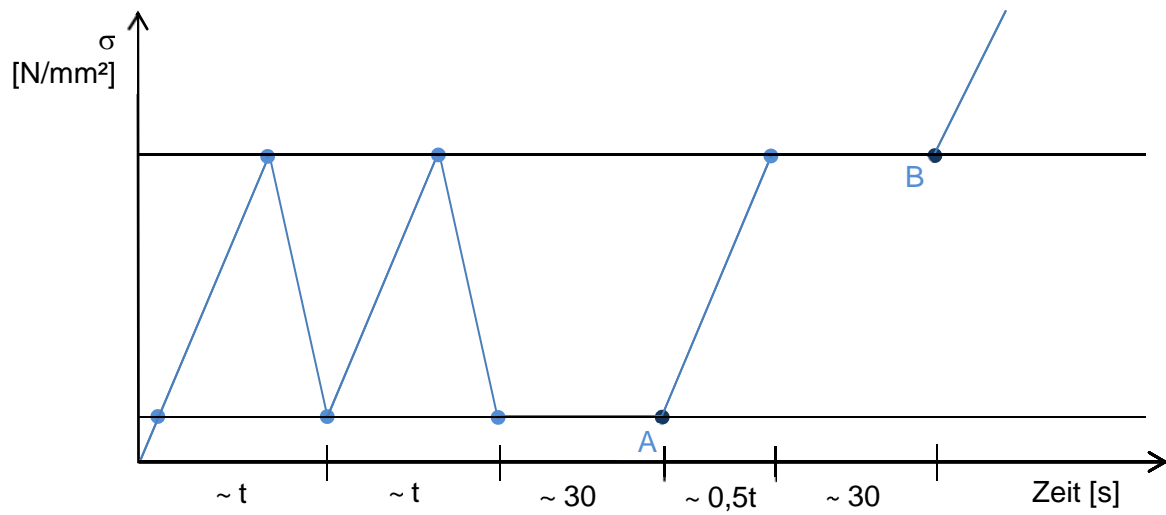


Abb. 3.2: Belastungs-Zeit-Diagramm zur Prüfung des statischen E-Moduls



Abb. 3.3: Prüfung des statischen E-Moduls, Gesamtansicht



Abb. 3.4: Prüfung des statischen E-Moduls, Detail

### 3.2.2 Ergebnisse

Tabelle 3.4: Ergebnisse der Versuche zum statischen E-Modul

Bezeichnung	Druckfestigkeit		Maße		Druckfläche	Prüfspannung		Messwert Uhr		Messlänge [mm]	Druckfestigkeit		E-Modul	Mittelwert E-Modul
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	d	h		s <sub>u</sub>	s <sub>o</sub>	e <sub>u</sub>	e <sub>u</sub>		Bruchkraft	Druckfestigk.		
WB1_1	48,97	48,97	54,7	123,7	2349,9	0,47	16,30	0,009	0,126	70	99,59	42,38	9471	8690
WB1_2	48,97	48,97	54,7	125,1	2349,9	0,47	16,30	0,012	0,149	70	87,34	37,17	8089	
WB1_3	48,97	48,97	54,7	125,0	2349,9	0,47	12,38	0,008	0,106	70	99,08	42,16	8511	
WB2_1	22,53	22,53	54,7	120,3	2349,9	0,47	7,49	0,035	0,189	70	35,52	15,11	3192	3574
WB2_2	22,53	22,53	54,7	120,2	2349,9	0,47	5,11	0,022	0,12	70	32,82	13,97	3313	
WB2_3	22,53	22,53	54,7	120,6	2349,9	0,47	5,11	0,017	0,094	70	37,48	15,95	4217	
WB3_1	17,17	17,17	54,7	125,1	2349,9	0,47	5,70	0,033	0,143	70	33,7	14,34	3331	3391
WB3_2	17,17	17,17	54,7	125,7	2349,9	0,47	4,77	0,033	0,146	70	26,57	11,31	2662	
WB3_3	17,17	17,17	54,7	124,2	2349,9	0,47	4,77	0,017	0,089	70	36,24	15,42	4179	
HH1_1	29,51	29,51	55,8	139,2	2445,4	0,45	9,81	0,006	0,122	70	68,65	28,08	5651	4930
HH1_2	29,51	29,51	55,8	140,3	2441,0	0,45	9,83	0,017	0,169	70	69,28	28,38	4320	
HH1_3	29,51	29,51	55,8	139,6	2445,4	0,45	9,81	0,016	0,152	70	71,91	29,41	4820	
HH2_1	33,44	33,44	55,8	126,4	2441,0	0,45	11,14	0,02	0,128	70	80,19	32,85	6930	6911
HH2_2	33,44	33,44	55,8	141,0	2441,0	0,45	11,14	0,012	0,118	70	78,47	32,15	7061	
HH2_3	33,44	33,44	55,8	140,1	2441,0	0,45	11,14	0,014	0,125	70	67,53	27,66	6743	
HH3_1	32,39	32,39	55,8	139,9	2445,4	0,49	10,80	0,021	0,144	70	62,71	25,65	5865	5875
HH3_2	32,39	32,39	55,8	139,8	2445,4	0,49	9,00	0,018	0,118	70	71,57	29,27	5954	
HH3_3	32,39	32,39	55,8	140,0	2445,4	0,49	9,20	0,025	0,13	70	73	29,86	5807	
EB1_1	16,78	16,78	54,8	129,9	2354,2	0,47	5,56	0,007	0,042	70	36,1	15,34	10194	9031
EB2_2	14,85	14,85	54,8	131,3	2354,2	0,47	4,93	0,007	0,041	70	32,85	13,95	9183	
EB3_1	15,24	15,24	54,8	129,5	2354,2	0,47	5,10	0,009	0,051	70	30,3	12,87	7717	
HD1_1	32,8	32,8	54,2	138,7	2302,9	0,48	10,90	0,008	0,067	70	61,15	26,55	12365	11984
HD1_2	26,55	26,55	54,2	136,6	2302,9	0,48	8,90	0,008	0,058	70	56,41	24,49	11794	
HD1_3	26,55	26,55	54,2	128,5	2302,9	0,48	8,90	0,007	0,057	70	59,96	26,04	11794	
HD2_1	37,02	37,02	55,9	128,2	2449,8	0,45	12,33	0,014	0,079	70	63,92	26,09	12792	12292
HD2_2	37,02	37,02	56,0	140,0	2458,5	0,45	8,70	0,006	0,054	70	68,6	27,9	12041	
HD2_3	37,02	37,02	56,0	127,9	2458,5	0,45	8,70	0,007	0,055	70	66,6	27,08	12041	
HD3_1	37,36	37,36	54,1	138,7	2298,6	0,48	12,44	0,011	0,08	70	58,25	25,34	12137	11409
HD3_2	25,34	25,34	54,1	132,5	2298,6	0,48	8,44	0,009	0,058	70	60,1	26,14	11373	
HD3_3	25,34	25,34	54,1	125,5	2298,6	0,48	8,44	0,009	0,061	70	53,8	23,4	10717	



### 3.3 Biegezugfestigkeit

#### 3.3.1 Versuchsbeschreibung

In DIN EN 772 Teil 6 ist die Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Mauersteinen aus Beton geregelt. Da es für Ziegel- und Kalksandsteine keine Regelungen zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit gibt, wurden die durchgeführten Versuche zwar in Anlehnung an die Angaben in DIN EN 772 Teil 6 und in DIN 1048, allerdings als Drei-Punkt-Biegeversuche anstatt als Vier-Punkt-Biegeversuche durchgeführt.

Statt ganzer Steine wurden einheitliche Prüfkörper mit folgenden Abmessungen geprüft:

$$b \cdot h \cdot l = 70\text{mm} \cdot 70\text{mm} \cdot 240\text{mm}$$

Die Probekörper wurden mit einer Diamantsäge aus den Steinen herausgesägt. Dabei wurden die Probekörper entsprechend der Belastungsrichtung im Mauerwerksverband entnommen. Alle Proben waren ohne Fehlstellen, bis auf die fünf Proben der Serie HH2. Diese Steine haben ein Loch in der Mitte, das mit dem Probekörper entnommen wurde (siehe Abb. 3.5).

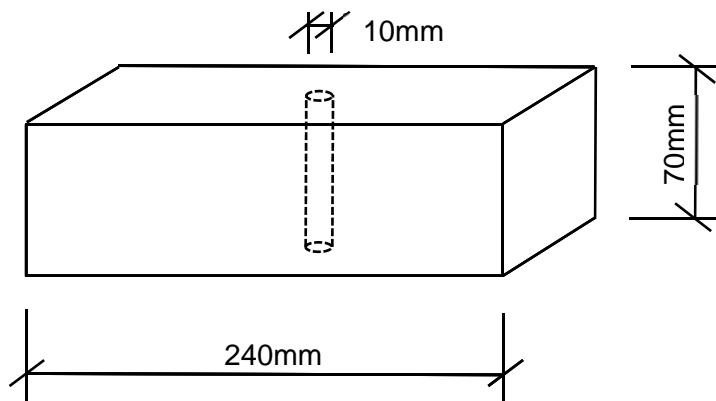


Abb. 3.5: Skizze (nicht maßstäblich) des Probekörpers mit Loch

Die Probekörper wurden waagrecht in die Prüfmaschine des IWB der Universität Stuttgart eingebaut. Die Biegevorrichtung bestand aus zwei Rollenvorrichtungen, auf denen der Probekörper aufgelegt wurde und einer oberen Rolle zur Aufbringung der Last. Die Stützweite betrug 220 mm, die Last wurde mittig über dem Balken aufgebracht. Während der Lastaufbringung wurde die Verschiebung des Steins jeweils links und rechts der zu erwartenden Bruchstelle in der Mitte des Probekörpers gemessen und aufgezeichnet. Den Aufbau zeigt Abb. 3.6. Aus der gemessenen Bruchlast und den Abmessungen des Probekörpers bzw. der Stützweite kann die Biegezugfestigkeit nach folgender Gleichung ermittelt werden:

#### Gleichung 3.5

$$f_{BZ} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

*F*: aufgebrachte Last

*b*: Breite des Probekörpers

*l*: Länge des Probekörpers

*h*: Höhe des Probekörpers

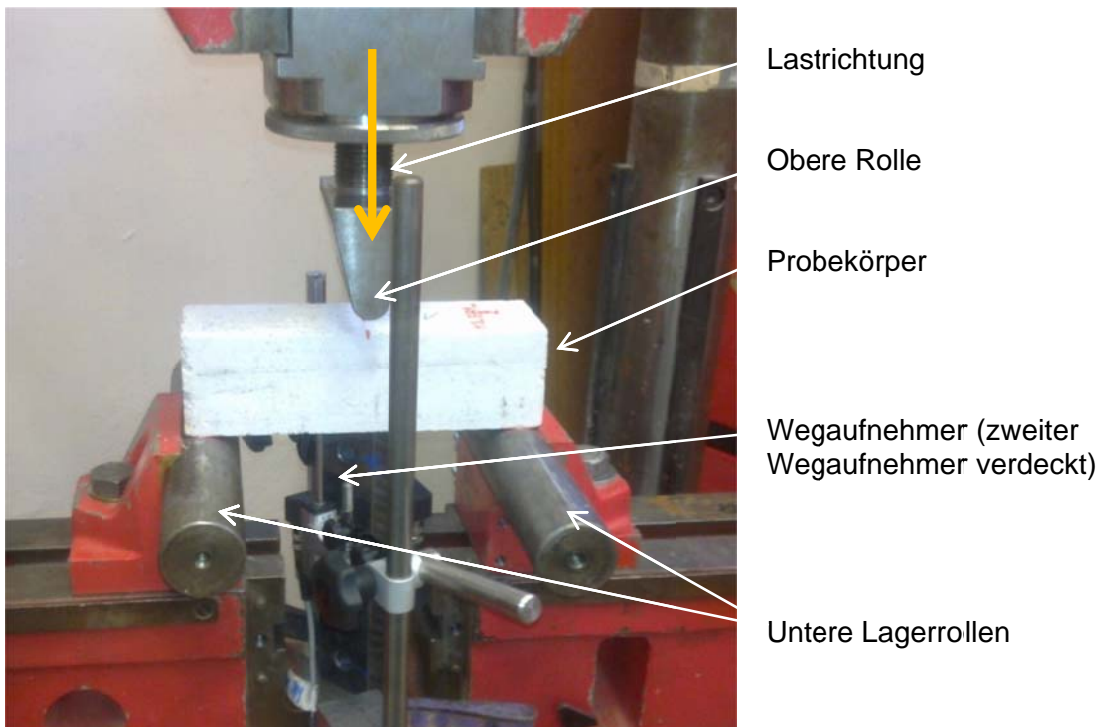


Abb. 3.6: Versuchsaufbau zum Drei-Punkt-Biegeversuch

### 3.3.2 Ergebnisse

Tabelle 3.5: Übersicht über die Ergebnisse der Drei-Punkt-Biegeversuche

Charge	WB1	WB2	WB3	HH1	HH2	HH3	EB1	EB2	EB3	HD1	HD2	HD3
Mittelwert $f_{BZ,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	7,23	4,08	2,71	2,74	2,92	1,90	3,01	2,73	2,54	3,79	3,98	3,69

Die meisten der Proben versagten durch einen Riss in der Mitte des Probekörpers. Bei einer Probe der Serie HD1 platze am Auflager eine Ecke ab. Bei den Proben mit dem senkrechten Loch war zu beobachten, dass der Riss zum Teil durch das Loch und zum Teil am Loch vorbei verlief (siehe Abb. 3.17 bis Abb. 3.21). Die Proben der Serie HH3 waren durchzogen von klaffenden Schwindrissen, sodass der Riss beim Bruch entlang dieser Schwindrisse verlief (siehe Abb. 3.22). Dies konnte bei den Proben der Serien WB2 und WB3 trotz ebenfalls vorhandener Schwindrisse nicht beobachtet werden (siehe Abb. 3.11 und Abb. 3.12).

Tabelle 3.6: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie WB1

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 28.11.2011		
Auftrags Nr.	: 209 10 001			
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch			
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit			
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Eugen Lindenmeier			
Steinart	Mz; $\geq 20\text{N/mm}^2$ ;	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5
	$\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Zylinder	: HUN	
Charge Nr.	: WB 1; NF	Messschrank	: HUN	
Steingröße [mm]	: NF	Kraftmessdose	: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,16 mm/min	Wegaufnehmer	: HUN	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_Mz_WB1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9		
Versuchsdatum		15.11.2011	15.11.2011	15.11.2011
Probenlänge l	[mm]	n. g.	n. g.	n. g.
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220,0	220,0	220,0
Probenhöhe h	[mm]	71,2	70,1	71,0
Probenbreite b	[mm]	70,6	70,8	70,8
Versagenslast $N_u$	[kN]	8,06	8,61	6,60
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	7,757		
Variationskoeffizient	[%]	13,39%		
Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	7,43	8,17	6,10
mittlere Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ},m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	7,23		
Versagensart		Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:				

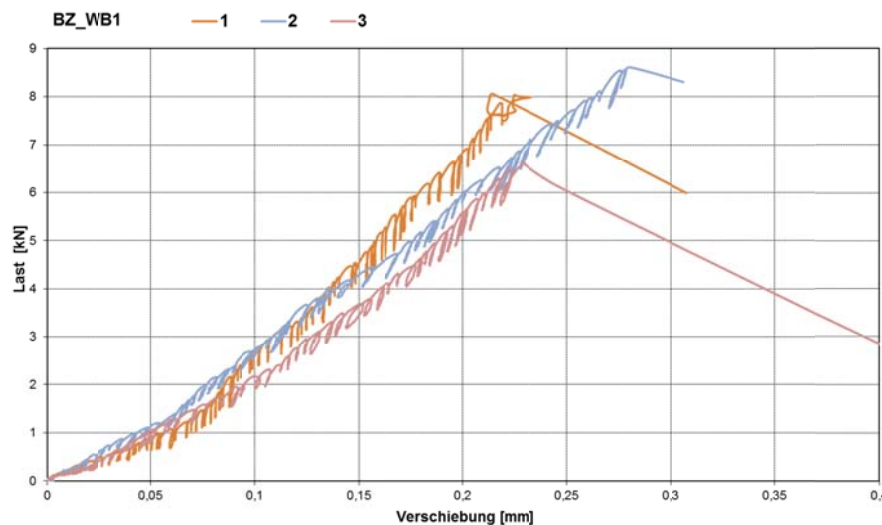


Abb. 3.7: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie WB1

Tabelle 3.7: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie WB2

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 28.11.2011		
Auftrags Nr.	: 209 10 001			
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch			
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit			
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Eugen Lindenmeier			
Steinart	Mz; $\geq 20\text{N/mm}^2$ ;	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5
	$\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Zylinder	: HUN	
Charge Nr.	: WB 2; 2 DF	Messschrank	: HUN	
Steingröße [mm]	: 3 DF	Kraftmessdose	: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,16 mm/min	Wegaufnehmer	: HUN	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_Mz_WB2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9		
Versuchsdatum		15.11.2011	15.11.2011	15.11.2011
Probenlänge l	[mm]	n. g.	n. g.	n. g.
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220,0	220,0	220,0
Probenhöhe h	[mm]	70,3	70,8	71,2
Probenbreite b	[mm]	71,1	71,6	71,2
Versagenslast $N_u$	[kN]	3,90	5,27	4,07
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	4,413		
Variationskoeffizient	[%]	16,92%		
Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,66	4,85	3,72
mittlere Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ},m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	4,08		
Versagensart		Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:				

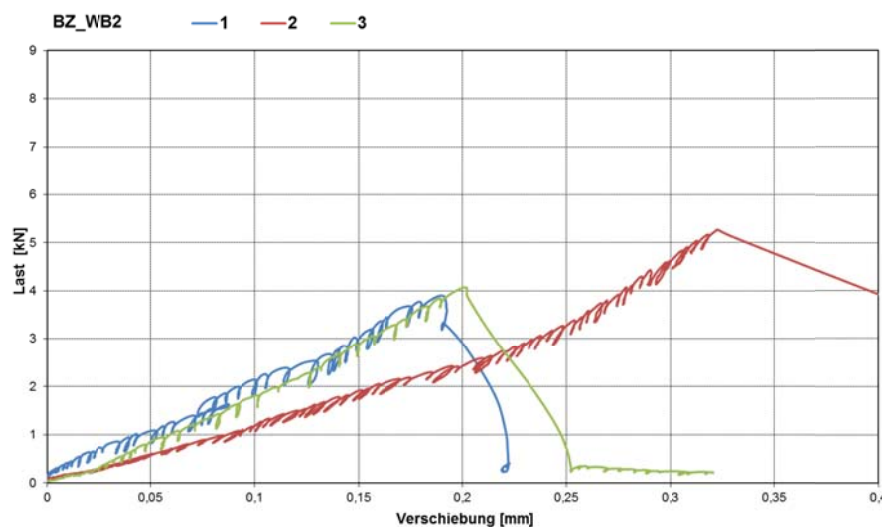


Abb. 3.8: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie WB2

Tabelle 3.8: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie WB3

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 28.11.2011		
Auftrags Nr.	: 209 10 001			
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch			
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit			
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Eugen Lindenmeier			
Steinart	Mz; $\geq 20\text{N/mm}^2$ ;	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5
	$\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Zylinder	: HUN	
Charge Nr.	: WB 3; 3 DF	Messschrank	: HUN	
Steingröße [mm]	: 3 DF	Kraftmessdose	: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,16 mm/min	Wegaufnehmer	: HUN	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_Mz_WB3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9		
Versuchsdatum		15.11.2011	15.11.2011	15.11.2011
Probenlänge l	[mm]	n. g.	n. g.	n. g.
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220,0	220,0	220,0
Probenhöhe h	[mm]	70,4	70,0	70,6
Probenbreite b	[mm]	68,2	68,8	68,4
Versagenslast $N_u$	[kN]	2,26	3,47	2,62
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	2,783		
Variationskoeffizient	[%]	22,32%		
Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,21	3,40	2,54
mittlere Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ,m}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,71		
Versagensart		Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:				

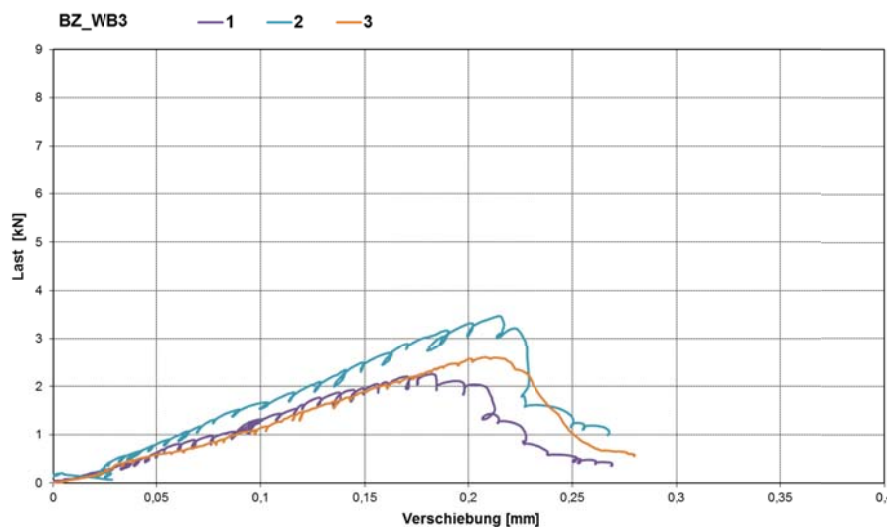


Abb. 3.9: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie WB3



Abb. 3.10: Probe zur Serie BZ\_WB1 nach dem Versuch

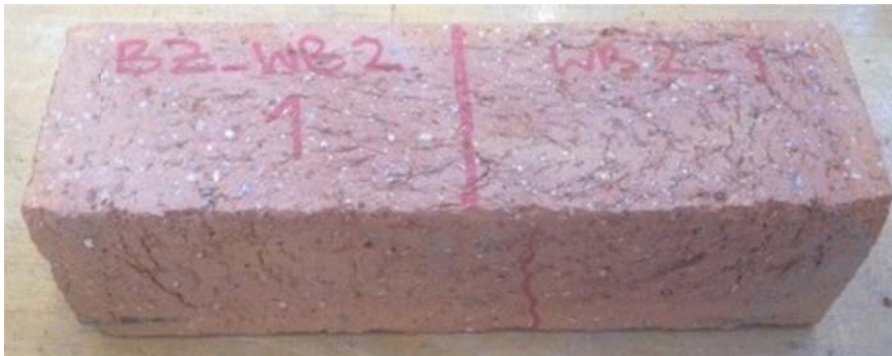


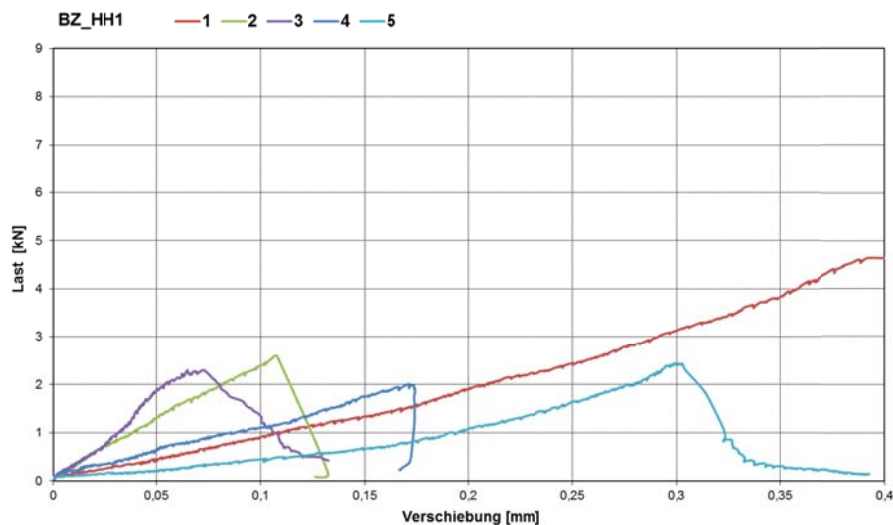
Abb. 3.11: Probe zur Serie BZ\_WB2 nach dem Versuch



Abb. 3.12: Probe zur Serie BZ\_WB3 nach dem Versuch

**Tabelle 3.9: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie HH1**

<b>3-Punkt-Biegeversuch</b>		Erstellt am: 25.09.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch					
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz/ Eugen Lindenmeier					
Steinart	Mz	Aufzeichnungsfrequenz			: 5 Hz	
		Zylinder	: HUN			
Charge Nr.	: HH1	Messschrank	: HUN			
Steingröße [mm]	: NF	Kraftmessdose	: HUN			
Prüfgeschwindigkeit	: 0,2mm/min	Wegaufnehmer:	: WA 240, WA 248			
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_HH1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	48,1				
Versuchsdatum		24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012
Probenlänge l	[mm]	235	235	235	235	235
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220	220	220	220	220
Probenhöhe h	[mm]	69,1	69,5	70,2	69,4	68,8
Probenbreite b	[mm]	69,7	70,6	70,2	69,3	70,6
Versagenslast $N_u$	[kN]	4,64	2,60	2,30	2,01	2,44
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	2,798				
Variationskoeffizient	[%]	37,61%				
Biegezugspannung $\beta_{BZ}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	4,60	2,52	2,19	1,99	2,41
mittlere Biegezugspannung $\beta_{BZ,m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,74				
Versagensart		Riss	Riss	Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:						



**Abb. 3.13: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie HH1**



Tabelle 3.10: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie HH2

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 25.09.2012				
Auftrags Nr.	209 10 001					
Versuchsart	3-Punkt-Biegeversuch					
Versuchsbeschreibung	Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit					
Prüfer/ Techniker	Dipl.- Ing. Carolin Kurz/ Eugen Lindenmeier					
Steinart	Mz	Aufzeichnungsfrequenz			: 5 Hz	
		Zylinder			: HUN	
Charge Nr.	: HH2	Messschrank			: HUN	
Steingröße [mm]	: 2DF	Kraftmessdose			: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,2mm/min	Wegaufnehmer:			: WA 240, WA 248	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_HH2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	39,6				
Versuchsdatum		24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012
Probenlänge l	[mm]	237	237	237	237	237
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220	220	220	220	220
Probenhöhe h	[mm]	69,3	68,1	68,1	69,7	69,4
Probenbreite b <sup>*1)</sup>	[mm]	69,4	59,4	59,0	69,1	59,5
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	2,52	1,71	3,89	3,76	1,43
Mittelwert N <sub>u,m</sub>	[kN]	2,662				
Variationskoeffizient	[%]	42,66%				
Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,50	2,05	4,69	3,70	1,65
mittlere Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ,m}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,92				
Versagensart		Riss <sup>*2)</sup>	Riss <sup>*3)</sup>	Riss <sup>*3)</sup>	Riss <sup>*2)</sup>	Riss <sup>*3)</sup>
Bemerkungen:	Steine sind schon vorm Versuch mit Schwindrissen durchzogen <sup>*1)</sup> Proben haben in der Mitte ein senkrecht Loch Durchmesser 1 cm --> Probenbreite reduziert <sup>*2)</sup> Riss läuft am Loch vorbei <sup>*3)</sup> Riss verläuft durchs Loch					

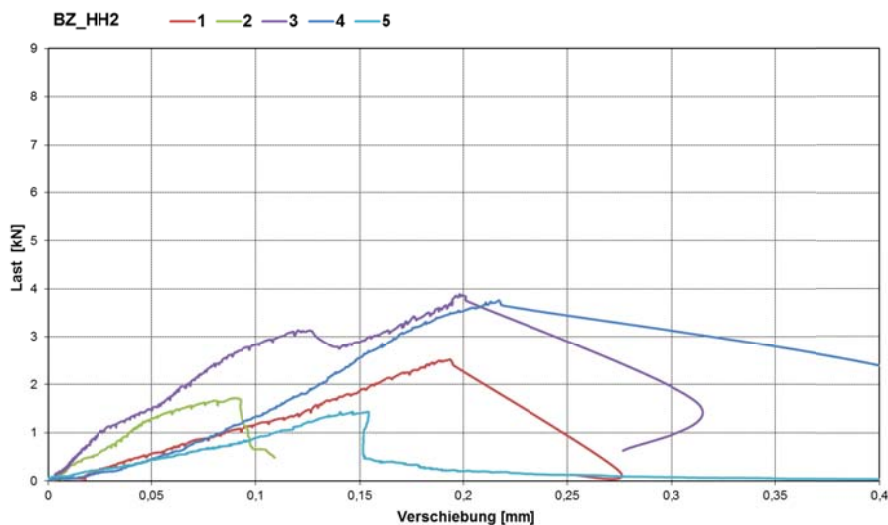
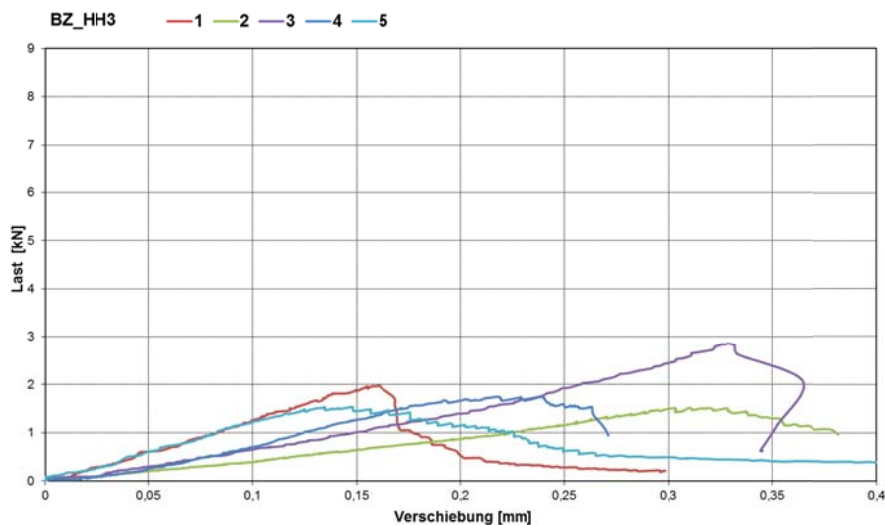


Abb. 3.14: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie HH2



**Tabelle 3.11: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie HH3**

<b>3-Punkt-Biegeversuch</b>		Erstellt am: 25.09.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch					
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz/ Eugen Lindenmeier					
Steinart	Mz	Aufzeichnungsfrequenz			: 5 Hz	
		Zylinder	: HUN			
Charge Nr.	: HH3	Messschrank			: HUN	
Steingröße [mm]	: 4DF	Kraftmessdose			: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,2mm/min	Wegaufnehmer:			: WA 240, WA 248	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_HH3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,1				
Versuchsdatum		24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012
Probenlänge l	[mm]	246	246	246	246	246
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220	220	220	220	220
Probenhöhe h	[mm]	69,1	70,0	69,5	69,1	69,5
Probenbreite b	[mm]	69,2	69,4	69,7	69,5	69,8
Versagenslast $N_u$	[kN]	1,98	1,52	2,85	1,75	1,53
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	1,926				
Variationskoeffizient	[%]	28,55%				
Biegezugspannung $\beta_{BZ}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	1,98	1,48	2,79	1,74	1,50
mittlere Biegezugspannung $\beta_{BZ,m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	1,90				
Versagensart		Riss	Riss	Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:	Steine ahben alle senkrecht zur Lastrichtung verlaufende Schwindrisse Risse beim Bruch verlaufen abschnittsweise entlang der Schwindrisse					



**Abb. 3.15: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie HH3**



Abb. 3.16: Probe zur Serie BZ\_HH1 nach dem Versuch

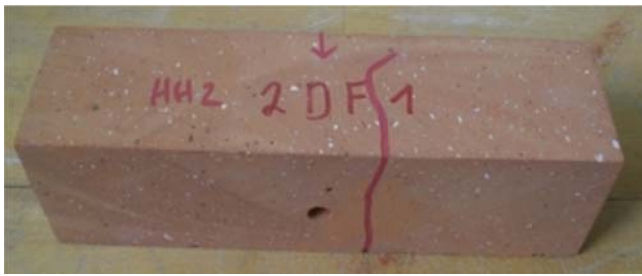


Abb. 3.17: Probe BZ\_HH2\_1: Riss läuft am Loch vorbei

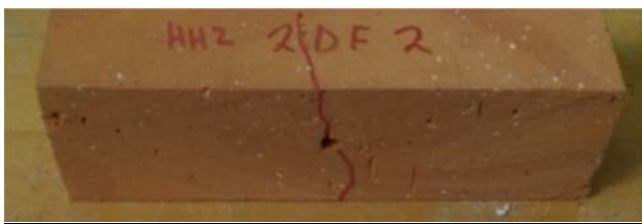


Abb. 3.18: Probe BZ\_HH2\_2: Riss verläuft durchs Loch



Abb. 3.19: Probe BZ\_HH2\_3: Riss verläuft durchs Loch



Abb. 3.20: Probe BZ\_HH2\_4: Riss läuft am loch vorbei

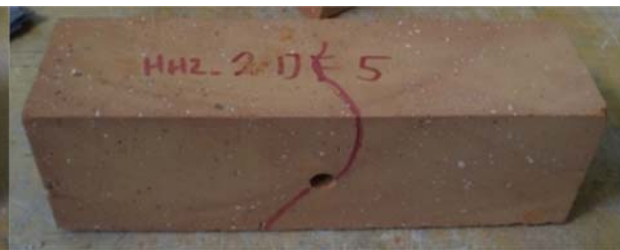


Abb. 3.21: Probe BZ\_HH2\_5: Riss verläuft durchs Loch



Abb. 3.22: Probe zur Serie BZ\_HH3: Riss verläuft durch die Schwindrisse

Tabelle 3.12: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie EB1

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 28.11.2011		
Auftrags Nr.	: 209 10 001			
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch			
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit			
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Eugen Lindenmeier			
Steinart	KS	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5
		Zylinder	: HUN	
Charge Nr.	: EB 1	Messschrank	: HUN	
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Kraftmessdose	: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,1mm/min	Wegaufnehmer	: HUN	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_KS_EB1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9		
Versuchsdatum		15.11.2011	15.11.2011	15.11.2011
Probenlänge l	[mm]	240,0	241,0	242,0
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220,0	220,0	220,0
Probenhöhe h	[mm]	70,7	70,4	70,4
Probenbreite b	[mm]	70,8	70,3	70,8
Versagenslast $N_u$	[kN]	3,304	3,304	3,005
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	3,204		
Variationskoeffizient	[%]	5,39%		
Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,08	3,13	2,83
mittlere Biegezugspannung $\beta_{\text{BZ},m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,01		
Versagensart		Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:				

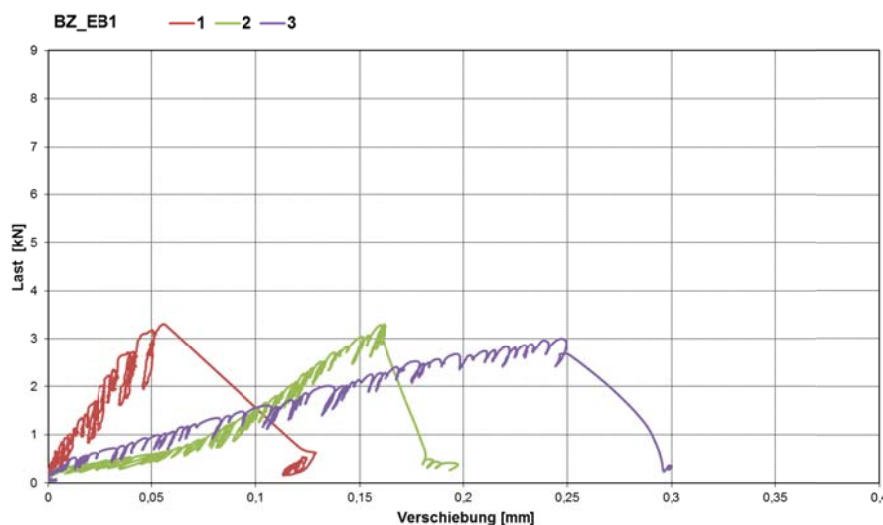


Abb. 3.23: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie EB1

Tabelle 3.13: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie EB2

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 28.11.2011		
Auftrags Nr.	: 209 10 001			
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch			
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit			
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Eugen Lindenmeier			
Steinart	KS	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5
		Zylinder	: HUN	
Charge Nr.	: EB 2	Messschrank	: HUN	
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Kraftmessdose	: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,1mm/min	Wegaufnehmer	: HUN	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_KS_EB2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9		
Versuchsdatum		15.11.2011	15.11.2011	15.11.2011
Probenlänge l	[mm]	240,1	240,0	240,0
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220,0	220,0	220,0
Probenhöhe h	[mm]	71,3	71,0	70,1
Probenbreite b	[mm]	69,7	69,8	74,1
Versagenslast $N_u$	[kN]	2,89	2,74	3,24
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	2,957		
Variationskoeffizient	[%]	8,68%		
Biegezugspannung $\beta_{BZ}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,69	2,57	2,94
mittlere Biegezugspannung $\beta_{BZ,m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,73		
Versagensart		Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:				

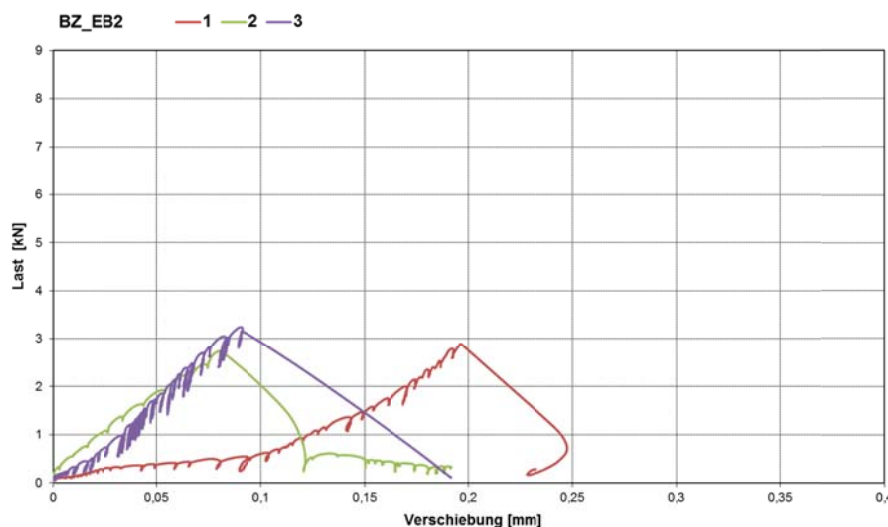


Abb. 3.24: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie EB2

Tabelle 3.14: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie EB3

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 28.11.2011		
Auftrags Nr.	: 209 10 001			
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch			
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit			
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Eugen Lindenmeier			
Steinart	KS	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5
		Zylinder	: HUN	
Charge Nr.	: EB 3	Messschrank	: HUN	
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Kraftmessdose	: HUN	
Prüfgeschwindigkeit	: 0,1mm/min	Wegaufnehmer	: HUN	
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_KS_EB3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9		
Versuchsdatum		15.11.2011	15.11.2011	15.11.2011
Probenlänge l	[mm]	240,0	239,0	240,0
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220,0	220,0	220,0
Probenhöhe h	[mm]	71,2	70,2	71,8
Probenbreite b	[mm]	70,8	70,7	72,1
Versagenslast $N_u$	[kN]	2,53	3,01	2,76
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	2,766		
Variationskoeffizient	[%]	8,66%		
Biegezugspannung $\beta_{BZ}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,33	2,85	2,45
mittlere Biegezugspannung $\beta_{BZ,m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	2,54		
Versagensart		Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:				

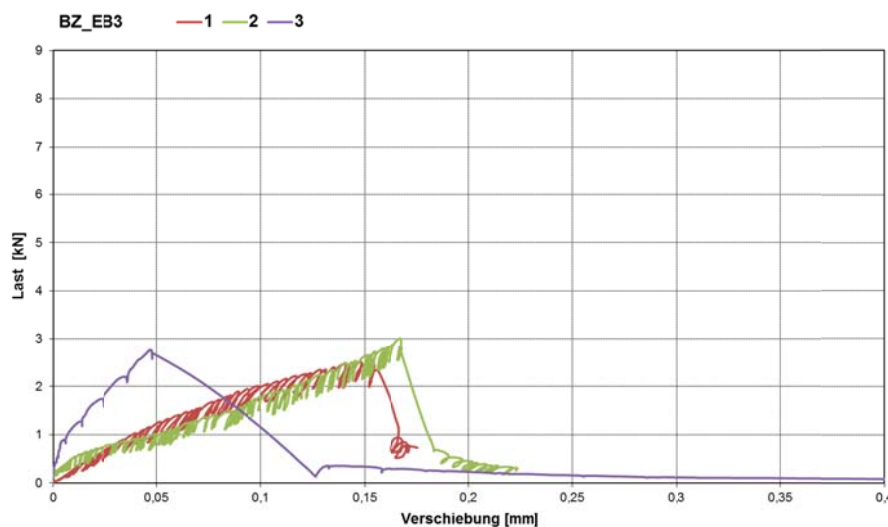


Abb. 3.25: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie EB3

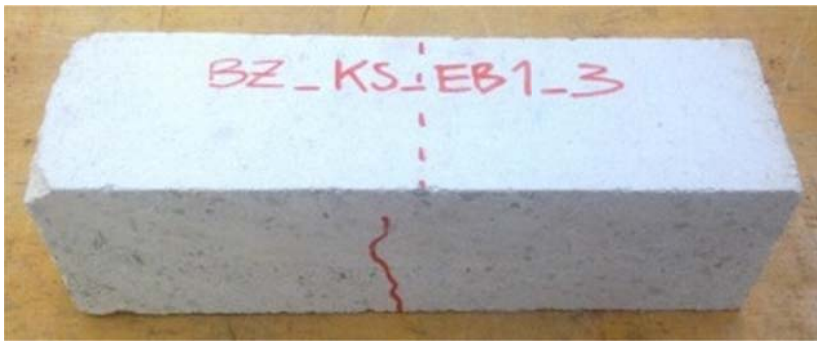


Abb. 3.26: Probe zur Serie BZ\_EB1

Tabelle 3.15: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie HD1

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 25.09.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch					
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz/ Eugen Lindenmeier					
Steinart	: KS	Aufzeichnungsfrequenz	: 5 Hz			
		Zylinder	: HUN			
Charge Nr.	: HD1	Messschrank	: HUN			
Steingröße [mm]	: 4DF	Kraftmessdose	: HUN			
Prüfgeschwindigkeit	: 0,1mm/min	Wegaufnehmer:	: WA 240, WA 248			
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_HD1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	21,2				
Versuchsdatum		24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012
Probenlänge l	[mm]	248	248	248	248	248
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220	220	220	220	220
Probenhöhe h	[mm]	70,3	69,9	70,3	70,2	69,9
Probenbreite b	[mm]	70,6	70,0	70,2	70,1	69,6
Versagenslast $N_u$	[kN]	3,95	3,61	4,15	4,13	3,98
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	3,964				
Variationskoeffizient	[%]	5,47%				
Biegezugspannung $\beta_{BZ}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,74	3,48	3,95	3,95	3,86
mittlere Biegezugspannung $\beta_{BZ,m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,79				
Versagensart		Riss	Ecke*	Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:	*V2: Ecke am Auflager abgebrochen					

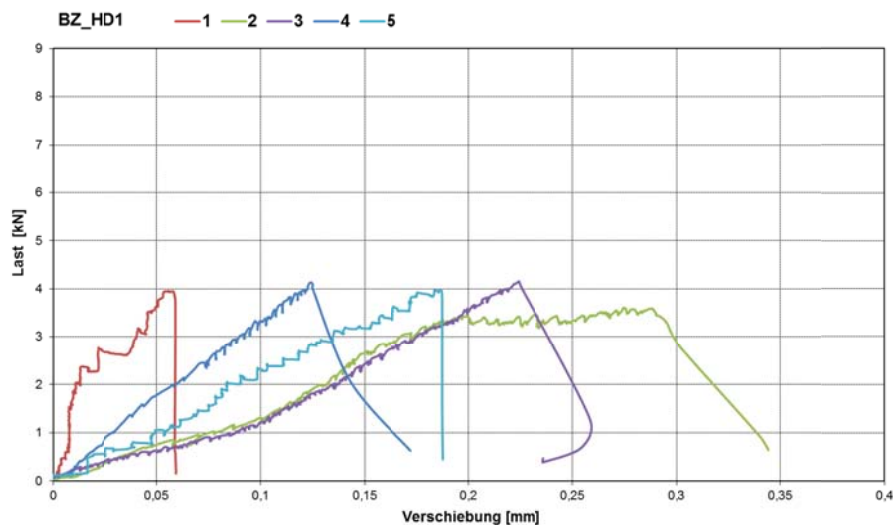


Abb. 3.27: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie HD1

Tabelle 3.16: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie HD2

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 25.09.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch					
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz/ Eugen Lindenmeier					
Steinart	: KS	Aufzeichnungsfrequenz	: 5 Hz			
		Zylinder	: HUN			
Charge Nr.	: HD2	Messschrank	: HUN			
Steingröße [mm]	: 4DF	Kraftmessdose	: HUN			
Prüfgeschwindigkeit	: 0,1mm/min	Wegaufnehmer:	: WA 240, WA 248			
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_HD2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	19,8				
Versuchsdatum		24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012
Probenlänge l	[mm]	248	248	248	248	248
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220	220	220	220	220
Probenhöhe h	[mm]	69,9	69,9	69,3	69,9	69,8
Probenbreite b	[mm]	69,8	69,6	69,6	69,8	69,7
Versagenslast $N_u$	[kN]	3,97	4,17	4,17	3,89	4,25
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	4,090				
Variationskoeffizient	[%]	3,72%				
Biegezugspannung $\beta_{BZ}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,84	4,05	4,12	3,76	4,13
mittlere Biegezugspannung $\beta_{BZ,m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,98				
Versagensart		Riss	Riss	Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:						

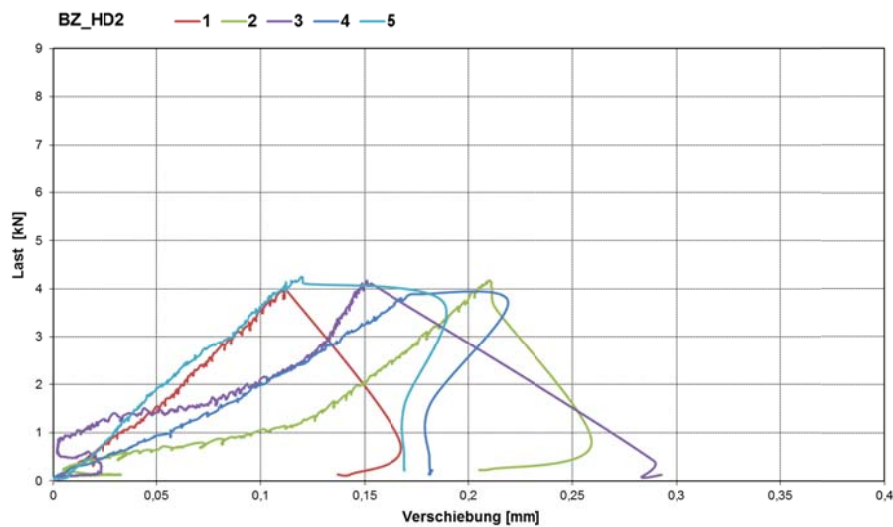


Abb. 3.28: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie HD2



Tabelle 3.17: Versuchsprotokoll Drei-Punkt-Biegeversuch zur Serie HD3

3-Punkt-Biegeversuch		Erstellt am: 25.09.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: 3-Punkt-Biegeversuch					
Versuchsbeschreibung	: Versuche zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz/ Eugen Lindenmeier					
Steinart	: KS	Aufzeichnungsfrequenz	: 5 Hz			
		Zylinder	: HUN			
Charge Nr.	: HD3	Messschrank	: HUN			
Steingröße [mm]	: 4DF	Kraftmessdose	: HUN			
Prüfgeschwindigkeit	: 0,1mm/min	Wegaufnehmer:	: HUN			
Versuchs- Nr.:	<b>BZ_HD3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,3				
Versuchsdatum		24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012	24.09.2012
Probenlänge l	[mm]	248	248	248	248	248
Stützweite l <sub>0</sub>	[mm]	220	220	220	220	220
Probenhöhe h	[mm]	68,7	70,2	69,8	69,6	69,5
Probenbreite b	[mm]	68,9	69,5	69,6	69,3	69,6
Versagenslast $N_u$	[kN]	3,73	3,82	4,21	3,53	3,50
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	3,758				
Variationskoeffizient	[%]	7,61%				
Biegezugspannung $\beta_{BZ}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,79	3,68	4,10	3,47	3,44
mittlere Biegezugspannung $\beta_{BZ,m}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	3,69				
Versagensart		Riss	Riss	Riss	Riss	Riss
Bemerkungen:						

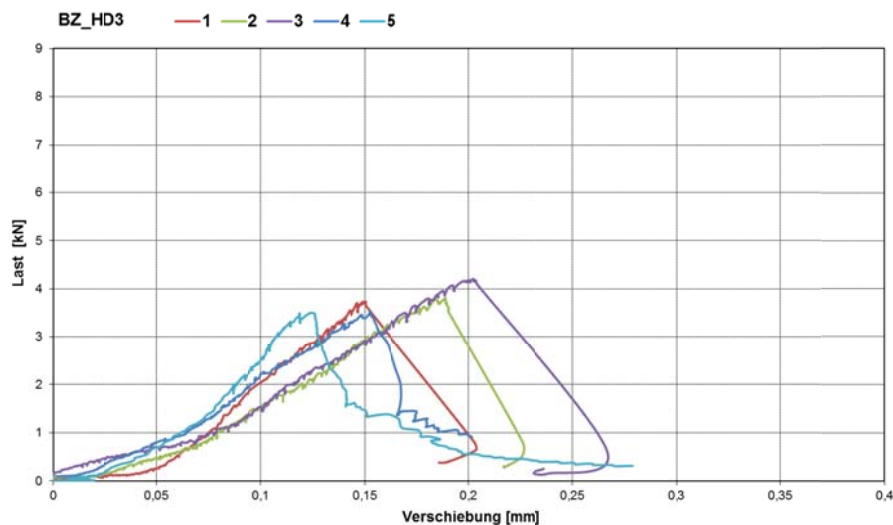


Abb. 3.29: Last-Verschiebungsdiagramm der Drei-Punkt-Biegeversuche zur Serie HD3

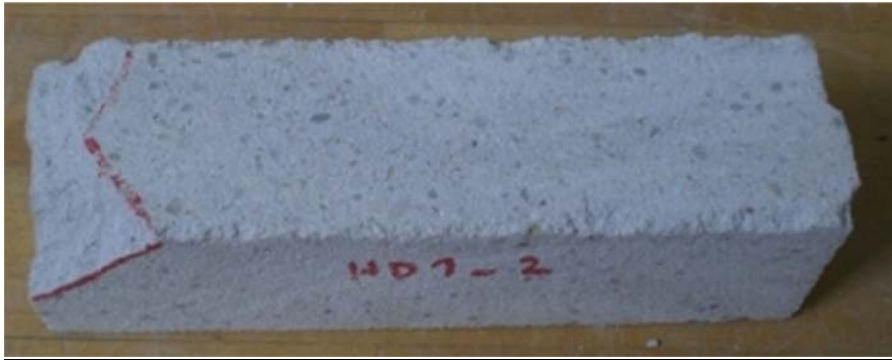


Abb. 3.30: Probe BZ\_HD1\_2 mit abgeplatzter Ecke



Abb. 3.31: Probe zur Serie BZ\_HD1 mit Riss



## 3.4 Spaltzugfestigkeit

### 3.4.1 Versuchsbeschreibung

Die Spaltzugfestigkeit wurde an der MPA Stuttgart in Anlehnung an DIN 12390 Teil 6 durchgeführt. Da die Ermittlung der Spaltzugfestigkeit für Mauersteine nicht normativ geregelt ist, wurde hier diese Norm für Prüfkörper aus Beton herangezogen. Als Prüfkörper wurden mit einer Diamantbohrkrone zylindrische Proben aus den Steinen entnommen und mit einer Diamantsäge auf die entsprechende Länge gesägt. Die zylindrischen Proben wurden zunächst vermessen. Mit dem in Gleichung 3.6 beschriebenen Verhältnis genügten sie den Anforderungen der Norm.

#### Gleichung 3.6

$$\frac{h}{d} = \frac{120 \text{ mm}}{55 \text{ mm}} \approx 2,2$$

nach DIN 12390 gefordert:  $1 \leq \frac{h}{d}$

Vor der Prüfung wurden die Probekörper bis zur Massekonstanz im Ofen getrocknet. Die Zylinder wurden liegend in die Prüfmaschine, unter anderem bestehend aus zwei Druckplatten und zwei schmalen Streifen zur Lastaufbringung, eingebaut. Die Last wurde über zwei schmale Streifen entlang der Längsachse auf den Zylinder aufgebracht. Daraus resultiert eine dazu orthogonale Zugkraft, die den Bruch des Probekörpers unter Zugspannung verursacht. Dabei wurde die aufgebrachte Druckkraft gemessen. Über die bekannten Abmessungen kann nach Gleichung 3.7 die Spaltzugfestigkeit ermittelt werden.

#### Gleichung 3.7

$$f_{sz} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot l \cdot d}$$

*F*: aufgebrachte Last

*l*: Länge des Zylinders

*d*: Durchmesser des Zylinders

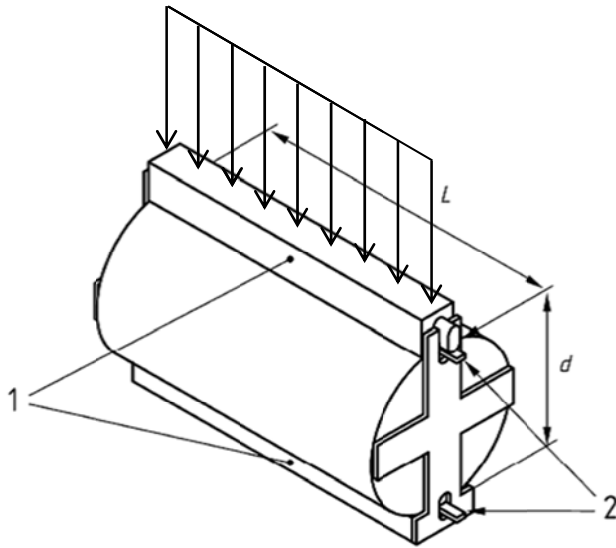


Abb. 3.32: Skizze zum Aufbau des Versuchs zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit (Quelle: DIN 12390-6)

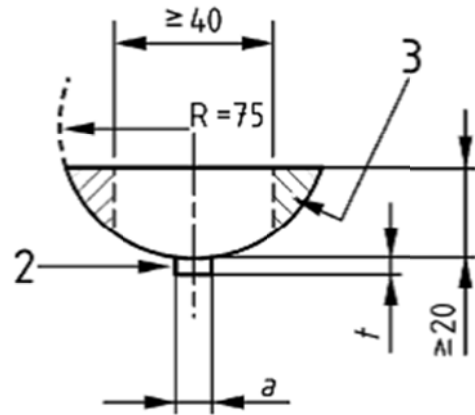
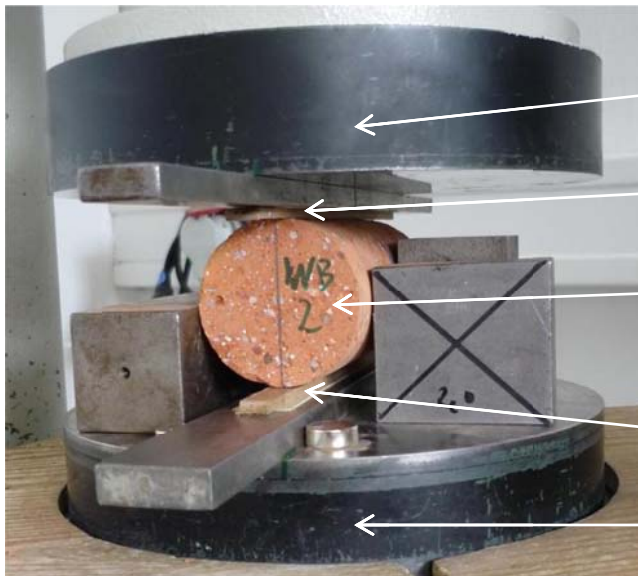


Abb. 3.33: Ansichtsskizze zum Aufbau des Versuchs zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit (Quelle: DIN 12390-6)



Druckplatte mit integrierter Kraftmessung

Lastverteilungstreifen

Prüfkörper

Lastverteilungstreifen

Druckplatte

Abb. 3.34: In die Prüfmaschine eingebauter Versuchskörper zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit



### 3.4.2 Ergebnisse

Tabelle 3.18: Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit

Charge	Versuch	Gewicht	Länge	Durchmesser	Rohdichte	Bruchkraft	Spaltzugfestigkeit	Mittelwert	Variationskoeffizient
		[g]	[mm]	[mm]	[kg/dm <sup>3</sup> ]	[kN]	$f_{sz}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{sz,m}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	
WB1	1	509,8	119,17	54,70	1,820	31,86	3,112	2,93	7,79%
	2	510,8	119,62	54,70	1,817	27,50	2,676		
	3	499,7	118,29	54,70	1,798	30,61	3,012		
WB2	1	527,4	119,17	54,70	1,883	19,05	1,861	1,75	9,64%
	2	526,9	119,39	54,70	1,878	18,80	1,833		
	3	524,3	118,89	54,70	1,877	15,89	1,556		
WB3	1	<del>493,8</del>	<del>118,51</del>	<del>54,70</del>	<del>1,773</del>	<del>16,87</del>	<del>1,657</del>	2,80	4,56%
	2	494,4	118,25	54,65	1,782	27,53	2,712		
	3	494,2	118,29	54,70	1,778	29,40	2,893		
HH1	1	518,1	112,16	55,80	1,889	28,76	2,926	2,90	9,93%
	2	518,2	112,00	55,82	1,891	25,51	2,598		
	3	515,2	111,53	55,80	1,889	31,00	3,171		
HH2	1	501,6	111,50	55,85	1,836	27,16	2,777	2,98	16,08%
	2	502,7	111,34	55,80	1,846	25,69	2,633		
	3	504,6	111,03	55,80	1,858	34,30	3,525		
HH3	1	<del>513,6</del>	<del>111,97</del>	<del>55,76</del>	<del>1,878</del>	<del>11,53</del>	<del>1,176</del>	1,88	6,31%
	2	539,1	116,80	55,80	1,887	20,70	2,022		
	3	537,6	116,67	55,76	1,887	18,62	1,822		
	4	520,5	113,46	55,75	1,879	17,99	1,811		
EB1	1	546,7	119,85	55,15	1,91	17,68	1,70	10,29	-
EB2	1	528,8	119,94	54,60	1,88	17,18	1,67	10,34	-
EB3	1	527,4	120,80	55,00	1,84	14,54	1,39	8,78	-
HD1	1	548,3	126,25	54,10	1,89	23,63	2,20	13,72	-
HD1	1	528,3	122,96	56,00	1,74	27,00	2,50	16,27	-
HD1	1	555	124,36	54,15	1,94	20,67	1,95	11,86	-

\*) Zylinder stark rissig



Abb. 3.35: Ziegelsteinprobe beim Versagen

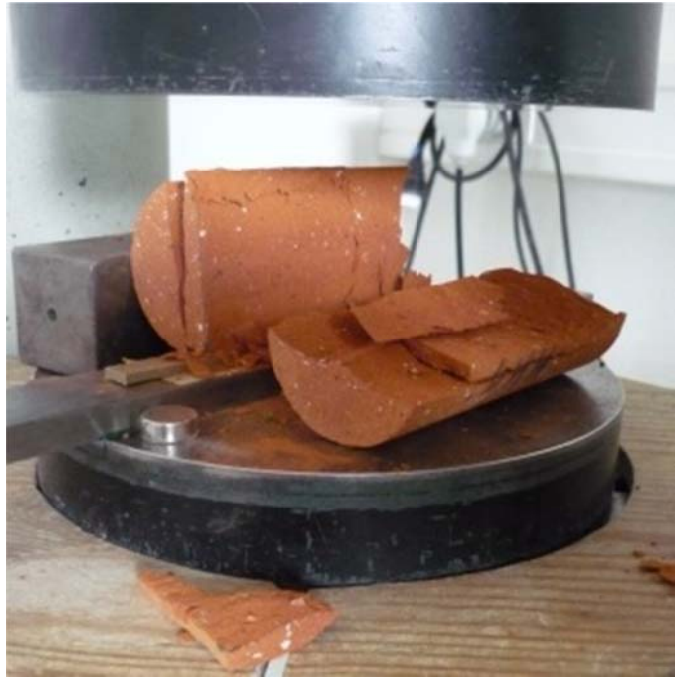


Abb. 3.36: Aufgespaltene Ziegelsteinprobe nach dem Versagen



Abb. 3.37: Aufgespaltene Kalksandsteinprobe nach dem Versagen



## 3.5 Bestimmung des Anteils der offenen Porosität mittels hydrostatischer Wägung

### 3.5.1 Versuchsbeschreibung

Das Prinzip dieser Prüfung ist die Ermittlung des Nettovolumens des Mauersteins durch Wiegen an der Luft und unter Wasser und die Bestimmung des prozentualen Lochanteils und des Anteils an offenen Poren. Dies geschieht durch Abzug des Nettovolumens von dem durch Bestimmung der Außenabmessungen des Mauersteins ermittelten Bruttovolumen. Da es sich hier um Vollsteine handelt und der Lochanteil nicht von Relevanz ist, wurden aus den Steinen zuerst quaderförmige Probekörper herausgesägt die keine Grifflöcher oder Nut und Feder enthielten und deren Außenmaße bestimmt. Das Vorgehen ist im Folgenden beschrieben:

- Bestimmung der Außenabmessungen des Probekörpers
- Wiegen des Probekörpers an der Luft
- Lagerung des Probekörpers unter Wasser für mindestens eine Stunde, bis sich seine Masse in zwei im Abstand von 30 Minuten aufeinander folgenden Wägungen um weniger als 0,2% verändert
- Wiegen des Probekörpers unter Wasser
- Aus dem Wasser nehmen und abwischen des Probekörpers
- Sofortiges Wiegen des nassen Probekörpers

Das Nettovolumen des Probekörpers kann dann nach Gleichung 3.8 ermittelt werden.

#### Gleichung 3.8

$$V_n = \frac{(m_a - m_w)}{\rho_w}$$

$m_a$ : Masse des trockenen Probekörpers an der Luft

$m_w$ : Masse des wassergesättigten Probekörpers, unter Wasser ermittelt

$\rho_w$ : Dichte des Wassers

Das Volumen der mit Wasser getränkten offenen Poren ist nach Gleichung 3.9 zu ermitteln.

#### Gleichung 3.9

$$V_v = \frac{V_g}{V_n}$$

$V_g$ : Bruttovolumen des Probekörpers

Der sich somit ergebende Anteil an offenen Poren kann nach Gleichung 3.10 ermittelt werden.

#### Gleichung 3.10

$$P_o = \frac{V_v}{V_g} \cdot 100$$



Die Ergebnisse der hydrostatischen Wägung wurden genutzt um die Rohdichte der Steine zu bestimmen und um einen Anhaltswert der Porosität zu erhalten. Dieser wird für die Analyse der Aufnahmen der Dünnschliffe benötigt. In dieser Analyse können dann Porenvolumen, Porenverteilung und die Porenform der Steine ermittelt werden, siehe hierzu Kapitel 3.8.

### 3.5.2 Ergebnisse

Tabelle 3.19: Ergebnisse der hydrostatischen Wägung

Charge	Gewicht trocken [kg]	Gewicht nass über Wasser [kg]	Gewicht nass unter Wasser [kg]	Nettovolumen [dm <sup>3</sup> ]	Bruttovolumen [dm <sup>3</sup> ]	Porenanteil
WB1	3,485	3,940	2,000	1,485	1,904	22,0%
WB2	5,638	6,330	3,400	2,238	3,001	25,4%
WB3	7,905	8,980	4,580	3,325	4,517	26,4%
HH1	3,578	3,901	3,031	1,547	1,889	18,1%
HH2	5,613	6,279	3,314	2,299	3,088	25,5%
HH3	12,095	13,351	7,196	4,899	6,459	24,1%
EB1	20,377	22,280	11,760	8,617	10,783	20,2%
EB2	20,156	22,130	11,580	8,576	10,879	20,7%
EB3	19,773	22,040	11,500	8,273	10,885	23,4%
HD1	10,263	11,148	5,855	4,408	5,460	19,2%
HD2	10,420	11,187	5,882	4,539	5,364	15,4%
HD3	10,352	11,168	5,891	4,462	5,371	16,9%

## 3.6 Bestimmung der Trockenrohddichte

### 3.6.1 Versuchsbeschreibung

Die Netto-Trockenrohddichte wurde an Zylindern und Prismen nach DIN 772 Teil 13 bestimmt. Zunächst wurden alle Probekörper im Ofen bis zur Massekonstanz getrocknet. Anschließend wurden die Probekörper vermessen und gewogen. Nach Gleichung 3.11 kann die Netto-Trockenrohddichte ermittelt werden.

#### Gleichung 3.11

$$\rho_n = \frac{m_a}{V_n}$$

$$V_n: \text{Zylinder: } V_{n,Zyl} = \frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot h$$

$$V_n: \text{Prismen: } V_{n,Pris} = b \cdot L \cdot h$$





### 3.6.2 Ergebnisse

Die Trockenrohddichte wurde an Zylindern bestimmt.

Tabelle 3.20: Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Trockenrohddichte: Ziegelsteine

Charge	Versuch	Trockn. 105°C	Gewicht [g]	Durchm. [mm]	Höhe [mm]	Rohddichte $\rho_n$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	Mittelwert $\rho_{n,m}$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	Variations- koeffizient
WB1	Druckfestigk. 1	✓	238,9	54,70	55,61	1,828	1,82	0,66%
	Druckfestigk. 2	✓	239,0	54,70	55,66	1,827		
	Druckfestigk. 3	✓	242,4	54,70	56,39	1,829		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	509,8	54,70	119,17	1,820		
	Spaltzugfestigk. 2	✓	510,8	54,70	119,62	1,817		
	Spaltzugfestigk. 3	✓	499,7	54,70	118,29	1,798		
WB2	Druckfestigk. 1	✓	241,5	54,62	54,78	1,882	1,88	0,14%
	Druckfestigk. 2	✓	254,8	54,62	57,78	1,882		
	Druckfestigk. 3	✓	245,6	54,62	55,77	1,880		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	527,4	54,70	119,17	1,883		
	Spaltzugfestigk. 2	✓	526,9	54,70	119,39	1,878		
	Spaltzugfestigk. 3	✓	524,3	54,70	118,89	1,877		
WB3	Druckfestigk. 1	✓	231,3	54,62	55,43	1,781	1,78	0,34%
	Druckfestigk. 2	✓	238,7	54,62	57,65	1,767		
	Druckfestigk. 3	✓	232,6	54,62	56,06	1,771		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	493,8	54,70	118,51	1,773		
	Spaltzugfestigk. 2	✓	494,4	54,65	118,25	1,782		
	Spaltzugfestigk. 3	✓	494,2	54,70	118,29	1,778		
HH1	Druckfestigk. 1	✓	259,0	55,80	55,82	1,897	1,89	0,68%
	Druckfestigk. 2	✓	254,9	55,80	55,95	1,863		
	Druckfestigk. 3	✓	263,5	55,80	56,80	1,897		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	518,1	55,80	112,16	1,889		
	Spaltzugfestigk. 2	✓	518,2	55,82	112,00	1,891		
	Spaltzugfestigk. 3	✓	515,8	55,80	111,53	1,891		
HH2	Druckfestigk. 1	✓	254,0	55,80	56,20	1,848	1,85	0,47%
	Druckfestigk. 2	✓	249,8	55,80	55,46	1,842		
	Druckfestigk. 3	✓	251,1	55,80	55,29	1,857		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	501,6	55,85	111,50	1,836		
	Spaltzugfestigk. 2	✓	502,7	55,80	111,34	1,846		
	Spaltzugfestigk. 3	✓	504,6	55,80	111,03	1,858		
HH3	Druckfestigk. 1	✓	257,9	55,80	56,18	1,877	1,88	0,31%
	Druckfestigk. 2	✓	259,1	55,80	56,50	1,875		
	Druckfestigk. 3	✓	261,2	55,80	56,51	1,890		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	513,6	55,76	111,97	1,878		
	Spaltzugfestigk. 2	✓	539,1	55,80	116,80	1,887		
	Spaltzugfestigk. 3	✓	537,6	55,76	116,67	1,887		
	Spaltzugfestigk. 4	✓	520,5	55,75	113,46	1,879		



Tabelle 3.21: Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung der Trockenrohdichte: Kalksandsteine

Charge	Versuch	Trockn. 105°C	Gewicht [g]	Durchm. [mm]	Höhe [mm]	Rohdichte $\rho_n$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	Mittelwert $\rho_{n,m}$ [kg/dm <sup>3</sup> ]	Variations- koeffizient
EB1	Druckfestigk. 1	✓	231,0	54,75	50,54	1,941	1,93	0,84%
	Druckfestigk. 2	✓	235,4	54,75	51,81	1,930		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	546,7	55,15	119,85	1,910		
EB2	Druckfestigk. 1	✓	220,8	55,00	50,18	1,852	1,87	0,83%
	Druckfestigk. 2	✓	230,0	54,90	52,08	1,866		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	528,8	54,60	119,94	1,883		
EB3	Druckfestigk. 1	✓	208,6	54,75	48,50	1,827	1,84	0,56%
	Druckfestigk. 2	✓	227,7	54,75	52,35	1,848		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	527,4	55,00	120,80	1,838		
HD1	Druckfestigk. 1	✓	242,4	54,10	56,75	1,858	1,87	0,89%
	Druckfestigk. 2	✓	226,7	54,15	52,83	1,863		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	548,3	54,10	126,25	1,889		
HD2	Druckfestigk. 1	✓	250,2	55,85	53,50	1,909	1,90	0,91%
	Druckfestigk. 2	✓	260,6	56,00	55,66	1,901		
	Druckfestigk. 3	✓	236,1	55,95	51,05	1,881		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	582,3	56,00	122,96	1,923		
HD3	Druckfestigk. 1	✓	225,5	54,10	52,00	1,887	1,93	1,54%
	Druckfestigk. 2	✓	220,0	54,10	49,81	1,921		
	Druckfestigk. 3	✓	243,4	54,10	54,13	1,956		
	Spaltzugfestigk. 1	✓	555,0	54,15	124,36	1,938		

### 3.7 Bestimmung der Reindichte und der Gesamtporosität

#### 3.7.1 Versuchsbeschreibung

Die Reindichte und die Gesamtporosität wurden mit der Methode der Helium-Pyknometrie nach DIN 66137-2 ermittelt. Die Proben wurden dazu an der MPA Stuttgart untersucht.

Zunächst wurden Proben der Steine in einer Scheibenschwingmühle mehlfein aufgemahlen. Dadurch wurde nicht nur die offene Porosität erfasst, sondern die Proben wurden so fein aufgemahlen, dass die Partikelteilchen keine geschlossenen Poren mehr enthielten. Die Pulverproben wurden bis zur Massekonstanz getrocknet. Die Feststoffmasse  $m_F$  der Probe wurde bestimmt.

Die Helium-Pyknometrie beruht auf dem Prinzip der Messgasverdrängung. Die Pulverprobe wird in eine Messkammer mit dem Volumen  $V_K$  überführt. Dort wird die Probe mit Messgas, in diesem Fall Helium, gespült um die eingebrachte Luft komplett durch das Messgas zu ersetzen. In der nun gasgefüllten Messkammer herrscht ein definierter Anfangsdruck  $p_A$ . Dann kann ein Ventil geöffnet werden, wodurch das Gas in eine zweite Messkammer mit definiertem Zusatzvolumen  $V_Z$  fließen kann, dadurch entsteht ein Druckabfall in der Messkammer, es entsteht ein sogenannter Ausgleichsdruck  $p_E$ . Sind die Drücke und Volumina bekannt bzw. gemessen, kann das Festkörpervolumen der Probe nach Gleichung 3.12 ermittelt werden.

**Gleichung 3.12**

$$V_F = V_K - \left( \frac{p_E}{p_A - p_E} \right) \cdot V_Z$$

Anhand des Volumens und der ermittelten Masse der Probe kann die Reindichte nach Gleichung 3.13 ermittelt werden.

**Gleichung 3.13**

$$\rho = \frac{m_F}{V_F}$$

Nach DIN 772 Teil 4 kann bei bekannter Reindichte und bekannter Trockenrohndichte die Gesamtporosität nach Gleichung 3.14 bestimmt werden.

**Gleichung 3.14**

$$P = \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_F} \right) \cdot 100$$

**3.7.2 Ergebnisse**

Innerhalb der Chargen eines Herstellers variiert die Reindichte nur wenig. Besonders beim Hersteller HD haben alle drei untersuchten Proben nahezu die gleiche Dichte von 2,695 kg/dm<sup>3</sup> (HD1), 2,6933 kg/dm<sup>3</sup> (HD2) und 2,697 kg/dm<sup>3</sup> (HD3). Bei den Ziegelsteinen sind die Abweichungen im Bereich von circa 1%.

**Tabelle 3.22: Ergebnisse der Helium-Pyknometrie**

Charge	Einwaage [g]	Spülzyklen	Fülldruck [Pa]	Reindichte [kg/dm <sup>3</sup> ]
WB 1	4,2477	10	19,50	2,7049
WB 2	4,3936	10	19,50	2,7099
WB 3	4,3499	10	19,50	2,6802
HH 1	4,4460	10	19,50	2,7348
HH 2	4,4375	10	19,50	2,7427
HH 3	4,4972	10	19,50	2,7143
EB 1	4,3595	10	19,50	2,7254
EB 2	4,1362	10	19,50	2,7309
EB 3	4,4289	10	19,50	2,7181
HD 1	4,3714	10	19,50	2,6953
HD 2	4,2921	10	19,50	2,6933
HD 3	4,1877	10	19,50	2,6973

Die Porosität kann aus den Werten für Trockenrohndichte und Reindichte (siehe Gleichung 3.14) ermittelt werden und ist in Tabelle 3.23 dargestellt. Durch die Aufmahlung der Probe bei der Bestimmung der Reindichte ist hier nicht nur die offene, sondern die Gesamtporosität erfasst.

Tabelle 3.23 zeigt, dass der Porenanteil aller Steine bei rund 30% liegt. Innerhalb eines Herstellers bestehen Schwankungen von bis zu 3%, allerdings ist keine Tendenz zu erkennen, eine Aussage über eine höhere Porosität bei Steinen verschiedener Hersteller ist nicht mög-



lich. Leicht geringere Werte liefert lediglich der Hersteller HD, wenn auch nur im Bereich von wenigen Prozentpunkten.

Auch innerhalb der Ziegelsteine kann die Porosität nicht auf das Steinformat zurückgeführt werden, da bei den Steinen des Formats 2DF beim Hersteller WB die geringste (30,6%) und beim Hersteller HH die höchste (32,6%) Porosität festgestellt wurde.

**Tabelle 3.23: Auflistung der Rohdichte, Reindichte und Porosität**

Charge	Rohdichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Reindichte [kg/dm <sup>3</sup> ]	Porosität [%]
WB 1	1,82	2,70	32,7%
WB 2	1,88	2,71	30,6%
WB 3	1,78	2,68	33,8%
HH 1	1,89	2,73	31,0%
HH 2	1,85	2,74	32,6%
HH 3	1,88	2,71	30,7%
EB 1	1,93	2,73	29,3%
EB 2	1,87	2,73	31,6%
EB 3	1,84	2,72	32,4%
HD 1	1,87	2,70	30,6%
HD 2	1,90	2,69	29,3%
HD 3	1,93	2,70	28,6%

### 3.8 Bestimmung der Porosität (Porenvolumen, Porenverteilung, Porenform etc.) und Bestimmung der Korngrößenverteilung anhand von Dünnschliffen

#### 3.8.1 Versuchsbeschreibung

Das Porenvolumen, die Porenverteilung und die Form der Poren und Gesteinskörner kann mit der Betrachtung von Dünnschliffaufnahmen bestimmt werden. Die Dünnschliffe werden von Herrn Dipl.-Ing Thomas Beckmann, Dorfstraße 6 in 38179 Schwülper-Lagesbüttel hergestellt. Von jeder Charge wird aus drei verschiedenen Steinen je ein Dünnschliff hergestellt. Die Poren im Gestein werden vor der Entnahme des Dünnschliffs mit niedrigviskosem blau eingefärbtem Harz verfüllt. Dadurch erscheinen dann später in der Aufnahme des Dünnschliffes die Poren blau. Der Dünnschliff selbst besteht aus einer hauchdünnen Schicht des Gesteins auf einem Glasträger. Die Schicht ist so dünn, dass bei späteren Aufnahmen des Dünnschliffs eine 2D-Ansicht einer Ebene nahezu ohne Tiefe zu sehen ist. Abb. 3.38 und Abb. 3.39 zeigen die mit blau eingefärbtem Harz präparierten Proben und die daraus hergestellten Dünnschliffe. Ein Dünnschliff hat die Abmessungen 28 mm x 48 mm.

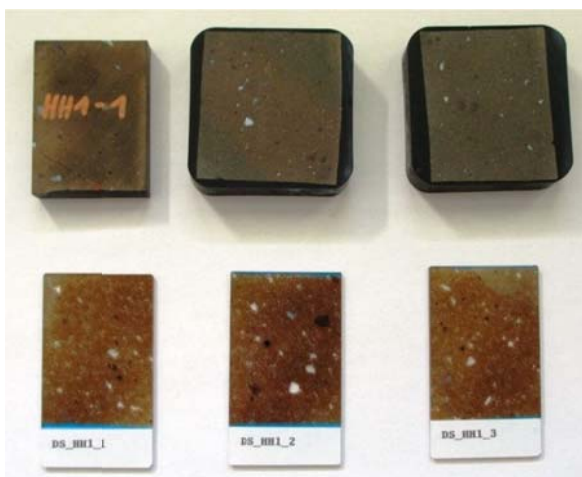


Abb. 3.38: Mit blau eingefärbtem Harz präparierte Steinproben und zugehörige Dünnschliffe von Ziegelsteinen der Serie HH1

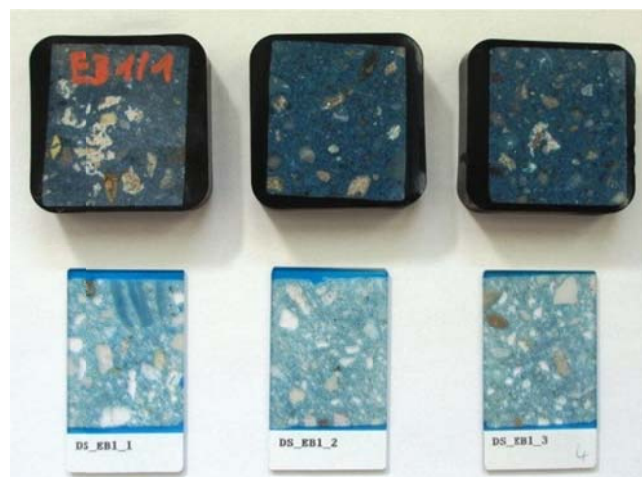


Abb. 3.39: Mit blau eingefärbtem Harz präparierte Steinproben und zugehörige Dünnschliffe von Kalksandsteinen der Serie EB1

Obwohl das Gefüge der Steine nicht gerichtet, also homogen ist, werden die Dünnschliffe parallel zur y-z-Ebene entnommen (siehe hierzu die Skizze in Abb. 3.40). Diese Fläche liegt parallel zum Dübel, also senkrecht zur Spannungsebene eines Dübels, der wie in der Praxis waagrecht in einen Mauerwerksverband gesetzt wird.

In der Petrografie werden üblicherweise Aufnahmen mit dem Polarisationsmikroskop unter 67facher Vergrößerung erstellt und diese dann mit einer speziellen Auswertungssoftware analysiert. Da sowohl die Kalksandsteine als auch die Mauerziegel im Vergleich zu vielen Natursteinen wie etwa Granit ein relativ grobes Gefüge aufweisen, ist es nicht zielführend, Aufnahmen unter 67facher Vergrößerung zu erstellen, da dann nur kleine Stücke des Dünnschliffes betrachtet werden können und so keine repräsentative Aufnahme des Steines entsteht.

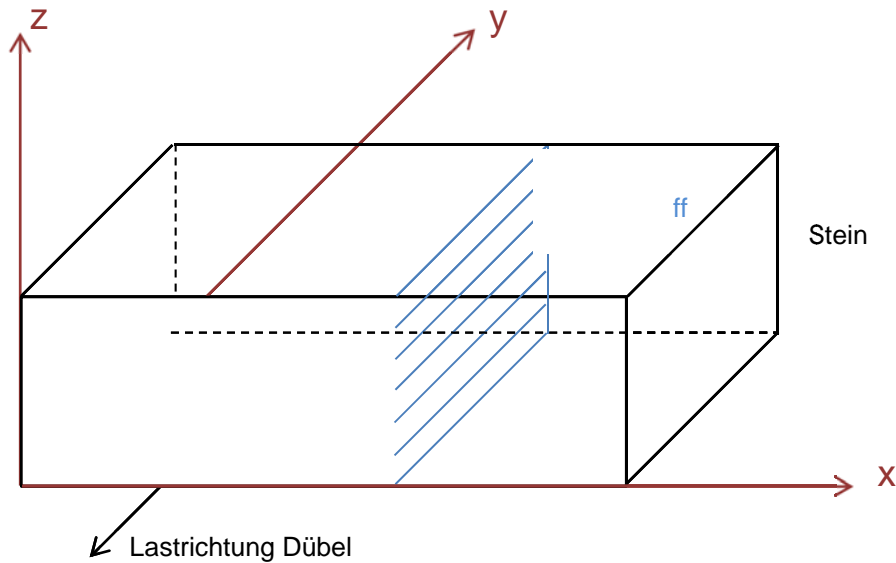


Abb. 3.40: Skizze zur Ebene der entnommenen Dünnschliffe

Mithilfe eines Diascanners des Fabrikats Nikon LS 4000 ED werden deswegen Aufnahmen des kompletten Dünnschliffes erstellt. Die Größe der Dünnschliffe beträgt 28 mm x 48 mm und kann somit als repräsentativ für das Gefüge des Steines angesehen werden. Die Aufnahmen des Diascanners haben eine Größe von 4251 x 3149 Pixeln. Anhand dieses Wertes und den Abmessungen des Dünnschliffes ergibt sich ein Kalibrierfaktor zur Umrechnung von Pixeln auf Mikrometer von 6,3492, das bedeutet  $1 \text{ px} = 6,3492 \mu\text{m}$ .

In Abb. 3.41 und Abb. 3.44 sind jeweils eine Dünnschliffaufnahme eines Mauerziegels und eines Kalksandsteines zu sehen.

Mit der Bildauswertungssoftware Leica Application Suite V3.7.0 ist es möglich, definierte Farbbereiche zu markieren und auszuwerten. Auf den Aufnahmen der Dünnschliffe erscheinen die Poren wegen des eingefärbten Harzes blau, die Quarzkörner weiß. So können in zwei getrennten Auswertungen die Eigenschaften der Poren sowie die der Quarzkörner bestimmt werden. Anhand dieser Eigenschaften lassen sich nahezu alle geometrischen Eigenschaften in der Ebene der Poren bzw. Körner bestimmen. Die für diese Auswertung interessanten Eigenschaften sind die Gesamtanzahl der entsprechenden Flächen im Messbereich, Gesamtfläche, mittlere, minimale und maximale Fläche eines Kornes bzw. einer Pore, Länge und Breite eines Kornes bzw. einer Pore, das jeweilige Verhältnis Länge zu Breite und die Rundheit. Durch die Definition der zu erfassenden Farbbereiche erstellt das Programm zunächst ein Binärbild, auf dem die zu messenden Flächen gelb markiert sind. Beispiele hierfür zeigen die Abb. 3.43, Abb. 3.46 und Abb. 3.47. Um das Binärbild einzustellen sind Kenntnisse über die erwarteten Werte für Porenanteil und Quarzanteil notwendig, da das Programm durch die Farbeinstellungen zunächst kalibriert werden muss. Die Einstellungen werden anhand der ersten Probe so gewählt, dass zum Beispiel der tatsächlich vorhandene Porenanteil bei der Messung ermittelt wird. Mit diesen Einstellungen können dann alle weiteren Proben berechnet werden. Dadurch kann nur eine relative Auswertung durchgeführt werden, die es ermöglicht, die Proben untereinander zu vergleichen.

Da das Programm nur eine begrenzte Anzahl von markierten Flächen rechnen kann, ist es in manchen Fällen nötig, den Messrahmen, der nach Voreinstellung das gesamte Bild beinhaltet, zu reduzieren, sodass nur eine kleinere Fläche untersucht werden kann.

Zwar bildet der Dünnschliff nur eine zweidimensionale Aufnahme des Steines ab, es kann jedoch über die drei Dünnschliffe je Charge gemittelten Werte eine repräsentative Auswertung erstellt werden.



Eine Untersuchung nach weiteren Bestandteilen der Steine ist leider nicht möglich, da sie sich nicht wie die Quarzkörner so deutlich durch ihre Farbe unterscheiden. Beim Ziegelstein erscheinen die enthaltenen Eisenverbindungen dunkelbraun bis schwarz, genauso wie die weiteren enthaltenen Stoffe. Beim Kalksandstein erscheinen die karbonatischen Bindemittel grau bis schwarz und sind nicht mit dem Programm von den restlichen Inhaltsstoffen abgrenzbar.

Ebenfalls auf ihre Grenzen stößt diese Ermittlungsmethode bei der Untersuchung der Poren beim Ziegelstein. Die sechs unterschiedlichen Chargen des Materials Ziegel haben einen Porenanteil von rund 30% bis 34%. Bei den betrachteten Proben ist es nicht möglich, die Einstellungen des Programms so zu wählen, dass ein Porenanteil dieser Größenordnung ermittelt werden kann. Grund hierfür kann die sehr geringe Größe der Poren sein, sodass die kleinsten Poren entweder nicht mit dem eingefärbten Harz gefüllt oder dass die kleinsten Poren auf der Aufnahme des Scanners nicht zu erkennen sind. Ein weiterer Grund kann sein, dass durch die geringe Größe der Poren viele kleine Poren verdeckt sind und nicht in der zweidimensionalen Ebene des Dünnschliffs enthalten sind. Aus diesen Gründen kann für die Proben aus Ziegelstein keine Auswertung der Porosität erfolgen.

Ein Beispiel für eine Dünnschliffaufnahme, den angegebenen Messrahmen zur Bestimmung der Quarzkörner und die gelb eingefärbten Binärbilder zeigen die Abbildungen Abb. 3.41 bis Abb. 3.47.

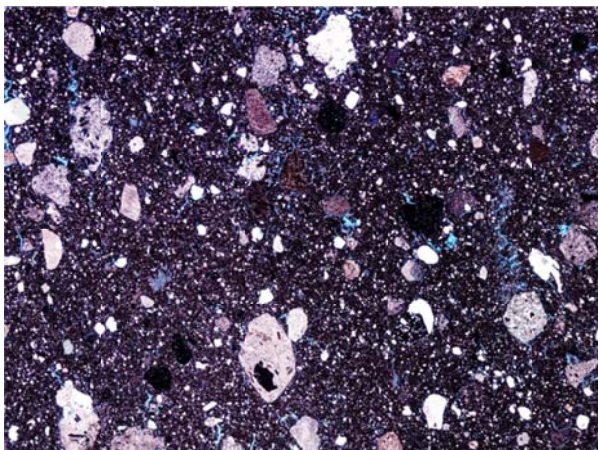


Abb. 3.41: Eingesannter Dünnschliff DS WB1\_1

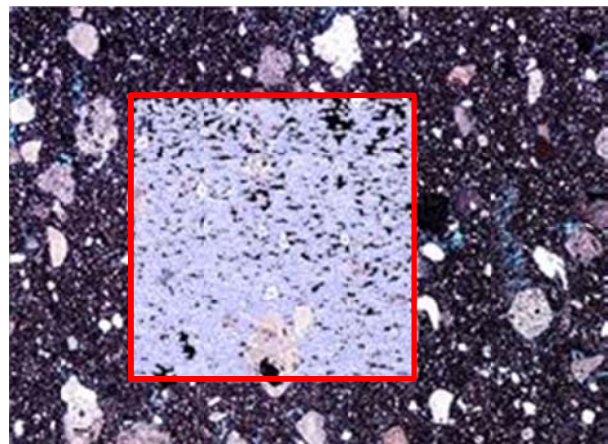


Abb. 3.42: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB1\_1

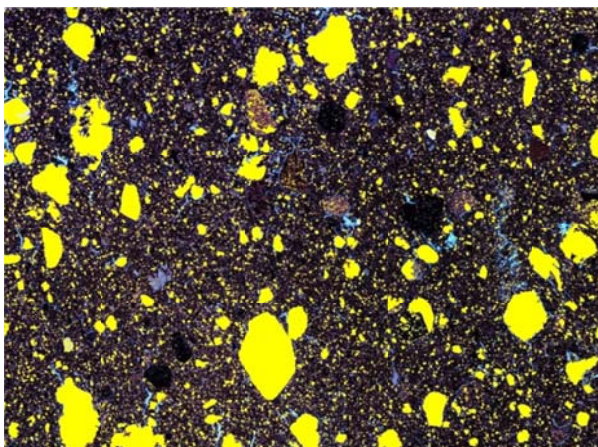


Abb. 3.43: Binärbild Quarzkörner DS WB1\_1



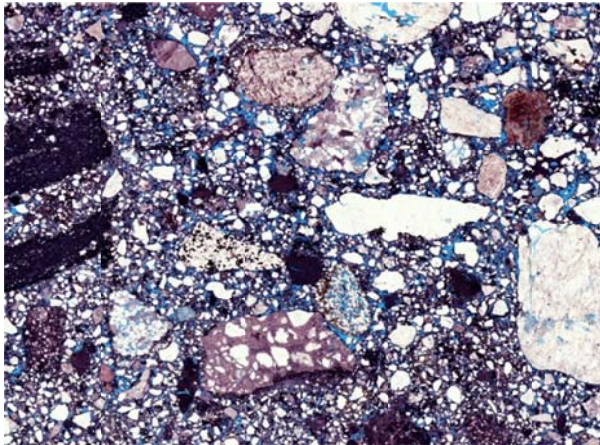


Abb. 3.44: Eingescannter Dünnschliff DS EB1\_1

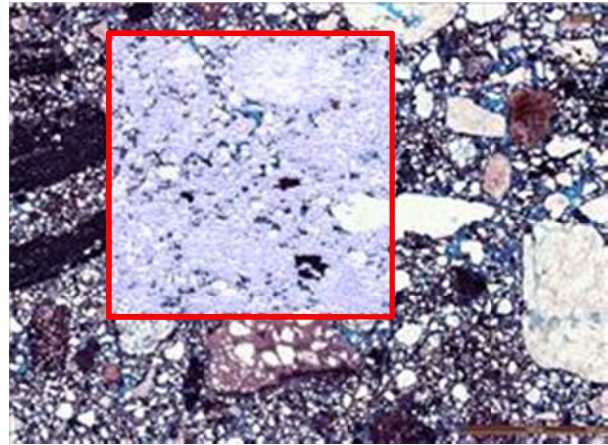
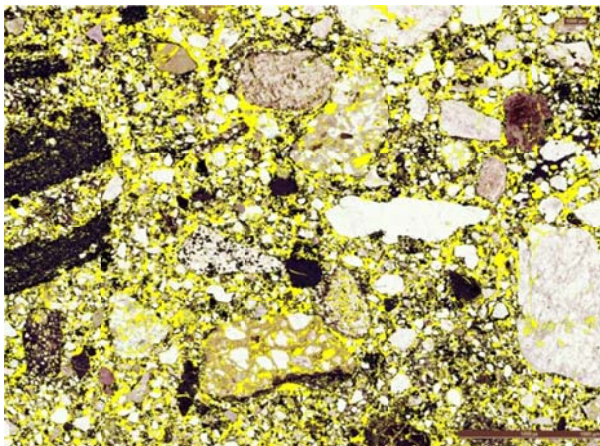
Abb. 3.45: Eingescannter Dünnschliff mit Mess-  
rahmen und Porenbeschriftung DS EB1\_1

Abb. 3.46: Binärbild Poren DS EB1\_1

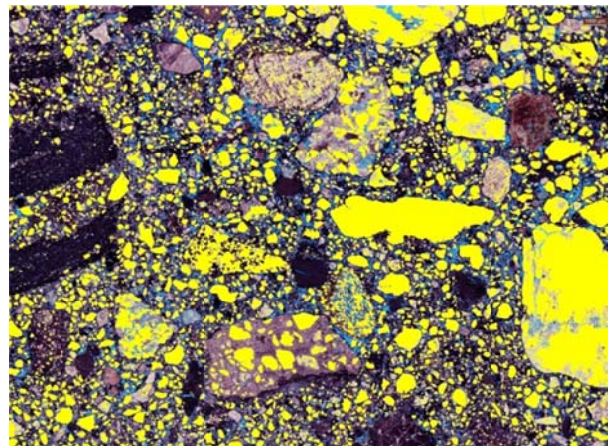


Abb. 3.47: Binärbild Quarzkörner DS EB1\_1

### 3.8.2 Ergebnisse zu den Poren und Schwindrissen: Ziegelsteine

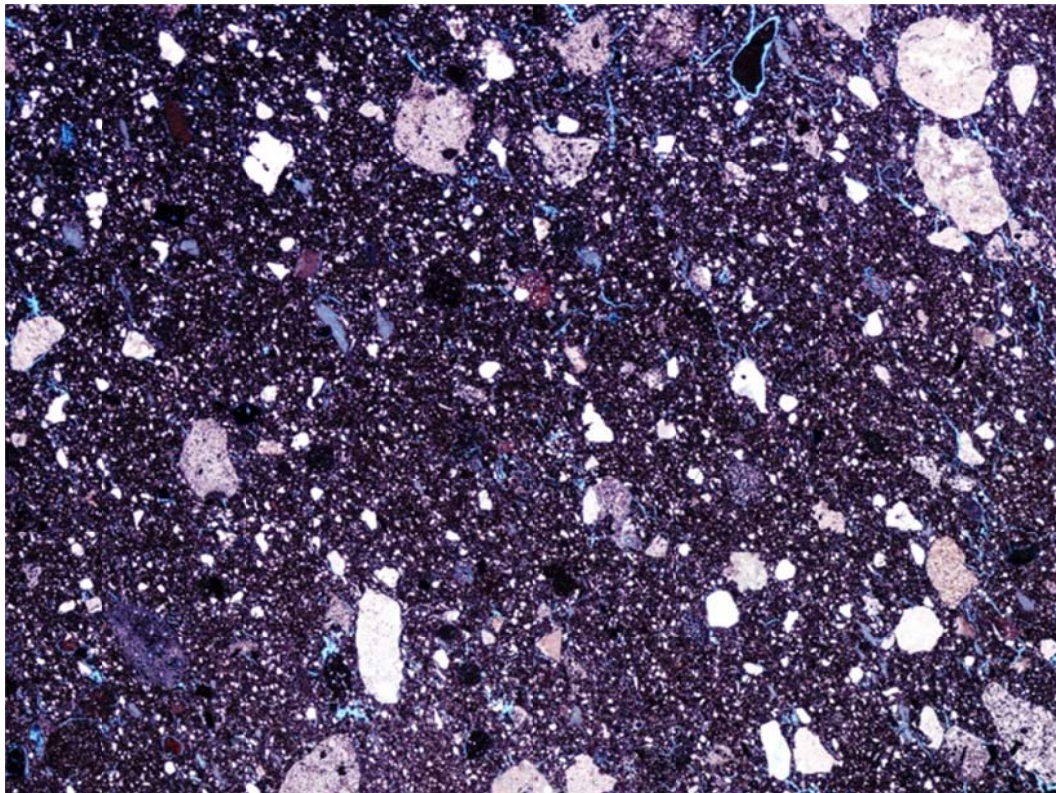
Die Aufnahmen aller Dünnschliffe und die dazugehörigen Binärbilder sind im Anhang A1 dargestellt.

Wie in Kapitel 3.8.1 beschrieben kann für die Ziegelsteine keine Auswertung der Poren erfolgen. Bei Betrachtung der eingescannten Dünnschliffe sind einige Auffälligkeiten zu beobachten (siehe Tabelle 2.1). Beispiele für die Dünnschliffe der Chargen WB1, WB2 und WB3 enthalten die Abbildungen Abb. 3.48, Abb. 3.49 und Abb. 3.50.



**Tabelle 3.24: Auffälligkeiten bei der Betrachtung der Dünnschliffe der Serie WB hinsichtlich der Poren**

WB1 (NF)	WB2 (2DF)	WB3 (3DF)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poren sind nicht orientiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poren/Risse sind nicht orientiert</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poren/Schwindrisse sind nicht orientiert</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viele, sehr kleine Einzelporen</li> <li>• Keine bzw. kaum geschlossene / zusammenhängende Poren um die Zuschlagskörner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Größere Porenräume, zusammenhängende Poren</li> <li>• Zum Teil zusammengewachsene Porenflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Größere, zusammenhängende Porenräume</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vereinzelt längliche Schwindrisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viele Schwindrisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Auffällig viele Schwindrisse</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwindrisse verlaufen in der Matrix</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwindrisse befinden sich in der Matrix, weniger um die Körner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwindrisse verlaufen um die dunkel erscheinenden Körner (Eisenverbindungen), kaum um die Quarzkörner</li> </ul>



**Abb. 3.48: Eingescannter Dünnschliff DS WB1\_2**



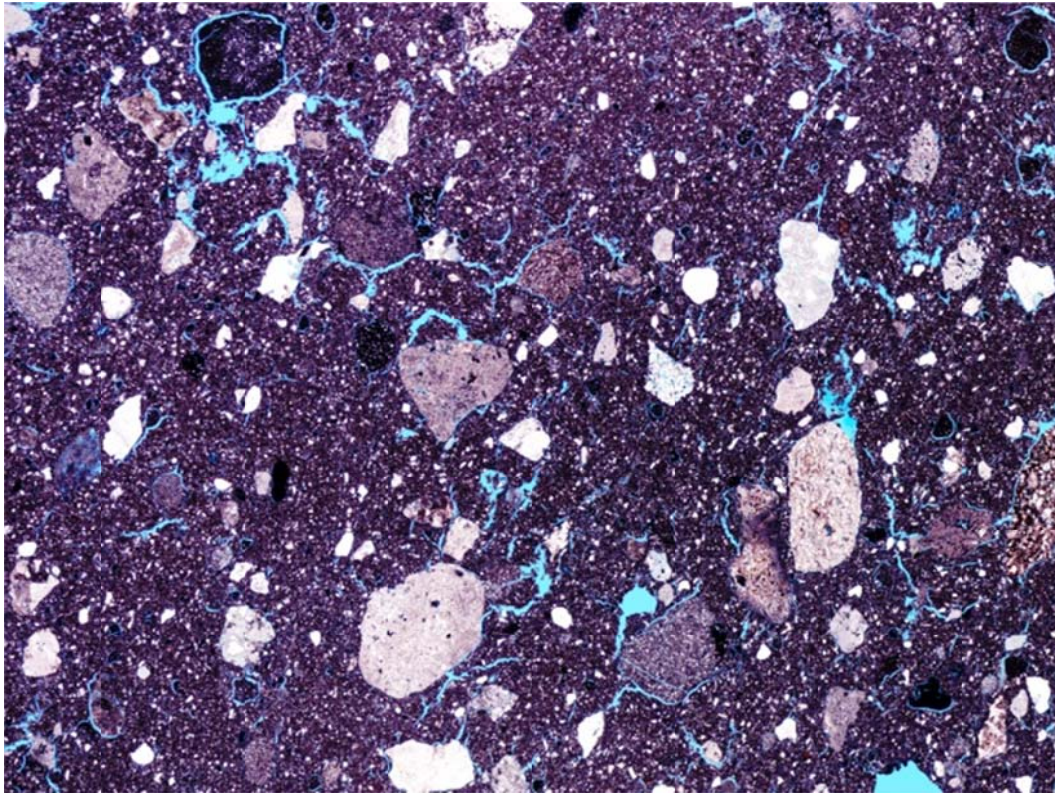


Abb. 3.49: Eingescannter Dünnschliff DS WB2\_3

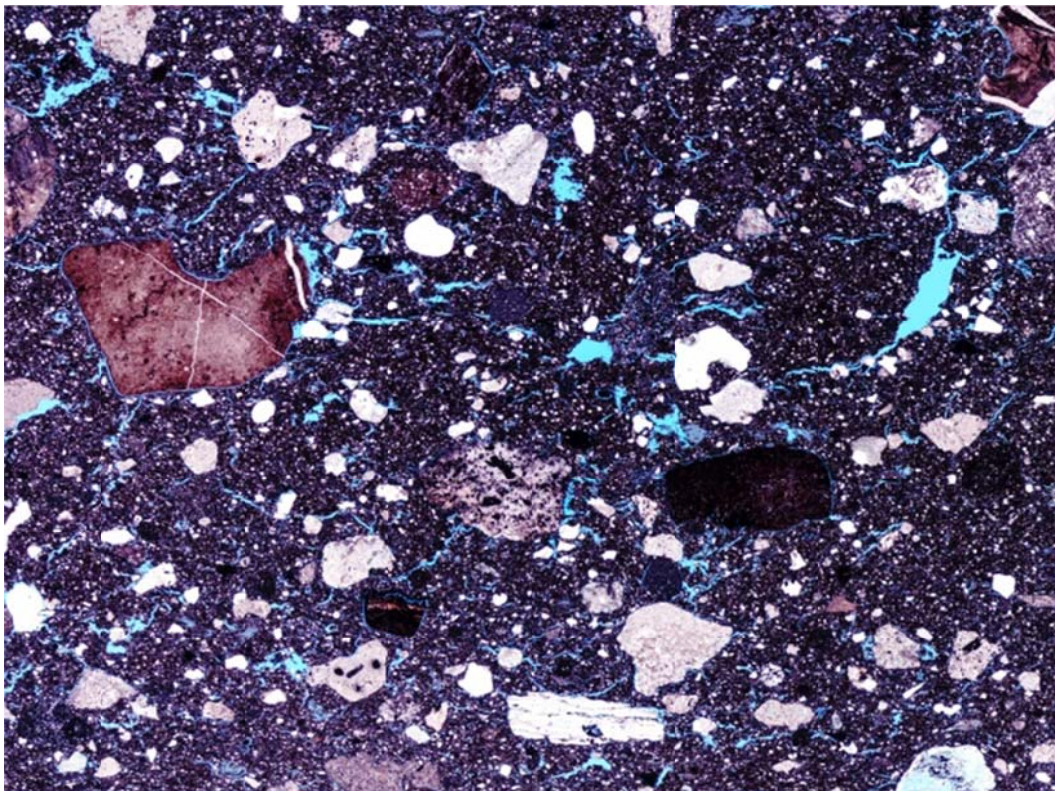


Abb. 3.50: Eingescannter Dünnschliff DS WB3\_3



Bei den Steinen des Herstellers HH unterscheiden sich die beiden kleinformatischen Chargen (HH1: NF und HH2:2DF) nur wenig. Auffällig ist die extrem geringe Größe der Poren, die mit bloßem Auge auf den Dünnschliffaufnahmen kaum zu erkennen sind. Wie auch bei den Steinen WB ist vereinzelt zu erkennen, dass sich Schwindrisse, die um die schwarzen Körner herum verlaufen, gebildet haben.

Extrem auffällig ist die Charge HH3 (4DF). Die Steine dieser Charge sind durchzogen von Schwindrissen, die zum Teil mit Breiten im Millimeterbereich klaffen. Der Dünnschliff DS HH3\_3 (siehe Abb. 3.53) zeigt einen dieser auffallend großen Schwindrisse. Schon mit bloßem Auge beim Betrachten der Steine sind die klaffenden Risse auffällig, zum Teil sind Steine durch die Auswirkungen dieser Risse bereits beim Transport zerbrochen.

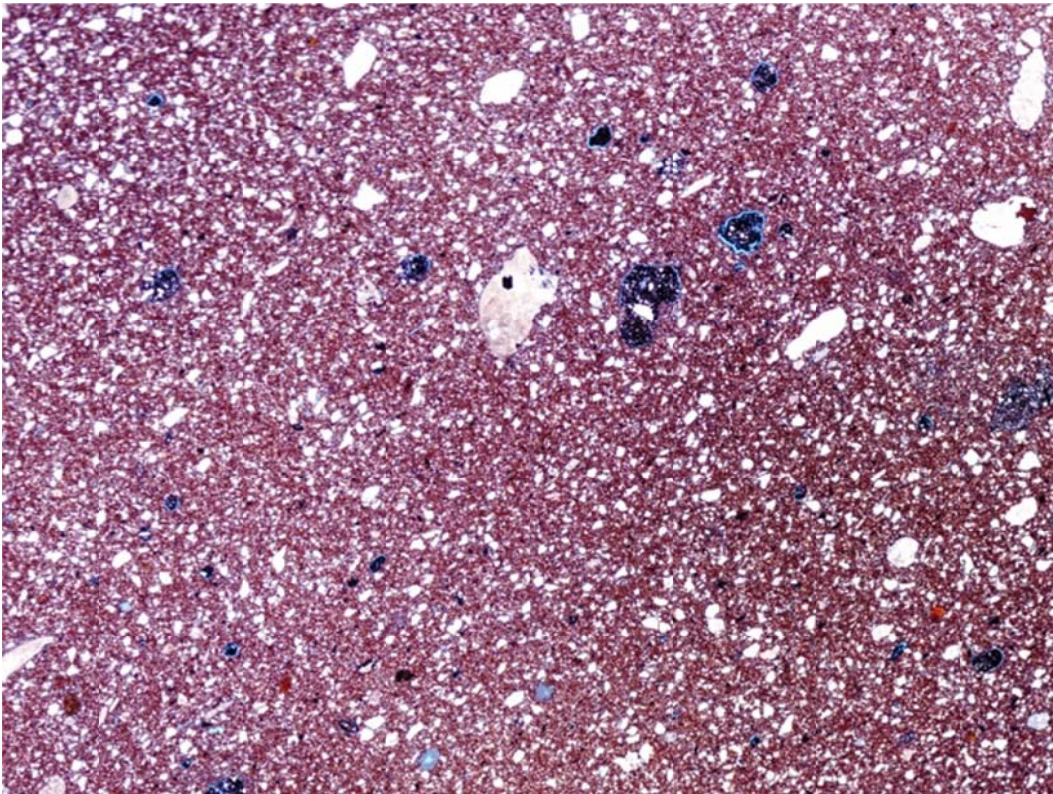


Abb. 3.51: Eingescannter Dünnschliff DS HH1\_1



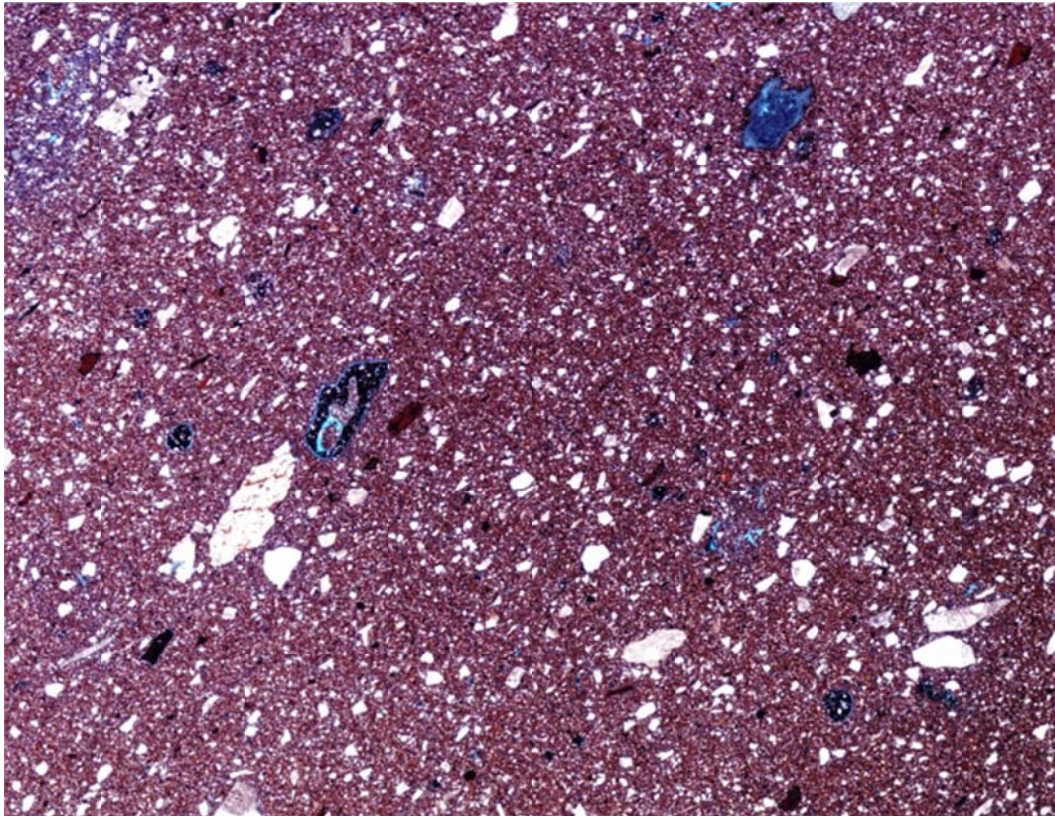


Abb. 3.52: Eingesannter Dünnschliff DS HH2\_3

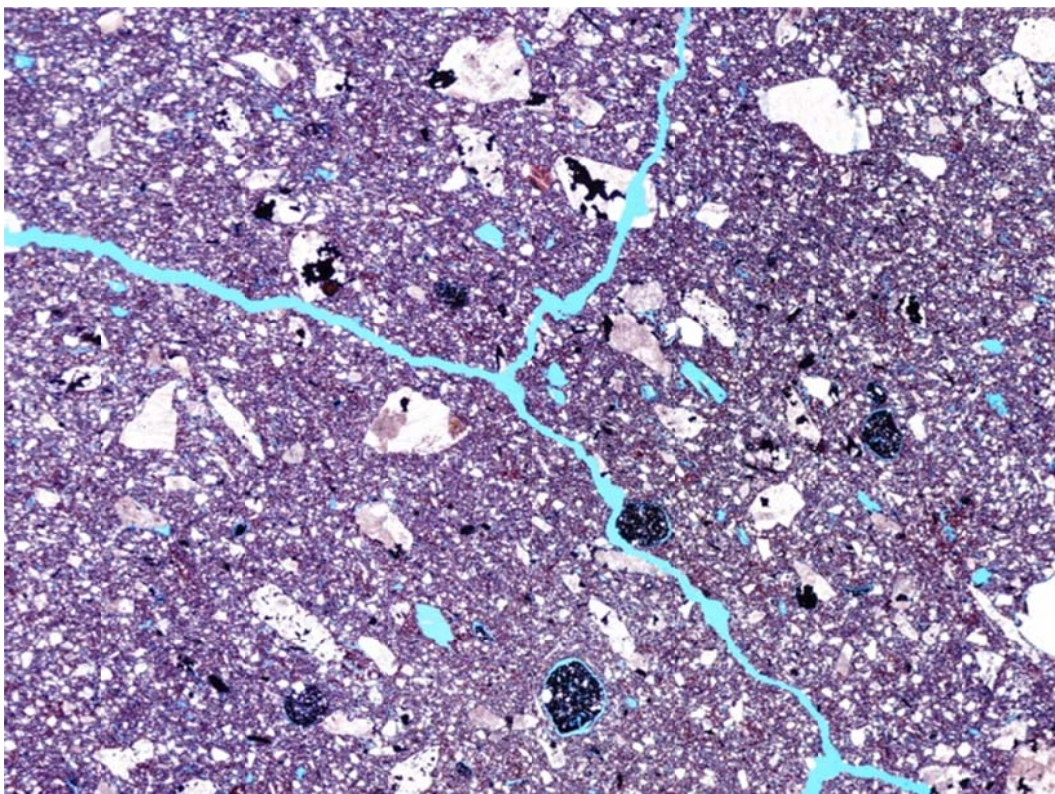


Abb. 3.53: Eingesannter Dünnschliff DS HH3\_3





### 3.8.3 Ergebnisse Poren: Kalksandsteine

Die Anteile und geometrischen Eigenschaften der in den Kalksandsteinen enthaltenen Poren sind in Tabelle 3.25 und Tabelle 3.26 angegeben, die Dünnschliffaufnahmen und Binärbilder können dem Anhang A1 entnommen werden.

Tabelle 3.25: Anteil der Poren der Steine EB und HD

Probe	gescannter Bereich [mm <sup>2</sup> ]	Anzahl Poren	Anzahl Poren / Bezogener Bereich	Anteil Poren	
					[mm <sup>2</sup> ]
EB1_1	161,2	9636	12045	29,53%	47,6
EB1_2	201,6	10743	10743	28,98%	58,4
EB1_3	201,6	11587	11587	21,78%	43,9
MW EB1			11458	26,76%	50,0
EB2_1	201,6	10081	10081	28,82%	58,1
EB2_2	201,6	4748	4748	39,25%	79,1
EB2_3	145,1	11805	16396	21,47%	31,2
MW EB2			10408	29,85%	56,1
EB3_1	201,6	8296	8296	31,60%	63,7
EB3_2	161,2	9201	11501	29,65%	47,8
EB3_3	201,6	8616	8616	28,48%	57,4
MW EB3			9471	29,91%	56,3
HD1_1	201,6	8411	8411	32,29%	65,1
HD1_2	201,6	10445	10445	25,94%	52,3
HD1_3	161,2	10199	12749	32,28%	52,0
MW HD1			10535	30,17%	56,5
HD2_1	201,6	10296	10296	27,34%	55,1
HD2_2	201,6	11066	11066	27,80%	56,0
HD2_3	201,6	8554	8554	30,53%	61,5
MW HD2			9972	28,56%	57,6
HD3_1	201,6	8789	8789	28,47%	57,4
HD3_2	201,6	10053	10053	28,74%	57,9
HD3_3	201,6	9466	9466	27,41%	55,2
MW HD3			9436	28,21%	56,9



Tabelle 3.26: Geometrische Eigenschaften der Poren der Steine EB und HD

Probe	Porengröße			Länge			Breite			Länge/Breite			Rund- heit
	mittel	min	max	mittel	min	max	mittel	min	max	mittel	min	max	
	[ $\mu\text{m}^2$ ]	[ $\mu\text{m}^2$ ]	[ $\mu\text{m}^2$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]				
EB1_1	4.942	202	7.959.083	69,76	19	10025	32,31	6	6654	2,66	1,13	15,00	3,03
EB1_2	5.437	202	11.833.607	73,09	19	11790	33,36	6	6368	2,90	1,11	31,00	3,14
EB1_3	3.788	202	1.602.698	79,28	19	4451	36,11	6	2178	2,80	1,12	20,00	3,12
MW EB1	4.722	202	7.131.796	74,04	19	8756	33,93	6	5067	2,79	1,12	22,00	3,10
EB2_1	5.763	202	2.950.057	78,19	19	6063	37,96	6	3365	2,73	1,11	19,00	2,95
EB2_2	16.661	202	64.382.557	68,97	19	20159	32,34	6	12692	2,68	1,17	15,00	2,64
EB2_3	2.639	202	613.634	70,44	19	1962	31,09	6	1251	2,90	1,13	19,00	2,98
MW EB2	8.354	202	22.648.750	72,53	19	9395	33,80	6	5769	2,77	1,13	17,67	2,86
EB3_1	7.678	202	11.456.525	77,11	19	15333	36,14	6	5473	2,72	1,10	16,00	3,17
EB3_2	5.196	202	4.983.613	71,81	19	7143	32,94	6	4660	2,73	1,08	18,00	3,15
EB3_3	6.662	202	19.051.249	71,40	19	13029	32,89	6	9067	2,77	1,13	16,00	2,97
MW EB3	6.512	202	11.830.463	73,44	19	11835	33,99	6	6400	2,74	1,10	16,67	3,10
HD1_1	7.737	202	50.039.950	53,74	19	19714	22,58	6	12692	2,94	1,13	16,50	2,54
HD1_2	5.005	202	38.213.277	51,03	19	19079	19,74	6	12692	3,24	1,08	18,00	2,51
HD1_3	5.103	202	33.513.826	51,72	19	17251	21,17	6	12178	3,04	1,11	20,00	2,48
MW HD1	5.949	202	40.589.018	52,16	19	18681	21,16	6	12521	3,07	1,10	18,17	2,51
HD2_1	5.351	202	9.744.420	65,59	19	8832	28,70	6	6324	3,04	1,13	29,00	2,92
HD2_2	5.063	202	7.034.624	65,07	19	9384	28,05	6	5625	2,90	1,20	644,62	47,65
HD2_3	7.195	202	25.418.301	68,62	19	14927	29,97	6	11048	3,05	1,14	22,00	2,92
MW HD2	5.870	202	14.065.782	66,43	19	11048	28,90	6	7666	3,00	1,15	231,87	17,83
HD3_1	6.530	202	10.581.868	62,16	19	10787	26,45	6	7886	3,11	1,08	22,67	2,86
HD3_2	5.761	202	14.592.946	63,84	19	13486	27,49	6	6311	3,03	1,11	23,00	2,92
HD3_3	5.836	202	26.539.468	52,34	19	14857	21,67	6	10895	3,17	1,14	18,00	2,52
MW HD3	6.042	202	17.238.094	59,45	19	13043	25,20	6	8364	3,10	1,11	21,22	2,77



Tabelle 3.27: Porengrößenverteilung Charge EB1

Klasse	EB1_2		EB1_3		EB1
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1414	13,16%	1350	11,65%	12,41%
10	3701	34,45%	3659	31,58%	33,01%
20	2454	22,84%	2619	22,60%	22,72%
30	970	9,03%	1052	9,08%	9,05%
40	520	4,84%	563	4,86%	4,85%
50	303	2,82%	353	3,05%	2,93%
60	210	1,95%	263	2,27%	2,11%
70	154	1,43%	189	1,63%	1,53%
80	96	0,89%	139	1,20%	1,05%
90	85	0,79%	131	1,13%	0,96%
100	59	0,55%	103	0,89%	0,72%
200	329	3,06%	472	4,07%	3,57%
500	214	1,99%	364	3,14%	2,57%
1000	81	0,75%	144	1,24%	1,00%
größer	153	1,42%	186	1,61%	1,51%

Tabelle 3.28: Porengrößenverteilung Charge EB2

Klasse	EB2_1		EB2_2		EB2_3		EB2
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1194	11,84%	619	13,04%	1501	12,71%	12,53%
10	3368	33,41%	1620	34,12%	4019	34,04%	33,86%
20	2244	22,26%	1071	22,56%	2720	23,04%	22,62%
30	921	9,14%	414	8,72%	993	8,41%	8,76%
40	487	4,83%	236	4,97%	536	4,54%	4,78%
50	283	2,81%	161	3,39%	324	2,74%	2,98%
60	217	2,15%	83	1,75%	241	2,04%	1,98%
70	154	1,53%	73	1,54%	181	1,53%	1,53%
80	118	1,17%	57	1,20%	131	1,11%	1,16%
90	84	0,83%	38	0,80%	103	0,87%	0,84%
100	80	0,79%	32	0,67%	74	0,63%	0,70%
200	344	3,41%	170	3,58%	384	3,25%	3,42%
500	264	2,62%	96	2,02%	333	2,82%	2,49%
1000	110	1,09%	35	0,74%	132	1,12%	0,98%
größer	213	2,11%	43	0,91%	133	1,13%	1,38%



Tabelle 3.29: Porengrößenverteilung Charge EB3

Klasse	EB3_1		EB3_2		EB3_3		EB3
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1051	12,67%	1323	14,38%	1126	11,71%	12,92%
10	2732	32,93%	3161	34,35%	2987	31,06%	32,78%
20	1993	24,02%	2035	22,12%	1921	19,98%	22,04%
30	750	9,04%	773	8,40%	770	8,01%	8,48%
40	354	4,27%	446	4,85%	389	4,05%	4,39%
50	261	3,15%	293	3,18%	243	2,53%	2,95%
60	173	2,09%	154	1,67%	167	1,74%	1,83%
70	125	1,51%	152	1,65%	159	1,65%	1,60%
80	100	1,21%	100	1,09%	70	0,73%	1,01%
90	82	0,99%	76	0,83%	60	0,62%	0,81%
100	62	0,75%	55	0,60%	76	0,79%	0,71%
200	251	3,03%	274	2,98%	294	3,06%	3,02%
500	166	2,00%	176	1,91%	207	2,15%	2,02%
1000	76	0,92%	69	0,75%	56	0,58%	0,75%
größer	120	1,45%	114	1,24%	91	0,95%	1,21%

In den Histogrammen in Abb. 3.54 bis Abb. 3.59 ist die prozentuale Häufigkeit über den Klassen aufgetragen. Die Klassen geben die Größe der Poren an, so hat zum Beispiel eine Pore, die in die Klasse 10 eingeordnet wurde eine Größe zwischen 5 und 10  $\mu\text{m}$ . Beträgt die Höhe der Säule der Klasse 10 35%, bedeutet dies, dass 35% aller Poren größer als 5  $\mu\text{m}$  und kleiner als 10  $\mu\text{m}$  sind.



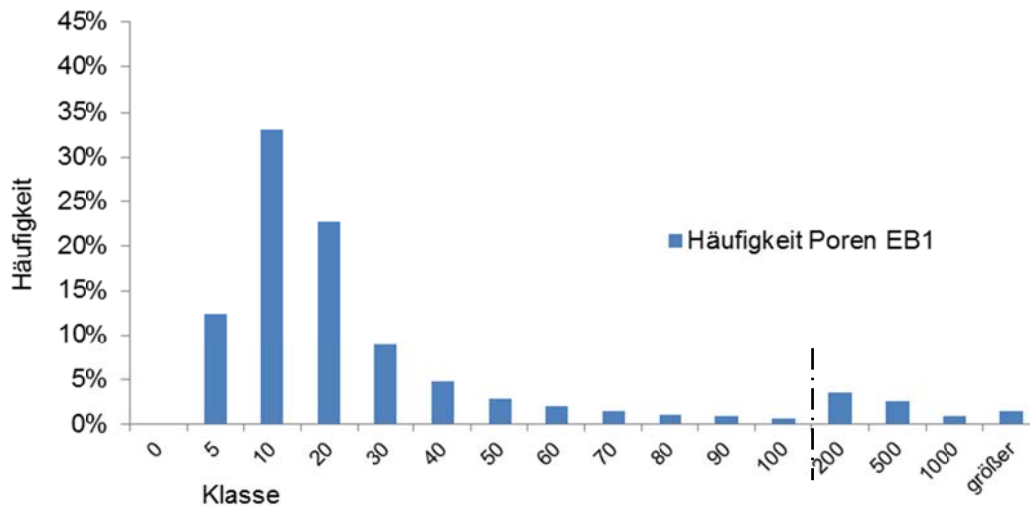


Abb. 3.54: Histogramm zur Porenverteilung der Charge EB1

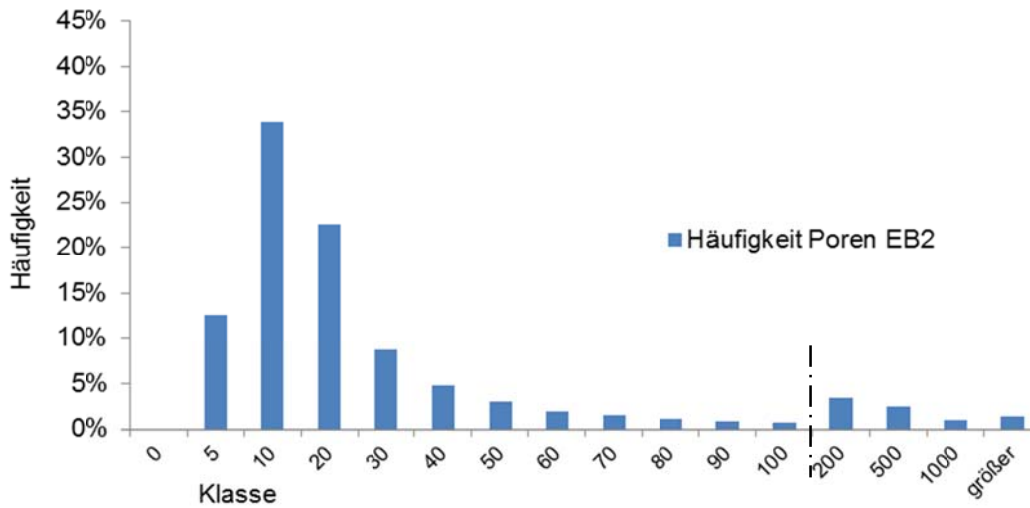


Abb. 3.55: Histogramm zur Porenverteilung der Charge EB2

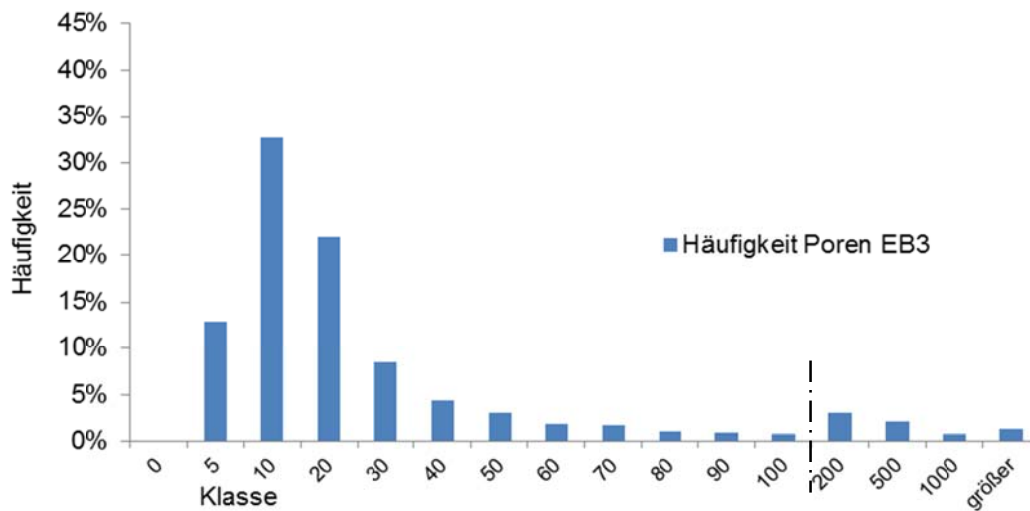


Abb. 3.56: Histogramm zur Porenverteilung der Charge EB3



Tabelle 3.30: Porengrößenverteilung Charge HD1

Klasse	HD1_1		HD1_2		HD1_3		HD1
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1375	16,35%	1787	17,11%	1785	17,50%	16,99%
10	3376	40,14%	4406	42,18%	4356	42,71%	41,68%
20	2027	24,10%	2570	24,61%	2361	23,15%	23,95%
30	664	7,89%	733	7,02%	712	6,98%	7,30%
40	271	3,22%	344	3,29%	332	3,26%	3,26%
50	168	2,00%	144	1,38%	166	1,63%	1,67%
60	99	1,18%	107	1,02%	86	0,84%	1,01%
70	84	1,00%	63	0,60%	65	0,64%	0,75%
80	43	0,51%	38	0,36%	47	0,46%	0,45%
90	37	0,44%	28	0,27%	30	0,29%	0,33%
100	30	0,36%	23	0,22%	27	0,26%	0,28%
200	122	1,45%	94	0,90%	104	1,02%	1,12%
500	50	0,59%	52	0,50%	61	0,60%	0,56%
1000	28	0,33%	25	0,24%	26	0,25%	0,28%
größer	37	0,44%	31	0,30%	41	0,40%	0,38%

Tabelle 3.31: Porengrößenverteilung Charge HD2

Klasse	HD2_1		HD2_2		HD2_3		HD2
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1527	14,83%	1712	15,47%	1226	14,33%	14,88%
10	3860	37,49%	4479	40,48%	3213	37,56%	38,51%
20	2404	23,35%	2602	23,51%	2079	24,30%	23,72%
30	933	9,06%	771	6,97%	733	8,57%	8,20%
40	459	4,46%	349	3,15%	343	4,01%	3,87%
50	250	2,43%	219	1,98%	189	2,21%	2,21%
60	127	1,23%	154	1,39%	129	1,51%	1,38%
70	127	1,23%	91	0,82%	85	0,99%	1,02%
80	69	0,67%	71	0,64%	68	0,79%	0,70%
90	56	0,54%	56	0,51%	55	0,64%	0,56%
100	57	0,55%	44	0,40%	31	0,36%	0,44%
200	159	1,54%	186	1,68%	154	1,80%	1,68%
500	118	1,15%	148	1,34%	96	1,12%	1,20%
1000	41	0,40%	56	0,51%	55	0,64%	0,52%
größer	109	1,06%	128	1,16%	98	1,15%	1,12%



Tabelle 3.32: Porengrößenverteilung Charge HD3

Klasse	HD3_1		HD3_2		HD3_3		HD3
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1412	16,07%	1481	14,73%	1710	18,06%	16,29%
10	3468	39,46%	4009	39,88%	4140	43,74%	41,02%
20	2167	24,66%	2356	23,44%	2185	23,08%	23,72%
30	636	7,24%	765	7,61%	611	6,45%	7,10%
40	325	3,70%	353	3,51%	249	2,63%	3,28%
50	166	1,89%	210	2,09%	131	1,38%	1,79%
60	110	1,25%	127	1,26%	102	1,08%	1,20%
70	93	1,06%	114	1,13%	37	0,39%	0,86%
80	57	0,65%	73	0,73%	43	0,45%	0,61%
90	34	0,39%	51	0,51%	19	0,20%	0,36%
100	20	0,23%	41	0,41%	20	0,21%	0,28%
200	103	1,17%	193	1,92%	82	0,87%	1,32%
500	96	1,09%	144	1,43%	57	0,60%	1,04%
1000	41	0,47%	56	0,56%	23	0,24%	0,42%
größer	61	0,69%	80	0,80%	57	0,60%	0,70%

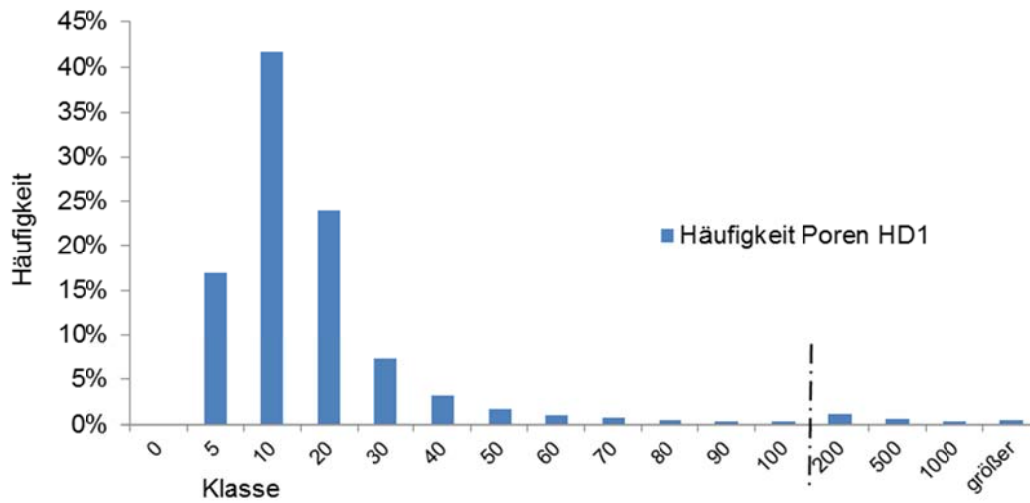


Abb. 3.57: Histogramm zur Porenverteilung der Charge HD1

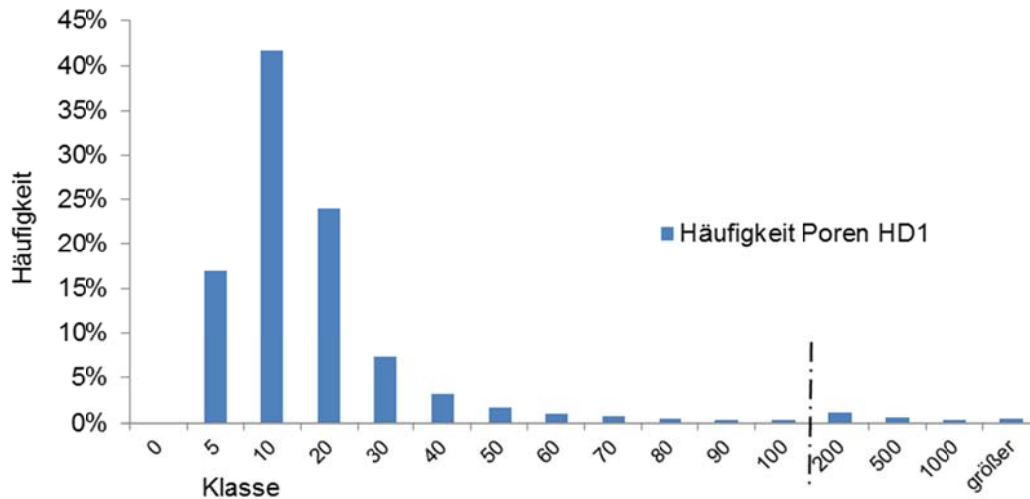


Abb. 3.58: Histogramm zur Porenverteilung der Charge HD2

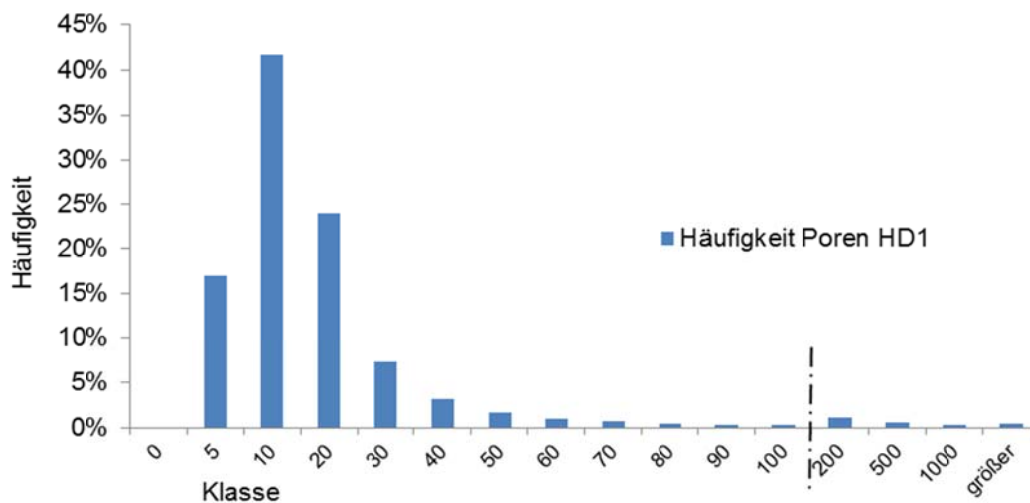


Abb. 3.59: Histogramm zur Porenverteilung der Charge HD3



### 3.8.4 Ergebnisse zu den Quarzkörnern

Die Anteile und geometrischen Eigenschaften der im Stein enthaltenen Quarzkörner konnte für alle Chargen ermittelt werden. In Tabelle 3.33 und Tabelle 3.34 ist eine Übersicht über die Ergebnisse gegeben. Dabei fällt auf, dass der Quarzanteil sehr schwankt. Bei den Ziegelsteinen konnte ein Quarzanteil zwischen 14% und rund 20% ermittelt werden, wobei die Kalksandsteinproben des Herstellers HD bis zu 40% Quarz enthalten. Nahezu alle untersuchten Dünnschliffe ergaben ein Länge zu Breite Verhältnis im Mittel von etwas über zwei. Dies ist unabhängig von der Korngröße, die sehr unterschiedlich ist. Die kleinsten Quarzkörner enthalten die Steine des Herstellers HH mit Mittelwerten zwischen  $2700 \mu\text{m}^2$  und  $3500 \mu\text{m}^2$ . Etwas größer waren die Körner in den Ziegelsteinen des Herstellers WB. Die Korngröße der Kalksandsteine des Herstellers EB beträgt zwischen  $13000 \mu\text{m}^2$  und  $15000 \mu\text{m}^2$ , wobei die Steine des Herstellers HD mit mittleren Korngrößen von bis zu  $23000 \mu\text{m}^2$  die größten Quarzkörner enthalten. Bei genauer Betrachtung ist auch zu erkennen, dass der Ziegel Körner des gleichen Grundmaterials wie die Matrix enthält, was auf gemahlene Ziegelsteine als Zuschlagskörner hinweist. Ein Beispiel für ein Binärbild mit den in gelber Farbe markierten Quarzkörnern enthalten die Abbildungen Abb. 3.60 bis Abb. 3.63. Bilder jeder Probe können dem Anhang A1 entnommen werden.

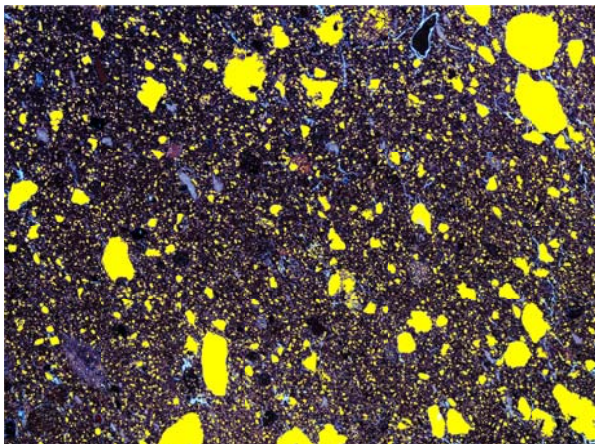


Abb. 3.60: Binärbild mit markierten Quarzkörnern der Probe WB1\_2

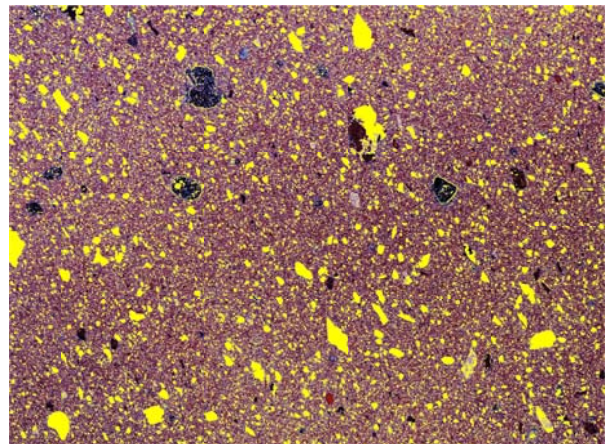


Abb. 3.61: Binärbild mit markierten Quarzkörnern der Probe HH2\_2

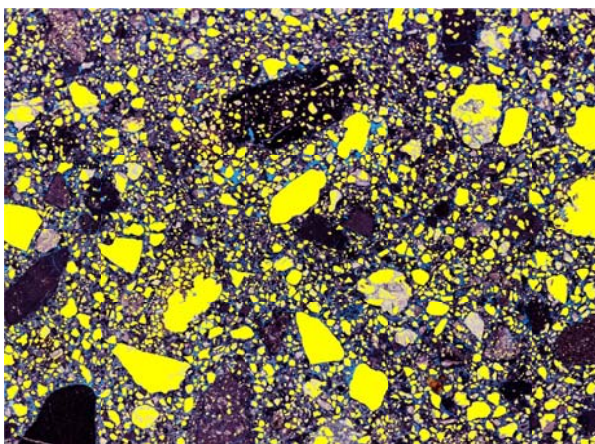


Abb. 3.62: Binärbild mit markierten Quarzkörnern der Probe EB1\_3

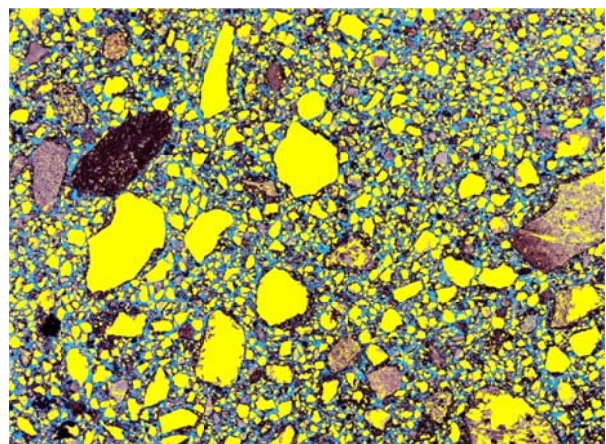


Abb. 3.63: Binärbild mit markierten Quarzkörnern der Probe HD2\_1



Tabelle 3.33: Anteil der Quarzkörner

Probe	gescannter Bereich	Anzahl Körner	Anzahl Körner / bezogener Bereich	Anteil Quarz	
	[mm <sup>2</sup> ]				[mm <sup>2</sup> ]
WB1_1	161,2	5388	18031	17,18%	27,7
WB1_2	161,2	6754	22603	13,94%	22,5
WB1_2	161,2	5830	19511	11,04%	17,8
MW WB1			20048	14,05%	22,7
WB2_1	161,2	4633	15505	15,72%	25,4
WB2_2	161,2	4027	13477	11,28%	18,2
WB2_3	161,2	4503	15070	21,44%	34,6
MW WB2			14684	16,15%	26,0
WB3_1	161,2	6049	20244	14,12%	22,8
WB3_2	161,2	5387	18028	16,25%	26,2
WB3_3	161,2	4638	15522	17,29%	27,9
MW WB3			17931	15,89%	25,6
HH1_1	161,2	10990	36779	22,03%	35,5
HH1_2	161,2	9218	30849	20,18%	32,5
HH1_3	161,2	7537	25223	17,57%	28,3
MW HH1			30950	19,93%	32,1
HH2_1	161,2	11206	37502	17,38%	28,0
HH2_2	130,6	11844	48935	18,12%	23,7
HH2_3	161,2	11313	37860	16,24%	26,2
MW HH2			41432	17,25%	26,0
HH3_1	161,2	11554	38667	22,62%	36,5
HH3_2	161,2	8913	29828	15,39%	24,8
HH3_3	161,2	11971	40062	24,54%	39,6
MW HH3			36186	20,85%	33,6
EB1_1	539,6	10214	10214	27,14%	146,5
EB1_2	539,6	10857	10857	24,14%	130,3
EB1_3	539,6	8431	8431	22,69%	122,4
MW EB1			9834	24,66%	133,1
EB2_1	539,6	11893	11893	27,58%	148,8
EB2_2	510,7	6903	7294	26,69%	136,3
EB2_3	539,6	10093	10093	23,65%	127,6
MW EB2			9760	25,97%	137,6
EB3_1	539,6	7959	7959	22,56%	121,7
EB3_2	539,6	9273	9273	22,01%	118,8
EB3_3	539,6	7937	7937	24,63%	132,9
MW EB3			8390	23,06%	124,5
HD1_1	362,8	8952	13315	39,82%	144,5
HD1_2	362,8	6845	10181	38,41%	139,4
HD1_3	362,8	6171	9179	41,33%	149,9
MW HD1			10892	39,86%	144,6
HD2_1	362,8	6343	9434	38,24%	138,7
HD2_2	362,8	7278	10825	35,20%	127,7
HD2_3	362,8	6693	9955	34,18%	124,0
MW HD2			10072	35,87%	130,1
HD3_1	362,8	5980	8895	41,93%	152,1
HD3_2	362,8	6420	9549	35,64%	129,3
HD3_3	362,8	5994	8915	39,78%	144,3
MW HD3			9120	39,12%	141,9





Tabelle 3.34: Geometrie der Quarzkörner

Probe	Korngröße			Länge			Breite			Länge/Breite			Rund- heit mittel
	mittel [μm <sup>2</sup> ]	min [μm <sup>2</sup> ]	max [μm <sup>2</sup> ]	mittel [μm]	min [μm]	max [μm]	mittel [μm]	min [μm]	max [μm]	mittel	min	max	
WB1_1	5.140	202	7.193.777	69,42	19	4102	36,52	6	2844	2,27	1,09	9,00	1,85
WB1_2	3.329	202	2.172.311	62,31	19	2502	32,82	6	1257	2,24	1,10	14,00	1,78
WB1_2	3.053	202	756.300	61,37	19	1575	32,04	6	883	2,27	1,13	8,00	1,81
MW WB1	3.841	202	3.374.129	64,37	19	2726	33,80	6	1661	2,26	1,11	10,33	1,81
WB2_1	5.473	202	3.567.239	61,26	19	3022	33,22	6	1924	2,10	1,10	10,00	1,69
WB2_2	4.515	202	2.680.327	61,55	19	2311	33,16	6	1740	2,12	1,09	12,00	1,67
WB2_3	7.679	202	7.836.316	76,38	19	5098	40,58	6	2876	2,14	1,13	10,00	1,92
MW WB2	5.889	202	4.694.627	66,40	19	3477	35,65	6	2180	2,12	1,10	10,67	1,76
WB3_1	3.764	202	2.476.710	64,00	19	3498	33,91	6	1384	2,12	1,09	10,00	1,82
WB3_2	4.866	202	2.150.260	61,79	19	2330	34,03	6	1479	2,06	1,11	8,00	1,71
WB3_3	6.012	202	3.575.785	63,60	19	2711	34,33	6	1810	2,16	1,07	8,44	1,77
MW WB3	4.880	202	2.734.252	63,13	19	2847	34,09	6	1558	2,11	1,09	8,81	1,76
HH1_1	3.233	202	2.999.923	61,24	19	2883	35,04	6	1676	1,90	1,08	9,00	1,54
HH1_2	3.530	202	2.880.196	61,58	19	2470	34,74	6	1765	1,91	1,08	12,00	1,53
HH1_3	3.760	202	2.500.333	64,58	19	2432	36,33	6	1797	1,95	1,11	13,50	1,56
MW HH1	3.508	202	2.793.484	62,46	19	2595	35,37	6	1746	1,92	1,09	11,50	1,54
HH2_1	2.501	202	1.584.678	52,16	19	2298	29,38	6	1137	1,94	1,11	11,00	1,54
HH2_2	1.998	202	1.195.019	49,73	19	1956	27,19	6	1029	2,02	1,08	13,00	1,57
HH2_3	2.315	202	2.393.142	51,12	19	3302	28,54	6	1257	1,93	1,08	6,83	1,54
MW HH2	2.271	202	1.724.280	51,00	19	2519	28,37	6	1141	1,96	1,09	10,28	1,55
HH3_1	3.157	202	631.533	61,92	19	1251	34,12	6	1022	2,01	1,09	12,00	1,62
HH3_2	2.785	202	1.160.552	60,34	19	1860	31,66	6	1200	2,15	1,07	15,00	1,69
HH3_3	3.306	202	2.295.949	58,75	19	2787	30,89	6	1733	2,11	1,10	9,00	1,79
MW HH3	3.083	202	1.362.678	60,34	19	1966	32,22	6	1319	2,09	1,09	12,00	1,70
EB1_1	14.341	202	10.857.363	108,30	19	7448	61,02	6	3219	2,12	1,09	10,00	2,06
EB1_2	11.999	202	8.692.469	107,87	19	4946	61,32	6	2444	2,07	1,08	16,00	1,99
EB1_3	14.524	202	4.101.660	116,57	19	3562	66,83	6	2032	2,07	1,09	10,50	1,97
MW EB1	13.621	202	7.883.831	110,91	19	5319	63,06	6	2565	2,09	1,09	12,17	2,01
EB2_1	12.513	202	14.876.382	103,65	19	5403	58,64	6	3911	2,14	1,08	10,00	2,12
EB2_2	19.746	202	13.950.166	134,66	19	7556	76,77	6	4006	2,07	1,06	9,00	1,88
EB2_3	12.643	202	15.004.535	107,97	19	5568	61,87	6	3784	2,08	1,08	22,00	2,01
MW EB2	14.967	202	14.610.361	115,43	19	6176	65,76	6	3901	2,10	1,07	13,67	2,00
EB3_1	15.293	202	2.994.159	122,89	19	2527	70,86	6	1905	2,07	1,08	9,14	1,95
EB3_2	12.809	202	1.250.247	115,73	19	2152	66,52	6	1098	2,09	1,08	10,00	1,99
EB3_3	16.745	202	8.071.780	121,17	19	4476	69,99	6	2959	2,08	1,08	8,00	1,97
MW EB3	14.949	202	4.105.395	119,93	19	3052	69,13	6	1987	2,08	1,08	9,05	1,97
HD1_1	16.140	202	8.487.360	109,28	19	4502	61,69	6	2819	2,17	1,07	12,00	1,90
HD1_2	20.361	202	11.840.259	126,71	19	7067	71,31	6	3416	2,12	1,07	13,00	2,00
HD1_3	24.298	202	18.341.268	136,69	19	6152	77,41	6	4356	2,17	1,07	19,00	2,01
MW HD1	20.266	202	12.889.629	124,22	19	5907	70,14	6	3530	2,16	1,07	14,67	1,97
HD2_1	21.874	202	10.265.054	135,69	19	5156	77,46	6	2990	2,12	1,08	12,50	1,91
HD2_2	17.546	202	5.778.935	127,14	19	3949	72,08	6	2540	2,14	1,08	17,00	2,02
HD2_3	18.527	202	7.732.270	130,95	19	4984	75,00	6	3048	2,11	1,08	11,82	1,88
MW HD2	19.316	202	7.925.420	131,26	19	4696	74,85	6	2859	2,12	1,08	13,77	1,94
HD3_1	25.438	202	6.126.629	137,27	19	4178	78,04	6	2413	2,18	1,07	14,00	2,02
HD3_2	20.141	202	7.754.522	131,52	19	4375	74,01	6	3194	2,19	1,08	13,00	2,00
HD3_3	24.080	202	8.364.287	135,07	19	4692	76,32	6	3225	2,16	1,09	12,05	2,01
MW HD3	23.220	202	7.415.146	134,62	19	4415	76,12	6	2944	2,18	1,08	13,02	2,01



Tabelle 3.35: Korngrößenverteilung Charge WB1

Klasse	WB1_1		WB1_2		WB1_3		WB1
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	443	8,22%	612	9,06%	555	9,52%	8,93%
10	1400	25,98%	1848	27,36%	1653	28,35%	27,23%
20	1129	20,95%	1507	22,31%	1271	21,80%	21,69%
30	558	10,36%	657	9,73%	580	9,95%	10,01%
40	328	6,09%	371	5,49%	324	5,56%	5,71%
50	191	3,54%	254	3,76%	225	3,86%	3,72%
60	175	3,25%	207	3,06%	161	2,76%	3,02%
70	141	2,62%	138	2,04%	134	2,30%	2,32%
80	93	1,73%	123	1,82%	103	1,77%	1,77%
90	94	1,74%	107	1,58%	80	1,37%	1,57%
100	65	1,21%	84	1,24%	58	0,99%	1,15%
110	57	1,06%	77	1,14%	50	0,86%	1,02%
120	60	1,11%	65	0,96%	52	0,89%	0,99%
130	38	0,71%	38	0,56%	36	0,62%	0,63%
140	50	0,93%	52	0,77%	46	0,79%	0,83%
150	39	0,72%	47	0,70%	29	0,50%	0,64%
160	31	0,58%	42	0,62%	28	0,48%	0,56%
170	32	0,59%	43	0,64%	29	0,50%	0,58%
180	19	0,35%	37	0,55%	41	0,70%	0,53%
190	29	0,54%	33	0,49%	24	0,41%	0,48%
200	25	0,46%	31	0,46%	26	0,45%	0,46%
300	149	2,77%	164	2,43%	138	2,37%	2,52%
400	89	1,65%	77	1,14%	69	1,18%	1,33%
500	49	0,91%	36	0,53%	33	0,57%	0,67%
1000	53	0,98%	50	0,74%	36	0,62%	0,78%
2000	21	0,39%	20	0,30%	17	0,29%	0,33%
5000	12	0,22%	24	0,36%	22	0,38%	0,32%
10000	13	0,24%	7	0,10%	8	0,14%	0,16%
20000	3	0,06%	1	0,01%	2	0,03%	0,03%
größer	2	0,04%	2	0,03%	0	0,00%	0,02%





Tabelle 3.36: Korngrößenverteilung Charge WB2

Klasse	WB2_1		WB2_2		WB2_3		WB2
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	393	8,48%	331	8,22%	333	7,40%	8,03%
10	1193	25,75%	1069	26,55%	1103	24,49%	25,60%
20	1113	24,02%	965	23,96%	982	21,81%	23,26%
30	534	11,53%	407	10,11%	442	9,82%	10,48%
40	332	7,17%	237	5,89%	259	5,75%	6,27%
50	210	4,53%	165	4,10%	203	4,51%	4,38%
60	158	3,41%	120	2,98%	138	3,06%	3,15%
70	106	2,29%	93	2,31%	123	2,73%	2,44%
80	84	1,81%	72	1,79%	100	2,22%	1,94%
90	54	1,17%	53	1,32%	70	1,55%	1,35%
100	56	1,21%	53	1,32%	69	1,53%	1,35%
110	49	1,06%	44	1,09%	62	1,38%	1,18%
120	27	0,58%	47	1,17%	54	1,20%	0,98%
130	30	0,65%	31	0,77%	47	1,04%	0,82%
140	26	0,56%	29	0,72%	39	0,87%	0,72%
150	10	0,22%	30	0,74%	32	0,71%	0,56%
160	22	0,47%	23	0,57%	24	0,53%	0,53%
170	19	0,41%	22	0,55%	18	0,40%	0,45%
180	11	0,24%	14	0,35%	13	0,29%	0,29%
190	7	0,15%	13	0,32%	25	0,56%	0,34%
200	14	0,30%	15	0,37%	18	0,40%	0,36%
300	55	1,19%	88	2,19%	139	3,09%	2,15%
400	22	0,47%	30	0,74%	66	1,47%	0,90%
500	13	0,28%	11	0,27%	37	0,82%	0,46%
1000	31	0,67%	25	0,62%	46	1,02%	0,77%
2000	22	0,47%	17	0,42%	26	0,58%	0,49%
5000	25	0,54%	11	0,27%	18	0,40%	0,40%
10000	8	0,17%	6	0,15%	7	0,16%	0,16%
20000	4	0,09%	2	0,05%	4	0,09%	0,07%
größer	5	0,11%	4	0,10%	6	0,13%	0,11%



Tabelle 3.37: Korngrößenverteilung Charge WB3

Klasse	WB3_1		WB3_2		WB3_3		WB3
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	502	8,30%	446	8,28%	405	8,73%	8,44%
10	1552	25,66%	1359	25,23%	1286	27,73%	26,20%
20	1357	22,43%	1292	23,98%	1069	23,05%	23,16%
30	621	10,27%	602	11,18%	516	11,13%	10,86%
40	428	7,08%	386	7,17%	322	6,94%	7,06%
50	275	4,55%	273	5,07%	214	4,61%	4,74%
60	196	3,24%	186	3,45%	120	2,59%	3,09%
70	150	2,48%	131	2,43%	95	2,05%	2,32%
80	133	2,20%	94	1,74%	86	1,85%	1,93%
90	97	1,60%	67	1,24%	65	1,40%	1,42%
100	59	0,98%	59	1,10%	52	1,12%	1,06%
110	64	1,06%	57	1,06%	39	0,84%	0,99%
120	70	1,16%	43	0,80%	38	0,82%	0,92%
130	51	0,84%	35	0,65%	26	0,56%	0,68%
140	43	0,71%	30	0,56%	21	0,45%	0,57%
150	32	0,53%	25	0,46%	20	0,43%	0,47%
160	32	0,53%	14	0,26%	13	0,28%	0,36%
170	20	0,33%	23	0,43%	19	0,41%	0,39%
180	28	0,46%	17	0,32%	9	0,19%	0,32%
190	32	0,53%	13	0,24%	17	0,37%	0,38%
200	23	0,38%	12	0,22%	12	0,26%	0,29%
300	120	1,98%	75	1,39%	53	1,14%	1,51%
400	60	0,99%	28	0,52%	26	0,56%	0,69%
500	23	0,38%	21	0,39%	16	0,34%	0,37%
1000	34	0,56%	33	0,61%	27	0,58%	0,59%
2000	18	0,30%	15	0,28%	23	0,50%	0,36%
5000	15	0,25%	29	0,54%	21	0,45%	0,41%
10000	5	0,08%	10	0,19%	15	0,32%	0,20%
20000	6	0,10%	6	0,11%	7	0,15%	0,12%
größer	3	0,05%	6	0,11%	6	0,13%	0,10%

In den Histogrammen in Abb. 3.64 bis Abb. 3.75 ist die prozentuale Häufigkeit über den Klassen aufgetragen. Die Klassen geben die Größe der Quarzkörner an, so hat zum Beispiel ein Korn, das in die Klasse 10 eingeordnet wurde eine Größe zwischen 5 und 10  $\mu\text{m}$ . Beträgt die Höhe der Säule der Klasse 10 25%, bedeutet dies, dass 25% aller Körner größer als 5  $\mu\text{m}$  und kleiner als 10  $\mu\text{m}$  sind.

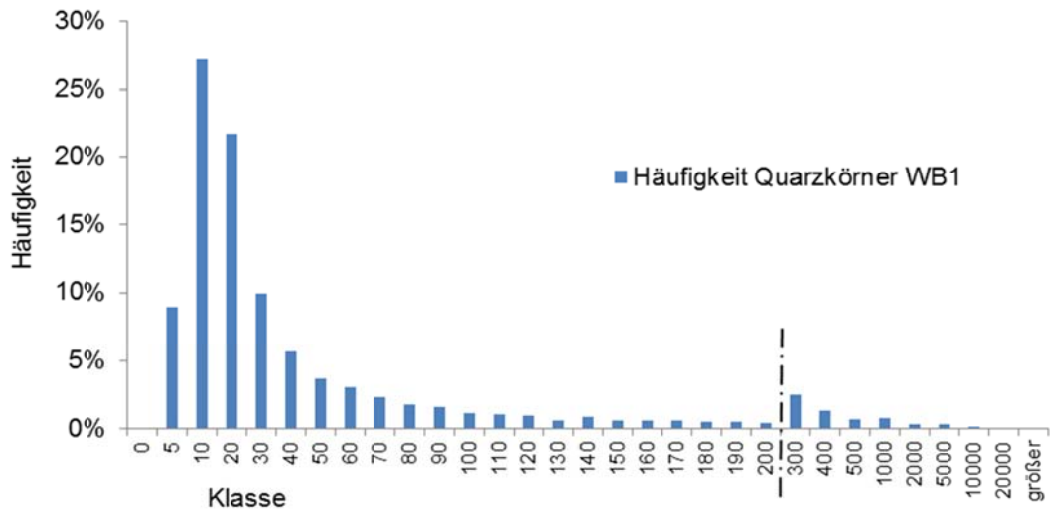


Abb. 3.64: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge WB1

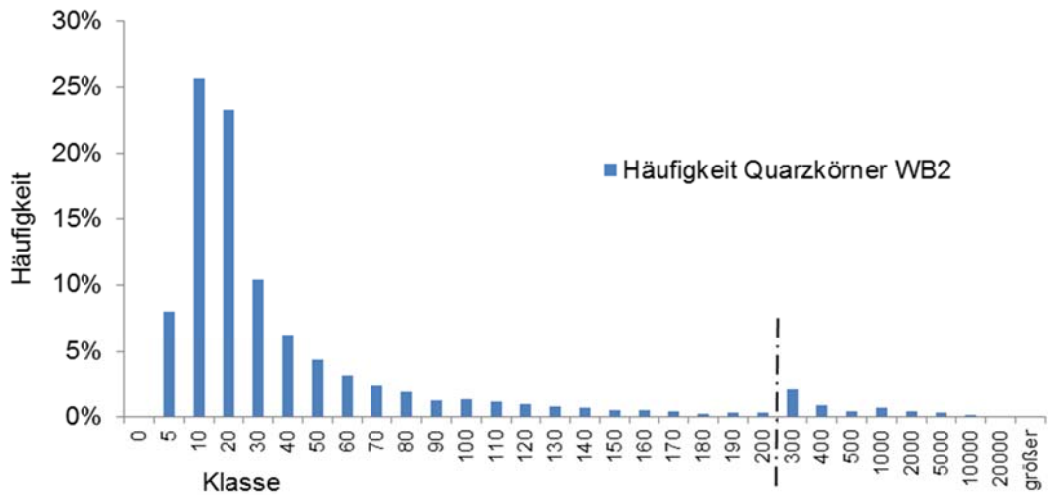


Abb. 3.65: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge WB2

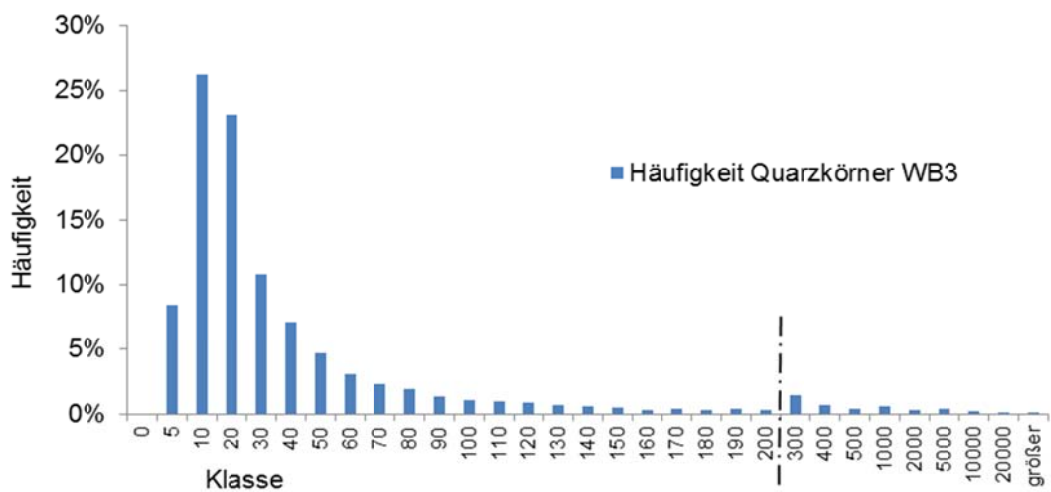


Abb. 3.66: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge WB3



Tabelle 3.38: Korngrößenverteilung Charge HH1

Klasse	HH1_1		HH1_2		HH1_3		HH1
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	811	7,38%	672	7,29%	512	6,79%	7,15%
10	2728	24,82%	2308	25,04%	1877	24,90%	24,92%
20	2492	22,68%	2117	22,97%	1643	21,80%	22,48%
30	1205	10,96%	1002	10,87%	793	10,52%	10,79%
40	694	6,31%	597	6,48%	479	6,36%	6,38%
50	472	4,29%	409	4,44%	326	4,33%	4,35%
60	384	3,49%	269	2,92%	254	3,37%	3,26%
70	241	2,19%	224	2,43%	139	1,84%	2,16%
80	197	1,79%	158	1,71%	138	1,83%	1,78%
90	174	1,58%	140	1,52%	113	1,50%	1,53%
100	122	1,11%	110	1,19%	101	1,34%	1,21%
110	93	0,85%	72	0,78%	81	1,07%	0,90%
120	78	0,71%	66	0,72%	68	0,90%	0,78%
130	80	0,73%	62	0,67%	79	1,05%	0,82%
140	77	0,70%	59	0,64%	64	0,85%	0,73%
150	66	0,60%	50	0,54%	52	0,69%	0,61%
160	54	0,49%	50	0,54%	51	0,68%	0,57%
170	50	0,45%	49	0,53%	40	0,53%	0,51%
180	44	0,40%	36	0,39%	37	0,49%	0,43%
190	52	0,47%	32	0,35%	33	0,44%	0,42%
200	50	0,45%	24	0,26%	37	0,49%	0,40%
300	296	2,69%	230	2,50%	217	2,88%	2,69%
400	149	1,36%	140	1,52%	118	1,57%	1,48%
500	86	0,78%	84	0,91%	70	0,93%	0,87%
1000	178	1,62%	168	1,82%	136	1,80%	1,75%
2000	85	0,77%	65	0,71%	57	0,76%	0,74%
5000	29	0,26%	21	0,23%	16	0,21%	0,23%
10000	2	0,02%	0	0,00%	1	0,01%	0,01%
20000	0	0,00%	1	0,01%	3	0,04%	0,02%
größer	1	0,01%	3	0,03%	2	0,03%	0,02%



Tabelle 3.39: Korngrößenverteilung Charge HH2

Klasse	HH2_1		HH2_2		HH2_3		HH2
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1019	9,09%	1181	9,97%	1042	9,21%	9,43%
10	3126	27,90%	3430	28,96%	3258	28,80%	28,55%
20	2769	24,71%	2988	25,23%	2845	25,15%	25,03%
30	1260	11,24%	1301	10,98%	1229	10,86%	11,03%
40	695	6,20%	757	6,39%	685	6,05%	6,22%
50	456	4,07%	451	3,81%	425	3,76%	3,88%
60	315	2,81%	286	2,41%	324	2,86%	2,70%
70	199	1,78%	222	1,87%	194	1,71%	1,79%
80	154	1,37%	135	1,14%	160	1,41%	1,31%
90	127	1,13%	143	1,21%	144	1,27%	1,20%
100	101	0,90%	81	0,68%	111	0,98%	0,86%
110	90	0,80%	76	0,64%	80	0,71%	0,72%
120	57	0,51%	72	0,61%	63	0,56%	0,56%
130	65	0,58%	63	0,53%	59	0,52%	0,54%
140	60	0,54%	47	0,40%	51	0,45%	0,46%
150	51	0,46%	46	0,39%	32	0,28%	0,38%
160	43	0,38%	35	0,30%	33	0,29%	0,32%
170	34	0,30%	28	0,24%	40	0,35%	0,30%
180	29	0,26%	32	0,27%	30	0,27%	0,26%
190	35	0,31%	25	0,21%	35	0,31%	0,28%
200	22	0,20%	22	0,19%	27	0,24%	0,21%
300	171	1,53%	155	1,31%	160	1,41%	1,42%
400	98	0,87%	79	0,67%	69	0,61%	0,72%
500	49	0,44%	41	0,35%	56	0,50%	0,43%
1000	109	0,97%	80	0,68%	93	0,82%	0,82%
2000	50	0,45%	49	0,41%	49	0,43%	0,43%
5000	14	0,12%	15	0,13%	13	0,11%	0,12%
10000	3	0,03%	2	0,02%	3	0,03%	0,02%
20000	2	0,02%	0	0,00%	1	0,01%	0,01%
größer	3	0,03%	2	0,02%	2	0,02%	0,02%



Tabelle 3.40: Korngrößenverteilung Charge HH3

Klasse	HH3_1		HH3_2		HH3_3		HH3
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	909	7,87%	834	9,36%	1179	9,85%	9,02%
10	2962	25,64%	2432	27,29%	3498	29,22%	27,38%
20	2674	23,14%	2059	23,10%	2837	23,70%	23,31%
30	1277	11,05%	908	10,19%	1218	10,17%	10,47%
40	715	6,19%	526	5,90%	669	5,59%	5,89%
50	465	4,02%	341	3,83%	426	3,56%	3,80%
60	357	3,09%	233	2,61%	302	2,52%	2,74%
70	223	1,93%	176	1,97%	230	1,92%	1,94%
80	207	1,79%	135	1,51%	162	1,35%	1,55%
90	196	1,70%	109	1,22%	143	1,19%	1,37%
100	130	1,13%	84	0,94%	100	0,84%	0,97%
110	106	0,92%	84	0,94%	111	0,93%	0,93%
120	85	0,74%	67	0,75%	81	0,68%	0,72%
130	77	0,67%	53	0,59%	69	0,58%	0,61%
140	72	0,62%	58	0,65%	69	0,58%	0,62%
150	57	0,49%	46	0,52%	51	0,43%	0,48%
160	57	0,49%	48	0,54%	61	0,51%	0,51%
170	48	0,42%	39	0,44%	42	0,35%	0,40%
180	41	0,35%	49	0,55%	34	0,28%	0,40%
190	39	0,34%	33	0,37%	37	0,31%	0,34%
200	37	0,32%	40	0,45%	28	0,23%	0,33%
300	259	2,24%	191	2,14%	223	1,86%	2,08%
400	147	1,27%	98	1,10%	110	0,92%	1,10%
500	89	0,77%	65	0,73%	73	0,61%	0,70%
1000	204	1,77%	131	1,47%	122	1,02%	1,42%
2000	80	0,69%	49	0,55%	50	0,42%	0,55%
5000	29	0,25%	20	0,22%	26	0,22%	0,23%
10000	10	0,09%	4	0,04%	7	0,06%	0,06%
20000	2	0,02%	0	0,00%	8	0,07%	0,03%
größer	0	0,00%	1	0,01%	5	0,04%	0,02%

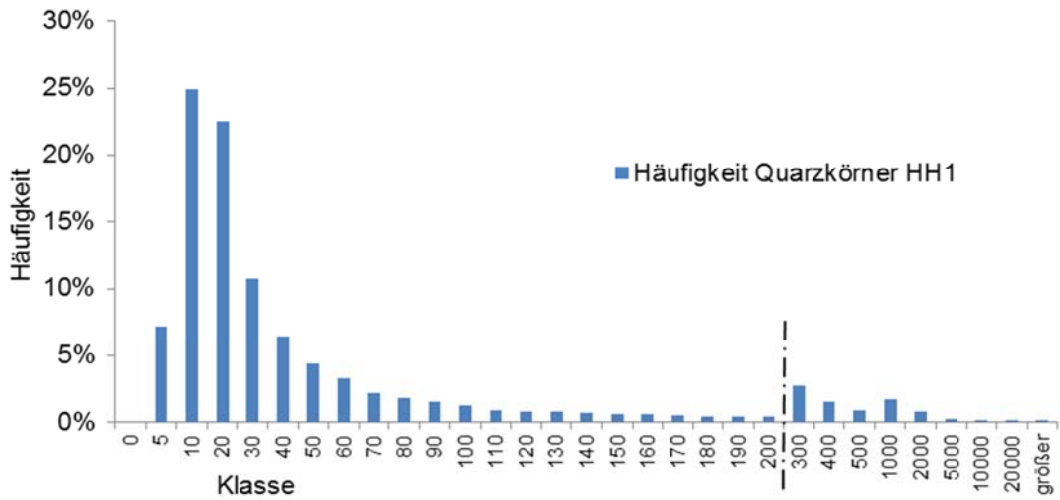


Abb. 3.67: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge HH1

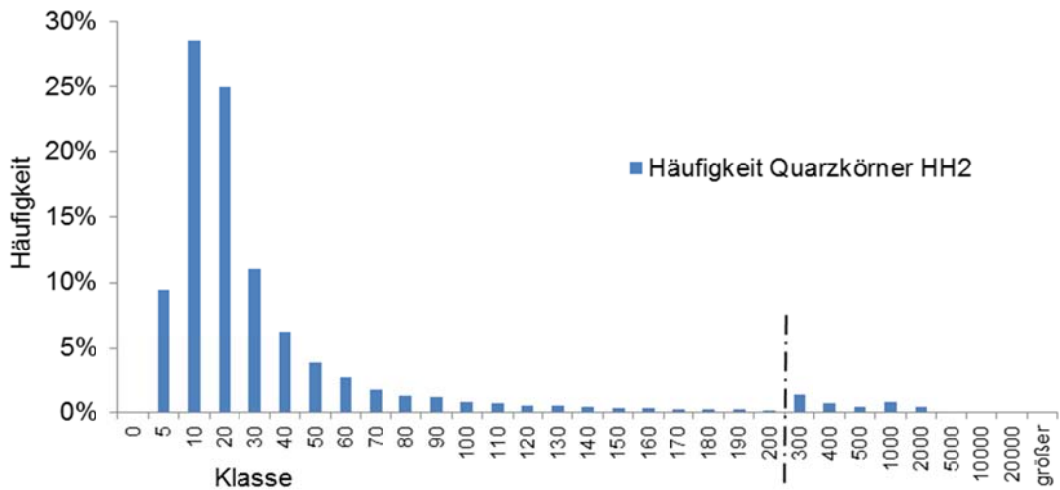


Abb. 3.68: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge HH2

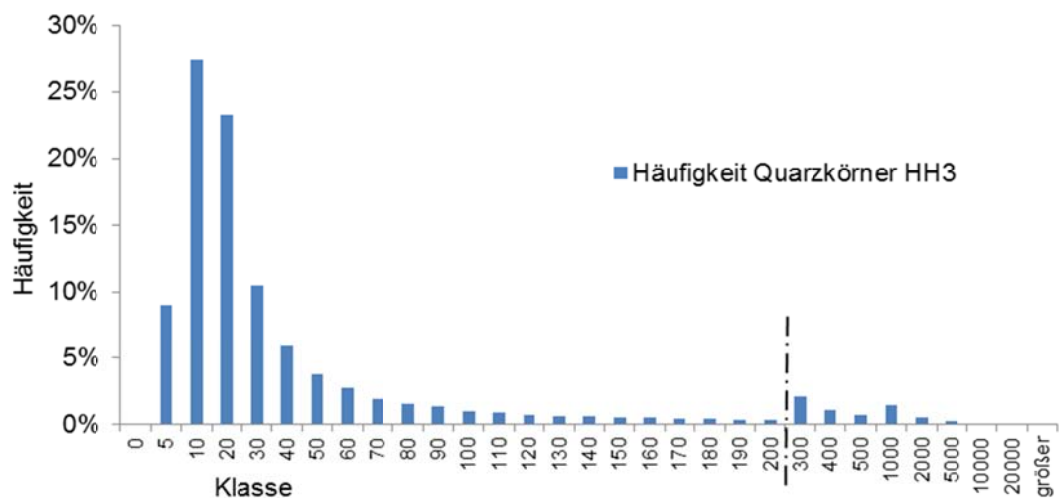


Abb. 3.69: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge HH3



Tabelle 3.41: Korngrößenverteilung Charge EB1

Klasse	EB1_2		EB1_3		EB1
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	730	6,72%	517	6,13%	6,43%
10	2047	18,85%	1409	16,71%	17,78%
20	1738	16,01%	1273	15,10%	15,55%
30	886	8,16%	666	7,90%	8,03%
40	582	5,36%	433	5,14%	5,25%
50	454	4,18%	354	4,20%	4,19%
60	329	3,03%	236	2,80%	2,91%
70	235	2,16%	198	2,35%	2,26%
80	203	1,87%	211	2,50%	2,19%
90	207	1,91%	158	1,87%	1,89%
100	166	1,53%	122	1,45%	1,49%
110	141	1,30%	119	1,41%	1,36%
120	133	1,23%	111	1,32%	1,27%
130	121	1,11%	94	1,11%	1,11%
140	120	1,11%	87	1,03%	1,07%
150	90	0,83%	84	1,00%	0,91%
160	88	0,81%	79	0,94%	0,87%
170	87	0,80%	79	0,94%	0,87%
180	76	0,70%	69	0,82%	0,76%
190	78	0,72%	60	0,71%	0,72%
200	88	0,81%	58	0,69%	0,75%
300	508	4,68%	453	5,37%	5,03%
400	359	3,31%	321	3,81%	3,56%
500	209	1,93%	227	2,69%	2,31%
1000	609	5,61%	518	6,14%	5,88%
2000	328	3,02%	274	3,25%	3,14%
5000	175	1,61%	158	1,87%	1,74%
10000	42	0,39%	39	0,46%	0,42%
20000	17	0,16%	10	0,12%	0,14%
größer	11	0,10%	14	0,17%	0,13%





Tabelle 3.42: Korngrößenverteilung Charge EB2

Klasse	EB2_1		EB2_2		EB2_3		EB2
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	1037	8,72%	331	4,80%	618	6,12%	6,55%
10	2602	21,88%	944	13,68%	1957	19,39%	18,31%
20	2042	17,17%	907	13,14%	1683	16,67%	15,66%
30	890	7,48%	592	8,58%	817	8,09%	8,05%
40	548	4,61%	345	5,00%	523	5,18%	4,93%
50	419	3,52%	250	3,62%	403	3,99%	3,71%
60	302	2,54%	178	2,58%	269	2,67%	2,59%
70	223	1,88%	150	2,17%	240	2,38%	2,14%
80	180	1,51%	160	2,32%	193	1,91%	1,91%
90	188	1,58%	115	1,67%	175	1,73%	1,66%
100	153	1,29%	91	1,32%	128	1,27%	1,29%
110	118	0,99%	112	1,62%	110	1,09%	1,23%
120	116	0,98%	102	1,48%	121	1,20%	1,22%
130	85	0,71%	93	1,35%	93	0,92%	0,99%
140	108	0,91%	66	0,96%	92	0,91%	0,93%
150	88	0,74%	66	0,96%	107	1,06%	0,92%
160	75	0,63%	68	0,99%	73	0,72%	0,78%
170	85	0,71%	67	0,97%	68	0,67%	0,79%
180	94	0,79%	51	0,74%	75	0,74%	0,76%
190	74	0,62%	55	0,80%	64	0,63%	0,68%
200	66	0,55%	59	0,85%	60	0,59%	0,67%
300	503	4,23%	460	6,66%	503	4,98%	5,29%
400	349	2,93%	298	4,32%	344	3,41%	3,55%
500	292	2,46%	238	3,45%	251	2,49%	2,80%
1000	689	5,79%	580	8,40%	594	5,89%	6,69%
2000	317	2,67%	301	4,36%	308	3,05%	3,36%
5000	173	1,45%	150	2,17%	164	1,62%	1,75%
10000	44	0,37%	45	0,65%	39	0,39%	0,47%
20000	19	0,16%	16	0,23%	13	0,13%	0,17%
größer	14	0,12%	9	0,13%	8	0,08%	0,11%



Tabelle 3.43: Korngrößenverteilung Charge EB3

Klasse	EB3_1		EB3_2		EB3_3		EB3
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	456	5,73%	570	6,15%	490	6,17%	6,02%
10	1442	18,12%	1697	18,30%	1426	17,97%	18,13%
20	1259	15,82%	1483	15,99%	1264	15,93%	15,91%
30	639	8,03%	743	8,01%	658	8,29%	8,11%
40	413	5,19%	524	5,65%	423	5,33%	5,39%
50	325	4,08%	332	3,58%	308	3,88%	3,85%
60	253	3,18%	284	3,06%	241	3,04%	3,09%
70	181	2,27%	217	2,34%	192	2,42%	2,34%
80	177	2,22%	152	1,64%	169	2,13%	2,00%
90	160	2,01%	166	1,79%	130	1,64%	1,81%
100	105	1,32%	143	1,54%	123	1,55%	1,47%
110	101	1,27%	126	1,36%	96	1,21%	1,28%
120	85	1,07%	101	1,09%	106	1,34%	1,16%
130	81	1,02%	100	1,08%	72	0,91%	1,00%
140	80	1,01%	86	0,93%	74	0,93%	0,95%
150	65	0,82%	94	1,01%	72	0,91%	0,91%
160	60	0,75%	86	0,93%	65	0,82%	0,83%
170	58	0,73%	70	0,75%	63	0,79%	0,76%
180	49	0,62%	64	0,69%	55	0,69%	0,67%
190	52	0,65%	66	0,71%	40	0,50%	0,62%
200	56	0,70%	66	0,71%	49	0,62%	0,68%
300	352	4,42%	429	4,63%	347	4,37%	4,47%
400	227	2,85%	268	2,89%	217	2,73%	2,83%
500	168	2,11%	179	1,93%	162	2,04%	2,03%
1000	455	5,72%	538	5,80%	451	5,68%	5,73%
2000	349	4,38%	393	4,24%	336	4,23%	4,29%
5000	200	2,51%	217	2,34%	221	2,78%	2,55%
10000	78	0,98%	51	0,55%	58	0,73%	0,75%
20000	27	0,34%	23	0,25%	19	0,24%	0,28%
größer	6	0,08%	5	0,05%	10	0,13%	0,09%

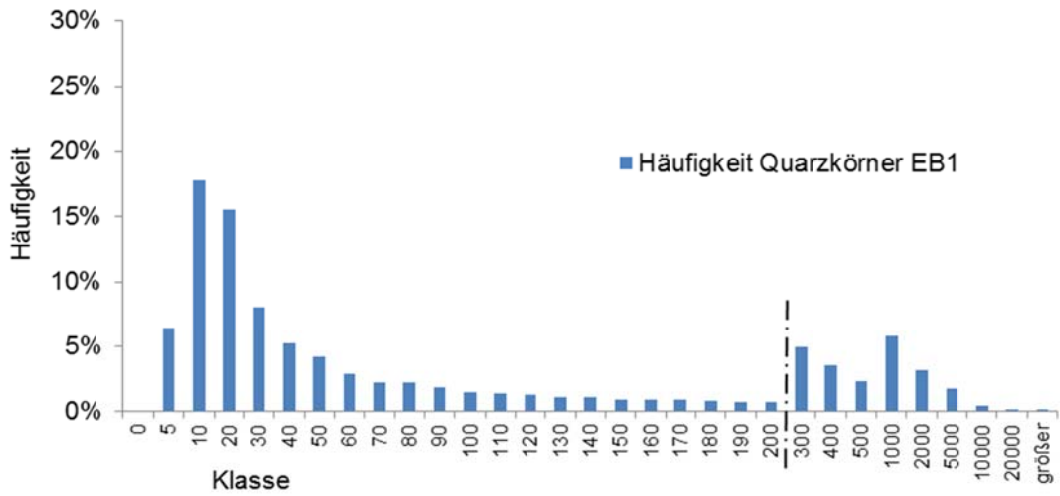


Abb. 3.70: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge EB1

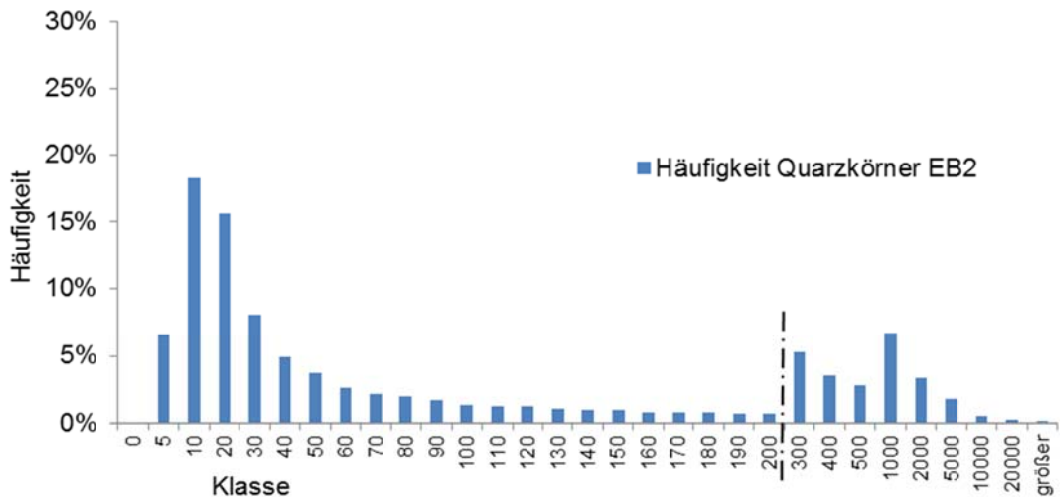


Abb. 3.71: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge EB2

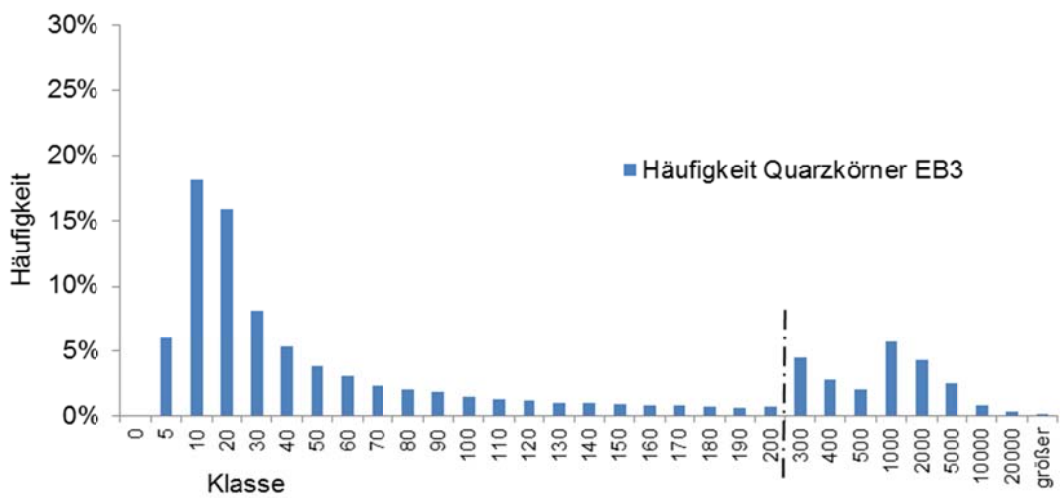


Abb. 3.72: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge EB3



Tabelle 3.44: Korngrößenverteilung Charge HD1

Klasse	HD1_1		HD1_2		HD1_3		HD1
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	614	6,86%	390	5,70%	359	5,82%	6,12%
10	1869	20,88%	1133	16,55%	1036	16,79%	18,07%
20	1584	17,69%	1114	16,27%	999	16,19%	16,72%
30	800	8,94%	571	8,34%	505	8,18%	8,49%
40	542	6,05%	397	5,80%	344	5,57%	5,81%
50	317	3,54%	281	4,11%	253	4,10%	3,92%
60	264	2,95%	241	3,52%	192	3,11%	3,19%
70	220	2,46%	179	2,62%	156	2,53%	2,53%
80	128	1,43%	151	2,21%	139	2,25%	1,96%
90	139	1,55%	151	2,21%	97	1,57%	1,78%
100	124	1,39%	105	1,53%	99	1,60%	1,51%
110	109	1,22%	97	1,42%	81	1,31%	1,32%
120	83	0,93%	78	1,14%	79	1,28%	1,12%
130	76	0,85%	69	1,01%	75	1,22%	1,02%
140	71	0,79%	72	1,05%	59	0,96%	0,93%
150	71	0,79%	51	0,75%	53	0,86%	0,80%
160	63	0,70%	45	0,66%	36	0,58%	0,65%
170	58	0,65%	47	0,69%	51	0,83%	0,72%
180	57	0,64%	58	0,85%	46	0,75%	0,74%
190	53	0,59%	47	0,69%	48	0,78%	0,69%
200	47	0,53%	43	0,63%	44	0,71%	0,62%
300	330	3,69%	321	4,69%	257	4,16%	4,18%
400	212	2,37%	192	2,80%	158	2,56%	2,58%
500	151	1,69%	157	2,29%	101	1,64%	1,87%
1000	392	4,38%	372	5,43%	340	5,51%	5,11%
2000	284	3,17%	241	3,52%	246	3,99%	3,56%
5000	188	2,10%	134	1,96%	198	3,21%	2,42%
10000	58	0,65%	70	1,02%	72	1,17%	0,95%
20000	25	0,28%	23	0,34%	30	0,49%	0,37%
größer	23	0,26%	15	0,22%	18	0,29%	0,26%



Tabelle 3.45: Korngrößenverteilung Charge HD2

Klasse	HD2_1		HD2_2		HD2_3		HD2
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	297	4,68%	399	5,48%	332	4,96%	5,04%
10	1025	16,16%	1240	17,04%	1070	15,99%	16,39%
20	939	14,80%	1155	15,87%	1046	15,63%	15,43%
30	526	8,29%	591	8,12%	552	8,25%	8,22%
40	335	5,28%	433	5,95%	315	4,71%	5,31%
50	248	3,91%	321	4,41%	258	3,85%	4,06%
60	201	3,17%	198	2,72%	193	2,88%	2,92%
70	164	2,59%	177	2,43%	172	2,57%	2,53%
80	149	2,35%	174	2,39%	154	2,30%	2,35%
90	141	2,22%	133	1,83%	115	1,72%	1,92%
100	95	1,50%	118	1,62%	112	1,67%	1,60%
110	90	1,42%	93	1,28%	101	1,51%	1,40%
120	78	1,23%	95	1,31%	93	1,39%	1,31%
130	76	1,20%	97	1,33%	75	1,12%	1,22%
140	84	1,32%	86	1,18%	70	1,05%	1,18%
150	53	0,84%	58	0,80%	63	0,94%	0,86%
160	58	0,91%	64	0,88%	63	0,94%	0,91%
170	52	0,82%	53	0,73%	55	0,82%	0,79%
180	54	0,85%	53	0,73%	52	0,78%	0,79%
190	36	0,57%	28	0,38%	39	0,58%	0,51%
200	34	0,54%	63	0,87%	46	0,69%	0,70%
300	260	4,10%	316	4,34%	325	4,86%	4,43%
400	211	3,33%	205	2,82%	210	3,14%	3,09%
500	138	2,18%	154	2,12%	163	2,44%	2,24%
1000	430	6,78%	406	5,58%	420	6,28%	6,21%
2000	281	4,43%	273	3,75%	331	4,95%	4,38%
5000	204	3,22%	195	2,68%	192	2,87%	2,92%
10000	52	0,82%	54	0,74%	49	0,73%	0,76%
20000	17	0,27%	28	0,38%	16	0,24%	0,30%
größer	15	0,24%	18	0,25%	11	0,16%	0,22%



Tabelle 3.46: Korngrößenverteilung Charge HD3

Klasse	HD3_1		HD3_2		HD3_3		HD3
	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Häufigkeit	anteilig	Mittelwert anteilig
0	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0,00%
5	317	5,30%	356	5,55%	353	5,89%	5,58%
10	1042	17,42%	1135	17,68%	1048	17,48%	17,53%
20	956	15,99%	1076	16,76%	961	16,03%	16,26%
30	517	8,65%	567	8,83%	549	9,16%	8,88%
40	306	5,12%	370	5,76%	323	5,39%	5,42%
50	226	3,78%	266	4,14%	218	3,64%	3,85%
60	203	3,39%	202	3,15%	199	3,32%	3,29%
70	134	2,24%	145	2,26%	159	2,65%	2,38%
80	145	2,42%	132	2,06%	113	1,89%	2,12%
90	121	2,02%	89	1,39%	112	1,87%	1,76%
100	101	1,69%	97	1,51%	78	1,30%	1,50%
110	89	1,49%	88	1,37%	80	1,33%	1,40%
120	73	1,22%	58	0,90%	80	1,33%	1,15%
130	60	1,00%	63	0,98%	63	1,05%	1,01%
140	54	0,90%	65	1,01%	50	0,83%	0,92%
150	48	0,80%	54	0,84%	52	0,87%	0,84%
160	36	0,60%	44	0,69%	51	0,85%	0,71%
170	44	0,74%	40	0,62%	40	0,67%	0,68%
180	41	0,69%	45	0,70%	38	0,63%	0,67%
190	40	0,67%	33	0,51%	33	0,55%	0,58%
200	35	0,59%	32	0,50%	31	0,52%	0,53%
300	241	4,03%	271	4,22%	233	3,89%	4,05%
400	178	2,98%	167	2,60%	171	2,85%	2,81%
500	125	2,09%	126	1,96%	105	1,75%	1,93%
1000	309	5,17%	339	5,28%	313	5,22%	5,22%
2000	238	3,98%	256	3,99%	241	4,02%	4,00%
5000	190	3,18%	184	2,87%	202	3,37%	3,14%
10000	59	0,99%	77	1,20%	53	0,88%	1,02%
20000	25	0,42%	27	0,42%	22	0,37%	0,40%
größer	27	0,45%	16	0,25%	23	0,38%	0,36%

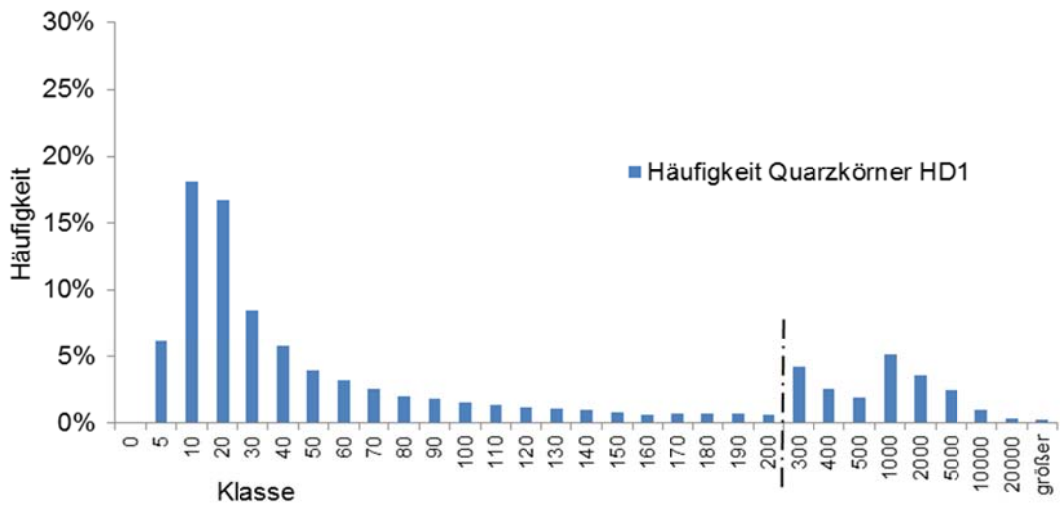


Abb. 3.73: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge HD1

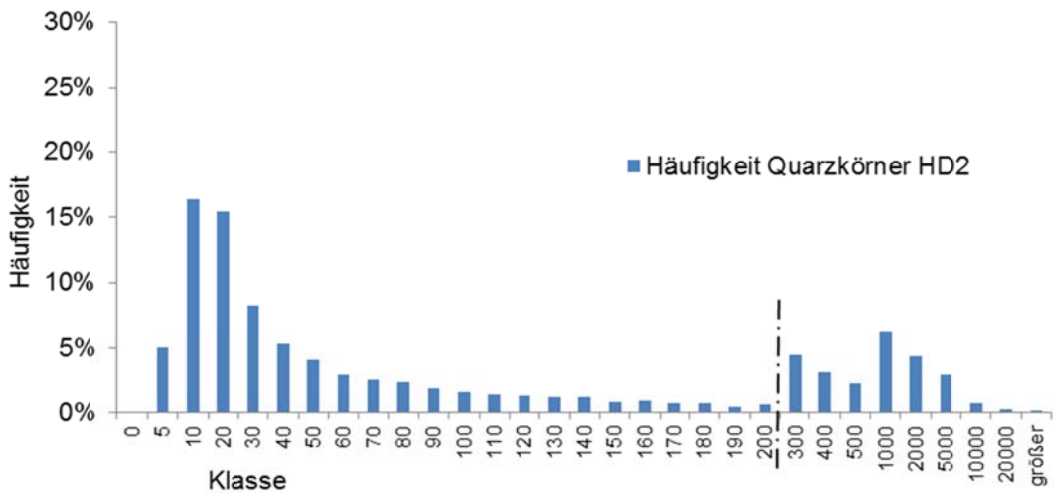


Abb. 3.74: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge HD2

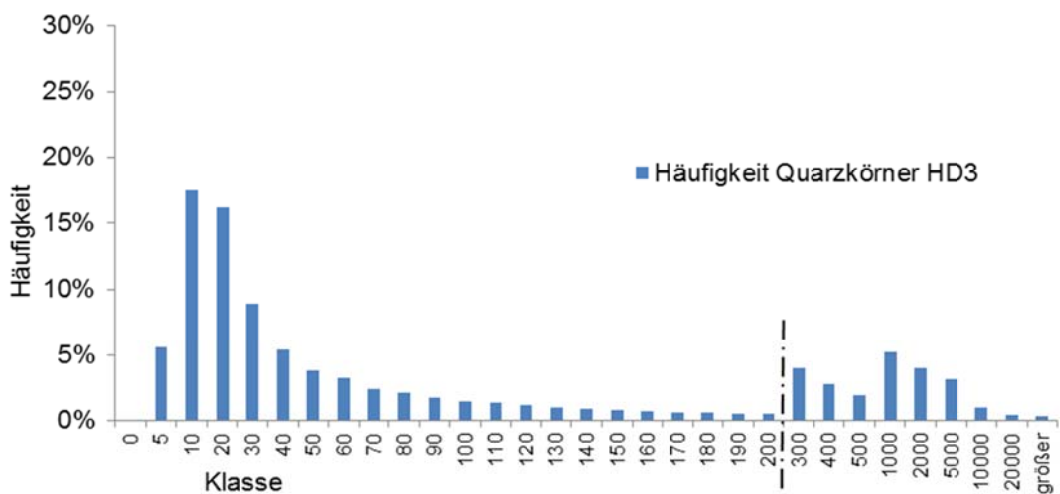


Abb. 3.75: Histogramm zur Korngrößenverteilung der Charge HD3



## **3.9 Kristallstrukturanalyse mithilfe der Röntgendiffraktometrie**

### **3.9.1 Versuchsbeschreibung**

Die Röntgendiffraktometrie (auch Röntgenbeugungsanalyse genannt) arbeitet mit einer Röntgenstrahlung von bestimmter Wellenlänge und nutzt die auf den Netzebenen der Minerale gebeugten, durch Interferenz verstärkten Strahlen unter Registrierung ihres Beugungswinkels und ihrer Intensität. Die daraus zu berechnenden Abstände der Netzebenen sind eine mineralspezifische Kenngröße und erlauben durch Vergleich mit Röntgendiagrammen bekannter Mineralarten, den Mineralbestand zu bestimmen. Der quantitative Anteil der einzelnen Mineralarten kann abgeschätzt, nach Kalibrierung näherungsweise — oder unter bestimmten Voraussetzungen nach Rietveld genauer — bestimmt werden. Die Vorgehensweise ist in DIN 66137 Teil 2 angegeben.

Mit Hilfe der Röntgenbeugungsanalyse können die kristallinen Bestandteile der Steine bestimmt werden. Diese sind in Tabelle 3.47 und Tabelle 3.48 aufgelistet. Anhand des gewählten Verfahrens ist nur eine qualitative Auswertung möglich, das heißt es kann nur grob bestimmt werden, wie groß der Anteil eines im Stein enthaltenen Minerals ist. Die Reihenfolge der Phasenanteile in der Tabelle ist nach dem enthaltenen Anteil im Stein geordnet. Oft können Phasen den Kristallen allerdings nicht eindeutig zugeordnet werden.





### 3.9.2 Ergebnisse der Analyse der Ziegelsteine

Tabelle 3.47: Phasenanteile der Ziegelsteine

Anmerkungen	Charge	Mineral											röntgenamorphe Anteile
		Quarz	Mikrolin, Kalifeldspat	Orthoklas, Kalifeldspat	Plagioklas, Albit / albit- reicher Feldspat	Plagioklas, anorthithaltiger Feldspat	Hämatit	Helglimmer (Muskovit)	Gehlenit	Spinel	Geofit		
	HH1	x	x		x		x	x		x	x	x	
	HH2	x	x		x		x	x		x	x	x	
	HH3	x	x		xx		x	x		x	x	x	
Typisch für Gesteinskörnung in Mz	WB1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Typisch für Gesteinskörnung in Mz; geringe Variation der Feldspäte zwischen WB1,2,3	WB2	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	
Typisch für Gesteinskörnung in Mz; HH2: höherer Anteil als HH1 und HH3; geringe Variation der Feldspäte zwischen WB1,2,3	WB3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Typisch für Gesteinskörnung in Mz; geringe Variation der Feldspäte zwischen WB1,2,3													
Typisch für Gesteinskörnung in Mz													

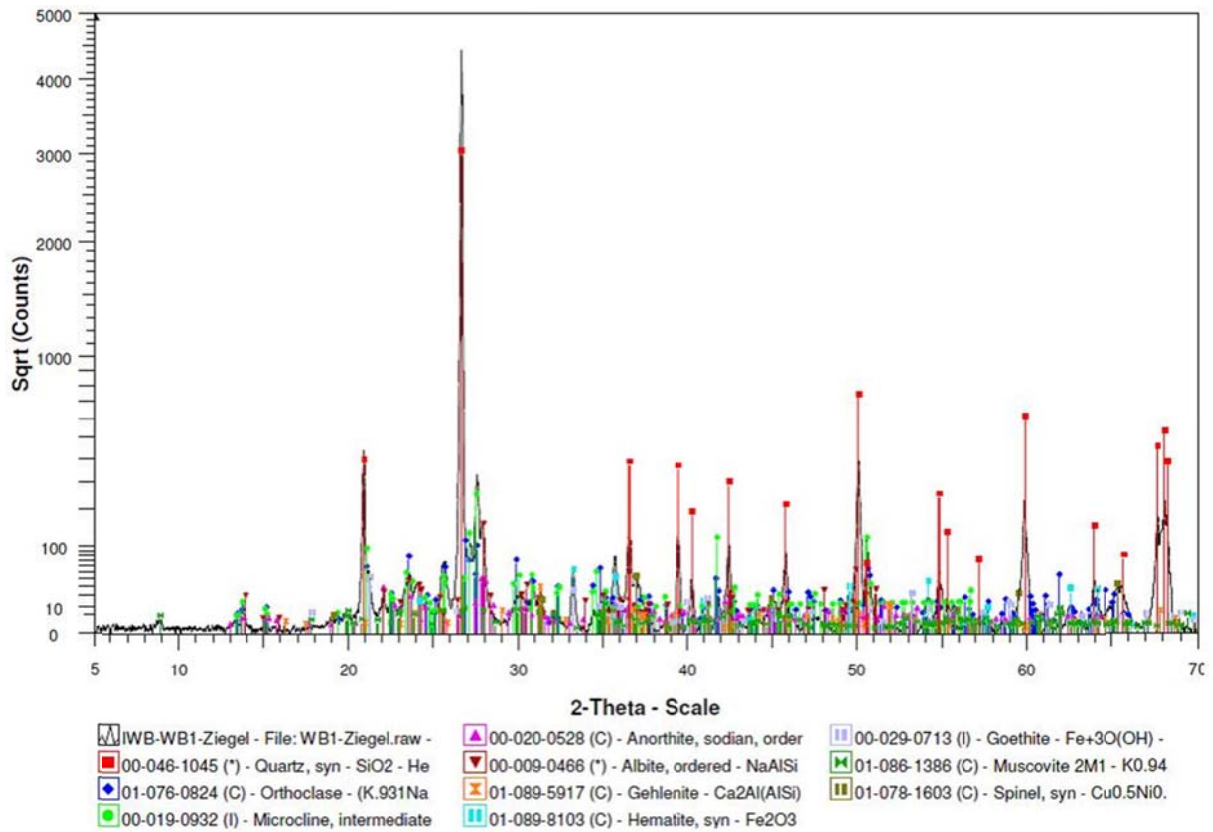


Abb. 3.76: Phasendiagramm der Probe WB1

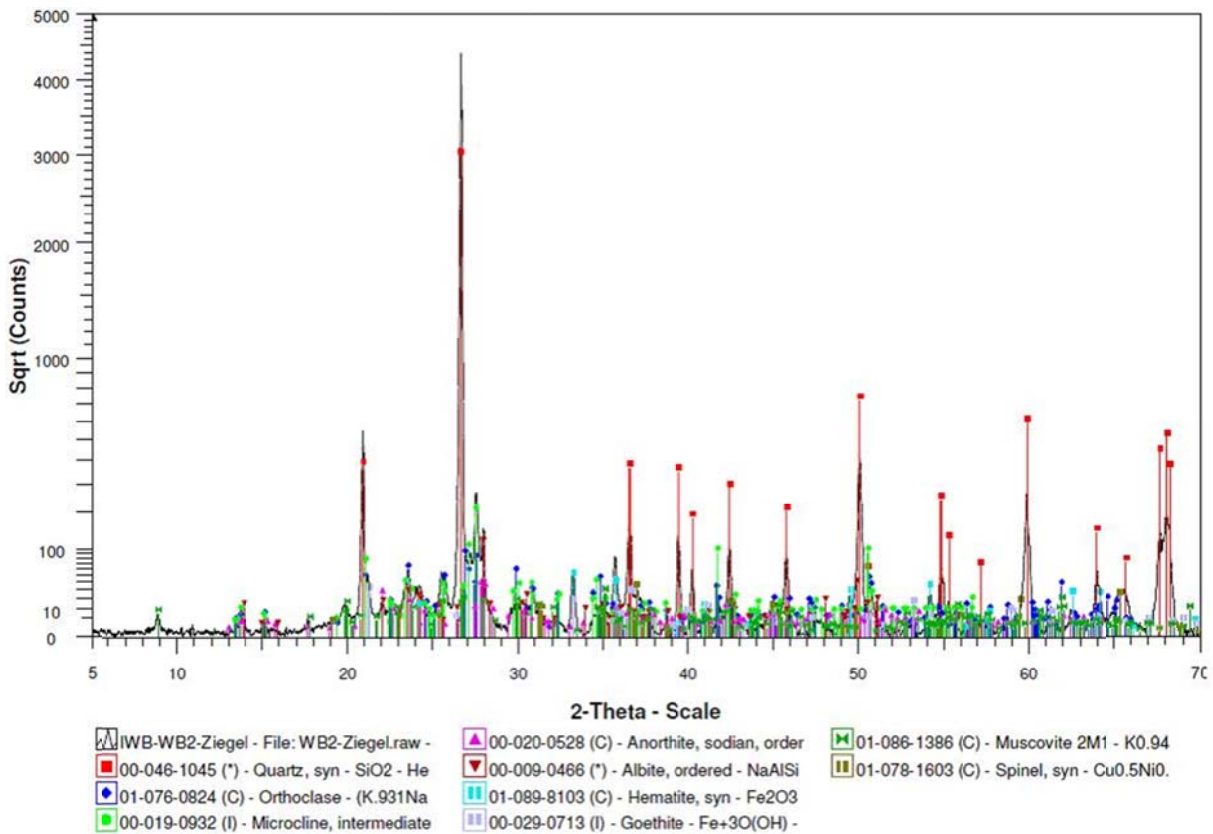


Abb. 3.77: Phasendiagramm der Probe WB2

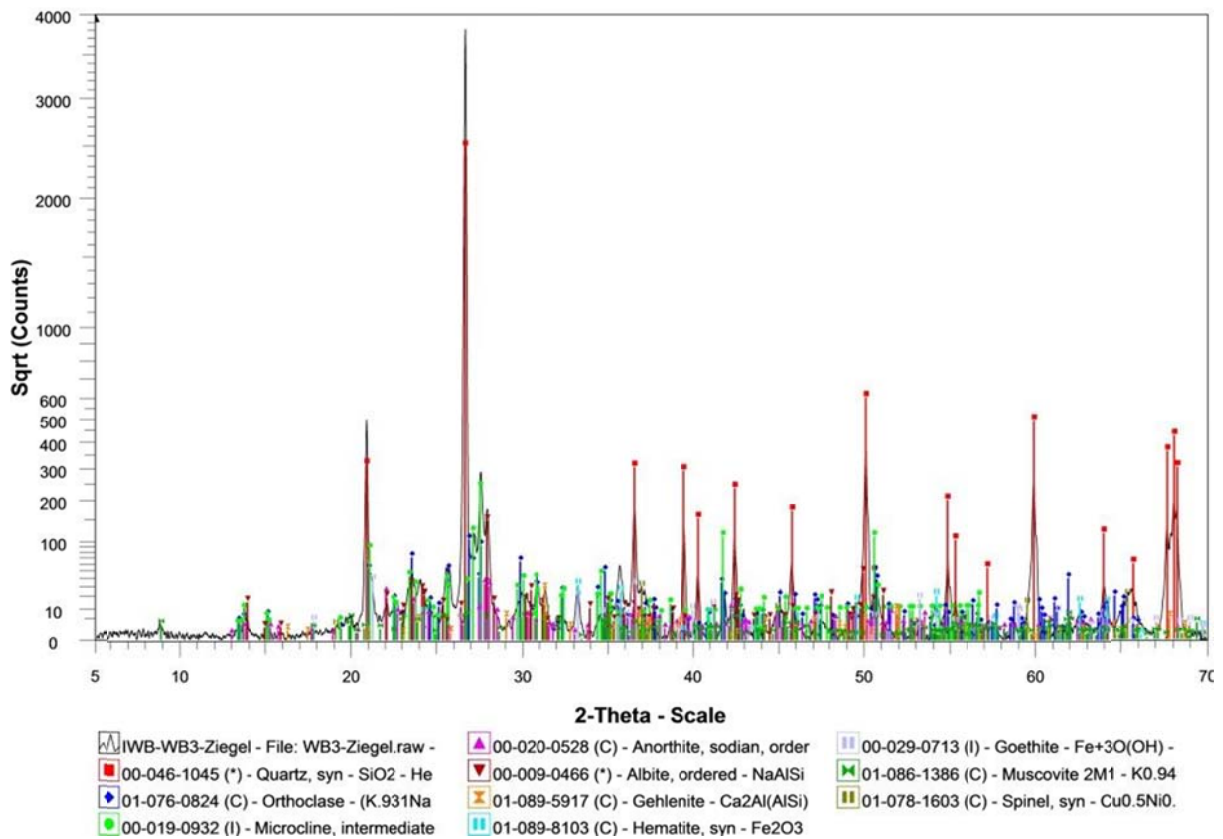


Abb. 3.78: Phasendiagramm der Probe WB3

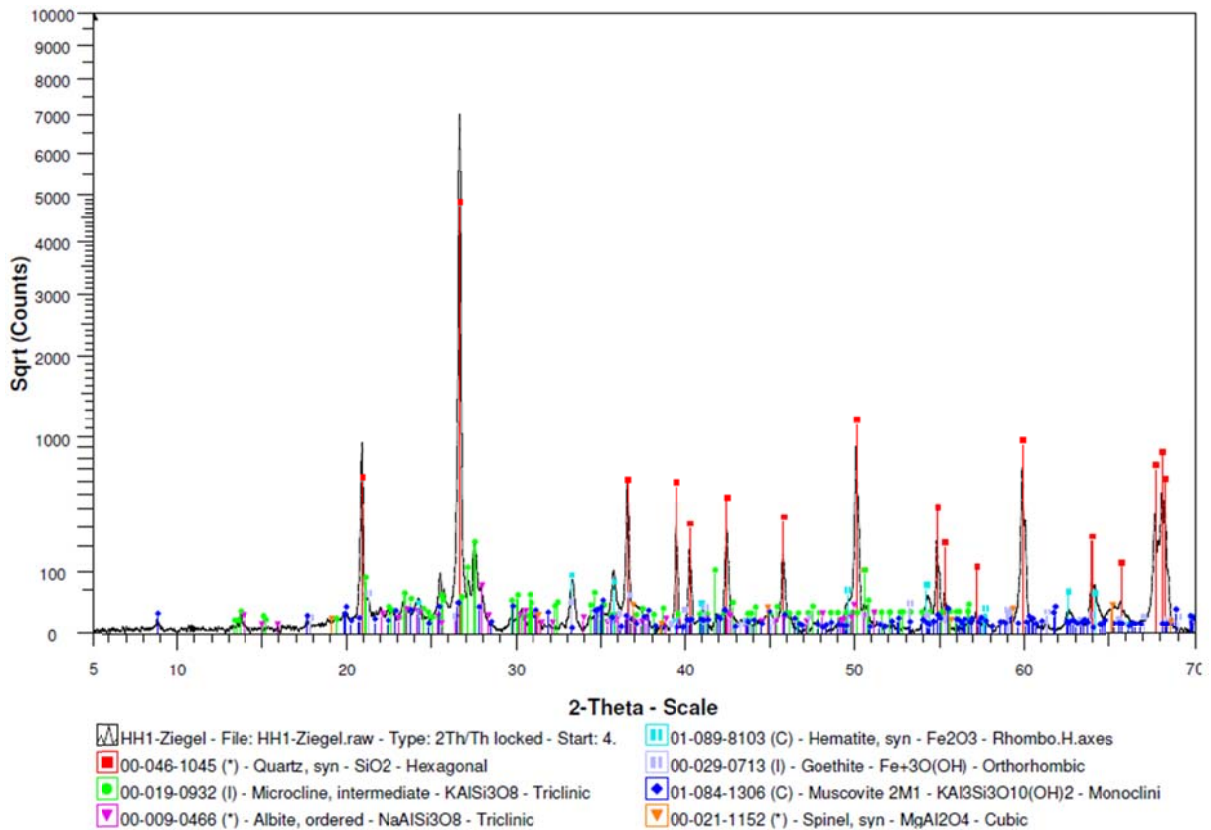


Abb. 3.79: Phasendiagramm der Probe HH1

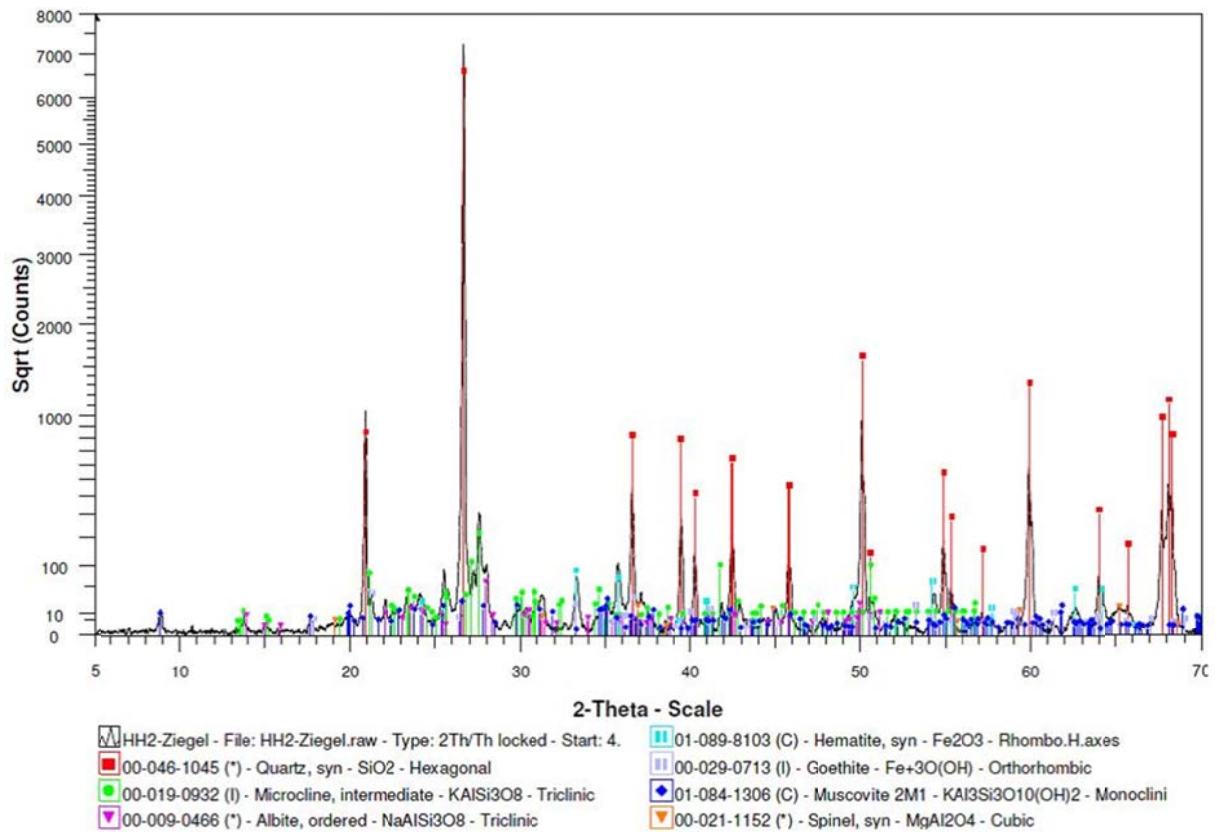


Abb. 3.80: Phasendiagramm der Probe HH2

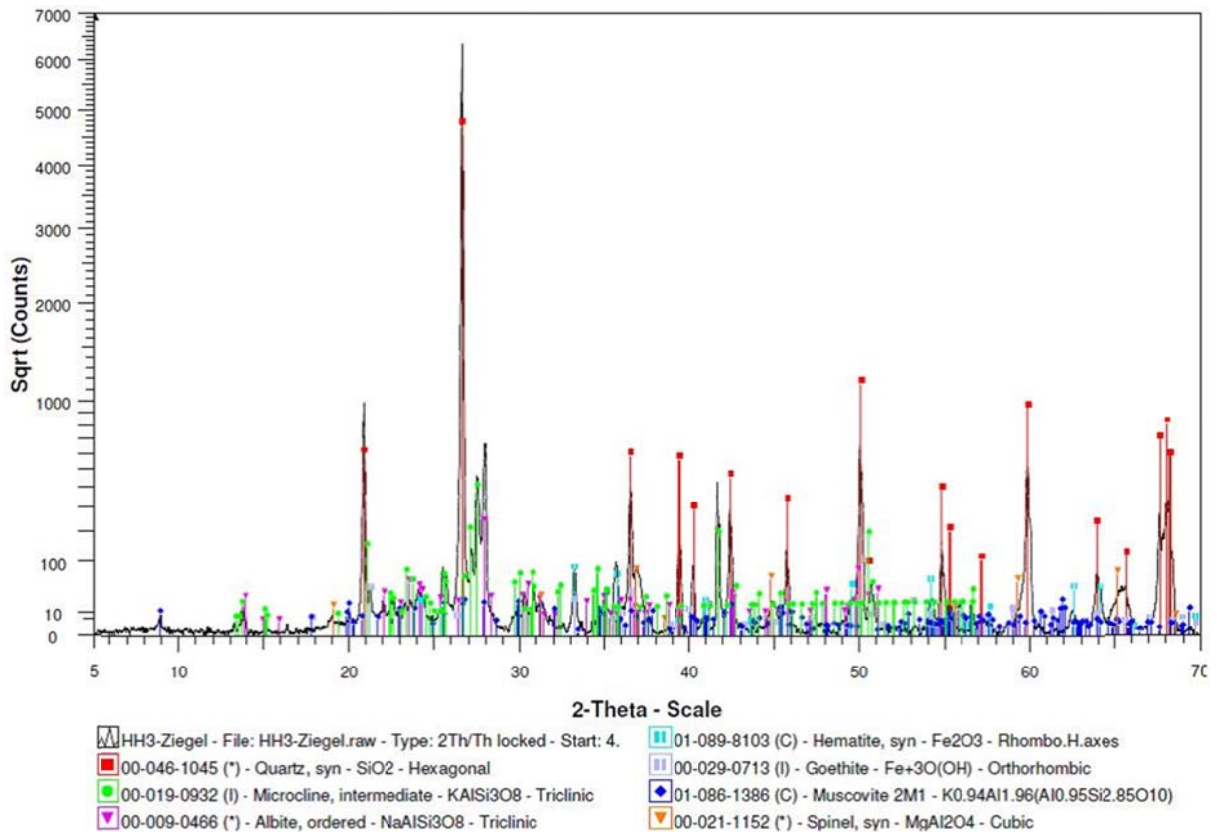


Abb. 3.81: Phasendiagramm der Probe HH3



### Allgemeines zum Ziegel:

Die Gesteinskörnung beziehungsweise der Sand der herkömmlicherweise zur Herstellung von Ziegelsteinen verwendet wird beinhaltet Quarze, Feldspäte, Glimmerminerale und/oder Karbonate. Grundsätzlich kann zwischen carbonatarmer und carbonatreicher Keramik unterschieden werden, je nachdem ob Kalziumreiche oder kalziumarme Stoffe verwendet wurden. Feldspäte können in zwei Mischkristallreihen unterteilt werden, zum einen in Kalifeldspäte und zum anderen in die Plagioklasreihe.

Typisch als Bindemittel sind die Schichtsilikate Kaolinit, Kaolinit-Fireclay, Montmorillonit und Illit.

Die Inhaltsstoffe des Ziegels können auch Aufschluss über den Brennvorgang geben. Die neugebildeten Minerale die beim Brennen im Ziegel entstehen sind Anorthit, Gehlenit, Wollastonit, Cristobalit, Mullit. Zum Teil zerfallen Sie bei bestimmten Temperaturen wieder. Zum Beispiel ist Gehlenit ein Indiz für einen relativ schwachen Brand, da es bei ca. 500°C bis 600°C zerfällt.

Im Folgenden sind die Übergänge bei den zugehörigen Temperaturen während des Brennvorgangs aufgelistet:

- Ca. 200°C: Eisenoxidhydrate (Goethit, Lepidokrodit) wird zersetzt, es entsteht Hämatit
- Ab ca. 500°C: Kaolinit zerfällt, Bildung von Metakaolinit (röntgenamorph)
- Ab ca. 530°C:  $\text{CaCO}_3$  wird unter oxidierenden Bedingungen in offenen Systemen zersetzt zu  $\text{CaO} + \text{CO}_2$
- Ca. 500°C – 600°C: Zerfall von Gehlenit
- Ca. 600°C – 850°C: Chlorite werden zersetzt zu Forsterit und Olivin
- Ab ca. 700°C: Zerfall von Illit
- Ca. 950°C- 1200°C: Metakalolinit zerfällt zu Mullit und Cristobalit

### Untersuchte Proben:

Die Angaben der Phasen in Tabelle 3.47 sind nach Anteil geordnet, d.h. die zuerst genannten haben den größten Anteil.

Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass bei den von einem Hersteller gelieferten Proben (HH bzw. WB) nur sehr geringe Unterschiede bei der kristallinen Zusammensetzung bestehen. Die Steine HH enthalten kein Gehlenit, was für eine Brenntemperatur über ca. 600°C spricht. Die Steine WB1 und WB2 enthalten Gehlenit, was für einen schwachen Brand spricht. Da der Stein WB2 kein Gehlenit enthält, kann angenommen werden, dass er bei höheren Temperaturen gebrannt wurde.

Untypisch ist das in allen Proben nachgewiesene Goethit, da dies normalerweise ab einer Temperatur von ca. 250°C zerfällt.

Normalerweise werden Ziegelsteine bei ca. 900°C – 1300°C gebrannt, was im Widerspruch zum enthaltenen Gehlenit und Goethit steht.



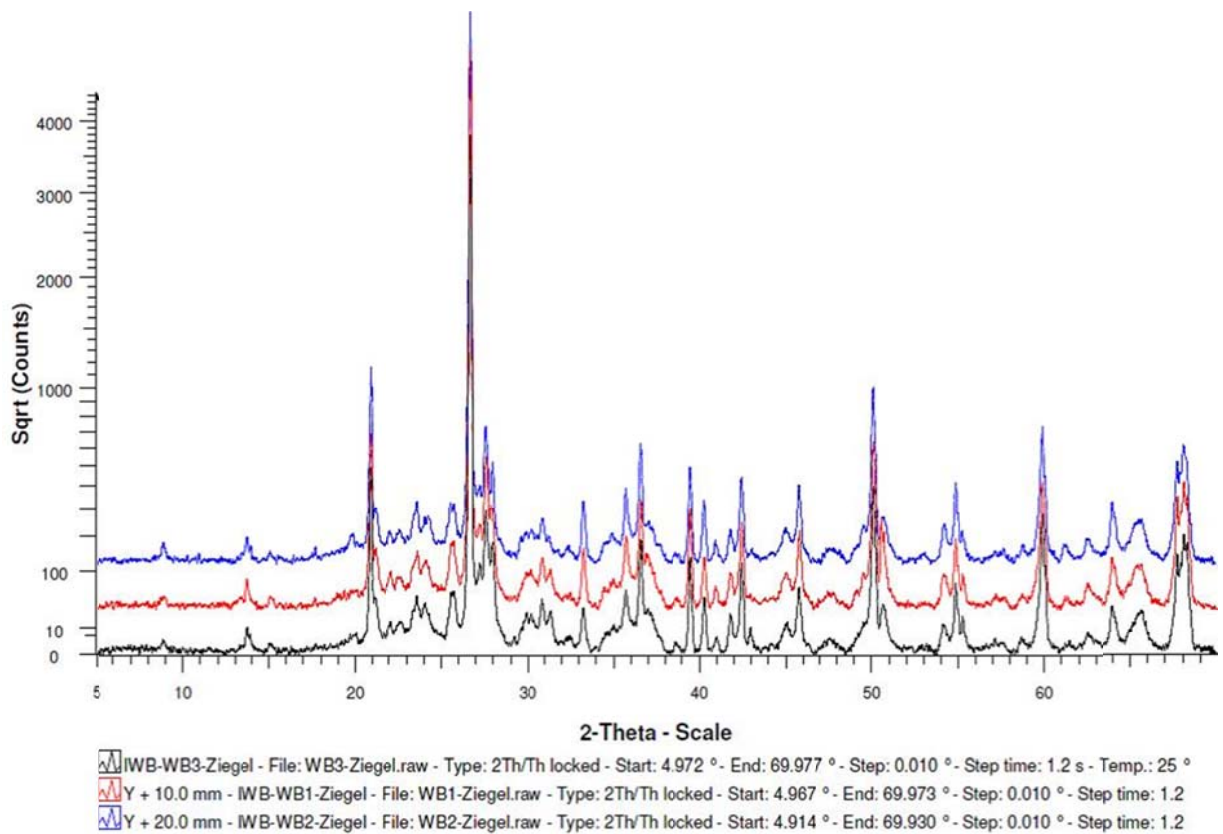


Abb. 3.82: Phasendiagramm zum Vergleich der Proben WB1, WB2 und WB3

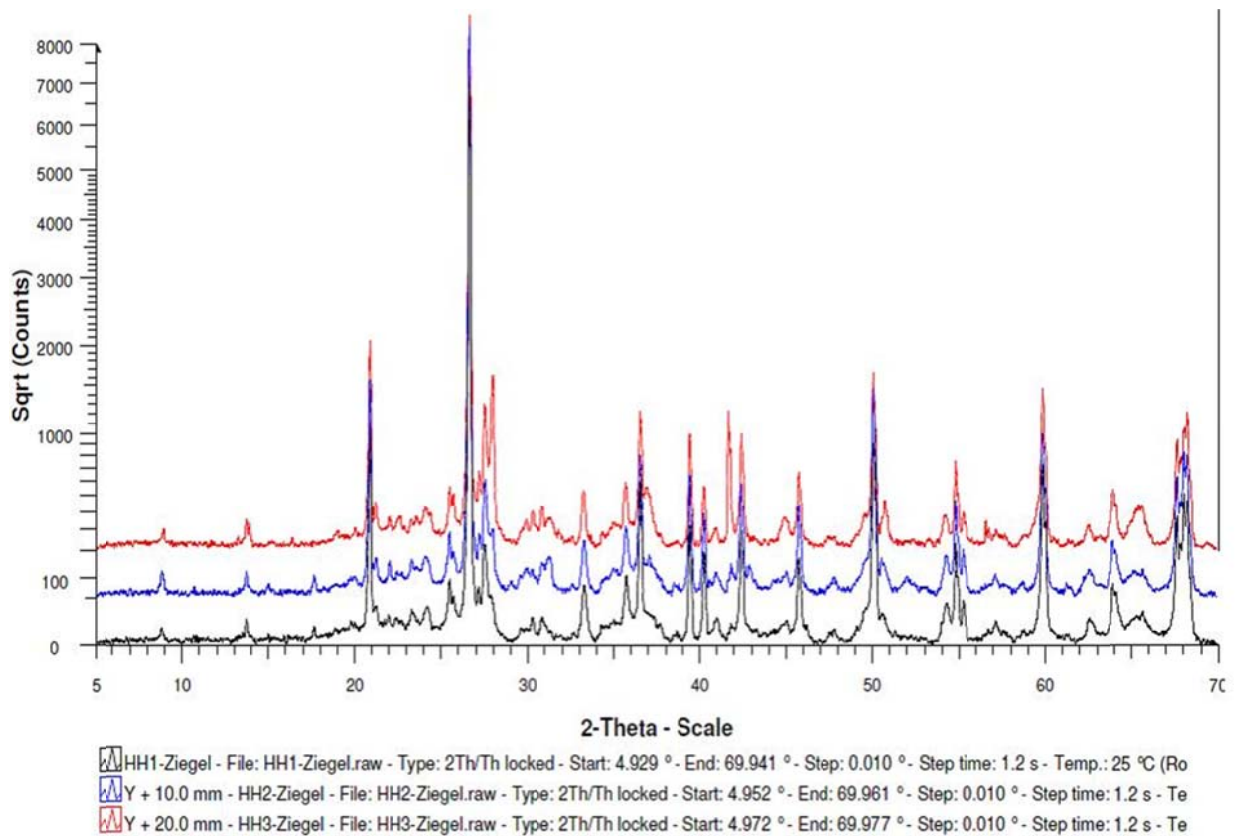


Abb. 3.83: Phasendiagramm zum Vergleich der Proben HH1, HH2 und HH3





### 3.9.3 Ergebnisse der Analyse der Kalksandsteine

Tabelle 3.48: Phasenanteile der Kalksandsteine

		Hoher Anteil → niedriger Anteil												
Anmerkungen	Mineral	Quarz	Dolomit	Kalzit	Mikrolin, Kalifeldspat	Plagioklas, Albit	Hellglimmer (Muskovit)	Kaolinit	Tobermorit, Kalziümsilikathydrate (CSH)	Katoit Ca-Al- Silikathydratphase	Chloridminerale, Clonichlor	Reinhardt- braunsit (CSH)	Chloridminerale, Chamosit	röntgenamorphe Anteile
		Charge	HD1	HD2	HD3	EB1	EB2	EB3						
Typisch für Gesteinskörnung im KS	HD1	x		x	x	x	x	x	x			x		x
	HD2	x		x	x	xx	x	x	x			x		x
	HD3	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x
nicht in HD enthalten	EB1	x	x	x	x	x	x	x	x					-
	EB2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			-
	EB3	x	x	x	x	x	x	x	x	x				-
EB: unterschiedlich hoher Anteil														
Typisch für Gesteinskörnung im KS leichte Variation zwischen EB 1,2,3														
HD1: weiterer Albit vorhanden														
Typisch für Gesteinskörnung im KS														
Tonmineral: aus verwitterten Feldspäten														
nur in HD3														
EB: nur undeutlich erkennbar														

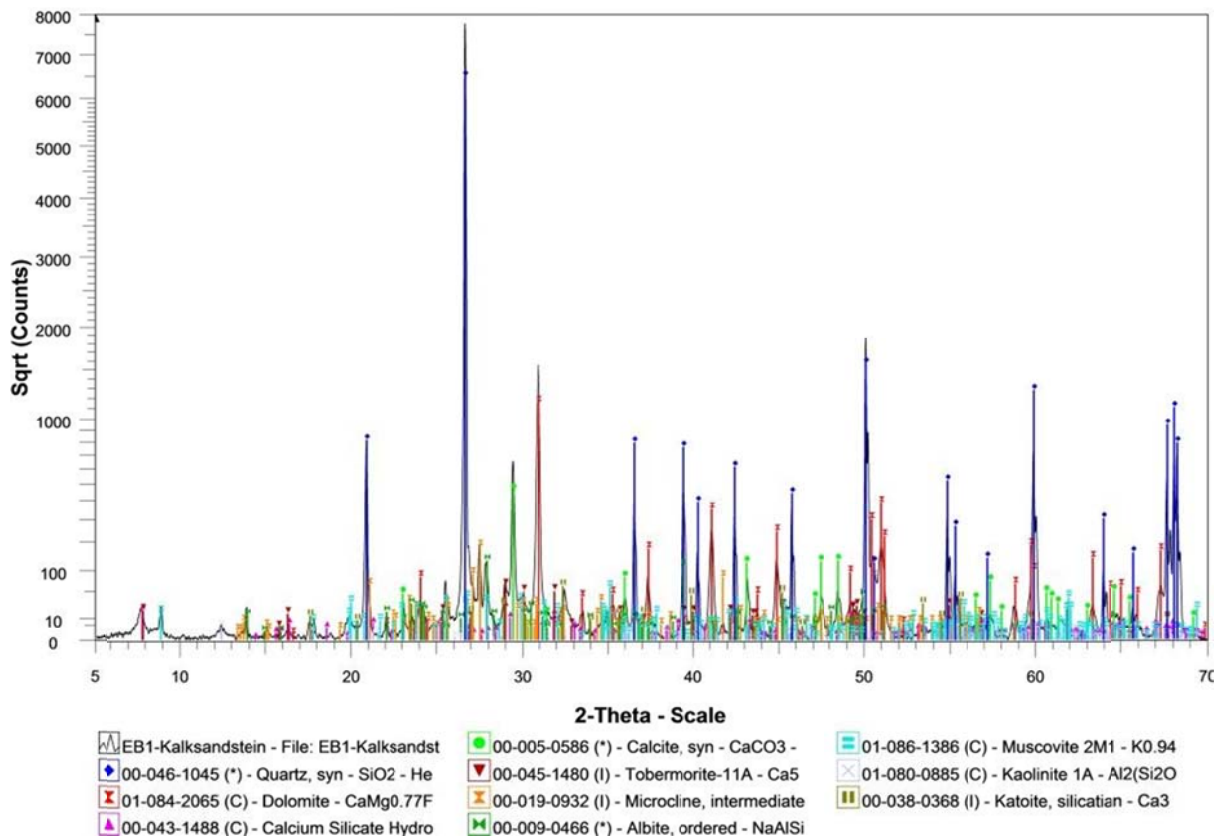


Abb. 3.84: Phasendiagramm der Probe EB1

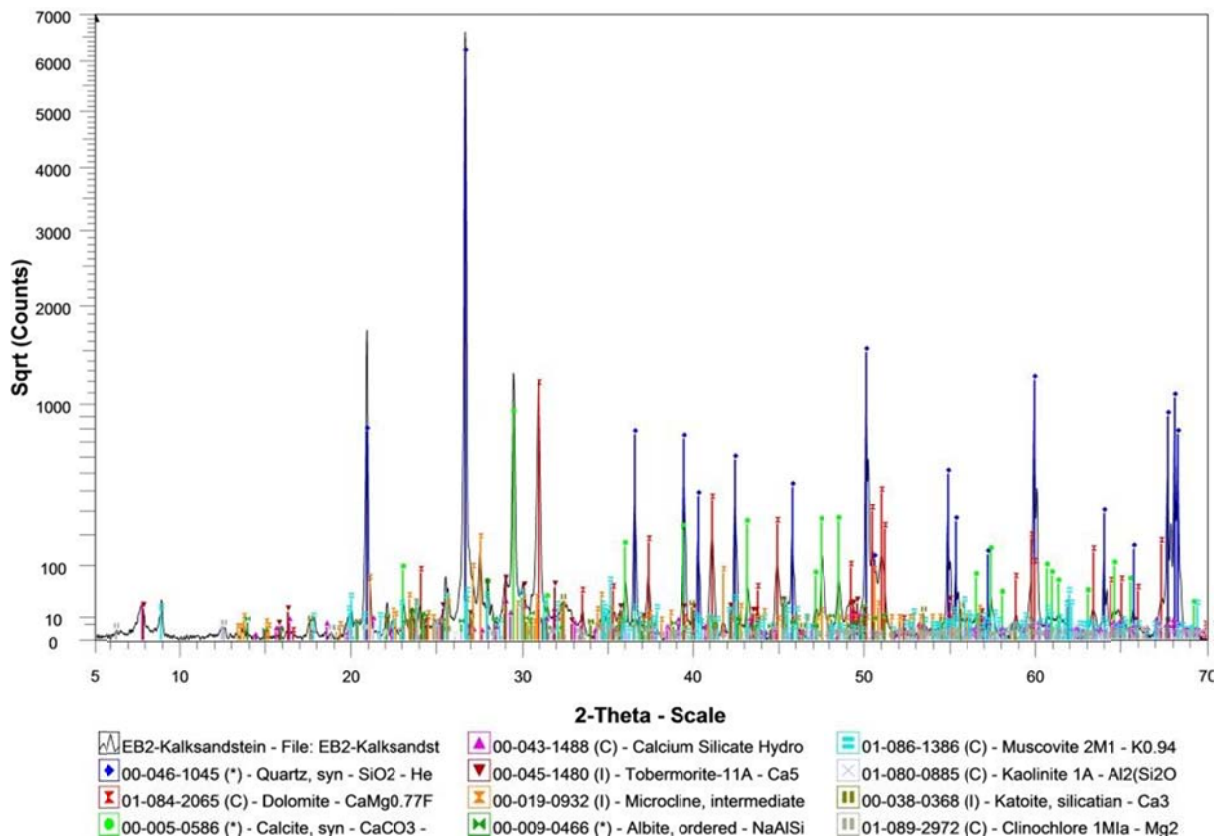


Abb. 3.85: Phasendiagramm der Probe EB2

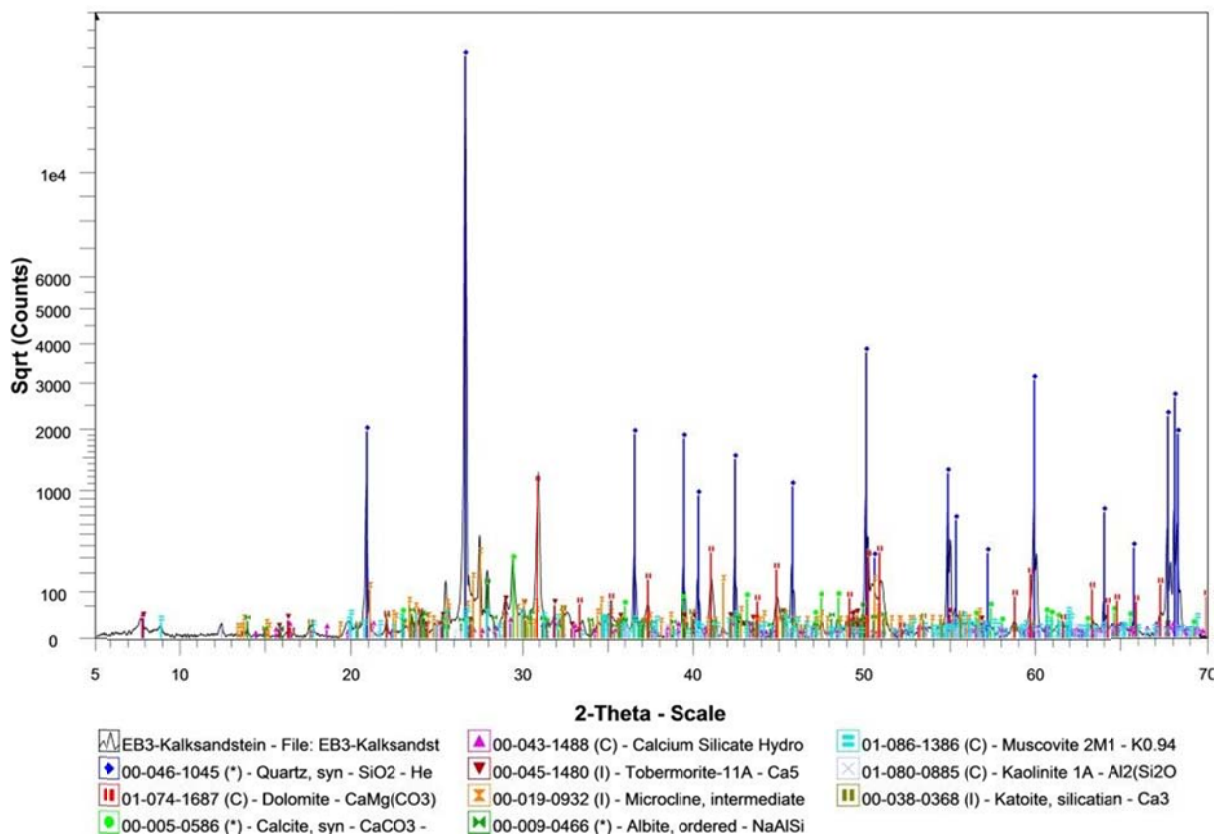


Abb. 3.86: Phasendiagramm der Probe EB3

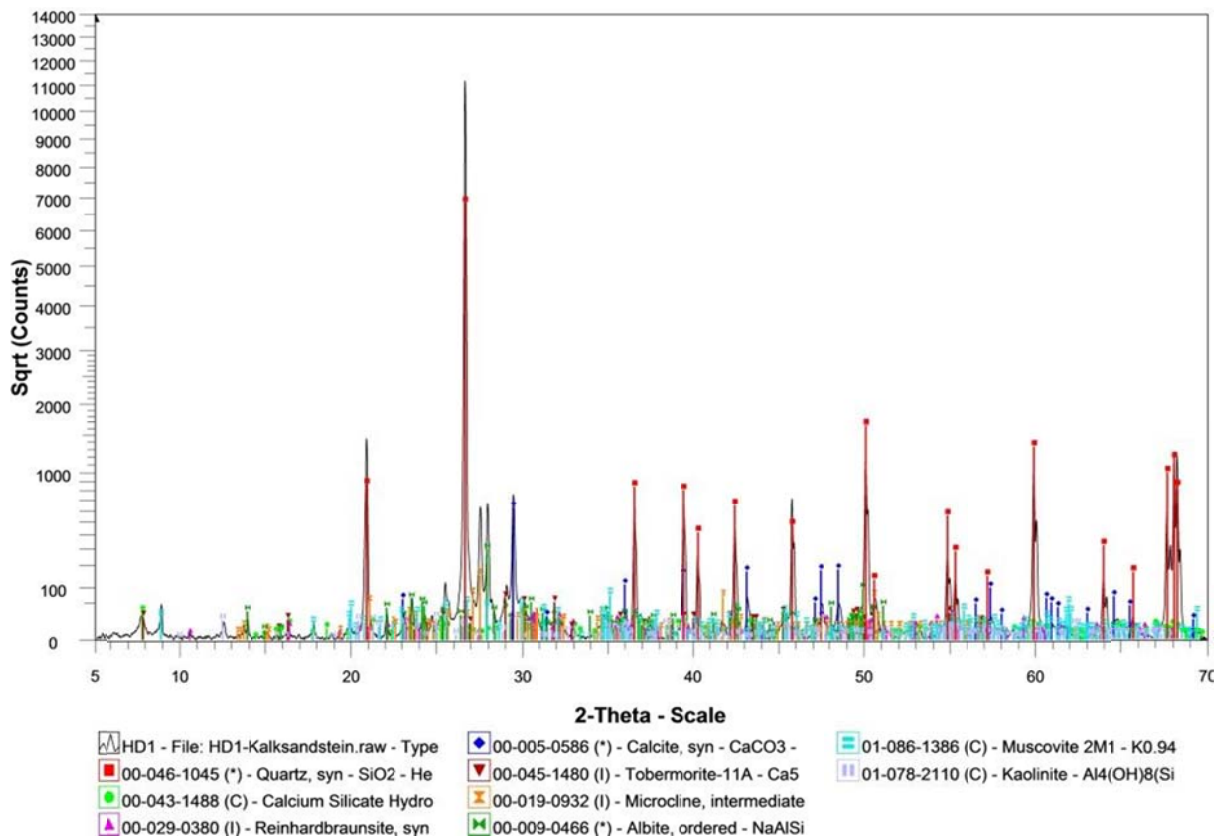


Abb. 3.87: Phasendiagramm der Probe HD1

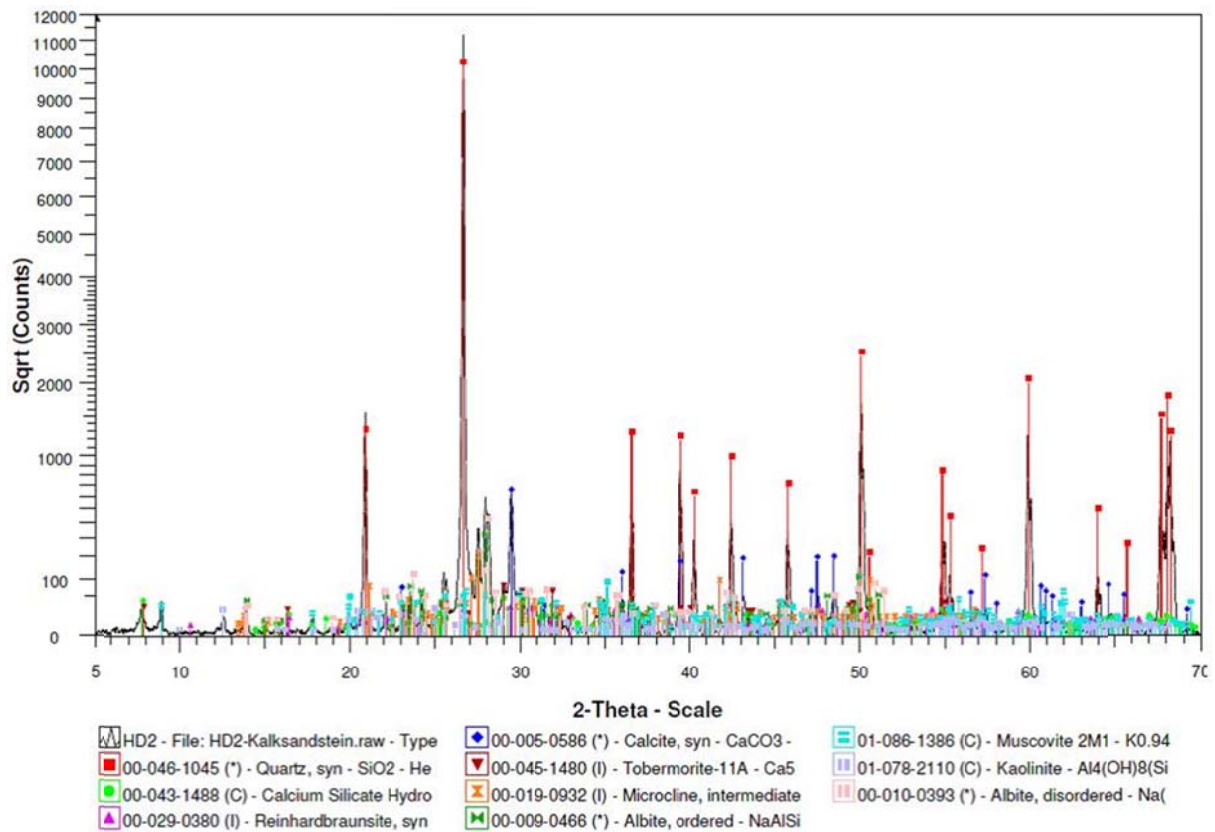


Abb. 3.88: Phasendiagramm der Probe HD2

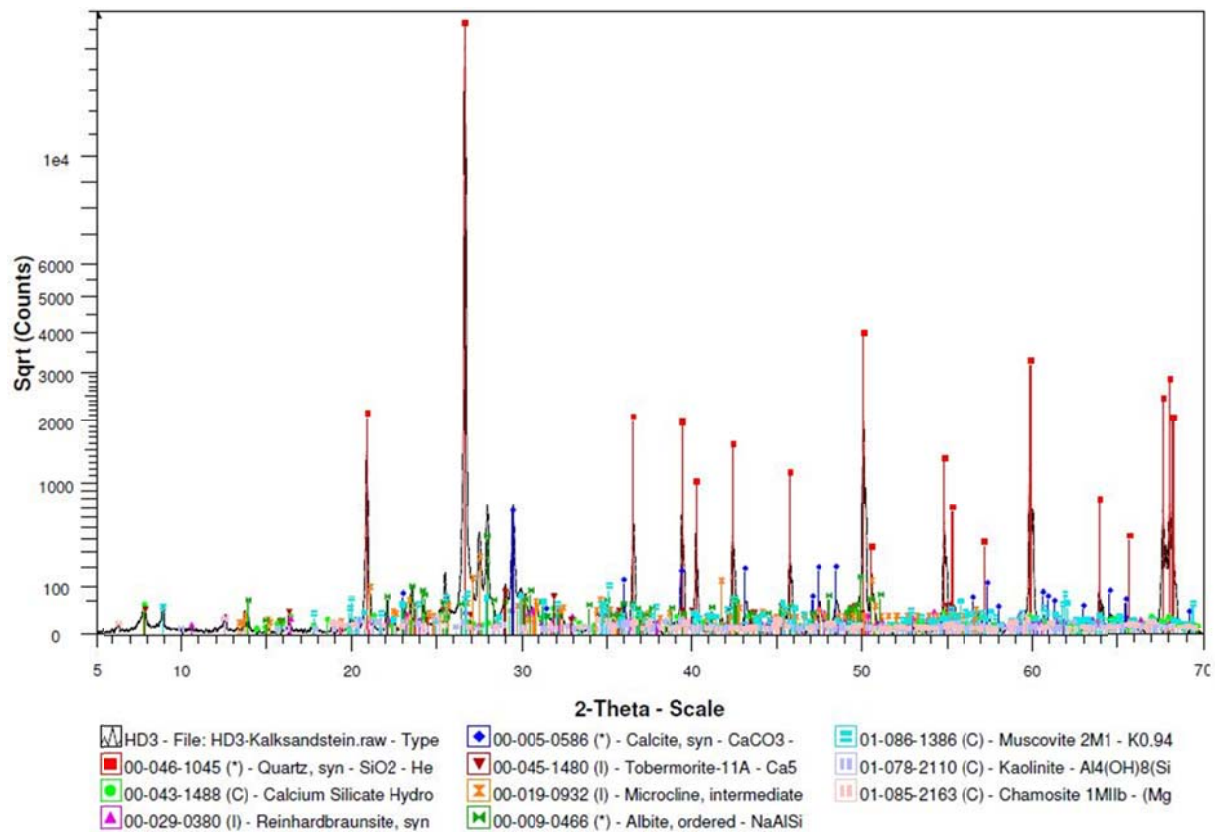


Abb. 3.89: Phasendiagramm der Probe HD3



Allgemeines zum Kalksandstein:

Typische Minerale für die Gesteinskörnung im Kalksandstein sind Quarz, Feldspäte, Glimmerminerale und Dolomit. Als Bindemittel dienen Tobermorit, Katoit und röntgenamorphe Anteile, die bei der Röntgendiffraktometrie nicht erfasst werden können.

Untersuchte Proben:

Zwischen den einzelnen Chargen des Herstellers HD konnten kaum Unterschiede festgestellt werden.

Die Steine EB streuen etwas mehr, zum Beispiel durch unterschiedliche Anteile an Kalzit. Allerdings bestehen auch hier insgesamt nur geringe Unterschiede.

Die Steine EB enthalten im Gegensatz zu den Steinen HD Dolomit, sogar in relativ hohem Anteil. Hier wurde für die Gesteinskörnung scheinbar ein anderer Sand verwendet.

Laut Hersteller besteht die Rohmischung für die Steine aus Natursand, Brechsand und Kalk. Kalksandsteine sind dampfgehärtet unter Druck bei ca. 160°C – 200°C. Daher kann im Gegensatz zum Ziegel anhand der verschiedenen Bestandteile nicht auf den Herstellungsvorgang geschlossen werden.



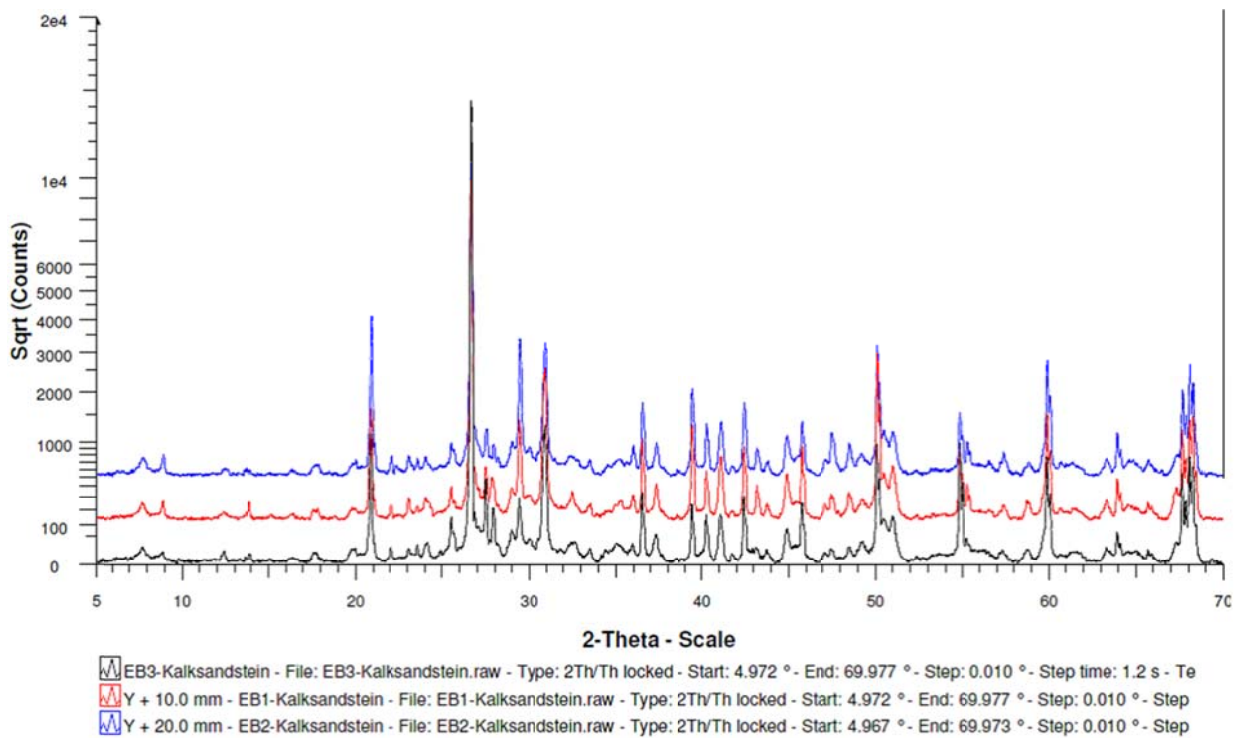


Abb. 3.90: Phasendiagramm zum Vergleich der Proben EB1, EB2 und EB3

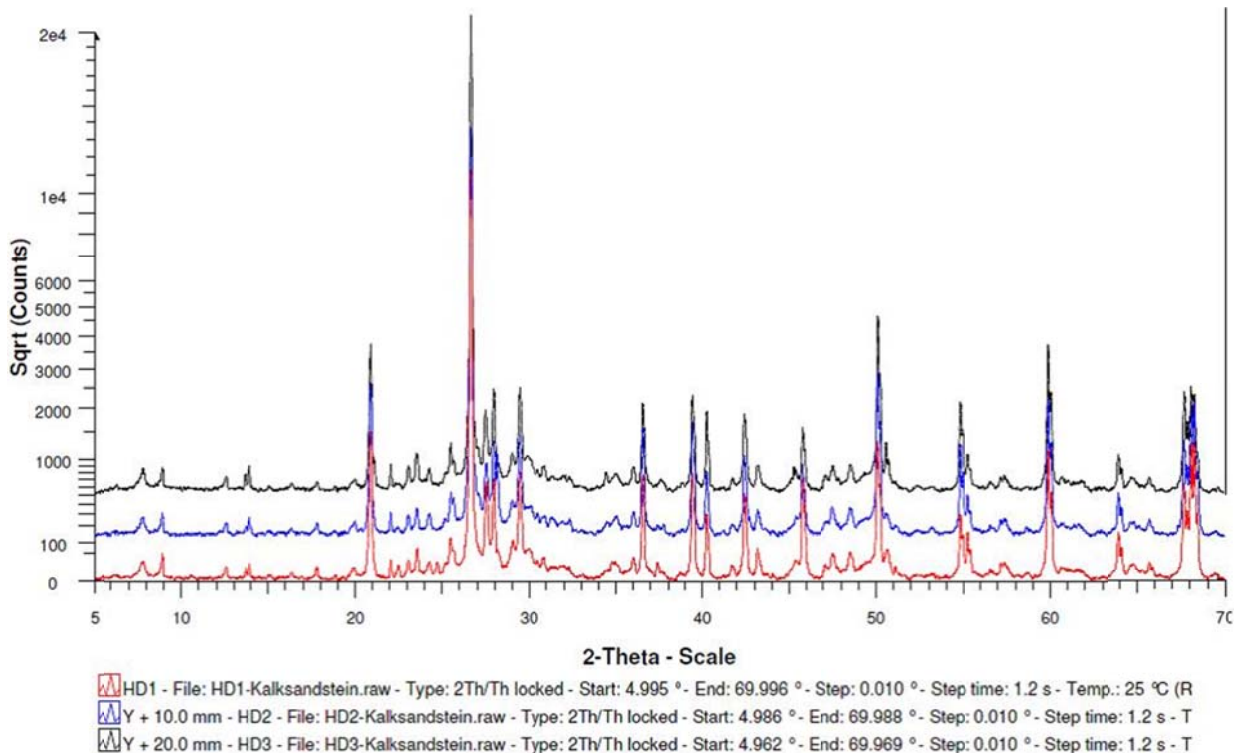


Abb. 3.91: Phasendiagramm zum Vergleich der Proben HD1, HD2 und HD3



## 4 Dübelauszugversuche

### 4.1 Versuchsprogramm und verwendete Dübel

Die Versuche zur Dübeltragfähigkeit wurden im Laborgebäude des IWB durchgeführt. Es wurden zentrische Zugversuche nach ETAG 020 am Einzelstein durchgeführt. Das Versuchsprogramm sah drei verschiedene Kunststoffdübel vor. Hierzu wurden vom IWB die in Tabelle 4.1 aufgeführten Kunststoffdübel verschiedener Hersteller ausgewählt. Alle gewählten Dübel besitzen entweder eine gültige europäisch technische Zulassung (ETA) oder eine bauaufsichtliche Zulassung und bestehen aus Polyamid. Einen Überblick über die verwendeten Dübel gibt Tabelle 4.1 die Dübel sind in Abb. 4.1 dargestellt.

**Tabelle 4.1: Verwendete Kunststoffdübel**

Bezeichnung	Art	Größe	$h_{ef}$	Zulassung vorhanden	Geprüfte Steine
A	Kunststoffdübel	M8	50 mm	✓	WB, HH, HD, EB
B	Kunststoffrahmendübel	M8	50 mm	✓	WB, HH, HD, EB
C	Kunststoffrahmendübel	M8	50 mm	✓	WB, HH
D	Kunststoffrahmendübel	M10	70 mm	✓	HD, EB
E	Kunststoffrahmendübel	M10	70 mm	✓	HD, EB



**Abb. 4.1: Verwendete Kunststoffdübel**

Aufgrund der Dübelgröße und der Formate der Steine konnten nicht alle Dübel in allen Steinen geprüft werden. Die Spreizkräfte der Dübel der Größe M10 waren so hoch, dass bei den kleineren Ziegelsteinen als Versagensart immer Spalten auftrat, sodass keine Auszuglasten mit den anderen Steinen verglichen werden konnten. Aus diesem Grund wurden hier Dübel desselben Fabrikats in der Größe M8 verwendet. Zusätzlich wurde die Verankerungstiefe bei den Dübeln B und C reduziert, indem der Dübel flacher gesetzt wurde. Die tatsächliche Verankerungstiefe in den hier durchgeführten Versuchen ist in Tabelle 4.1 angegeben. Zudem mussten die Ziegelsteine vorgespannt werden um ein Spalten, zum Teil schon während der Montage zu vermeiden. Die Spannung betrug ca. 10% der zu erwartenden Druckfestigkeit. Die Einspannvorrichtung ist in Abb. 4.2 und Abb. 4.3 zu sehen.

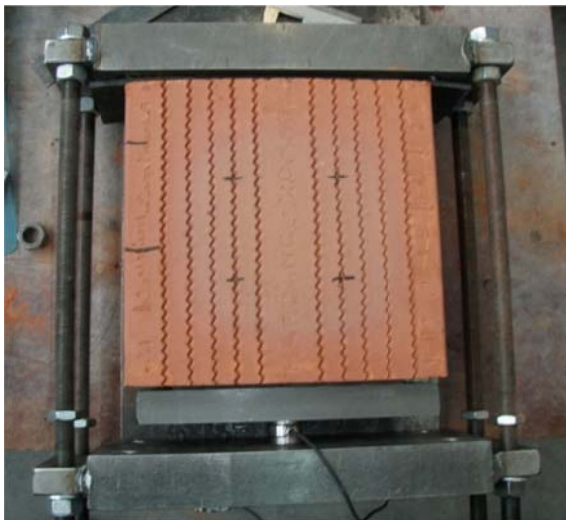


Abb. 4.2: Ziegelstein, eingespannt im Rahmen

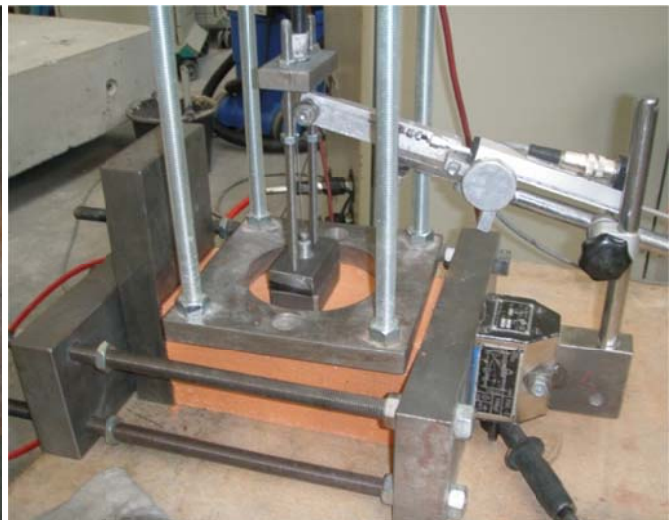


Abb. 4.3: Im Rahmen eingespannter Ziegelstein während des Auszugversuchs

## 4.2 Montage

Die Montage der Dübel erfolgte nach Montageanleitung im Einzelstein. Die Bohrlöcher wurden gereinigt, anschließend wurden die Dübel in Durchsteckmontage gesetzt. Bohrschneideneckmaß, Bohrmaschine, Bohrlochtiefe, und Anbauteilabmessungen wurden protokolliert. Es wurde im Hammerbohrverfahren gebohrt. Die Ziegelsteine wurden wie oben beschrieben zuvor vorgespannt. Beim Setzen wurde das in der Montageanleitung angegebene Montage-drehmoment  $T_{\text{inst}}$  aufgebracht und protokolliert.

## 4.3 Versuchsdurchführung

Das Anbauteil war Teil einer Traverse, in die eine Gewindestange eingeschraubt war. Diese Gewindestange wurde durch den hydraulischen Lastzylinder und eine Kraftmessdose geführt und mit einer Mutter fixiert. Die Verschiebung des Dübels wurde mit einem Wegaufnehmer gemessen, der über einen an einem Drahtseil befestigten Magneten mit der Dübelschraube verbunden war. Last und Verschiebung wurden mit einem Messprogramm aufgezeichnet. Abb. 4.4 zeigt den Versuchsaufbau.



Kraftmessdose

Hydraulikzylinder

Gewindestange

Traverse

Magnet

Wegaufnehmer

Anbauteil

Abb. 4.4: Dübelauszugversuch



## 4.4 Versuchsergebnisse

### 4.4.1 Übersicht

In den folgenden Tabellen ist eine Übersicht über die erzielten Ergebnisse der zentrischen Auszugversuche gegeben. Sämtliche Versuchsprotokolle, sowie die Last-Verschiebungskurven und Bilder der Dübel sind dem Anhang A2 zu entnehmen.

**Tabelle 4.2: Versuchsauswertung der Auszugversuche mit Dübel A**

Charge	Dübel	Anzahl	$h_{ef}$	$N_{u,m}$	Variationskoeff.	Verschiebung bei $0,5N_{u,m}$	Variationskoeff.	Versagensart (überwiegend)
-	-	-	[mm]	[kN]		[mm]		
WB1	A	5	50	8,37	7,3%	0,14	21,8%	Auszug/Steinbr.
WB2	A	5	50	8,52	5,7%	0,14	39,5%	Auszug
WB3	A	5	50	8,72	18,8%	0,15	26,5%	H/S/Sp
HH1	A	5	50	6,96	13,1%	0,12	22,1%	H/S/Sp
HH2	A	5	50	8,69	7,5%	0,33	69,1%	H/Sp
HH3	A	5	50	7,12	33,3%	0,19	33,3%	Auszug
EB 1	A	5	50	8,77	9,2%	0,11	21,1%	Steinbr.
EB 2	A	5	50	8,23	2,4%	0,10	13,3%	Steinbr.
EB 3	A	5	50	7,34	7,3%	0,10	30,3%	Steinbr.
HD 1	A	5	50	11,26	9,6%	0,13	7,1%	Steinbr.
HD 2	A	5	50	11,12	5,3%	0,10	43,8%	Steinbr.
HD 3	A	5	50	11,44	7,4%	0,12	7,7%	Steinbr.

**Tabelle 4.3: Versuchsauswertung der Auszugversuche mit Dübel B**

Charge	Dübel	Anzahl	$h_{ef}$	$N_{u,m}$	Variationskoeff.	Verschiebung bei $0,5N_{u,m}$	Variationskoeff.	Versagensart (überwiegend)
-	-	-	[mm]	[kN]		[mm]		
WB1	B	5	50	9,73	4,6%	0,09	12,8%	Auszug
WB2	B	5	50	7,67	4,7%	0,06	36,5%	Auszug
WB3	B	5	50	9,33	8,8%	0,10	21,4%	Auszug
HH1	B	5	50	5,85	5,8%	0,04	43,9%	Auszug
HH2	B	5	50	5,21	20,9%	0,20	21,9%	Auszug
HH3	B	5	50	4,55	16,3%	0,12	52,3%	Auszug
EB 1	B	5	50	8,42	2,2%	0,06	19,9%	Auszug
EB 2	B	5	50	8,04	4,8%	0,08	34,8%	Auszug
EB 3	B	5	50	7,92	6,7%	0,09	82,4%	Auszug
HD 1	B	5	50	10,06	3,3%	0,16	56,3%	Auszug
HD 2	B	5	50	9,86	2,3%	0,13	37,6%	Auszug
HD 3	B	5	50	10,16	2,0%	0,14	68,5%	Auszug



Tabelle 4.4: Versuchsauswertung der Auszugversuche mit Dübel C

Charge	Dübel	Anzahl	$h_{ef}$	$N_{u,m}$	Variations- koeff.	Verschiebung bei $0,5N_{u,m}$	Variations- koeff.	Versagensart (überwiegend)
-	-	-	[mm]	[kN]		[mm]		
WB1	C	5	50	10,78	6,2%	0,08	17,3%	Auszug/Steinbr.
WB2	C	5	50	8,51	6,9%	0,11	14,7%	Auszug/Steinbr.
WB3	C	5	50	9,71	7,0%	0,10	21,8%	Auszug
HH1	C	5	50	6,19	13,5%	0,05	43,6%	Auszug
HH2	C	5	50	5,13	39,0%	0,22	26,8%	Auszug
HH3	C	5	50	4,46	8,0%	0,09	53,6%	Auszug

Tabelle 4.5: Versuchsauswertung der Auszugversuche mit Dübel D

Charge	Dübel	Anzahl	$h_{ef}$	$N_{u,m}$	Variations- koeff.	Verschiebung bei $0,5N_{u,m}$	Variations- koeff.	Versagensart (überwiegend)
-	-	-	[mm]	[kN]		[mm]		
EB 1	D	5	60	12,53	6,0%	0,04	82,9%	Auszug
EB 2	D	5	60	11,85	7,7%	0,02	199,2%	Auszug/Steinbr.
EB 3	D	5	60	10,92	10,1%	0,02	74,7%	Auszug/Steinbr.
HD 1	D	5	60	14,01	8,4%	0,14	40,7%	Auszug
HD 2	D	5	60	13,15	2,9%	0,11	23,1%	Auszug
HD 3	D	5	60	13,34	4,0%	0,22	52,8%	Auszug

Tabelle 4.6: Versuchsauswertung der Auszugversuche mit Dübel E

Charge	Dübel	Anzahl	$h_{ef}$	$N_{u,m}$	Variations- koeff.	Verschiebung bei $0,5N_{u,m}$	Variations- koeff.	Versagensart (überwiegend)
-	-	-	[mm]	[kN]		[mm]		
EB 1	E	5	60	11,11	10,4%	0,02	74,7%	Auszug/Steinbr.
EB 2	E	5	60	10,85	8,5%	0,01	75,9%	Auszug/Steinbr.
EB 3	E	5	60	10,05	3,1%	0,01	36,4%	Auszug/Steinbr.
HD 1	E	5	60	13,26	8,2%	0,13	63,6%	Auszug
HD 2	E	5	60	12,74	2,8%	0,20	65,0%	Auszug
HD 3	E	5	60	13,12	4,1%	0,19	46,0%	Auszug



#### 4.4.2 Versagensart

Unter anderem durch die Einspannung der Ziegelsteine wurde versucht bei allen Versuchen spalten zu vermeiden. Beim Dübel A trat bei den Steinen des Herstellers HH zum Teil Spalten auf, bei allen anderen Dübeln und Steinen konnte Auszug oder Steinausbruch beobachtet werden. Bei den Kalksandsteinen verursachte Dübel A immer Steinausbruch. Dübel B versagte in allen Steinen durch Herausziehen, bei Dübel C trat vereinzelt Steinausbruch auf, ansonsten war auch hier die überwiegende Versagensart Herausziehen. Bei den Kalksandsteinen des Herstellers HD versagten auch die beiden Kunststoffrahmendübel der Größe M10 durch Auszug, bei den Kalksandsteinen des Herstellers EB zum Teil durch Herausziehen und zum Teil durch Steinausbruch, was wohl auf die höhere Druckfestigkeit der Steine HD zurückzuführen ist. Auch kombiniertes Versagen aus Auszug und Steinausbruch konnte festgestellt werden.



Abb. 4.5: Steine der Charge WB 1 mit Dübeln B nach dem Versuch; Versagensart: Auszug



Abb. 4.6: Stein der Charge HH 1 mit Dübel B nach dem Versuch; Versagensart: Steinausbruch



Abb. 4.7: Stein der Charge HH 2 mit Dübel A nach dem Versuch; Versagensart: Spalten



Abb. 4.8: Stein der Charge HH 3 mit Dübel A nach dem Versuch; Versagensart: Auszug



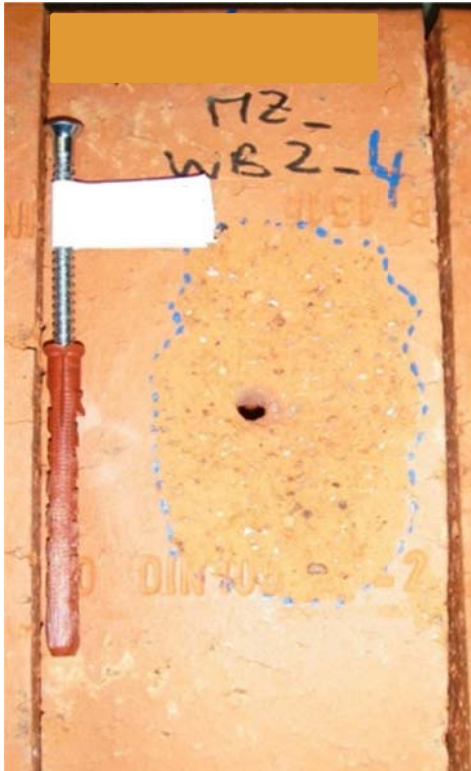


Abb. 4.9: Stein der Charge WB 2 mit Dübel C nach dem Versuch; Versagensart: Steinausbruch

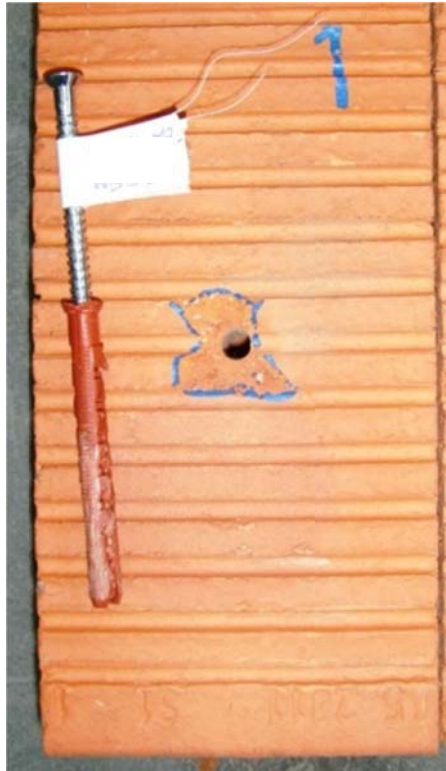


Abb. 4.10: Stein der Charge WB 3 mit Dübel C nach dem Versuch; Versagensart: Auszug



Abb. 4.11: Stein der Charge EB 2 mit Dübel E nach dem Versuch; Versagensart: Steinausbruch



Abb. 4.12: Stein der Charge HD 1 mit Dübeln B nach dem Versuch; Versagensart: Auszug



#### 4.4.3 Höchstlast und Streuung

Bei den Kalksandsteinen variierte die Höchstlast innerhalb einer Charge und auch eines Herstellers nur wenig. Trotz gleicher Verankerungstiefe ( $h_{ef}=50\text{mm}$ ) und Schraubengröße (M8) erzielte Dübel A in den Steinen HD höhere Lasten als Dübel B. In den Steinen EB erzielte er in etwa gleich hohe Lasten wie Dübel B. Bei allen Dübeln lagen die Höchstlasten in den Steinen EB rund 20 % höher als in den Steinen HD. Die Streuung war mit unter 10 % bei fast allen Serien gering.

Eine wesentlich höhere Streuung trat bei den Versuchen in den Steinen HH auf. Hier wurde bei zwei Serien ein Variationskoeffizient von über 30 % ausgewertet und bei weiteren vier Serien deutlich über 10 %. Vermutlich ist dies auf die vielen, in den Steinen vorhandenen Schwindrisse zurückzuführen. Die Streuung war bei den kleinformatischen Steinen (NF) etwas geringer als bei den großformatigen. Die Höchstlasten aller Dübel in den Steinen HH lagen deutlich unter den Höchstlasten der jeweiligen Dübel in den Steinen WB. Besonders bei Dübel A konnte festgestellt werden, dass die Höchstlasten zwischen den einzelnen Chargen eines Herstellers stark variierten, zum Teil war eine Abweichung von etwa 30 % aufgetreten. Die Variationskoeffizienten bei den Versuchen mit den Steinen WB waren, bis auf eine Ausnahme, mit Prozentsätzen von unter 10 % gering.



## 5 Unveröffentlichte Ergebnisse von Dübelherstellern / Forschungseinrichtungen

Tabelle 5.1: Übersicht der Versuchsergebnisse der Auszugversuche von Dübelherstellern / Forschungseinrichtungen

Stein	Format	Abmessungen	Wand/ Einzel- stein	Dü- bel	Grö- ße	$h_{ef}$	An- zahl	Druck- festig- keit (Stein)	Roh- - dich- te	$N_{u,m}$	$N_{u,m}$ ( $f_{c,norm,Stein}$ =20N/ mm <sup>2</sup> )	Vari- ations- koeff.	Versa- gensart (überwie- gend)
-	-	-	-	-	-	[m m]	-	[N/ mm <sup>2</sup> ]	[kg/ dm <sup>3</sup> ]	[kN]	[kN]	-	-
Mz 50a	NF	237x113x 72	Mauer- wand	A	M8	50	10	31,2	1,70	4,75	3,81	10,0%	Auszug
Mz 67	DF	228x107x 55	Mauer- wand	A	M8	50	5	36,9	1,81	6,24	4,60	5,5%	Auszug
Mz 01	3DF	240x173x 113	Mauer- wand	A	M8	50	7	25,1	1,74	5,18	4,62	11,5%	Spalten
Mz 64	NF	240x115x 71	Mauer- wand	A	M8	50	5	23,4	1,74	7,88	7,28	10,6%	Auszug/ Steinbr.
Mz 02	2DF	242x116x 111	k. A.	F	M10	50	10	26,7	2,22	4,80	4,15	9,8%	Auszug
Mz 50	NF	236x112x 72	k. A.	F	M10	50	5	53,8	1,75	7,87	4,80	5,6%	Auszug
Mz 01	3DF	240x173x 113	Mauer- wand	F	M10	50	7	25,1	1,74	5,09	4,54	3,1%	Auszug/ Oberfl.
KS 51	12D F	498x175x 237	Einzel- stein	A	M8	50	5	40,6	1,84	8,58	6,02	8,4%	Auszug
KS 4.3	NF	240x113x 71	Mauer- wand	A	M8	50	5	34,6	1,78	8,03	6,10	10,0%	Auszug
KS 3.2	NF	240x114x 71	Mauer- wand	A	M8	50	5	29,1	1,80	4,75	3,94	20,4%	Auszug/ Steinbr.
KS 03	NF	239x113x 70	Mauer- wand	F	M10	50	5	23,8	1,77	7,08	6,49	4,5%	Auszug
KS 51	12D F	498x175x 237	k. A.	F	M10	50	5	40,6	1,84	9,33	6,55	3,1%	Auszug

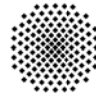


## 6 Literatur

- [1] F. Arifovic, M. P. Nielsen: Strength of anchors in masonry. Department of Civil Engineering; Technical University of Denmark. 10/2004
- [2] DIN 1048-5: Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesondert hergestellte Prüfkörper. Ausgabe 06/1996
- [3] DIN 12390-6: Prüfung von Festbeton – Teil 6: Spaltzugfestigkeit von Probekörpern. Ausgabe 09/2010
- [4] DIN 66137-2: Bestimmung der Dichte fester Stoffe – Teil 2: Gaspyknometrie. Ausgabe 12/2004
- [5] DIN EN 13925: Zerstörungsfreie Prüfung – Röntgendiffraktometrie von polykristallinen und amorphen Materialien. Ausgabe 07/2003
- [6] DIN EN 771-1: Festlegungen für Mauersteile – Teil 1: Mauerziegel. Ausgabe 07/2011
- [7] DIN EN 771-2: Festlegungen für Mauersteine – Teil 2: Kalksandsteine. Ausgabe 07/2011
- [8] DIN EN 772-1: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 1: Bestimmung der Druckfestigkeit. Ausgabe 07/2011
- [9] DIN EN 772-3: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 3: Bestimmung des Nettovolümens und des prozentualen Lochanteils von Mauerziegeln mittels hydrostatischer Wägung (Unterwasserwägung). Ausgabe 10/1998
- [10] DIN EN 772-4: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 4: Bestimmung der Dichte und der Rohdichte sowie der Gesamtporosität und der offenen Porosität von Mauersteinen aus Naturstein. Ausgabe 10/1998
- [11] DIN EN 772.6: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 6: Bestimmung der Biegezugfestigkeit von Mauersteinen aus Beton. Ausgabe 02/2002
- [12] DIN EN 772-13: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 13: Bestimmung der Netto- und Brutto-Trockenrohichte von Mauersteinen (außer Natursteinen). Ausgabe 09/2000
- [13] DIN EN 772-16: Prüfverfahren für Mauersteine – Teil 16: Bestimmung der Maße. Ausgabe 07/2011
- [14] R. Eligehausen, R. Mällée: Befestigungstechnik in Beton- und Mauerwerksbau. Ernst und Sohn GmbH. Berlin. 2000
- [15] R. Eligehausen, T. Pregartner, S. Weber: Befestigungen im Mauerwerk. Mauerwerk-Kalender 2000. S. 361 ff. Ernst und Sohn GmbH. Berlin. 2000



- [16] ETAG 020: Guideline for european technical approval of plastic anchors for multiple use in concrete and masonry for non-structural applications. Ausgabe April 2012
- [17] G. Feistel, E. Scheller: Befestigungsmittel für den Mauerwerksbau, Teil 1: Kunststoff- und Injektionsdübel mit nationalen und europäischen Zulassungen. Mauerwerk-Kalender 2007. Abschnitt B IV. Ernst und Sohn GmbH. Berlin. 2007
- [18] KS-Info GmbH (Hrsg.): Kalksandstein: Planung, Konstruktion, Ausführung. Verlag Bau+Technik GmbH. Düsseldorf. 2003
- [19] A. Meyer: Zum Tragverhalten von Injektionsdübeln in Mauerwerk. Dissertation. Institut für Werkstoffe im Bauwesen. Universität Stuttgart. 2005
- [20] W. Noll: Alte Keramiken und Ihre Pigmente. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller). Stuttgart. 1991
- [21] H. Schmidt: Über die Bedeutung des Mineralbestandes in grobkeramischen Rohstoffen. Sprechsaal 109. 514-520. 1976
- [22] T. Sippel: Untersuchung zum Einfluss des Bohrverhaltens auf das Tragverhalten von Kunststoff- und Injektionsdübeln in Mauerwerk. Institut für Werkstoffe im Bauwesen. Universität Stuttgart. Bericht Nr. 8/8-90/1.-1990
- [23] S. Weber, R. Eligehausen, B. Lehr, T. Sippel: Befestigungen im Mauerwerk: Versuche mit Kunststoff- und Injektionsdübeln. Institut für Werkstoffe im Bauwesen. Universität Stuttgart. Bericht Nr. W 3/3-97/14. 01/1998
- [24] G. Welz: Tragverhalten und Bemessung von Injektionsdübeln unter Quer- und Schrägzugbelastung im Mauerwerk. Dissertation. Institut für Werkstoffe im Bauwesen. Universität Stuttgart. 2012



**Universität Stuttgart**

Institut für Werkstoffe im  
Bauwesen

Abt. Befestigungs- und  
Verstärkungsmethoden

## **Prüfbericht**

### Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln in Vollsteinen unter Berücksichtigung der Materialeigenschaften und Materialzusammensetzung

## **Anhang A1**

### Bilder zur Auswertung von Dünnschliffen hinsichtlich Poren und Quarzkörnern

Der Anhang enthält 27 Seiten.

Die Vervielfältigung und Veröffentlichung des Prüfberichts in vollem als auch gekürztem Wortlaut sowie die Verwendung zur Werbung ist nur mit der schriftlichen Genehmigung des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen und nur innerhalb eines Zeitraums von 2 Jahren nach der Ausstellung zulässig. Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Stuttgart. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.



## 1 Ziegel WB

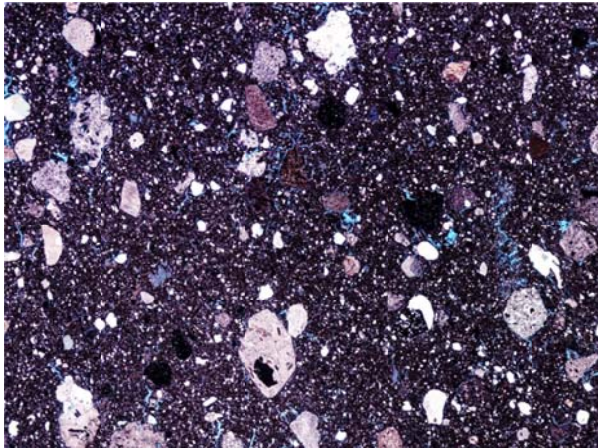


Abb. 1.1: Eingesannter Dünnschliff DS WB1\_1

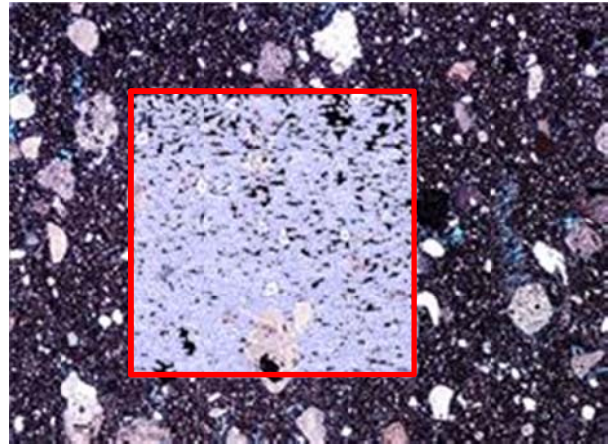


Abb. 1.2: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB1\_1

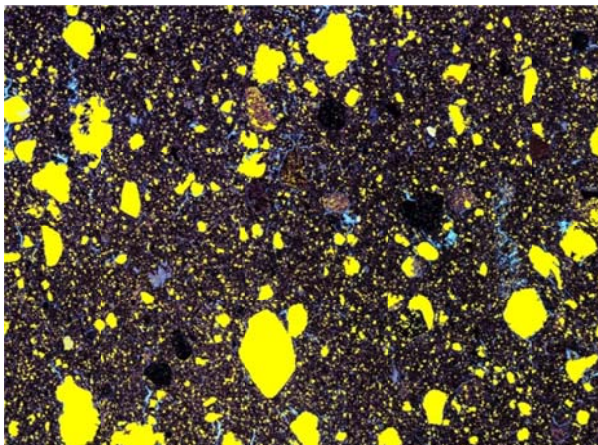


Abb. 1.3: Binärbild Quarzkörner DS WB1\_1



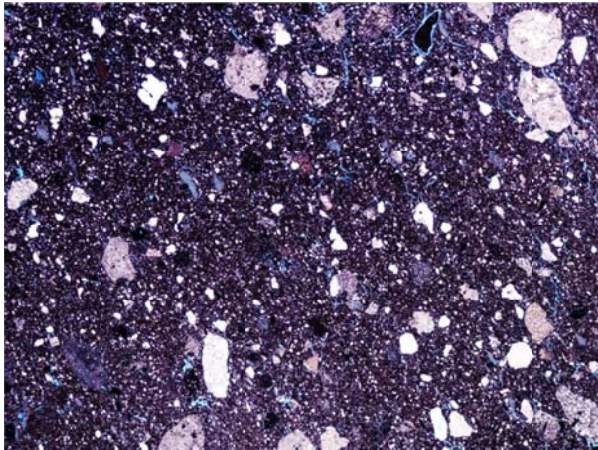


Abb. 1.4: Eingesannter Dünnschliff DS WB1\_2

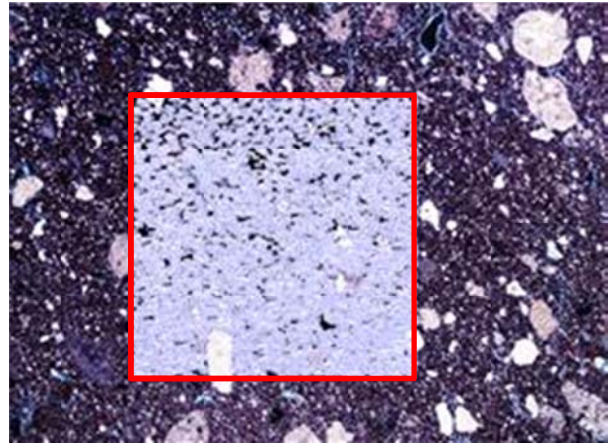


Abb. 1.5: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB1\_2

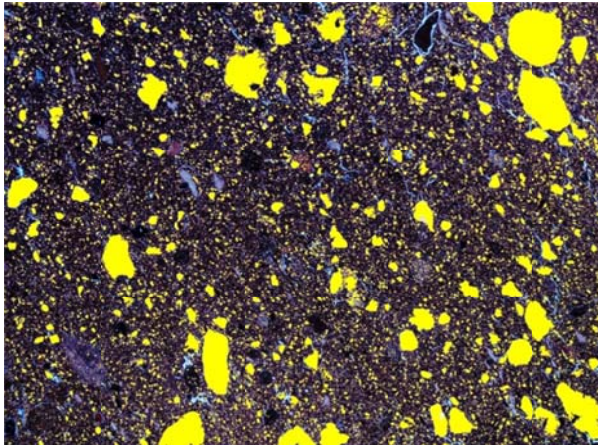


Abb. 1.6: Binärbild Quarzkörner DS WB1\_2

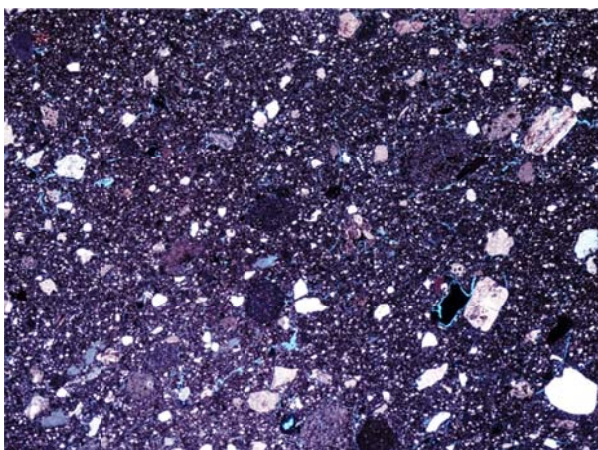


Abb. 1.7: Eingesannter Dünnschliff DS WB1\_3

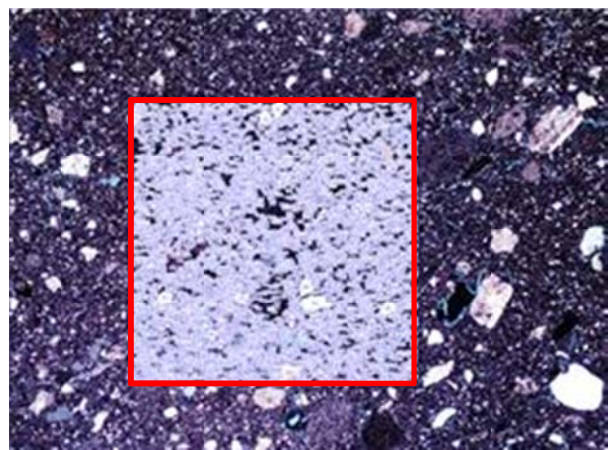


Abb. 1.8: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB1\_3



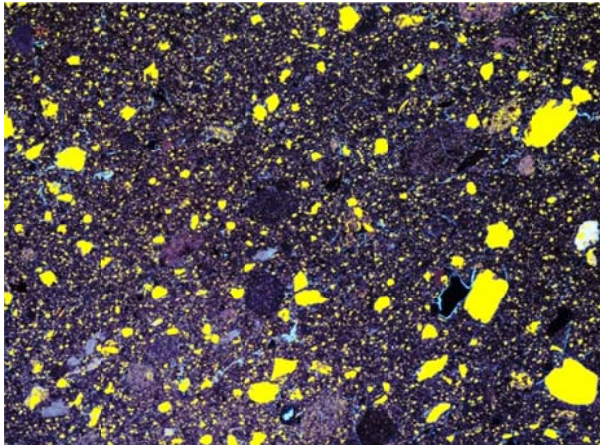


Abb. 1.9: Binärbild Quarzkörner DS WB1\_3

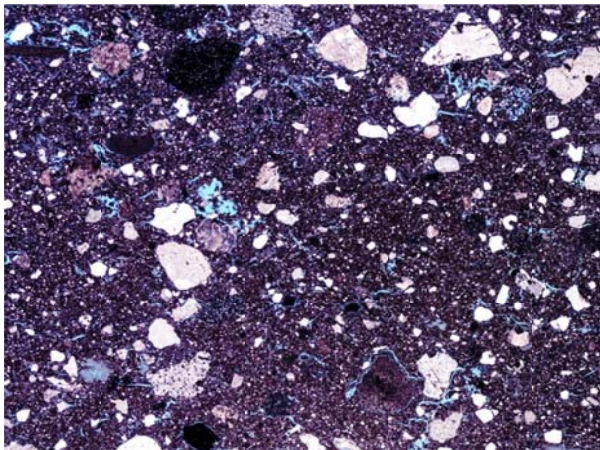


Abb. 1.10: Eingesannter Dünnschliff DS WB2\_1

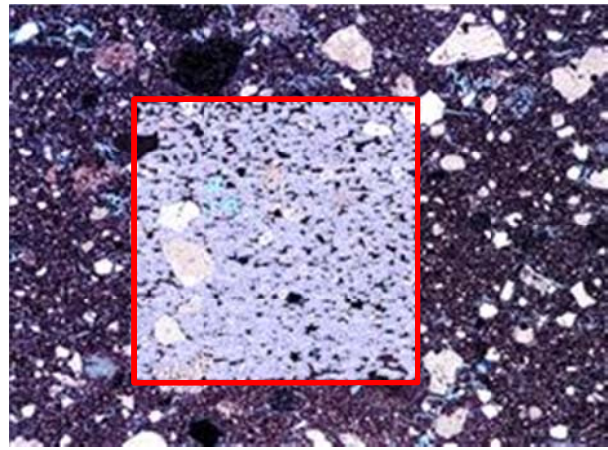


Abb. 1.11: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB2\_1

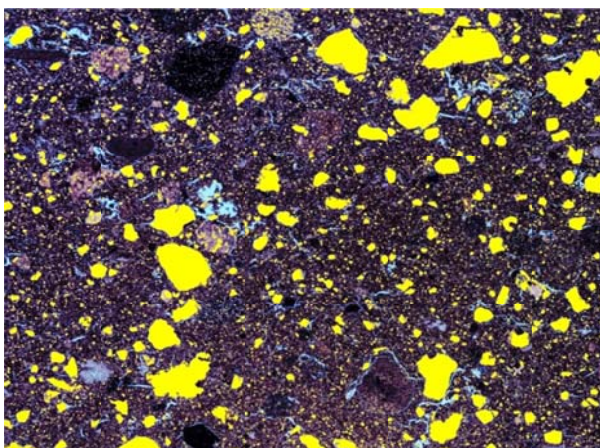


Abb. 1.12: Binärbild Quarzkörner DS WB2\_1



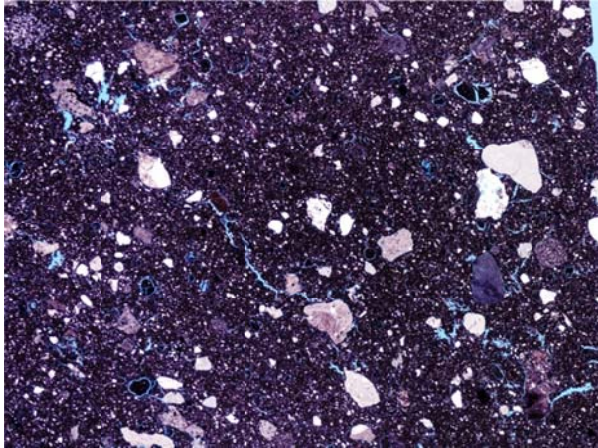


Abb. 1.13: Eingescannter Dünnschliff DS WB2\_2

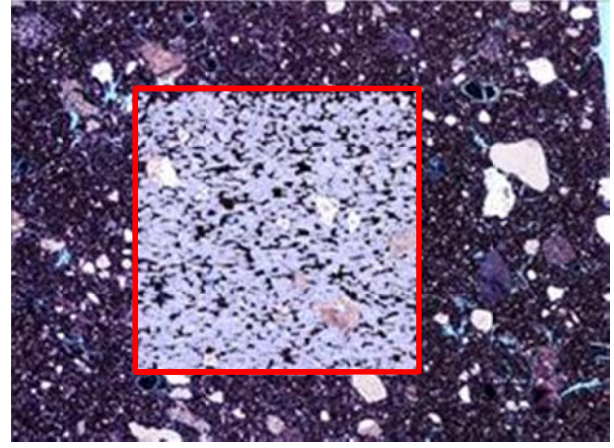


Abb. 1.14: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB2\_2

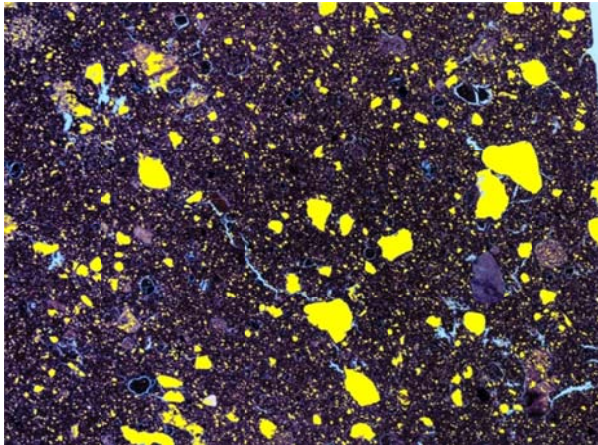


Abb. 1.15: Binärbild Quarzkörner DS WB2\_2

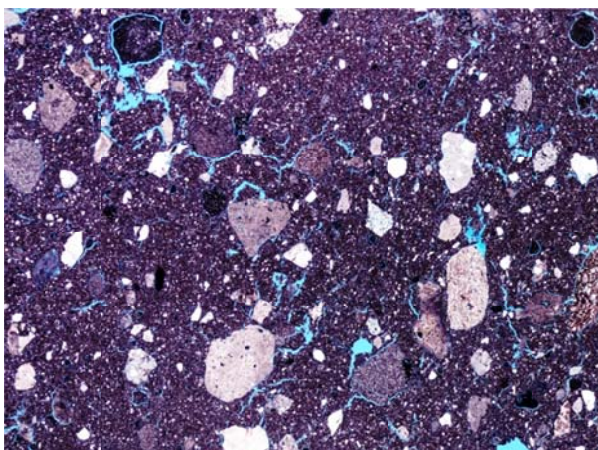


Abb. 1.16: Eingescannter Dünnschliff DS WB2\_3

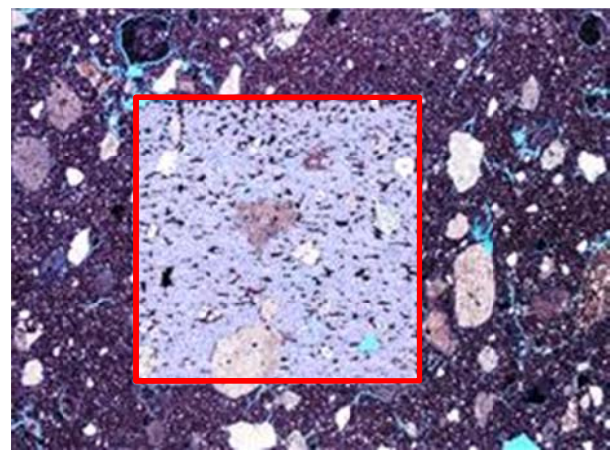


Abb. 1.17: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB2\_3



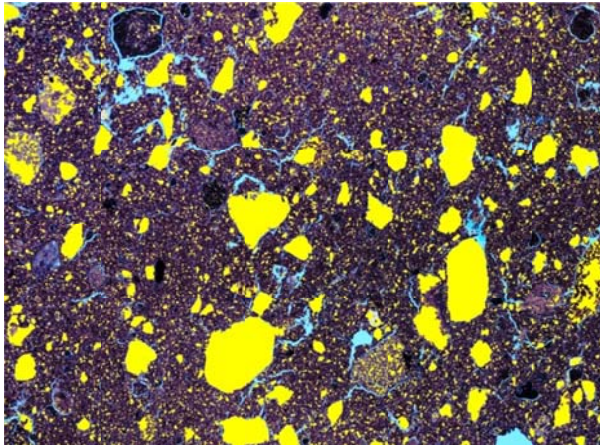


Abb. 1.18: Binärbild Quarzkörner DS WB2\_3

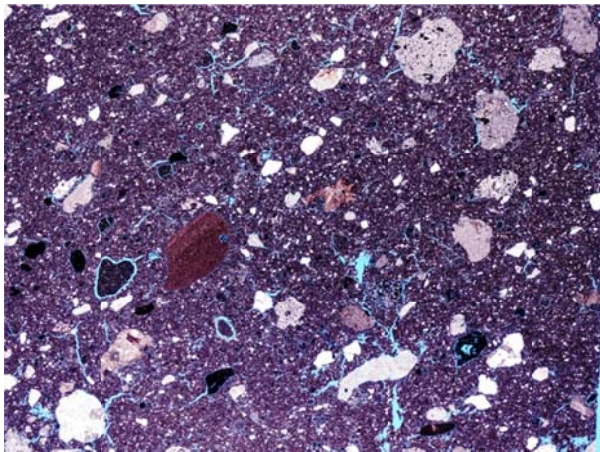


Abb. 1.19: Eingesannter Dünnschliff DS WB3\_1

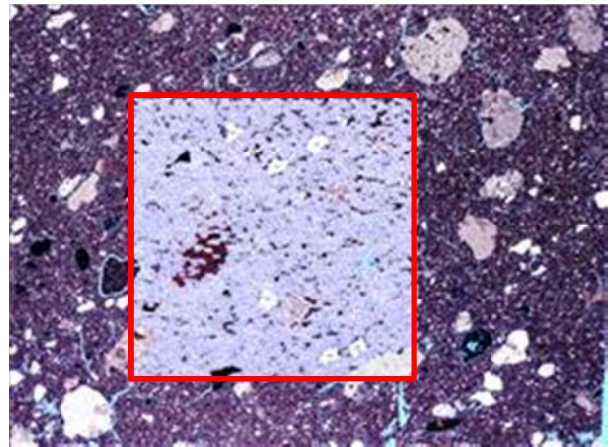


Abb. 1.20: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB3\_1

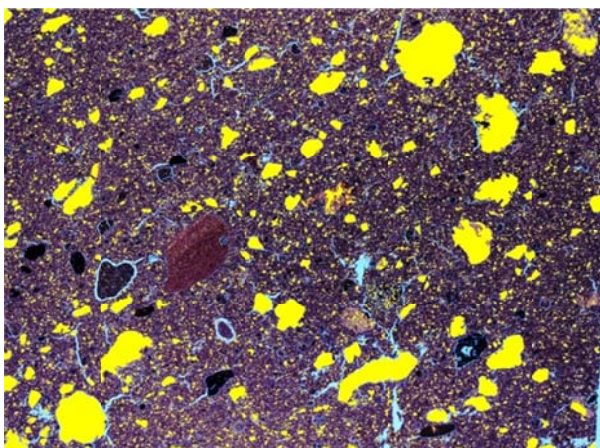


Abb. 1.21: Binärbild Quarzkörner DS WB3\_1



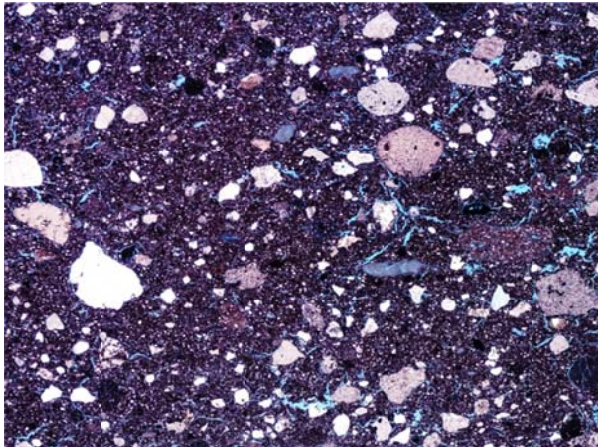


Abb. 1.22: Eingesannter Dünnschliff DS WB3\_2

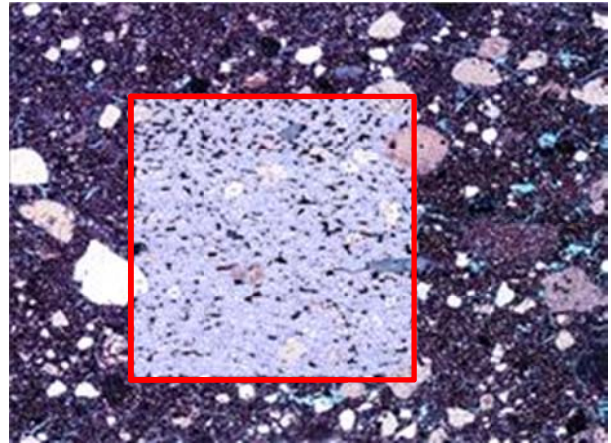


Abb. 1.23: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB3\_2

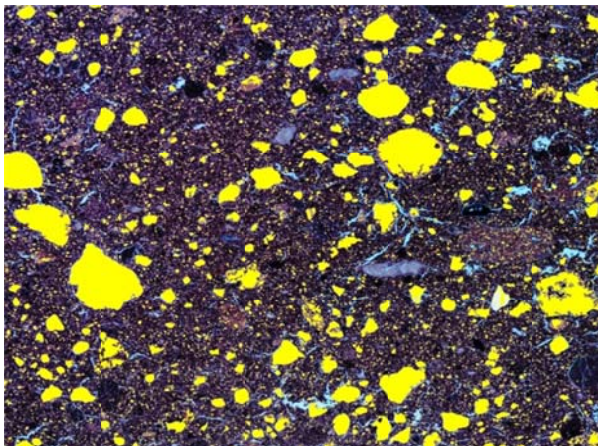


Abb. 1.24: Binärbild Quarzkörner DS WB3\_2

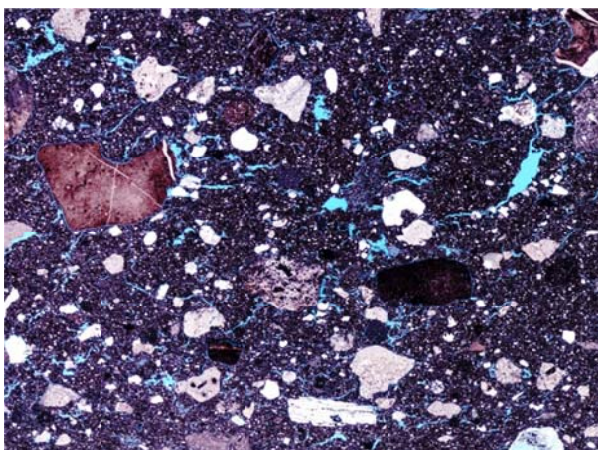


Abb. 1.25: Eingesannter Dünnschliff DS WB3\_3

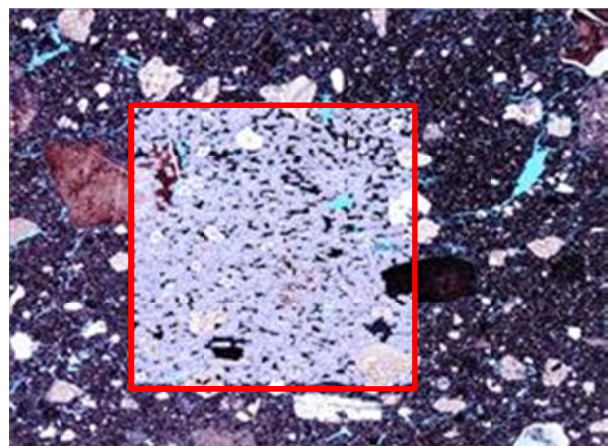


Abb. 1.26: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS WB3\_3



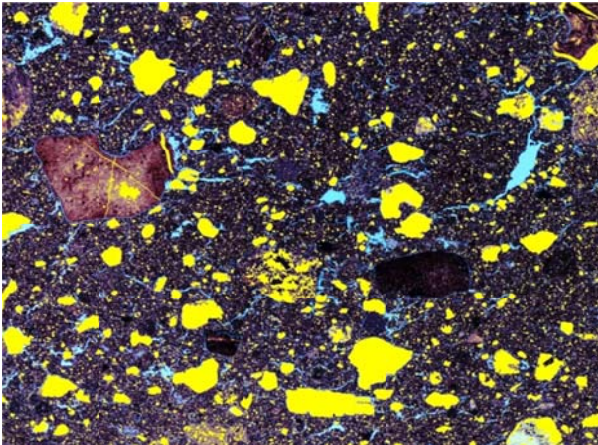


Abb. 1.27: Binärbild Quarzkörner DS WB3\_3

## 2 Ziegel HH

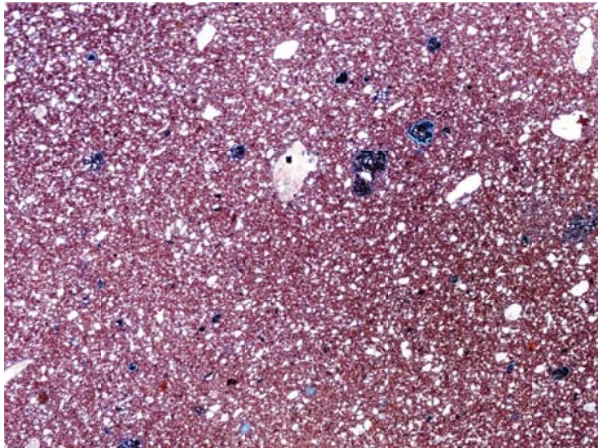


Abb. 2.1: Eingesannter Dünnschliff DS HH1\_1

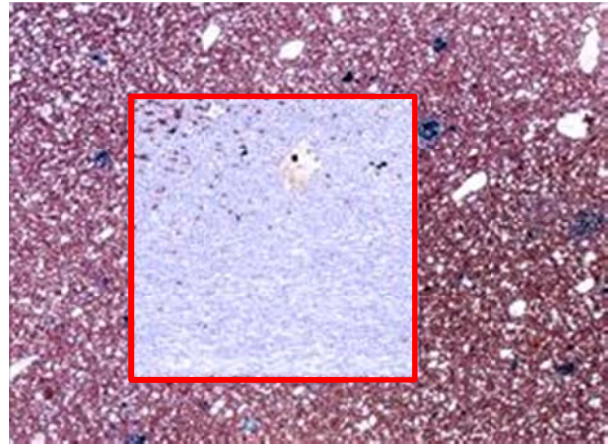


Abb. 2.2: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH1\_1

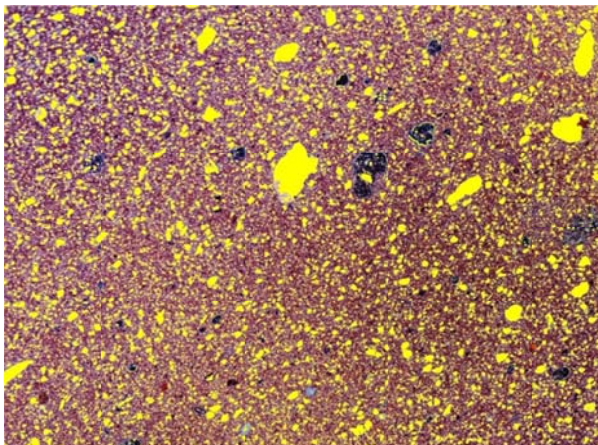


Abb. 2.3: Binärbild Quarzkörner DS HH1\_1

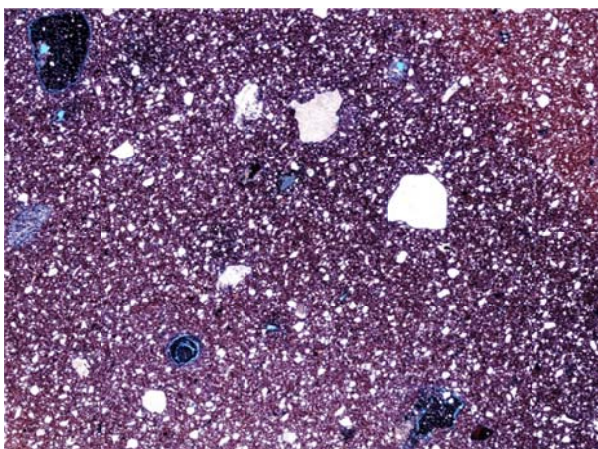


Abb. 2.4: Eingesannter Dünnschliff DS HH1\_2

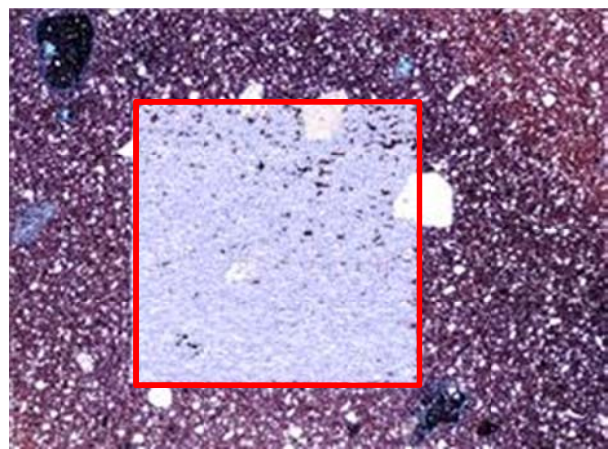


Abb. 2.5: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH1\_2



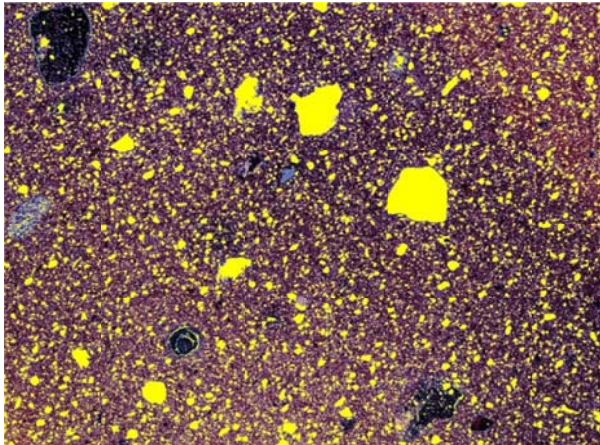


Abb. 2.6: Binärbild Quarzkörner DS HH1\_2

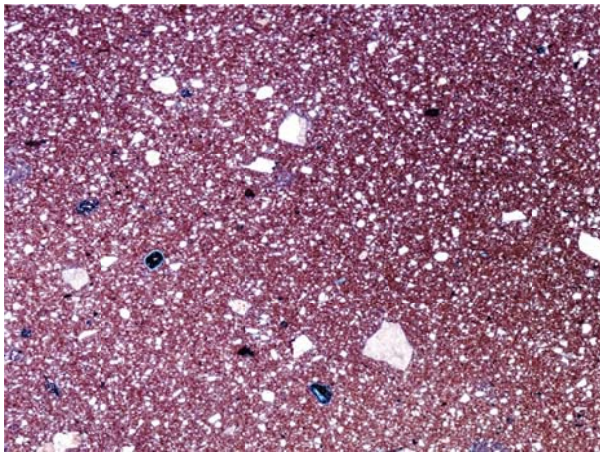


Abb. 2.7: Eingesannter Dünnschliff DS HH1\_3

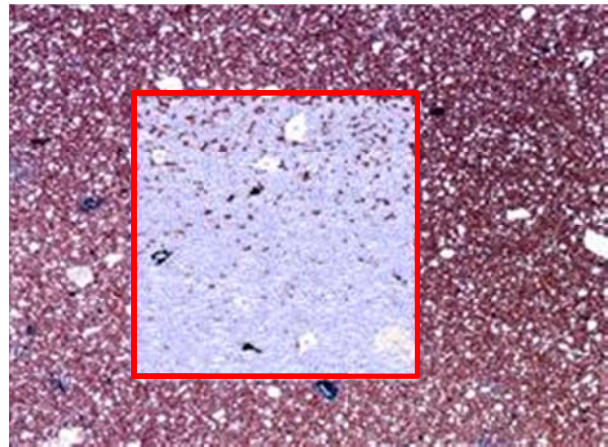


Abb. 2.8: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH1\_3

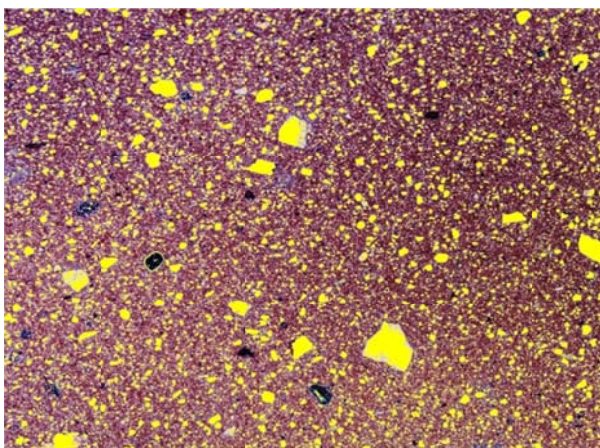


Abb. 2.9: Binärbild Quarzkörner DS HH1\_3



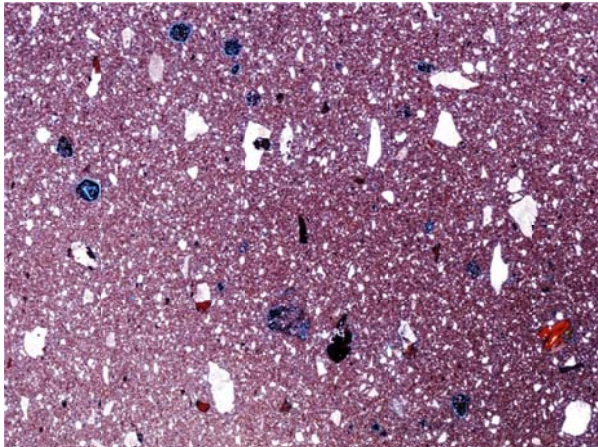


Abb. 2.10: Eingesannter Dünnschliff DS HH2\_1

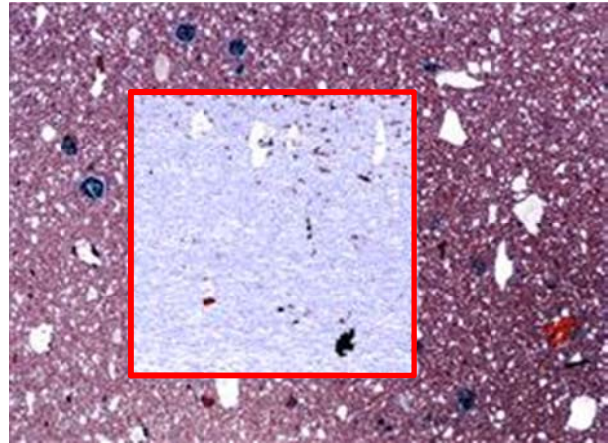


Abb. 2.11: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH2\_1

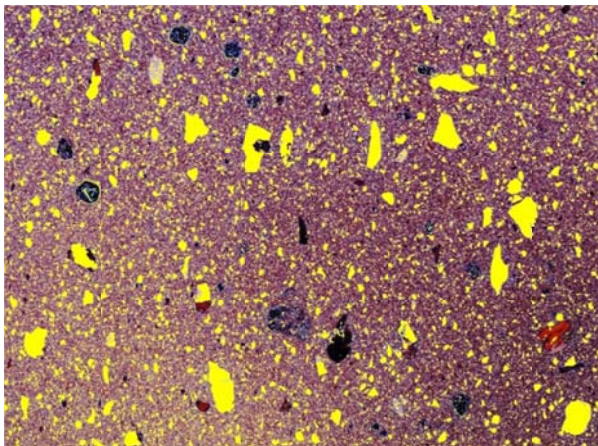


Abb. 2.12: Binärbild Quarzkörner DS HH2\_1

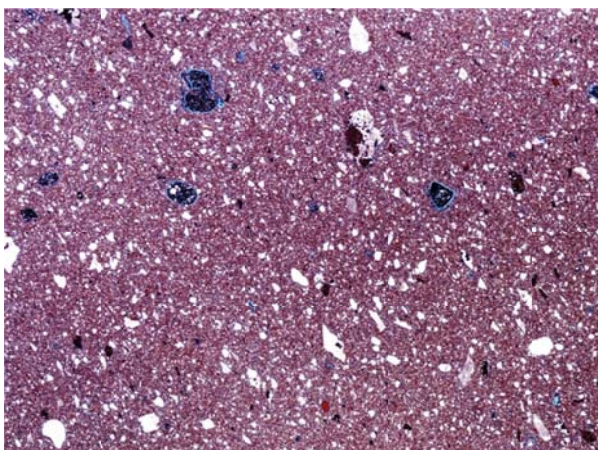


Abb. 2.13: Eingesannter Dünnschliff DS HH2\_2

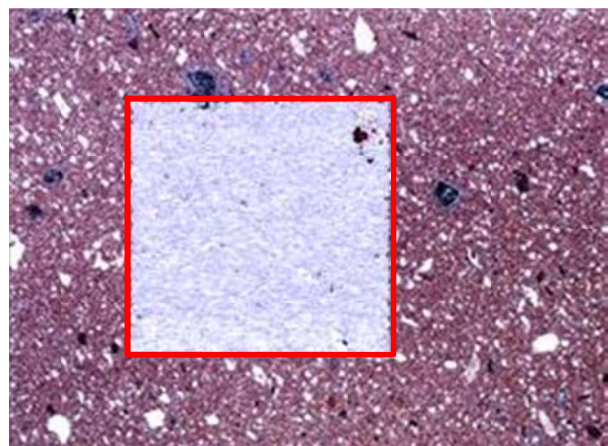


Abb. 2.14: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH2\_2



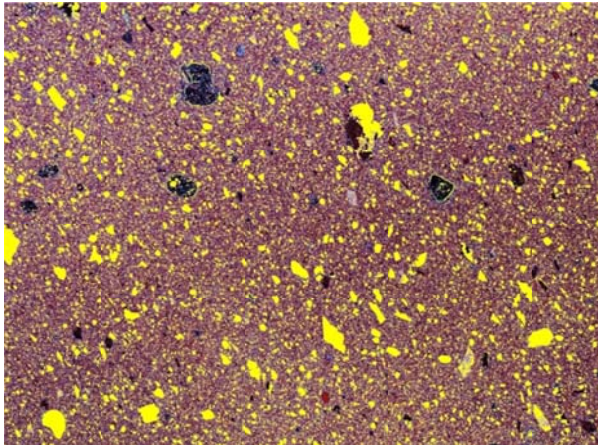


Abb. 2.15: Binärbild Quarzkörner DS HH2\_2

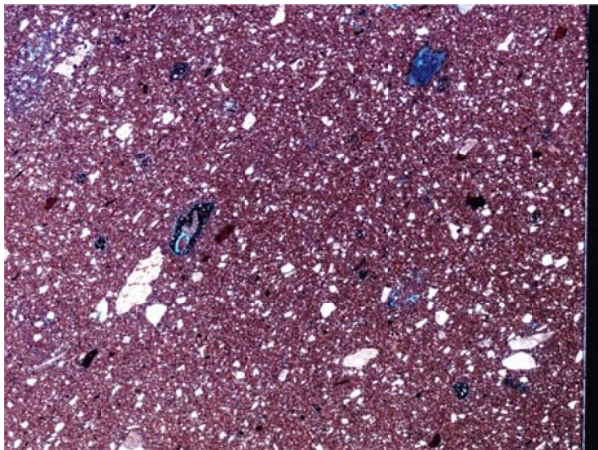


Abb. 2.16: Eingesannter Dünnschliff DS HH2\_3

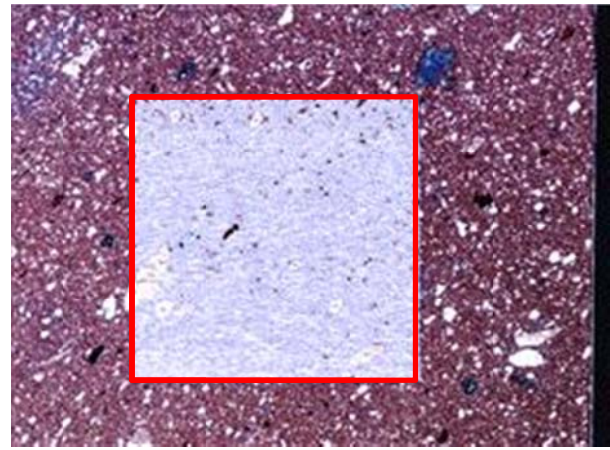


Abb. 2.17: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH2\_3

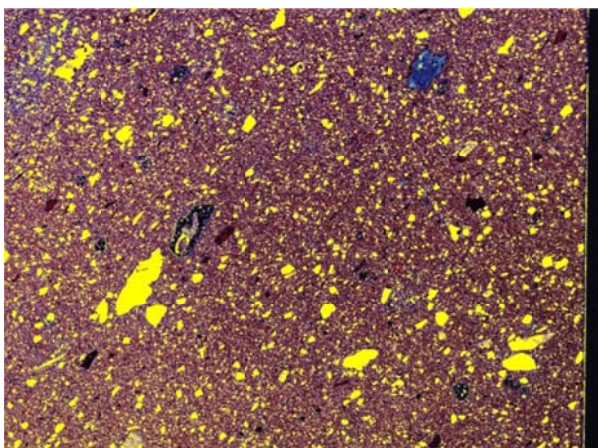


Abb. 2.18: Binärbild Quarzkörner DS HH2\_3



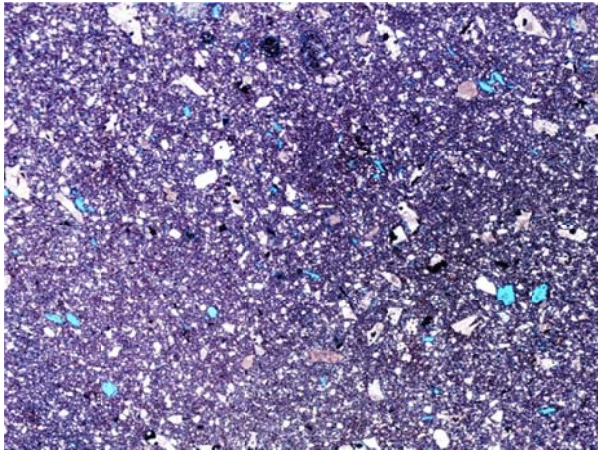


Abb. 2.19: Eingesannter Dünnschliff DS HH3\_1

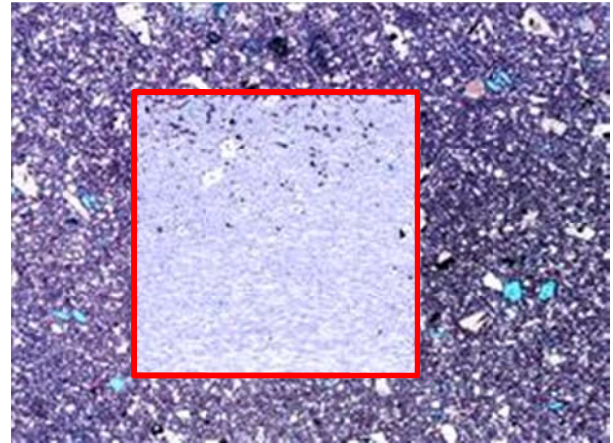


Abb. 2.20: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH3\_1

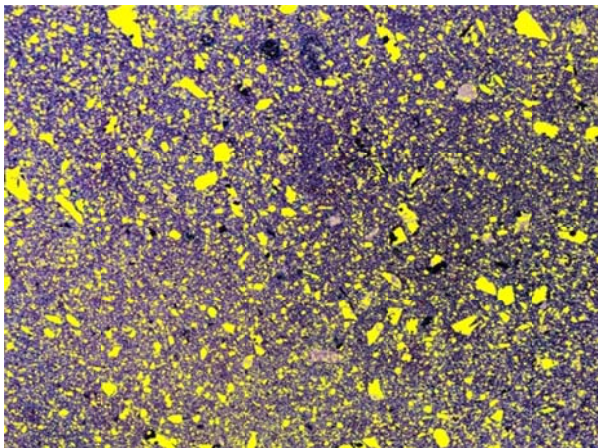


Abb. 2.21: Binärbild Quarzkörner DS HH3\_1

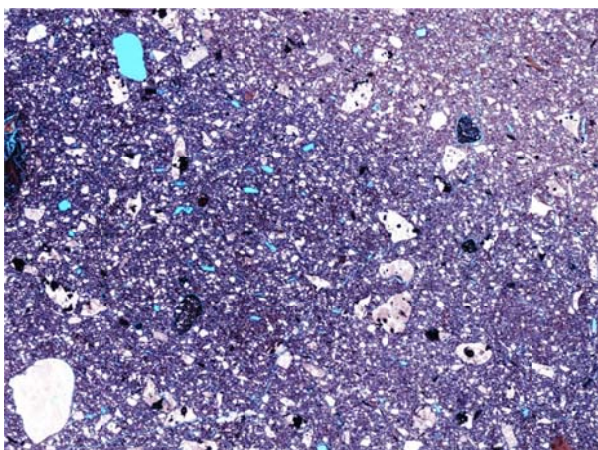


Abb. 2.22: Eingesannter Dünnschliff DS HH3\_2

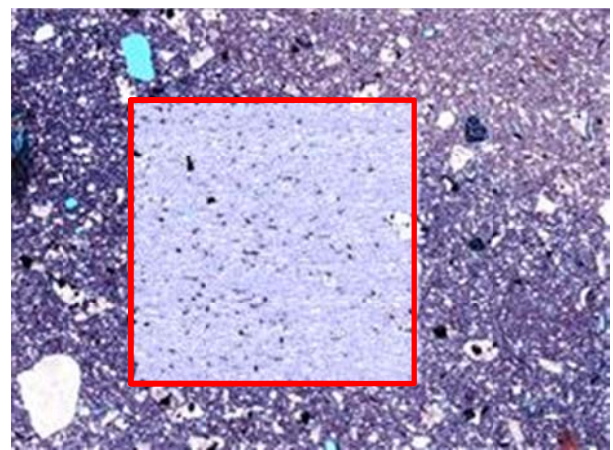


Abb. 2.23: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH3\_2



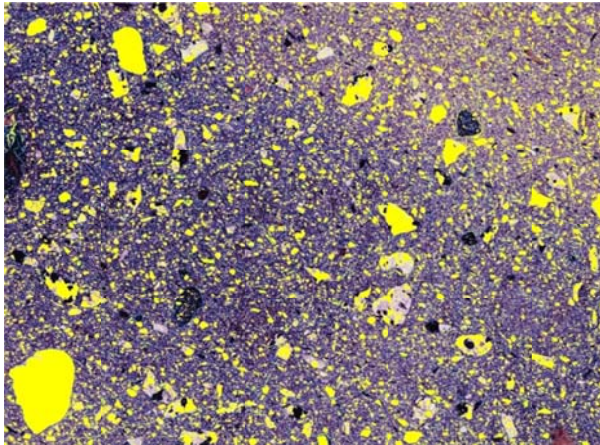


Abb. 2.24: Binärbild Quarzkörner DS HH3\_2

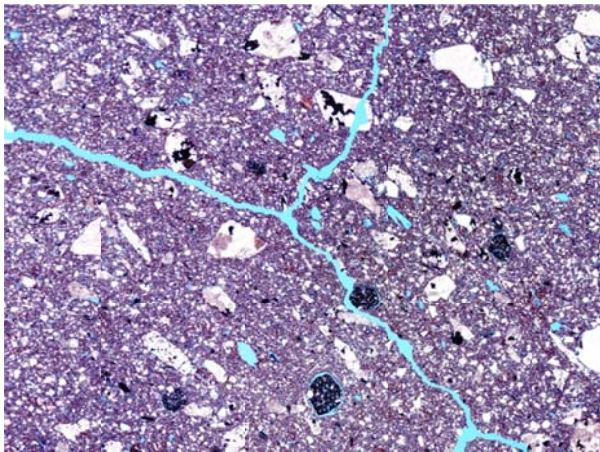


Abb. 2.25: Eingesannter Dünnschliff DS HH3\_3

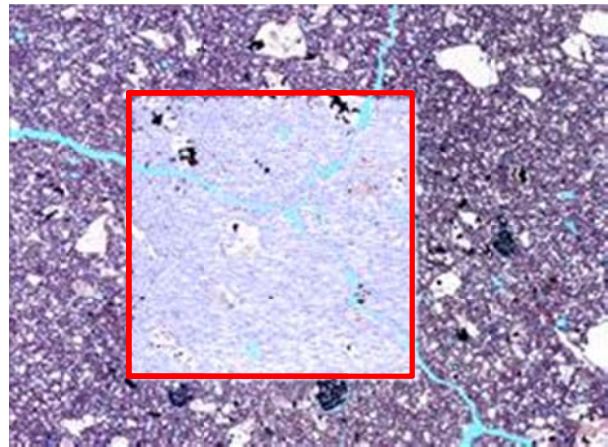


Abb. 2.26: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Kornbeschriftung DS HH3\_3

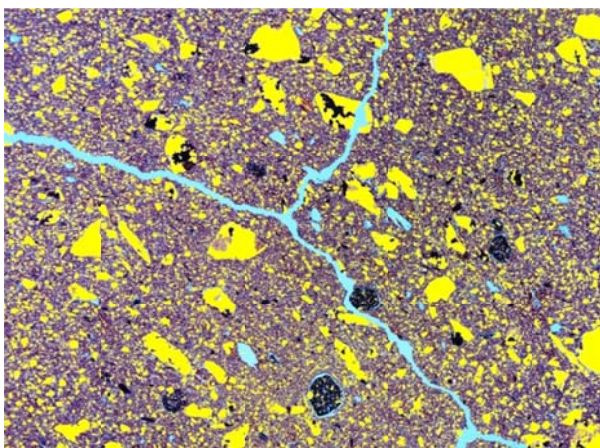


Abb. 2.27: Binärbild Quarzkörner DS HH3\_3



### 3 Kalksandstein EB

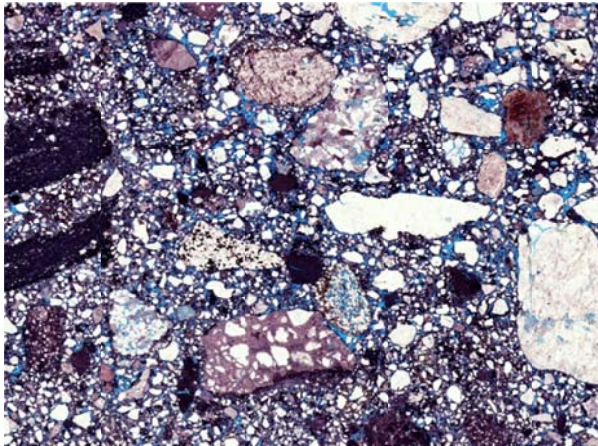


Abb. 3.1: Eingesannter Dünnschliff DS EB1\_1

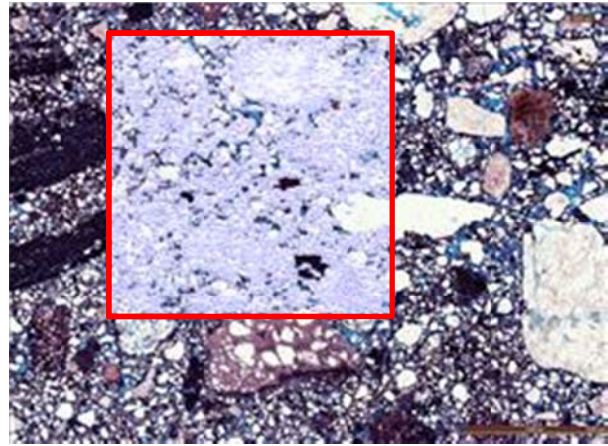


Abb. 3.2: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB1\_1

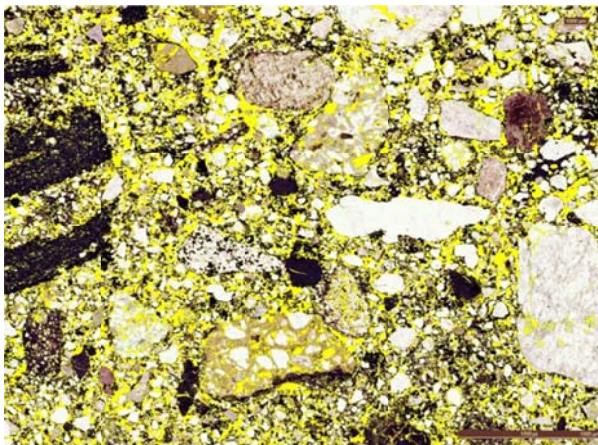


Abb. 3.3: Binärbild Poren DS EB1\_1

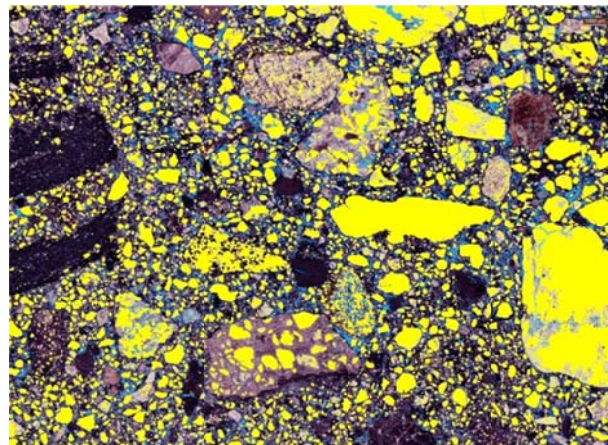


Abb. 3.4: Binärbild Quarzkörner DS EB1\_1



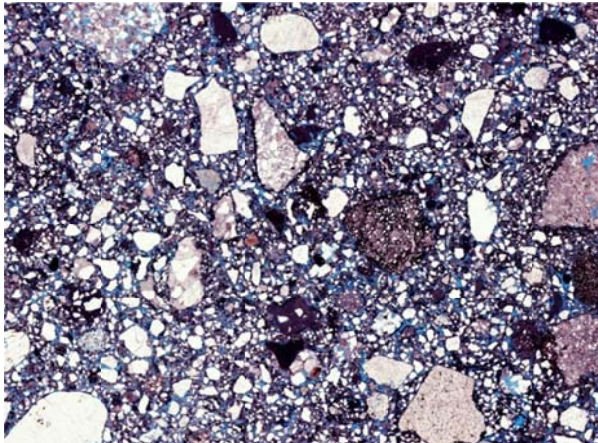


Abb. 3.5: Eingesannter Dünnschliff DS EB1\_2

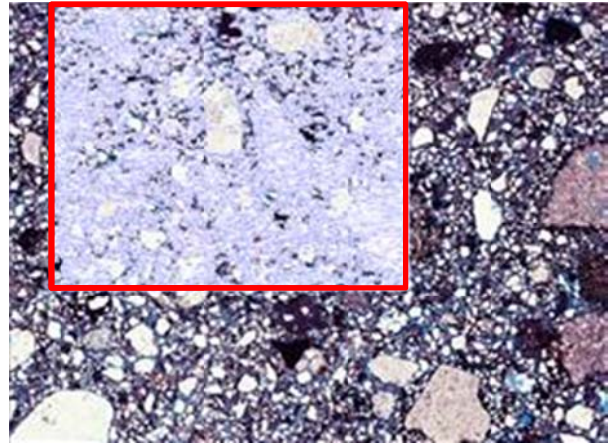


Abb. 3.6: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB1\_2

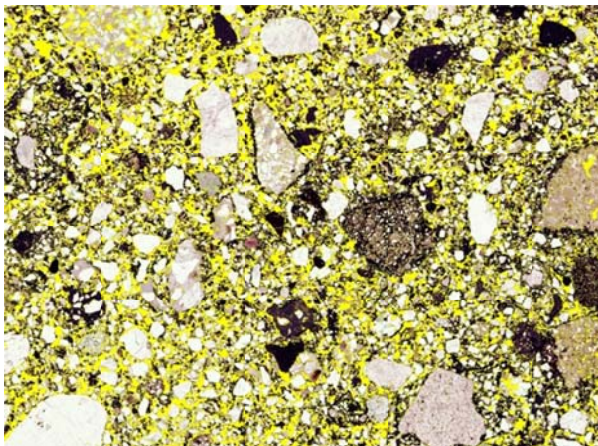


Abb. 3.7: Binärbild Poren DS EB1\_2

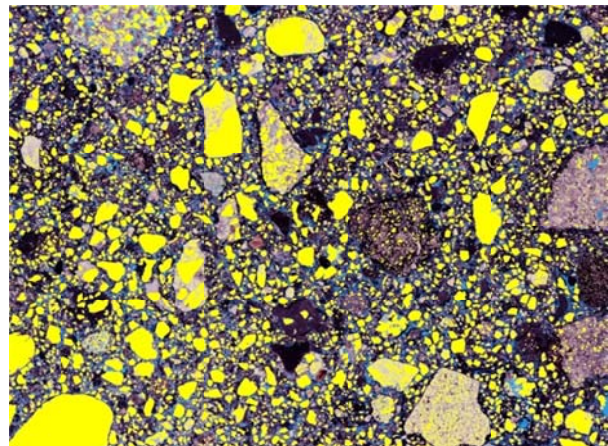


Abb. 3.8: Binärbild Quarzkörner DS EB1\_2

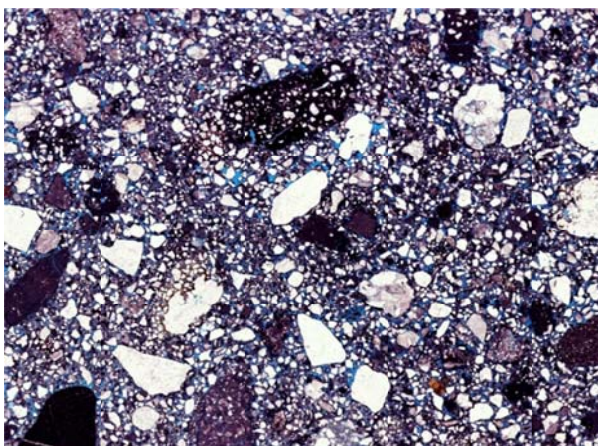


Abb. 3.9: Eingesannter Dünnschliff DS EB1\_3

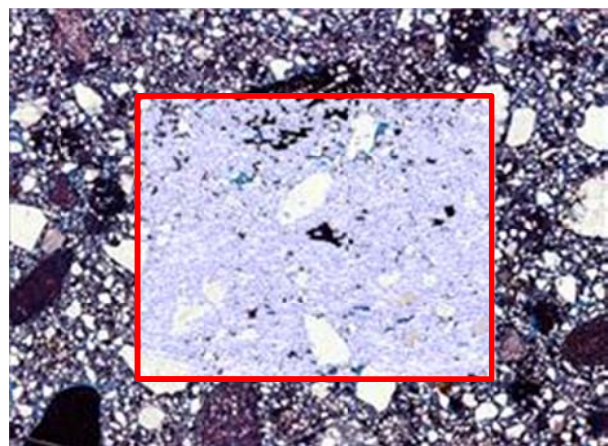


Abb. 3.10: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB1\_3



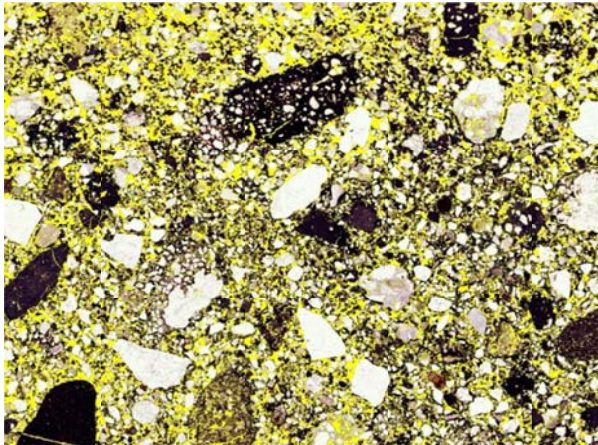


Abb. 3.11: Binärbild Poren DS EB1\_3

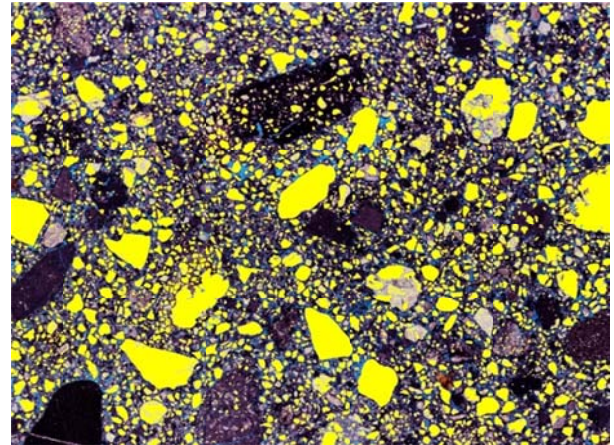


Abb. 3.12: Binärbild Quarzkörner DS EB1\_3

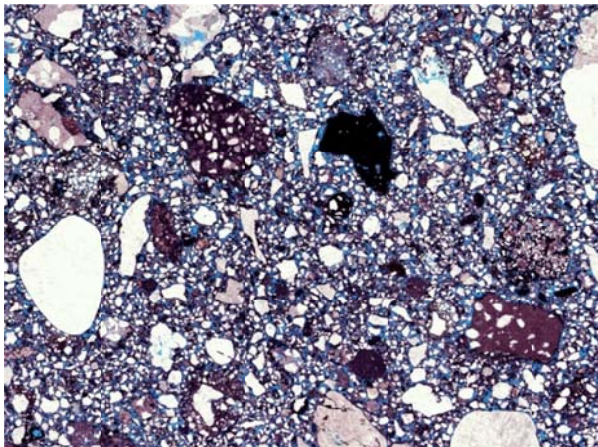


Abb. 3.13: Eingesannter Dünnschliff DS EB2\_1

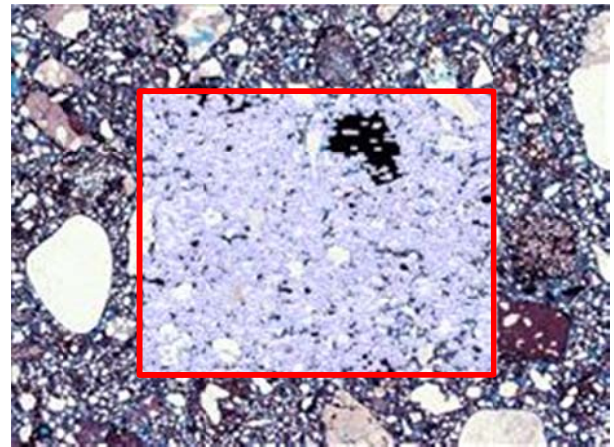


Abb. 3.14: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB2\_1

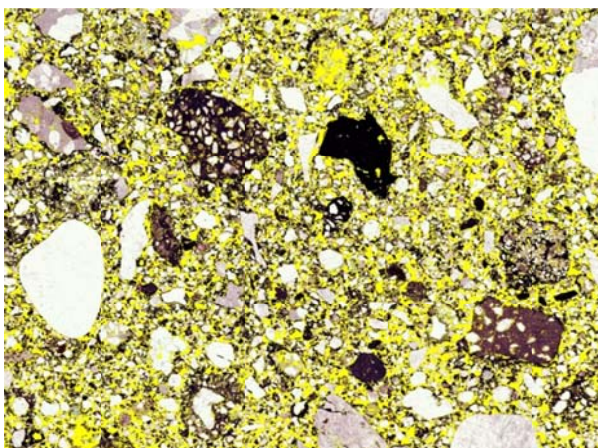


Abb. 3.15: Binärbild Poren DS EB2\_1

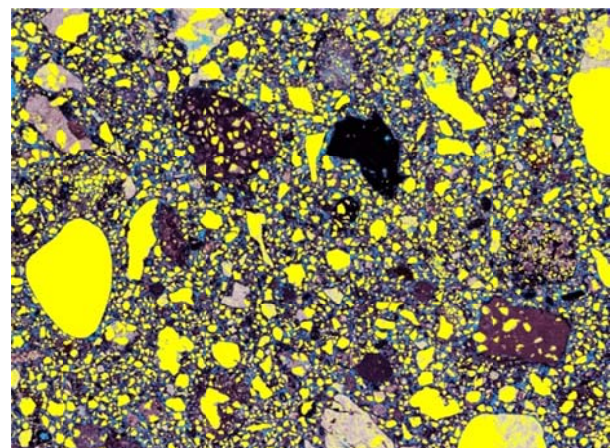


Abb. 3.16: Binärbild Quarzkörner DS EB2\_1



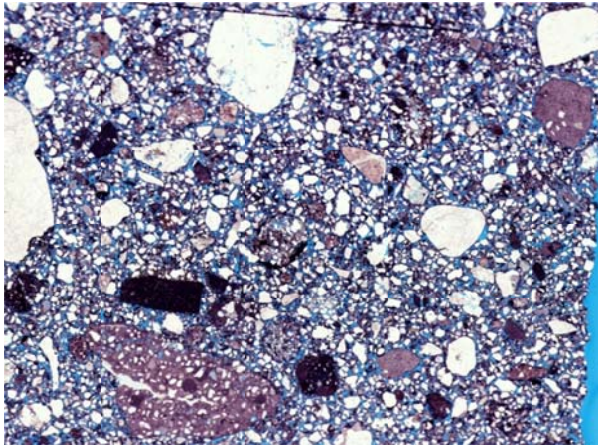


Abb. 3.17: Eingescannter Dünnschliff DS EB2\_2

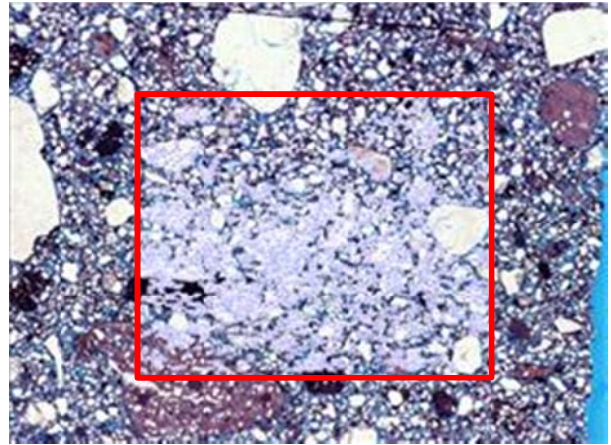


Abb. 3.18: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB2\_2

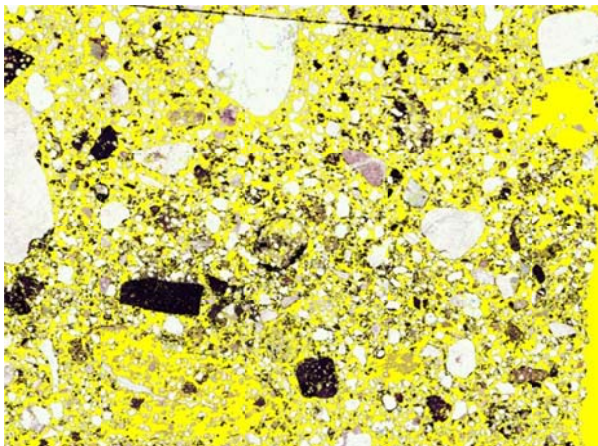


Abb. 3.19: Binärbild Poren DS EB2\_3

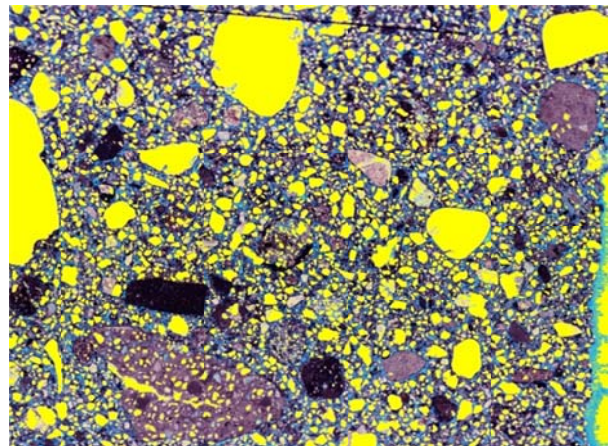


Abb. 3.20: Binärbild Quarzkörner DS EB2\_2

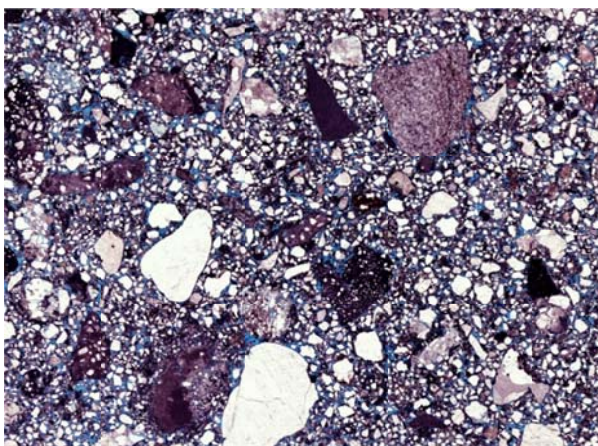


Abb. 3.21: Eingescannter Dünnschliff DS EB2\_3

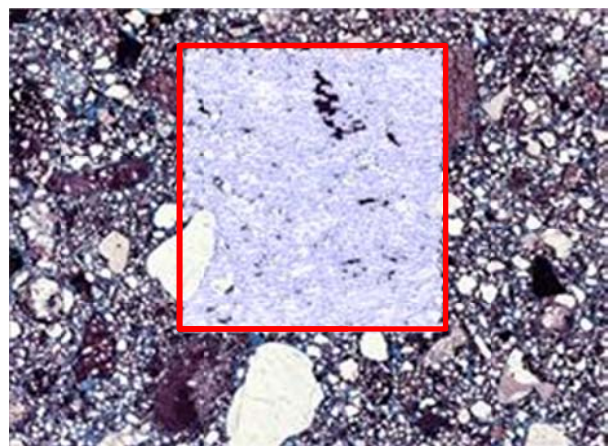


Abb. 3.22: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB2\_3



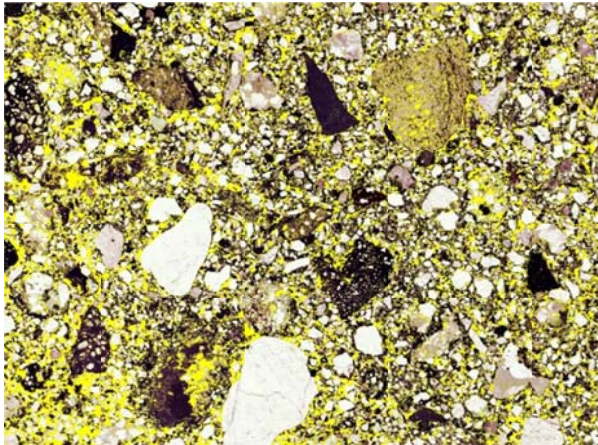


Abb. 3.23: Binärbild Poren DS EB2\_3

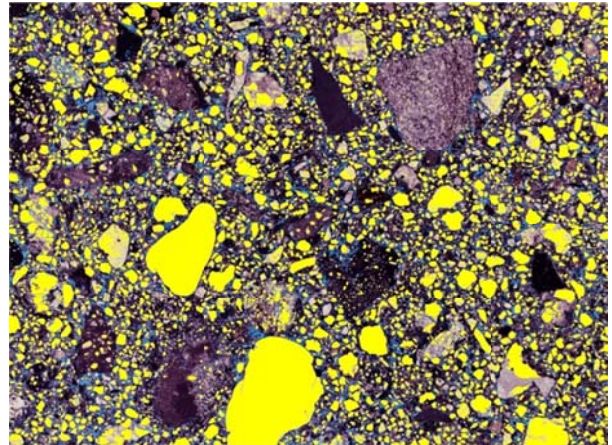


Abb. 3.24: Binärbild Quarzkörner DS EB2\_3

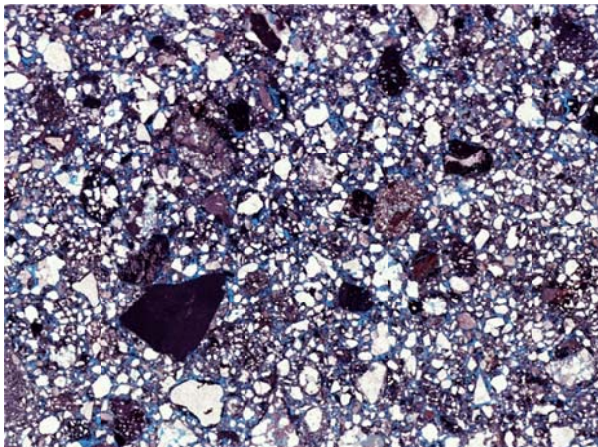


Abb. 3.25: Eingescannter Dünnschliff DS EB3\_1

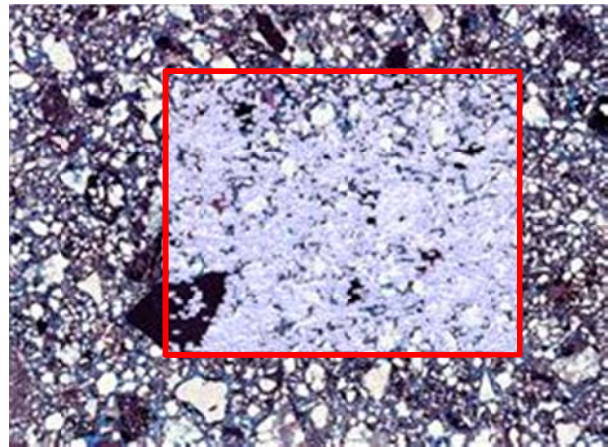


Abb. 3.26: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB3\_1

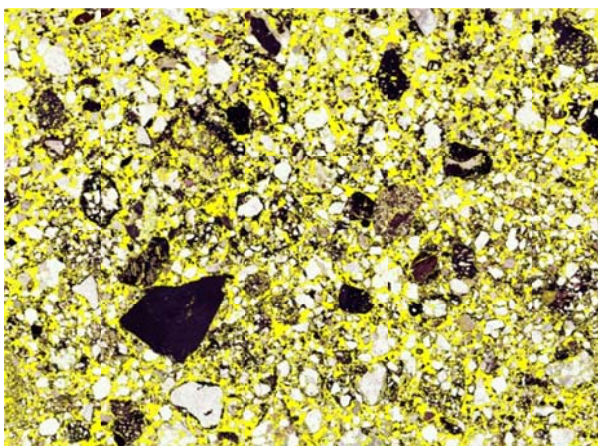


Abb. 3.27: Binärbild Poren DS EB3\_1

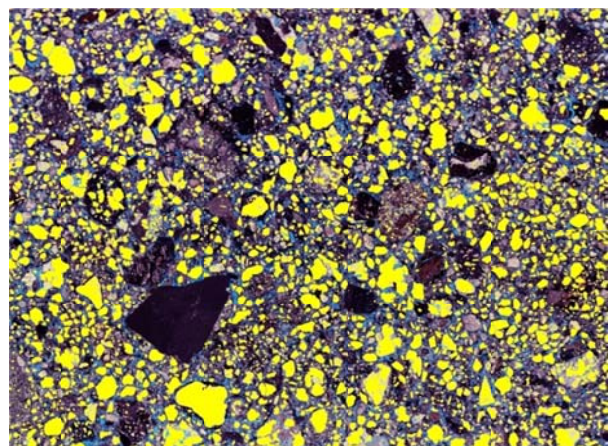


Abb. 3.28: Binärbild Quarzkörner DS EB3\_1



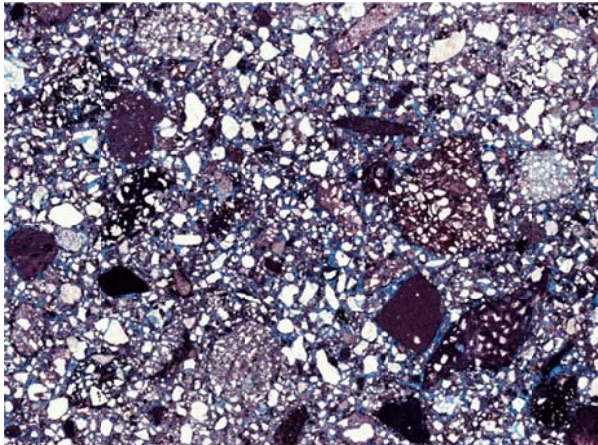


Abb. 3.29: Eingescannter Dünnschliff DS EB3\_2

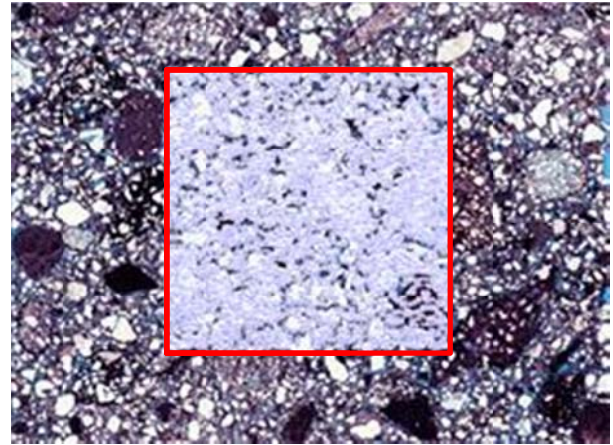


Abb. 3.30: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB3\_2

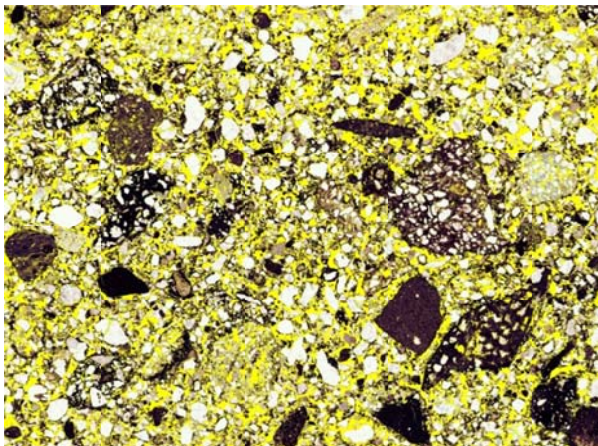


Abb. 3.31: Binärbild Poren DS EB3\_2

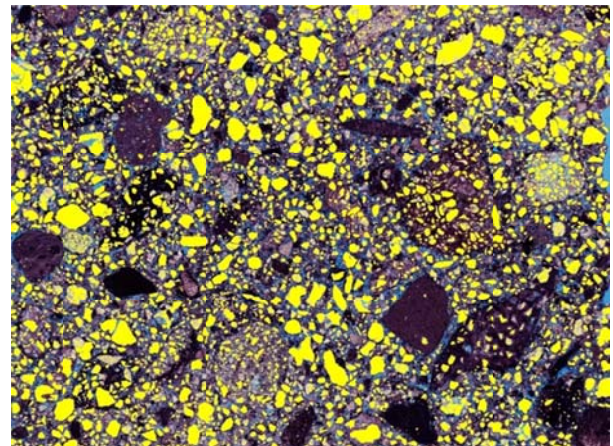


Abb. 3.32: Binärbild Quarzkörner DS EB3\_2

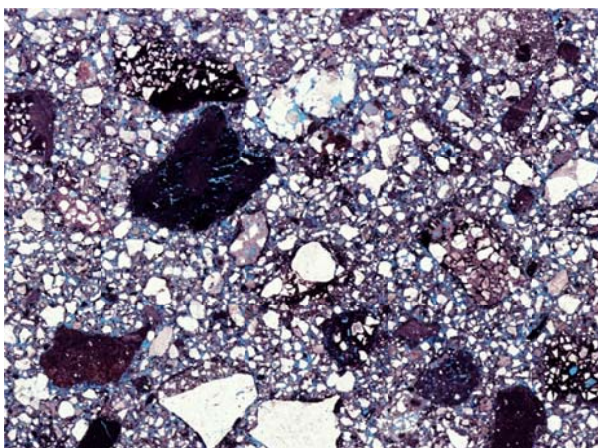


Abb. 3.33: Eingescannter Dünnschliff DS EB3\_3

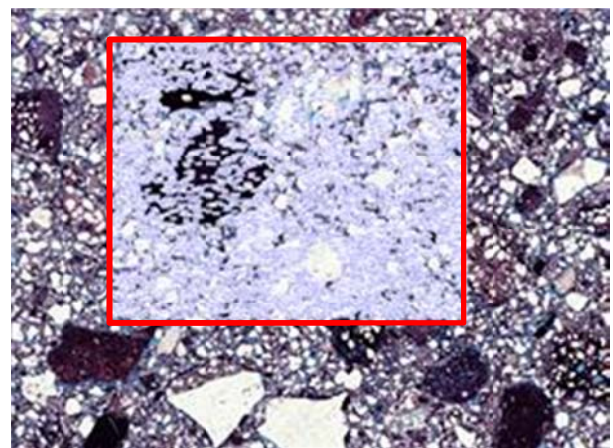


Abb. 3.34: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS EB3\_3



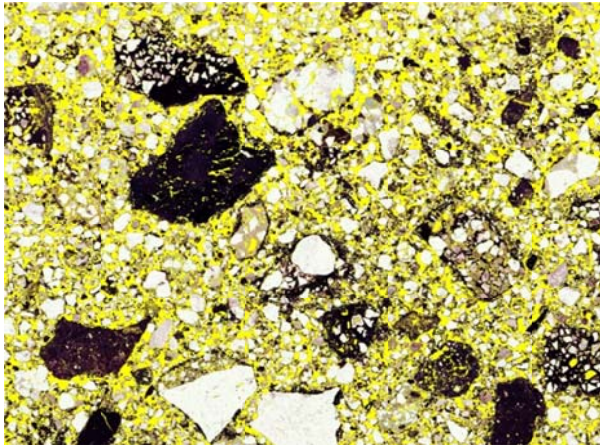


Abb. 3.35: Binärbild Poren DS EB3\_3

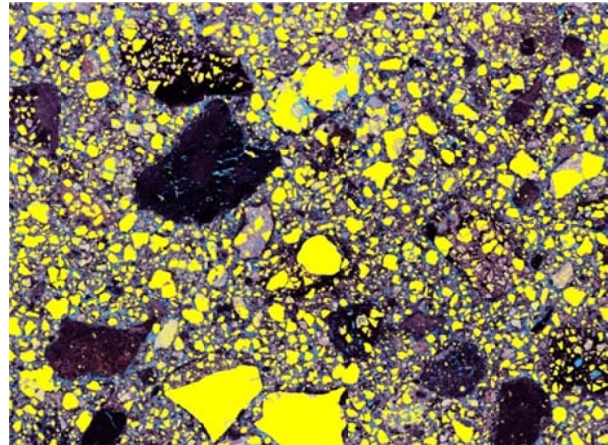


Abb. 3.36: Binärbild Quarzkörner DS EB3\_3



## 4 Kalksandstein HD

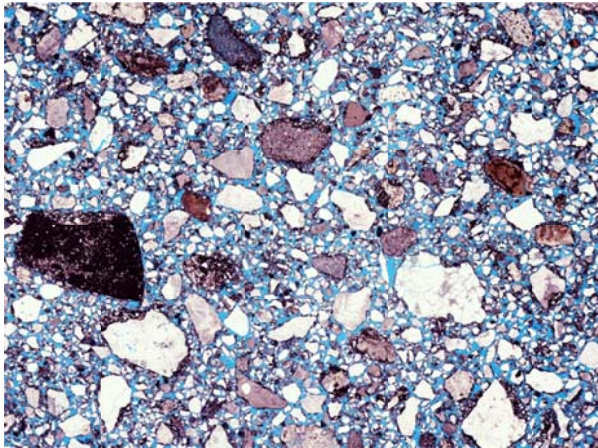


Abb. 4.1: Eingesannter Dünnschliff DS HD1\_1

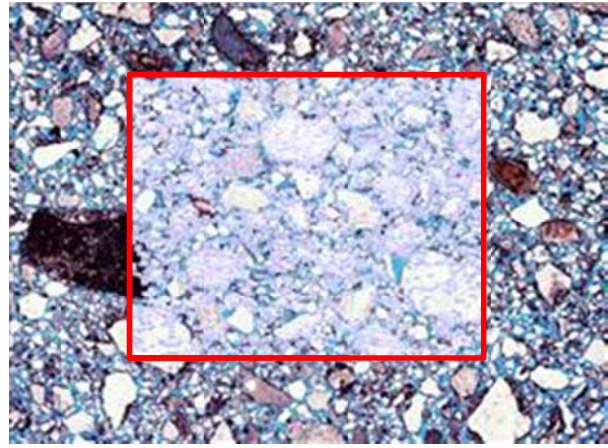


Abb. 4.2: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD1\_1

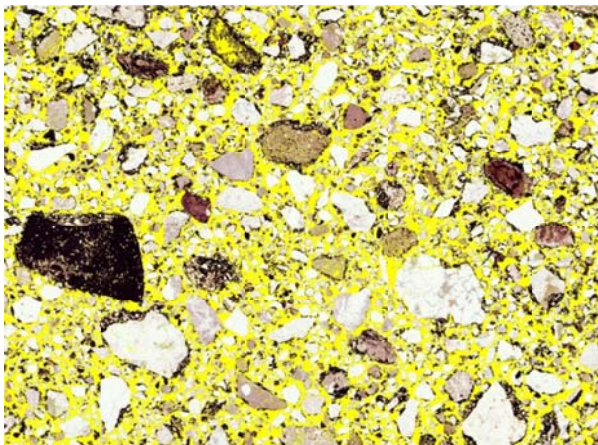


Abb. 4.3: Binärbild Poren DS HD1\_1

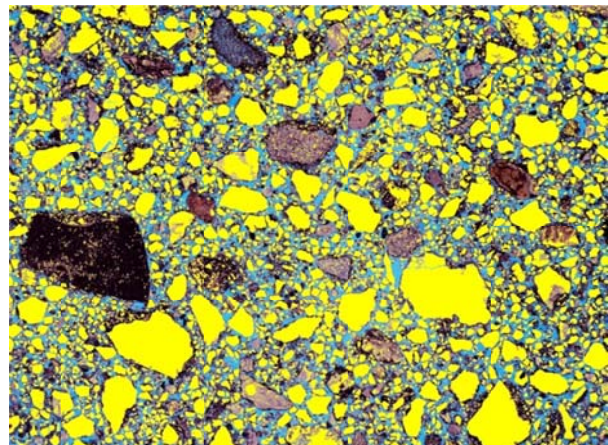


Abb. 4.4: Binärbild Quarzkörner DS HD1\_1

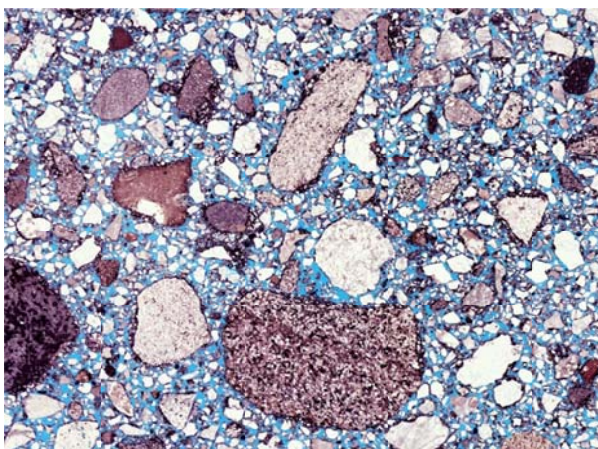


Abb. 4.5: Eingesannter Dünnschliff DS HD1\_2

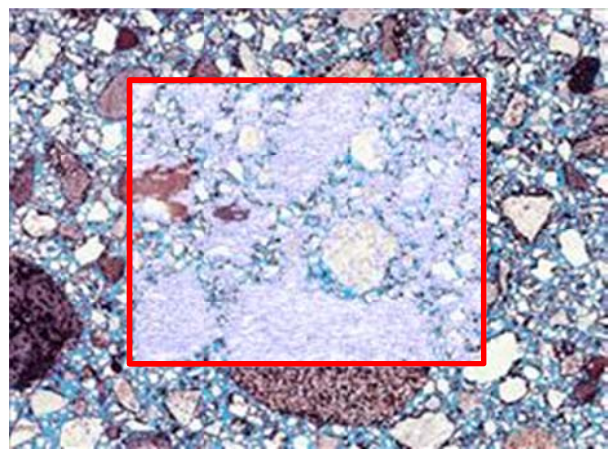


Abb. 4.6: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD1\_2



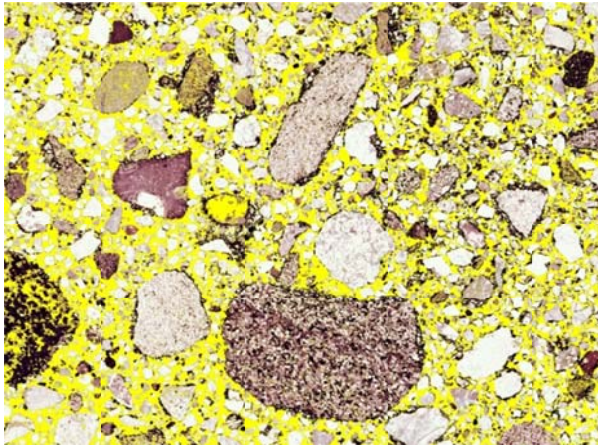


Abb. 4.7: Binärbild Poren DS HD1\_2

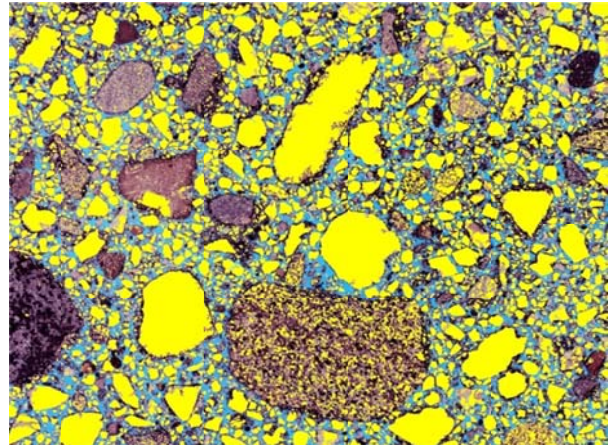


Abb. 4.8: Binärbild Quarzkörner DS HD1\_2

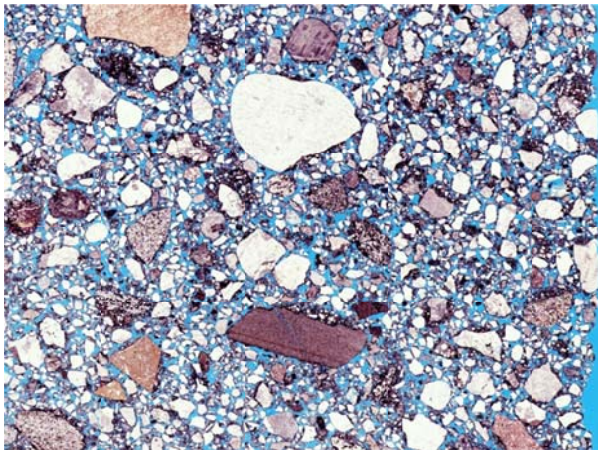


Abb. 4.9: Eingesannter Dünnschliff DS HD1\_3

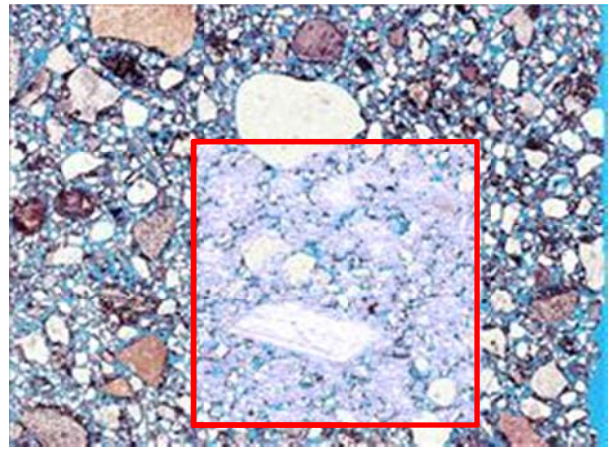


Abb. 4.10: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD1\_3

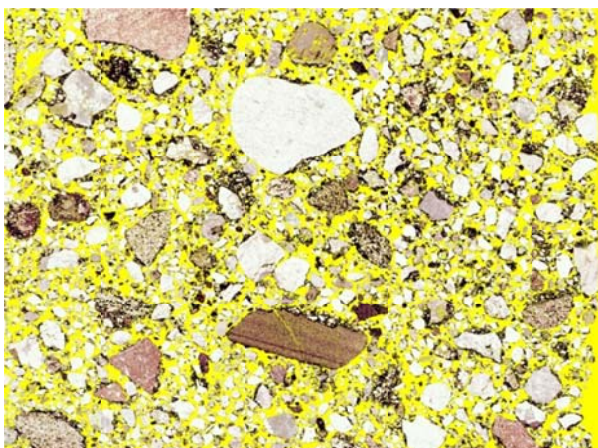


Abb. 4.11: Binärbild Poren DS HD1\_3

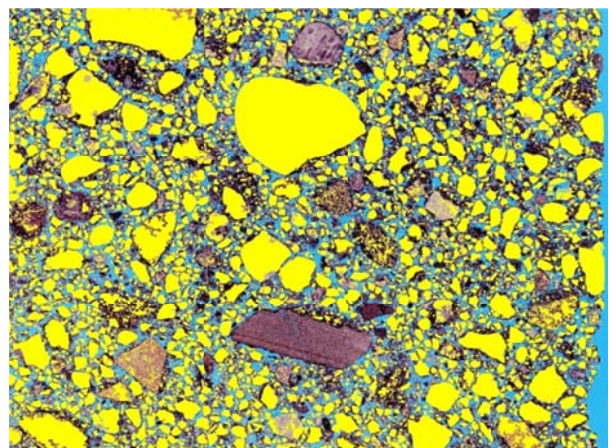


Abb. 4.12: Binärbild Quarzkörner DS HD1\_3



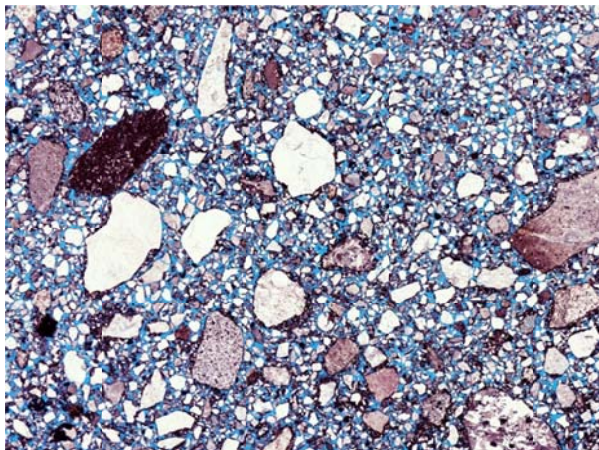


Abb. 4.13: Eingescannter Dünnschliff DS HD2\_1

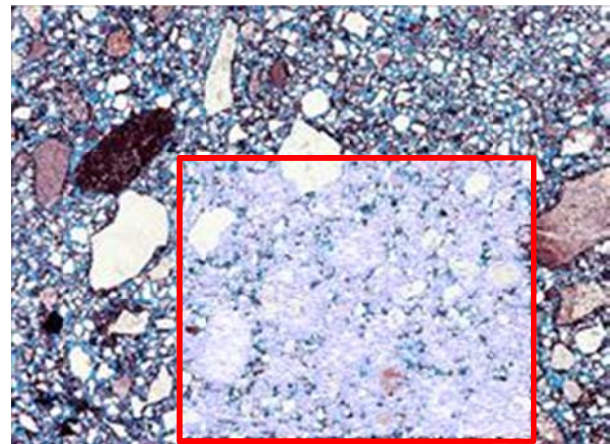


Abb. 4.14: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD2\_1

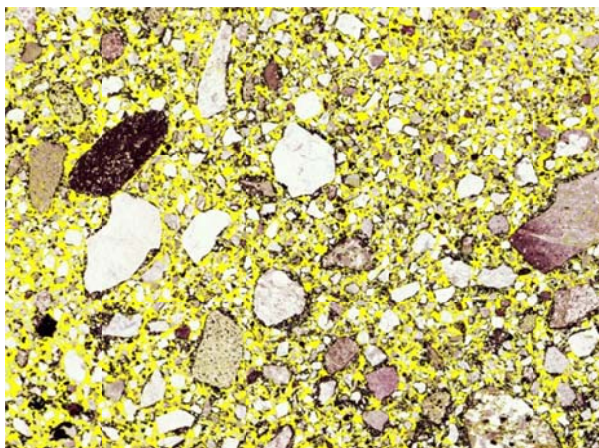


Abb. 4.15: Binärbild Poren DS HD2\_1

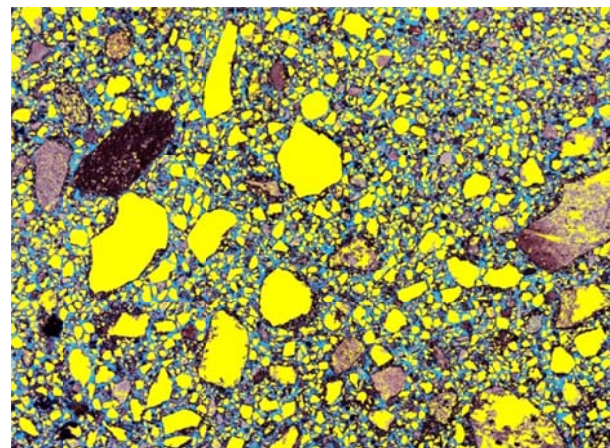


Abb. 4.16: Binärbild Quarzkörner DS HD2\_1

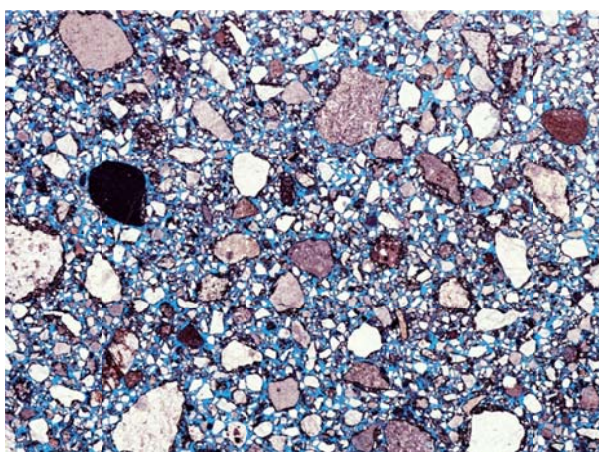


Abb. 4.17: Eingescannter Dünnschliff DS HD2\_2

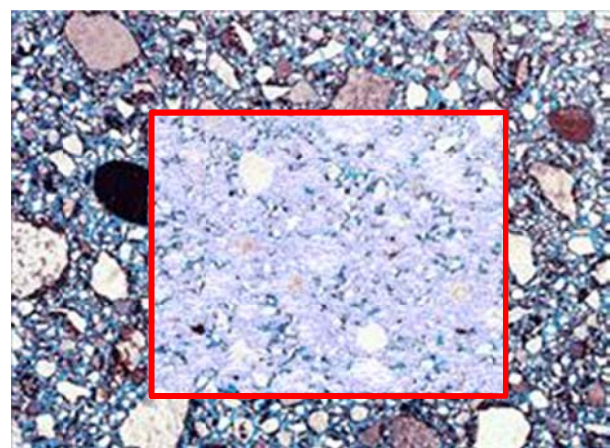


Abb. 4.18: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD2\_2



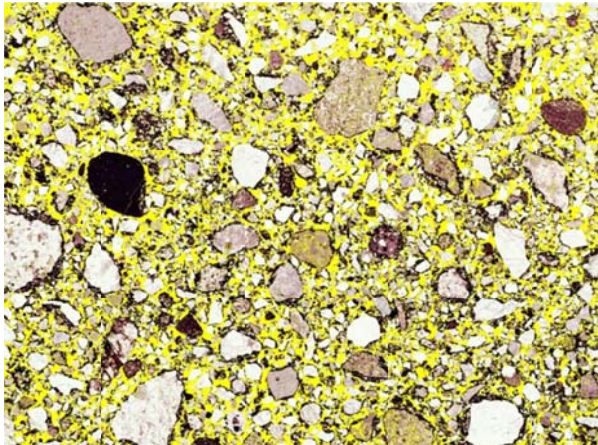


Abb. 4.19: Binärbild Poren DS HD2\_2

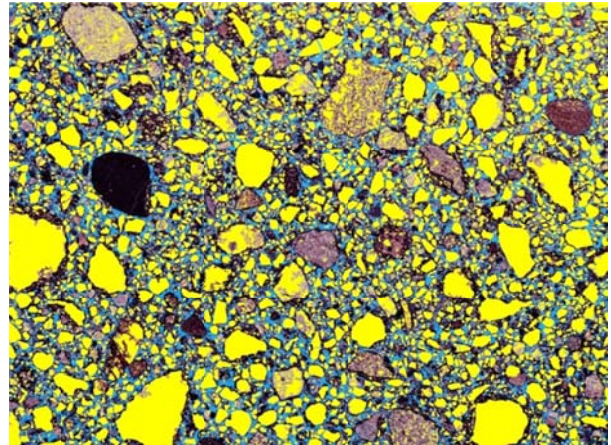


Abb. 4.20: Binärbild Quarzkörner DS HD2\_2

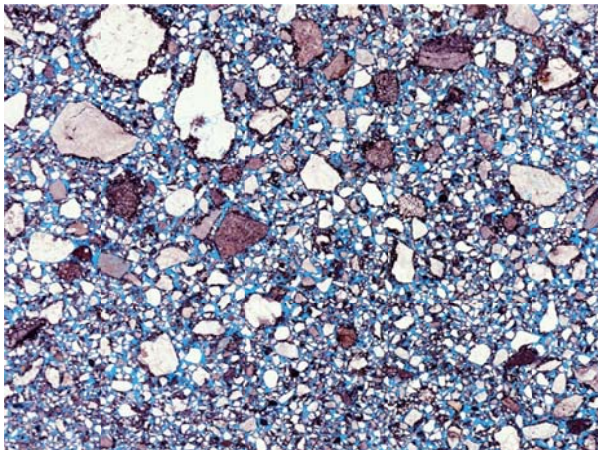


Abb. 4.21: Eingesannter Dünnschliff DS HD2\_3

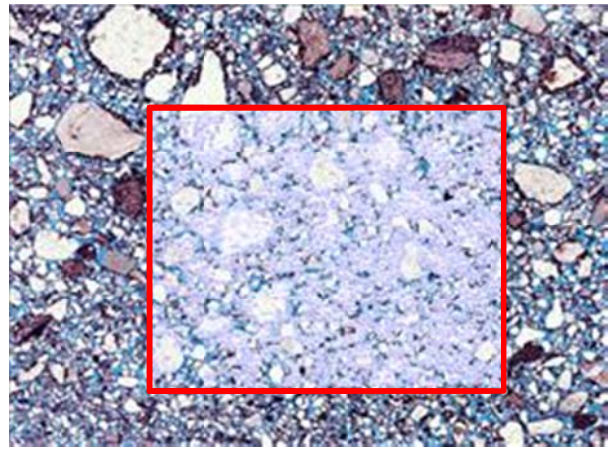


Abb. 4.22: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD2\_3

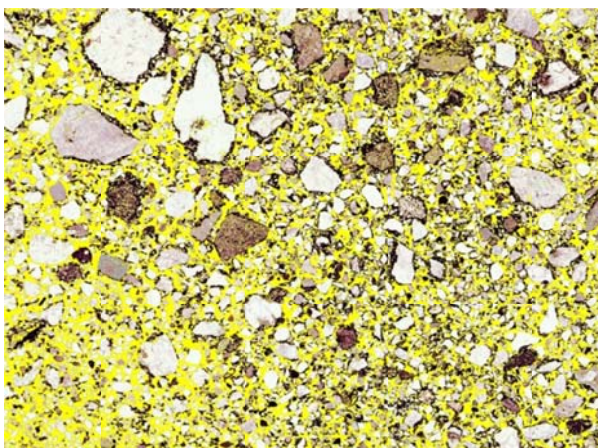


Abb. 4.23: Binärbild Poren DS HD2\_3

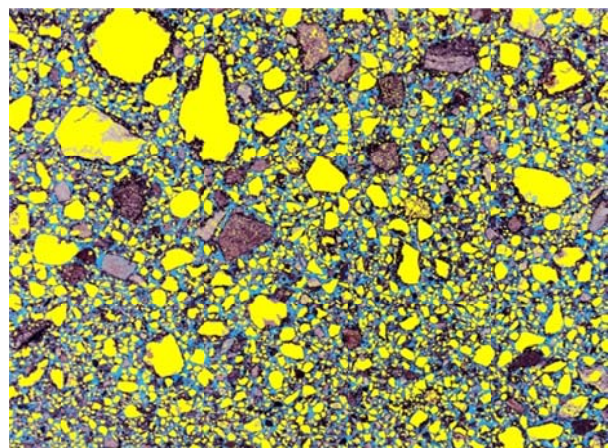


Abb. 4.24: Binärbild Quarzkörner DS HD2\_3



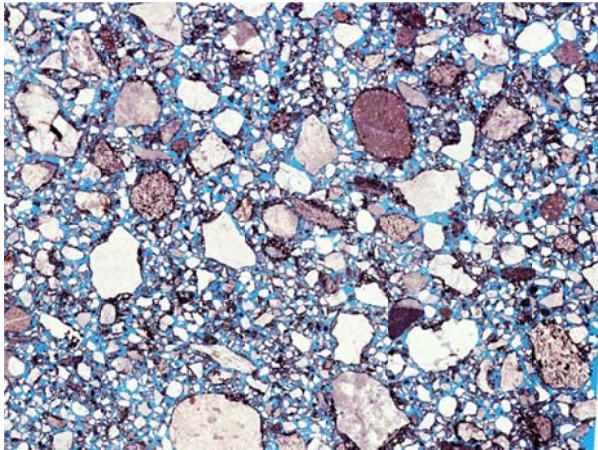


Abb. 4.25: Eingescannter Dünnschliff DS HD3\_1

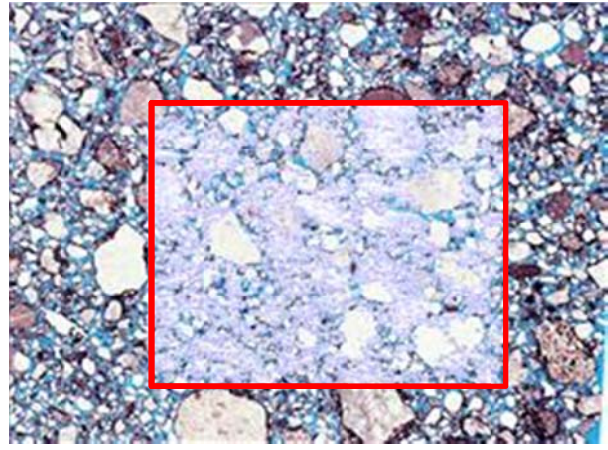


Abb. 4.26: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD3\_1

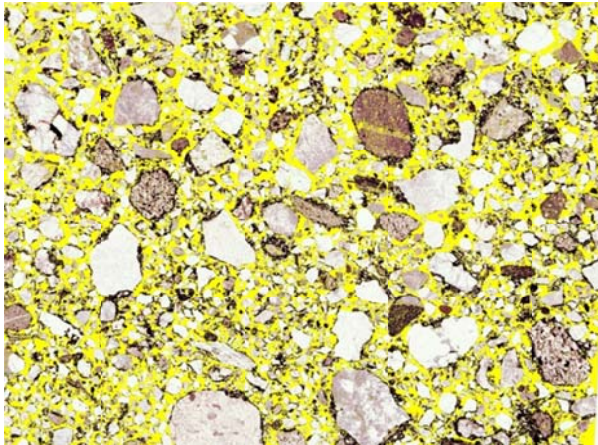


Abb. 4.27: Binärbild Poren DS HD3\_1

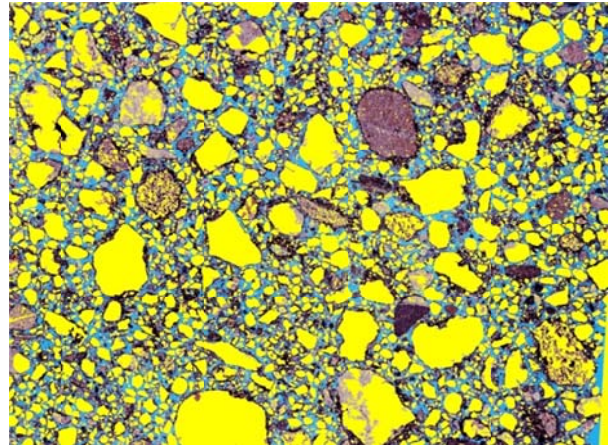


Abb. 4.28: Binärbild Quarzkörner DS HD3\_1

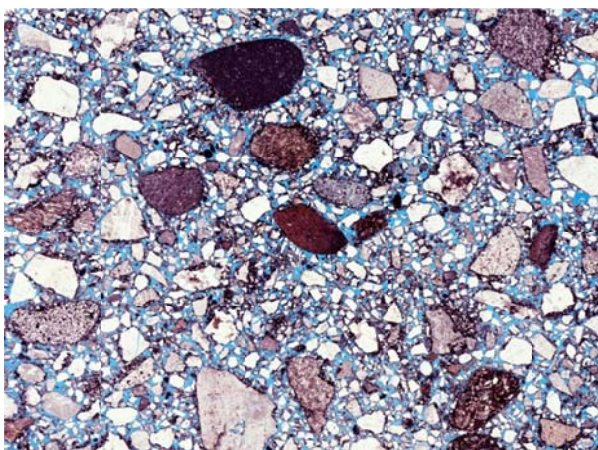


Abb. 4.29: Eingescannter Dünnschliff DS HD3\_2

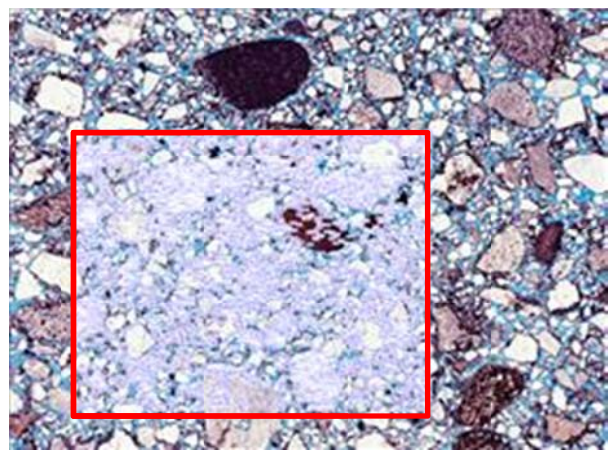


Abb. 4.30: Eingescannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD3\_2



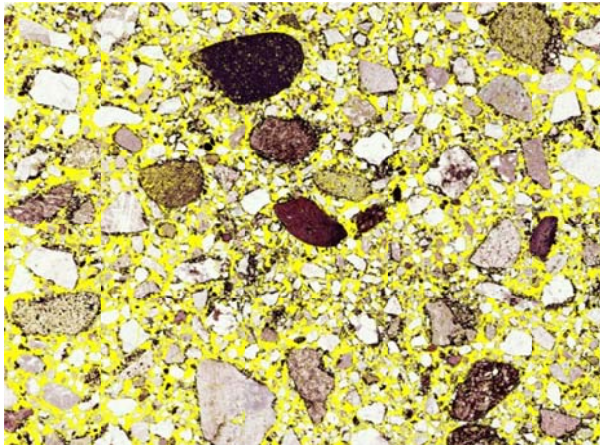


Abb. 4.31: Binärbild Poren DS HD3\_2

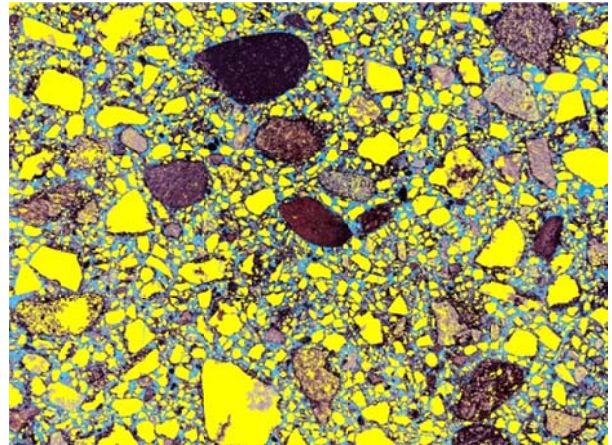


Abb. 4.32: Binärbild Quarzkörner DS HD3\_2

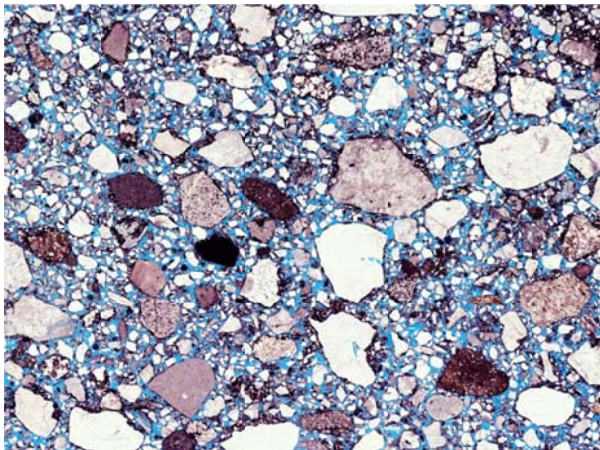


Abb. 4.33: Eingesannter Dünnschliff DS HD3\_3

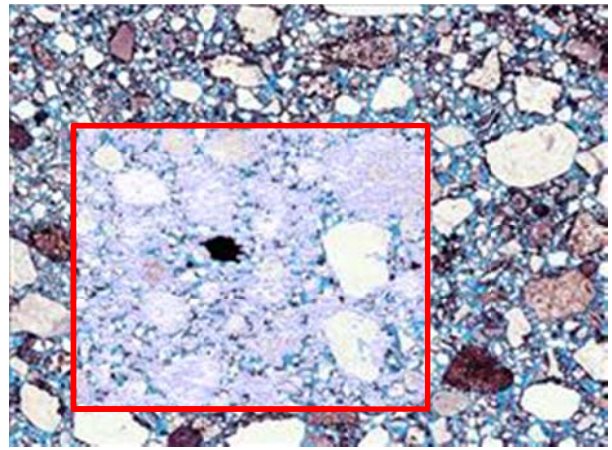


Abb. 4.34: Eingesannter Dünnschliff mit Messrahmen und Porenbeschriftung DS HD3\_3

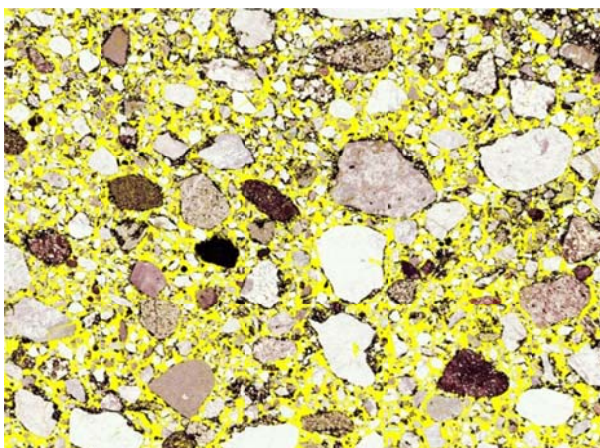


Abb. 4.35: Binärbild Poren DS HD3\_3

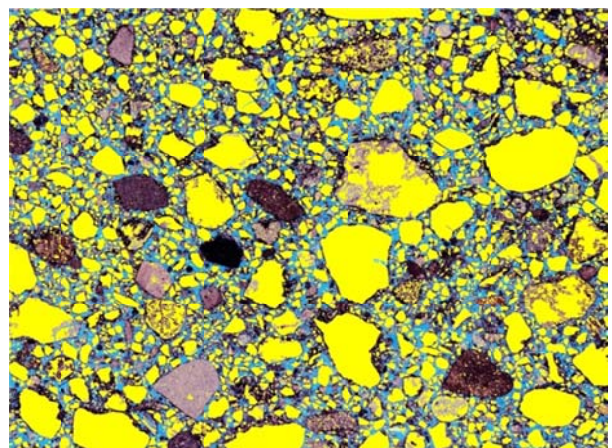


Abb. 4.36: Binärbild Quarzkörner DS HD3\_3



**Universität Stuttgart**

Institut für Werkstoffe im  
Bauwesen

Abt. Befestigungs- und  
Verstärkungsmethoden

## **Prüfbericht**

Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln  
in Vollsteinen unter Berücksichtigung  
der Materialeigenschaften und  
Materialzusammensetzung

## **Anhang A2**

Protokolle, Last-Verschiebungsdiagramme und Bilder zu  
den Dübelauszugversuchen

Der Anhang enthält 85 Seiten.

Die Vervielfältigung und Veröffentlichung des Prüfberichts in vollem als auch gekürztem Wortlaut sowie die Verwendung zur Werbung ist nur mit der schriftlichen Genehmigung des Instituts für Werkstoffe im Bauwesen und nur innerhalb eines Zeitraums von 2 Jahren nach der Ausstellung zulässig. Gerichtsstand und Erfüllungsort ist Stuttgart. Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.





# 1 Versuchsergebnisse Dübel A

Tabelle 1.1: Versuchsprotokoll Serie A\_WB1

Dübeltyp: A		Erstellt am: 12.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 1 (NF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: NF	Bohrertyp	: 4-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,18			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WAN 175 (-0,077)			
		Kraftmessring Vorspannung	: Faktor 51,5			
Versuchs- Nr.:	A_WB1_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit f <sub>Stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	46,8				
Versuchsdatum		10.07.2012	10.07.2012	10.07.2012	10.07.2012	10.07.2012
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	60	62	62	62	62
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung						
Vorspannkraft	[kN]	15	15	15	15	15
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	9,1	8,29	7,83	8,89	7,74
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	8,37				
Variationskoeffizient	[%]	7,31%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	1,21	1,23	1,11	0,79	0,78
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,14	0,20	0,13	0,12	0,13
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,14				
Variationskoeffizient	[%]	21,78%				
Versagensart		H/S	H/S	H/S	H/Sp	H/Sp
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		3	3,5	5		
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

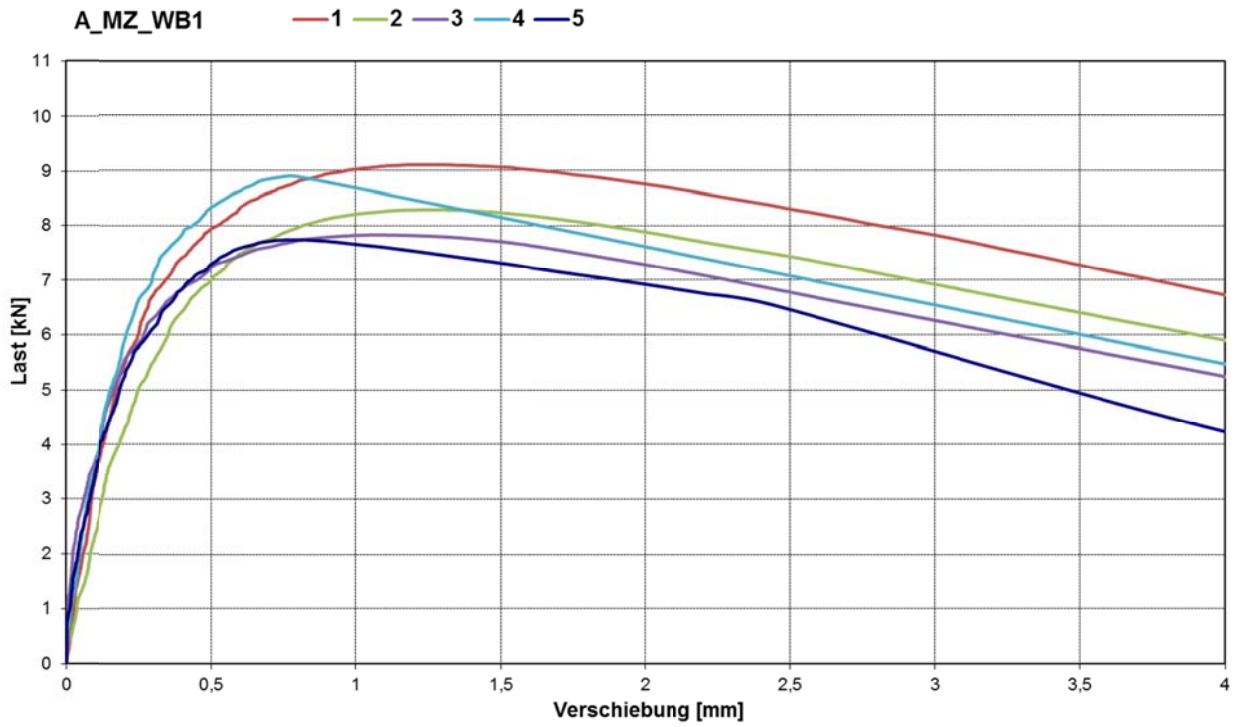


Abb. 1.1: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_WB1



Abb. 1.2: Dübel A\_WB1\_1



Abb. 1.3: Dübel A\_WB1\_4



Abb. 1.4: Dübel A\_WB1\_5



Tabelle 1.2: Versuchsprotokoll Serie A\_WB2

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 12.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 2 (2DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 2 DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,18			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WAN 175 (-0,077)			
		Kraftmessring Vorspannung	: Faktor 51,5			
Versuchs- Nr.:	A_WB2_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit f <sub>Stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	28,3				
Versuchsdatum		11.07.2012	11.07.2012	11.07.2012	11.07.2012	11.07.2012
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	>60	>60	>60	64	61
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	13	13	13	13	13
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft	[kN]	24	24	28	28	23
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	8,32	9,08	8,50	7,83	8,85
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	8,52				
Variationskoeffizient	[%]	5,69%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	1,43	1,45	1,39	1,65	1,38
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,17	0,07	0,14	0,21	0,10
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,14				
Variationskoeffizient	[%]	39,53%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]						
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						



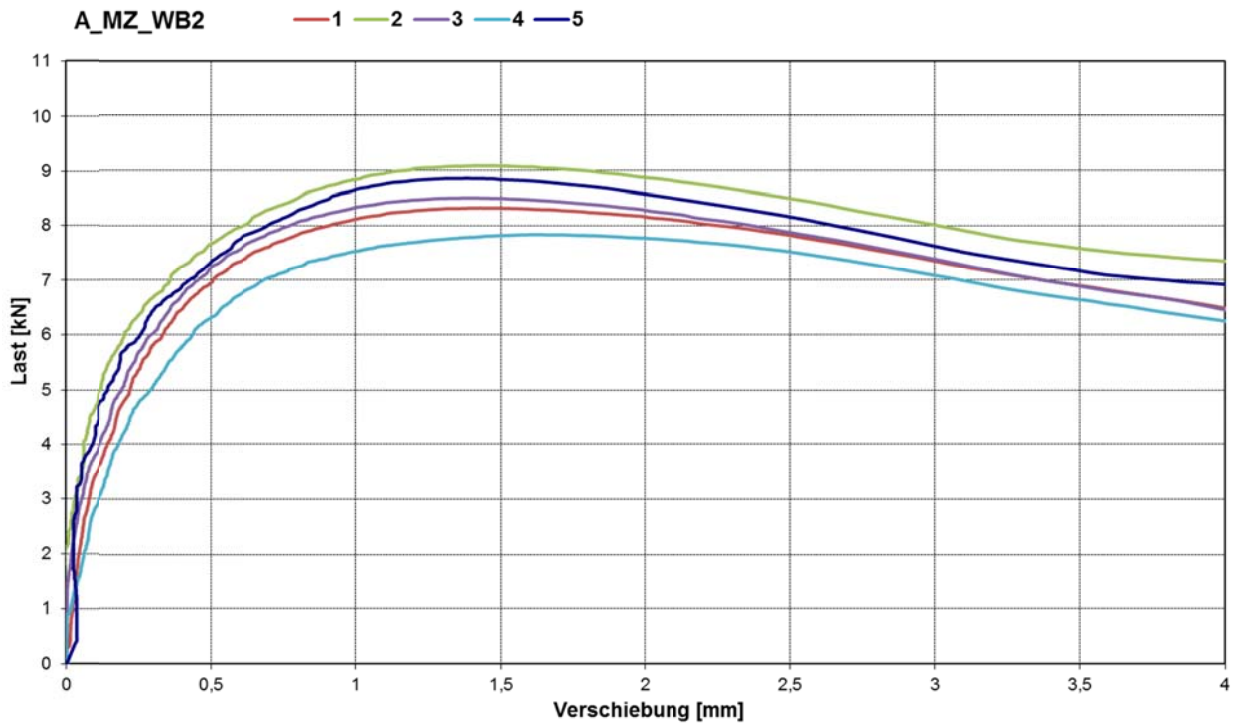


Abb. 1.5: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_WB2



Abb. 1.6: Dübel A\_WB2\_2 und A\_WB2\_1



Abb. 1.7: Dübel A\_WB2\_3



Abb. 1.8: Dübel A\_WB2\_5 und A\_WB2\_4



Tabelle 1.3: Versuchsprotokoll Serie A\_WB3

Dübeltyp: A		Erstellt am: 12.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 3 (3DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 3 DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,18			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WAN 175 (-0,077)			
		Kraftmessring Vorspannung	: Faktor 51,5			
Versuchs- Nr.:	A_WB3_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit f <sub>Stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	38,12				
Versuchsdatum		12.07.2012	12.07.2012	12.07.2012	12.07.2012	12.07.2012
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	61	61	61	61	61
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	15	15	13	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft	[kN]	23	18	22	22	23
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	6,78	6,33	8,90	8,96	9,89
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	8,17				
Variationskoeffizient	[%]	18,79%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	0,43	1,03	1,21	0,93	1,28
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,15	0,21	0,13	0,17	0,10
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,15				
Variationskoeffizient	[%]	26,46%				
Versagensart		Sp	H	H	H	H/S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]						5
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Druckfläche Vorspannung: Ca. 17x10cm				

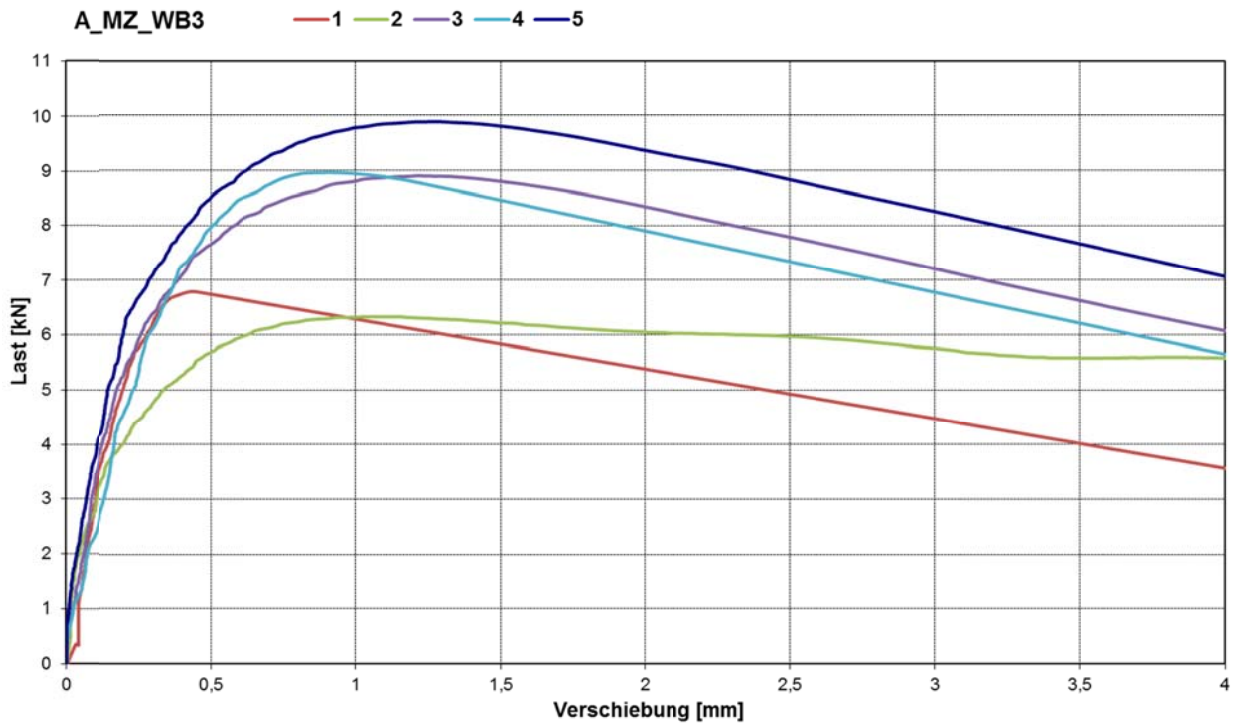


Abb. 1.9: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_WB3



Abb. 1.10:Dübel  
A\_WB3\_1



Abb. 1.11:Dübel  
A\_WB3\_2

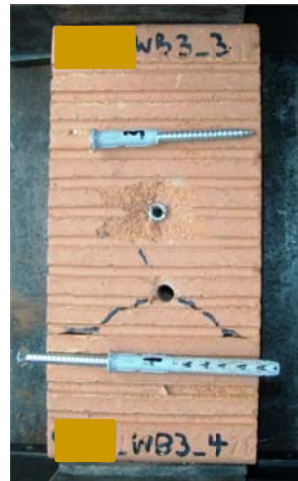


Abb. 1.12:Dübel  
A\_WB3\_3 und A\_WB3\_4



Abb. 1.13:Dübel  
A\_WB3\_5





Tabelle 1.4: Versuchsprotokoll Serie A\_HH1

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HH 1 (NF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: NF	Bohrertyp	: 4-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WAN 175 (-0,077)			
		Kraftmessring Vorspannung	: Faktor 51,5			
Versuchs- Nr.:	A_HH1_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	46,8				
Versuchsdatum		10.07.2012	10.07.2012	10.07.2012	10.07.2012	10.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	>60	>60	>60	61	60
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft	[kN]	15	10	18	15	15
Versagenslast $N_u$	[kN]	6,23	5,82	7,16	7,86	7,75
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	6,964				
Variationskoeffizient	[%]	13,06%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,383	0,859	0,6	1,249	1,275
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,1	0,162	0,108	0,099	0,123
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,12				
Variationskoeffizient	[%]	22,13%				
Versagensart		H	H/Sp	H/Sp	H/S	H/S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]					8	4
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

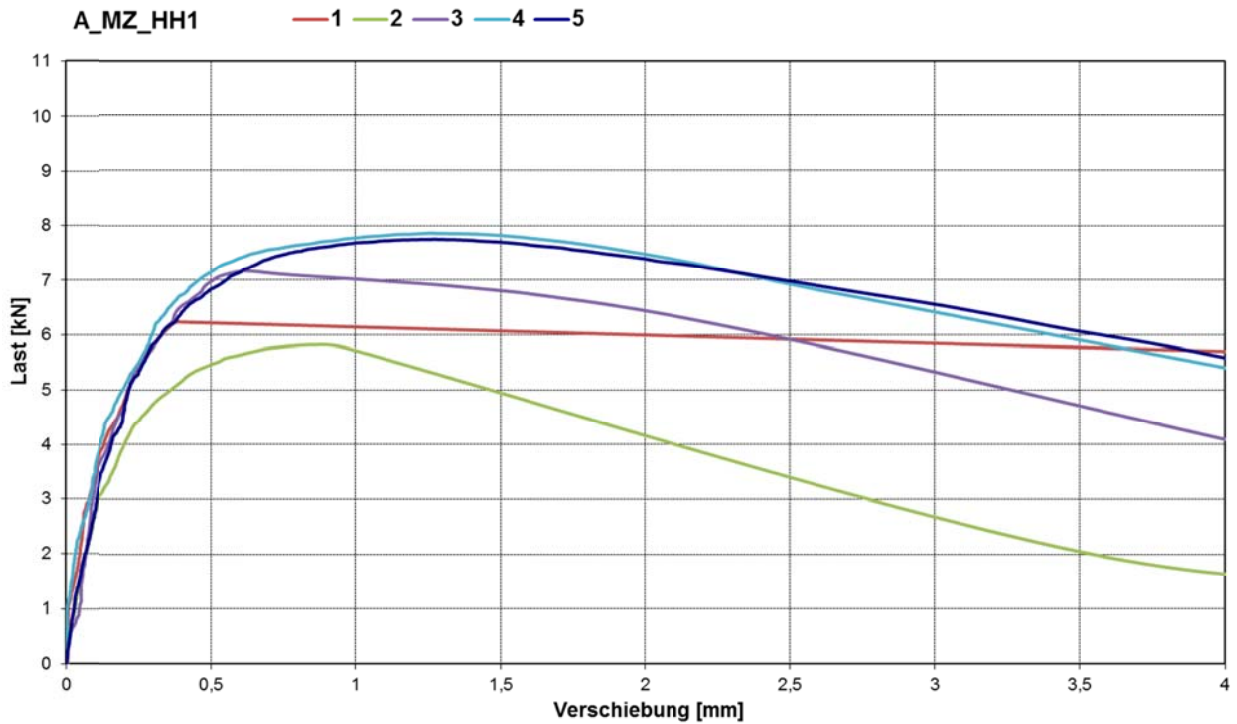


Abb. 1.14: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_HH1



Abb. 1.15: Dübel A\_HH1\_1



Abb. 1.16: Dübel A\_HH1\_2



Abb. 1.17: Dübel A\_HH1\_3



Abb. 1.18: Dübel A\_HH1\_4



Abb. 1.19: Dübel A\_HH1\_5



Tabelle 1.5: Versuchsprotokoll Serie A\_HH2

Dübeltyp: A		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HH 2 (2DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 2 DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,18			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WAN 175 (-0,077)			
		Kraftmessring Vorspannung	: Faktor 51,5			
Versuchs- Nr.:	A_HH2_	1	2	4	5	6
Druckfestigkeit f <sub>Stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	28,3				
Versuchsdatum		11.07.2012	11.07.2012	20.07.2012	20.07.2012	20.07.2012
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	60	62	63	61	61
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft	[kN]	24	24	24	27	26
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	8,08	9,76	8,38	8,43	8,8
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	8,69				
Variationskoeffizient	[%]	7,49%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	1,474	1,665	1,923	1,152	1,278
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,665	0,444	0,213	0,162	0,143
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,33				
Variationskoeffizient	[%]	69,06%				
Versagensart		H/Sp	H/Sp	H	H/Sp	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]						
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V3 ungültig				



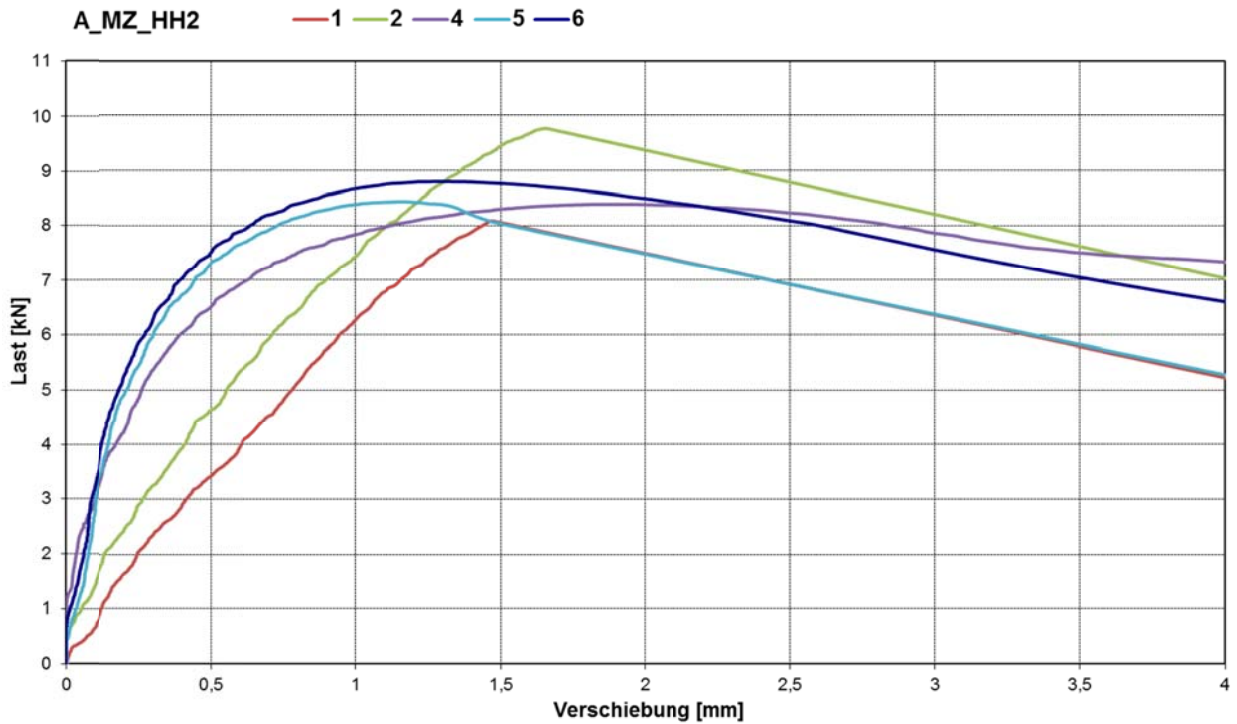


Abb. 1.20: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_HH2



Abb. 1.21: Dübel A\_HH2\_1



Abb. 1.22: Dübel A\_HH2\_2



Abb. 1.23: Dübel A\_HH2\_4



Abb. 1.24: Dübel A\_HH2\_5



Abb. 1.25: Dübel A\_HH2\_6



Tabelle 1.6: Versuchsprotokoll Serie A\_HH3

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HH 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 24x24x11 cm	Bohrertyp	: 4-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WAN 175 (-0,077)			
		Kraftmessring Vorspannung	: Faktor 51,5			
Versuchs- Nr.:	<b>A_HH3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	38,1				
Versuchsdatum		12.07.2012	12.07.2012	12.07.2012	12.07.2012	12.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	60	64	>60	>60	>60
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft	[kN]	27	23	22	23	23
Versagenslast $N_u$	[kN]	6,89	6,77	6,41	8,02	7,51
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	7,12				
Variationskoeffizient	[%]	9,00%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,246	2,224	0,856	1,943	1,817
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,239	0,191	0,109	0,146	0,26
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,19				
Variationskoeffizient	[%]	33,25%				
Versagensart		S	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		16				
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1: Tiefe Ausbruch = Hef=5cm				

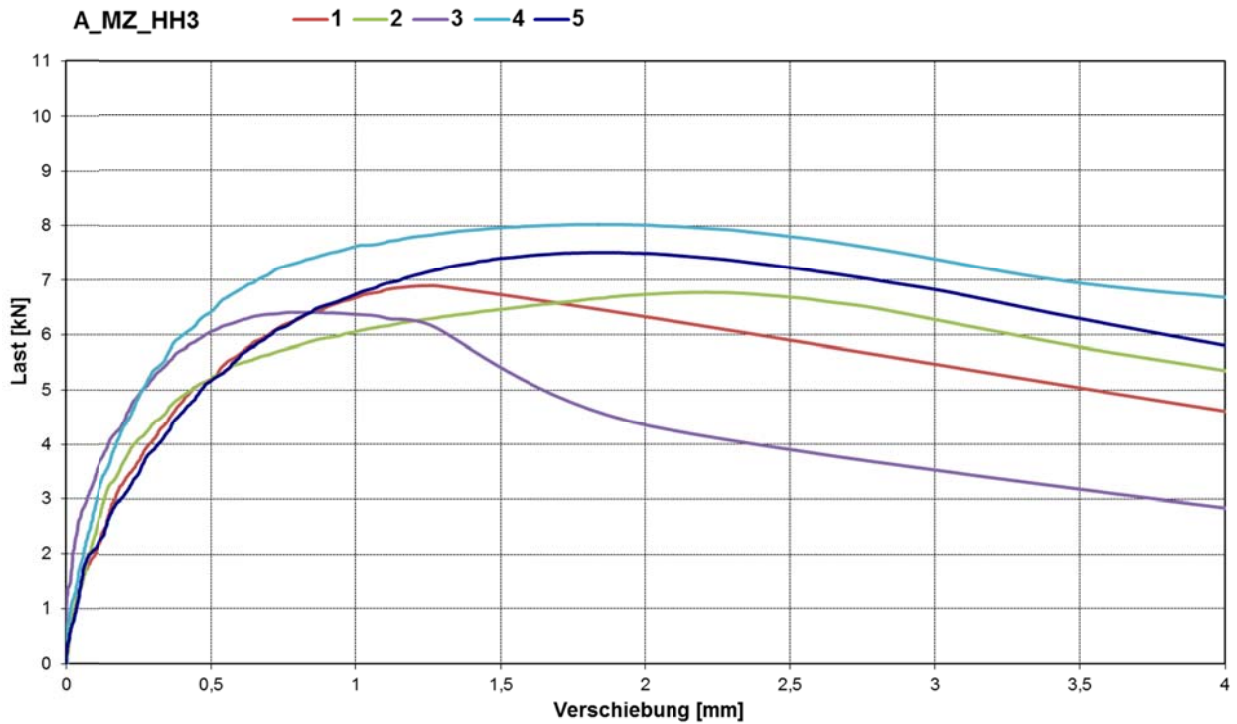


Abb. 1.26: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_HH3



Abb. 1.27: Dübel A\_HH3\_1



Abb. 1.28: Dübel A\_HH3\_2



Abb. 1.29: Dübel A\_HH3\_3



Abb. 1.30: Dübel A\_HH3\_4



Abb. 1.31: Dübel A\_HH3\_5





Tabelle 1.7: Versuchsprotokoll Serie A\_EB1

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Herr Scherf					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 1	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,19			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 1			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteil [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WA 175 (-0.077)			
Versuchs- Nr.:	<b>A_KS_EB1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9				
Versuchsdatum		17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	64	65	65	62	64
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	7,53	9,03	9,68	8,53	9,09
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	8,772				
Variationskoeffizient	[%]	9,18%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,53	-	0,93	1,00	0,83
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,14	-	0,09	0,13	0,09
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,11				
Variationskoeffizient	[%]	21,05%				
Versagensart		S	S	S	S/H	S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		6	5	7x3	3	5
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V2: WA verrutscht (nicht in Auswertung Verschiebung)				

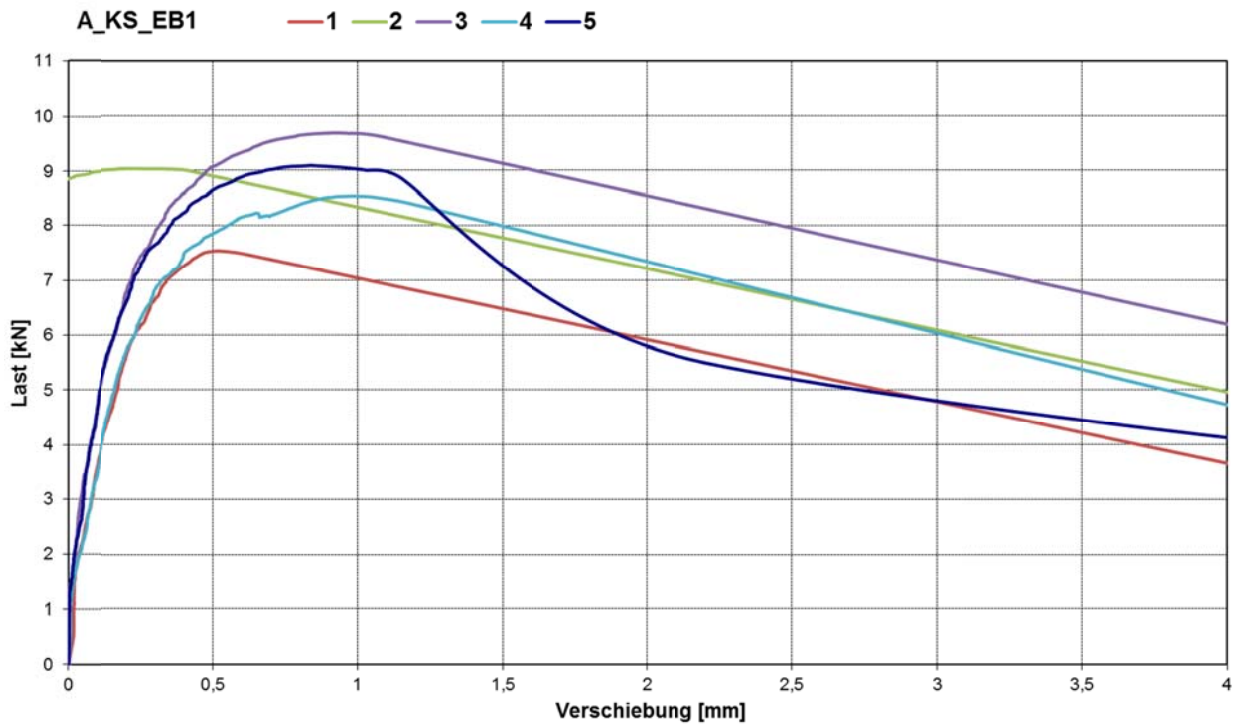


Abb. 1.32: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_EB1

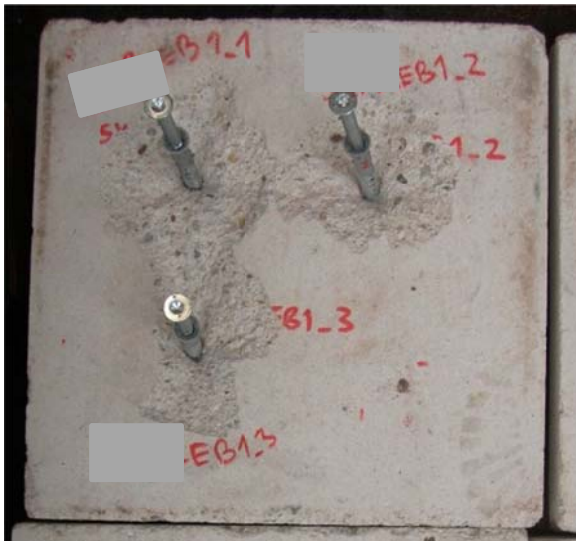


Abb. 1.33: Dübel A\_EB1\_1, A\_EB1\_2 und A\_EB1\_3

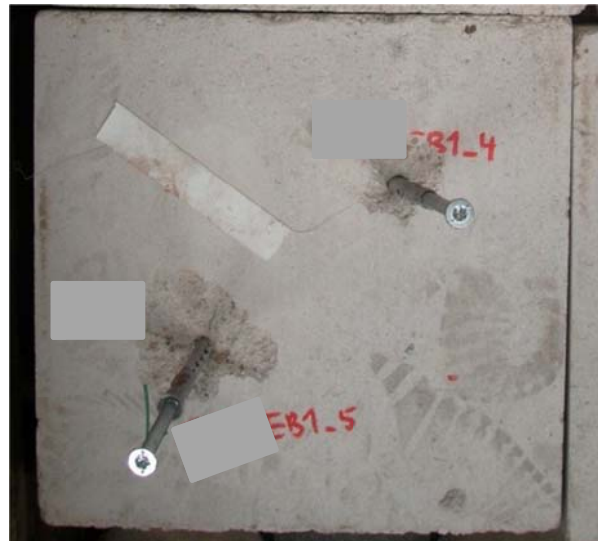


Abb. 1.34: Dübel A\_HH1\_4 und A\_EB1\_5



Tabelle 1.8: Versuchsprotokoll Serie A\_EB2

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Herr Scherf					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	:	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,19			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 1			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteil [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WA 175 (-0.077)			
Versuchs- Nr.:	<b>A_KS_EB2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,3				
Versuchsdatum		17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	62	65	63	64	65
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	8,05	8,41	8,18	8,04	8,45
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	8,23				
Variationskoeffizient	[%]	2,37%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,79	0,87	0,74	0,60	0,89
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,11	0,13	0,10	0,10	0,09
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,10				
Variationskoeffizient	[%]	13,33%				
Versagensart		S	S	H	H/S	S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		6	6	-	3,5	5
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						



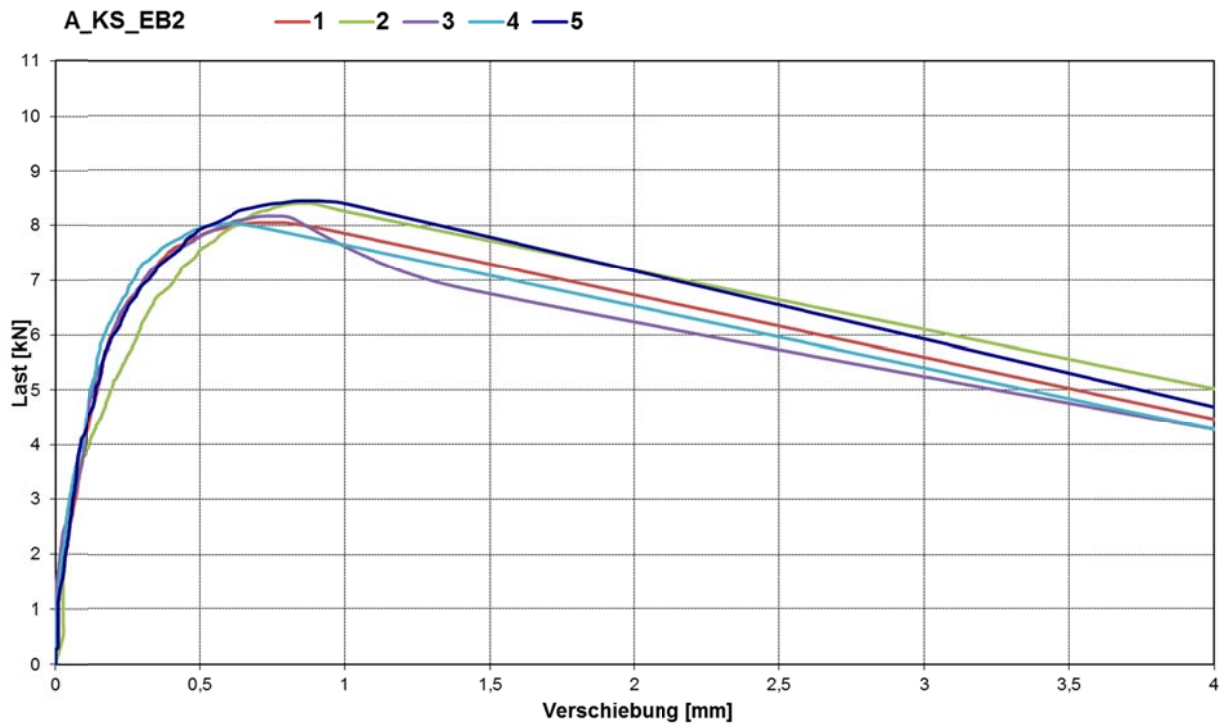


Abb. 1.35: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_EB2



Abb. 1.36: Dübel A\_EB2\_1 und A\_EB2\_2



Abb. 1.37: Dübel A\_EB2\_3, A\_EB2\_4 und A\_EB2\_5



Tabelle 1.9: Versuchsprotokoll Serie A\_EB3

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Herr Scherf					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,19			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 1			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteil [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WA 175 (-0.077)			
Versuchs- Nr.:	<b>A_KS_EB3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	11,8				
Versuchsdatum		17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012	17.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	66	65	65	64	65
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	7,86	7,82	6,64	6,94	7,45
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	7,34				
Variationskoeffizient	[%]	7,34%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	-	0,76	0,44	0,66	0,71
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	-	0,12	0,06	0,12	0,09
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,10				
Variationskoeffizient	[%]	30,32%				
Versagensart		S	S	S	S	S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		7x4	7	5	8x4	6
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1: Weg nicht gemessen				

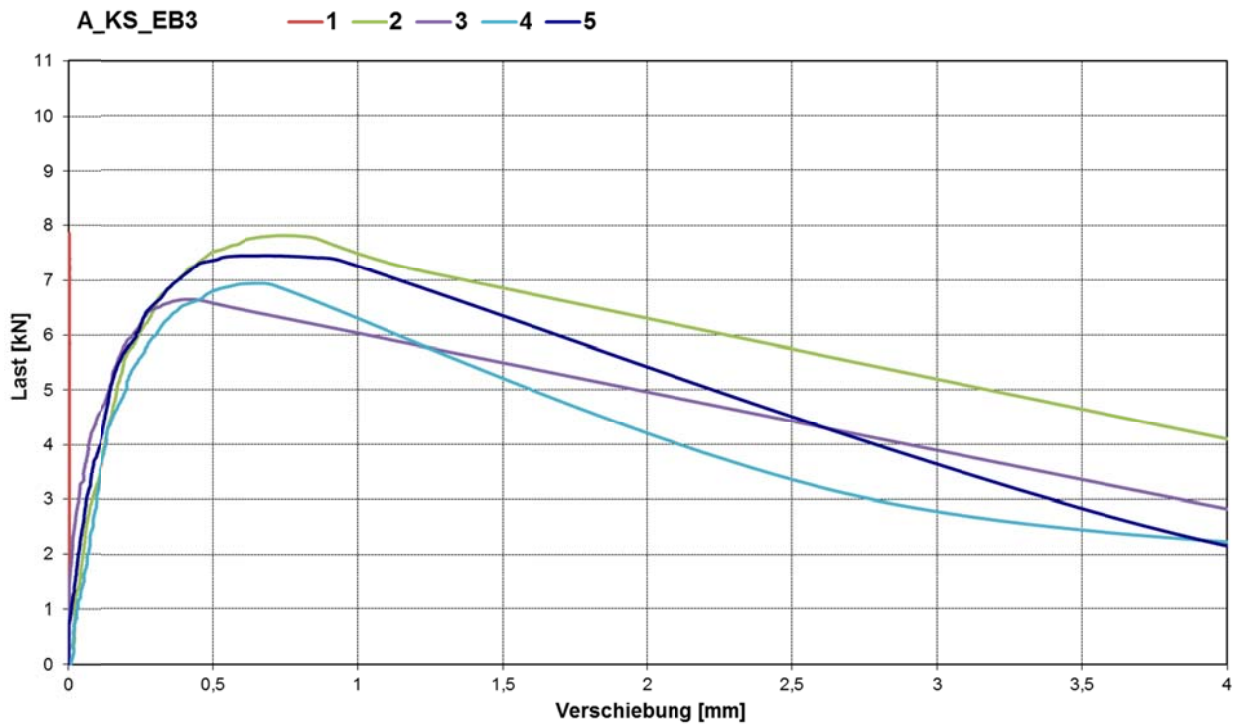


Abb. 1.38: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_EB3

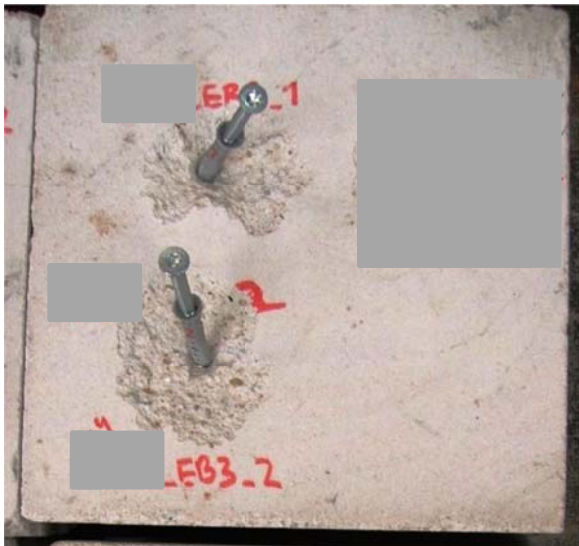


Abb. 1.39: Dübel A\_EB3\_1 und A\_EB3\_2

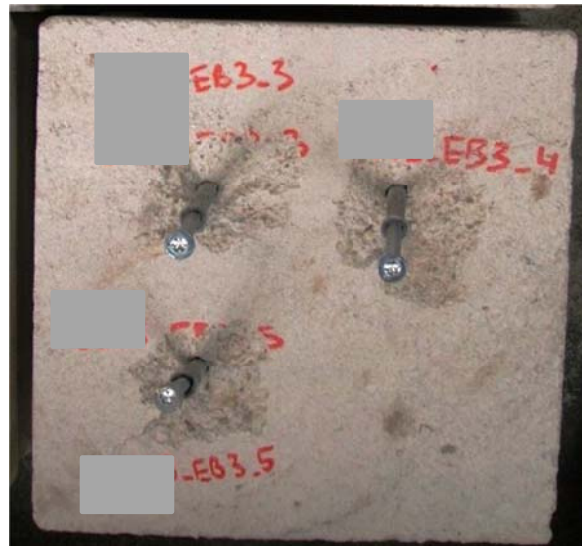


Abb. 1.40: Dübel A\_EB3\_3, A\_EB3\_4 und A\_EB3\_5





Tabelle 1.10: Versuchsprotokoll Serie A\_HD1

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Herr Scherf					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , : $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 1	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,19			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 1			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteil [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WA 175 (-0.077)			
Versuchs- Nr.:	<b>A_KS_HD1_</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	21,2				
Versuchsdatum		18.07.2012	18.07.2012	19.07.2012	19.07.2012	19.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	61	61	63	63	63
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	10,13	11,53	10,11	12,28	12,26
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	11,262				
Variationskoeffizient	[%]	9,64%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,90	1,31	-	1,27	-
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,13	0,12	-	0,14	-
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,13				
Variationskoeffizient	[%]	7,11%				
Versagensart		S	H/S	S/H	S/H	S/H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		7x3,5	4	4	3	3x6
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V 1, 2 und 4 mit zu geringem Randabstand gesetzt --> ungültig V6, V8: WA hängt/verrutscht (nicht in Auswertung)				

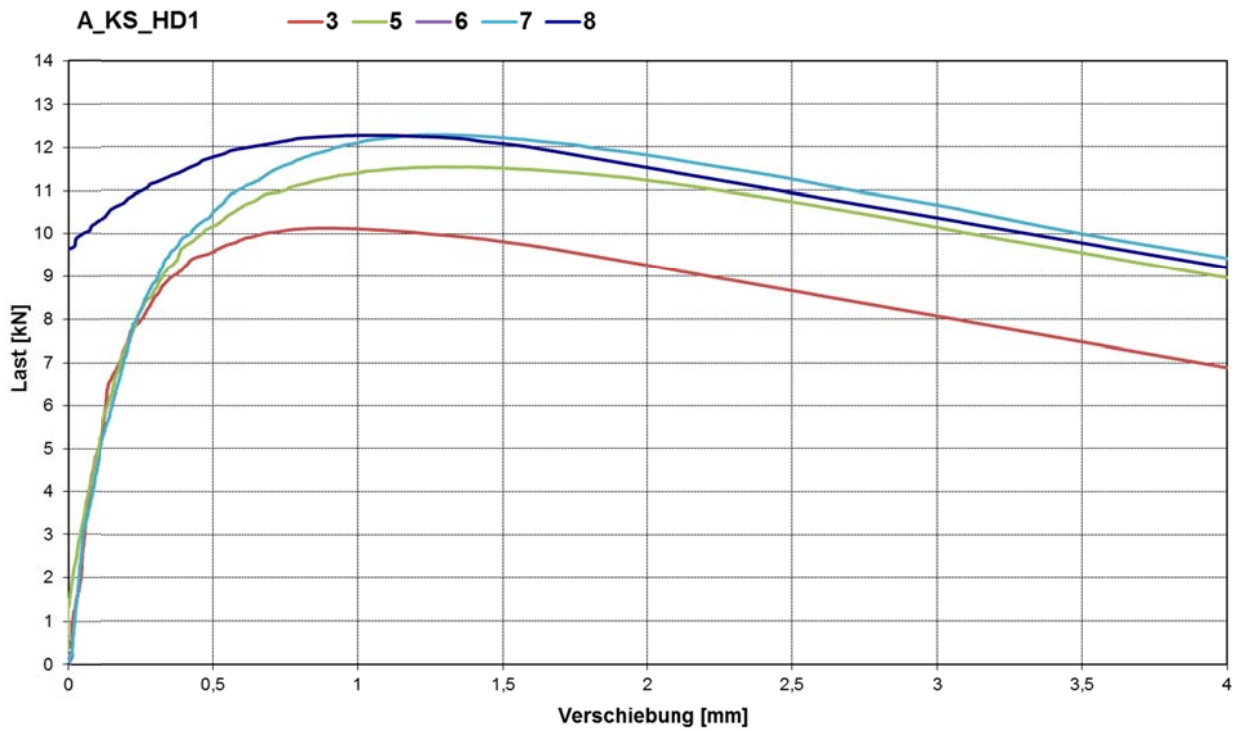


Abb. 1.41: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_HD1



Abb. 1.42: Dübel A\_HD1\_3



Abb. 1.43: Dübel A\_HD1\_5



Abb. 1.44: Dübel A\_HD1\_6



Abb. 1.45: Dübel A\_HD1\_7



Abb. 1.46: Dübel A\_HD1\_8



Tabelle 1.11: Versuchsprotokoll Serie A\_HD2

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Herr Scherf					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , : $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 2	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,19			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 1			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteil [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WA 175 (-0.077)			
Versuchs- Nr.:	<b>A_KS_HD2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	19,8				
Versuchsdatum		18.07.2012	18.07.2012	19.07.2012	19.07.2012	19.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	62	62	62	63	63
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	7,70	10,40	11,02	11,82	11,24
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	11,12				
Variationskoeffizient	[%]	5,28%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]		0,87	-	1,57	0,94
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]		0,09	-	0,15	0,06
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,10				
Variationskoeffizient	[%]	43,76%				
Versagensart		Sp	S	S/H	H	S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	6	3	-	7
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1: Vorm Versuch Haarriss im Stein --> ungültig V3: WA verrutscht (nicht in Auswertung)				

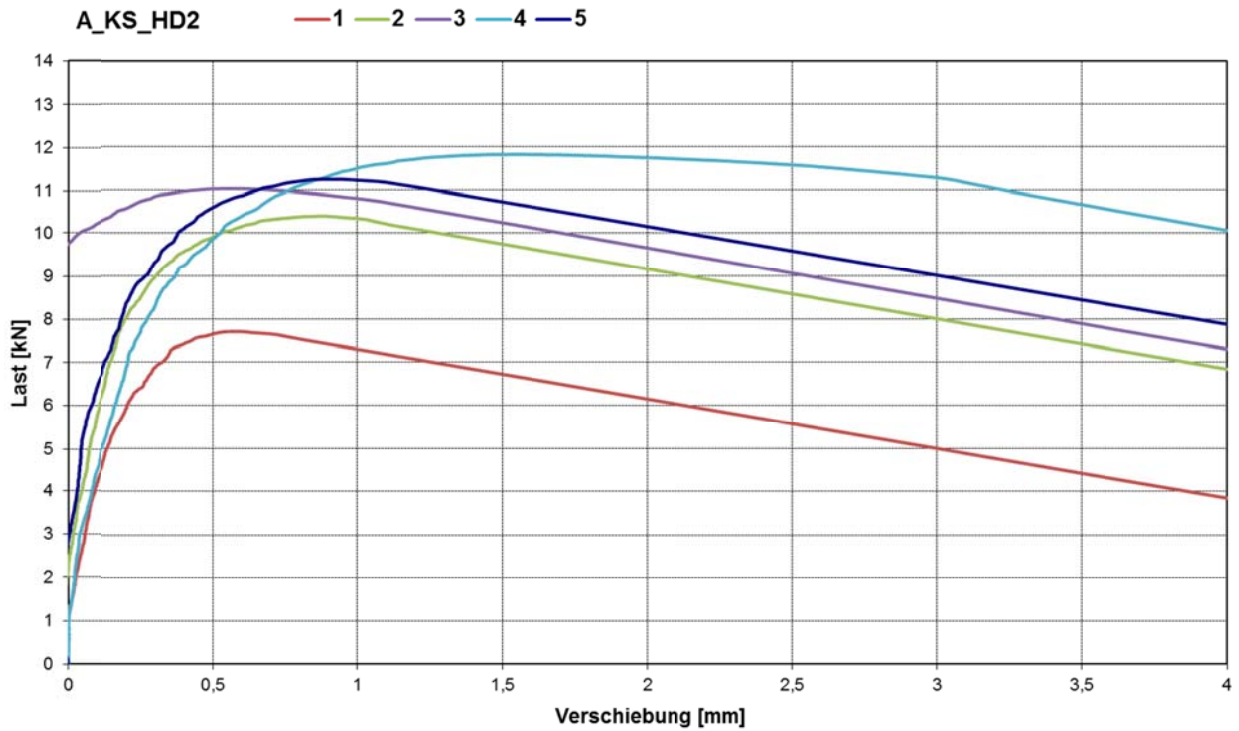


Abb. 1.47: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_HD2

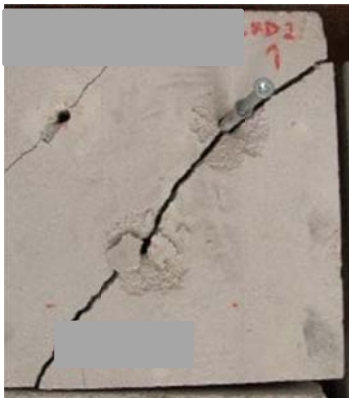


Abb. 1.48: Dübel A\_HD2\_1; Riss nachträglich entstanden



Abb. 1.49: Dübel A\_HD2\_2



Abb. 1.50: Dübel A\_HD2\_3



Abb. 1.51: Dübel A\_HD2\_4



Abb. 1.52: Dübel A\_HD2\_5





Tabelle 1.12: Versuchsprotokoll Serie A\_HD2

<b>Dübeltyp: A</b>		Erstellt am: 20.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz / Herr Scherf					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 4-schneid			
		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,19			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 1			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteil [mm]	: 30	Wegaufnehmer	: WA 175 (-0.077)			
Versuchs- Nr.:	<b>A_KS_HD3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,3				
Versuchsdatum		18.07.2012	18.07.2012	18.07.2012	18.07.2012	18.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	64	64	64	64	64
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	12,32	10,47	12,16	11,60	10,66
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	11,44				
Variationskoeffizient	[%]	7,40%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,20	0,98	1,19	1,21	0,83
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,12	0,11	0,13	0,14	0,11
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,12				
Variationskoeffizient	[%]	7,67%				
Versagensart		H	S	S	S	S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	7	6x9	5	6
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

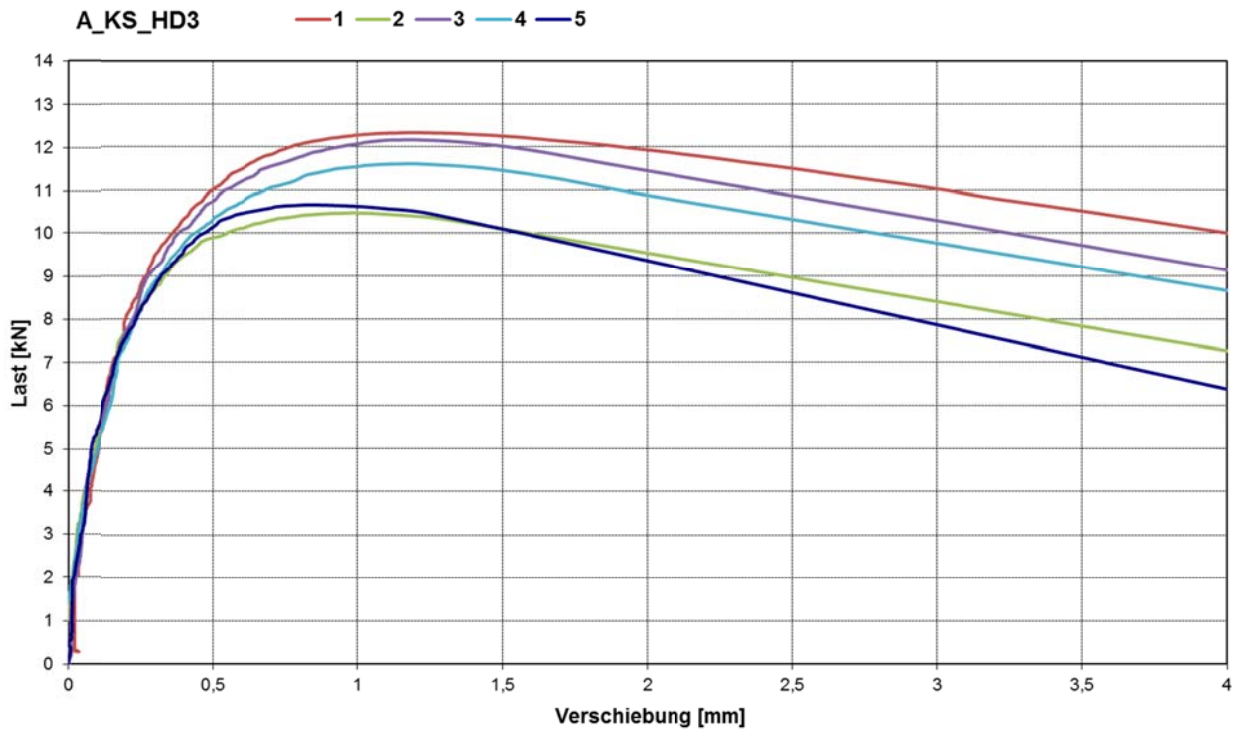


Abb. 1.53: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie A\_HD3



Abb. 1.54: Dübel A\_HD3\_1



Abb. 1.55: Dübel A\_HD3\_2



Abb. 1.56: Dübel A\_HD3\_3



Abb. 1.57: Dübel A\_HD3\_4



Abb. 1.58: Dübel A\_HD3\_5



## 2 Versuchsergebnisse Dübel B

Tabelle 2.1: Versuchsprotokoll Serie B\_WB1

Dübeltyp: B		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren			: Hilti TE 35 / Hammerbohren	
Charge Nr.	: WB 1 (NF)	Montage		: Durchsteckmontage		
Steingröße [mm]	: NF	Bohrertyp		: 2-schneid		
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]		: 8,30		
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung		: vertikal		
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5		
Abstützung	: weit	Zylinder		: 50kN		
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank		: MS001		
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose		: KMD 029 (9.9881)		
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer		: WAN 104 (-0,0774)		
Versuchs- Nr.:	B_MZ_WB1_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit f <sub>Stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	46,76				
Versuchsdatum		17.11.2011	17.11.2011	17.11.2011	17.11.2011	17.11.2011
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	64	63	65	64	64
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	14	14	14	14	14
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		15 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	9,3	9,52	9,61	9,73	10,48
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	9,728				
Variationskoeffizient	[%]	4,61%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	0,7	0,8	0,8	0,87	0,9
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,102	0,093	0,074	0,094	0,08
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,09				
Variationskoeffizient	[%]	12,81%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

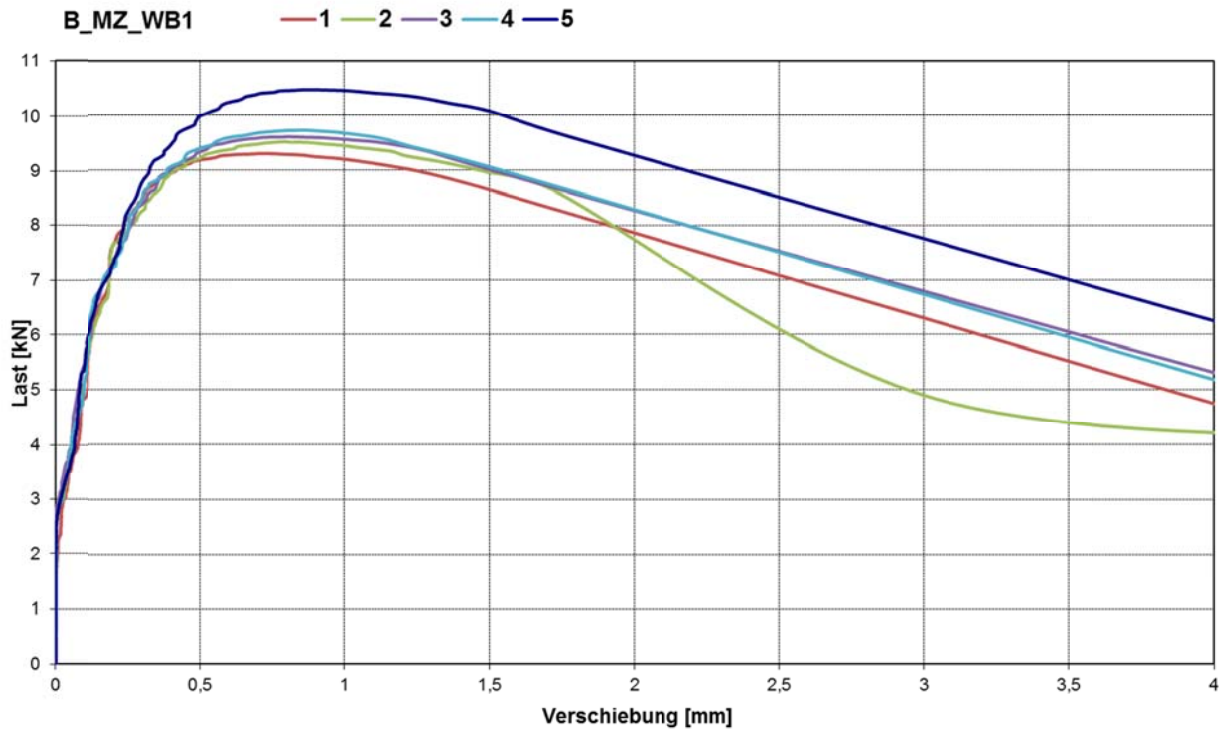


Abb. 2.1: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_WB1



Abb. 2.2: Dübel B\_WB1\_1, B\_WB1\_2, B\_WB1\_3, B\_WB1\_4 und B\_WB1\_5





Tabelle 2.2: Versuchsprotokoll Serie B\_WB2

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 2 (2DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 2 DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,30			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer	: WAN 104 (-0,0774)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_MZ_WB2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit f <sub>stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	28,25				
Versuchsdatum		17.11.2011	17.11.2011	17.11.2011	17.11.2011	17.11.2011
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	64	64	65	65	64
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	14	14	14	14	14
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		23,6 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	7,98	7,73	7,85	7,05	7,76
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	7,674				
Variationskoeffizient	[%]	4,72%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	1,27	1,31	0,99	0,8	1,17
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,093	0,056	0,052	0,037	0,085
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,06				
Variationskoeffizient	[%]	36,45%				
Versagensart		H / S	H	H	H	
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		3	-	-	-	
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Steinausbruch nur Oberflächlich				

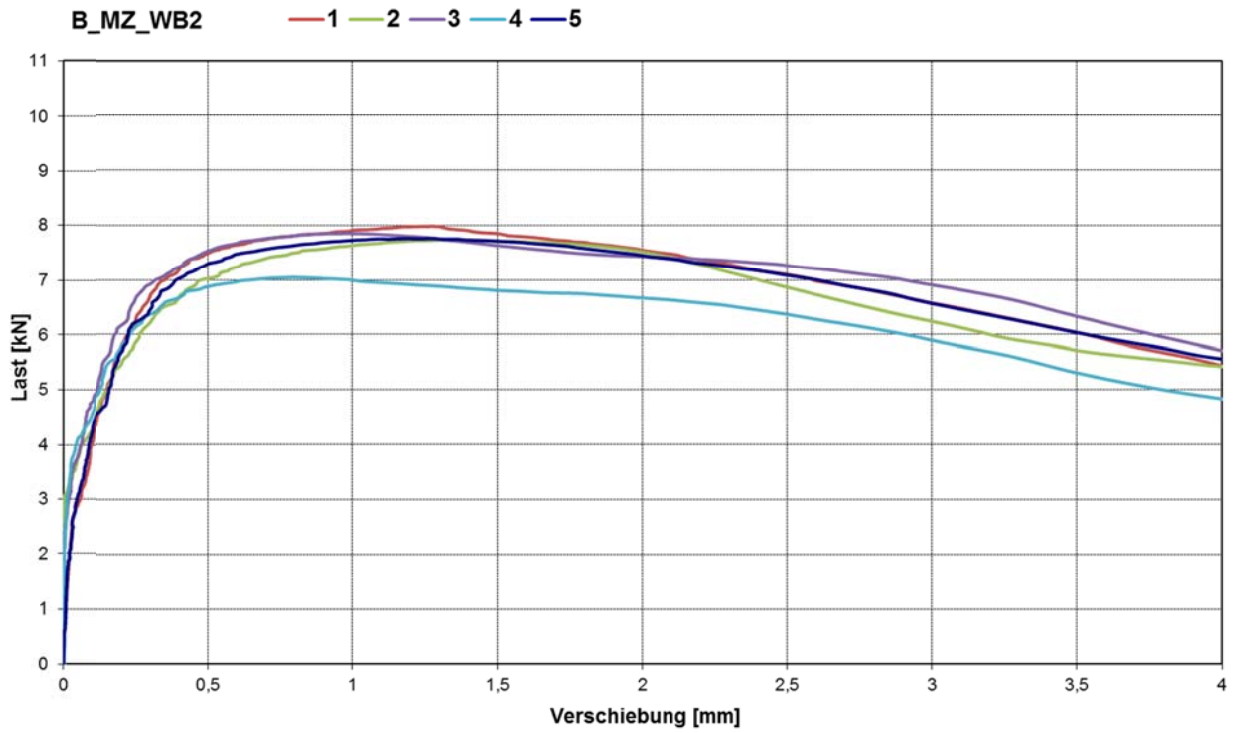


Abb. 2.3: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_WB2



Abb. 2.4: Dübel B\_WB2\_1, B\_WB2\_2, B\_WB2\_3, B\_WB2\_4 und B\_WB2\_5



Tabelle 2.3: Versuchsprotokoll Serie B\_WB3

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 3 (3DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 3 DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,30			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer	: WAN 104 (-0,0774)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_MZ_WB3_</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Druckfestigkeit f <sub>stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	38,12				
Versuchsdatum		16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	65	64	64	66	97
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	14	14	14	14	14
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		36,5 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	9,13	9,38	10,13	9,96	8,06
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	9,332				
Variationskoeffizient	[%]	8,79%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	0,82	0,97	0,84	0,81	0,79
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,083	0,131	0,08	0,089	0,1
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,10				
Variationskoeffizient	[%]	21,42%				
Versagensart		H	H	H	H	H / S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	4
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Steinausbruch nur Oberflächlich				

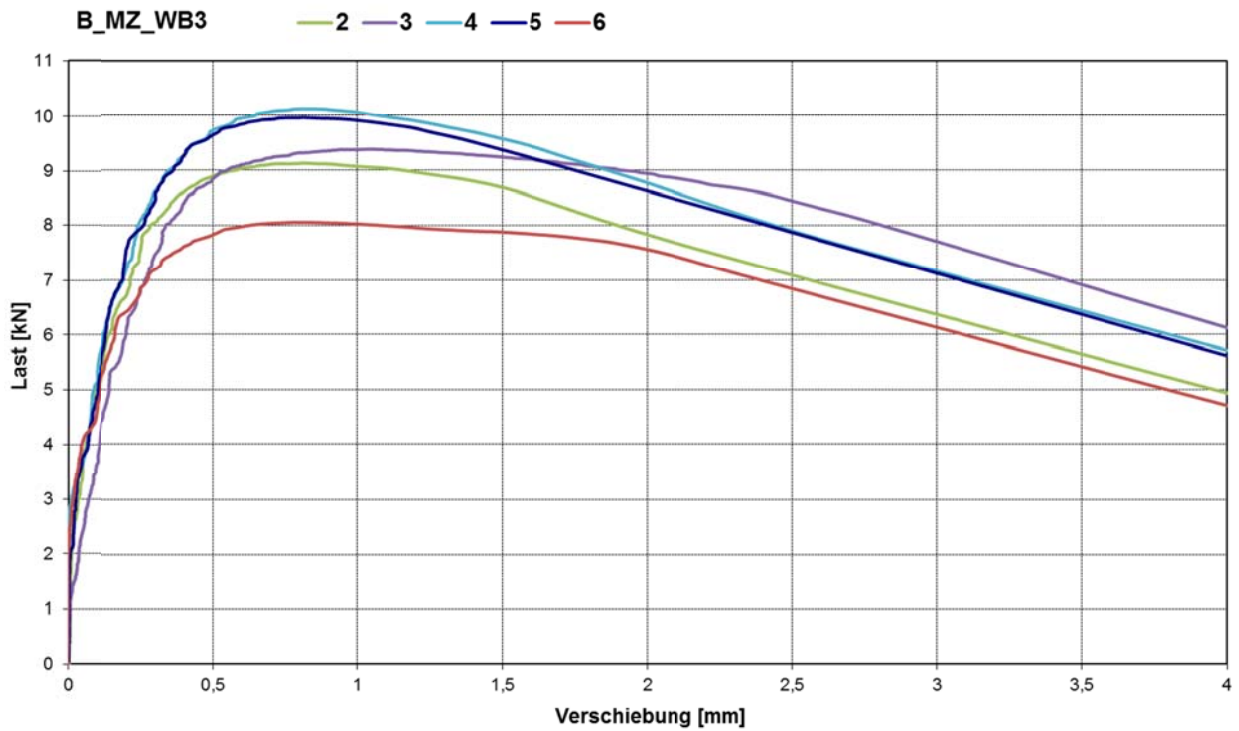


Abb. 2.5: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_WB3



Abb. 2.6: Dübel B\_WB3\_2



Abb. 2.7: Dübel B\_WB3\_3



Abb. 2.8: Dübel B\_WB3\_4



Abb. 2.9: Dübel B\_WB3\_5



Abb. 2.10: Dübel B\_WB3\_6





Tabelle 2.4: Versuchsprotokoll Serie B\_HH1

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 05.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz, Herr Peter Scherf					
Steinart	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren			: Hilti TE 35 / Hammerbohren	
Charge Nr.	: HH 1 (NF)	Montage			: Durchsteckmontage	
Steingröße [mm]	: NF	Bohrertyp			: 2-schneid	
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]			: 8,26	
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung			: vertikal	
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]			: 5	
Abstützung	: weit	Zylinder			: 50kN	
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank			: MS5	
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose			: KMD 025 (9.9907)	
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer			: WAN 061 (-0,0771)	
Versuchs- Nr.:	<b>B_MZ_HH1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	48,1				
Versuchsdatum		02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	67	67	67	66	66
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		15 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast $N_u$	[kN]	5,98	6,16	5,43	6,13	5,54
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	5,85				
Variationskoeffizient	[%]	5,82%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,41	0,59	0,41	0,59	0,45
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,03	0,01	0,06	0,04	0,04
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,04				
Variationskoeffizient	[%]	43,92%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Kalibrierfaktor Kraftmessring zur Vorspannung: 51,5				

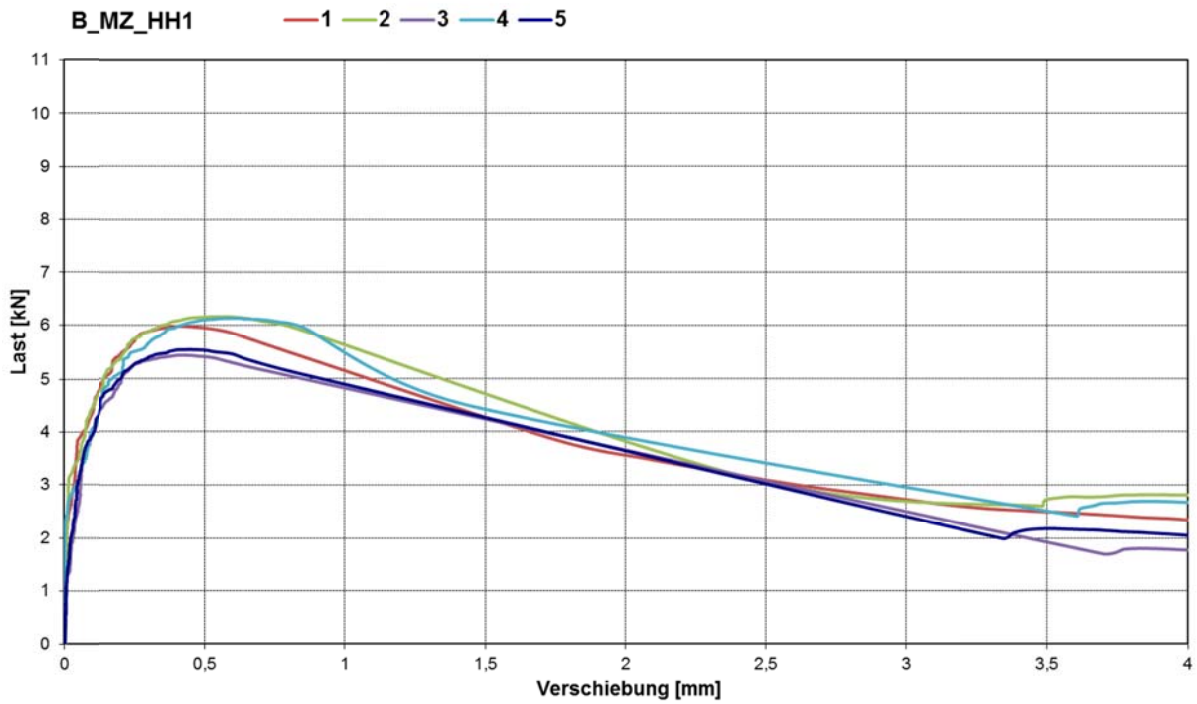


Abb. 2.11: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_HH1



Abb. 2.12: Dübel B\_HH1\_1



Abb. 2.13: Dübel B\_HH1\_2



Abb. 2.14: Dübel B\_HH1\_3



Abb. 2.15: Dübel B\_HH1\_4



Abb. 2.16: Dübel B\_HH1\_5



Tabelle 2.5: Versuchsprotokoll Serie B\_HH2

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 05.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz, Herr Peter Scherf					
Charge Nr.	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HH 2 (2DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 2 DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,26			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS5			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer	: WAN 061 (-0,0771)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_MZ_HH2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	39,6				
Versuchsdatum		02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	67	67	66	66	67
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		24 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast $N_u$	[kN]	6,65	5,92	4,88	3,87	4,72
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	5,208				
Variationskoeffizient	[%]	20,86%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,18	1,11	0,83	0,77	1,12
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,23	0,23	0,18	0,14	0,24
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,20				
Variationskoeffizient	[%]	21,93%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Kalibrierfaktor Kraftmessring zur Vorspannung: 51,5				

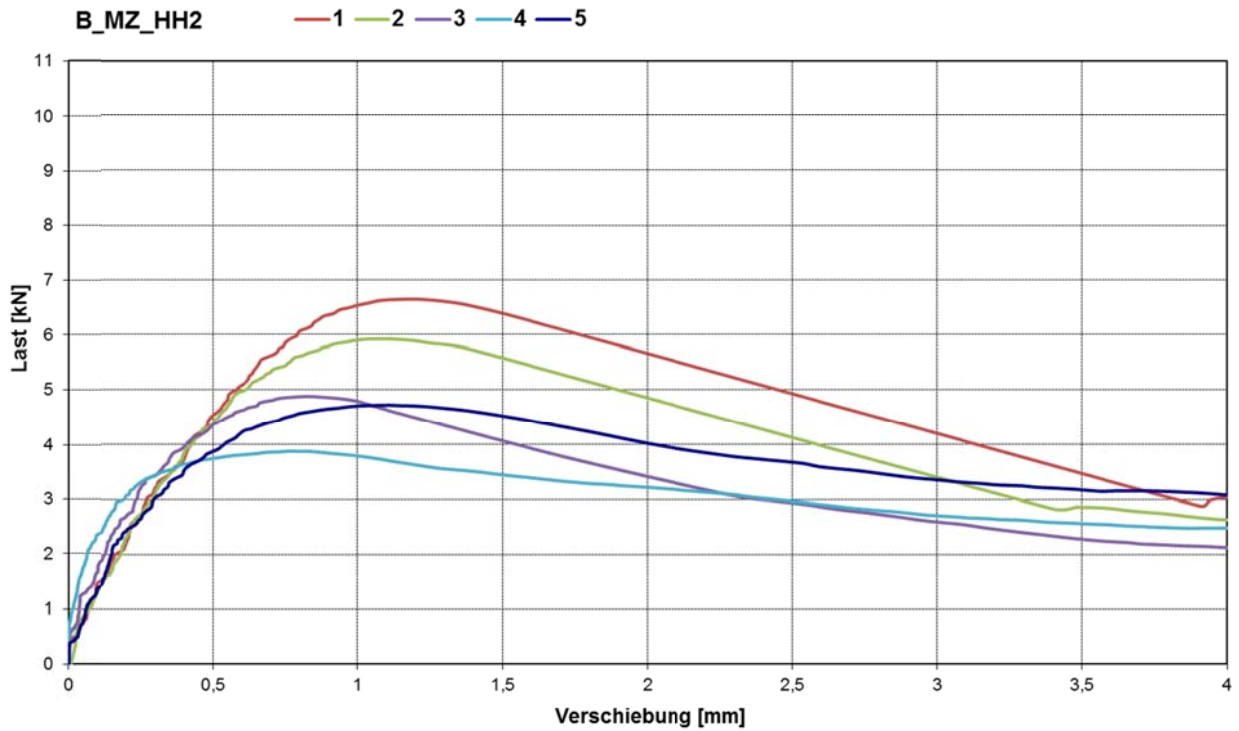


Abb. 2.17: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_HH2



Abb. 2.18: Dübel B\_HH2\_1



Abb. 2.19: Dübel B\_HH2\_2



Abb. 2.20: Dübel B\_HH2\_3



Abb. 2.21: Dübel B\_HH2\_4



Abb. 2.22: Dübel B\_HH2\_5





Tabelle 2.6: Versuchsprotokoll Serie B\_HH3

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 05.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz, Herr Peter Scherf					
Steinart	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren : Hilti TE 35 / Hammerbohren				
Charge Nr.	: HH 3	Montage : Durchsteckmontage				
Steingröße [mm]	: 24x24x11 cm	Bohrertyp : 4-schneid				
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm] : 8,18				
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung : vertikal				
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz] : 5				
Abstützung	: weit	Zylinder : 50kN				
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank : MS5				
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose : KMD 025 (9.9907)				
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer : WAN 061 (-0,0771)				
Versuchs- Nr.:	<b>B_MZ_HH3_</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,1				
Versuchsdatum		03.07.2012	03.07.2012	03.07.2012	03.07.2012	03.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	64	65	65	72	67
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	12	12	12	12	12
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft	[kN]	12	8	16	15	10
Versagenslast $N_u$	[kN]	5,15	3,31	4,68	4,52	5,07
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	4,546				
Variationskoeffizient	[%]	16,26%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,20	0,87	1,58	0,53	1,31
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,15	0,09	0,16	0,03	0,18
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,12				
Variationskoeffizient	[%]	52,28%				
Versagensart		H	H/Sp	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:	S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten					
Bemerkungen:	Kalibrierfaktor Kraftmessring zur Vorspannung: 51,5 V1 und V2 nicht aufgeführt da ungültig Stein zum Teil bei Aufbringen der Vorspannung gerissen					

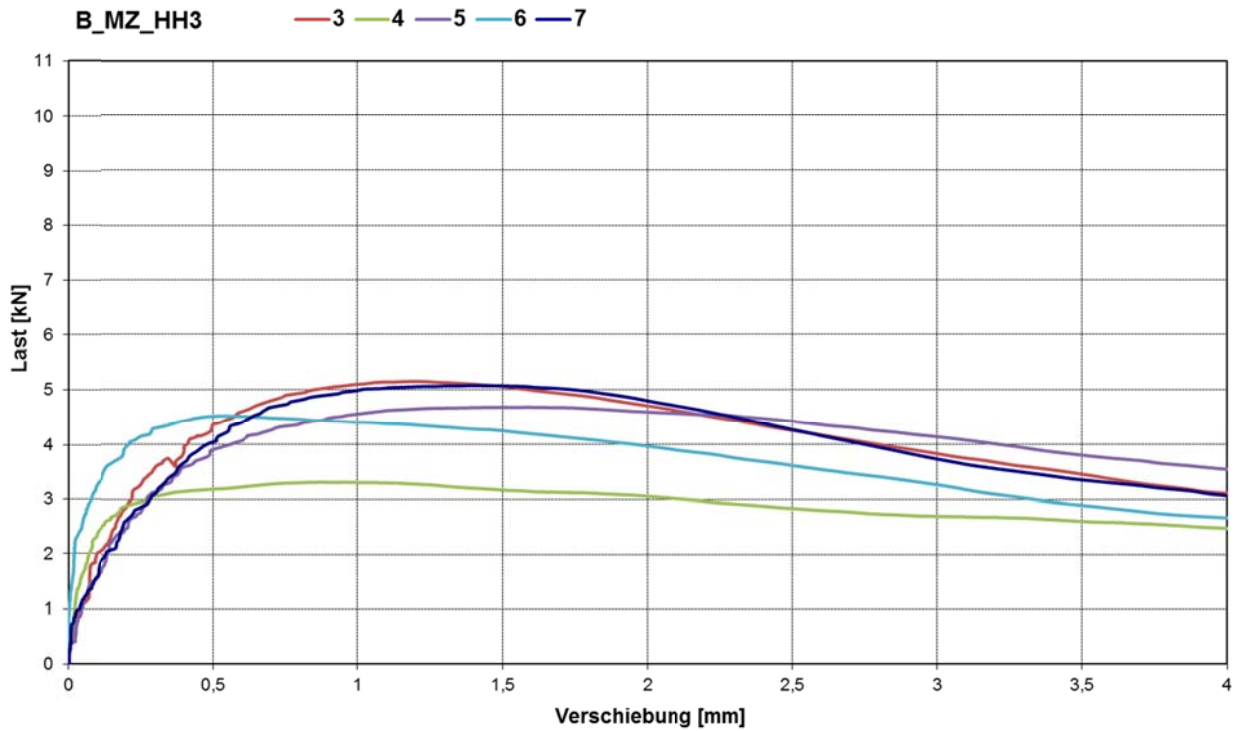


Abb. 2.23: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_HH3

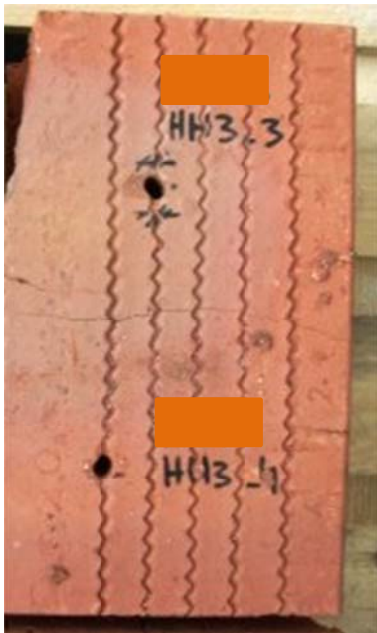


Abb. 2.24: Dübel B\_HH3\_3 und B\_HH3\_4



Abb. 2.25: Dübel B\_HH3\_5

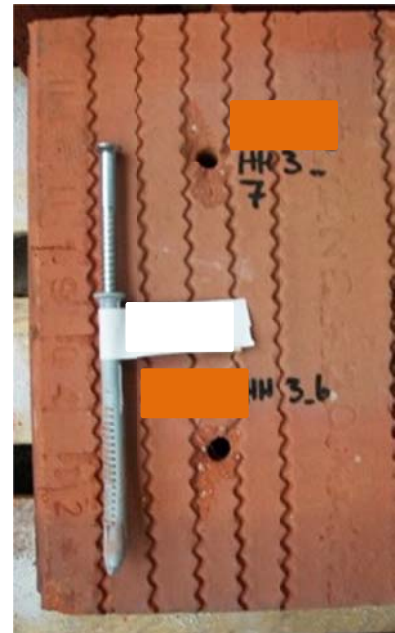


Abb. 2.26: Dübel B\_HH3\_6 und B\_HH3\_7



Tabelle 2.7: Versuchsprotokoll Serie B\_EB1

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 08.06.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm, reduzierte Verankerungstiefe: hef=50mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 1	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 40/8,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,26			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	:	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0.0771)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_KS_EB1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9				
Versuchsdatum		06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	85	85	85	85	73
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	8,31	8,54	8,68	8,25	8,3
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	8,416				
Variationskoeffizient	[%]	2,20%				
1. Lastplateau	[kN]	7,97	7,53	7,62	-	7,78
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,63	0,89	0,82	0,59	0,69
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,06	0,07	0,04	0,05	0,05
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,06				
Variationskoeffizient	[%]	19,89%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1-4: erste Seite des Steins, V5: zweite Seite; Randabstand: >8cm zum nächsten Rand				

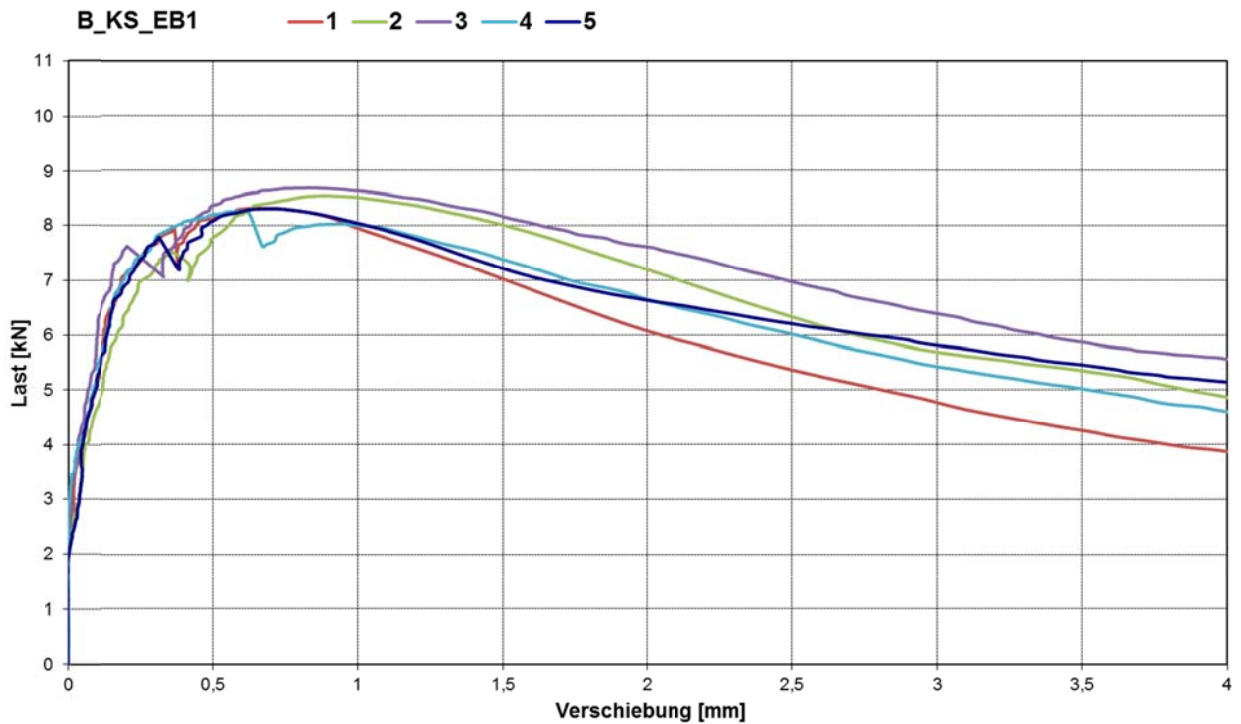


Abb. 2.27: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_HH3



Abb. 2.28: Dübel B\_EB1\_1 und B\_EB1\_2

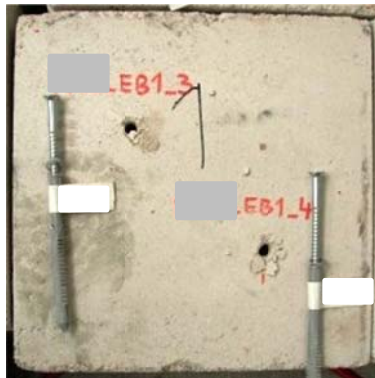


Abb. 2.29: Dübel B\_EB1\_3 und B\_EB1\_4



Abb. 2.30: Dübel B\_EB1\_5





Tabelle 2.8: Versuchsprotokoll Serie B\_EB2

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 08.06.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm, reduzierte Verankerungstiefe: hef=50mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 2	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 40/8,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,26			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	:	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0.0771)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_KS_EB2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,3				
Versuchsdatum		06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	85	85	85	85	73
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	8,70	7,71	7,97	7,97	7,84
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	8,04				
Variationskoeffizient	[%]	4,80%				
1. Lastplateau	[kN]	7,28	7,45	7,61	7,65	7,48
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,71	0,85	0,83	0,78	0,83
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,05	0,12	0,06	0,09	0,10
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,08				
Variationskoeffizient	[%]	34,79%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1-4: erste Seite des Steins, V5: zweite Seite; Randabstand: >8cm zum nächsten Rand				

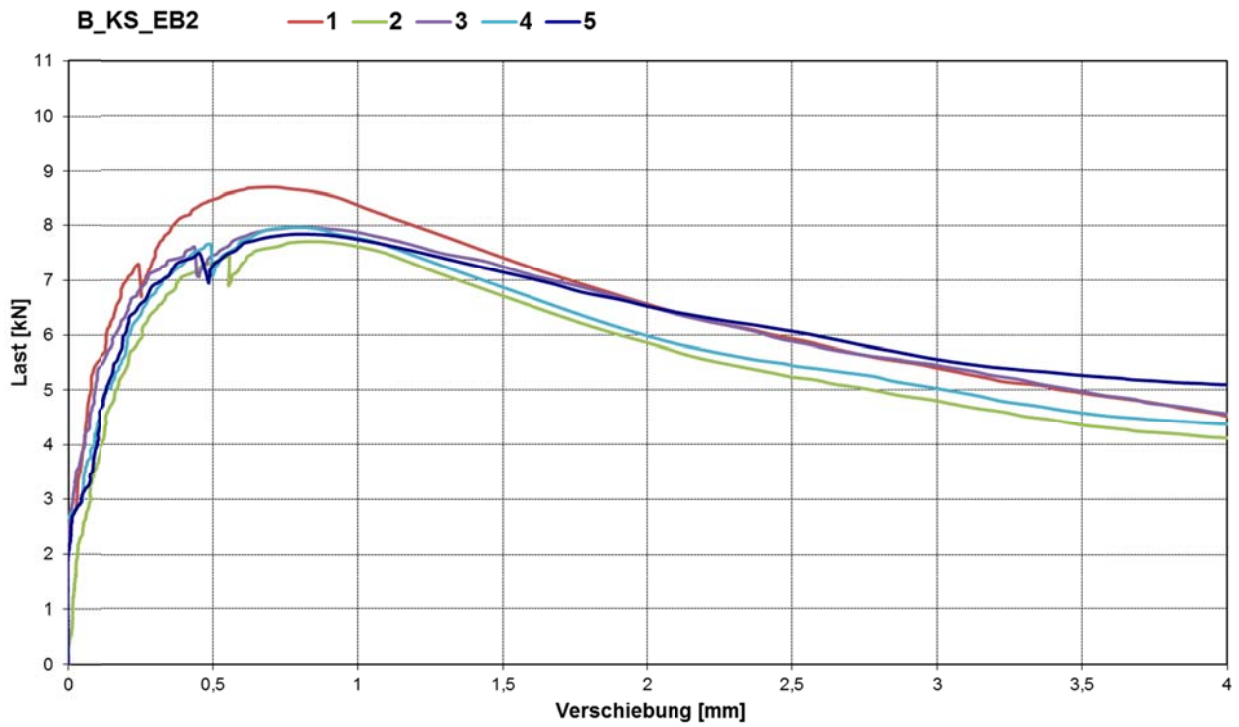


Abb. 2.31: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_EB2



Abb. 2.32: Dübel B\_EB2\_1 und B\_EB2\_2



Abb. 2.33: Dübel B\_EB2\_3 und B\_EB2\_4



Abb. 2.34: Dübel B\_EB2\_5



Tabelle 2.9: Versuchsprotokoll Serie B\_EB3

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 08.06.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 8mm, reduzierte Verankerungstiefe: hef=50mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 40/8,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,26			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	:	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0.0771)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_KS_EB3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	11,8				
Versuchsdatum		06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012	06.06.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	85	85	85	85	73
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15 (Einstellung am Akkuschauber)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	8,69	8,04	7,49	7,36	8,00
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	7,92				
Variationskoeffizient	[%]	6,66%				
1. Lastplateau	[kN]	7,45	-	-	-	7,58
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,87	0,69	0,77	0,76	0,58
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,07	0,04	0,23	0,09	0,04
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,09				
Variationskoeffizient	[%]	82,41%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1-4: erste Seite des Steins, V5: zweite Seite; Randabstand: >8cm zum nächsten Rand				

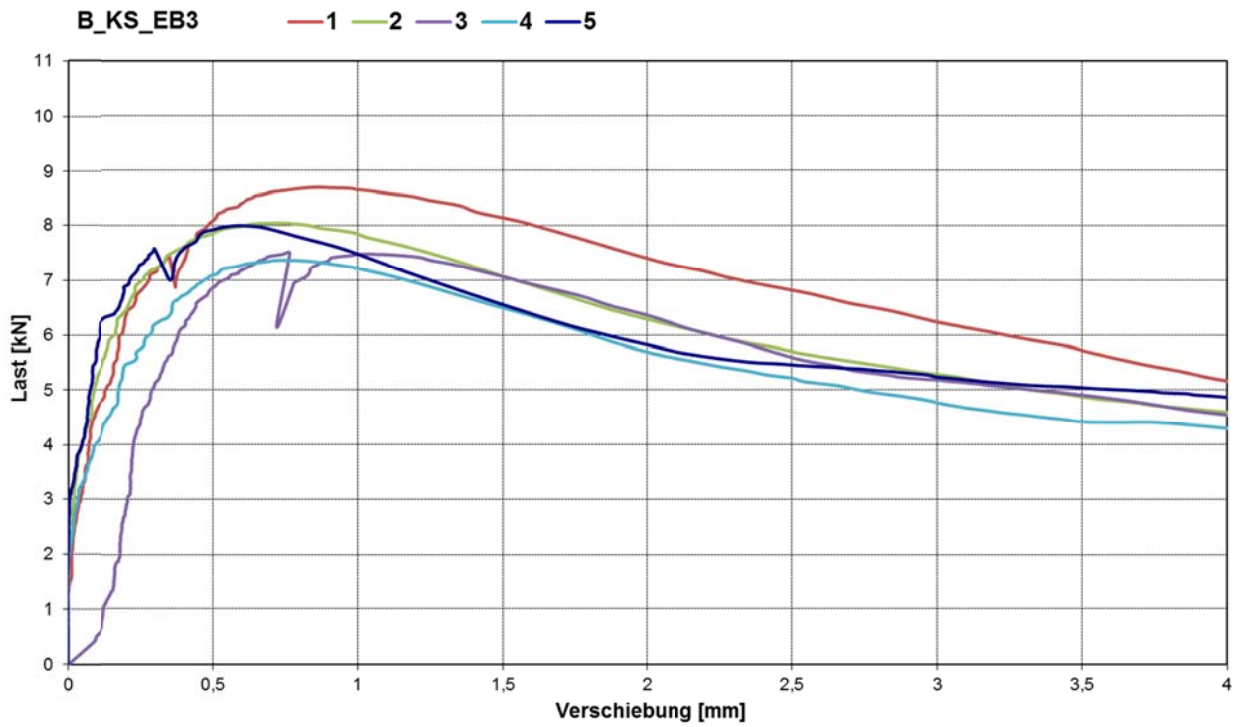


Abb. 2.35: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_EB3

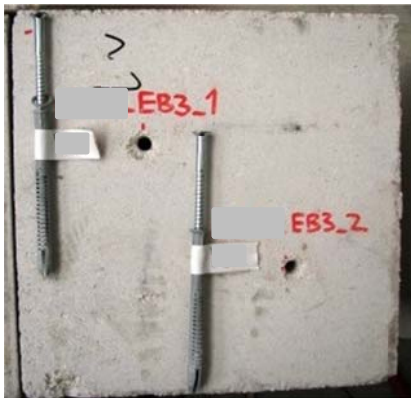


Abb. 2.36: Dübel B\_EB3\_1 und B\_EB3\_2



Abb. 2.37: Dübel B\_EB3\_3 und B\_EB3\_4



Abb. 2.38: Dübel B\_EB3\_1





Tabelle 2.10: Versuchsprotokoll Serie B\_HD1

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 09.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: <b>HD 1</b>	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 40/8,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,31			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	:	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0.0773)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_HD1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	21,2				
Versuchsdatum		08.05.2012	08.05.2012	08.05.2012	08.05.2012	08.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	65	65	64	65	64
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	15 (am Akkuschauber eingestellt)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	9,6	10,42	10,22	9,83	10,22
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	10,058				
Variationskoeffizient	[%]	3,32%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,64	0,78	0,97	0,62	0,79
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,15	0,1	0,32	0,14	0,1
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,162				
Variationskoeffizient	[%]	56,30%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		alle Versuche auf der 1. Seite des Steines durchgeführt. Randabstand: 8cm zum nächsten Rand				

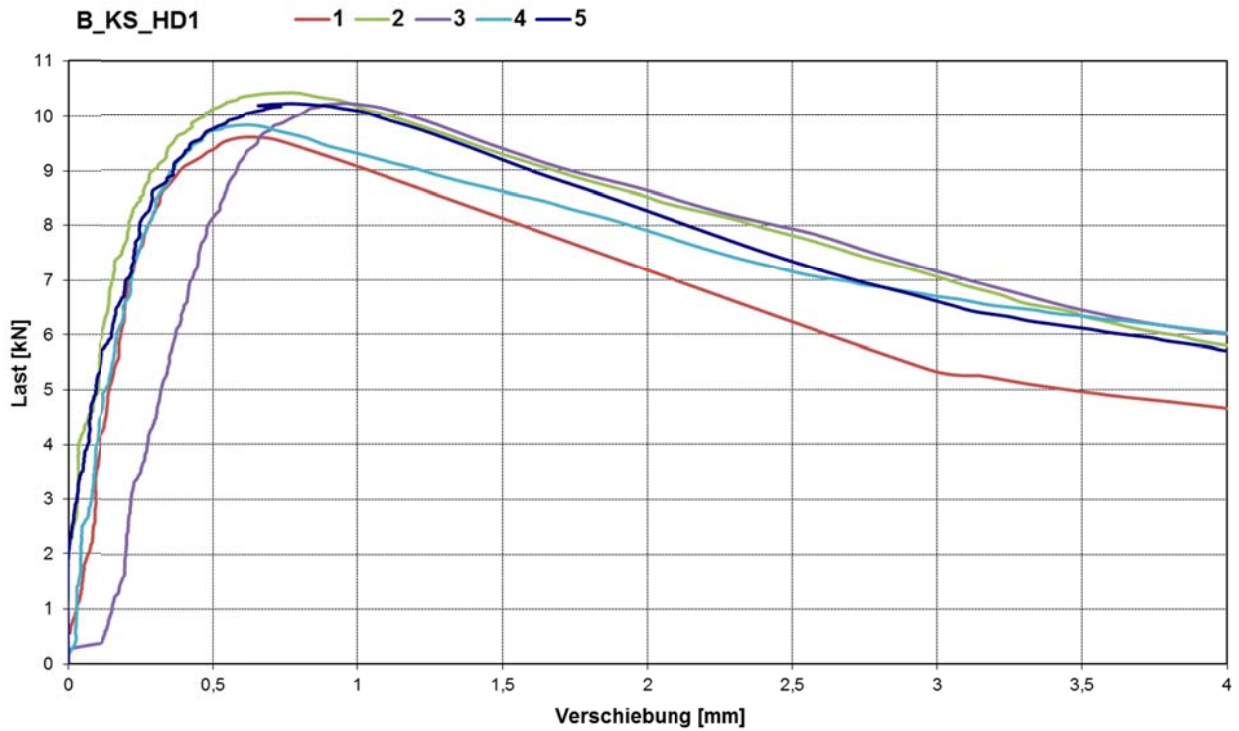


Abb. 2.39: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_HD1



Abb. 2.40: Dübel B\_HD1\_1



Abb. 2.41: Dübel B\_HD1\_2



Abb. 2.42: Dübel B\_HD1\_3



Abb. 2.43: Dübel B\_HD1\_4



Abb. 2.44: Dübel B\_HD1\_5



Tabelle 2.11: Versuchsprotokoll Serie B\_HD2

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 09.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: <b>HD 2</b>	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 40/8,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,31			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	:	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0.0773)			
Versuchs- Nr.:	<b>B_HD2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	19,8				
Versuchsdatum		10.05.2012	10.05.2012	10.05.2012	10.05.2012	10.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	64	64	64	63	63
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	15 (am Akkuschauber eingestellt)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	9,61	10,19	9,96	9,72	9,83
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	9,862				
Variationskoeffizient	[%]	2,28%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,70	0,86	0,77	0,75	0,66
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,07	0,15	0,15	0,19	0,10
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,13				
Variationskoeffizient	[%]	37,63%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		alle Versuche auf der 1. Seite des Steines durchgeführt. Randabstand: 8cm zum nächsten Rand				

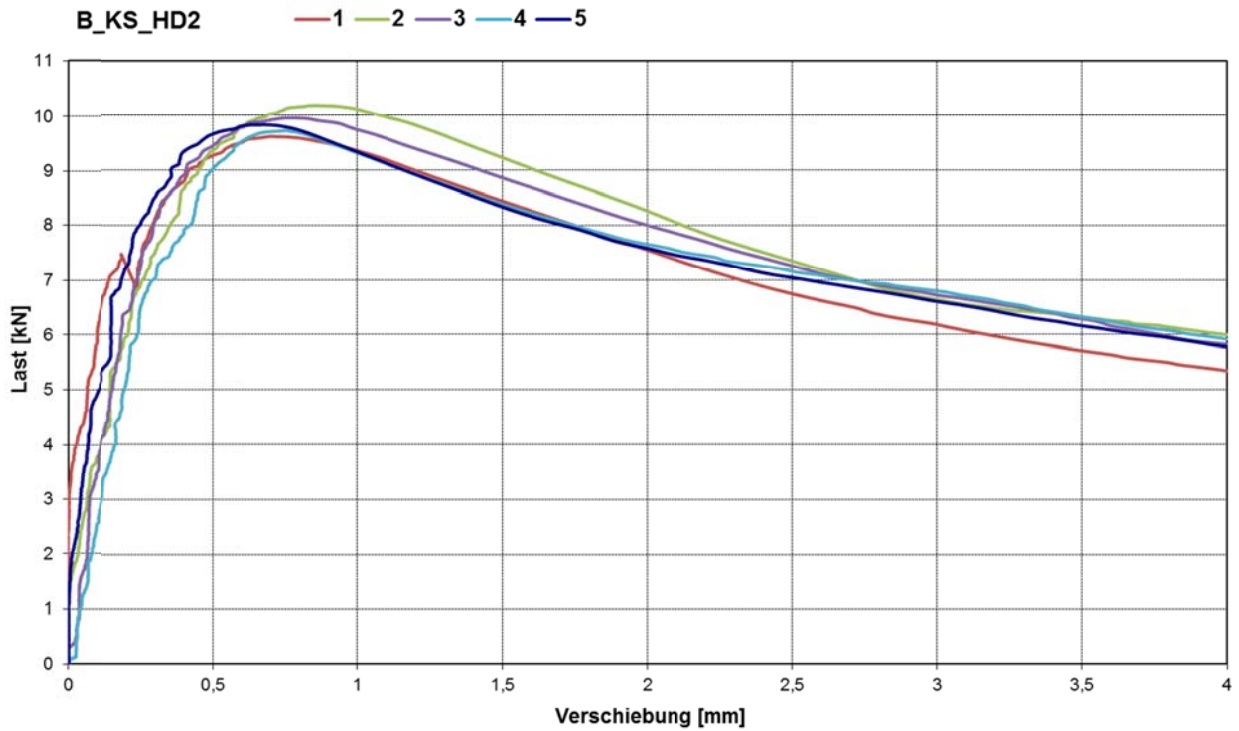


Abb. 2.45: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_HD2



Abb. 2.46: Dübel B\_HD2\_1



Abb. 2.47: Dübel B\_HD2\_2



Abb. 2.48: Dübel B\_HD2\_3



Abb. 2.49: Dübel B\_HD2\_4



Abb. 2.50: Dübel B\_HD2\_5





Tabelle 2.12: Versuchsprotokoll Serie B\_HD3

<b>Dübeltyp: B</b>		Erstellt am: 09.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube; reduzierte Verankerungstiefe					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: <b>HD 3</b>	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 40/8,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 8,31			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	:	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0.0771)*			
Versuchs- Nr.:	<b>B_HD3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,3				
Versuchsdatum		14.05.2012	14.05.2012	14.05.2012	14.05.2012	14.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	64	64	63	64	65
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	15 (am Akkuschauber eingestellt)				
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	10,15	10,43	9,88	10,24	10,1
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	10,16				
Variationskoeffizient	[%]	1,98%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,71	0,85	0,79	0,10	0,88
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,12	0,10	0,09	0,32	0,10
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,14				
Variationskoeffizient	[%]	68,53%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		alle Versuche auf der 1. Seite des Steines durchgeführt. Randabstand: 8cm zum nächsten Rand * WA wurde in der Zwischenzeit kalibriert. Faktor alt: 0,0773 neu 0,0771				

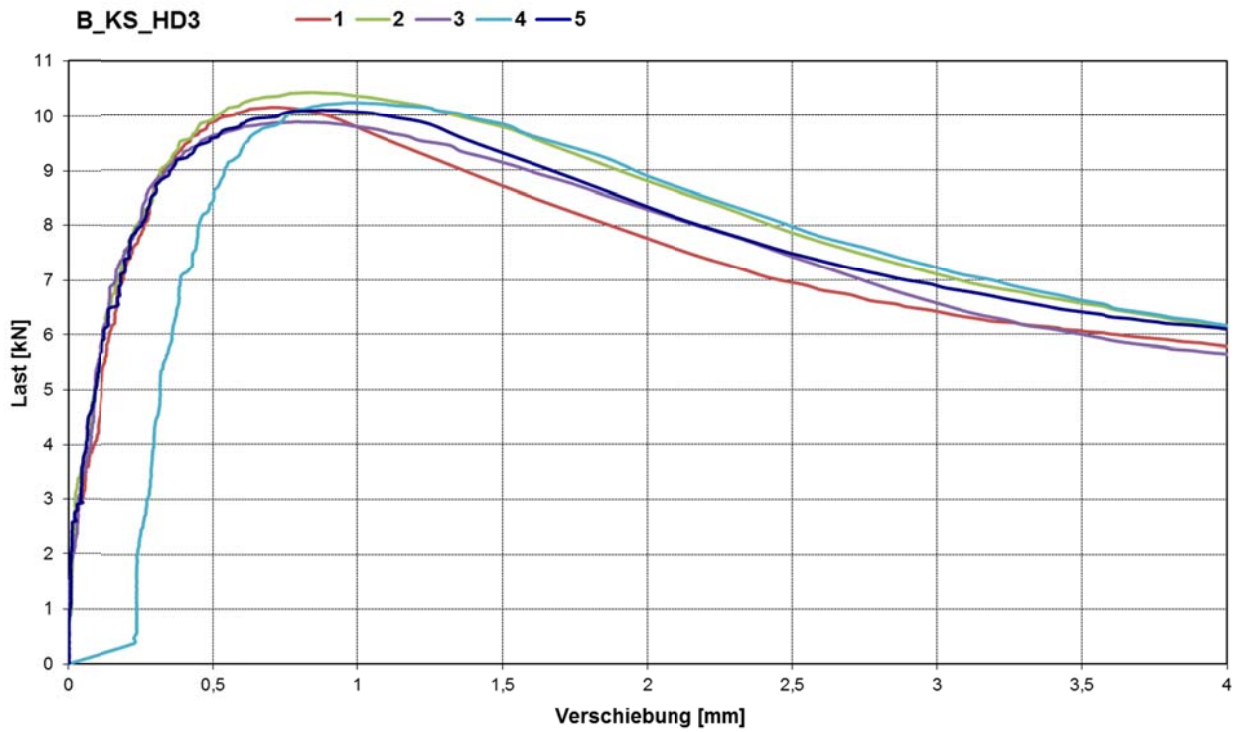


Abb. 2.51: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie B\_HD3



Abb. 2.52: Dübel B\_HD3\_1

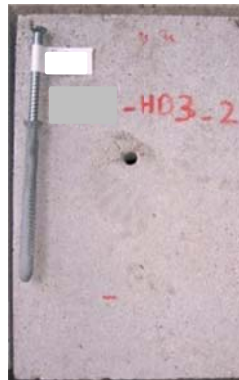


Abb. 2.53: Dübel B\_HD3\_2



Abb. 2.54: Dübel B\_HD3\_3

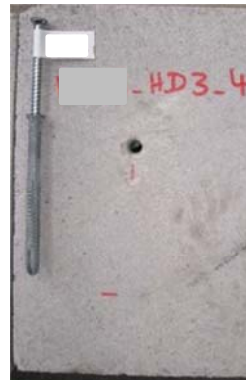


Abb. 2.55: Dübel B\_HD3\_4



Abb. 2.56: Dübel B\_HD3\_5



### 3 Versuchsergebnisse Dübel C

Tabelle 3.1: Versuchsprotokoll Serie C\_WB1

Dübeltyp: C		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 1 (NF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: NF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,30			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer	: WAN 104 (-0,0774)			
Versuchs- Nr.:	C_MZ_WB1_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit f <sub>Stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	46,76				
Versuchsdatum		14.11.2011	14.11.2011	14.11.2011	14.11.2011	14.11.2011
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	62	62	62	62	62
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	14	14	14	14	14
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		15 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	10,21	10,35	10,66	10,78	11,91
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	10,782				
Variationskoeffizient	[%]	6,22%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	0,72	0,8	-0,438	0,58	0,95
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,087	0,086	-0,26	0,065	0,063
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,08				
Variationskoeffizient	[%]	17,31%				
Versagensart		H	H / S	H / S	S	
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	3	2	6	
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Steinausbruch nur Oberflächlich V3: WAN verrutscht --> Weg nicht in Auswertung				

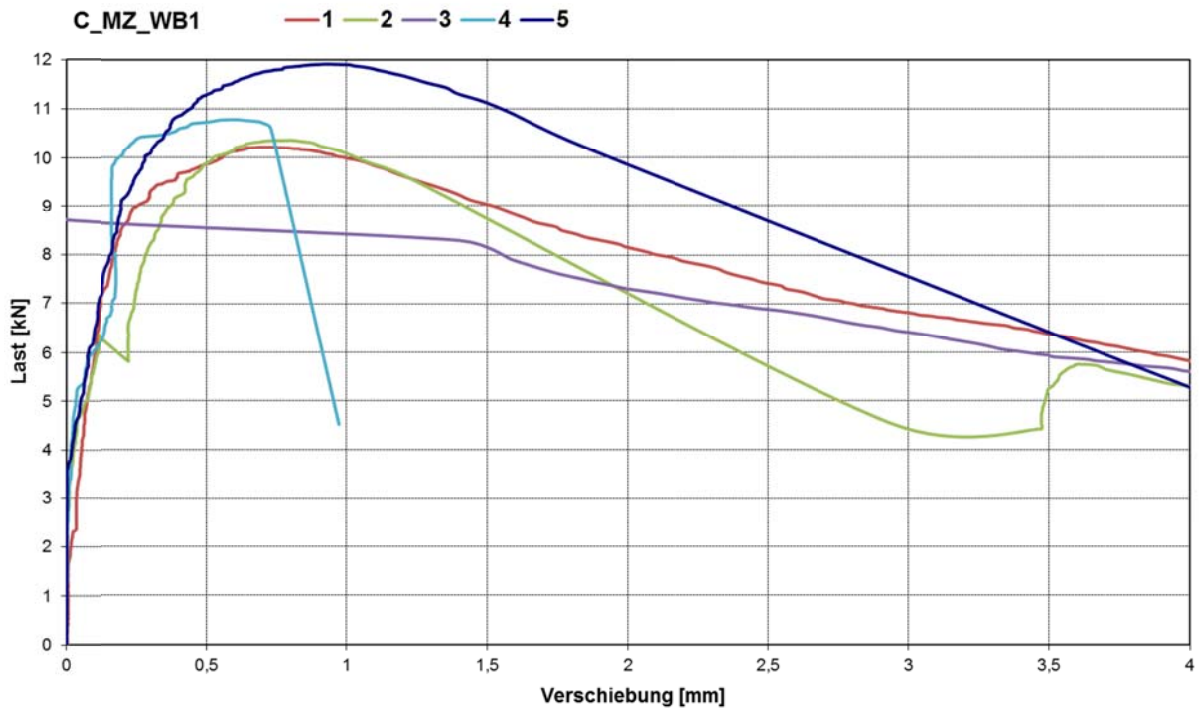


Abb. 3.1: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie C\_WB1



Abb. 3.2: Dübel C\_WB1\_1



Abb. 3.3: Dübel C\_WB1\_2



Abb. 3.4: Dübel C\_WB1\_3



Abb. 3.5: Dübel C\_WB1\_4



Abb. 3.6: Dübel C\_WB1\_4





Tabelle 3.2: Versuchsprotokoll Serie C\_WB2

<b>Dübeltyp: C</b>		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 2 (2DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 2 DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,30			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer	: WAN 104 (-0,0774)			
Versuchs- Nr.:	<b>C_MZ_WB2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit f <sub>stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	28,25				
Versuchsdatum		16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	63	63	63	63	65
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	14	14	14	14	14
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		23,6 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	7,58	9,21	8,59	8,5	8,65
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	8,506				
Variationskoeffizient	[%]	6,91%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	0,54	0,77	0,58	0,66	0,99
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,12	0,09	0,13	0,12	0,1
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,11				
Variationskoeffizient	[%]	14,67%				
Versagensart		H / S	H / S	H / S	H / S	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		3	6	3	9	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Steinausbruch nur Oberflächlich				

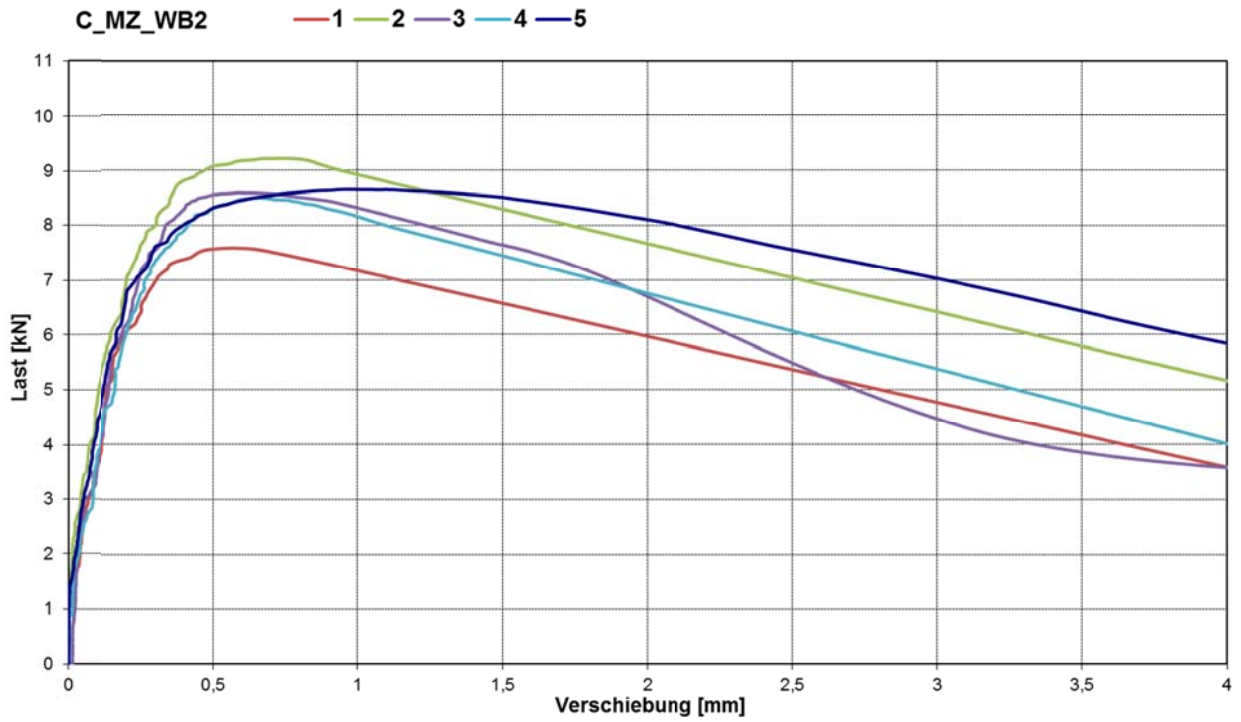


Abb. 3.7: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie C\_WB2



Abb. 3.8: Dübel C\_WB2\_1, C\_WB2\_2, C\_WB2\_3, C\_WB2\_4 und C\_WB2\_5



Tabelle 3.3: Versuchsprotokoll Serie C\_WB3

<b>Dübeltyp: C</b>		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube;					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: Mz ≥ 20N/mm <sup>2</sup> ; ≥ 2,0kg/m <sup>3</sup>	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: WB 3 (3DF)	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 2 DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß d <sub>cut</sub> [mm]	: 8,30			
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (Soll) [mm]	: ≥60	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe h <sub>ef</sub> [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS001			
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer	: WAN 104 (-0,0774)			
Versuchs- Nr.:	<b>C_MZ_WB3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit f <sub>stein</sub>	[N/mm <sup>2</sup> ]	38,12				
Versuchsdatum		16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011	16.11.2011
Bohrlochtiefe h <sub>0</sub> (IST)	[mm]	63	63	63	64	63
Drehmoment T <sub>inst</sub>	[Nm]	14	14	14	14	14
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		36,5 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast N <sub>u</sub>	[kN]	9,26	8,95	9,48	10,5	10,34
Mittelwert N <sub>u, m</sub>	[kN]	9,706				
Variationskoeffizient	[%]	7,01%				
Verschiebung s bei Last N <sub>u</sub>	[mm]	0,92	0,78	0,71	0,85	0,9
Verschiebung s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,119	0,113	0,106	0,065	0,12
Mittelwert s bei 0,5 N <sub>u, m</sub>	[mm]	0,10				
Variationskoeffizient	[%]	21,83%				
Versagensart		H	H	H	H / S	H / S
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	6	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Steinausbruch nur Oberflächlich V3: WAN verrutscht --> Weg nicht in Auswertung				

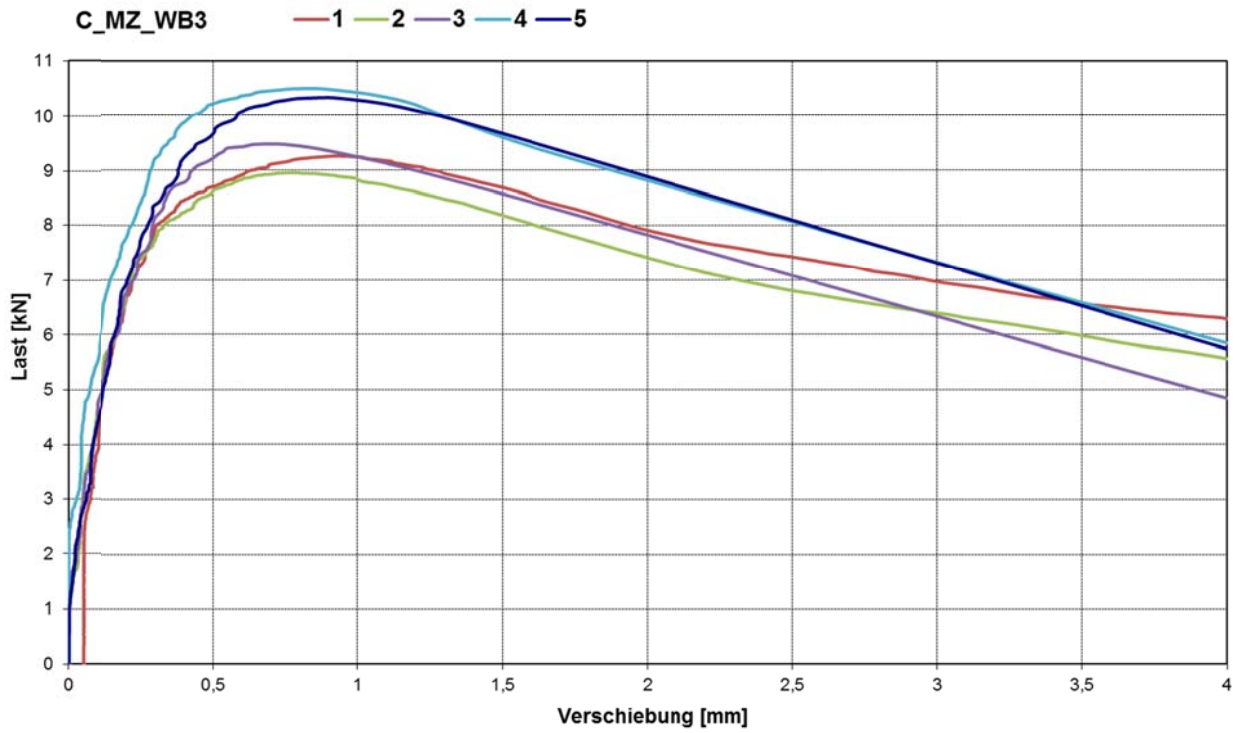


Abb. 3.9: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie C\_WB3



Abb. 3.10: Dübel C\_WB3\_1, C\_WB3\_2, C\_WB3\_3, C\_WB3\_4 und C\_WB3\_5





Tabelle 3.4: Versuchsprotokoll Serie C\_HH1

Dübeltyp: C		Erstellt am: 05.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz, Herr Peter Scherf					
Steinart	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren : Hilti TE 35 / Hammerbohren				
Charge Nr.	: HH 1 (NF)	Montage : Durchsteckmontage				
Steingröße [mm]	: NF	Bohrertyp : 2-schneid				
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm] : 8,26				
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung : vertikal				
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz] : 5				
Abstützung	: weit	Zylinder : 50kN				
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank : MS5				
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose : KMD 025 (9.9907)				
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer : WAN 061 (-0,0771)				
Versuchs- Nr.:	C_MZ_HH1_	2	3	4	5	6
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	48,1				
Versuchsdatum		02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	66	66	67	66	66
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		15 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast $N_u$	[kN]	5,39	5,43	6,34	6,36	7,43
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	6,19				
Variationskoeffizient	[%]	13,53%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,49	0,62	0,49	0,41	0,70
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,07	0,07	0,04	0,02	0,05
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,05				
Variationskoeffizient	[%]	43,60%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:	S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten					
Bemerkungen:	Kalibrierfaktor Kraftmessring zur Vorspannung: 51,5 V1 nicht in Auswertung da ungültig					

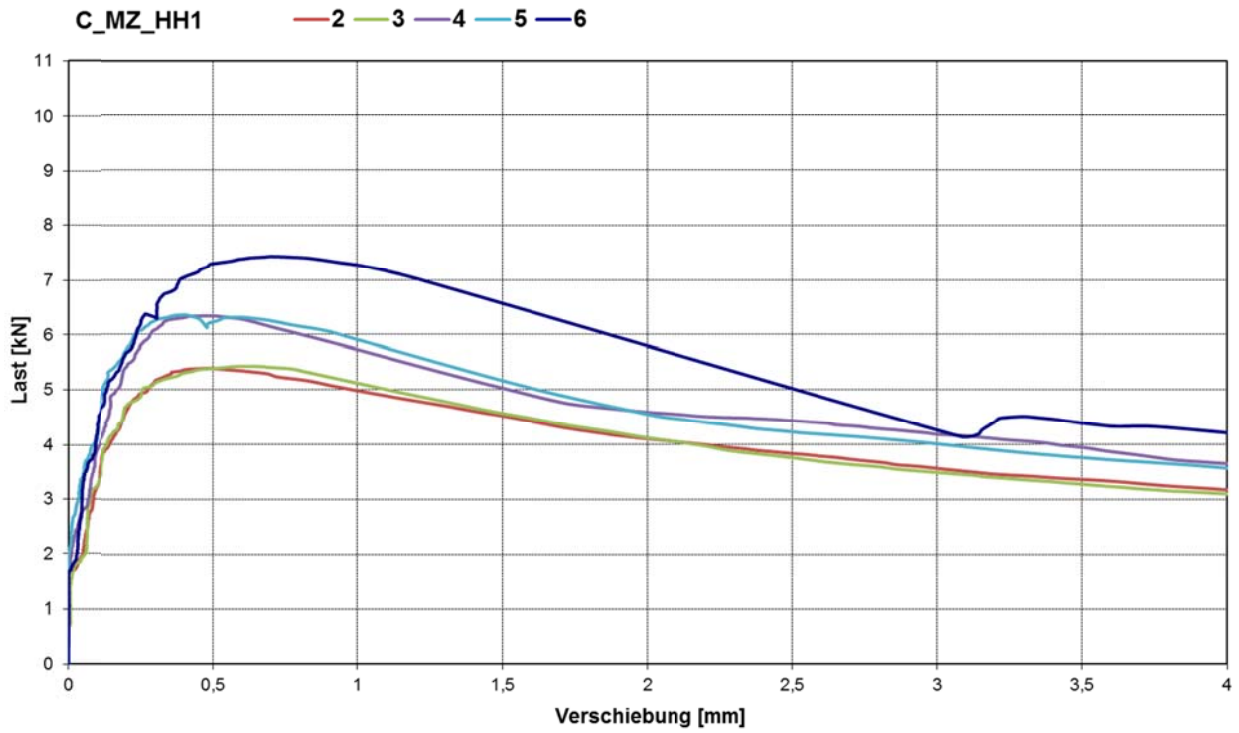


Abb. 3.11: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie C\_HH1



Abb. 3.12: Dübel C\_HH1\_1



Abb. 3.13: Dübel C\_HH1\_2



Abb. 3.14: Dübel C\_HH1\_3



Abb. 3.15: Dübel C\_HH1\_4



Abb. 3.16: Dübel C\_HH1\_5



Tabelle 3.5: Versuchsprotokoll Serie C\_HH2

Dübeltyp: C		Erstellt am: 05.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz, Herr Peter Scherf					
Steinart	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren : Hilti TE 35 / Hammerbohren				
Charge Nr.	: HH 2 (2DF)	Montage : Durchsteckmontage				
Steingröße [mm]	: 2DF	Bohrertyp : 2-schneid				
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm] : 8,26				
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung : vertikal				
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz] : 5				
Abstützung	: weit	Zylinder : 50kN				
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank : MS5				
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose : KMD 025 (9.9907)				
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer : WAN 061 (-0,0771)				
Versuchs- Nr.:	C_MZ_HH2_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	39,6				
Versuchsdatum		02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012	02.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	64	64	67	67	66
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15	15	15	15	15
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft / Vorspannung		24 kN / 1,95 N/mm <sup>2</sup>				
Versagenslast $N_u$	[kN]	5,13	4,05	4,69	3,3	8,49
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	5,132				
Variationskoeffizient	[%]	38,97%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,89	0,93	1,07	0,43	1,30
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,28	0,23	0,27	0,14	0,19
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,22				
Variationskoeffizient	[%]	26,82%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Kalibrierfaktor Kraftmessring zur Vorspannung: 51,5				

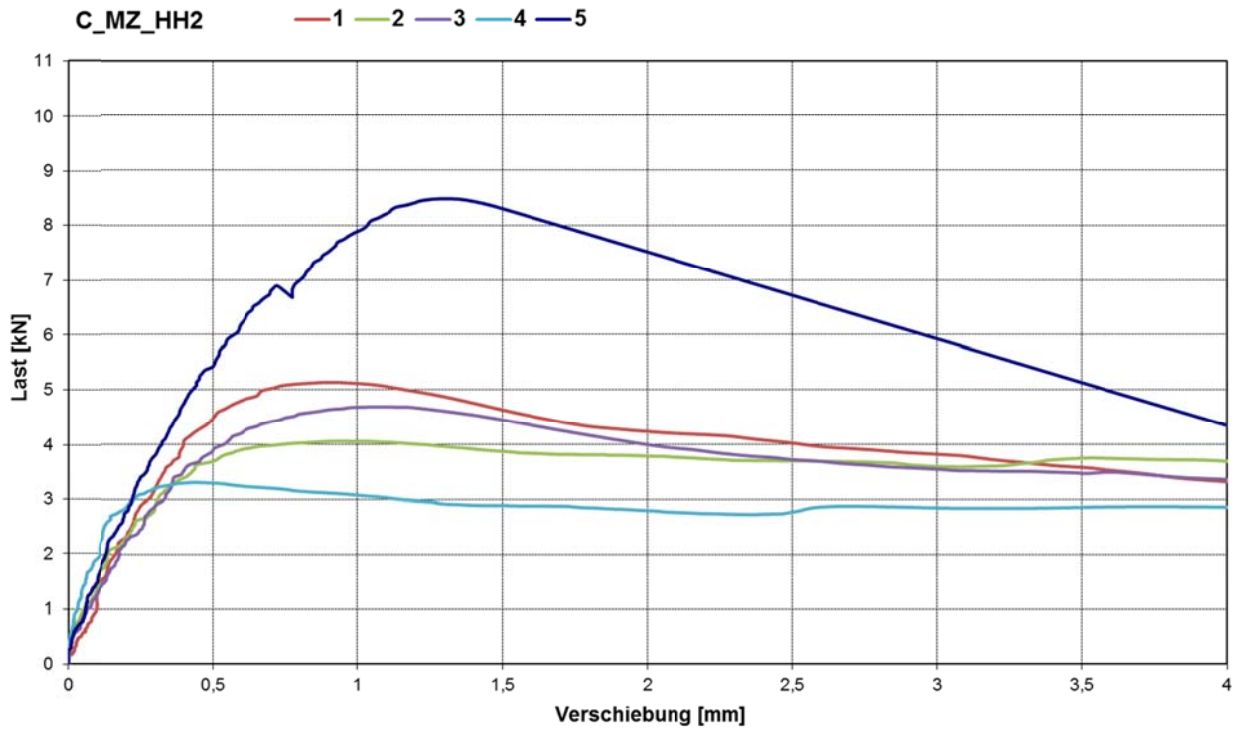


Abb. 3.17: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie C\_HH2



Abb. 3.18: Dübel C\_HH2\_1



Abb. 3.19: Dübel C\_HH2\_2



Abb. 3.20: Dübel C\_HH2\_3



Abb. 3.21: Dübel C\_HH2\_4



Abb. 3.22: Dübel C\_HH2\_5





Tabelle 3.6: Versuchsprotokoll Serie C\_HH3

Dübeltyp: C		Erstellt am: 05.07.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 8mm mit Senkkopfschraube					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz, Herr Peter Scherf					
Steinart	: Mz Rohdichte; $\geq 2,0\text{kg/m}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren			: Hilti TE 35 / Hammerbohren	
Charge Nr.	: HH 3	Montage			: Durchsteckmontage	
Steingröße [mm]	: 24x24x11 cm	Bohrertyp			: 4-schneid	
Temperatur [°C]	: n. g.	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]			: 8,18	
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 60$	Setzrichtung			: vertikal	
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 50	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]			: 5	
Abstützung	: weit	Zylinder			: 50kN	
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank			: MS5	
Reinigungsbürste	: -	Kraftmessdose			: KMD 025 (9.9907)	
Anbauteilhöhe [mm]	: 40	Wegaufnehmer			: WAN 061 (-0,0771)	
Versuchs- Nr.:	C_MZ_HH3_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,1				
Versuchsdatum		03.07.2012	03.07.2012	03.07.2012	03.07.2012	03.07.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	62	62	62	61	64
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	14	14	14	14	14
Bohrlochreinigung		Aussaugen				
Vorspannkraft	[kN]	20	18	17	17	17
Versagenslast $N_u$	[kN]	4,7	4,15	4,85	4,03	4,58
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	4,462				
Variationskoeffizient	[%]	7,96%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,99	0,57	0,83	0,43	0,96
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,12	0,06	0,14	0,02	0,09
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,09				
Variationskoeffizient	[%]	53,58%				
Versagensart		H	H/Sp	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:	S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten					
Bemerkungen:	Kalibrierfaktor Kraftmessring zur Vorspannung: 51,5 V1 und V2 nicht aufgeführt da ungültig Stein zum Teil bei Aufbringen der Vorspannung gerissen					

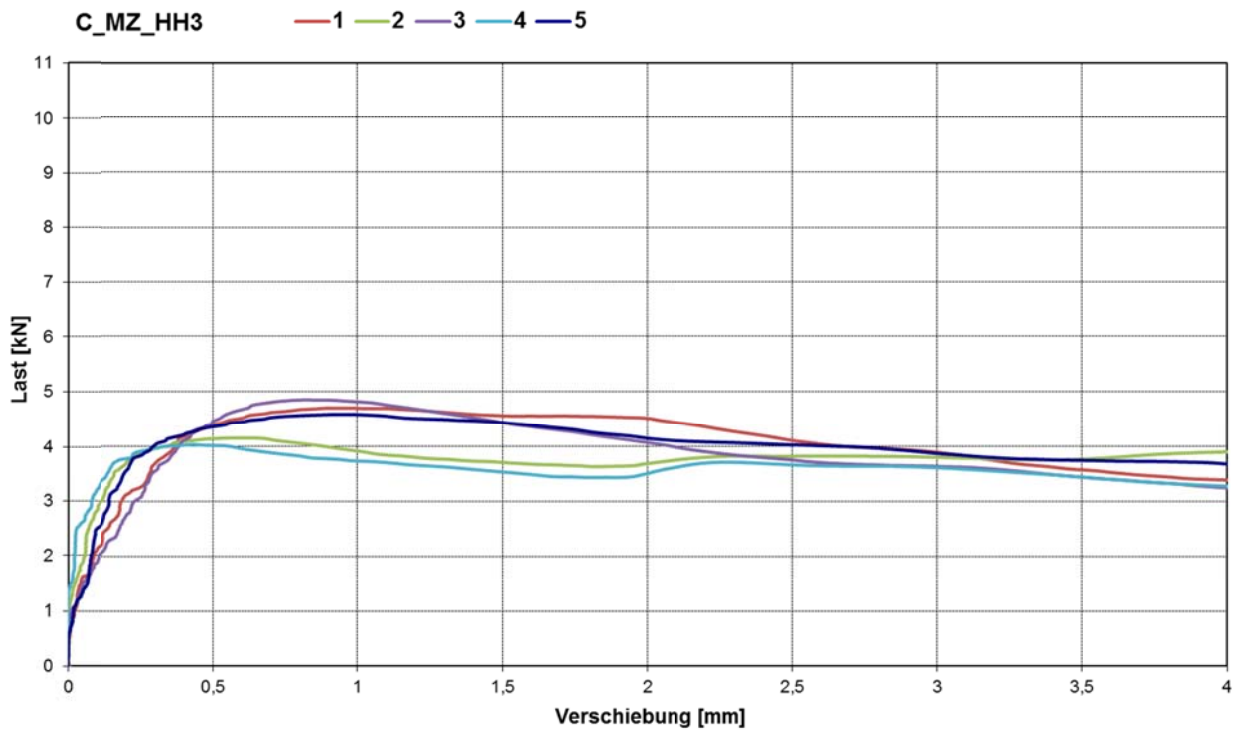


Abb. 3.23: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie C\_HH3

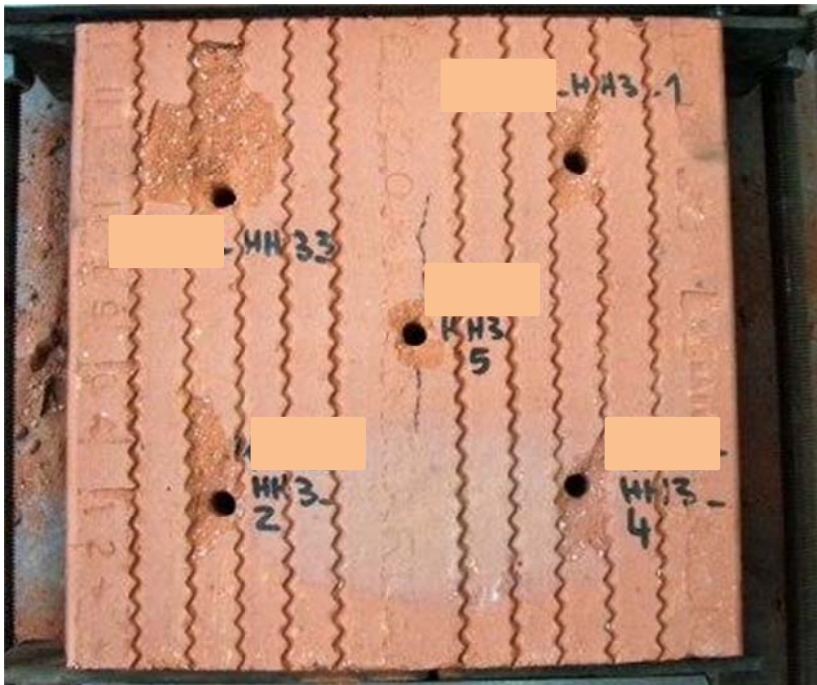


Abb. 3.24: Auszugversuche der Serie C\_HH3



## 4 Versuchsergebnisse Dübel D

Tabelle 4.1: Versuchsprotokoll Serie D\_EB1

Dübeltyp: D		Erstellt am: 28.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 10mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , : $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 1	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	:	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS005			
Reinigungsbürste	: weich	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WAN 061 (-0,0772)			
Versuchs- Nr.:	<b>D_KS_EB1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9				
Versuchsdatum		07.11.2011	08.11.2011	08.11.2011	08.11.2011	08.11.2011
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	88	83	83	83	83
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15,2	15,2	15,7	15,2	15,0
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	11,29	12,85	13,02	12,38	13,13
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	12,534				
Variationskoeffizient	[%]	6,00%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,15	0,60	1,36	0,61	0,98
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,10	0,02	0,06	0,01	0,03
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,04				
Variationskoeffizient	[%]	82,88%				
Versagensart		H	H	H	H	S/H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	4
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

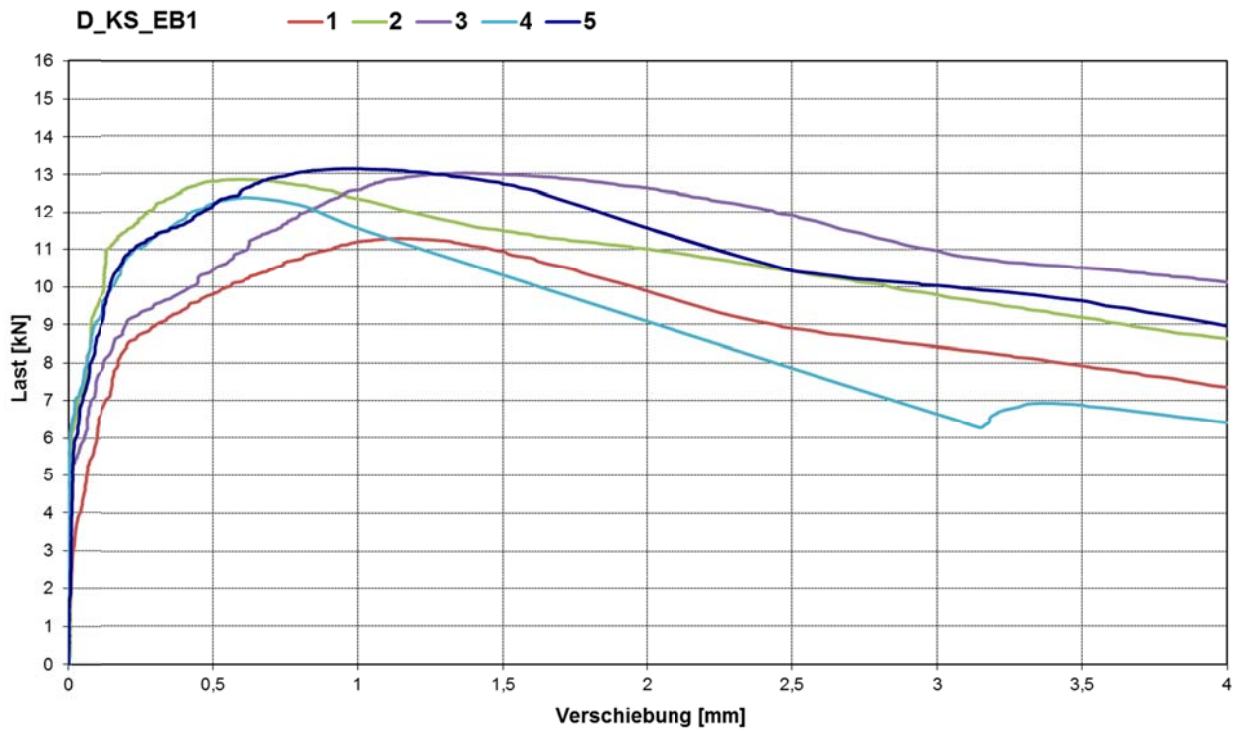


Abb. 4.1: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie D\_EB1

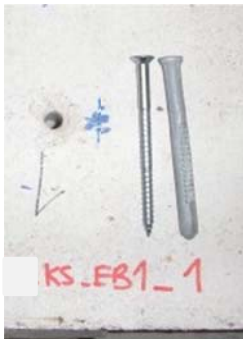


Abb. 4.2: Dübel D\_EB1\_1



Abb. 4.3: Dübel D\_EB1\_2



Abb. 4.4: Dübel D\_EB1\_3

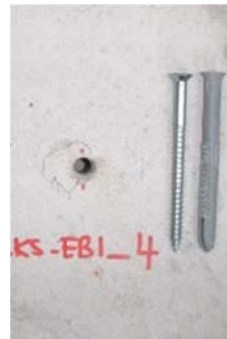


Abb. 4.5: Dübel D\_EB1\_4



Abb. 4.6: Dübel D\_EB1\_5





Tabelle 4.2: Versuchsprotokoll Serie D\_EB2

<b>Dübeltyp: D</b>		Erstellt am: 28.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 10mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , : $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 2	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	:	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS005			
Reinigungsbürste	: weich	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WAN 061 (-0,0772)			
Versuchs- Nr.:	<b>D_KS_EB2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,3				
Versuchsdatum		07.11.2011	08.11.2022	08.11.2011	08.11.2011	08.11.2011
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	88	79	79	79	79
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15,1	15,2	15,1	15,2	15,9
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	11,05	11,67	12,25	11,06	13,21
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	11,848				
Variationskoeffizient	[%]	7,67%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,84	0,53	0,38	1,27	0,56
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,10	0,00	0,00	0,01	0,00
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,02				
Variationskoeffizient	[%]	199,17%				
Versagensart		H	H	S/H	S/H	S/H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	8	4	7
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

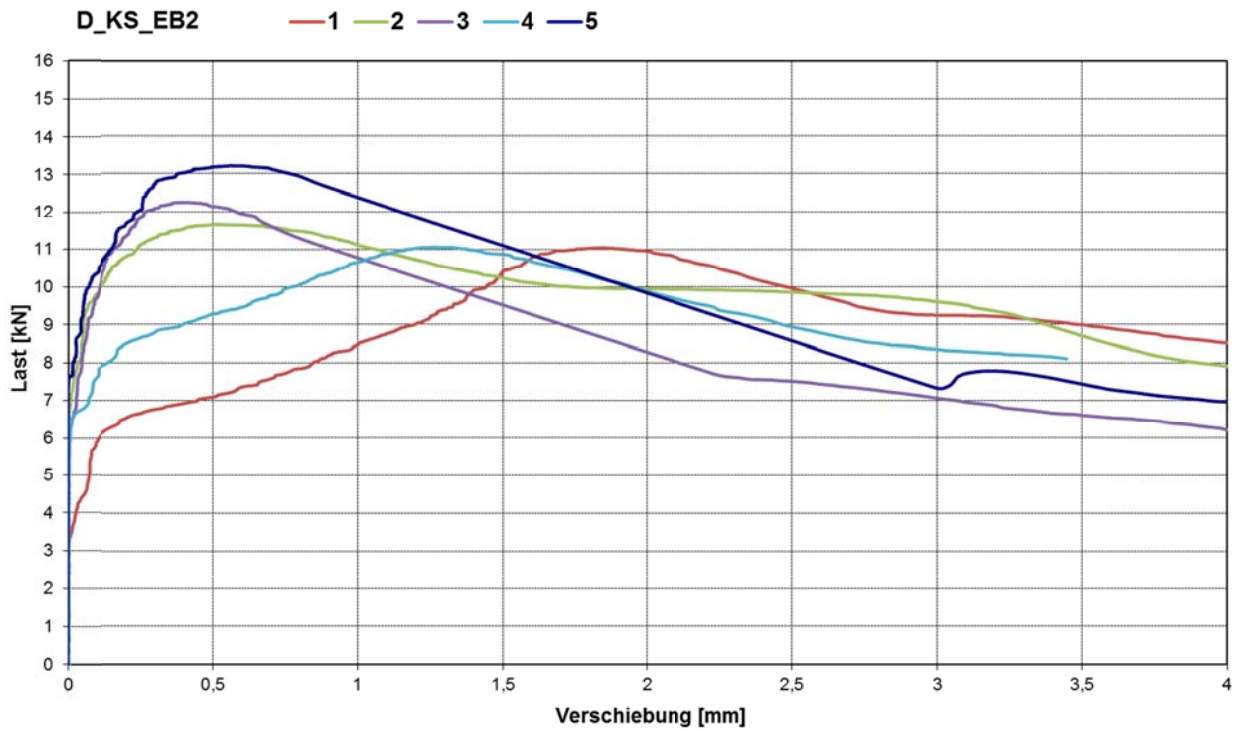


Abb. 4.7: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie D\_EB2



Abb. 4.8: Dübel D\_EB2\_1



Abb. 4.9: Dübel D\_EB2\_2



Abb. 4.10: Dübel D\_EB2\_3



Abb. 4.11: Dübel D\_EB2\_4



Abb. 4.12: Dübel D\_EB2\_5



Tabelle 4.3: Versuchsprotokoll Serie D\_EB3

<b>Dübeltyp: D</b>		Erstellt am: 28.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße	: Durchmesser 10mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	:	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS005			
Reinigungsbürste	: weich	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WAN 061 (-0,0772)			
Versuchs- Nr.:	<b>D_KS_EB3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	11,8				
Versuchsdatum		07.11.2011	08.11.2022	08.11.2011	08.11.2011	08.11.2011
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	88	79	79	79	79
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15,1	15,1	15,4	15,1	15,1
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	9,42	12,39	11,42	10,44	10,93
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	10,92				
Variationskoeffizient	[%]	10,13%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,04	0,37	0,38	0,23	0,51
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,022				
Variationskoeffizient	[%]	74,69%				
Versagensart		S/H	S/H	S/H	H	S/H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		7	4	8	-	5
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

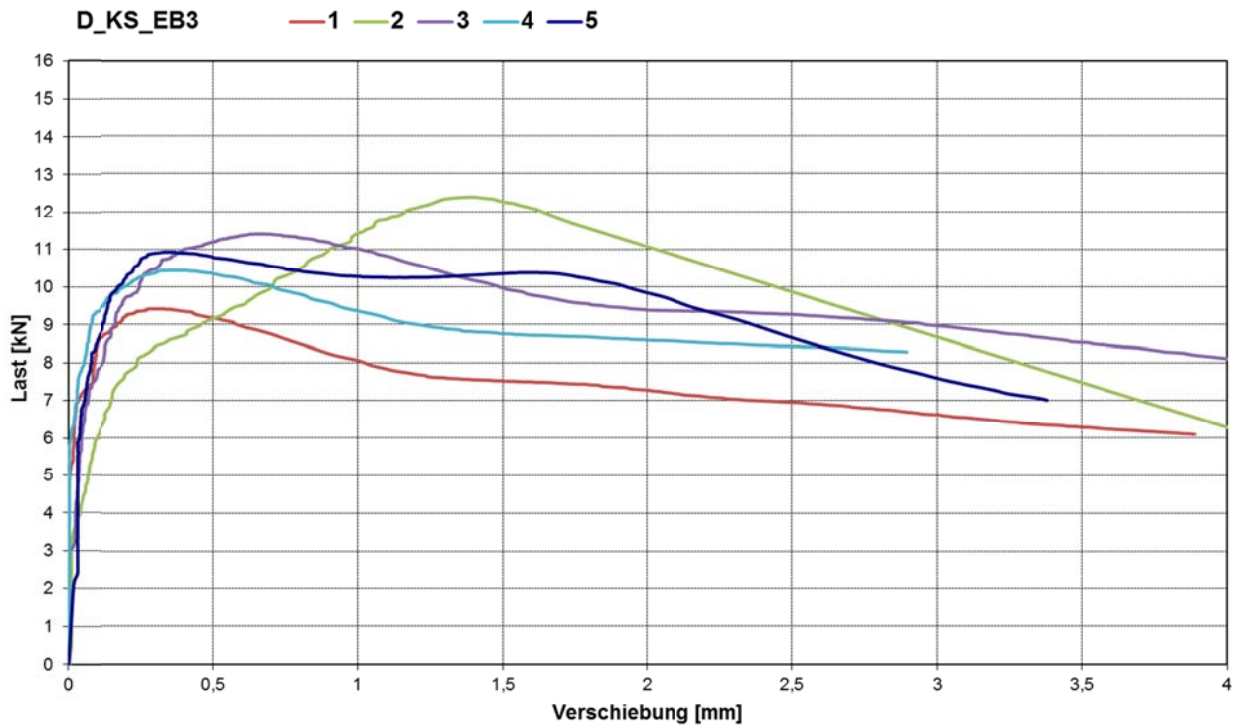


Abb. 4.13: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie D\_EB3



Abb. 4.14: Dübel D\_EB3\_1



Abb. 4.15: Dübel D\_EB3\_2



Abb. 4.16: Dübel D\_EB3\_3



Abb. 4.17: Dübel D\_EB3\_4



Abb. 4.18: Dübel D\_EB3\_5





Tabelle 4.4: Versuchsprotokoll Serie D\_HD1

Dübeltyp: D		Erstellt am: 20.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 1	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 30/11,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0,0773)			
Versuchs- Nr.:	<b>D_HD1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	21,2				
Versuchsdatum		08.05.2012	08.05.2012	08.05.2012	08.05.2012	08.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	85	85	86	85	85
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	20,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	13,79	14,23	15,29	14,58	12,15
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	14,008				
Variationskoeffizient	[%]	8,39%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,65	1,1	1,26	0,95	0,52
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,10	0,18	0,23	0,11	0,10
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,144				
Variationskoeffizient	[%]	40,67%				
Versagensart		H	H	H	H	Sp
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Drehmoment am Akkuschauber eingestellt; Versuche auf der zweiten Seite des Steins; erste Seite: FUR 8, Löcher um ca. 4cm versetzt; Randabstand 8cm zum nächsten Rand				

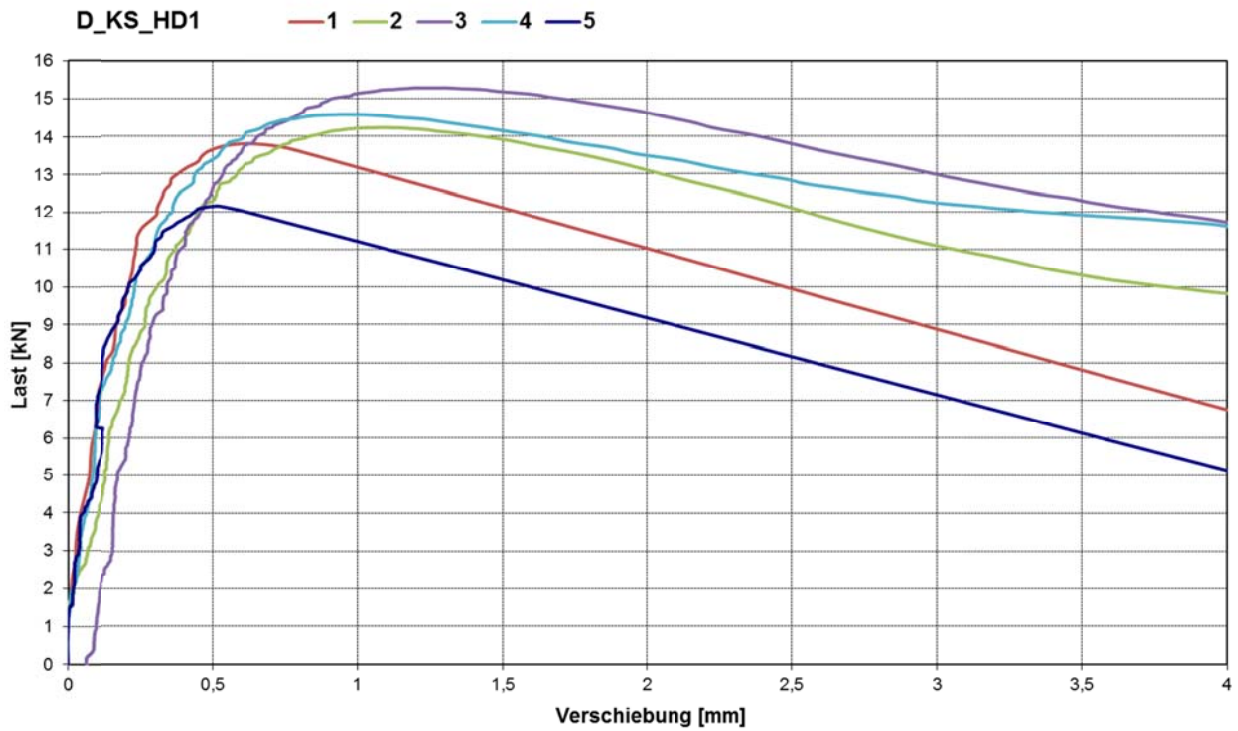


Abb. 4.19: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie D\_HD1



Abb. 4.20: Dübel D\_HD1\_1



Abb. 4.21: Dübel D\_HD1\_2



Abb. 4.22: Dübel D\_HD1\_3



Abb. 4.23: Dübel D\_HD1\_4



Abb. 4.24: Dübel D\_HD1\_5



Tabelle 4.5: Versuchsprotokoll Serie D\_HD2

<b>Dübeltyp: D</b>		Erstellt am: 20.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 2	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 30/11,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0,0773)			
Versuchs- Nr.:	<b>D_HD2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	19,8				
Versuchsdatum		10.05.2012	10.05.2012	10.05.2012	10.05.2012	10.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	83	83	83	82	83
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	16,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	12,67	13,01	13,4	13,63	13,02
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	13,15				
Variationskoeffizient	[%]	2,85%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,65	0,73	0,88	1,00	0,73
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,08	0,14	0,13	0,10	0,11
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,11				
Variationskoeffizient	[%]	23,14%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Drehmoment am Akkuschauber eingestellt; Versuche auf der zweiten Seite des Steins; erste Seite: FUR 8, Löcher um ca. 4cm versetzt; Randabstand 8cm zum nächsten Rand				

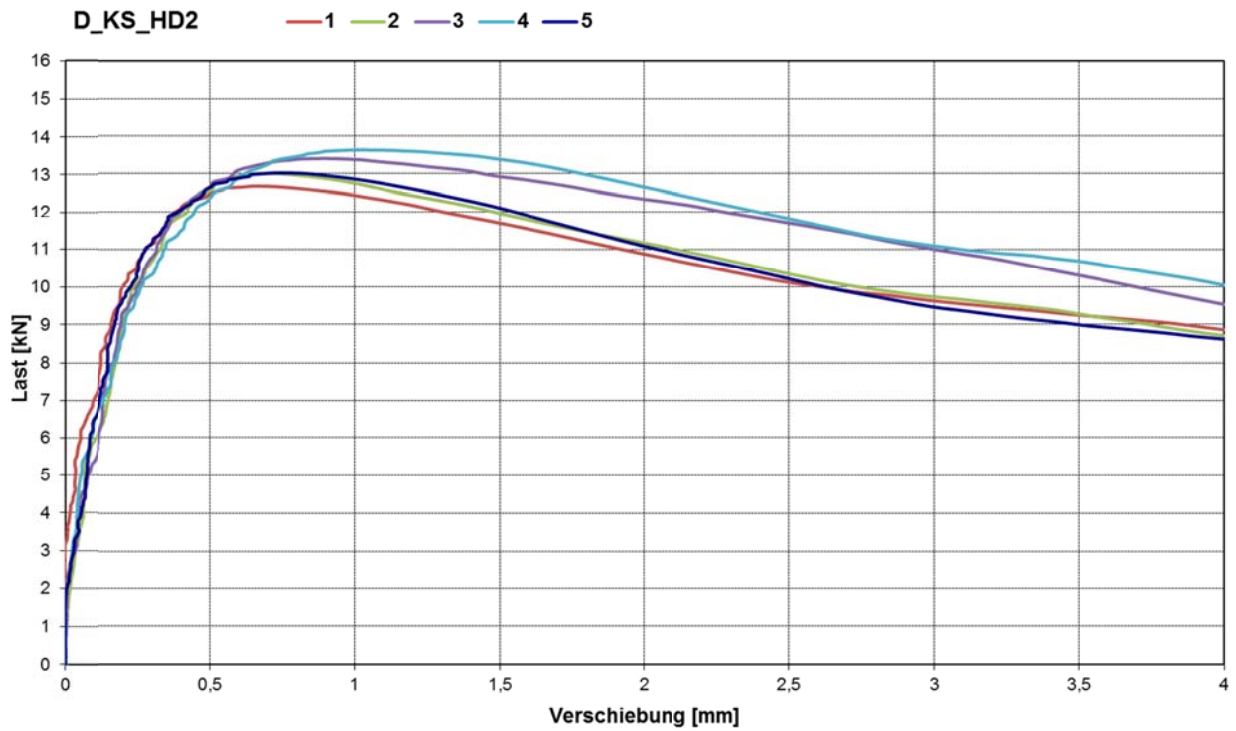


Abb. 4.25: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie D\_HD2



Abb. 4.26: Dübel D\_HD2\_1



Abb. 4.27: Dübel D\_HD2\_2



Abb. 4.28: Dübel D\_HD2\_3



Abb. 4.29: Dübel D\_HD2\_4



Abb. 4.30: Dübel D\_HD2\_5





Tabelle 4.6: Versuchsprotokoll Serie D\_HD3

<b>Dübeltyp: D</b>		Erstellt am: 20.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 30/11,3	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0,0771)*			
Versuchs- Nr.:	<b>D_HD2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,3				
Versuchsdatum		14.05.2012	14.05.2012	14.05.2012	14.05.2012	14.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	85	85	85	84	85
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	19,0	20,0	19,0	19,0	19,0
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	13,66	12,53	13,19	13,94	13,37
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	13,34				
Variationskoeffizient	[%]	4,01%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,37	1,48	1,38	1,58	0,97
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,25	0,24	0,21	0,37	0,04
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,22				
Variationskoeffizient	[%]	52,84%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		Drehmoment am Akkuschauber eingestellt; Versuche auf der zweiten Seite des Steins; erste Seite: FUR 8, Löcher um ca. 4cm versetzt; Randabstand 8cm zum nächsten Rand * WA wurde inzwischen kalibriert, Faktor alt: 0,0773 neu 0,0771				

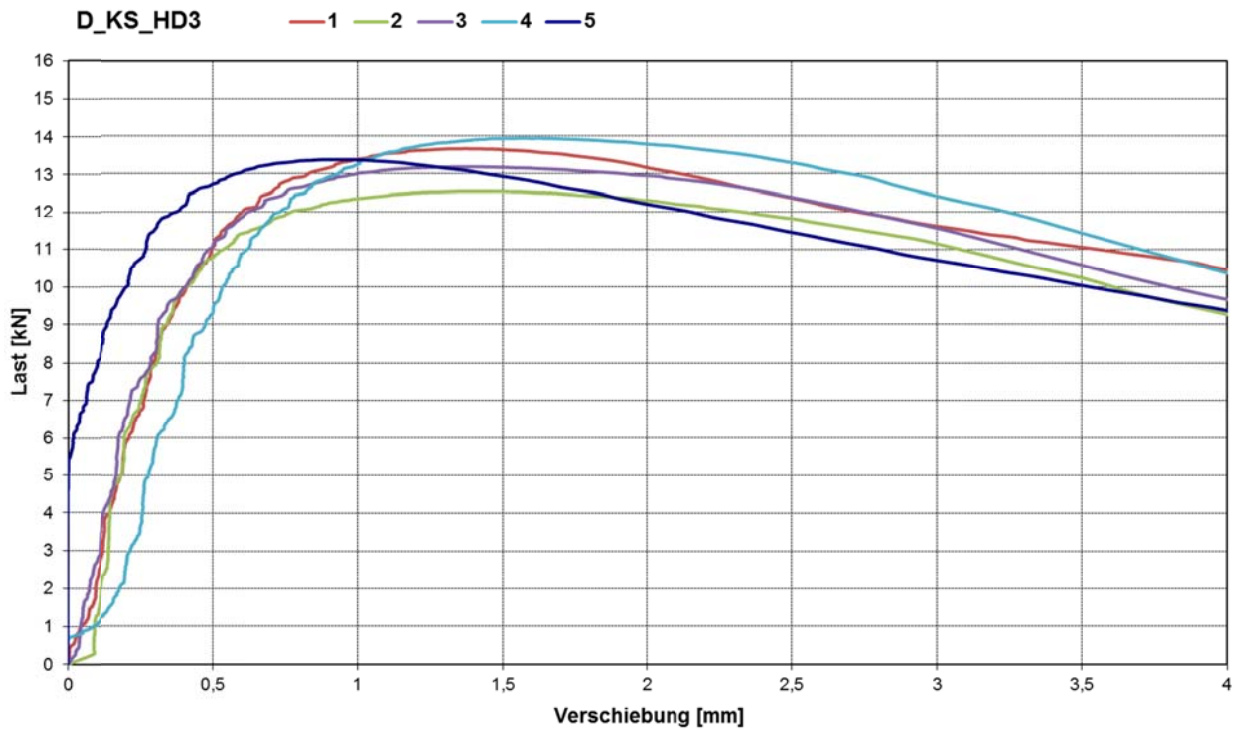


Abb. 4.31: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie D\_HD3



Abb. 4.32: Dübel D\_HD3\_1



Abb. 4.33: Dübel D\_HD3\_2



Abb. 4.34: Dübel D\_HD3\_3



Abb. 4.35: Dübel D\_HD3\_4



Abb. 4.36: Dübel D\_HD3\_5



## 5 Versuchsergebnisse Dübel E

Tabelle 5.1: Versuchsprotokoll Serie E\_EB1

Dübeltyp: E		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm mit Senkkopfschraube; Dübellänge 80mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , : $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 1	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 100	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	:	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS005			
Reinigungsbürste	: weich	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WAN 061 (-0,0772)			
Versuchs- Nr.:	<b>E_KS_EB1_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,9				
Versuchsdatum		07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	83	83	83	88	88
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15,4	15,4	15,1	15,2	15,9
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	12,99	11,12	10,92	10,69	9,83
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	11,11				
Variationskoeffizient	[%]	10,44%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,04	0,37	0,38	0,23	0,51
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,05	0,02	0,01	0,01	0,02
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,02				
Variationskoeffizient	[%]	74,69%				
Versagensart		S/H	S/H	S/H	H	S/H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		7	4	8	-	5
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

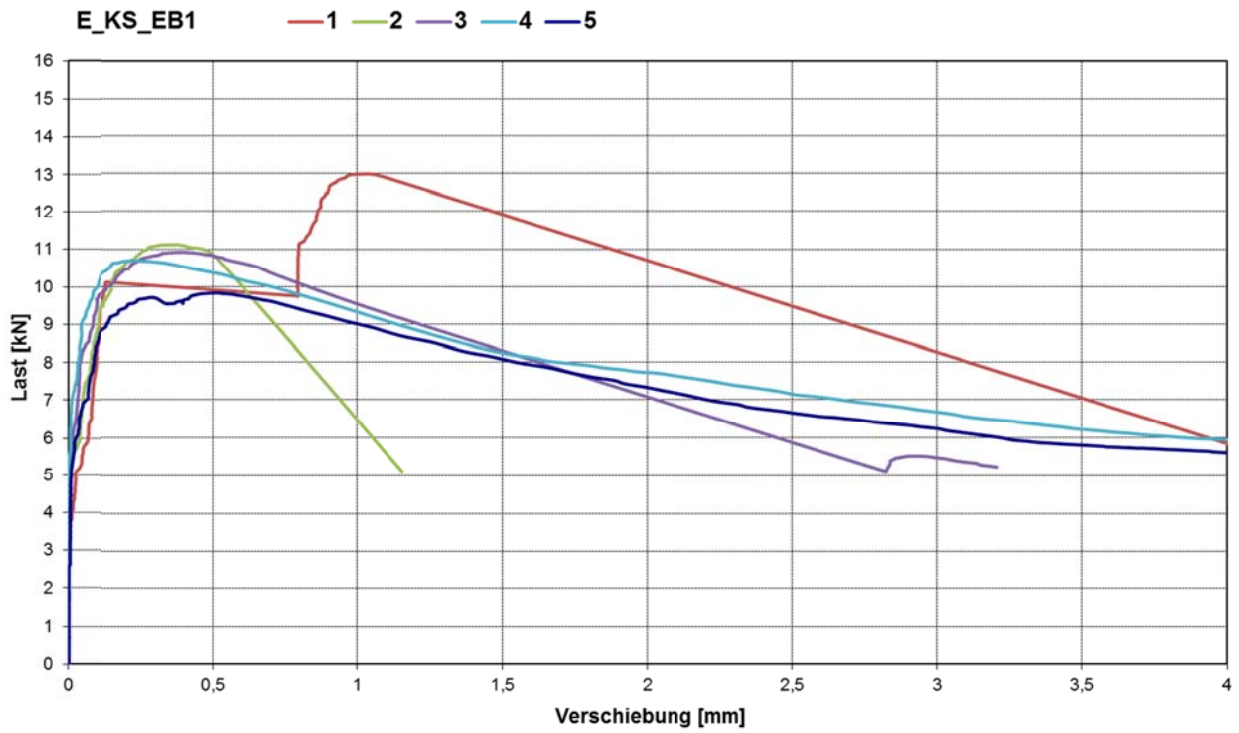


Abb. 5.1: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie E\_EB1



Abb. 5.2: Dübel E\_EB1\_1



Abb. 5.3: Dübel E\_EB1\_2

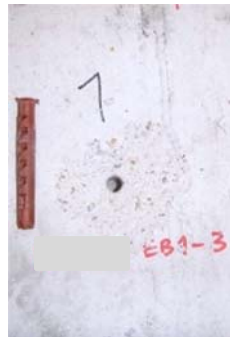


Abb. 5.4: Dübel E\_EB1\_3



Abb. 5.5: Dübel E\_EB1\_4



Abb. 5.6: Dübel E\_EB1\_5





Tabelle 5.2: Versuchsprotokoll Serie E\_EB2

Dübeltyp: E		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm mit Senkkopfschraube; Dübellänge 80mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 2	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 100	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	:	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS005			
Reinigungsbürste	: weich	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WAN 061 (-0,0772)			
Versuchs- Nr.:	E_KS_EB2_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	13,3				
Versuchsdatum		07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	83	83	83	88	88
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15,2	15,6	16,0	15,9	15,0
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	9,58	12,12	11,03	10,98	10,52
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	10,846				
Variationskoeffizient	[%]	8,48%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,29	0,86	0,65	0,42	0,37
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,02	0,003	0,01	0,003	0,01
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,01				
Variationskoeffizient	[%]	0,758536797				
Versagensart		S/H	H	H	H	S/H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		11	-	-	-	5
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

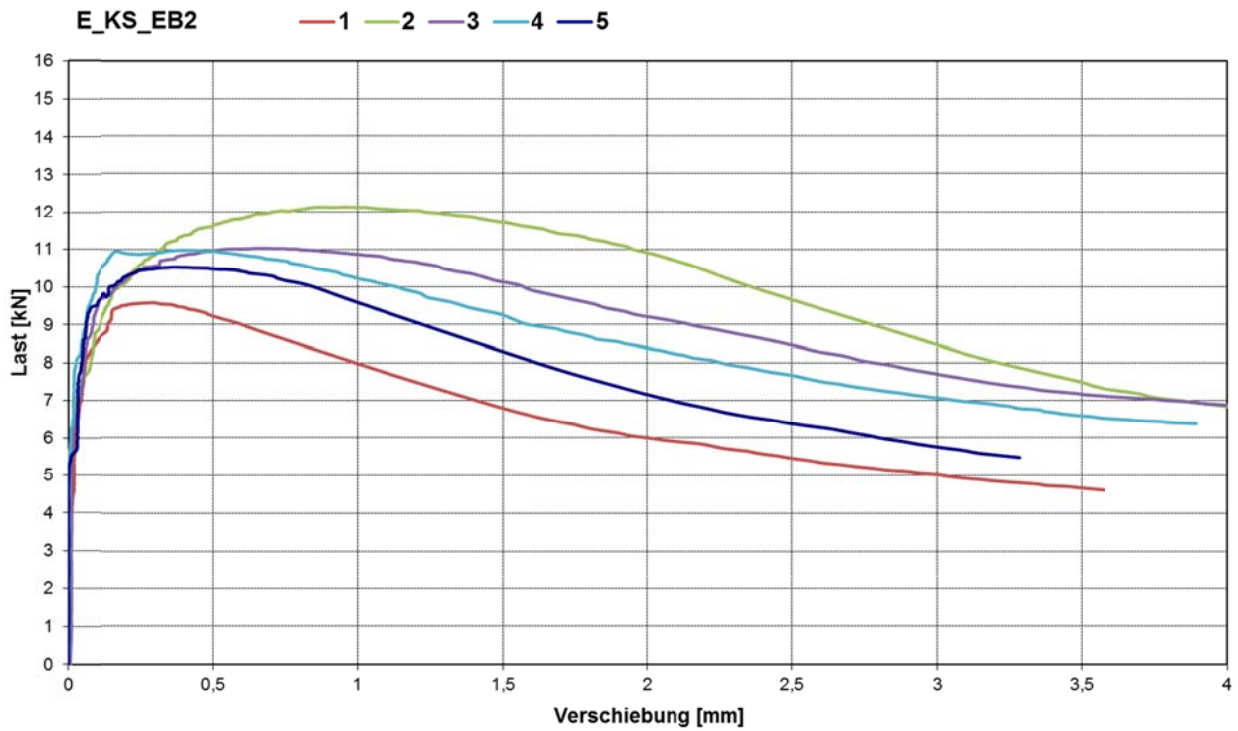


Abb. 5.7: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie E\_EB2



Abb. 5.8: Dübel\_E\_EB2\_1



Abb. 5.9: Dübel\_E\_EB2\_2



Abb. 5.10: Dübel\_E\_EB2\_3



Abb. 5.11: Dübel\_E\_EB2\_4



Abb. 5.12: Dübel\_E\_EB2\_5



Tabelle 5.3: Versuchsprotokoll Serie E\_EB3

Dübeltyp: E		Erstellt am: 25.11.2011				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm mit Senkkopfschraube; Dübellänge 80mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 12 \text{ N/mm}^2$ , $\geq 2,0 \text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: EB 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x175x248 6DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Temperatur [°C]		Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 100	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	:	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS005			
Reinigungsbürste	: weich	Kraftmessdose	: KMD 029 (9.9881)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WAN 061 (-0,0772)			
Versuchs- Nr.:	E_KS_EB3_	1	2	3	4	5
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	11,8				
Versuchsdatum		07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011	07.11.2011
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	83	83	83	88	88
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15,4	15,1	15,1	15,0	15,8
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	9,58	10,32	9,98	10,03	10,33
Mittelwert $N_{u, m}$	[kN]	10,048				
Variationskoeffizient	[%]	3,06%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,31	0,29	0,66	0,41	0,27
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,01	0,003	0,01	0,01	0,01
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u, m}$	[mm]	0,01				
Variationskoeffizient	[%]	0,364011066				
Versagensart		S/H	S/H	H	S/H	S/H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		8	6	-	6	6
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:						

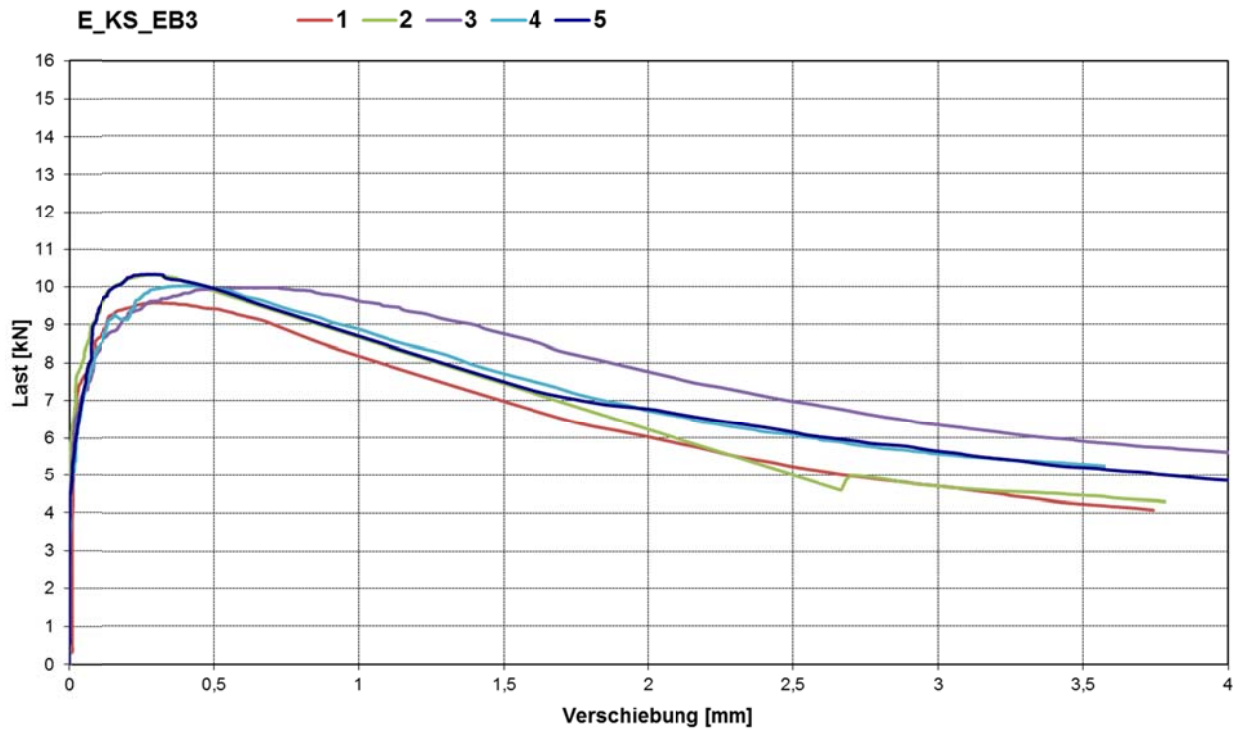


Abb. 5.13: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie E\_EB3



Abb. 5.14: Dübel E\_EB3\_1



Abb. 5.15: Dübel E\_EB3\_2



Abb. 5.16: Dübel E\_EB3\_3



Abb. 5.17: Dübel E\_EB3\_4



Abb. 5.18: Dübel E\_EB3\_5





Tabelle 5.4: Versuchsprotokoll Serie E\_HD1

Dübeltyp: E		Erstellt am: 20.05.2012					
Auftrags Nr.	: 209 10 001						
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche						
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm mit Senkkopfschraube; Dübellänge 80mm						
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit						
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz						
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren		: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD1	Montage		: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp		: 2-schneid			
Anbauteil [mm]	: 10	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]		: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung		: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Anzeichnungsfrequenz [Hz]		: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder		: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank		: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose		: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer		: WA 061 (-0,0771)			
Versuchs- Nr.:	E_KS_HD1_	1	2	3	4	5	6
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	21,2					
Versuchsdatum		15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	84	84	84	84	83	84
Drehmoment $T_{\text{inst}}$	[Nm]	15	16	16	16	16	16
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen					
Versagenslast $N_u$	[kN]	8,10	13,59	14,43	13,06	13,67	11,53
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	13,26					
Variationskoeffizient	[%]	8,16%					
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]		1,19	1,15	1,06	1,12	0,85
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]		0,22	0,01	0,11	0,18	0,11
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,13					
Variationskoeffizient	[%]	63,59%					
Versagensart		H	H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]							
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten					
Bemerkungen:		V1: reduzierte Verankerungstiefe: 50mm; nicht in Auswertung V1-3: 1. Seite des Steins, V4-6: 2. Seite Dübel auf der 2. Seite um ca. 4cm versetzt, kleinster Randabstand 8cm					

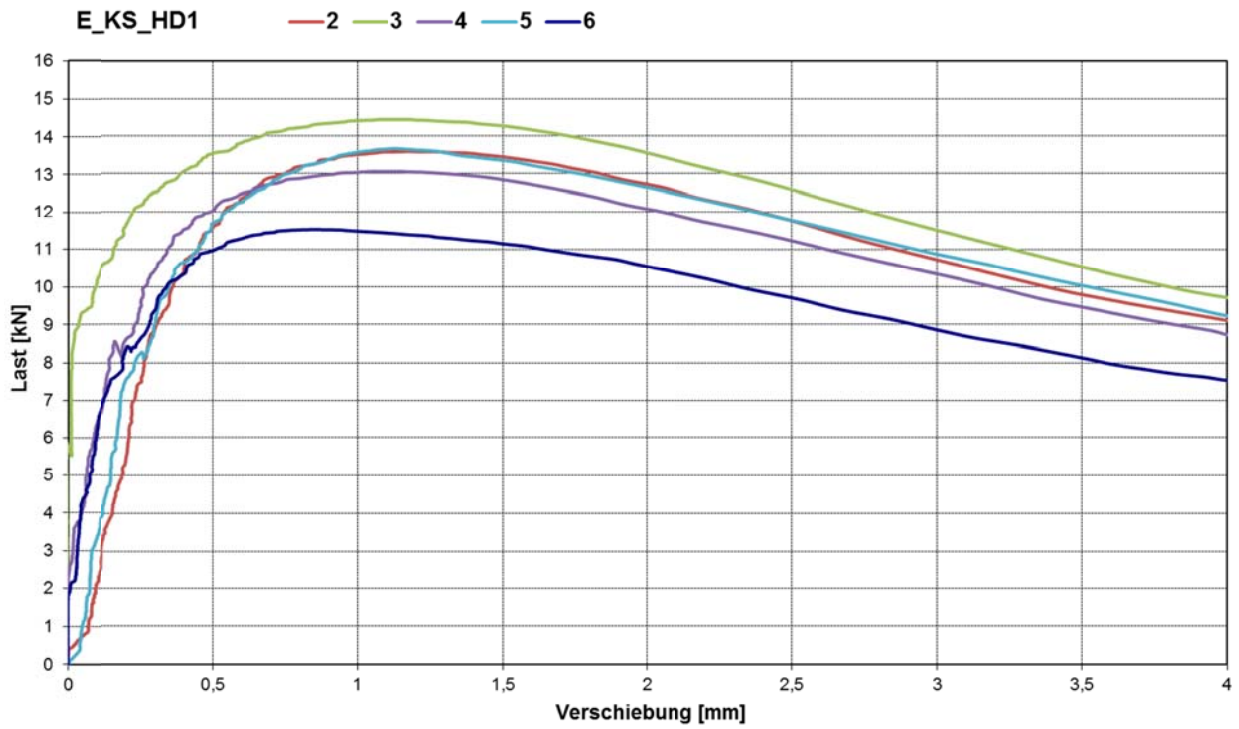


Abb. 5.19: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie E\_HD1



Abb. 5.20: Dübel E\_HD1\_2



Abb. 5.21: Dübel E\_HD1\_3



Abb. 5.22: Dübel E\_HD1\_4



Abb. 5.23: Dübel E\_HD1\_5



Abb. 5.24: Dübel E\_HD1\_6



Tabelle 5.5: Versuchsprotokoll Serie E\_HD2

Dübeltyp: E		Erstellt am: 20.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm mit Senkkopfschraube; Dübellänge 80mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 2	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 10	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0,0771)			
Versuchs- Nr.:	<b>E_HD2_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	19,8				
Versuchsdatum		15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	83	84	84	82	83
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	12,8	12,56	12,22	13,08	13,04
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	12,74				
Variationskoeffizient	[%]	2,81%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	0,98	0,76	0,59	0,90	0,96
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,42	0,12	0,13	0,20	0,12
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,20				
Variationskoeffizient	[%]	65,00%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1-3: 1. Seite des Steins, V4-5: 2. Seite Dübel auf der 2. Seite um ca. 4cm versetzt, kleinster Randabstand 8cm Drehmoment am Akkuschauber eingestellt				

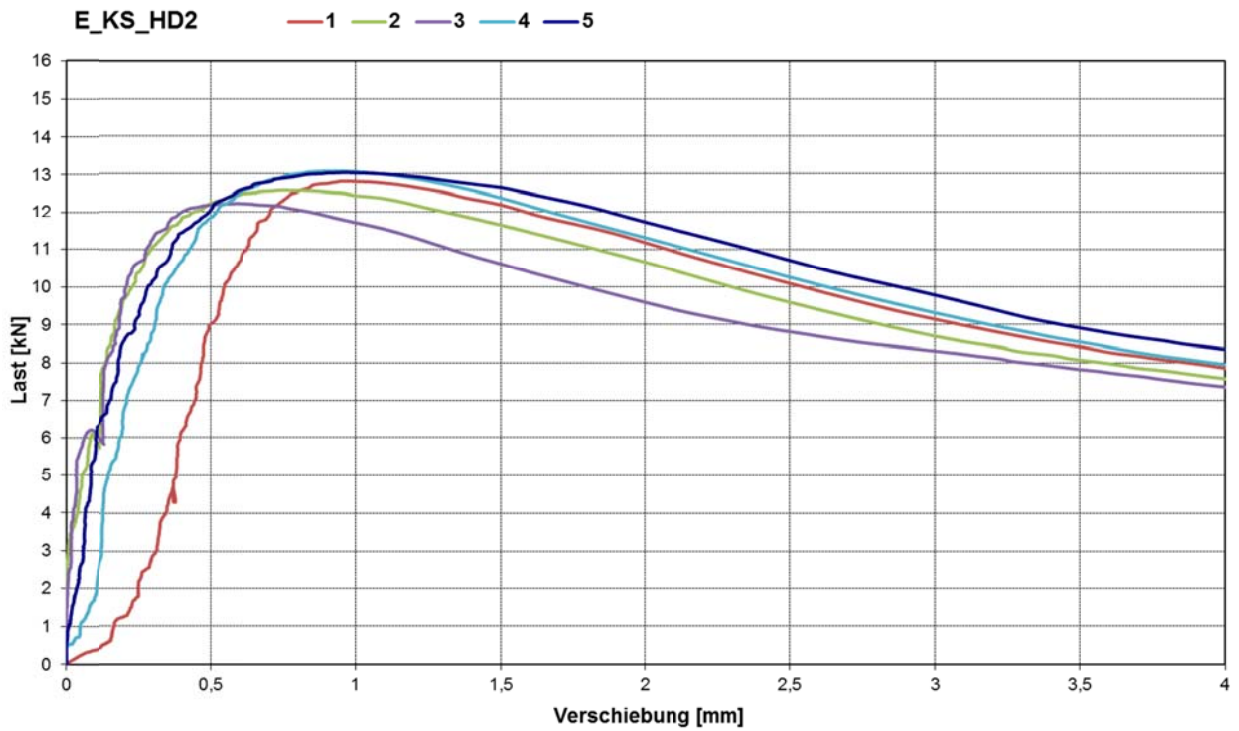


Abb. 5.25: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie E\_HD2



Abb. 5.26: Dübel E\_HD2\_1



Abb. 5.27: Dübel E\_HD2\_2



Abb. 5.28: Dübel E\_HD2\_3

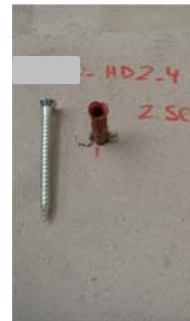


Abb. 5.29: Dübel E\_HD2\_4



Abb. 5.30: Dübel E\_HD2\_5





Tabelle 5.6: Versuchsprotokoll Serie E\_HD3

Dübeltyp: E		Erstellt am: 20.05.2012				
Auftrags Nr.	: 209 10 001					
Versuchsart	: Zentrische Zugversuche					
Dübelgröße (Lieferdatum)	: Durchmesser 10mm mit Senkkopfschraube; Dübellänge 80mm					
Versuchsbeschreibung	: Referenzversuche zur Ermittlung der Zugtragfähigkeit					
Prüfer/ Techniker	: Dipl.- Ing. Carolin Kurz					
Steinart	: KSV, $\geq 20\text{N/mm}^2$ , $\geq 2,0\text{ kg/dm}^3$	Bohrmaschine/ -verfahren	: Hilti TE 35 / Hammerbohren			
Charge Nr.	: HD 3	Montage	: Durchsteckmontage			
Steingröße [mm]	: 248x115x248 4DF	Bohrertyp	: 2-schneid			
Anbauteil h/d [mm]	: 10	Bohrereckmaß $d_{\text{cut}}$ [mm]	: 10,18			
Bohrlochtiefe $h_0$ (Soll) [mm]	: $\geq 80$	Setzrichtung	: vertikal			
Verankerungstiefe $h_{\text{ef}}$ [mm]	: 70	Aufzeichnungsfrequenz [Hz]	: 5			
Abstützung	: weit	Zylinder	: 50kN			
Abstützweite [mm]	: 120	Messschrank	: MS 5			
Reinigungsbürste	: Stahl	Kraftmessdose	: KMD 025 (9.9907)			
Durchmesser der Reinigungsbürste [mm]	: 12	Wegaufnehmer	: WA 061 (-0,0771)			
Versuchs- Nr.:	<b>E_HD3_</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Druckfestigkeit $f_{\text{Stein}}$	[N/mm <sup>2</sup> ]	23,3				
Versuchsdatum		15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012	15.05.2012
Bohrlochtiefe $h_0$ (IST)	[mm]	84	83	84	82	83
Drehmoment $T_{\text{inst}}$ (soll: 15Nm)	[Nm]	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Bohrlochreinigung		Aussaugen/Bürsten/Aussaugen				
Versagenslast $N_u$	[kN]	12,27	13,52	13,32	13,56	12,94
Mittelwert $N_{u,m}$	[kN]	13,12				
Variationskoeffizient	[%]	4,08%				
Verschiebung $s$ bei Last $N_u$	[mm]	1,14	1,60	1,44	1,47	1,14
Verschiebung $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,24	0,33	0,15	0,15	0,11
Mittelwert $s$ bei $0,5 N_{u,m}$	[mm]	0,19				
Variationskoeffizient	[%]	45,96%				
Versagensart		H	H	H	H	H
Durchmesser des Ausbruchs [cm]		-	-	-	-	-
Legende der Versagensarten:		S= Steinbruch; H=Herausziehen; Sp = Spalten				
Bemerkungen:		V1-3: 1. Seite des Steins, V4-5: 2. Seite Dübel auf der 2. Seite um ca. 4cm versetzt, kleinster Randabstand 8cm Drehmoment am Akkuschauber eingestellt				

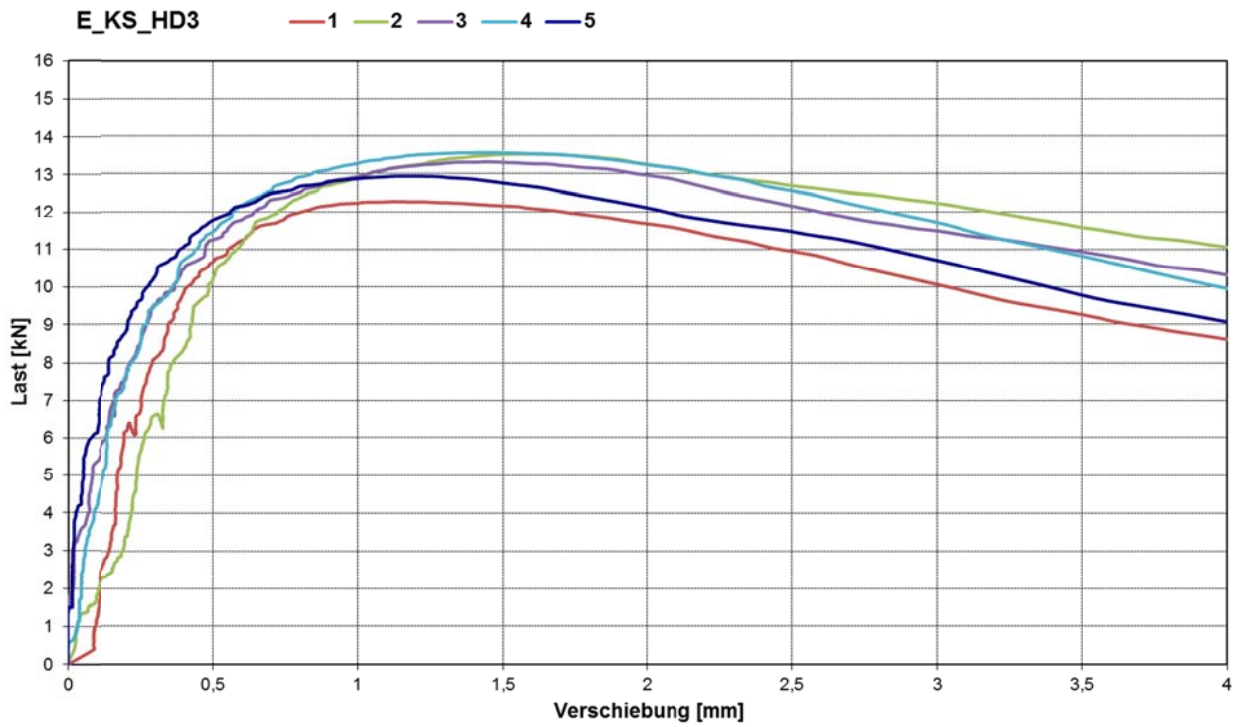


Abb. 5.31: Last-Verschiebungs-Diagramm zur Versuchsserie E\_HD3



Abb. 5.32: Dübel\_E\_HD3\_1



Abb. 5.33: Dübel\_E\_HD3\_2



Abb. 5.34: Dübel\_E\_HD3\_3



Abb. 5.35: Dübel\_E\_HD3\_4



Abb. 5.36: Dübel\_E\_HD3\_5