

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/
Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Tech-
nischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.

<http://www.ub.tuwien.ac.at>



The approved original version of this diploma or
master thesis is available at the main library of the
Vienna University of Technology.

<http://www.ub.tuwien.ac.at/eng>



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

DIPLOMARBEIT Master's Thesis

Experimentelle Untersuchungen zum Tragwerksverhalten von Mauerwerkskörpern mit unterschiedlichen Mörteln unter Schubbelastung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas Kolbitsch
und
Dipl.-Ing. Andreas Schneemayer

E 206
Institut für Hochbau und Technologie
Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung

Eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Ali Farhadi
Matr.Nr.: 0525183
Karl-Bednarik-Gasse 4
1220 Wien

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich auf meinem Weg begleitet und mir durch mein Studium geholfen haben.

Ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und meinem Bruder, die mich in jeder Situation und Lebenslage während meiner Studienzeit vollstens unterstützt haben, in moralischer wie auch in finanzieller Hinsicht.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen Freunden, die ich während meines Studiums kennen gelernt und vor allem schätzen gelernt habe. Ihr seid für mich Gold wert, da ihr Freunde fürs Leben seid.

Besonderer Dank gilt auch meiner Freundin, die mich während der Verfassung meiner Diplomarbeit stets motiviert und unterstützt hat.

Im Zuge meiner Diplomarbeit möchte ich mich bei Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch sehr herzlich für die gute Betreuung und die angenehme Atmosphäre am Institut bedanken. Besonderer Dank gilt auch meinem Betreuer Dipl. Ing. Andreas Schneemayer, da er mir bei meinen Versuchen stets mit Rat und Tat zur Seite stand, besonders beim Heben der Mauerwerke und selbstverständlich auch für die freundliche Zusammenarbeit und Betreuung.

Ich widme diese Diplomarbeit meinen Eltern und bedanke mich für alles.

Kurzfassung

Mauerwerk ist ein häufig verwendeter Baustoff, sowohl in der heutigen Zeit als auch in der Vergangenheit. Es ist ein inhomogener und anisotroper Baustoff und besteht aus Steinen und Mörtel, die miteinander im Verbund wirken. Durch seine Eigenschaft als nichtlinearer Baustoff, ist es sehr schwer über das strukturelle Tragverhalten von Mauerwerken Aussagen zu tätigen. Besonders viele offene Fragen bestehen hinsichtlich des Materialverhaltens unter Schubbeanspruchung.

Ziel meiner Diplomarbeit war es, anhand von Versuchen das Tragverhalten von Mauerwerk mit unterschiedlichen Mauermörteln unter Schubbelastung zu untersuchen. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden 42 Mauerwerkskörper mit fünf verschiedenen Mörtelarten mit mittleren Druckfestigkeiten von 0,48 bis 29,78 [N/mm²] im Institutslabor für Hochbau und Technologie der Technischen Universität Wien zusammengebaut und geprüft. Bei der Versuchsdurchführung wurde eine Erdbeben- und Windbelastung simuliert.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das unbewehrte Mauerwerk schlecht für zyklische Beanspruchungen geeignet ist, da die Risse abrupt und unregelmäßig entstehen. Weiteres stellt diese Diplomarbeit klar, dass die Mörtelfestigkeit, eine wichtige Rolle bezüglich des Duktilitätsverhaltens von Mauerwerk spielt.

Abstract

Brickwork is a frequently used building material, in today's time as well as in the past. It is an inhomogeneous and anisotropic building material that is composed of stones and mortar, which function together in composite. Due to its characteristics as a non-linear building material, it is very hard to make statements about the structural strength characteristics of brickworks. A particularly large amount of open questions exist with regards to the material behavior under shear stress.

The Aim of my master thesis was to investigate, based on trials, the strength characteristics of brickwork with different mortars under shear stress. In the frame of this thesis 42 brickwork samples with 5 different mortars with medium compressive strength of 0,48 to 29,78 [N/mm²] were constructed and tested in the Institute Laboratory of Building Construction and Technology at the Vienna University of Technology. In the experimental procedure, earthquake- and wind loads were simulated.

In summary, it was found that the unreinforced brickwork was badly suited for cyclic loading, as the cracks develop abruptly and irregularly. This thesis further clarifies that the mortar strength plays an important role concerning the ductility characteristics of brickwork.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Geschichte des Mauerwerkes	1
1.2	Problemstellung und Zielsetzung	3
2	Grundlagen	5
2.1	Allgemeines	5
2.2	Komponenten des Mauerwerks	5
2.2.1	Mauersteine	5
2.2.2	Mauermörtel	6
2.3	Ausführung von Mauerwerk	7
2.4	Festigkeit von Mauerwerk	9
2.4.1	Druckfestigkeit	9
2.4.2	Zugfestigkeit von Mauerwerk	10
2.4.3	Schubfestigkeit von Mauerwerk	12
3	Experimenteller Teil	15
3.1	Allgemein	15
3.2	Baustoffe	15
3.2.1	Stein	15
3.2.2	Mörtel	16
3.3	Versuchskörper	16
3.4	Versuchsdurchführung	17
3.4.1	Versuchseinrichtung	17
3.4.2	Messungen	24
3.4.3	Versuchsablauf	27
3.5	Probleme, die bei der Versuchsdurchführung aufgetreten sind	27
4	Versuchsauswertung	30
5	Diskussion der Ergebnisse	33
5.1	Allgemein	33
5.2	Zusammenfassung der Ergebnisse der fünf Versuchsreihen	33
5.2.1	Versuchsreihe mit Mörtel PM10	35
5.2.2	Versuchsreihe mit Mörtel PM 5	40
5.2.3	Versuchsreihe mit Mörtel M 5	45
5.2.4	Versuchsreihe mit Mörtel M10	50
5.2.5	Versuchsreihe mit Mörtel KM	55
5.3	Interpretation der Ergebnisse der fünf Versuchsreihen	59
6	Vergleich der Messergebnisse mit dem Eurocode	63
6.1	Mauerwerksfestigkeiten und Tragfähigkeitsnachweise [17]	63
6.1.1	Charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk [17]	63

6.1.2	Charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk [17].....	63
6.1.3	Tragwiderstandes unter vertikaler Belastung [17].....	63
6.1.4	Bemessungswert der Schubtragfähigkeit [17].....	64
6.2	Detaillierte Bemessung des Versuchskörpers PM10 Nr.1.....	64
6.3	Tabellarischer Vergleich der Messergebnisse	66
7	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	68
A	Anhang (detaillierte Messergebnisse der Versuche)	70
A.1	Versuchsreihe mit Mörtel PM10	70
A.2	Versuchsreihe mit Mörtel PM5	90
A.3	Versuchsreihe mit Mörtel M5	110
A.4	Versuchsreihe mit Mörtel M10	130
A.5	Versuchsreihe Mit Mörtel Kalkmörtel	148
	Abbildungsverzeichnis	152
	Tabellenverzeichnis	156
	Literaturverzeichnis.....	159

1 Einleitung

1.1 Geschichte des Mauerwerkes

Mauerwerk gehört zu den ältesten Baustoffen. Es besteht aus verschiedenen Steinarten, wie etwa Natursteinen und luftgetrockneten oder gebrannten Ziegeln, die mit Mörtel verbunden werden [1]. Schon sehr früh erkannten die Menschen die Vorteile dieses Baustoffes, nämlich Behaglichkeit, sehr gute bauphysikalische Eigenschaften, Brandwiderstand und Tragfähigkeit und nutzten ihn für verschiedene Bauwerke wie z.B. Türme, Brücken, Wohnhäuser, Kirchen und Burgen, aber auch für Dekorationen wie z.B. Reliefs und Außenfassaden (siehe Abb. 1.1).



Abb. 1.1: Glasierte Ziegel des Bogenschützenfries aus dem Palast von Dareios I. [2]

Eine Vorreiterrolle bezüglich der ersten Mauerwerkbauten nimmt Persien ein, mit Fundstücken aus einer Zeit vor ca. 7 000 Jahren [3]. Erst nach und nach verlagerte sich die Kunst des Mauerwerkbaus, ausgehend von Persien in das Zwischenstromland, nach Ägypten, Griechenland und Rom. Es entstanden wichtige Bauten, wie etwa die Zikkurate, der Turm von Babylon, die Pyramiden der Ägypter, die Tempel der Griechen und die Arenen und Brücken der Römer.

Die ältesten und prachtvollsten Bauwerke, die die Menschheit je gebaut hat, sind die Zikkurate. Eine Zikkurat ist ein Tempel in Gestalt eines auf einem quadratischen Grundriss sich erhebenden, stufenförmig aufgebauten Turms [4]. Das wichtigste Merkmal von Zikkuraten ist, dass sie meist aus einem Kern, der aus Rohziegel besteht und einem Mantel, der aus gebrannten Ziegeln besteht, gebaut werden [4] [5]. Die berühmtesten Zikkurate sind einerseits die Zikkurat des Mondgottes Nanna, die im heutigen Irak liegt und eine Höhe von 25 Meter hat, andererseits die Zikkurat Tappe Sialk, die man im heutigen Iran findet und ca. 2900 Jahren vor Christus gebaut wurde und die Zikkurat Tschoga Zanbil (siehe Abb. 1.2), die sich ebenfalls im heutigen Iran befindet und im Grunde sehr gut erhalten geblieben ist. Sie hat jedoch 25 Meter ihrer ursprünglichen Höhe einbüßen müssen, denn früher war sie 50 Meter hoch, heute nur mehr 25 Meter [4] [5] [6].



Abb. 1.2: Zikkurat in Tschogha Zanbil [7]

Auch andere Kulturen hatten eine wichtige Rolle in der Geschichte des Mauerwerksbaus und brachten einige prachtvolle Schöpfungen hervor, wie zum Beispiel die Paläste und Altäre der Mayas und die große Mauer in China.

Schon seit jeher werden überwiegend Ziegel für das Mauerwerk verwendet. Bei der Herstellung von Ziegel hat sich lange Zeit nicht viel verändert. Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert entdeckten die Menschen jedoch, wie man Ziegel maschinell herstellen kann. Die Engländer waren die ersten, die Ziegel maschinell herstellten, die bahnbrechende Entwicklung wurde hingegen durch

die Erfindung von Pressen und Ringöfen in Deutschland und Österreich gemacht [8].

In Österreich hatten italienische Familien bis vor 200 Jahren sehr großen Einfluss auf die Ziegelherstellung, indem sie an Ort und Stelle Tonvorkommen suchten und dann Ziegel herstellten. Sie waren meist auch bei der Errichtung der Gebäude beteiligt. Mitte des 18. Jahrhunderts wurde die Entwicklung der Ziegelherstellung in Österreich beschleunigt, da Kaiserin Maria Theresia am Wienerberg den k.u.k. Ziegelofen errichten ließ. So konnte man bereits um 1780 ca. eine Million Mauerziegel jährlich in der Produktionsstätte herstellen. Im 19. Jahrhundert wurden dann einige umliegende Werke angeschlossen und das Unternehmen produzierte im Jahre 1849 bereits 30 Millionen Mauerziegel und vier Millionen Verblender. In den weiteren Jahren begann das Unternehmen die ersten Ringöfen und Pressen zu bauen und entwickelte sich zur größten Ziegelei der Welt mit 10 000 Arbeitern [8].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Mauerwerksbau eine sehr lange Geschichte hat. Obwohl im 20. Jahrhundert neue Baumaterialien wie Stahl, Stahlbeton und Glas Eingang in das Bauwesen fanden, wird das Mauerwerk dank seiner physikalischen Eigenschaften, wie etwa Wärmeschutz, Schallschutz, Brandschutz und seines geringen Formänderungsvermögens bei Belastungen noch heute häufig eingesetzt.

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Mauerwerk ist ein häufiges und beliebtes Bauelement im Bauwesen. Schon in alten Hochkulturen wurde Mauerwerk verwendet. Besonders häufig wird Mauerwerk bei Hochbauten wie Stahlskelettbauten als Ausfachung verwendet. Diese Ausfachung wirkt als Scheibe und ersetzt die Aussteifung der Gebäude, wodurch sie gegen Wind- und Erdbebenbeanspruchung resistent werden sollen. Denn durch solch eine Beanspruchung ergibt sich im Mauerwerk eine Schubspannung, die sie gegenüber Schubbelastungen sehr empfindsam macht und sie infolgedessen sehr schnell versagen lässt. Deshalb gibt es noch immer viele offene Fragen über das Tragverhalten unter verschiedenen Belastungen wie z.B. unter der kombinierten Belastung von Druck und Schub.

Ziel dieser Arbeit ist es, kombinierte Druck- und Schubbeanspruchung von Mauerwerken zu untersuchen. Die Arbeit behandelt mehrere Versuchsreihen, in welcher die Belastung eines Mauerwerks durch Wind- und Erdbebenbelastungen simuliert, quantifiziert und interpretiert wird.

Im Detail werden verschiedenen Mörtelarten und ihr Verhalten bei der Zwischenbindung mit den Ziegelsteinen untersucht. Dabei werden die Eigenschaften von verschiedenen Mörtelarten ausgewertet und danach können die Werte bei Finite Elemente Programmen eingegeben werden.

Meine Arbeit behandelt die Grundlagen des Tragverhaltens von Mauerwerk und die dahinter liegende Theorie. Da dieser Diplomarbeit ein großer experimenteller Teil zu Grunde liegt, wird detailliert auf die Versuchsdurchführung eingegangen und jeder Schritt des Versuchsablaufes ausführlich erklärt.

Im Weiteren befasse ich mich mit den Messergebnissen und der Methodik der Versuchsauswertung. Hierbei wird dargestellt, wie man anhand der Messwerte, die aus den Versuchen gewonnen werden, auf die Ergebnisse schließen kann. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse diskutiert und interpretiert. Zusätzlich werden die Messergebnisse der Versuchen mit dem Eurocode EN1996-1-1 verglichen.

Abschließend gibt es eine kurze Zusammenfassung und eine Schlussfolgerung der Ergebnisse.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

In diesem Kapitel sollen kurz die Grundlagen und Eigenschaften von Mauerwerk erläutert werden.

Mauerwerk wird aus Mörtel und Mauersteinen hergestellt. Der Mörtel verbindet sich mit den Steinen form- und teilweise kraftschlüssig. Deshalb wird Mauerwerk in der Literatur auch häufig als Verbundbaustoff bezeichnet [9].

Mauerwerke können als tragende und nicht tragende Bauteile ausgeführt werden. Meistens wird Mauerwerk im Hochbau, besonders beim Wohnungsbau, wegen seiner guten bauphysikalischen Eigenschaften und seiner Flexibilität eingesetzt [9]. Ein großer Anteil des Wohnungsbaus wird in Mauerwerksbauweise ausgeführt. Aber auch im Industrie- und Verwaltungsbau wird diese Bauweise genutzt [9].

2.2 Komponenten des Mauerwerks

2.2.1 Mauersteine

Bei der Herstellung von Mauerwerk werden unterschiedlichste Steine eingesetzt. Sie unterscheiden sich nach Material, Format, Querschnitt, Steindruckfestigkeit und Rohdichte. Die meist verwendeten Mauersteinarten sind jedoch Mauerziegel, Kalksandsteine, Porenbetonsteine, Leichtbetonsteine und Betonsteine [1] [9].

Ziegelsteine werden aus Lehm und Ton hergestellt. Die Steine erhalten ihre Festigkeit durch Brennen bei einer Temperatur von 500° bis 1800°. Man unterscheidet zwischen vier Ziegelsteinarten: Mauerziegel (beim experimentellen Teil dieser Diplomarbeit wurden nur Vollziegel verwendet), Hochlochziegel, Vormauerziegel und Klinker. Als Klinker werden bis zur Sinterung gebrannte Ziegel bezeichnet, die dadurch eine große Härte aufweisen. Vormauerziegel sind dichte und auch frostbeständige Ziegel. Durch Zusatzstoffe, die beim Brennvorgang rückstandslos verdampfen, z.B. Sägemehl oder Papierschlamm, kann poriges Material mit geringer Rohdichte und besserer Wärmedämmung entstehen [1].

Kalksandsteine sind bindemittelgebundene Mauersteine. Dabei wird Kalk als Bindemittel mit Sand verbunden und durch Dampfdruck wird der Stein bei hohen Temperaturen von 160° bis 200° gehärtet. Es gibt zwei Arten von Kalksandsteinen: Voll- und Blocksteine und Loch- und Hohlblocksteine [1].

Porenbetonsteine werden meist aus quarzhaltigem Sand, Bindemittel (Zement), Treibmittel (Aluminiumpulver), Wasser und durch Zusatzstoffe hergestellt. Porenbeton entsteht durch ein porenbildendes Treibmittel, wie z.B. Aluminiumpulver, unter Dampfdruck bei hohen Temperaturen bis zu 180°. Man unterscheidet noch zwischen Porenbeton-Blocksteinen und Porenbeton-Plansteinen [1].

Leichtbeton- und Betonsteine werden häufig mit haufwerksporigem Gefüge hergestellt. Prinzipiell unterscheidet sich die Herstellung von Leichtbeton- und Betonsteinen nicht viel voneinander. Die Grundmaterialien sind Normalbeton und mineralische Leichtzuschläge. Es gibt Voll- und Hohlblocksteine aus Leichtbeton und Hohlblocksteine aus Beton [9].

Die Formate der Steine leiten sich aus der Achtelteilung eines Meters als Achsmaß ab. Die Querschnittsform ist abhängig vom Format der Steine. Man unterscheidet hinsichtlich des Lochanteils zwischen Vollsteinen mit einem Lochanteil von max. 15% und Lochsteinen mit einem Lochanteil größer als 15% [1].

2.2.2 Mauermörtel

Mauermörtel ist ein Gemisch aus Sand, Bindemittel, Wasser und gegebenenfalls Zusatzstoffen und Zusatzmitteln. Dabei beträgt das Größtkorn des Sandes maximal 4 mm. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Normalmörtel (NM), Leichtmörtel (LM) und Dünnbettmörtel (DM) [9].

Normalmörtel besteht aus Sand, Kalk und/oder Zement und Zusatzmittel und Zusatzstoffen, die die Eigenschaften vom Mörtel beeinflussen. Die Einteilung erfolgt nach der Druckfestigkeit in Mörtelgruppen [1].

Leichtmörtel besteht aus porigen Leichtzuschlägen, wie z.B. Sanden aus Naturbims, Blähton oder Blähschiefer, und Bindemittel. Leichtmörtel hat bessere Wärmedämmung und wird deshalb für die Außenwände verwendet.

Die besondere mechanische Eigenschaft von Leichtmörtel ist sein Querdehnverhalten in der Ebene [1].

Dünnbettmörtel muss eine Fugendicke von 1 bis 3 mm ermöglichen. Durch seine Festigkeit wird er der Mörtelgruppe M 10 zugeordnet [10].

Mauermörtel hat verschiedene Eigenschaften und muss viele Anforderungen erfüllen. So muss er etwa für eine ausreichende gute Verarbeitbarkeit haften, aber auch ein auf die Steineigenschaften abgestimmtes Wasserrückhaltevermögen besitzen, damit ein Wasserabsaugen durch den Mauerstein verhindert wird. Weitere Eigenschaften von Mauermörtel sind die Trockenrohichte bzw. Wärmeleitfähigkeit bei Leichtmörtel, die Druckfestigkeit und die Verbundfestigkeit zum Mauerstein (Haftscherfestigkeit, Haftzugfestigkeit). Eine besonders wichtige Eigenschaft ist das Querverformungsverhalten bei Leichtmörtel, da dieses die Drucktragfähigkeit des Mauerwerks maßgeblich beeinflusst [9].

2.3 Ausführung von Mauerwerk

Damit eine ausreichende Übertragung von Spannungen und eine Flächentragwirkung vor allem bei Zug-, Biegezug- und Schubbeanspruchung gewährleistet werden kann, erfolgt die Herstellung von Mauerwerk durch den Verband von Mauersteinen. Das bedeutet, dass die Stoß- und Längsfugen von übereinander liegenden Schichten um das Überbindemaß versetzt sein müssen. Das Überbindemaß ist die Überlappungslänge von zwei übereinander liegenden Mauersteinen. Das Überbindemaß hat eine wichtige Rolle beim Tragverhalten des Mauerwerkes. Besonderen Einfluss sieht man beim Tragverhalten bei Druck- und Schubbeanspruchungen, sowie bei Zugbeanspruchung parallel zu den Lagerfugen. Ein zu kleines Überbindemaß führt zum Lösen des Verbandes. Aus diesem Grund gibt es einen Mindestwert für das Überbindemaß, der abhängig von der Steinhöhe ist (siehe Abb. 2.1) [9].

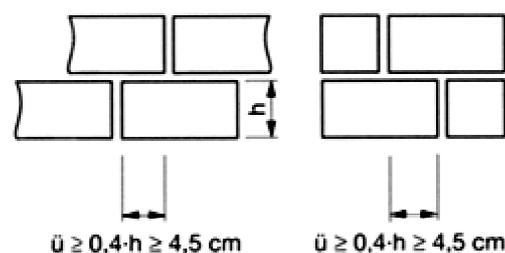


Abb. 2.1: Überbindemaß [11]

Beim Mauerwerksbau gibt es drei Fugen, Lagerfugen, Stoßfugen und Längsfugen. Lagerfugen und Längsfugen werden vollflächig vermörtelt und Stoßfugen kann man voll-, teil- oder unvermörtelt ausführen (siehe Abb. 2.2).

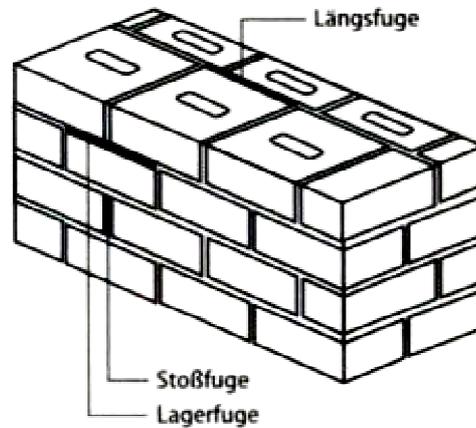


Abb. 2.2: Fugenarten [9]

Die Verbandart des Mauerwerkes hat auch einen Einfluss auf die Druckfestigkeit. In der Baupraxis werden verschiedene Arten von Verbänden ausgeführt. Die wichtigsten Arten sind im Abb. 2.3 dargestellt.

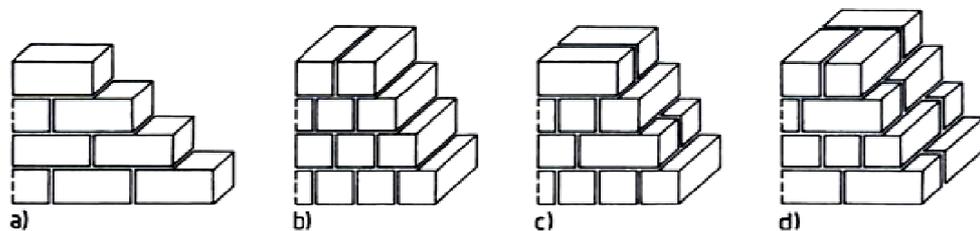


Abb. 2.3: Verbandarten [1]

- a) **Läuferverband:** Die Steinlänge verläuft in Wandrichtung. Die Stoßfugen sind im Normalfall um eine halbe Steinlänge versetzt. Daraus ergibt sich ein großes Überbindemaß mit zugfestem Verband. Diese Verbandsausführung ist daher in statischer Hinsicht am Günstigsten [1].
- b) **Binderverband:** Die Steinlängen verlaufen in Richtung der Wanddicke. Das Überbindemaß folgt aus der Steinbreite und ist entsprechend geringer als beim Läuferverband. Dadurch ergibt sich auch eine geringere Zugfestigkeit des Verbandes [1].
- c) **Blockverband:** Das Mauerwerk setzt sich abwechselnd aus einer Läufer- und einer Binderschicht zusammen. Das Überbindemaß und die Zugfestigkeit des Verbandes entsprechen dem Binderverband [1].

- d) **Kreuzverband:** Jede Schicht besteht gleichzeitig aus Läufer- und Bindersteine, die sich schichtweise überkreuzen. Diese Verbandsart wird meistens für Wände benötigt, deren Dicke größer als eine Steinlänge ist [1].

2.4 Festigkeit von Mauerwerk

2.4.1 Druckfestigkeit

Mauerwerk ist ein nicht-homogener Baustoff und zeigt ein kompliziertes Bruchverhalten. Die Druckfestigkeit von Mauerwerk ist von vielen Parametern abhängig, z.B. Querdehnverhalten von Stein und Mörtel, Querkzugfestigkeit und Druckfestigkeit der Steine, Mörteldruckfestigkeit, Elastizitätsmodul der Einzelkomponenten, Fugendicke, Steinhöhe und Verbundqualität [1].

Bei einer zentrischen, vertikalen Drucklast (siehe Abb. 2.4) entstehen in vertikaler Richtung gleichmäßige Druckspannungen im gesamten Körper. Im Normalfall hat der Mörtel eine größere Querverformbarkeit als der Mauerstein. Das bedeutet, dass dieser bei einer freien Verformung, ohne Verbund zum Mauerstein, eine größere Querverformung erfährt. Durch den Verbund im Mauerwerk wird die Verformung von Stein und Mörtel behindert und es entstehen in horizontaler Richtung Druckspannungen im Mauermörtel und Zugspannungen im Mauerstein. Die Druckfestigkeit von Mauerwerk verringert sich durch die im Mauerstein entstehenden Querkzugspannungen. In der Regel entstehen unter hoher vertikaler Belastung Risse in den Steinen infolge von Querkzugspannungen [9].

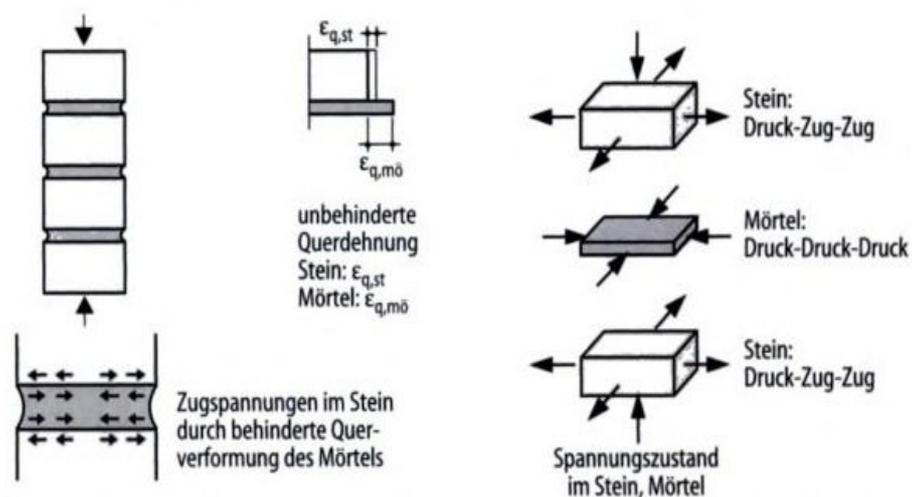


Abb. 2.4: Mauerwerk unter Druckbeanspruchung [9]

2.4.2 Zugfestigkeit von Mauerwerk

Mauerwerk kann auf zwei verschiedenen Weisen durch Zug beansprucht werden:

- a) **Zentrische Zugbeanspruchung:** Bei zentrischer Zugbeanspruchung kann man zwischen Zugspannungen σ_z senkrecht und parallel zur Lagerfuge unterscheiden. Zentrische Zugspannungen σ_z senkrecht zur Lagerfuge treten selten auf, z.B. durch Zwängungskräfte. Im Gegensatz dazu tritt eine zentrische Zugbeanspruchung parallel zur Lagerfuge öfters auf, etwa aufgrund der Behinderung von Querdehnungen, hervorgerufen durch Schwinden des Materials und durch Temperaturbelastungen. Hierbei unterscheidet man zwei Versagensarten: **Reißen der Steine** oder Lösen ungerissener Steine aus dem Verband, was durch das **Versagen der Lagerfugen** entsteht [1].

Versagen der Steine kann bei geringem Zugwiderstand und großer Reibung zwischen Stein und Mörtel, sowie großer Kohäsion des Mörtels und hoher Auflast durch Zugversagen der Steine auftreten [1].

Beim **Versagen der Lagerfuge** löst sich der Verband in Form eines zahnartigen Risses ohne Zerstörung der Steine dann auf, wenn die aufnehmbare Reibungskraft in den Lagerfugen überschritten wird. Diese Versagensart des Verbandes tritt meist bei geringer Auflast oder bei geringer Druckspannung σ_D , zugfesten Steinen, geringer Reibung und geringer Kohäsion des Mörtels auf. Hierbei hat das Überbindemaß eine wichtige Rolle, weil die Länge des Überbindemaßes, die auf eine Steinschicht entfallende Zugkraft über Schubspannungen τ in die nächsten Schichten übertragen muss (siehe Abb. 2.5) [1].

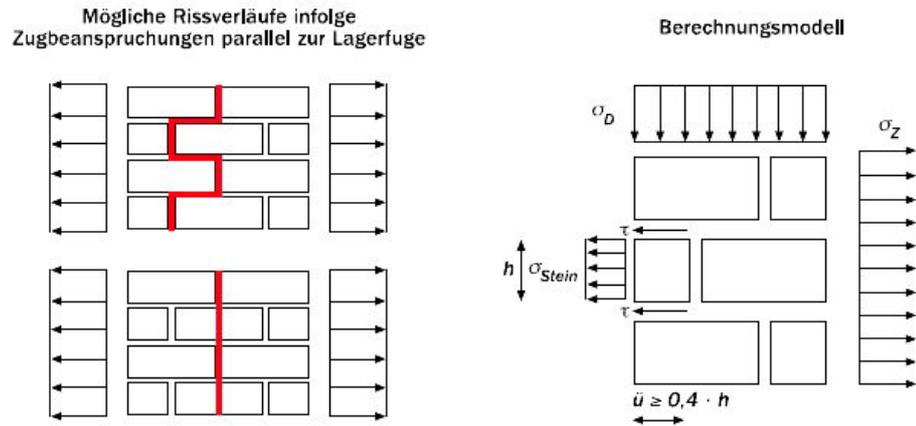


Abb. 2.5: Mögliche Versagensmechanismen von unbewehrtem Mauerwerk unter Zugbeanspruchung und zugehöriges Berechnungsmodell [10]

b) **Biegezugbeanspruchung:** Unter der Biegezugfestigkeit von Mauerwerk versteht man vorwiegend die einachsige Festigkeit parallel oder senkrecht zur Lagerfuge [12]. Mögliche Ursachen für solche Beanspruchungen können horizontale Lasten, wie z.B. Wind oder Erddruck sein.

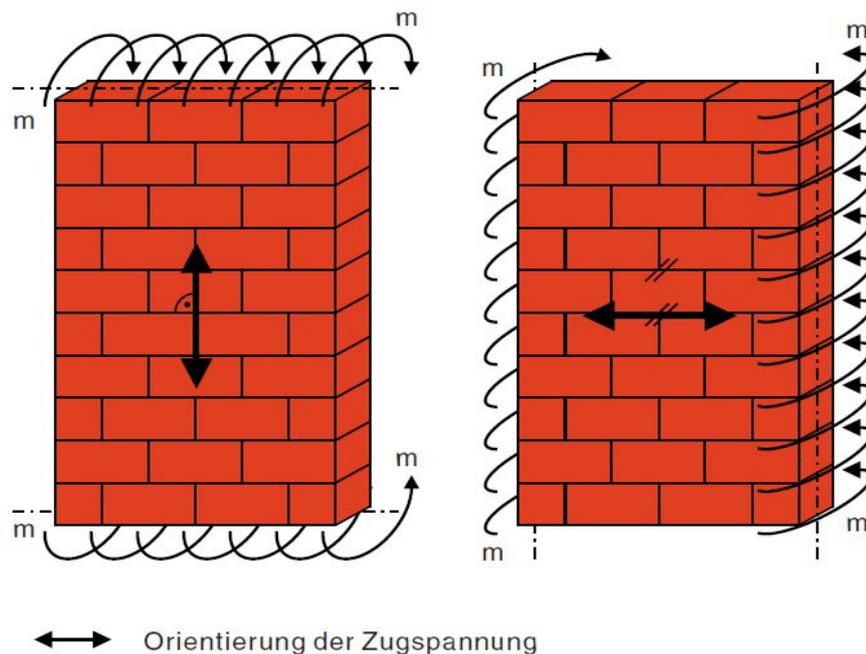


Abb. 2.6: Biegebeanspruchtes Mauerwerk [13]

Bei einer Biegebeanspruchung (siehe Abb. 2.6) senkrecht zu den Lagerfugen versagt im Normalfall die Lagerfuge. Dabei kann man in Abhängigkeit der Stein-Mörtelkombination ein Mörtelversagen oder ein Verbundversagen in der Kontaktebene Stein-Mörtel beobachten.

Grundsätzlich ist die Nutzung von Biegezugfestigkeit senkrecht zur Lagerfuge bei der Abtragung von Lasten umstritten und in internationalen Normen unterschiedlich geregelt [14].

Bei der Biegebeanspruchung parallel zu den Lagerfugen ist grundsätzlich zwischen zwei Versagensarten zu unterscheiden, das **Versagen der Steine** und das **Versagen des Verbandes** [14].

Steinversagen tritt im Normalfall bei einer hohen Verbundfestigkeit und geringen Mauersteinfestigkeiten auf [12]. Ein charakteristisches Merkmal für diese Versagensart ist die Entstehung von einem vertikalen Rissverlauf durch die Mauersteine und die Stoßfugen. Dabei ist die bedeutende Baustoffkenngröße die Mauerstein-(Biege)Zugfestigkeit [12].

Beim **Versagen des Verbandes**, das bei höherfesten Mauersteinen und Mörtel mit einer geringen Verbundfestigkeit auftritt, kann man im Regelfall einen treppenförmigen Rissverlauf durch die Stoß- und Lagerfugen beobachten. Maßgebend für diese Versagensart sind die Überlappung oder das Überbindemaß der einzelnen Steinlagen sowie die Verbundfestigkeit zwischen Mauermörtel und Mauerstein unter Scherbeanspruchung [12].

2.4.3 Schubfestigkeit von Mauerwerk

Durch horizontale Einwirkungen wie Erddruck, Wind und Erdbeben können Mauerwerkswände nicht nur in Wandebene auf Scheibenschub, sondern auch senkrecht zur Wandebene auf Plattenschub belastet werden. Besonders wichtig ist die Scheibenschubbeanspruchung bei aussteifenden Wänden. In der Praxis werden diese aussteifenden Wände gleichzeitig durch vertikale Kräfte infolge von Eigengewicht und Lasten aus oberen Geschossen beansprucht und es entstehen in den Mauerwerkswänden Schubspannungen τ und Druckspannungen σ . Die Schubfestigkeit dieser Mauerwerkswände ist von den gleichzeitig wirkenden Druckspannungen σ abhängig. In den 70er-Jahren wurden viele Untersuchungen zum Tragverhalten von Mauerwerken unter Schubbeanspruchungen durchgeführt. Dadurch entwickelten sich auch

einige Theorien und Bruchmodelle wie z.B. die Bruchbedingungen nach Mann/Müller [9].

Mann und Müller stellten eine Bruchtheorie für unbewehrtes Mauerwerk bei einer kombinierten Belastung aus Schubkraft und Normalkraft auf. Dabei betrachtet man ein Element, das aus einem horizontal und vertikal belasteten Mauerwerk besteht. Dabei wird davon ausgegangen, dass an diesem Element ein gleichmäßiger Schubspannungszustand τ mit konstanter Druckspannung σ vorliegt. Aus diesem Element betrachtet man wiederum einen Einzelstein (siehe Abb. 2.7). An diesem Mauerstein werden dann Gleichgewichtsbetrachtungen durchgeführt [9].

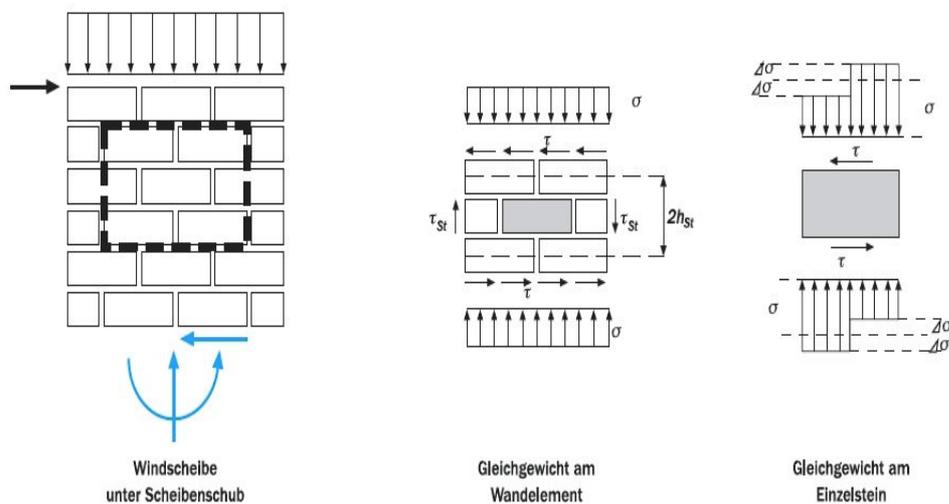


Abb. 2.7: Modell zur Berechnung der Schubfestigkeit unter Scheibenschubbeanspruchung nach Mann/Müller [10]

Weiters nehmen Mann/Müller bei ihrer Theorie an, dass in den Stoßfugen keine Schubkräfte aufgrund von Schwindverkürzungen des Mörtels oder mangelhafter Ausführung übertragen werden können. Das gilt auch bei den unvermörtelten Stoßfugen. Da bei den Stoßfugen eine fehlende Schubkraftübertragung vorausgesetzt wird, entsteht eine ungleichmäßige Normalspannungsverteilung $\Delta\sigma$ in den Lagerfugen. Damit kann ein Kräftegleichgewicht gegen Verdrehen des Mauersteins aufgestellt werden [9].

Fugenversagen: Dadurch, dass die Schubspannungen τ in der Lagerfuge, die sich aus der Haftscherfestigkeit und dem auflastabhängigen Reibungsanteil zusammensetzen, die übertragbare Scherfestigkeit im Bereich der geringer belasteten Steinhälfte überschreiten, kommt es zum Fugenversagen. Der

Versagensverlauf ist ein treppenförmiger Riss (siehe Abb. 2.8). Dieser Versagensfall wird meistens bei Mauersteinen mit hoher Zugfestigkeit beobachtet [9].

Steinversagen oder Steinzugversagen: In den Mauersteinen entstehen Hauptzugspannungen durch die gleichzeitige Schub- und Druckbelastung der Mauersteine. Die gleichzeitige Schub- und Druckbelastung führt zum Überschreiten der Mauersteinzugfestigkeit bei Mauersteinen mit geringerer Festigkeit. Steinversagen tritt häufig bei größerer vertikaler Auflast auf; dabei verlaufen die Risse in der Regel durch die Mauersteine, teilweise können sie auch in den Stoßfugen auftreten (siehe Abb. 2.8) [9].

Mauerwerkdruckversagen: Dieser Versagensfall kommt bei sehr hoher vertikaler Auflast vor, wodurch die Druckfestigkeit des Mauerwerks infolge schiefer Hauptdruckspannungen überschritten wird (siehe Abb. 2.8) [9].

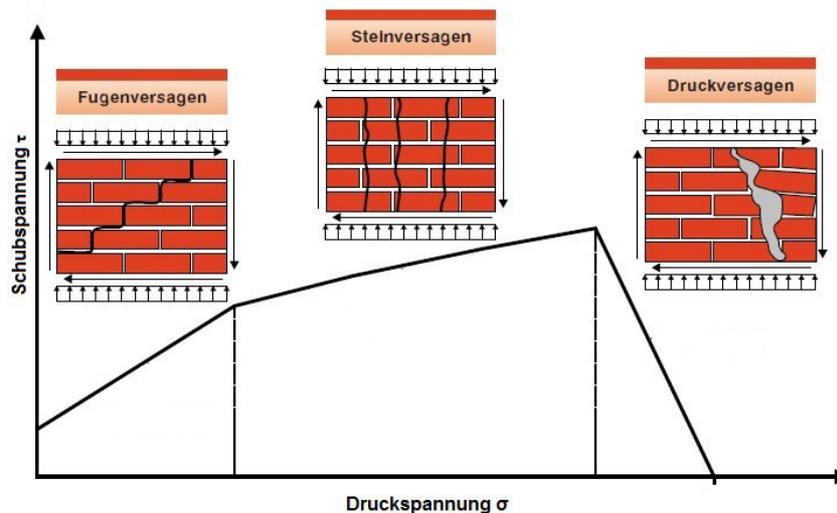


Abb. 2.8: Versagen Arten von Mauerwerk [13]

In der oberen Abb. 2.8 ist ein Diagramm dargestellt, welches als vertikale Achse die Schubspannung τ und als horizontale Achse die Druckspannung σ aufzeigt. In diesem Diagramm ist ein sogenannter Hüllkurvenzug zu erkennen. Liegt die Interaktion der ermittelten Spannungen im Mauerwerk unterhalb dieser Kurve, so ist keinerlei Versagen zu erwarten.

3 Experimenteller Teil

3.1 Allgemein

Der experimentelle Teil dieser Diplomarbeit befasst sich mit eigens ausgeführten Versuchen an Mauerwerkskörpern. Dabei wurden insgesamt 42 Versuche im Werkstoff-Labor des Hochbau Institutes der Technischen Universität Wien durchgeführt. Die Versuchskörper wurden von Herrn Almedin Mulamustafic im Labor des Hochbau Institutes mit fünf verschiedenen Mauermörteln hergestellt. Nach 28 Tagen Austrocknungszeit war das Material schließlich bereit für die Versuche.

Ziel dieser Versuche war es, herauszufinden, welchen Einfluss der Mauermörtel auf das Tragverhalten von Mauerwerken unter gleichzeitiger Wirkung von Vertikalkraft und Horizontalkraft hat. Der detaillierte Versuchsaufbau und die verwendeten Materialien und Messgeräte werden im folgenden Kapitel erklärt.

3.2 Baustoffe

3.2.1 Stein

Bei den Versuchen wurden nur Normalformatziegel verwendet (siehe Abb. 3.1). Diese Ziegeln wurden von der Firma Wienerberger bereitgestellt. In Tabelle 3.1 sind die Kennwerte des für die Versuchsanordnung verwendeten Ziegeln angeführt.

Tabelle 3.1: Ziegeldaten (Quelle: Firmenkatalog Wienerberger)

Abmessungen [cm]	12 x 25 x 6,5
Druckfestigkeit [N/mm ²]	35
Mörtelbedarf [l/m ²]	23
Gewicht [kg/Stk.]	3,0
Materialbedarf [Stk/m ²]	50

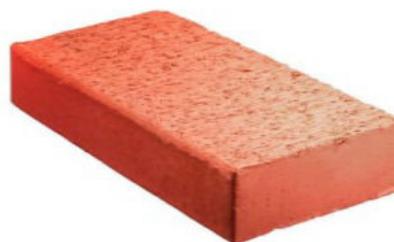


Abb. 3.1: Normalformatziegel

3.2.2 Mörtel

Es wurden insgesamt fünf Mauermörtelarten verwendet. Alle Mörtelarten wurden von Herrn Almedin Mulamustafic vor dem Vermauern im Labor in unterschiedlichen Kalk-Zement-Sand Verhältnissen gemischt. Der Kalkmörtel (Bezeichnung KM) hat sehr geringe Festigkeitswerte, weshalb der Versuchskörper mit Kalkmörtel auf der Prüfanlage gebaut wurde, um Risse beim Heben des Körpers zu vermeiden. Die Mörtelarten PM5 und PM10 (Bezeichnung PM = Premixed Mortar) sind industrielle Fertigmörtel mit der Handelsbezeichnung ProfiDur 50 bzw. ProfiDur 100.

Die Mörtelarten M5 und M10 sind selbstgemischte Mörtel, die im Labor gemischt wurden und höhere Festigkeitswerte besitzen.

In Tabelle 3.2 sind die Kalk-Zement-Sand Verhältnisse, die Biegezugfestigkeiten, sowie die Druckfestigkeiten nach der ÖNORM EN 1015-11 geprüft und dargestellt [15].

Tabelle 3.2: Verwendete Mörtel

Mörtelart	Volumsanteile			Biegezugfestigkeit	Druckfestigkeit
	Kalk	Zement	Sand	[N/mm ²]	[N/mm ²]
KM	1	0	4	0,90	0,48
PM5	industrieller Fertigmörtel			3,18	4,83
PM10	industrieller Fertigmörtel			5,72	10,44
M5	1	1	6	8,68	18,94
M10	0	1	4	11,95	29,78

3.3 Versuchskörper

Es wurden 42 Mauerwerkskörper von Herrn Almedin Mulamustafic im TU Hochbau Labor hergestellt. Mit den Mörtelarten PM5, PM10, M5 und M10 wurden je zehn und mit KM zwei Versuchskörper gebaut. Hier ist noch zu erwähnen, dass ein Versuchskörper der Versuchsreihe M10 durch ein technisches Versagen des Stahlrahmens der Prüfmaschine (siehe Kapitel 3.5)

nicht gewertet werden konnte. Die Abmessungen eines Versuchskörpers betragen 515 x 515 mm. Die Dicke liegt bei 120 mm, denn die Ziegelbreite beträgt 120 mm und die Versuchskörper wurden einlagig gemauert. Die Lagerfugen wurden vollflächig 10 mm stark und die Stoßfugen 15 mm stark ausgebildet. Nach 28 Tagen Trocknungszeit wurden die Versuche durchgeführt. Abb. 3.2 zeigt die Abmessungen der Versuchskörper.

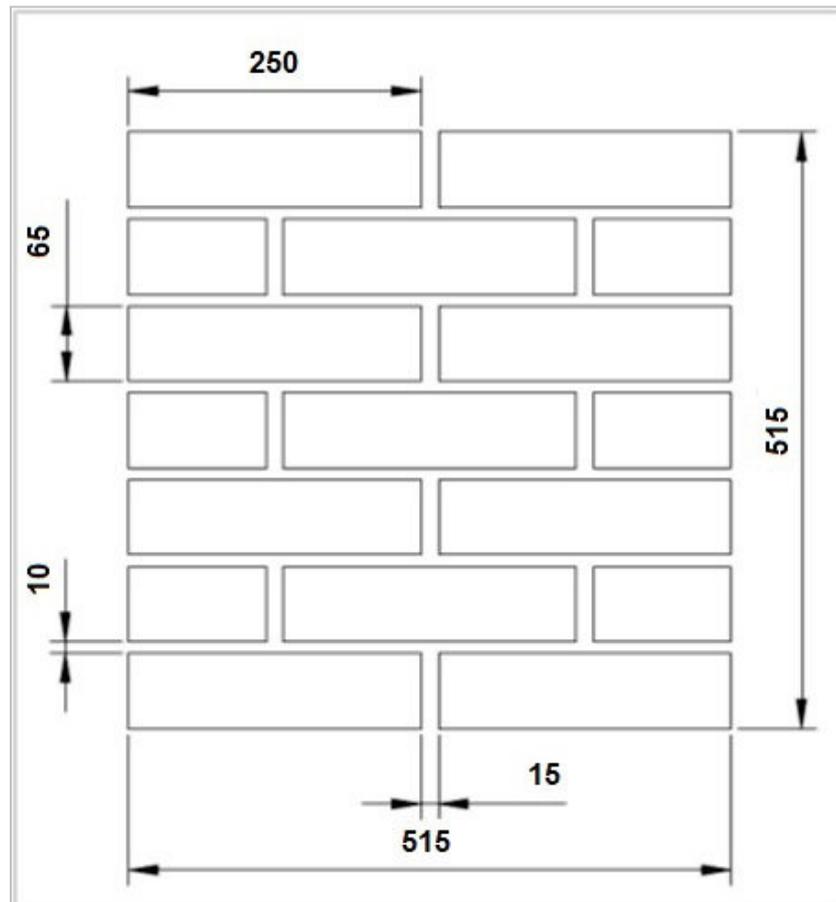


Abb. 3.2: Die Abmessung der Versuchskörper (Einheiten in [mm])

3.4 Versuchsdurchführung

3.4.1 Versuchseinrichtung

Die Versuchsanlage befindet sich im Institutslabor für Hochbau und Technologie der Technischen Universität Wien. In der folgenden Abbildung wird durch eine Skizze die gesamte Versuchsanlage dargestellt (siehe Abb. 3.3). Anschließend werden alle Teile der Versuchseinrichtung und ihre Funktionen erklärt.

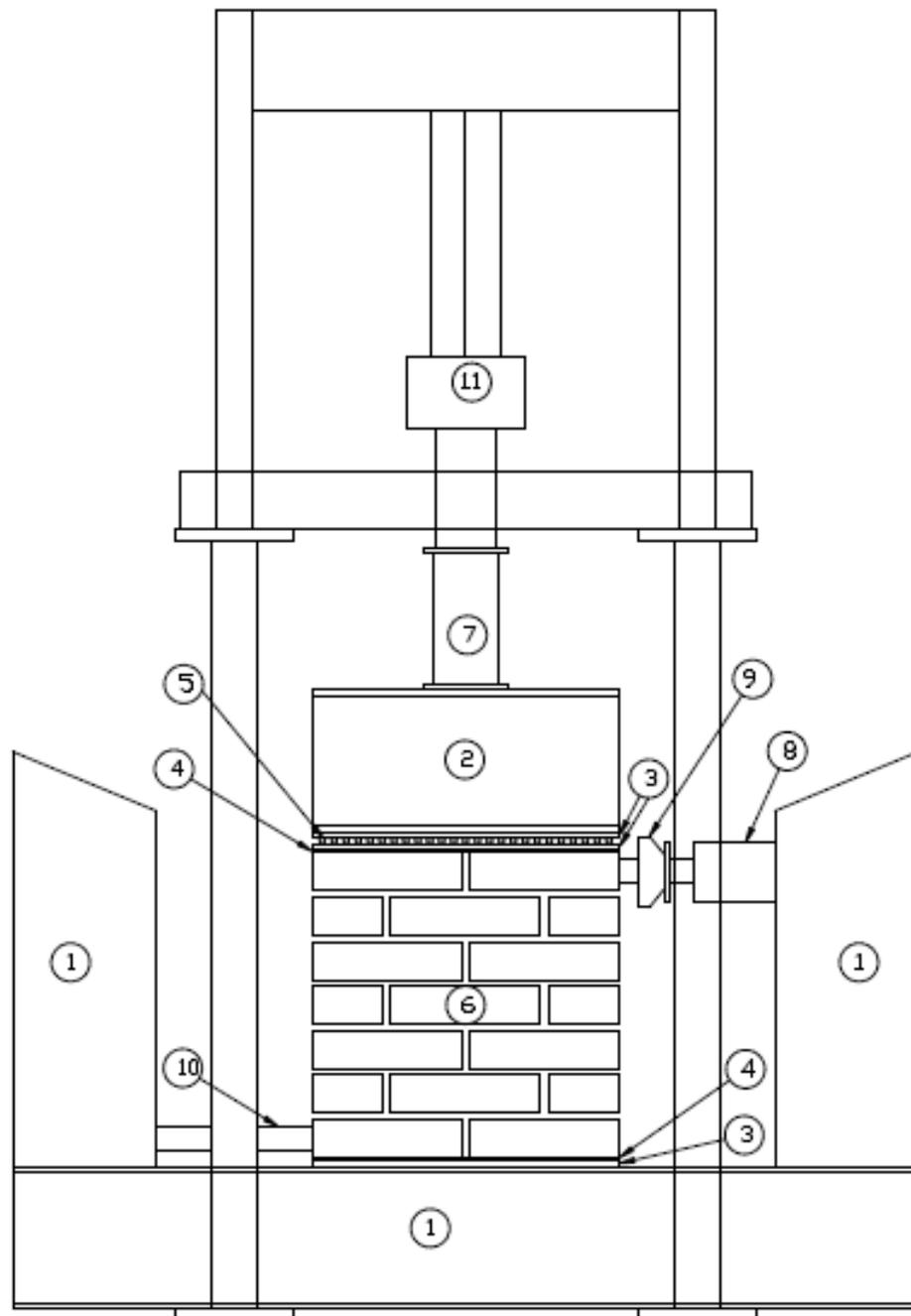


Abb. 3.3: Versuchsaufbau

- 1) Stahlrahmen:** Der Stahlrahmen Nummer 1 besitzt als Querschnitt ein IPE 240 Profil. Die Stiele und der Riegel sind miteinander kraftschlüssig verschweißt und bilden somit einen biegesteifen Rahmen, der Momente aufnehmen kann. Auf dem Riegel des Stahlrahmens liegt der gesamte Versuchskörper und hat die Aufgabe, die einwirkende Last zu verteilen.

Die Stiele der Stahlrahmen dienen hingegen als ein Stützlager für die hydraulische Presse, wo die horizontale Kraft auf die Versuchskörper eingeleitet wird (siehe Abb. 3.4).



Abb. 3.4: Stahlrahmen Profil IPE 240

- 2) **Stahlträger:** Stahlträger Nummer 3 ist ein IPE 240 Träger und hat die Aufgabe, die Druckkraft von der mechanischen Zug/- Druckprüfmaschine auf den Versuchskörper zu verteilen (siehe Abb. 3.5).



Abb. 3.5: Stahlträger Nummer 3

- 3) Stahlplatte:** Diese Stahlplatte hat die Abmessungen 120 x 515 mm und eine Dicke von 10 mm. Bei der Versuchsausführung werden drei dieser Stahlplatten verwendet. Eine davon liegt auf dem Stahlträger Nummer 1, worauf wiederum eine Kartonplatte mit denselben Grundrissabmessungen platziert ist. Auf dieser Kartonplatte befindet sich nun der Versuchskörper, worauf wiederum eine Kartonplatte positioniert ist. Die weiteren zwei Stahlplatten werden für die Rollenlager verwendet und liegen auf der oberen Kartonplatte. Abb. 3.3 zeigt die Positionen der Stahlplatten. Die Stahlplatten, wie in Abb. 3.6 dargestellt, haben die Funktion, die vertikale Last der mechanischen Zug- /Druckprüfmaschine auf die Versuchskörper zu verteilen.



Abb. 3.6:Stahlplatte

- 4) Kartonplatte:** Die Kartonplatte (siehe Abb. 3.7) hat die Abmessungen 515 x 120 mm und eine Dicke von 5 mm. Sie dient als Ausgleichschicht für die Unebenheiten zwischen den Stahlplatten und dem Versuchskörper und vermeidet gleichzeitig die Behinderung von Querdehnungen.

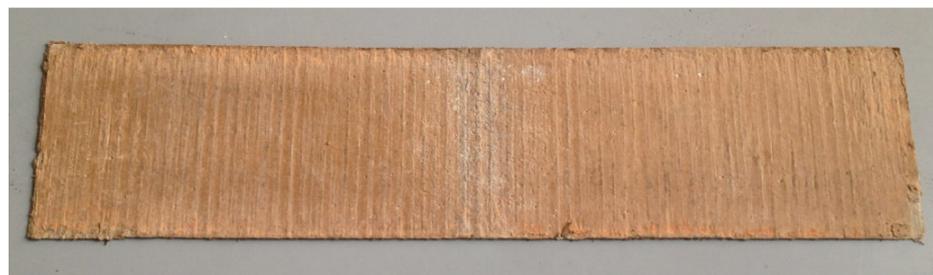


Abb. 3.7:Kartonplatte

- 5) Rollenlager:** Das Rollenlager besteht aus 23 Stahlrundstäben, die zwischen zwei Stahlplatten liegen. Zwischen jedem dieser Stahlrundstäbe befindet sich ein rechteckiges Holzstück, um so einen Abstand von ca. 5 mm zu gewährleisten (siehe Abb. 3.8). Durch das

Rollenlager wird die horizontale Verschiebung der Versuchskörper, die durch die einwirkende Horizontalkraft verursacht wird, ermöglicht.



Abb. 3.8: Rollenlager

- 6) **Versuchskörper:** (siehe Kapitel 3.3)
- 7) **Kraftmessdose:** Diese Kraftmessdose gehört zu der Typenreihe TCLP-20B der Firma *Tokyo Sokki Kenkyujo co. Ltd.* Sie nimmt die vertikale Drucklast auf und hat eine Nennlast von 200 kN (siehe Abb. 3.9).



Abb. 3.9: Kraftmessdose der Typenreihe TCLP-20B der Firma *Tokyo Sokki Kenkyujo co. Ltd*

- 8) **Hydraulische Presse:** Diese hydraulische Presse (siehe Abb. 3.10) ist von der Firma ENERPAC Model RCH302 und besitzt eine Handpumpe. Die maximale Kraft, die diese Presse erreichen kann, liegt bei 300 kN. Mit Hilfe dieser Presse wird die horizontale Last auf den Versuchskörper eingeleitet.



Abb. 3.10: Hydraulische Presse mit Pumpe

- 9) **Kraftmessdose:** Diese Kraftmessdose (siehe Abb. 3.11) gehört zu der Typenreihe U10M der Firma HBM. Sie nimmt die horizontale Kraft, die von der hydraulischen Presse eingeleitet wird, auf und hat eine Nennlast von 125 kN.

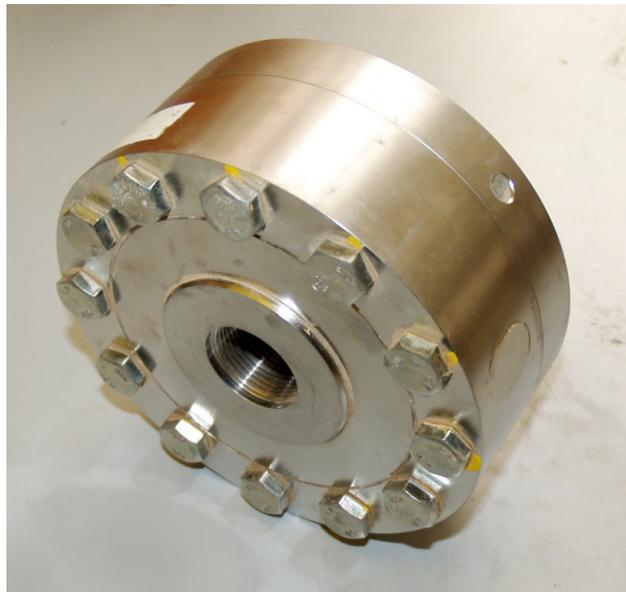


Abb. 3.11: Kraftmessdose der Typenreihe U10M der Firma HBM

- 10) **Gegenlager:** Das Gegenlager ist ein Stahlteil, welches die horizontal transversale Verschiebung der Versuchskörper verhindert. Diese verursacht durch die horizontale Kraft der hydraulischen Presse eine Drehung des Versuchskörpers, die durch den oberen Stahlträger verhindert wird und eine steigende Vertikalkraft verursacht.

11) Mechanische Zug-/ Druckprüfmaschine (siehe Abb. 3.12): Die mechanische Zug-/ Druckprüfmaschine der Firma Heid hat eine Nennlast von 250 kN. Die Maschine ist sehr steif und somit sehr gut geeignet für Streckengrenzuntersuchungen. Die Grundfläche des Gerätes beträgt 1600x1800 mm, die Höhe 3900 mm und sie hat ein Gesamtgewicht von sechs Tonnen. Diese mechanische Zug-/Druckprüfmaschine besitzt eine integrierte Kraftmessdose der Firma HBM mit einer Nennlast von 200 kN.

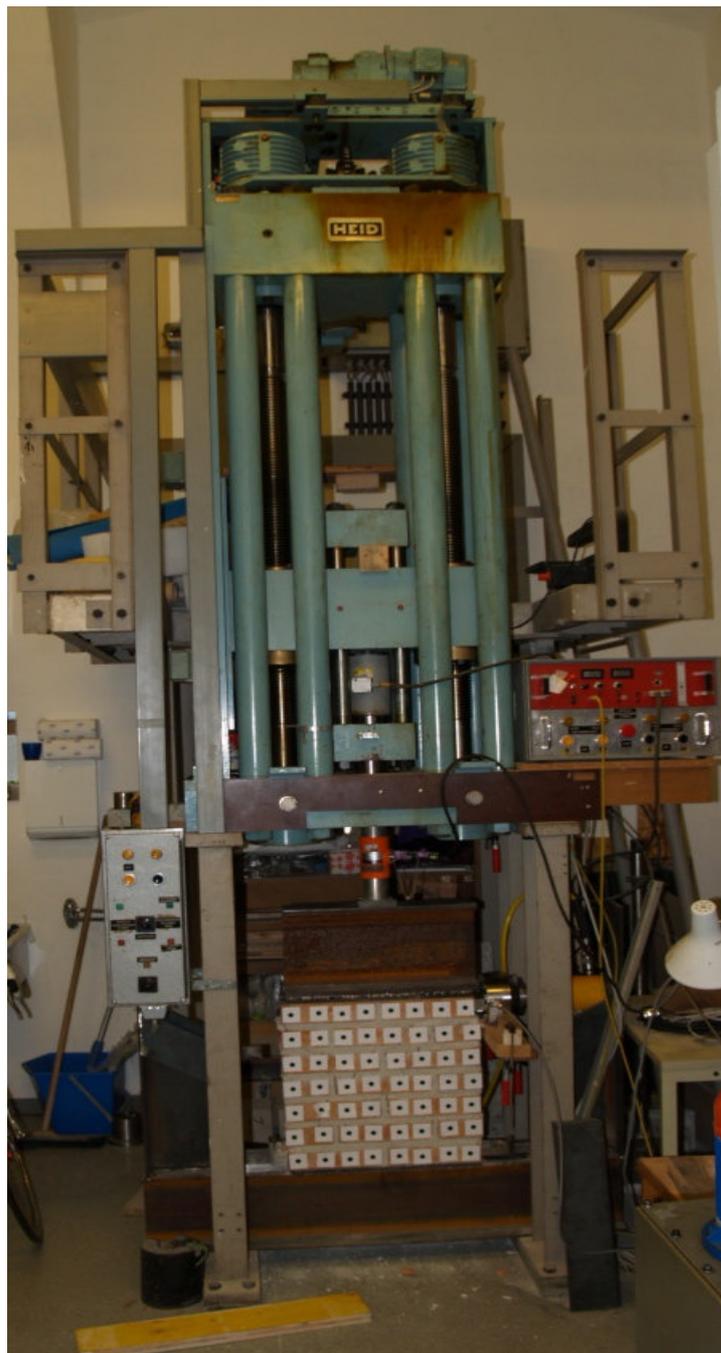


Abb. 3.12: Mechanische Zug-/ Druckprüfmaschine der Firma Heid

3.4.2 Messungen

Folgende Größen wurden gemessen:

Kräfte:

Auf der nächsten Abbildung ist die Positionierung der Kräfte anhand einer Skizze dargestellt (siehe Abb. 3.13, Abb. 3.14).

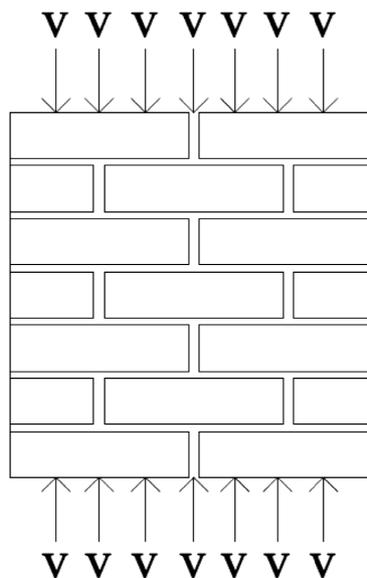


Abb. 3.13: Verteilung der Kräfte vor horizontaler Beanspruchung

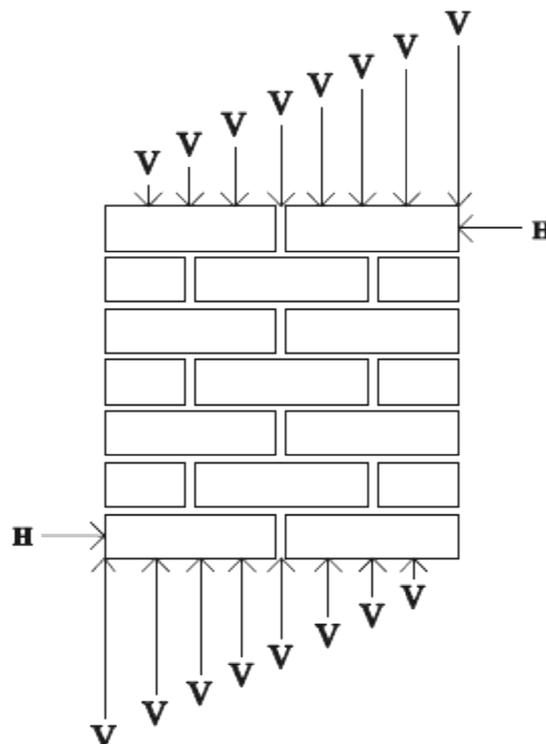


Abb. 3.14: Verteilung der Kräfte bei horizontaler Beanspruchung

Horizontale Kräfte: Die horizontale Kraft wurde durch die hydraulische Presse der Firma ENERPAC auf den Versuchskörper aufgebracht und mit der Kraftmessdose U10M der Firma HBM aufgenommen. Die Kraftmessdose U10M wurde an einen 8-kanaligen Universalmessverstärker des QuantumX-Datenerfassungssystems von HBM (siehe Abb. 3.15) angeschlossen und mit der Software QuantumX Assistent wurden die Daten verarbeitet und ausgewertet.



Abb. 3.15: : QuantumX MX840A [16]

Vertikale Kräfte: Vertikale Kräfte werden durch zwei Kraftmessdosen aufgenommen. Die Kraftmessdose der Typenreihe TCLP-20B der Firma *Tokyo Sokki Kenkyujo co. ltd.* wird dabei wieder an den 8-kanaligen Universalmessverstärker des QuantumX-Datenerfassungssystems von HBM angeschlossen und die Daten mit der Software QuantumX Assistent verarbeitet und ausgewertet. So wird die Relation zwischen horizontaler und vertikaler Kraft sichtbar. Weiters erfasst man die vertikale Kraft durch die integrierte Kraftmessdose der mechanischen Zug-/ Druckprüfmaschine der Firma HBM. Diese wird an ein Datenerfassungsnetzwerkssystem angeschlossen und mit der Software VideoEx verarbeitet und ausgewertet. Die Software VideoEx ist eine vom Hochbau Institut der Technischen Universität Wien selbst entwickelte Software, die von Frau Dipl.-Ing. Anna Celarek programmiert wurde. Weitere Details über die Software werden im nächsten Punkt erläutert.

Verschiebungen :

Auf die Versuchskörper wurden 56 schwarze Punkte aufgeklebt. Mit Hilfe eines Video-Extensometers wurden die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der aufgeklebten Punkte aufgenommen. Die Verteilung der Punkte kann man der unteren Abb. 3.16 entnehmen.

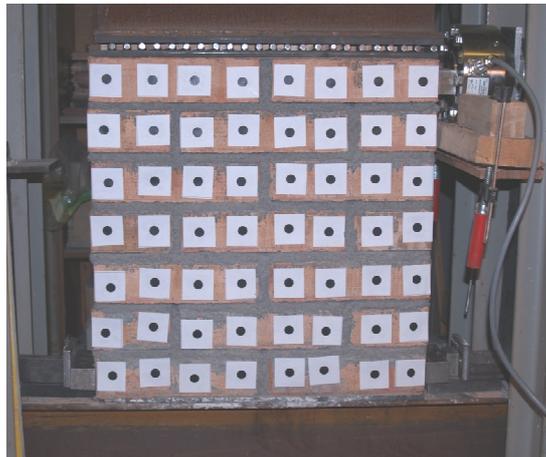


Abb. 3.16: Punkteverteilung der Versuchskörper

Die Punkte werden durch den Video-Extensometer, der am Computer angeschlossen ist, erkannt und mit Hilfe der Software VideoEX werden die Verschiebungen, die bei der Aufbringung der Belastung entstehen, aufgenommen. Durch die Software VideoEx erfasst man die Verschiebungen in Relation zu den vertikalen Kräften. Dabei speichert die Software die Messdaten und es wird ein Kraft-Verschiebung Diagramm eines jeden Punktes des Versuchskörpers erstellt. In unterer Abbildung ist das Funktionsschema eines Video-Extensometers anhand einer Skizze dargestellt (siehe Abb. 3.17).

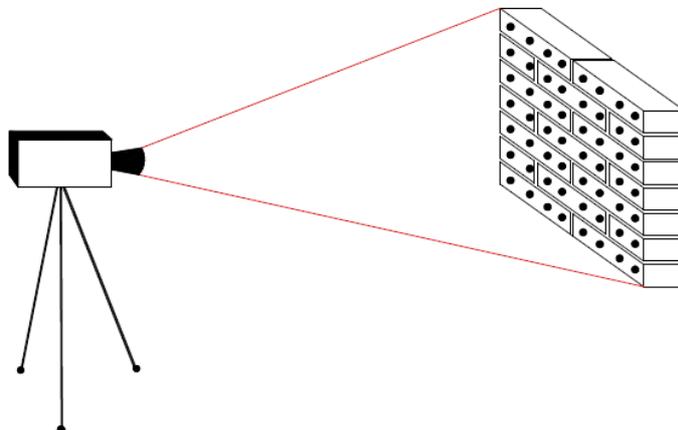


Abb. 3.17: Video-Extensiomometer

3.4.3 Versuchsablauf

Der Ablauf des Versuches erfolgt in acht Schritten:

- 1) Positionierung des Versuchskörpers und der Kraftmessdosen
- 2) Aufkleben der Messpunkte auf dem Versuchskörper
- 3) Vertikale Vorbelastung des Versuchskörpers auf 30 kN
- 4) Starten des Programms VideoEX
- 5) Langsame Belastung der rechten Seite mit der hydraulischen Presse der Firma Enerpac (dieser Vorgang erfolgt manuell mit der Pumpe)
- 6) Manuelle Steigerung der horizontalen Last bis zum Auftreten von Rissen im Mauerwerk und bis zur Vergrößerung der Rissweiten
- 7) Speichern der Messdaten von QuantumX und VideoEx
- 8) Fotografieren der Rissverläufe

Dieser Vorgang wird auf der linken Seite des Versuchskörpers wiederholt und schließlich noch einmal auf der rechten Seite. Somit ergeben sich drei Versuchsanordnungen. Dadurch wird eine Erdbebenbeanspruchung simuliert.

3.5 Probleme, die bei der Versuchsdurchführung aufgetreten sind

In diesem Abschnitt werden die Probleme und die Hindernisse, die bei der Versuchsdurchführung aufgetreten sind, dargestellt und erklärt.

Bei den Versuchsreihen PM5, PM10 und KM traten keine besonderen Probleme auf, jedoch versagte einmal die Software (Versuchsreihe PM10, Versuchskörper Nr. 2) abrupt und verhinderte so die Aufzeichnung von Versuchsergebnissen.

Bei Versuchsreihen M5 und M10 zeigten sich einige Probleme, vor allem in der dritten Versuchsanordnung. Da diese Versuchskörper zum Teil in der ersten und zweiten Versuchsanordnung zu Bruch gingen und ein Stabilitätsproblem aufwiesen, konnte man so keine gefahrlose Durchführung des Versuches gewährleisten. Bei Versuchsreihe M10 brach bei mehr als der Hälfte der Versuche der Versuchskörper unerwartet oder der erste Ziegel wurde durch die Einleitung der Kraft stark beschädigt, sodass man keine weiteren Versuche

mehr durchführen konnte. In der unteren Tabelle 3.3 sind die Versuche, bei denen solchen Probleme aufgetreten sind, zusammengefasst.

Tabelle 3.3: Die Versuche, bei denen Probleme aufgetreten sind

Versuchsreihe	Versuchskörper	Versuchsdurchführung	Art des Problems
M5	K1	1	Technisches Problem
M5	K2	3	Stabilitätsproblem
M5	K7	3	Technisches Problem
M10	K1	3	Versagen der Lasteinleitungsfläche
M10	K2	3	Versagen der Lasteinleitungsfläche
M10	K5	3	Versagen der Lasteinleitungsfläche
M10	K6	1 und 3	Technisches Problem
M10	K9	3	Versagen der Lasteinleitungsfläche

Ein weiteres Problem ergab sich mit dem Versagen des Stahlrahmens Nr.1 (siehe Abb. 3.18) bei der Versuchsdurchführung der Versuchsreihe M10. Hier versagte der Stahlträger und beulte im Steg aus, wodurch der Versuch ungültig wurde. In der unteren Abbildung ist das Versagen des Stegs dargestellt. Interessant war hierbei auch, dass bei diesem Versuchskörper kein Riss aufgetreten ist. Durch das Versagen des Stahlträgers mussten die Versuche bis zur Reparatur des Trägers eingestellt werden.



Abb. 3.18: Versagen der Träger durch Beulen

Die Reparatur erfolgte, indem man den Träger von der Prüfmaschine entfernte und den ausgebeulten Steg durch eine hydraulische Druckprüfmaschine zurechtbog (siehe Abb. 3.19).



Abb. 3.19: mechanische Druckprüfmaschine

Nachdem der Träger gerade gestellt wurde, schweißte man an jeder Ecke eine Steife zur Verhinderung eines erneuten Ausbeulens an. In der Abb. 3.20 sind diese angeschweißten Steifen dargestellt.



Abb. 3.20: Positionierung der Steifen

4 Versuchsauswertung

In diesem Kapitel werden die Daten, die durch die Programme QuantumX und VideoEx erhalten wurden, analysiert. Dabei wird versucht, die Werte von QuantumX mit denen des VideoEx zu verknüpfen, um am Ende zu einem einheitlichen und zusammenhängenden Ergebnis zu kommen. Weiters wird anhand der Diagramme das Tragverhalten der Versuchskörper dargestellt.

Das Programm QuantumX zeigt zu jedem Zeitpunkt die Größen der vertikalen und horizontalen Kraft auf. So erhält man ein Kraft-Zeit Diagramm (siehe Abb. 4.1).

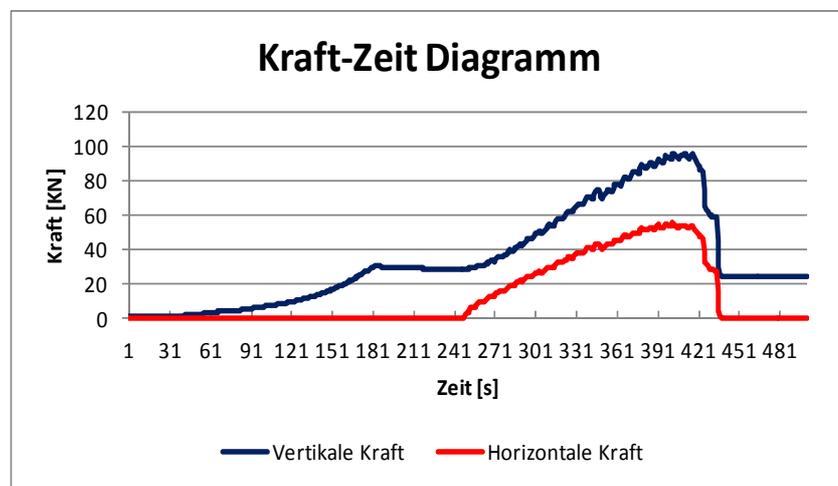


Abb. 4.1: Kraft-Zeit Diagramm erhalten durch das Programm QuantumX

Weitere Daten erhält man mit dem Programm VideoEx, durch das die Verschiebungen der auf dem Versuchskörper aufgeklebten Punkte in Relation zur vertikalen Kraft gemessen werden. Dadurch bekommt man ein Kraft-Verschiebung Diagramm von jedem einzelnen Punkt (siehe Abb. 4.2).

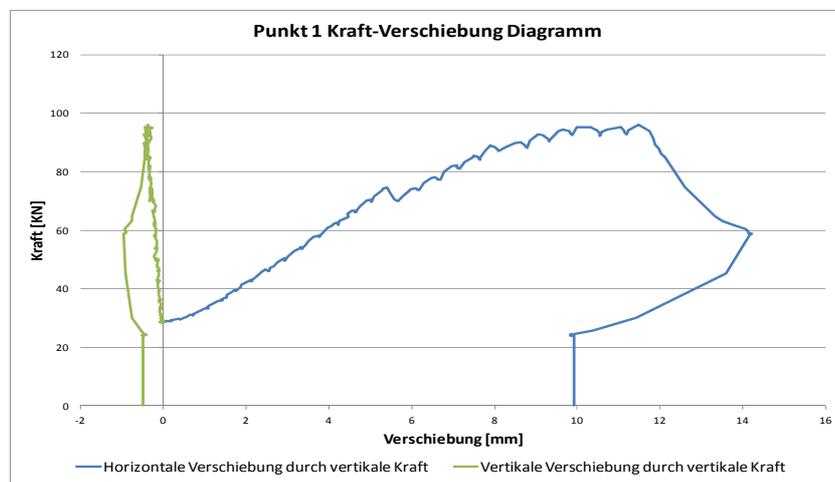


Abb. 4.2: Kraft-Verschiebung Diagramm für vertikale Kraft

Weiters ist es wichtig, die Verschiebungen in Relation zur horizontalen Kraft zu untersuchen. Durch die Synchronisierung der vertikalen Last von VideoEX mit der vertikalen Last von QuantumX erhält man ein Kraft-Verschiebung Diagramm, das in Beziehung zur horizontalen Kraft steht (siehe Abb. 4.3).

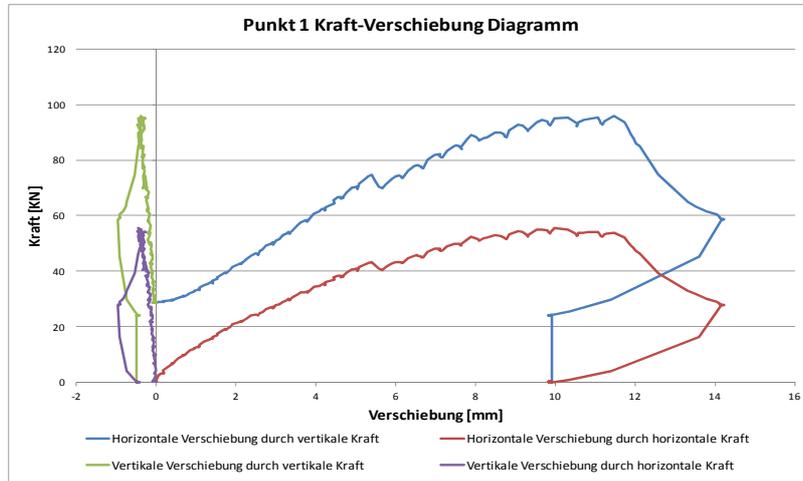


Abb. 4.3: Kraft-Verschiebung Diagramm für vertikale und horizontale Kraft

Bei der Versuchsauswertung werden die Kraft-Verschiebung Diagramme für alle Punkte erstellt. Die Anordnung dieser Punkte kann man der unteren Abb. 4.4 entnehmen. Die Lageänderungen dieser Punkte werden für ein nicht-lineares Berechnungsverfahren verwendet und sind nicht Thema dieser Diplomarbeit. Außerdem ist anzumerken, dass der Punkt 49 der Referenzpunkt und der Ursprungspunkt des Koordinatensystems ist.

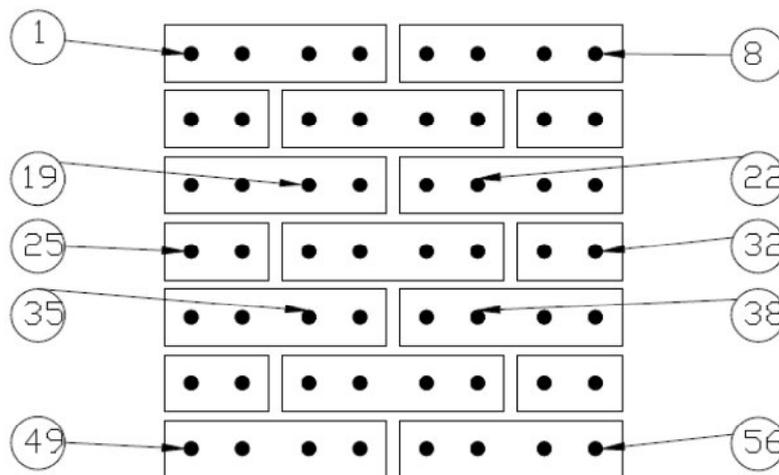


Abb. 4.4: Die Anordnung der Messpunkte

Im Anhang A sieht man diese Kraft-Verschiebung Diagramme für den Punkt mit der maximalen horizontalen Verschiebung. Außerdem gibt es ein Kraft-Zeit Diagramm für alle drei Versuchsanordnungen, dargestellt durch das Programm QantumX, sowie Fotos der Versuchskörper nach der Versuchsdurchführung. Auf den Fotos der Versuche werden die Rissverläufe mit unterschiedlichen Farbstiften nachgezogen, um die Risse besser sichtbar zu machen. Die rot markierten Risse entstanden beim ersten Versuch, die blau markierten Risse traten beim zweiten Versuch auf und die Risse, die grün nachgezeichnet wurden, ergaben sich beim dritten Versuch. Am Ende werden die auf den Fotos abgebildeten Rissverläufe miteinander verglichen und eine kurze Beschreibung für das Versagen der Versuchskörper während des Versuchsablaufes gegeben. Weiters gibt es eine Tabelle mit den Extremwerten der Versuche. Alle Ergebnisse der einzelnen Versuche sind im Anhang A angeführt.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Allgemein

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse, die von den fünf Versuchsreihen ermittelt wurden, zusammengefasst und interpretiert. Insgesamt wurden 42 Versuche an Mauerwerkskörpern durchgeführt. Die Interpretation der Versuchsergebnisse erfolgt in zwei Teilen. Im ersten Teil werden alle Ergebnisse der einzelnen Versuchsreihen zusammengefasst und miteinander verglichen. Im zweiten Teil, der Interpretation, werden die Ergebnisse der fünf Versuchsreihen ebenfalls miteinander verglichen. Somit sollen Aussagen über das Tragverhalten von Mauerwerken mit unterschiedlichen Mörtelarten und eine Beschreibung der Eigenschaften dieser verwendeten Mörtelarten gemacht werden können.

5.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der fünf Versuchsreihen

Hier werden alle fünf Versuchsreihen einzeln untersucht und zusammengefasst, wobei für jede Versuchsreihe zwei Versuchskörper ausgewählt werden. Einer der Versuchskörper repräsentiert das charakteristische Rissbild der Versuchsreihen, der andere hingegen das charakteristische Kraft-Verschiebung Diagramm. Es ist hierbei zu erwähnen, dass der Versuchskörper mit dem charakteristischen Kraft-Verschiebung Diagramm nicht unbedingt mit dem Versuchskörper des charakteristischen Rissbild ident sein muss. Im nächsten Absatz wird der Auswahlvorgang der Versuchskörper beschrieben.

Für die Wahl der Versuchskörper wird zunächst ein Vergleich zu den auftretenden Horizontalkräften der einzelnen Versuche der Versuchsreihen gemacht und betrachtet, welcher der Werte dem Mittelwert am nächsten kommt. Der Versuchskörper mit der ähnlichsten Horizontalkraft zum Mittelwert, ausgehend von allen drei Versuchsdurchführungen, wird dementsprechend ausgewählt. Anschließend wird das gleiche Verfahren mit den restlichen vier Versuchsreihen durchgeführt und somit für jede Versuchsreihe der maßgebende Versuchskörper bestimmt. In der folgenden Tabelle 5.1 werden die ausgewählten Versuchskörper gezeigt.

Tabelle 5.1: Die gewählten Versuchskörper

Mörtelart	Mittelwert der Horizontalen Kräfte [KN]			Versuchskörper
	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	
PM10	56,45	44,54	28,29	K10
PM5	46,66	41,03	27,02	K6
M5	76,51	55,72	24,92	K10
M10	85,09	54,81	23,17	K4
KM	16,58	15,12	13,37	K1

Weiters werden die Maximalwerte der einzelnen Versuchskörper, die man bei den Versuchen erhalten hat (siehe Anhang A) zusammengefasst, um so eine Übersicht über die ganze Versuchsreihe zu bekommen.

Außerdem ist die Verschiebung vor der Entstehung des Risses von Bedeutung, da sich die Steifigkeit und das Elastizitätsmodul des Körpers zu diesem Zeitpunkt noch nicht verändert hat. Nach der Rissbildung hingegen sieht man sofort, dass die Steigung der Kurve geringer ist als vorher, was einen Steifigkeitsverlust andeutet. Deshalb wird eine Tabelle für jede Versuchsreihe, die als Daten die horizontale Verschiebung bei der Entstehung des ersten Risses beinhaltet, dargestellt.

Abschließend wird eine kurze Beschreibung der Eigenschaften der Versuchskörper gegeben.

5.2.1 Versuchsreihe mit Mörtel PM10

Bei dieser Versuchsreihe kam es sehr oft zu einem Stoßfugenversagen und bei manchen Versuchskörpern gab es auch ein Steinversagen. Um ein charakteristisches Rissbild zu erhalten, wurden alle Rissbilder miteinander verglichen und das meist vorkommende Rissbild ausgewählt. In der folgenden Abb. 5.1 wird Versuchskörper Nr. 1 der Versuchsreihe mit dem Mörtel PM10 gezeigt.

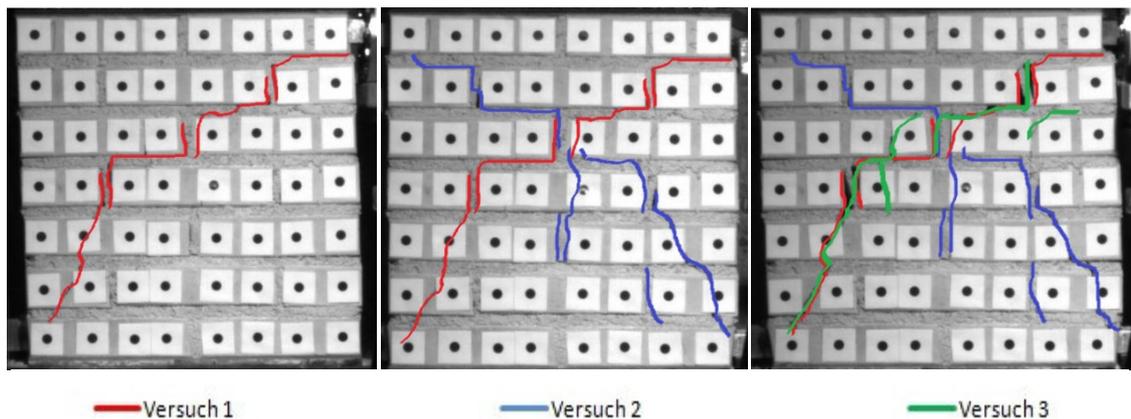


Abb. 5.1: : Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart PM10

Von zehn Versuchen hatten sechs bei dieser Versuchsreihe beim ersten Versuchsdurchgang als charakteristisches Rissbild einen treppenförmigen Verlauf bis zur ca. vierten Reihe (von oben gesehen) und dann einen steilen Verlauf bis zum Endlager. Im zweiten Versuchsdurchgang wiesen sieben Versuche dieses Rissbild auf. Und beim dritten Versuchsdurchgang ergaben sich nur vier Versuche, die einen ähnlichen Rissverlauf zueinander hatten. Hier vergrößerten sich die Rissweiten der Rissverläufe, die im ersten Versuchsdurchgang entstanden. Es ist deutlich sichtbar, dass die Fugen bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) versagten und erst danach, nämlich ab der vierten Reihe, versagten die Steine.

Wie in Kapitel 5.2 erläutert wurde, werden für jede Versuchsreihe die Kraft-Verschiebung Diagramme der ausgewählten Versuchskörper dargestellt. Hierbei wurde der Versuchskörper Nr. 10 mit einer maximalen Horizontallast von 61,44 kN beim ersten, 48,17 kN beim zweiten und 34,5 kN beim dritten Versuchsdurchgang ausgewählt (siehe Abb. 5.2).

- **Versuchskörper Nr. 10**

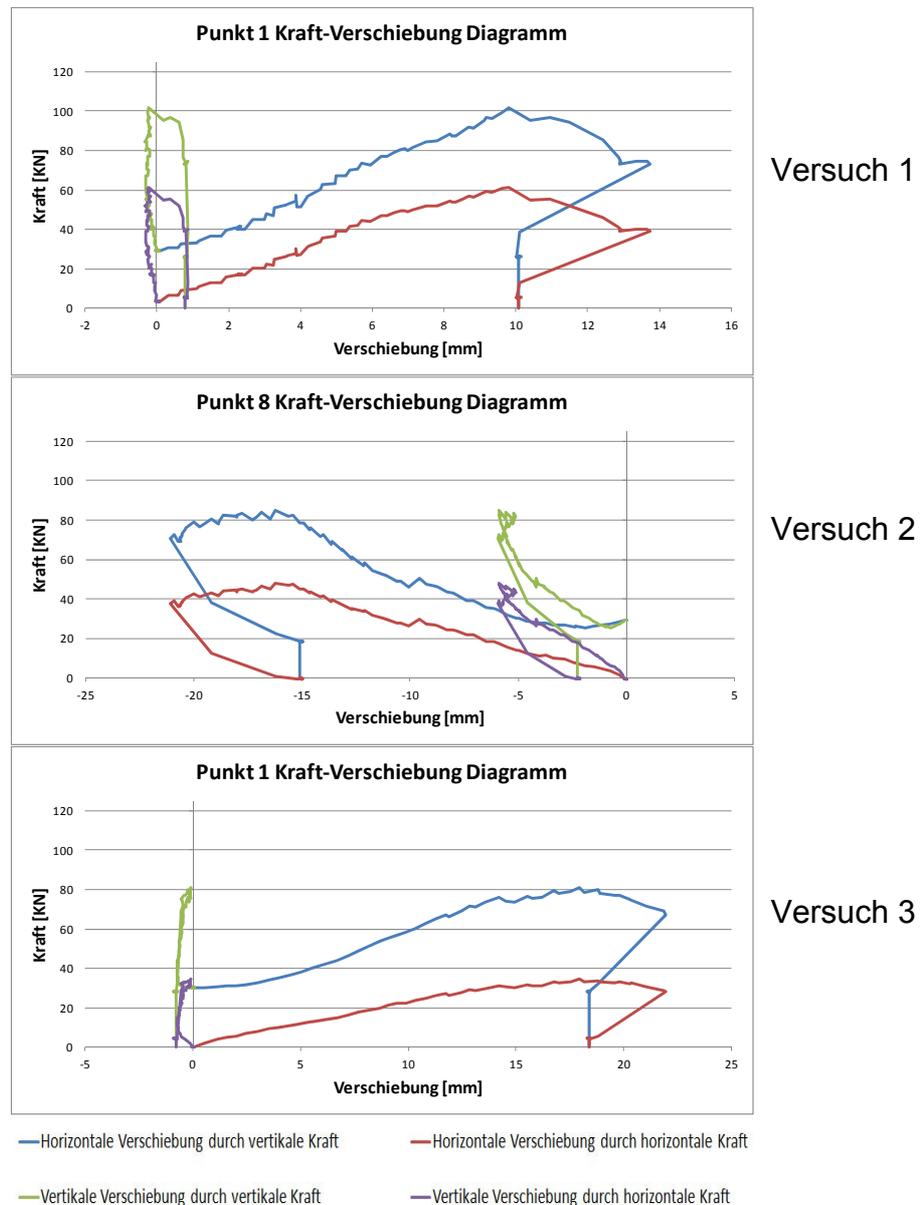


Abb. 5.2 Kraft-Verschiebung Diagramm

Der Mörtel bei diesen Versuchsreihen hat eine Biegezugfestigkeit von $5,72 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ und eine Druckfestigkeit von $10,44 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Wie man auf der Abb. 5.2 sehen kann, kam es bei keinem der drei Versuchsdurchgänge zu einem abrupten Versagen. Das bedeutet, dass diese Mörtelart ein duktileres Verhalten beim Versagen besitzt und bei den Versuchen zunächst Makrorisse entstanden, die sich durch weitere Belastung vergrößerten.

In den unteren Tabellen und Abbildungen sind alle maximalen Kräfte der Versuchsreihe PM10 in jedem Versuchsdurchgang dargestellt. Hier wird das arithmetische Mittel jeder Versuchsreihe berechnet. Dadurch kann man jede

Maximalkraft der Versuchskörper miteinander vergleichen (siehe Abb. 5.3, Abb. 5.4, Abb. 5.5, Tabelle 5.2, Tabelle 5.3, Tabelle 5.4).

1) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.2: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart PM10

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	95,9	55,6
K2	99,42	57,23
K3	78,77	47,99
K4	80,09	49,37
K5	87,58	54,09
K6	102,22	60,67
K7	102,55	59,37
K8	105,41	50,31
K9	124,23	68,4
K10	101,41	61,44
Mittelwert	97,77	56,45

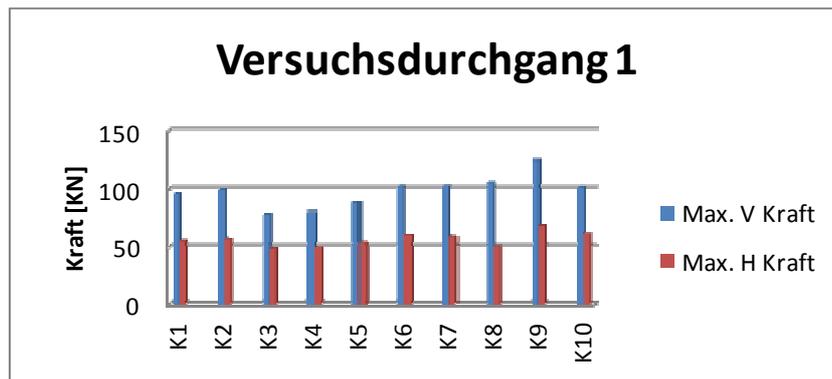


Abb. 5.3: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

2) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.3: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart PM10

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	71,51	40,74
K2	85,22	62,7
K3	65,29	41,01
K4	71,85	42,08
K5	66,53	43,98
K6	56,98	34,59
K7	89,39	50,9
K8	78,44	42,85
K9	62,44	38,34
K10	84,75	48,17
Mittelwert	73,24	44,54

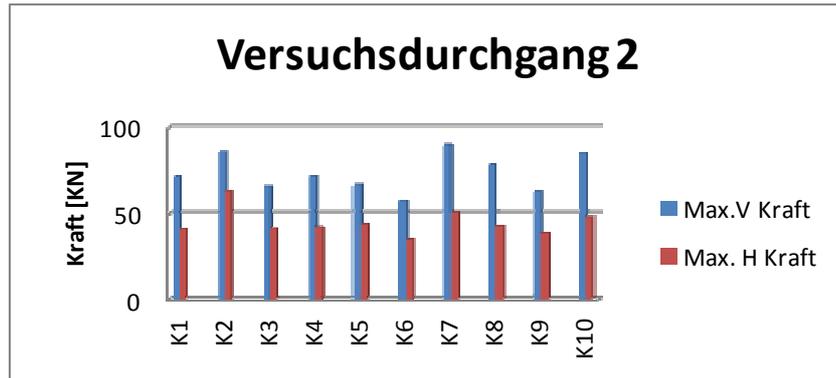


Abb. 5.4: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

3) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.4: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart PM10

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	40,59	16,36
K2	59,28	35,43
K3	40,59	16,36
K4	48,58	21,85
K5	57,23	25,69
K6	58,79	20,63
K7	78,04	37,99
K8	60,92	29,63
K9	88,32	44,47
K10	80,98	34,5
Mittelwert	61,32	28,29

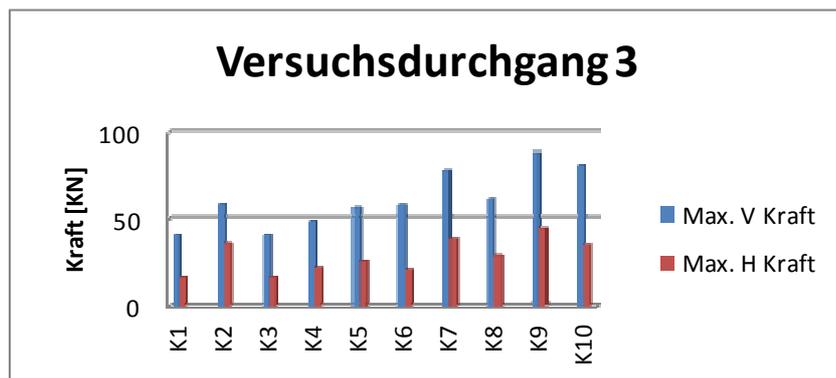


Abb. 5.5: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

In den oberen Tabellen und Diagrammen ist besonders deutlich zu sehen, dass bei maximaler horizontaler Kraft die gemessenen Werte nur sehr geringe Schwankungen aufweisen.

In der unteren Tabelle 5.5 sieht man die horizontale Verschiebung bei der Entstehung des ersten Risses. Diese Werte entnimmt man aus den Kraft-Verschiebung Diagrammen.

Tabelle 5.5: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss

Versuchskörper	Versuchsdurchführung 1		Versuchsdurchführung 2		Versuchsdurchführung 3	
	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]
K1	9,99	55,60	-13,77	44,74	9,53	16,36
K2	2,66	14,48	--	--	8,73	35,43
K3	1,76	16,14	-10,99	41,01	6,63	16,14
K4	4,40	49,37	-6,92	38,71	8,25	21,85
K5	5,51	54,09	-11,25	43,98	5,02	18,63
K6	7,17	49,87	-10,73	34,59	12,88	18,46
K7	5,91	59,37	-6,26	32,92	7,30	29,15
K8	5,29	54,93	-7,17	34,07	12,12	27,91
K9	7,45	64,38	-10,72	38,34	14,64	44,47
K10	9,80	61,44	-16,24	48,17	21,87	47,30

In der oberen Tabelle 5.5 wird deutlich, dass es bei der ersten Versuchsdurchführung geringere Abweichungen gibt. Dies bedeutet, dass alle Versuchskörper fast den gleichen Elastizitätsmodul aufweisen. Bei der zweiten Versuchsdurchführung sieht man hingegen, dass es große Abweichungen gibt. Dies besagt wiederum, dass die Versuchskörper nach der Rissbildung sich unterschiedlich verhalten und vom Steifigkeitsverlust des ersten Versuchsdurchgangs abhängig sind. Beim dritten Versuchsdurchgang sieht man wieder geringe Abweichungen, da bei allen Versuchskörpern die Steifigkeit sehr gering ist.

5.2.2 Versuchsreihe mit Mörtel PM 5

Hier kam es wie bei Versuchsreihe PM10 wieder sehr oft zu einem Fugenversagen, meistens zu einem Stoßfugenversagen, jedoch selten zu einem Steinversagen. Bei dieser Versuchsreihe wurde als charakteristisches Rissbild der Versuchskörper Nr. 5 gewählt (siehe Abb. 5.6).

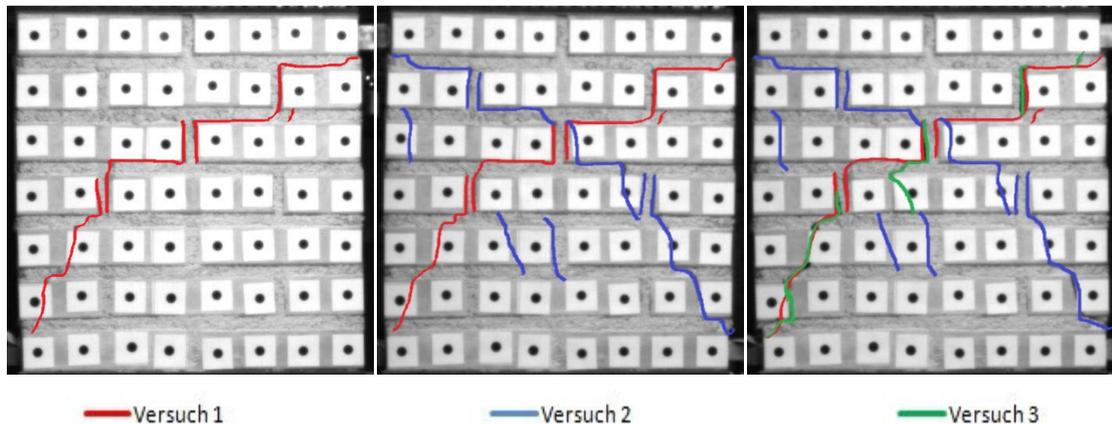


Abb. 5.6: Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart PM5

Von zehn Versuchen hatten neun bei dieser Versuchsreihe im ersten Versuchsdurchgang als charakteristisches Rissbild einen treppenförmigen Verlauf bis zur ca. vierten Reihe (von oben gesehen) und dann einen steilen Verlauf bis zum Endlager (siehe Abb. 5.6.). Im zweiten Versuchsdurchgang wiesen sieben Versuche dieses Rissbild auf. Und beim dritten Versuchsdurchgang ergaben sich wieder sieben Versuche, die einen ähnlichen Rissverlauf zueinander hatten. Hier vergrößerten sich die Rissweiten der Rissverläufe, die im ersten Versuchsdurchgang entstanden. Es ist auch wieder deutlich sichtbar, dass die Fugen bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) versagten und erst danach, nämlich ab der vierten Reihe, die Steine versagten. Das Rissbild hat eine X Form. Hier muss man noch erwähnen, dass das charakteristische Rissbild der Versuchsreihen PM 5 und PM10 fast identisch ist.

Bei dieser Versuchsreihe wurde der Versuchskörper Nr. 6 mit einer maximalen Horizontallast von 52,92 kN beim ersten, 43,79 kN beim zweiten und 26,13 kN beim dritten Versuchsdurchgang für die Darstellung der Kraft-Verschiebung Diagramm ausgewählt (siehe Abb. 5.7).

- **Versuchskörper Nr.6**

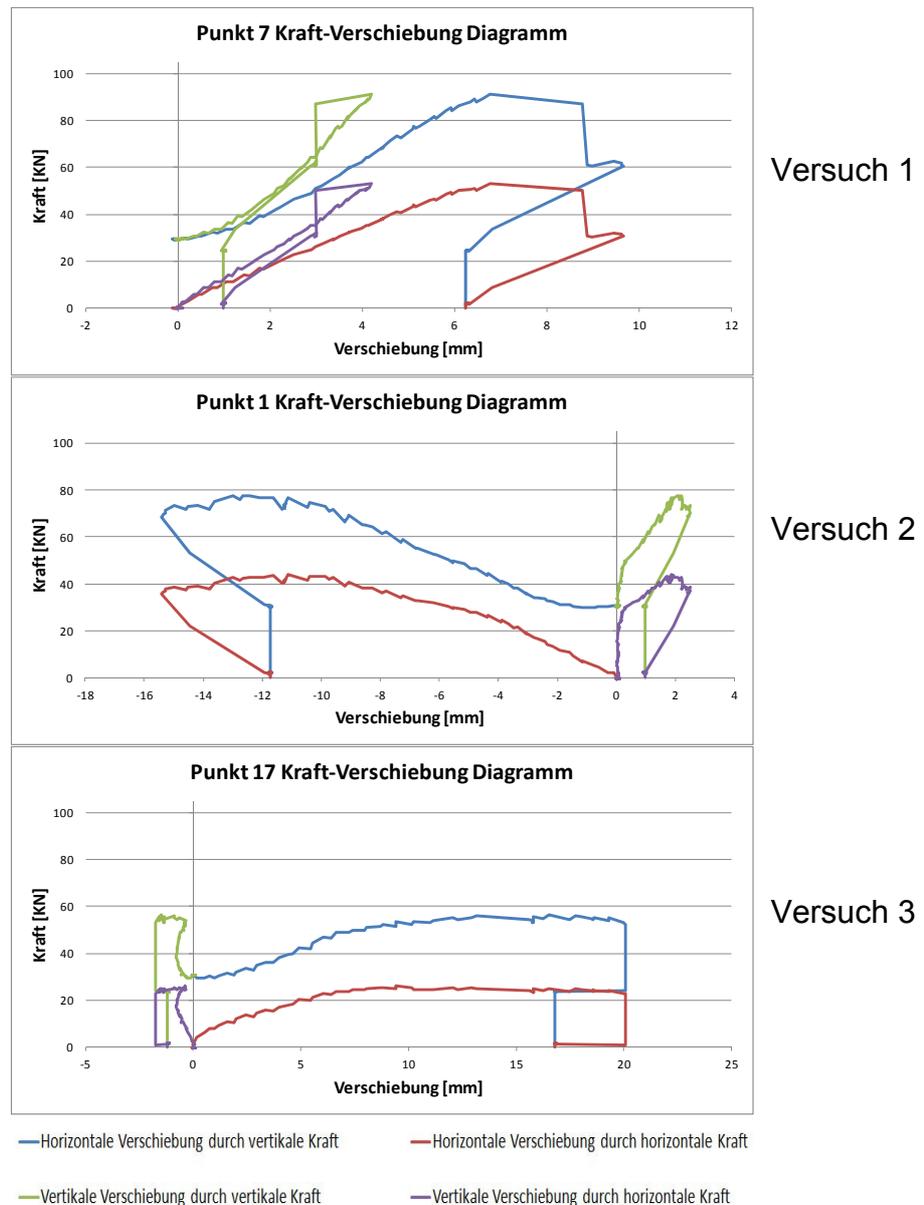


Abb. 5.7 Kraft-Verschiebung Diagramm

Der Mörtel bei dieser Versuchsreihe hat geringere Festigkeitswerte als der aus der Versuchsreihe mit Mörtel PM10. Der Mörtel PM5 hat eine Biegezugfestigkeit von $3,18 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ und eine Druckfestigkeit von $4,83 \text{ [N/mm}^2\text{]}$.

Auch bei Mörtel PM5 ist ein duktiler Verhalten beim Versagen zu beobachten. Dies bedeutet, dass es bei der Versuchsdurchführung zu keinem abrupten Versagen kam.

Des Weiteren wird das arithmetische Mittel für die maximalen Kräfte, die man durch die Versuche erhalten hat, berechnet. Die dazugehörigen

Diagramme und Tabellen der Versuche werden im Folgenden dargestellt (siehe Abb. 5.8, Abb. 5.9, Abb. 5.10, Tabelle 5.6, Tabelle 5.7, Tabelle 5.8).

1) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.6: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart PM5

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	60	31,76
K2	65,32	45,12
K3	77,66	43,5
K4	64,65	36,74
K5	80,36	48,65
K6	91,18	52,92
K7	71,72	45,47
K8	86,32	54,3
K9	92,11	60,26
K10	82,64	47,9
Mittelwert	77,19	46,66

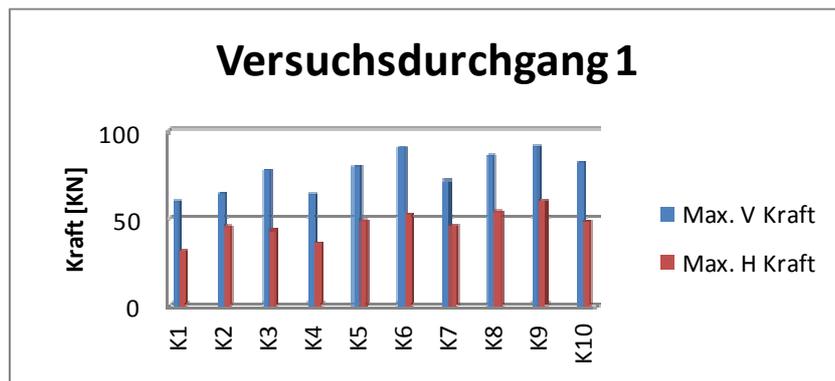


Abb. 5.8: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

2) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.7: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart PM5

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	54,87	34,5
K2	56,88	37,73
K3	68,57	37,85
K4	57,76	33,54
K5	75,75	47,96
K6	77,59	43,79
K7	65,14	31,28
K8	90,00	49,45
K9	92,29	45,96
K10	81,33	48,19
Mittelwert	72,02	41,03

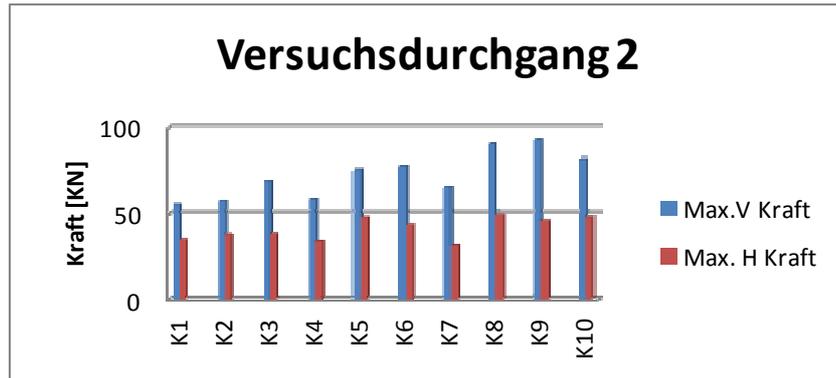


Abb. 5.9: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

3) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.8: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart PM5

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft[kN]
K1	56,53	24,06
K2	44,14	24,51
K3	68,66	32,23
K4	75,25	31,42
K5	40,78	19,93
K6	56,39	26,13
K7	44,18	22,06
K8	35,45	17,95
K9	46,75	21,48
K10	102,76	50,47
Mittelwert	57,09	27,02

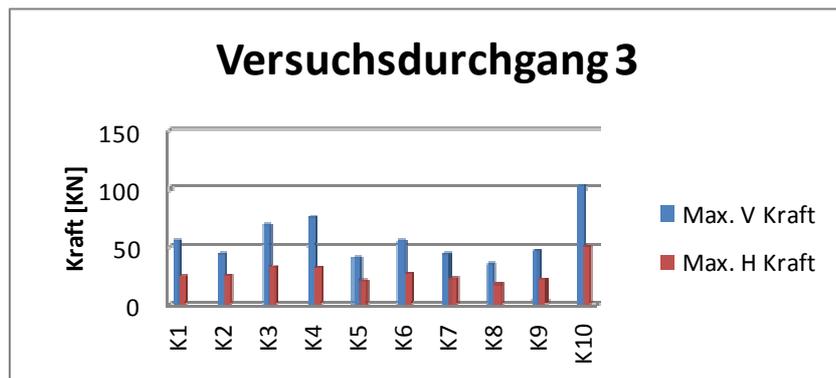


Abb. 5.10: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

Wie auf den oben dargestellten Diagrammen gut sichtbar ist, sind die Schwankungen der Horizontal- und Vertikalkräfte bei der Versuchsanordnungen sehr gering.

In der unteren Tabelle 5.9 sieht man die horizontale Verschiebung bei der Entstehung des ersten Risses.

Tabelle 5.9: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss

Versuchskörper	Versuchsdurchführung 1		Versuchsdurchführung 2		Versuchsdurchführung 3	
	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]
K1	4,89	27,2	-12,44	34,5	11,35	24,06
K2	1,42	21,54	-6,51	32,20	6,03	18,51
K3	3,58	42,09	-6,56	42,09	18,58	32,23
K4	3,43	35,85	-12,74	30,95	17,89	31,42
K5	6,85	48,65	-9,57	47,96	4,02	12,93
K6	6,77	52,92	-17,12	43,79	6,09	25,49
K7	2,33	26,13	-7,75	30,93	6,18	22,06
K8	2,73	24,08	-9,72	35,45	8,48	17,95
K9	8,97	60,26	-10,20	38,59	13,57	21,48
K10	9,83	45,06	-10,72	40,43	18,39	46,80

In der oberen Tabelle 5.9 sieht man wieder geringe Abweichungen der Verschiebungen. Das zeigt, dass alle Versuchskörper fast den gleichen Elastizitätsmodul aufweisen. Bei der zweiten und dritten Versuchsdurchführung sind hingegen große Abweichungen zu erkennen. Dies bedeutet, dass die Versuchskörper nach der Rissbildung sich unterschiedlich verhalten und vom Steifigkeitsverlust beim ersten Versuchsdurchgang abhängig sind.

5.2.3 Versuchsreihe mit Mörtel M 5

Bei dieser Versuchsreihe wird deutlich, dass es häufiger zu einem Steinversagen kam als zu einem Fugenversagen. Es ist deutlich erkennbar, dass ab der dritten Reihe die Steine versagten. Bei dieser Versuchsreihe wurde der Versuchskörper Nr. 4 als charakteristisches Rissbild ausgewählt (siehe Abb. 5.11).

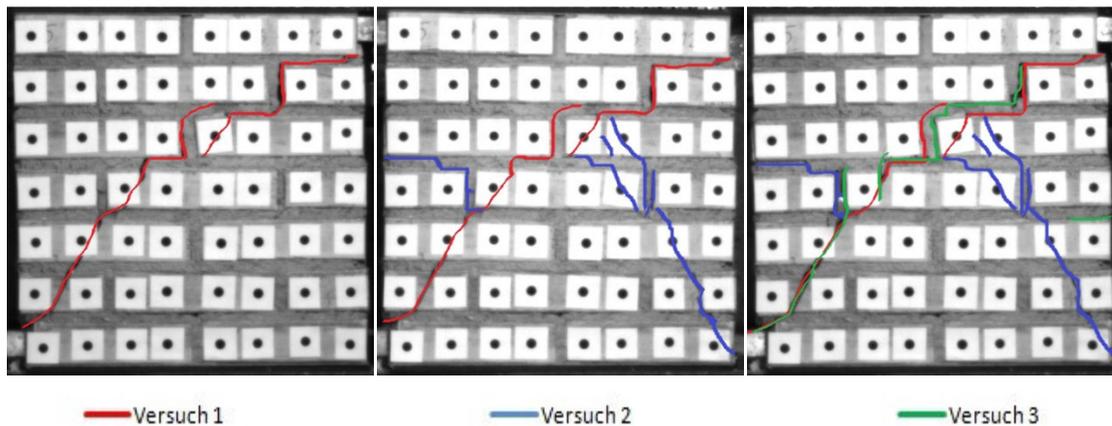


Abb. 5.11:: Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart M5

Von zehn Versuchen hatten sechs bei dieser Versuchsreihe beim ersten Versuchsdurchgang als charakteristisches Rissbild einen treppenförmigen Verlauf bis zur ca. dritten Reihe (von oben gesehen) und dann einen steilen Verlauf bis zum Endlager (siehe Abb. 5.11). Im zweiten Versuchsdurchgang bildeten sich bei nur wenigen Versuchskörpern durchlaufende Risse und somit wiesen nur fünf Versuche das oben beschriebene charakteristische Rissbild auf. Und beim dritten Versuchsdurchgang zeigen nur fünf Versuche einen ähnlichen Rissverlauf auf. Hier vergrößerten sich die Rissweiten der Rissverläufe, die im ersten Versuchsdurchgang entstanden. Es ist deutlich erkennbar, dass die Fugen im linken Körperbereich bis zur dritten Reihe (von oben gesehen) versagten und erst danach, nämlich ab der dritten Reihe, versagten die Steine.

Bei der Versuchsreihe M5 wurde der Versuchskörper Nr. 10 mit einer maximalen Horizontallast von 83,76 kN beim ersten, 50,57 kN beim zweiten und 23,98 kN beim dritten Versuchsdurchgang für die Darstellung der Kraft-Verschiebung Diagramm ausgewählt (siehe Abb. 5.12).

- **Versuchskörper Nr. 10**

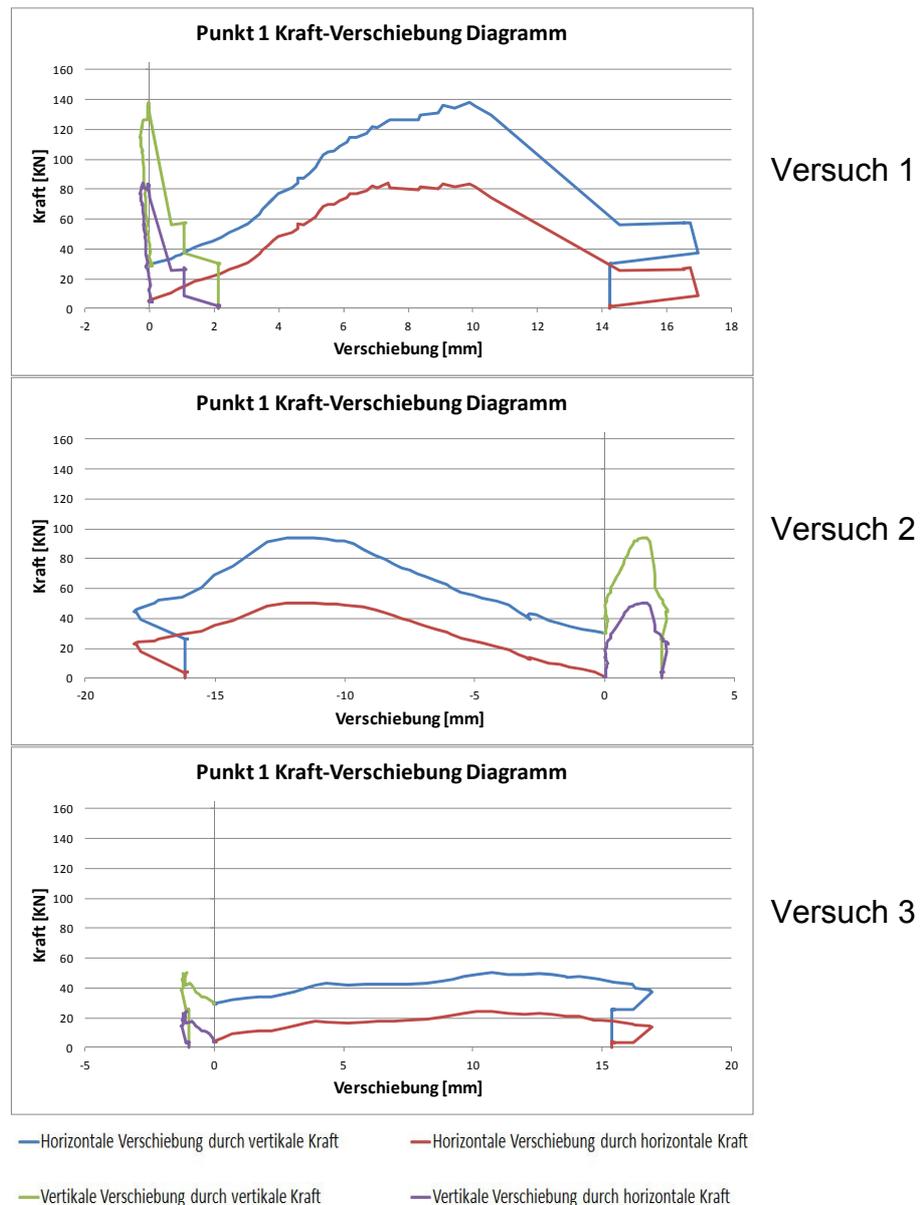


Abb. 5.12 Kraft-Verschiebung Diagramm

Der Mörtel M5 hat eine Biegezugfestigkeit von $8,68 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ und eine Druckfestigkeit von $18,94 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Wie man erkennen kann, hat diese Mörtelart größere Festigkeitswerte als die Mörtel PM5 und PM10. Wie man anhand der Abb. 5.12 sehr gut sehen kann, liegt hier ein enormer Schubtragfähigkeitsverlust vor. Besonders deutlich wird dies bei der dritten Versuchsreihe, wo der Versuchskörper das 3,5-fache seiner Anfangsschubtragfähigkeit verlor. Dieses Phänomen weist auf ein schlechtes Materialverhalten bei zyklischer Beanspruchung hin.

In diesen Tabellen und Abbildungen werden alle maximalen Kräfte der Versuchsreihe M5 bei jedem Versuchsdurchgang aufgezeigt. Durch diese Werte kann das arithmetische Mittel berechnet werden (siehe Abb. 5.13, Abb. 5.14, Abb. 5.15, Tabelle 5.10, Tabelle 5.11, Tabelle 5.12).

1) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.10: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart M5

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	--	--
K2	80,36	48,66
K3	101,04	65,78
K4	131,15	85,32
K5	163,12	90,45
K6	137,69	84,09
K7	138,86	82,52
K8	135,72	82,89
K9	109,81	65,13
K10	138,00	83,76
Mittelwert	126,19	76,51

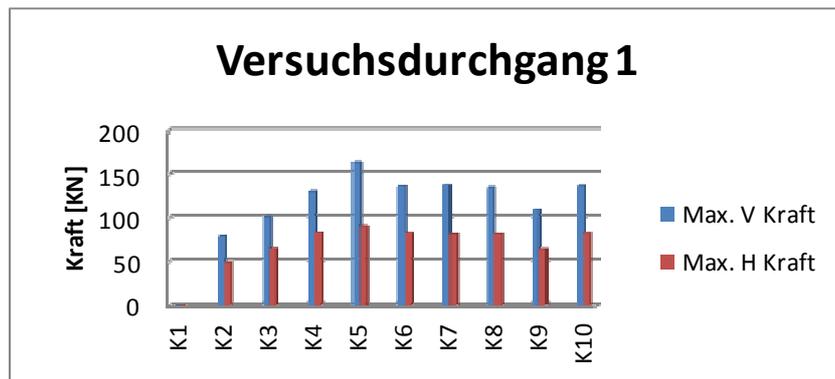


Abb. 5.13: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

2) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.11: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart M5

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	78,07	50,1
K2	58,02	36,79
K3	73,45	51,19
K4	84,88	61,08
K5	83,63	54,19
K6	82,76	44,11
K7	147,07	94,67
K8	122,93	55,78
K9	98,49	58,8
K10	94,13	50,57
Mittelwert	92,34	55,72

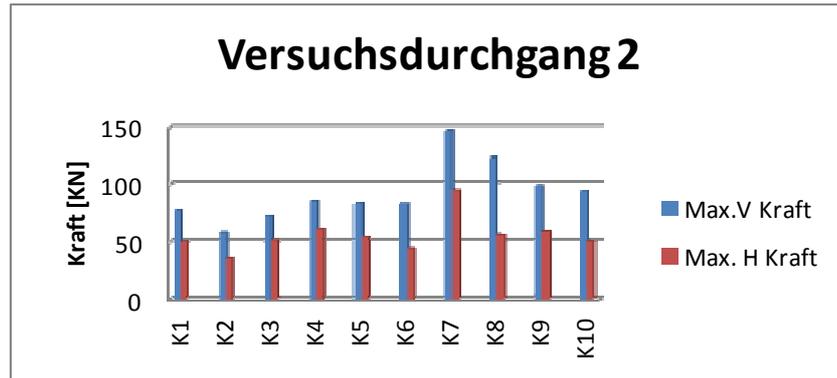


Abb. 5.14: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

3) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.12: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart M5

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	52,93	26,74
K2	--	--
K3	61,48	36,45
K4	46,10	23,62
K5	51,09	18,19
K6	58,96	28,07
K7	73,46	33,77
K8	30,34	16,10
K9	34,69	17,38
K10	50,28	23,98
Mittelwert	51,03	24,92

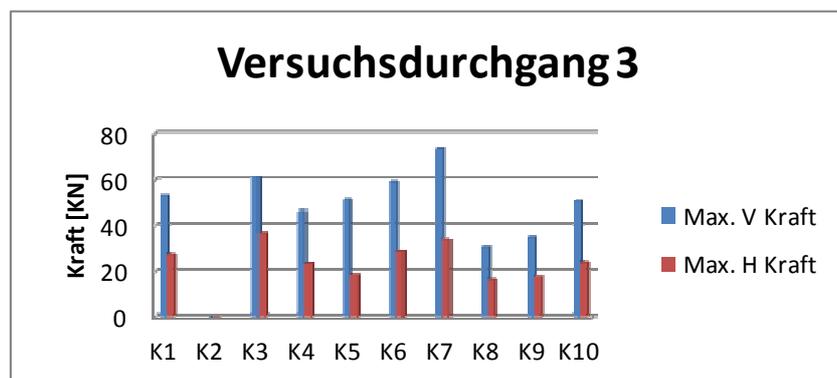


Abb. 5.15: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

Wie auf den oben dargestellten Diagrammen gut sichtbar ist, sind die Schwankungen der Horizontal- und Vertikalkräfte bei den Versuchsanordnungen sehr gering. Besonders deutlich ist hierbei, dass beim zweiten Versuchsdurchgang die Horizontalkräfte zwischen 50 kN bis ca. 60 kN liegen.

In der unteren Tabelle 5.13 sieht man die horizontale Verschiebung bei der Entstehung des ersten Risses.

Tabelle 5.13: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss

Versuchskörper	Versuchsdurchführung 1		Versuchsdurchführung 2		Versuchsdurchführung 3	
	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]
K1	--	--	-15,32	50,10	11,66	23,16
K2	9,56	48,66	-5,32	13,29	--	--
K3	6,48	65,78	-7,97	44,47	8,15	24,76
K4	6,92	85,32	-2,80	22,58	5,96	23,62
K5	9,89	90,45	-16,13	54,19	9,35	18,19
K6	1,27	21,98	-9,35	44,11	6,89	19,38
K7	7,00	74,10	-18,09	94,67	--	--
K8	12,28	82,89	-12,66	53,07	4,00	3,89
K9	5,98	65,13	-5,41	36,49	2,07	10,77
K10	7,38	83,76	-2,98	13,46	2,21	11,33

In der oberen Tabelle 5.13 sieht man, dass es bei der ersten Versuchsdurchführung sehr geringe Abweichungen der horizontalen Verschiebungen gibt. Das weist darauf hin, dass alle Versuchskörper fast den gleichen Elastizitätsmodul aufweisen. Bei der zweiten Versuchsdurchführung sind große Abweichungen zu erkennen, weil die Versuchskörper sich nach der Rissbildung im ersten Versuchsdurchgang unterschiedlich verhalten und von der Größe des Steifigkeitsverlust abhängig sind. Beim dritten Versuchsdurchgang sieht man wieder geringe Abweichungen, da bei allen Versuchskörpern die Steifigkeit sehr gering ist.

5.2.4 Versuchsreihe mit Mörtel M10

Bei der Versuchsreihe mit dem Mörtel M10 konnte man kein eindeutiges charakteristisches Rissbild finden, weil sich viele unterschiedliche Rissbilder ergaben. Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass nur bei vier Versuchskörpern alle Versuchsanordnungen durchgeführt werden konnten. Deshalb wurde als charakteristisches Rissbild ein Versuchskörper mit allen drei Versuchsanordnungen ausgewählt. In der folgenden Abb. 5.16 wird Versuchskörper Nr. 7 gezeigt.

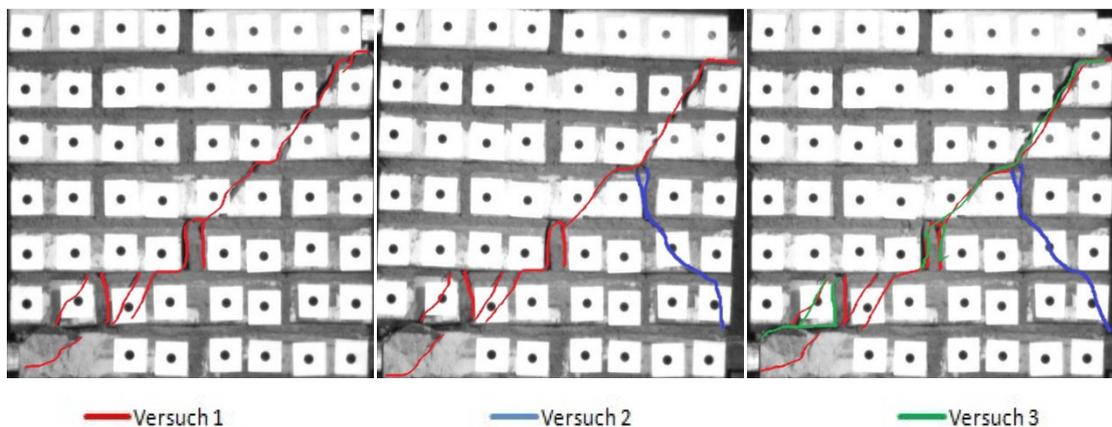


Abb. 5.16: : Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart M10

Von neun Versuchen hatten bei dieser Versuchsreihe drei Körper beim ersten Versuchsdurchgang als charakteristisches Rissbild einen steilen Verlauf bis zur ca. vierten Reihe (von oben gesehen) und dann einen treppenförmigen Verlauf bis zum Endlager. Im zweiten Versuchsdurchgang wiesen vier Versuche dieses Rissbild auf. Hier ist noch zu erwähnen, dass bei drei Versuchskörper im rechten oberen Teil fast keine Risse entstanden. Beim dritten Versuchsdurchgang ergaben sich nur drei Versuche, die einen ähnlichen Rissverlauf zueinander hatten. Hier vergrößerten sich nur die Rissweiten der Rissverläufe, die im ersten Versuchsdurchgang entstanden. Es ist deutlich sichtbar, dass bei dieser Versuchsreihe nicht viele Risse entstanden. Jedoch ist darauf hinzuweisen, dass aber die Risse, die entstanden sind, größtenteils diagonal sind und sehr steil verlaufen.

Bei der Versuchsreihe M10 gab es nicht viele Versuchskörper mit drei Versuchsdurchführungen. Deshalb wurde der Versuchskörper Nr. 4 mit einer maximalen Horizontallast von 82,96 kN beim ersten, 46,91 kN beim zweiten

und 22,39 kN beim dritten Versuchsdurchgang für die Darstellung der Kraft-Verschiebung Diagramm ausgewählt (siehe Abb. 5.17).

- **Versuchskörper Nr. 4**

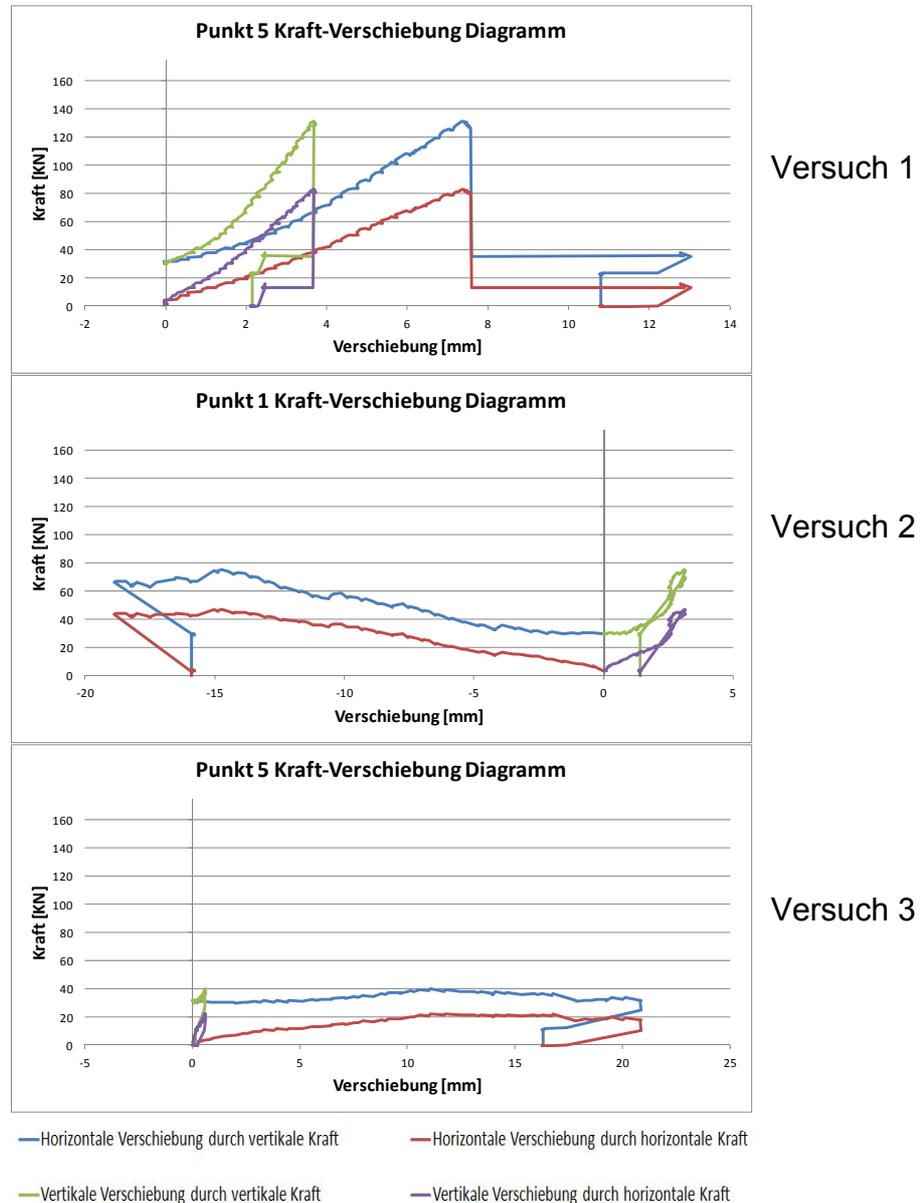


Abb. 5.17 Kraft-Verschiebung Diagramm

Der Mörtel bei diesen Versuchsreihen hat eine Biegezugfestigkeit von 11,95 [N/mm²] und eine Druckfestigkeit von 29,78 [N/mm²]. Daraus lässt sich schließen, dass der Mörtel M10 viel größere Festigkeitswerte besitzt, als die restlichen Mörtelarten. Bei dieser Versuchsreihe sieht man ein abruptes Versagen beim ersten Versuchsdurchgang. Auffallend ist hier noch die geringe Schubtragfähigkeit bei der dritten Versuchsdurchführung, was auf ein sprödes Bruchverhalten des Mörtels M10 hinweist.

In diesen Tabellen und Abbildungen sieht man die maximalen Kräfte der Versuchsreihe M10 bei jedem Versuchsdurchgang. Über diese Werte kann das arithmetische Mittel berechnet werden (siehe Abb. 5.18, Abb. 5.19, Abb. 5.20, Tabelle 5.14, Tabelle 5.15, Tabelle 5.16).

1) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.14: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart M10

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	140,58	81,74
K2	97,89	61,59
K3	102,54	61,56
K4	131,48	82,96
K5	179,79	105,46
K6	--	--
K7	157,46	97,29
K8	146,77	93,57
K9	158,58	96,59
Mittelwert	139,38	85,09

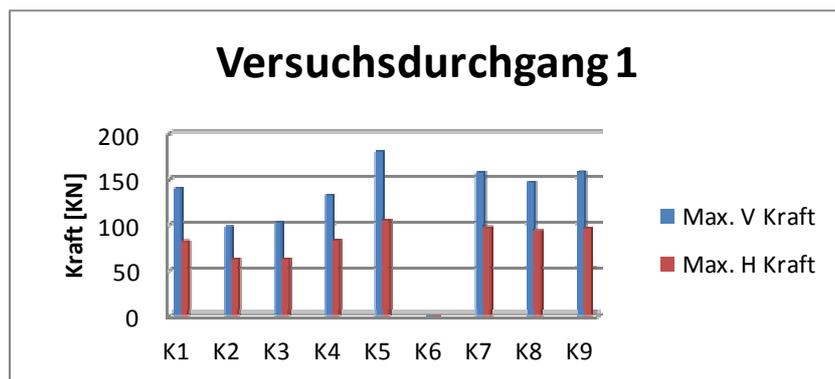


Abb. 5.18: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

2) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.15: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	79,66	52,61
K2	126,55	80,29
K3	118,75	75,72
K4	75,59	46,91
K5	98,21	57,39
K6	74,43	28,15
K7	39,96	21,92
K8	140,99	86,71
K9	147,69	96,28
Mittelwert	100,20	60,66

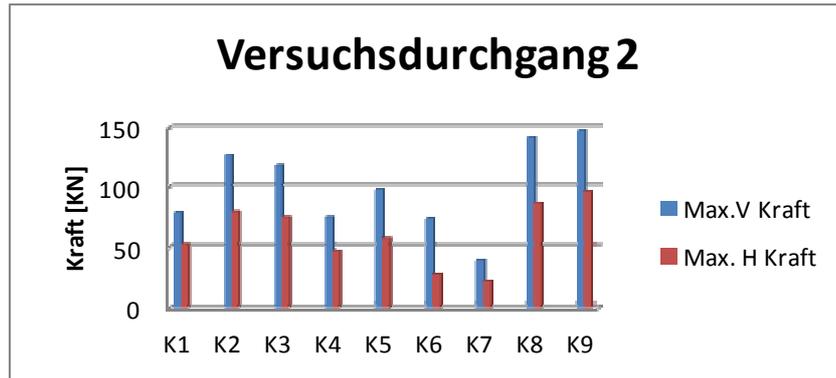


Abb. 5.19: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

3) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.16: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart M10

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	--	--
K2	--	--
K3	46,51	22,53
K4	40,13	22,39
K5	--	--
K6	--	--
K7	45,3	10,38
K8	67,32	37,39
K9	--	--
Mittelwert	49,82	23,17

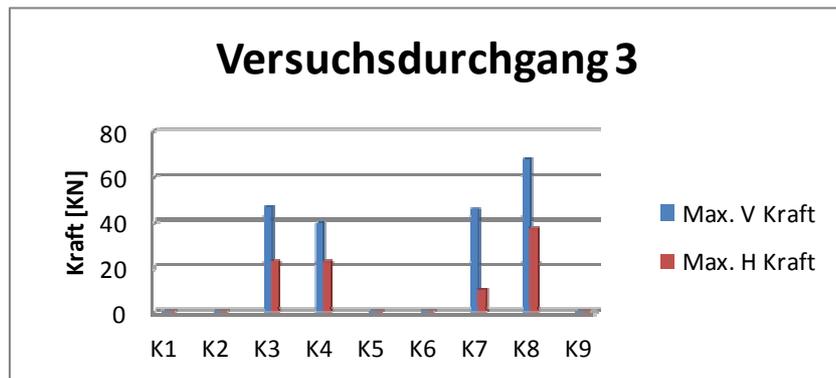


Abb. 5.20: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

Wie man in den Tabellen und Diagrammen sehen kann, ist die Streuung der Ergebnisse sehr hoch, wodurch es zu großen Schwankungen kommt.

In der unteren Tabelle 5.17 sieht man die horizontale Verschiebung bei der Entstehung des ersten Risses.

Tabelle 5.17: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss

Versuchskörper	Versuchsdurchführung 1		Versuchsdurchführung 2		Versuchsdurchführung 3	
	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]	Horizontale Verschiebung [mm]	H. Kraft vor dem ersten Riss [kN]
K1	8,56	81,74	-8,31	52,61	--	--
K2	5,64	54,27	-8,06	71,32	--	--
K3	6,88	61,56	-2,02	71,77	1,19	13,73
K4	7,34	82,96	-14,71	46,91	3,92	11,58
K5	9,28	105,46	-3,10	23,66	--	--
K6	--	--	-5,42	20,14	--	--
K7	9,03	97,29	-3,04	18,44	4,09	10,37
K8	7,16	93,57	-10,63	35,26	12,75	36,87
K9	8,17	96,59	-3,47	95,86	--	--
K10	--	--	--	--	--	--

In der oberen Tabelle 5.17 sieht man, dass es bei der ersten Versuchsdurchführung sehr geringe Abweichungen der horizontalen Verschiebungen gibt. Das sagt aus, dass alle Versuchskörper fast das gleiche Elastizitätsmodul besitzen. Hier ist besonders zu erwähnen, dass die Versuchsreihe M10 eine große Steifigkeit besitzt. Im Gegensatz zum ersten Versuchsdurchgang gibt es beim zweiten Versuchsdurchgang große Abweichungen. Das bedeutet, dass die Versuchskörper sich nach der Rissbildung unterschiedlich verhalten und vom Steifigkeitsverlust beim ersten Versuchsdurchgang abhängig sind. Im Vergleich zu anderen Versuchsreihen sieht man hier einen größeren Steifigkeitsverlust. Beim dritten Versuchsdurchgang kann man keine genauen Aussagen über die Schwankungen tätigen, da nur vier Versuchskörper übrig geblieben sind (siehe Kapitel 3.5).

5.2.5 Versuchsreihe mit Mörtel KM

Bei dieser Versuchsreihe gab es nur zwei Versuchskörper und beide davon haben ein ähnliches Rissbild. Als charakteristisches Rissbild wurde der Versuchskörper Nr.1 ausgewählt (siehe Abb. 5.21).

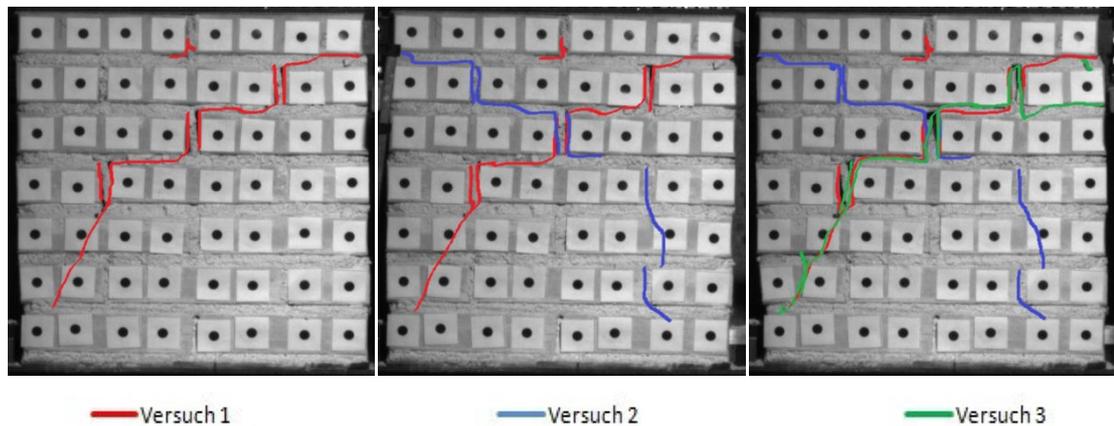


Abb. 5.21: : Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart KM

Von diesen zwei Versuchen hatten beide Körper als charakteristisches Rissbild einen treppenförmigen Verlauf bis zur ca. vierten Reihe (von oben gesehen) und dann einen steilen Verlauf bis zum Endlager. Im zweiten Versuchsdurchgang wiesen beide Versuchskörper ähnliche Rissbilder auf. Und beim dritten Versuchsdurchgang vergrößerten sich die Rissweiten der Rissverläufe, die im ersten Versuchsdurchgang entstanden sind. Es ist außerdem deutlich sichtbar, dass Fugenversagen statt Steinversagen vorliegt.

Wie oben erwähnt, gab es bei der Versuchsreihe KM nur zwei Versuchskörper mit relevanten Messwerten. Hierbei wählte man für die Darstellung des Kraft-Verschiebung Diagramms den Versuchskörper Nr. 1 mit einer maximalen Horizontallast von 15,13 kN beim ersten, 17,40 kN beim zweiten und 13,29 kN beim dritten Versuchsdurchgang aus (siehe Abb. 5.22).

Auffallend ist bei diesem Versuchskörper, dass bei der zweiten Versuchsdurchführung eine größeren Horizontallast als bei der ersten erreicht wurde.

- **Versuchskörper Nr. 1**

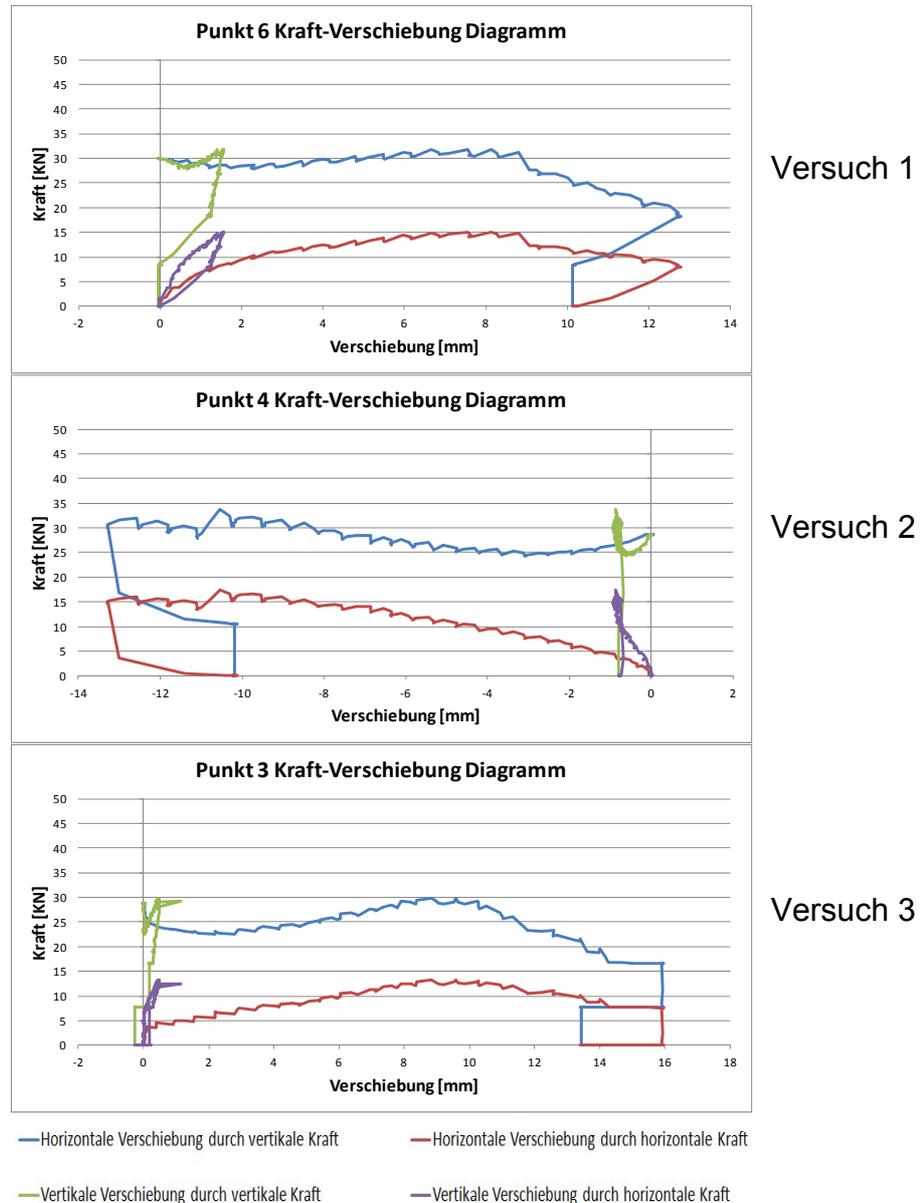


Abb. 5.22 Kraft-Verschiebung Diagramm

Der Mörtel bei diesen Versuchsreihen hat eine Biegezugfestigkeit von $0,9 \text{ [N/mm}^2\text{]}$ und eine Druckfestigkeit von $0,48 \text{ [N/mm}^2\text{]}$. Daraus lässt sich schließen, dass die Festigkeitswerte dieser Mörtelart sehr gering sind. Man kann weiters erkennen, dass es ein kontinuierliches Versagen bei allen drei Versuchsdurchgängen gibt, was auf ein stabiles Bruchverhalten und eine duktile Materialeigenschaft hinweist.

Ferner wurden die maximalen Kräfte verglichen, die man anhand der Versuche erhalten hat, und im Folgenden in Diagrammen und Tabellen

dargestellt (siehe Abb. 5.23, Abb. 5.24, Abb. 5.25, Tabelle 5.18, Tabelle 5.19, Tabelle 5.20).

In diesen Tabellen und Abbildungen sieht man alle maximalen Kräfte der Versuchsreihe KM bei jedem Versuchsdurchgang. Über diese Werte kann das arithmetische Mittel berechnet werden.

1) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.18: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart KM

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	31,83	15,13
K2	32,82	18,03
Mittelwert	32,32	16,58

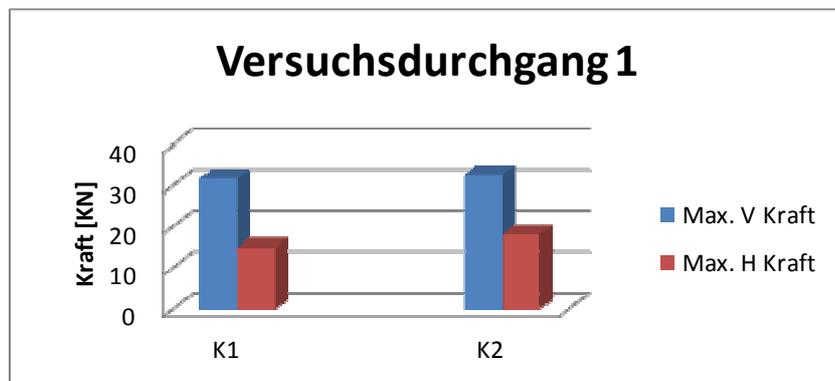


Abb. 5.23: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

2) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.19: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart KM

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	33,73	17,4
K2	30,01	12,83
Mittelwert	31,87	15,12

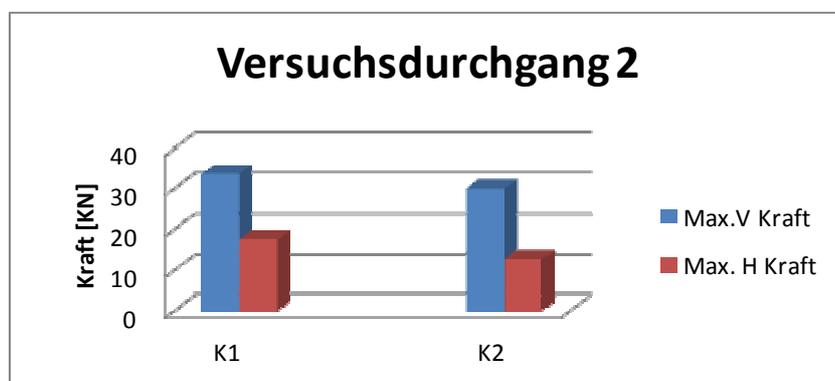


Abb. 5.24: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

3) Versuchsdurchgang

Tabelle 5.20: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart KM

Versuchskörpern	Max. V Kraft [kN]	Max. H Kraft [kN]
K1	29,87	13,29
K2	35,94	13,44
Mittelwert	32,91	13,37

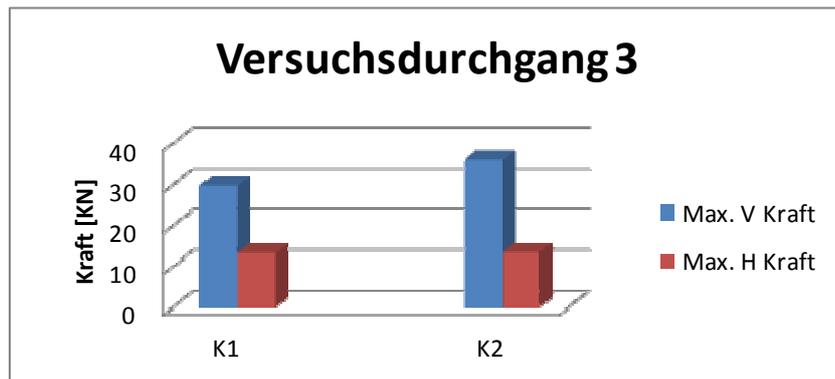


Abb. 5.25: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte

Wie auf den Abbildungen zu sehen ist, sind die Schwankungen bei den Horizontal- und Vertikalkräften sehr gering.

Bei dieser Versuchsreihe wurde keine Tabelle für die horizontalen Verschiebungen erstellt, da bei der Steigung der Kraft-Verschiebung Diagramme kein abrupter Steigungsverlust auszumachen ist. Deshalb ist nicht zu erkennen, wann die Risse entstanden sind.

5.3 Interpretation der Ergebnisse der fünf Versuchsreihen

Das Verhältnis zwischen der Kraft, welche sich zusammensetzt aus der horizontalen und der vertikalen Belastung und der daraus resultierenden Horizontalverschiebung soll anhand der einzelnen Versuchsreihen eruiert werden. Pro Versuchsreihe wird der Mittelwert aus den Last-Verschiebungsdaten aus den verschiedenen Versuchskörpern ermittelt. Die Last-Verschiebungsdaten setzen nur die Horizontalkräfte mit den Horizontalverschiebungen in Verbindung. Auf die Belastungen und Verschiebungen in vertikaler Richtung wird hierbei nicht eingegangen.

Hier werden die Versuchskörper von den Versuchsreihen, die in Kapitel 5.2 ausgewählt wurden, miteinander verglichen. Auf den Auswahlvorgang der Versuchskörper wird hier nicht mehr eingegangen, da dieser in Kapitel 5.2 ausführlich erklärt wurde. Bei der Interpretation werden also nur die horizontalen Kraft-Verschiebungskurven dieser Versuchskörper dargelegt. Somit erhält man ein Diagramm mit fünf verschiedenen Kraft-Verschiebungskurven, welches die Zusammenfassung aller durchgeführten Versuche darstellt und im Folgenden interpretiert wird.

In der folgenden Tabelle 5.21 werden die ausgewählten Versuchskörper nochmal gezeigt.

Tabelle 5.21: Die gewählten Versuchskörper

Mörtelart	Mittelwert der Horizontalen Kräfte [KN]			Versuchskörper
	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	
PM10	56,45	44,54	28,29	K10
PM5	46,66	41,03	27,02	K6
M5	76,51	55,72	24,92	K10
M10	85,09	54,81	23,17	K4
KM	16,58	15,12	13,37	K1

Die untere Abb. 5.26 zeigt das Kraft-Verschiebung Diagramm für die erste Versuchsanordnung. Die fünf Mörtelarten wurden mit unterschiedlichen Farben

nachgezeichnet, wobei die Mörtelart PM5 und PM10 in hell- und dunkelblauer Farbe, die Mörtelart M5 und M10 in roter- und dunkelroter Farbe und die Mörtelart KM in grüner Farbe dargestellt wurde.

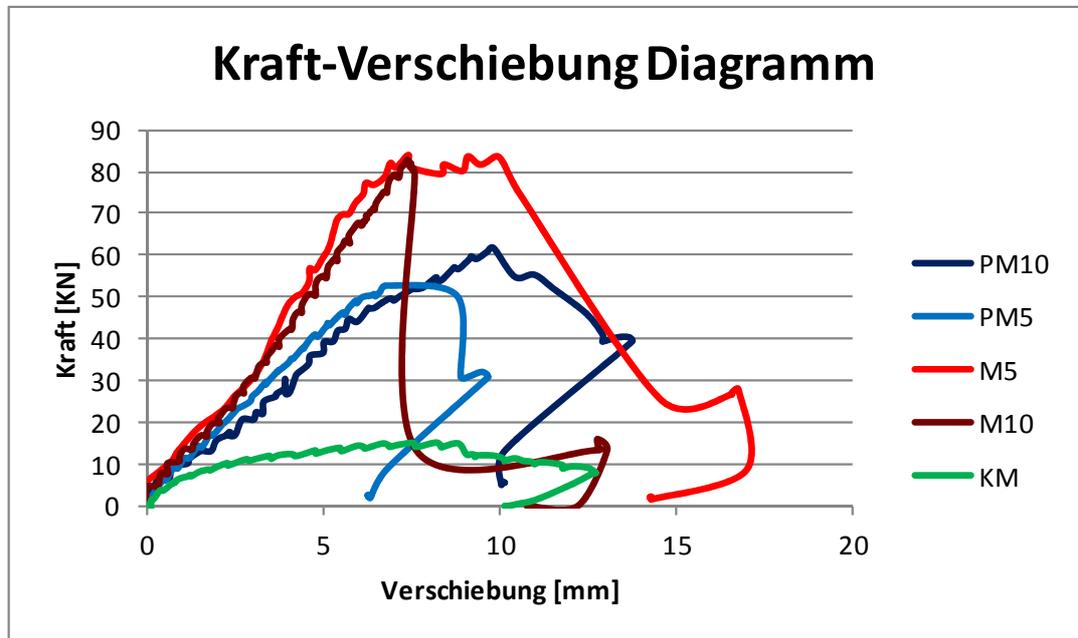


Abb. 5.26: Vergleich der Kraft-Verschiebung Diagramm aller Mörtelarten im Versuchsanordnung 1

In der oberen Abb. 5.26 lassen sich die Festigkeitsklassen der Mörtelarten sehr gut erkennen. Anhand der Kurven ist sichtbar, dass alle Mörtelklassen unterschiedliche Steigungsverläufe haben. Daraus ist Folgendes abzuleiten: je größer die Festigkeitsklasse ist, desto größer ist auch die Anfangssteigung der Kurven. Ferner kann das Verhalten der Rissbildung dieser Versuchskörper durch diese Kurven interpretiert werden. Auf dem Diagramm wird deutlich, dass bei Mörtel M10 ein plötzliches Materialversagen vorliegt, dargestellt durch den plötzlichen Abfall der dunkelroten Kurve und der Verschiebung dieser Kurve bei geringerer Kraft. Hier sieht man, dass die Versuchskörper mit dem Mörtel M10 ein sprödes Bruchverhalten aufweisen. Im Gegensatz zu M10 lässt sich bei Mörtelart M5 kein plötzliches Materialversagen beobachten. Hierbei sieht man, dass sich die Kraft-Verschiebungskurve bis zur Maximaltraglast steigert, danach bleibt die Kraft konstant. Jedoch werden die Verschiebungen größer. Es liegt die Vermutung nahe, dass sich in dieser Phase zunächst viele Mikrorisse bilden - bis zum Versagen des Versuchskörpers hin. Hier ist sichtbar, dass sich der Mörtel M5 viel duktiler verhält als der Mörtel M10. Bei der Mörtelart PM5 sieht man auch eine ähnliche Kurve wie bei Mörtelart M10. Es zeigt sich

lediglich der Unterschied, dass die Maximallast bei PM5 bei ca. 50 kN liegt und bei M10 bei ca. 80 kN.

Auch die Mörtelart PM10 weist eine ähnliche Kurve wie Mörtelart M5 auf, lediglich mit dem Unterschied, dass die Maximallast bei ca. 60 kN liegt.

Die Mörtelart KM zeigt eine flache Steigung bis zum Versagen auf, was bedeutet, dass bei diesem Versuchskörper ein kontinuierliches Versagen vorlag und dieser eine duktile Charakteristik besitzt.

Bei der zweiten Versuchsanordnung sieht man, dass die Mörtelarten PM10, PM5, M5 und M10 fast alle die gleiche Steigung haben (siehe Abb. 5.27). Weiters lässt sich unter Berücksichtigung aller berechneten Mittelwerte der Versuchsreihen feststellen, dass die Traglastgrenze dieser oben genannten Mörtelarten auch im selben Bereich, nämlich zwischen 40 bis 55 kN, liegen.

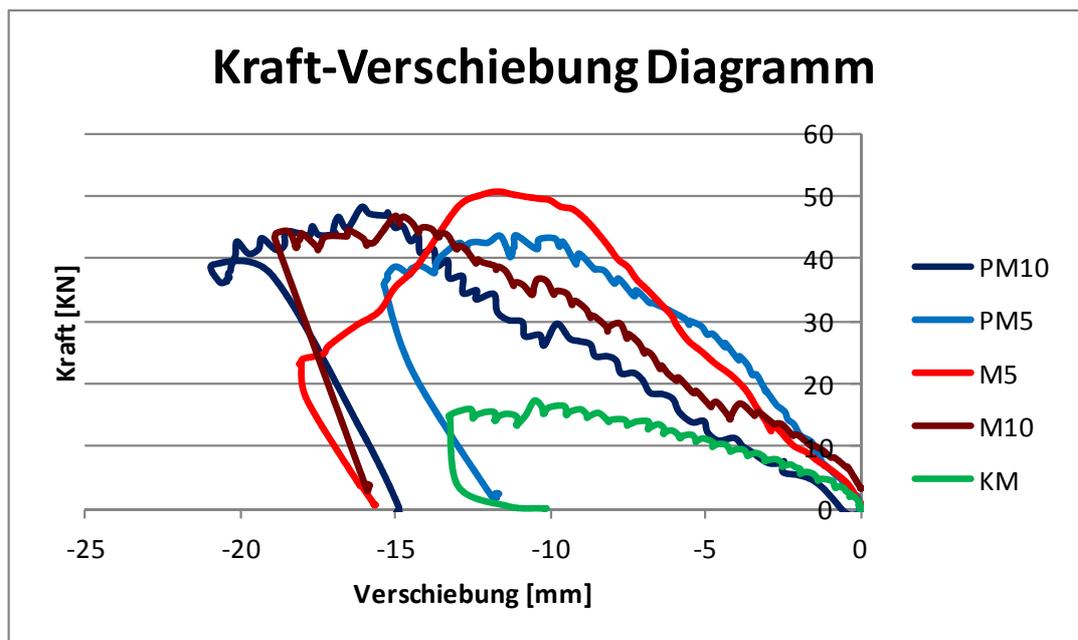


Abb. 5.27: Vergleich der Kraft-Verschiebung Diagramm aller Mörtelarten im Versuchsanordnung 2

In diesem Diagramm ist der Traglastverlust nach der Rissbildung während der zweiten Versuchsanordnung dargestellt. Zu erwähnen ist hierbei, dass die Prüfkörper nach der zweiten Versuchsanordnung, unter Berücksichtigung der Mittelwerte, mit Mörtel M10 ca. 36%, M5 ca. 27% , PM10 ca. 21% , PM5 ca. 12% und KM ca. 9 % ihrer Schubtragfähigkeit verloren haben. Dies bedeutet, dass je größer die Mörtelfestigkeitsklasse ist, desto mehr verliert der Versuchskörper an Tragfähigkeit nach der Rissbildung. Dieses Tragverhalten

ist ein Nachteil für alle Mauerwerkskörper mit Mörtelarten mit größeren Festigkeitsklassen, besonders bei Erdbebenbeanspruchung.

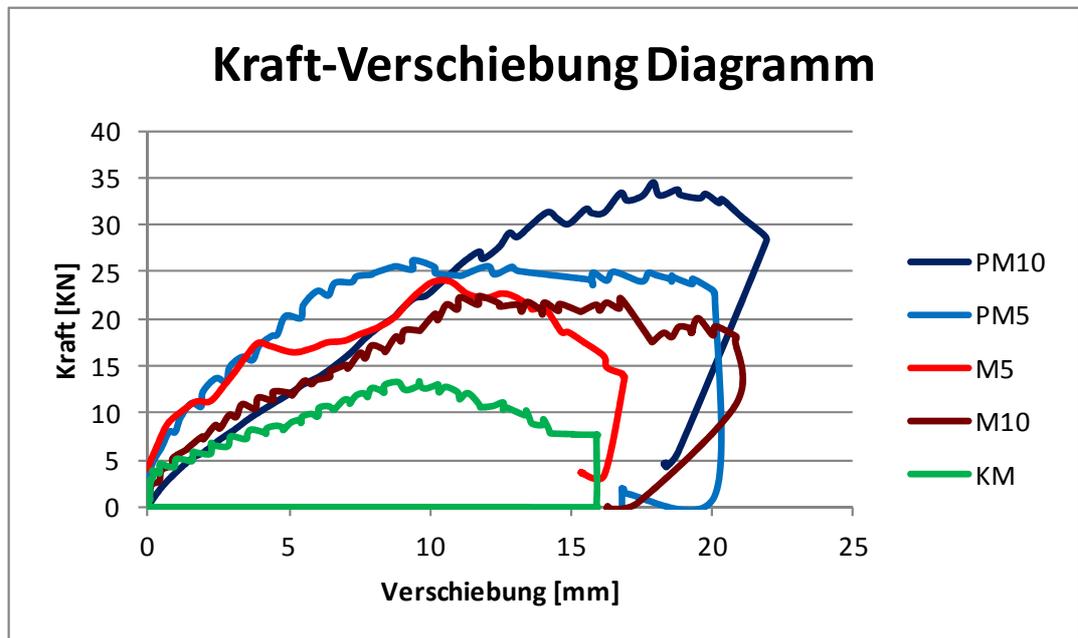


Abb. 5.28: Vergleich der Kraft-Verschiebung Diagramm aller Mörtelarten im Versuchsanordnung 3

Bei der dritten Versuchsanordnung ist wieder sichtbar, dass die Mörtelarten PM10, PM5, M5 und M10 fast alle die gleiche Steigung haben (siehe Abb. 5.28.). Darüber hinaus lässt sich erkennen, dass die Traglastgrenze der oben genannten Mörtelarten auch im selben Bereich, nämlich zwischen 20 bis 30 kN, liegen. Hierbei wurden auch die Mittelwerte berücksichtigt.

Zu erwähnen ist weiters, dass die Versuchskörper nach der dritten Versuchsanordnung mit Mörtel M10 ca. 73%, M5 ca. 67%, PM10 ca. 50%, PM5 ca. 42% und KM ca. 20% ihrer Schubtragfähigkeit verloren haben, wodurch das schlechte Schubtragverhalten von Mauerwerken bei zyklischer Beanspruchung deutlich wird.

6 Vergleich der Messergebnisse mit dem Eurocode

In diesem Kapitel werden die Messergebnisse, die aus den fünf Versuchsreihen ermittelt wurden, mit der Eurocode ÖNORM EN 1996-1-1 verglichen. Dabei werden die wichtigsten Nachweise der Eurocode ÖNORM EN 1996-1-1 kurz erläutert. Anschließend wird anhand eines Versuchskörpers die Tragfähigkeit detailliert ausgerechnet. Für die weiteren Versuchskörper werden die Festigkeitswerte tabellarisch dargestellt.

6.1 Mauerwerksfestigkeiten und Tragfähigkeitsnachweise [17]

6.1.1 Charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk [17]

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta$$

f_k die charakteristische Druckfestigkeit von Mauerwerk in N/mm²

K Konstante (abhängig von Steinart, Steingruppe und Mörtelart)

α, β Exponenten

f_b Normierte Mauersteindruckfestigkeit in N/mm²

f_m Mörteldruckfestigkeit in N/mm²

6.1.2 Charakteristische Schubfestigkeit von Mauerwerk [17]

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d \leq 0,065 f_b$$

f_{vk} Charakteristische Schubfestigkeit in N/mm²

f_{vk0} Charakteristische Haftscherfestigkeit ohne Auflast in N/mm²

σ_d Die Bemessungsdruckspannung rechtwinklig zur Schubkraft in der betrachteten Querschnittsebene im überdrückten Bereich, der den Schubwiderstand sicherstellt

f_b Normierte Mauersteindruckfestigkeit in N/mm²

6.1.3 Tragwiderstandes unter vertikaler Belastung [17]

$$N_{Rd} = \Phi t f_d$$

Φ Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung der Schlankheit und Lastausmitte am Kopf, Fuß und in Wandmitte

t Wanddicke

f_d Bemessungsdruckfestigkeit des Mauerwerkes

6.1.4 Bemessungswert der Schubtragfähigkeit [17]

$$V_{Rd} = f_{vd} t l_c$$

f_{vd} Bemessungswert der Schubtragfähigkeit von Mauerwerk

t Wanddicke

l_c Länge des überdrückten Teiles der Wand unter Vernachlässigung auf Zug beanspruchten Teile der Wand

6.2 Detaillierte Bemessung des Versuchskörpers PM10 Nr.1

Hier wird der Versuchskörper PM10 Nr.1 ausgewählt um seine Spannungen zu berechnen und anschließend mit dem Eurocode zu vergleichen. Zu erwähnen ist, dass alle Teilsicherheitsbeiwerte bei der Bemessung vernachlässigt wurden.

Versuchskörper PM10 Nr.1:

Horizontale Belastung = 55600 N

Vertikale Belastung = 95900 N

Länge und Höhe des Versuchskörpers = 515 mm

Ziegel: Gruppe 1 , $f_b = 35 \text{ N/mm}^2$

Mörtel: Normalmörtel, $f_m = 10,44 \text{ N/mm}^2$

$$f_k = K f_b^\alpha f_m^\beta = 10,88 \text{ N/mm}^2$$

$K = 0,6$ $\alpha = 0,65$ $\beta = 0,25$ nach ÖNORM EN 1996-1-1 Nationale

Festlegungen Tabelle 2 [18].

$$A = 515 \times 65 = 33475 \text{ mm}^2$$

Da die Fläche kleiner als $0,1 \text{ m}^2$ ist, muss f_k mit diesem Beiwert $(0,7+3xA)$ abgemindert werden.

Durch die kombinierte Belastung mittels vertikaler und horizontaler Kraft entsteht ein linear veränderlicher Spannungszustand unter dem Versuchskörper.

Die maximale Druckspannung beträgt bei diesem Versuchskörper

$$\sigma_{max} = 3,09 \text{ N/mm}^2.$$

$$\sigma_{max} = 3,09 \text{ N/mm}^2 \leq f_k (0,7 + 3 \times A) = 10,88 \text{ N/mm}^2 \times 0,8 = 8,70 \text{ N/mm}^2$$

Wie man sehr gut sehen kann entsteht hier kein **Druckversagen**

Weiteres wird die **Schubtragfähigkeit** untersucht:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d$$

$$f_{vk0} = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_d = N_{Ed} / (I_c \cdot t)$$

$$I_c = 479,57 \text{ mm}$$

$$\sigma_d = 3,08 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vk} = 1,53 \text{ N/mm}^2$$

Die zulässige horizontale Kraft des Versuchskörpers kann nun mit Hilfe der Schubfestigkeit ausgerechnet werden:

$$V_{Rd} = H_{zul} = f_{vd} t I_c = 47712 \text{ N}$$

dieses ist kleiner als V_{Ed}

$$V_{Rd} = 47712 \text{ N} \leq V_{Ed} = 55600 \text{ N}$$

deshalb liegt hier ein Schubversagen vor.

Nun werden die Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt:

$$f_d = 4,35 \text{ N/mm}^2 \geq \sigma_{max} = 3,09 \text{ N/mm}^2 \text{ (Nachweis erfüllt- kein}$$

Druckversagen)

$$V_{Rd} = 23856 \text{ N/mm}^2 \leq V_{Ed} = 55600 \text{ N}$$

Hier sieht man, dass der Eurocode die Tragfähigkeitsreserve des Mauerwerkskörpers nicht nutzt.

6.3 Tabellarischer Vergleich der Messergebnisse

Hier werden alle Festigkeits- und Bemessungswerte der Versuchskörper zusammengefasst. Zusätzlich kann man aus den Tabellen die Tragfähigkeitsreserve der Versuchskörper entnehmen. Die Tragfähigkeitsreserve hält fest, um wie viel Prozent man den berechneten Bemessungswert des Eurocodes steigern kann, bis der Körper versagt. Grün markierte Spannungen bedeuten, dass dabei keine Druckversagen vorkam. Die rot markierte horizontale Kraft bedeutet, dass die Schubtragfähigkeit überschritten wurde.

Tabelle 6.1: Versuchsreihe PM10 ($f_k= 10,88 \text{ N/mm}^2$, $f_d= 4,35 \text{ N/mm}^2$)

	V	H	σ_{max}	f_{vk}	l_c	V_{Rd}	V_{Rd}/γ	Reserve
	N	N	N/mm ²	N/mm ²	mm	N	N	%
K1	95900	55600	3,09	1,53	480	47712	23856	133
K2	99420	57230	3,19	1,57	481	49151	24575	133
K3	78770	47990	2,61	1,33	469	40650	20325	136
K4	80090	49370	2,67	1,36	466	41130	20565	140
K5	87580	54090	2,92	1,46	466	44118	22059	145
K6	102220	60670	3,34	1,63	474	50139	25070	142
K7	102550	59370	3,31	1,62	480	50378	25189	136
K8	105410	50310	3,08	1,56	515	52207	26103	93
K9	124230	68400	3,90	1,86	491	59273	29637	131
K10	101410	61440	3,35	1,63	470	49729	24865	147

Tabelle 6.2: Versuchsreihe PM5 ($f_k= 8,97 \text{ N/mm}^2$, $f_d= 3,59 \text{ N/mm}^2$)

	V	H	σ_{max}	f_{vk}	l_c	V_{Rd}	V_{Rd}/γ	Reserve
	N	N	N/mm ²	N/mm ²	mm	N	N	%
K1	60000	31760	1,84	0,97	501	31730	15865	100
K2	65320	45120	2,32	1,14	444	32981	16490	174
K3	77660	43500	2,46	1,22	487	38588	19294	125
K4	64650	36740	2,06	1,06	484	33333	16666	120
K5	80360	48650	2,65	1,29	470	39402	19701	147
K6	91180	52920	2,94	1,41	479	43872	21936	141
K7	71720	45470	2,43	1,20	461	35798	17899	154
K8	86320	54300	2,91	1,39	462	41663	20831	161
K9	92110	60260	3,18	1,49	454	43857	21929	175
K10	82640	47900	2,67	1,30	480	40460	20230	137

Tabelle 6.3: Versuchsreihe M5 ($f_k = 12,62 \text{ N/mm}^2$, $f_d = 5,05 \text{ N/mm}^2$)

	V	H	σ_{max}	f_{vk}	l_c	V_{Rd}	V_{Rd}/γ	Reserve
	N	N	N/mm ²	N/mm ²	mm	N	N	%
K1	0	0	0,00	0	-	0	0	0
K2	128280	78560	4,26	1,99	468	60433	30216	160
K3	101040	65780	3,47	1,67	455	49294	24647	167
K4	131150	85320	4,51	2,07	455	61340	30670	178
K5	163120	90450	5,14	2,35	490	74797	37398	142
K6	137690	84090	4,57	2,11	468	64208	32104	162
K7	138860	82520	4,54	2,10	474	64790	32395	155
K8	135720	82890	4,50	2,08	468	63420	31710	161
K9	109810	65130	3,59	1,72	475	53178	26589	145
K10	138000	83760	4,56	2,11	470	64358	32179	160

Tabelle 6.4: Versuchsreihe M10 ($f_k = 14,13 \text{ N/mm}^2$, $f_d = 5,66 \text{ N/mm}^2$)

	V	H	σ_{max}	f_{vk}	l_c	V_{Rd}	V_{Rd}/γ	Reserve
	N	N	N/mm ²	N/mm ²	mm	N	N	%
K1	140580	81740	4,54	2,11	479	65571	32786	149
K2	97890	61590	3,30	1,60	462	48168	24084	156
K3	102540	61560	3,37	1,64	472	50219	25110	145
K4	131480	82960	4,44	2,05	462	61592	30796	169
K5	179790	105460	5,84	2,62	477	81217	40609	160
K6	0	0	0,00	0	0	0	0	0
K7	157460	97290	5,26	2,38	466	72069	36034	170
K8	146770	93570	4,99	2,27	459	67667	33834	177
K9	158580	96590	5,25	2,38	469	72575	36288	166

Tabelle 6.5: Versuchsreihe KM ($f_k = 5,04 \text{ N/mm}^2$, $f_d = 2,02 \text{ N/mm}^2$)

	V	H	σ_{max}	f_{vk}	l_c	V_{Rd}	V_{Rd}/γ	Reserve
	N	N	N/mm ²	N/mm ²	mm	N	N	%
K1	31830	15130	0,93	0,38	515	12732	6366	138
K2	32820	18030	1,03	0,41	492	13128	6564	175

7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Bei dieser Diplomarbeit wurden 42 Versuche an Mauerwerkskörpern mit unterschiedlichen Mörtelarten durchgeführt.

Ziel dieser Arbeit war es, Untersuchungen zum Tragverhalten von Mauerwerkskörpern mit unterschiedlichen Mörteln unter Schubbelastung durchzuführen. Dazu wurden die Mörtelarten PM10, PM5, M10, M5 und KM untersucht.

In der Arbeit wurde versucht, das Verhalten eines Mauerwerks durch Wind- und Erdbebenbelastung zu simulieren und dann die Ergebnisse zu interpretieren.

Besonderen Wert legte man bei den Untersuchungen auf die verschiedenen Mörtelarten und ihrem Verhalten bezüglich der Zwischenbindung mit den Ziegelsteinen. Dabei werden die Eigenschaften von verschiedenen Mörtelarten ausgewertet und danach kann man die Werte bei FE-Programmen eingeben.

Zusammenfassend soll hier anhand einer prägnanten Schlussfolgerung auf das Verhalten der untersuchten Mörtelarten eingegangen werden.

Die Mörtelart **PM10**: Besitzt eine mittlere Festigkeit und duktilen Materialverhalten, welche geeignete Eigenschaften für zyklische Beanspruchungen sind. Hier kann man anhand der Versuche sehen, dass bei den Versuchskörpern mit dem Mörtel PM10 keine abrupte Versagensart entstand.

Die Mörtelart **PM5**: weist wie auch PM10 eine mittlere Festigkeit und duktilen Materialverhalten. Der Unterschied zur Mörtelart PM10 liegt darin, dass die Festigkeit geringer ist. Es bildeten sich bei vielen Versuchskörpern aber zunächst langsam anwachsende Makrorisse bis hin zum Versagen des Versuchskörpers.

Die Mörtelart **M5**: Besitzt eine hohe Festigkeitsklasse und hat ein sprödes Bruchverhalten. Ein großer Nachteil bei dieser Mörtelart ist der Festigkeitsverlust bei zyklischen Beanspruchungen. Hier kann dieser ca. 67 % an Schubtragfähigkeit verlieren.

Die Mörtelart **M10**: Besitzt auch eine hohe Festigkeitsklasse. Von allen fünf Mörtelarten besitzt M10 die höchste Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit. Bei dieser Mörtelart kam es meist zu einem abrupten Versagen, meist durch ein Steinversagen verursacht. Der große Nachteil bei dieser Mörtelart ist, dass der Festigkeitsverlust bei zyklischen Beanspruchungen extrem ist. Hier kann dieser ca. 73 % an Schubtragfähigkeit verlieren.

Die Mörtelart **KM**: Besitzt eine niedrige Festigkeitsklasse und hat die Fähigkeit, nur geringe Schubbelastungen aufzunehmen, da schon bei geringen horizontalen Lasten das System versagt. Beim Versagen dieser Mörtelart entstanden lediglich Mikrorisse bei der ersten Versuchsdurchführung. Weiters kann man sagen, dass diese Mikrorisse sehr schnell zunehmen und zu Makrorissen anwachsen.

Abschließend sieht man bei diesen Versuchen, dass Mauerwerk generell nicht sehr gut für zyklische Beanspruchungen geeignet ist, da die Verschiebungen und Risse (sehr spontan) sehr abrupt und unregelmäßig entstehen. Dies ist eine problematische Eigenschaft des Mauerwerks, da man nicht vorhersagen kann, welchen Verlauf auftretende Risse nehmen und wie groß die Rissweiten werden können. Dies ist sicherlich ein Grund, weshalb im Eurocode sehr hohe Sicherheitswerte verwendet werden. Aus den Versuchen wird ersichtlich, dass die ermittelten Versuchsergebnisse sehr nahe an die vorgegebenen Werte des Eurocodes ohne Berücksichtigung der Sicherheitsbeiwerte herankommen. Somit ist festzustellen, dass die Versuchsergebnisse sehr wohl realitätsgetreu sind.

A Anhang (detaillierte Messergebnisse der Versuche)

A.1 Versuchsreihe mit Mörtel PM10

Versuchskörper Nr. 1

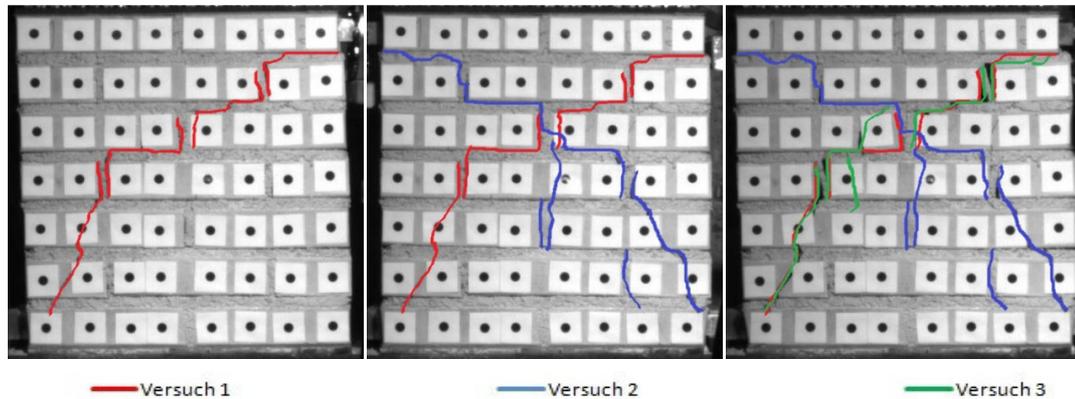


Abb. A.1: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

In der oberen Abb. A.1 sieht man, dass die rot markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) haben. Interessant ist dabei, dass die Stoßfugen versagt haben. Nach der vierten Reihe ist der Verlauf viel steiler und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Die blau markierten Risse entstanden beim zweiten Versuch. Wie auf der Abb. A.1 sehr gut zu sehen ist, haben die Diagonallrisse einen fast symmetrischen Verlauf bezogen auf die rot markierten Risse im ersten Versuch. Zusätzlich sind noch ein paar kleine Risse in der Mitte des Versuchskörpers entstanden. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch vergrößert sind. Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt .

Tabelle A.1: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	95,90 KN	71,51 KN	40,59 KN
Max. H Kraft	55,60 KN	40,74 KN	16,36 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 11,47 mm	P1: -13,77mm	P1: 9,53 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 9,99 mm	P1: -13,77mm	P1: 9,53 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 7,02 mm	P24: -4,04 mm	P40: 3,82 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 6,98 mm	P24: -4,04 mm	P40: 3,82 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 14,22 mm	P1: -19,18 mm	P5: 19,85 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P8: 7,02 mm	P24: -4,54 mm	P25: 4,35 mm

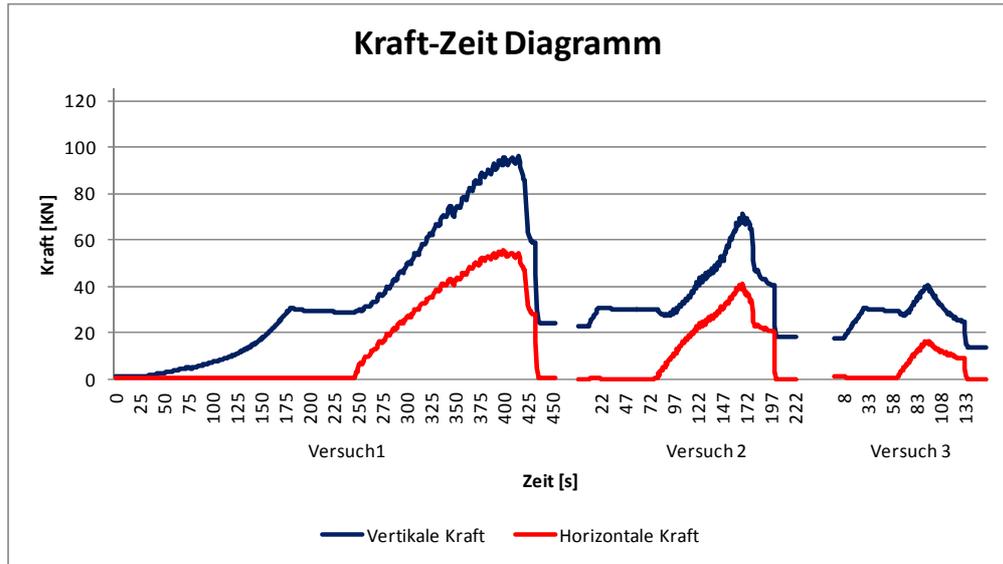


Abb. A.2: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

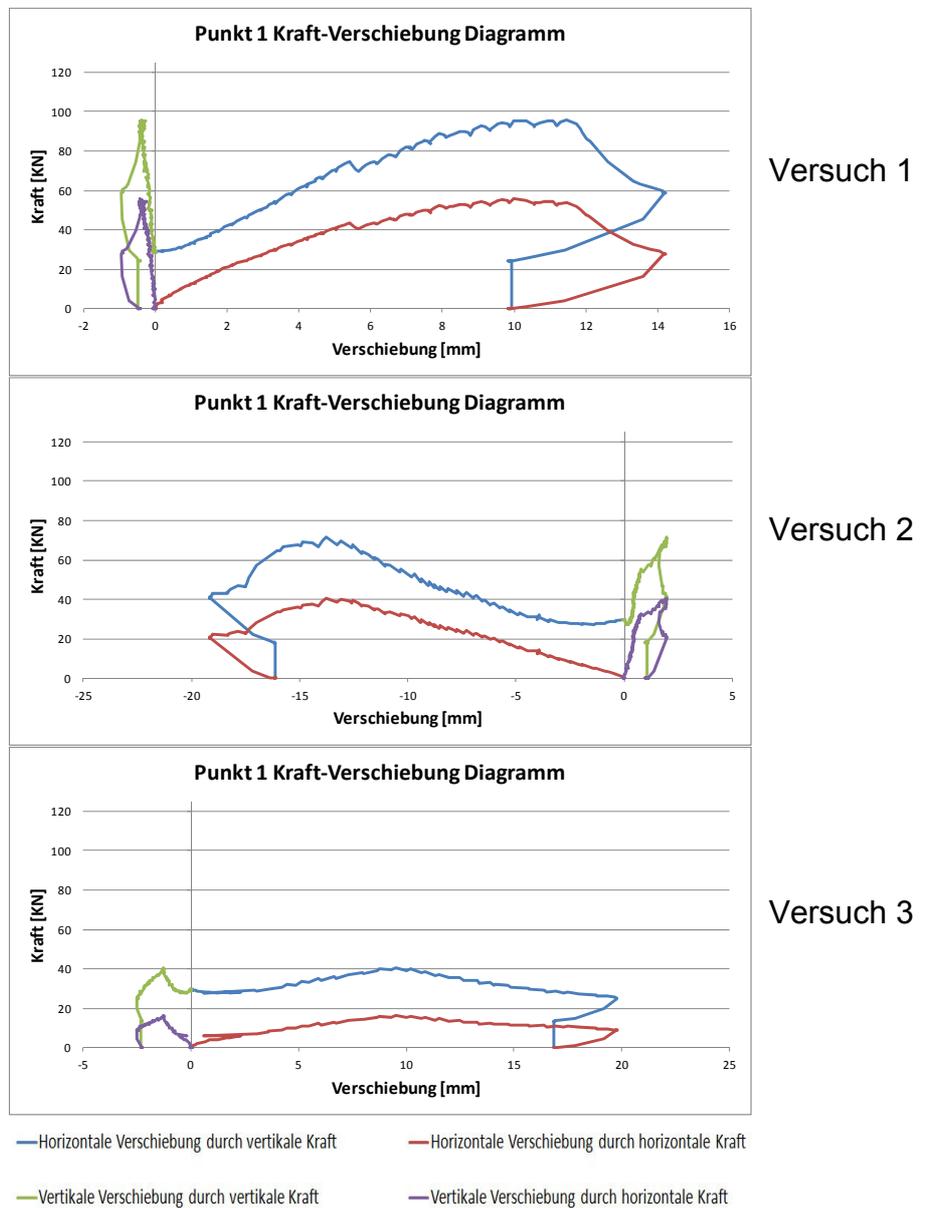


Abb. A.3 Kraft-Verschiebung-Diagramm

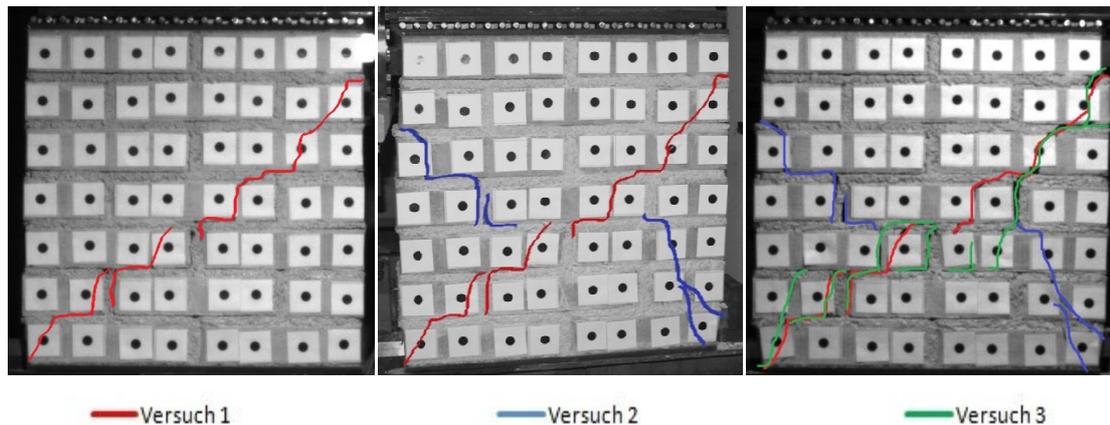
Versuchskörper Nr. 2

Abb. A.4: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Hier sieht man, dass die Rissverläufe unterschiedlich zu den Rissverläufen vom Versuchskörper Nr.1 sind (siehe Abb. A.4). Die rot markierten Risse, die beim ersten Versuch entstanden sind, haben einen sehr steilen Verlauf und bilden eine Diagonale zum Gegenlager. Hier gehen die Risse durch die Ziegeln. Die blau markierten Risse, die auf der Abb. sehr gut zu erkennen sind, kann man in zwei Bereiche teilen. Ein Bereich ist oberhalb des rot markierten Risses, der sich erst bei der zweiten Ziegelreihe ausgebildet hat und ein zweiter Bereich befindet sich unterhalb des rot markierten Risses. Diese Risse gehen durch die Ziegeln. Die grün markierten Risse zeigen, dass sich die Rissweiten beim ersten Versuch um ein Vielfaches vergrößert haben. Es ergaben sich auch in der Mitte der Versuchskörper neue Risse, die grün dargestellt wurden.

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.2: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	99,42 KN	85,22 KN	59,28 KN
Max. H Kraft	57,23 KN	62,70 KN	35,43 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 9,37 mm	--	P2: 8,73 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 9,37 mm	--	P2: 8,73 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P5: 7,17 mm	--	P32: 4,59 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P5: 7,17 mm	--	P32: 4,59 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 10,24 mm	--	P1: 13,86 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P5: 7,37 mm	--	P32: 4,59 mm

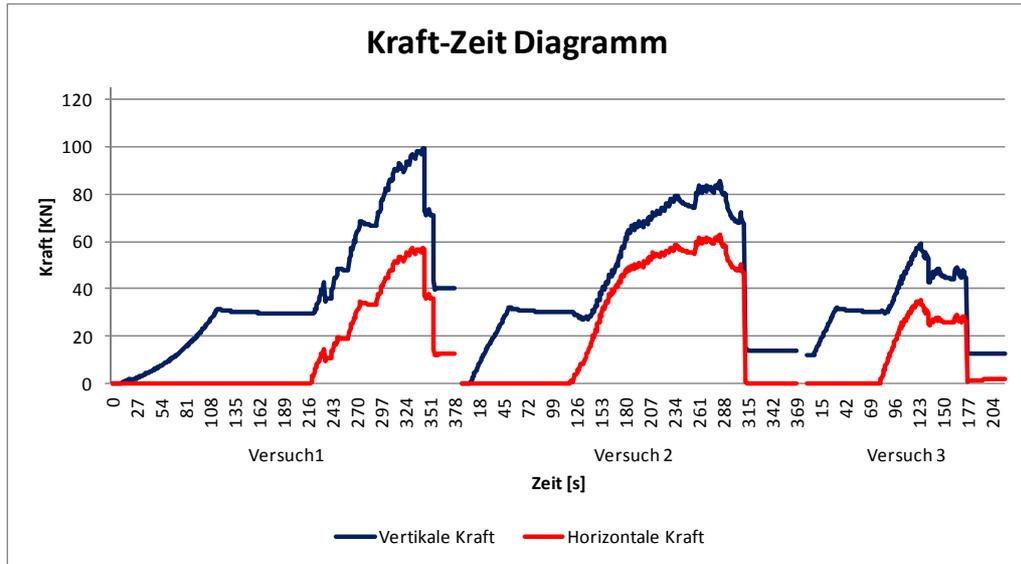


Abb. A.5: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

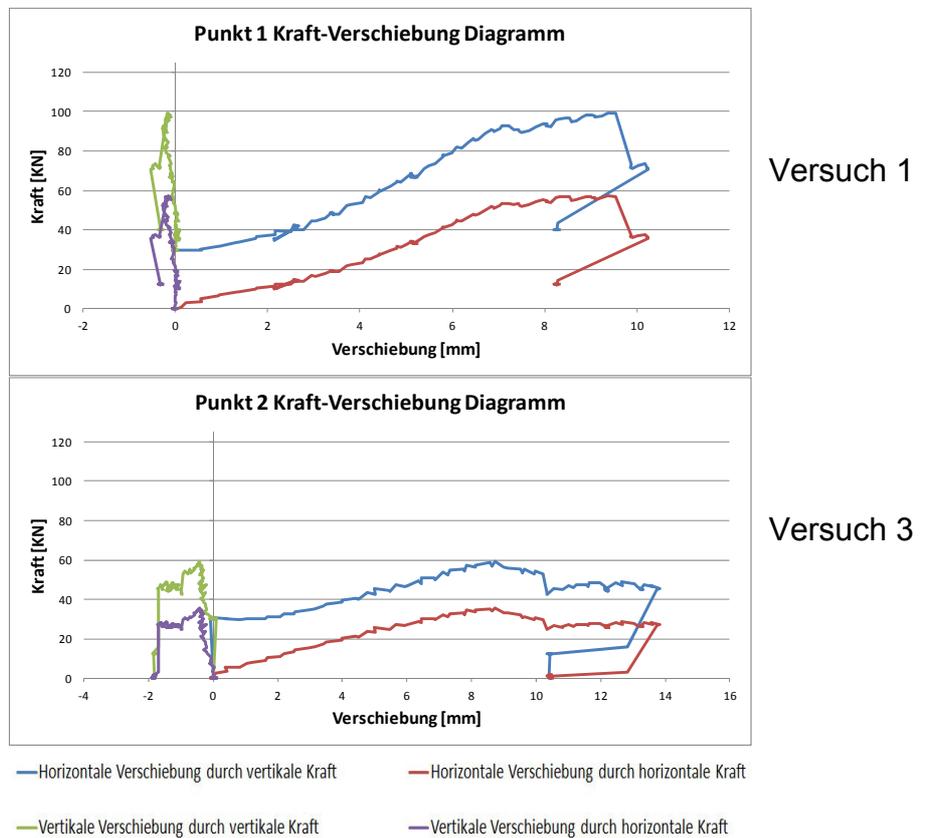


Abb. A.6 Kraft-Verschiebung-Diagramm

Durch einen technischen Fehler von dem Programm VideoEx hat man keine Messwerte für die Verschiebungen beim zweiten Versuch bekommen.

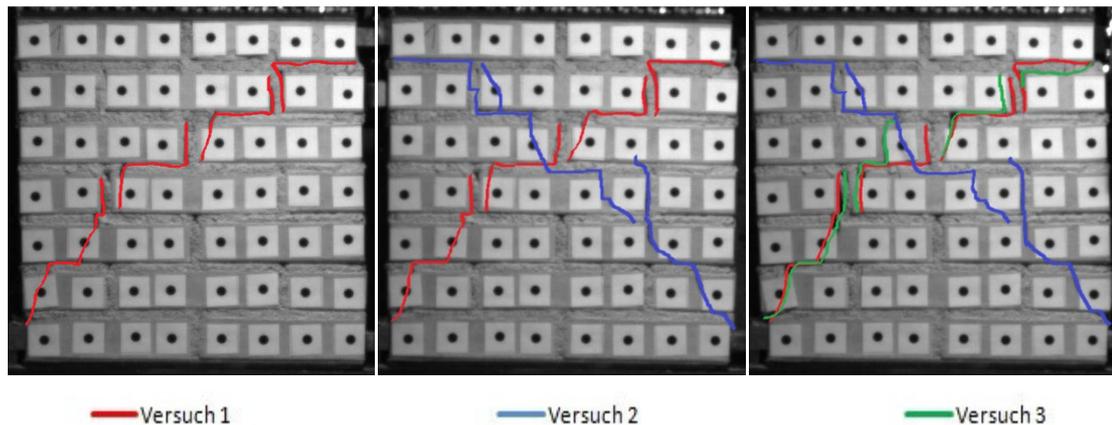
Versuchskörper Nr. 3

Abb. A.7: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man ähnliche Rissverläufe wie beim Versuchskörper Nr.1. Hier haben die rot markierten Risse auch einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) und die Stoßfugen haben ebenfalls versagt. Nach der vierten Reihe ist der Verlauf gleich steil wie beim Versuchskörper Nr.1 und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Die blau markierten Risse haben einen fast symmetrischen Verlauf bezogen auf die rot markierten Risse im ersten Versuch. Im Gegensatz zum Versuchskörper Nr.1 sind hier keine weiteren Risse als die Diagonalrisse sichtbar. Beim dritten Versuch sind die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind, vergrößert worden. Es ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls mit grüner Farbe nachgezogen sind (siehe Abb. A.7).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.3: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	78,77 kN	65,29 kN	40,59 kN
Max. H Kraft	47,99 kN	41,01 kN	16,36 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 8,04 mm	P1: -11,09mm	P2: 10,33 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 7,81 mm	P1: -10,99mm	P2: 10,33 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 6,04 mm	P16: -4,71 mm	P32: 4,02 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 5,93 mm	P16: -4,77 mm	P32: 4,02 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 13,4 mm	P1: -14,72 mm	P2: 18,62 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 6,04 mm	P16: -5,11 mm	P16: 5,14 mm

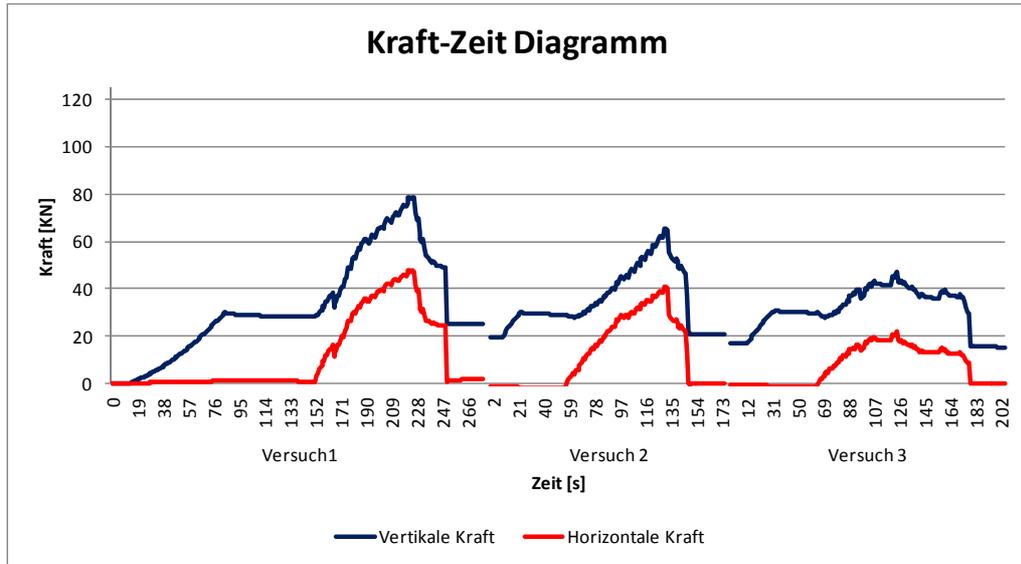


Abb. A.8: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

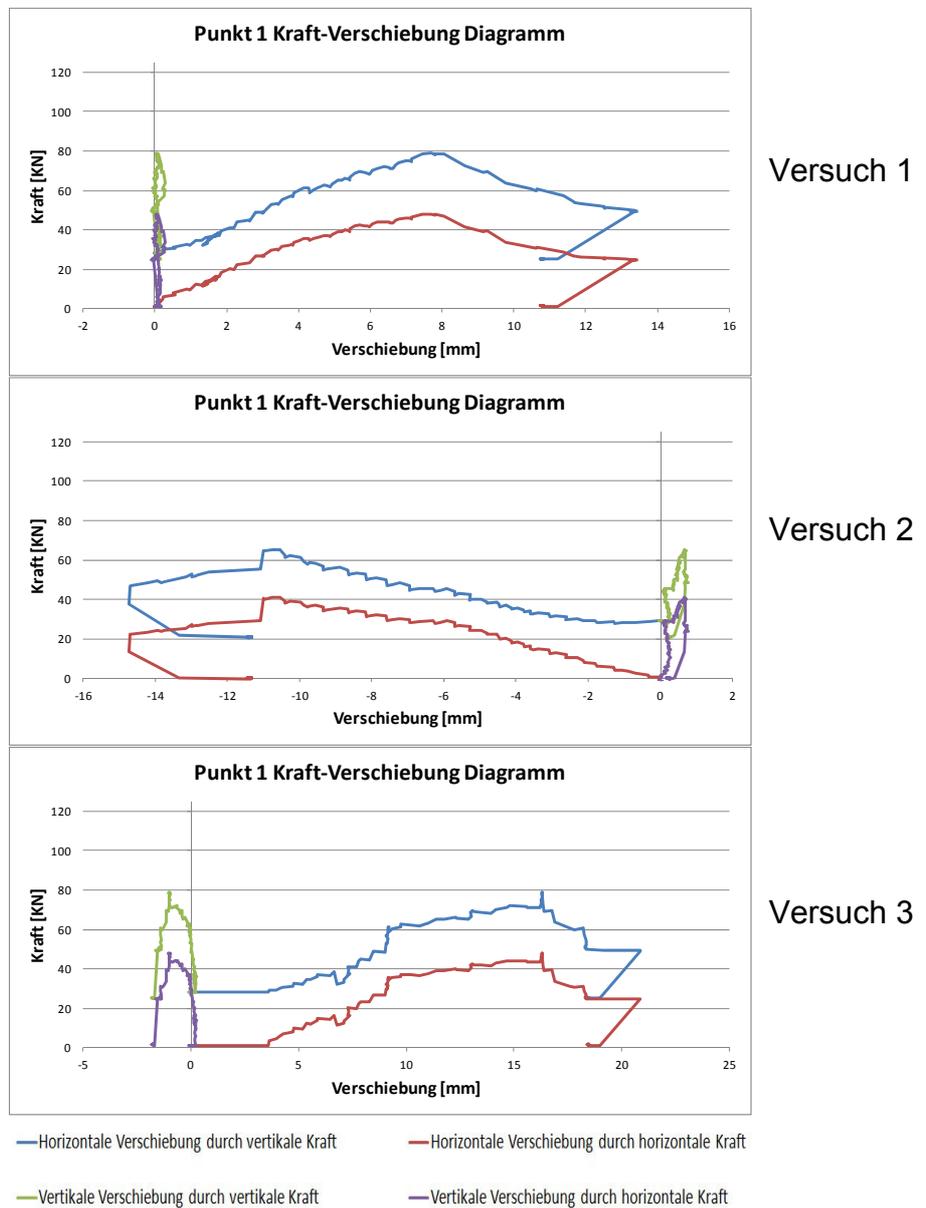


Abb. A.9 Kraft-Verschiebung-Diagramm

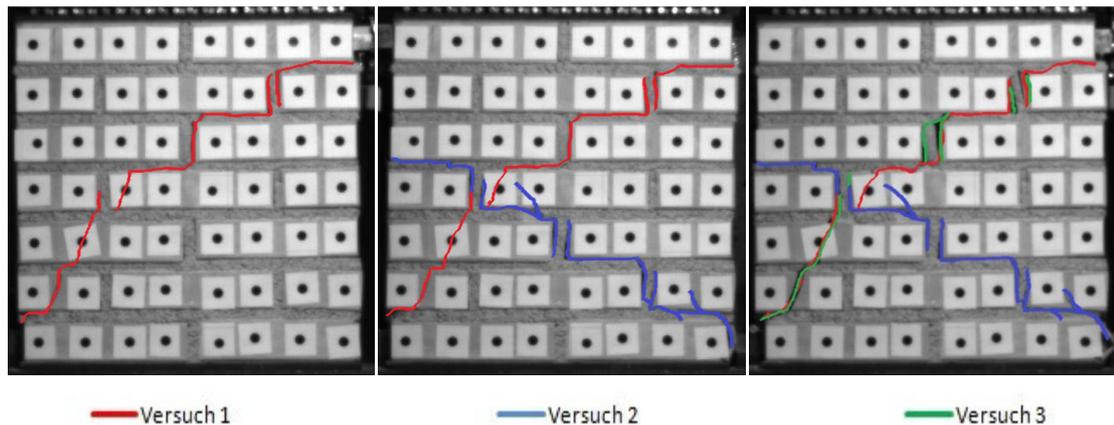
Versuchskörper Nr. 4

Abb. A.10: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man ähnliche Rissverläufe wie beim Versuchskörper Nr. 1 im ersten Versuchsdurchlauf. Interessant ist hier, dass beim zweiten Versuch die entstandenen Risse erst ab der dritten Reihe (von oben gesehen) beginnen und einen treppenförmigen Verlauf bis zur unteren Ecke haben. Hier kann man gut sehen, dass die Stoßfugen versagt haben. Beim dritten Versuch bildeten sich keine neue Risse, es wurden nur die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind, vergrößert (siehe Abb. A.10).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.4: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	80,09 kN	71,85 kN	48,58 kN
Max. H Kraft	49,37 kN	42,08 kN	21,85 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 4,0 mm	P1: -9,47mm	P8: 8,25 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 4,40 mm	P1: -9,47mm	P8: 8,25 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 3,91 mm	P16: -2,99 mm	P16: 3,52 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 3,91 mm	P16: -2,99 mm	P16: 3,52 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 10,24 mm	P1: -16,95 mm	P8: 15,79 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 3,91 mm	P16: -4,05 mm	P16: 4,44 mm

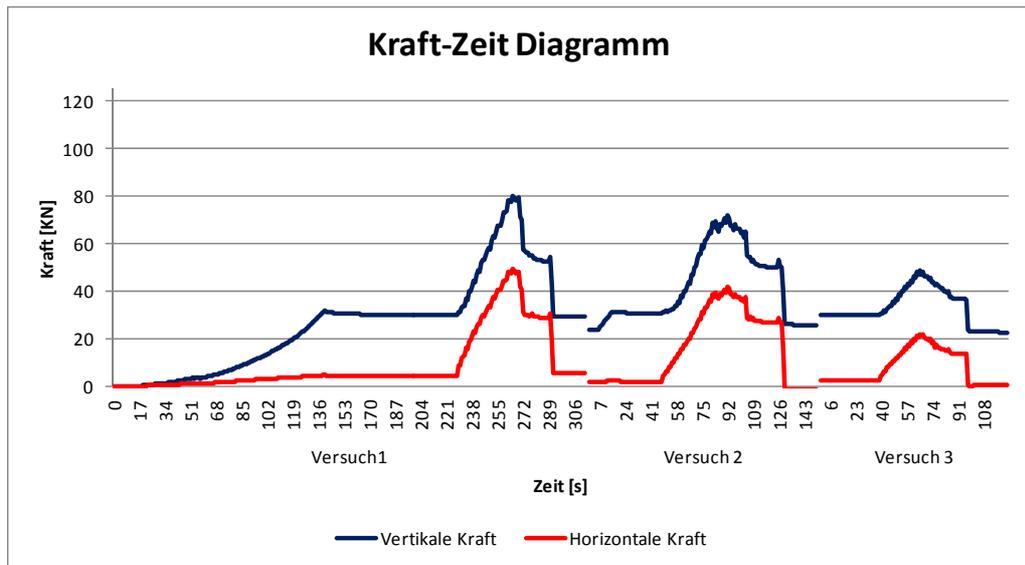


Abb. A.11: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

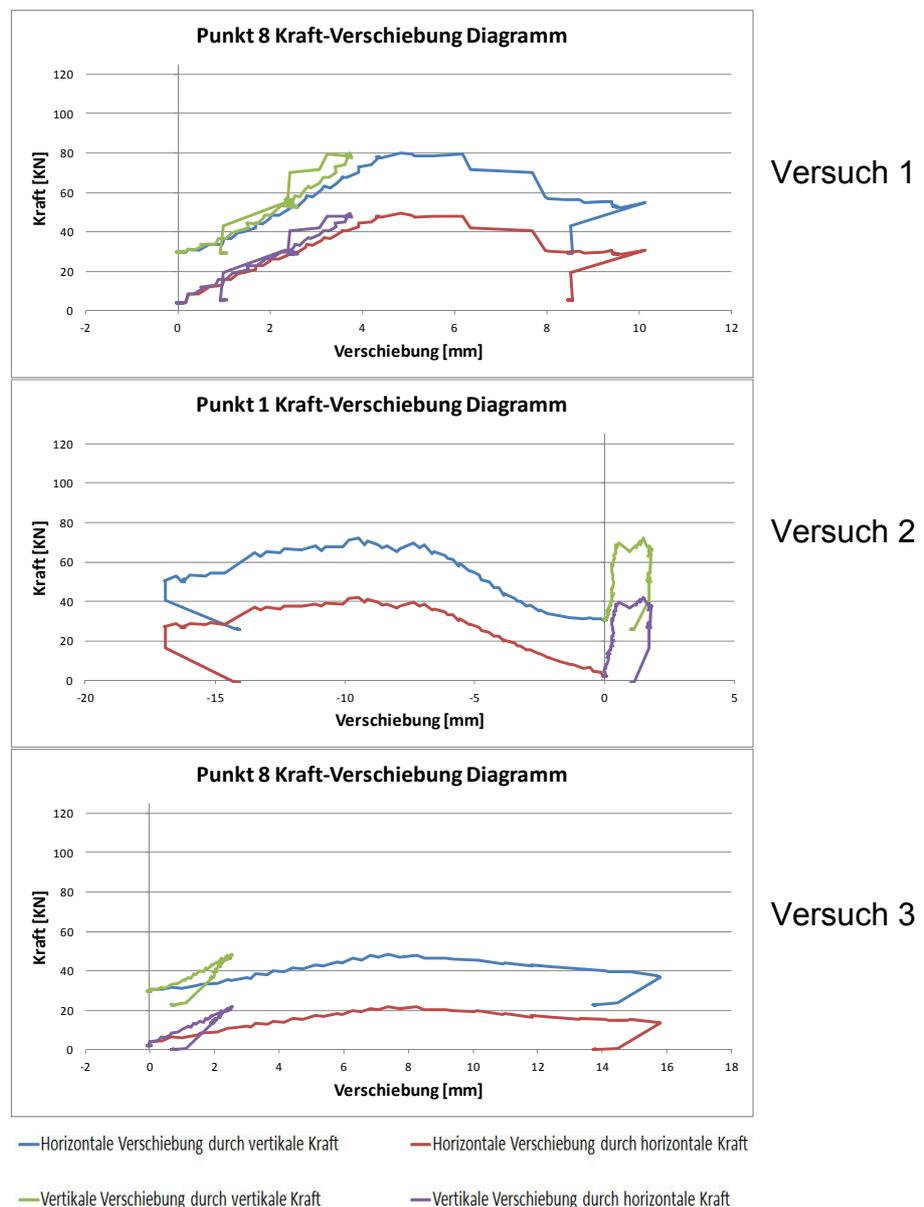


Abb. A.12 Kraft-Verschiebung-Diagramm

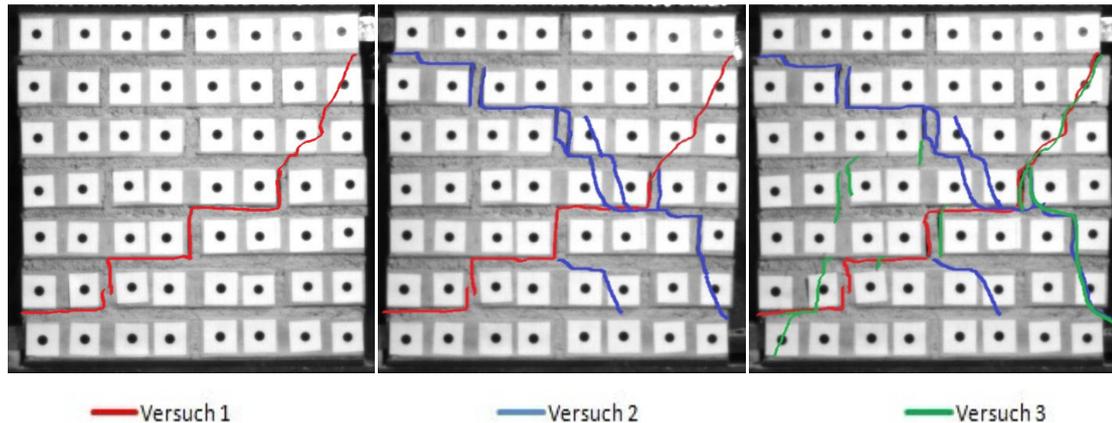
Versuchskörper Nr. 5

Abb. A.13: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

In der oberen Abb. A.13 sieht man, dass die rot markierten Risse, die beim ersten Versuch entstanden sind, einen sehr steilen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen) haben. Es ist außerdem sichtbar, dass die Steine versagt haben. Danach bildet sich ein treppenförmiger Rissverlauf bis zum Endlager. Hier haben die blau markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) und auch ein Stoßfugenversagen. Nach der vierten Reihe ist der Verlauf viel steiler und der Riss zieht sich durch die Ziegeln. Beim dritten Versuch sieht man, dass die Rissweiten, die beim ersten und auch beim zweiten Versuch entstanden sind, vergrößert wurden. Des Weiteren wird durch die Vergrößerung der Rissweiten deutlich, dass die linke Seite sich vom Versuchskörper getrennt hat und keine Haftung mehr besitzt.

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.5: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	87,58 kN	66,53 kN	57,23 kN
Max. H Kraft	54,09 kN	43,98 kN	25,69 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 5,51 mm	P1: -11,25mm	P2: 14,56 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 5,51 mm	P1: -11,25mm	P1: 10,44 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P32: 4,53 mm	P16: -4,92 mm	P16: 3,24 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P32: 4,53 mm	P16: -4,92 mm	P32: 4,58 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 9,55 mm	P1: -18,71 mm	P2: 14,69 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 4,53 mm	P16: -5,24 mm	P32: 5,35 mm

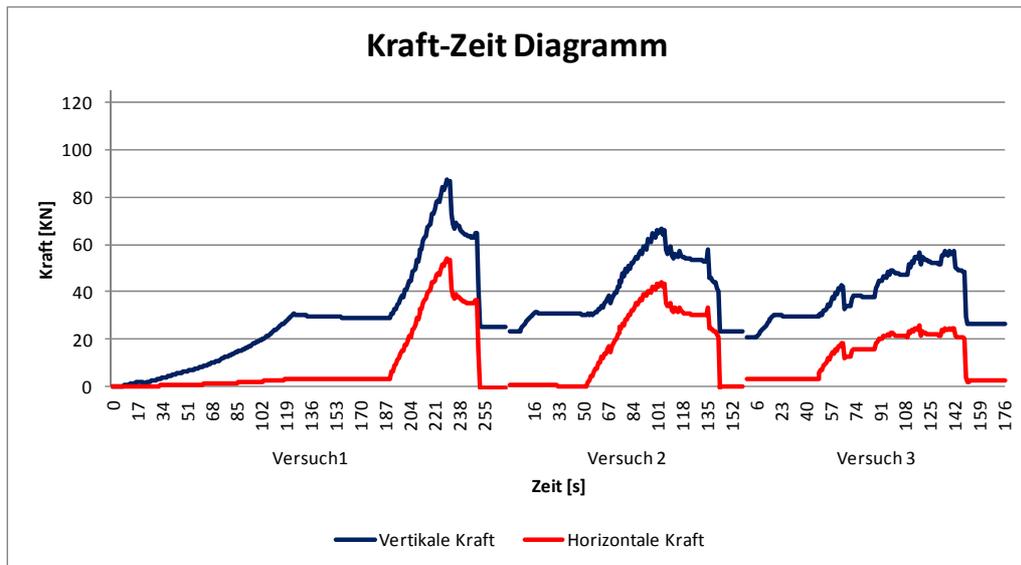


Abb. A.14: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

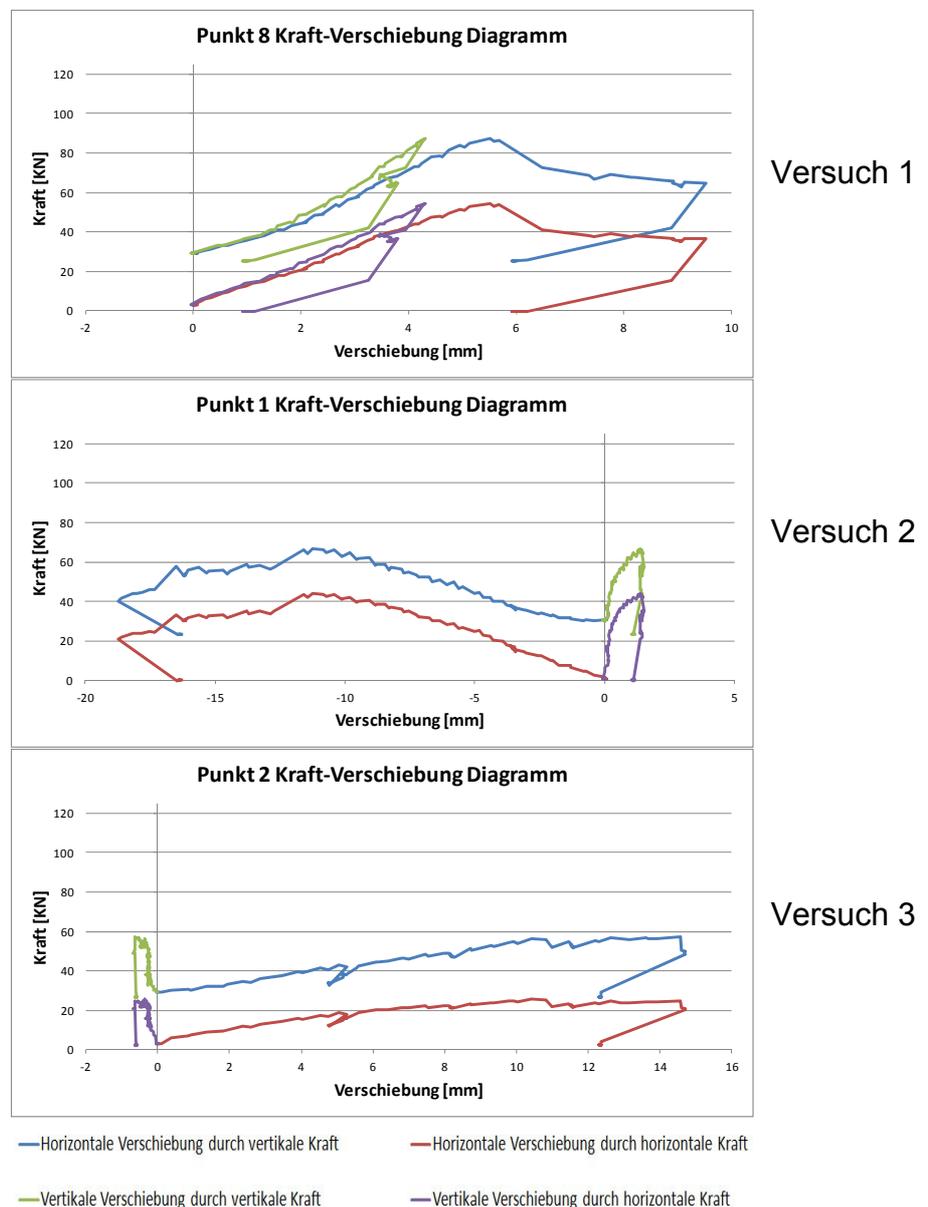


Abb. A.15 Kraft-Verschiebung-Diagramm

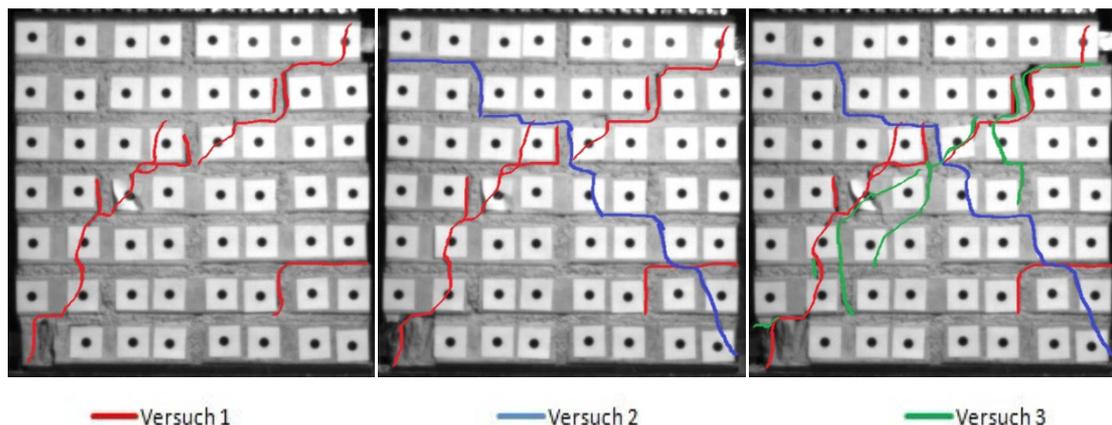
Versuchskörper Nr. 6

Abb. A.16: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper haben die rot markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen). Nach der dritten Reihe ist der Verlauf wieder sehr steil und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Hier sieht man, dass die Steine versagt haben. Interessant bei diesem Versuch ist, dass ein Riss in der Lager- und Stoßfuge im unteren linken Bereich des Versuchskörper entstand. Im zweiten Versuch haben die blau markierten Risse einen treppenförmiges Verlauf bis zur fünften Reihe (von oben gesehen) und erst dann bildet sich ein steiler Riss bis zum Endlager. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch sich um ein vielfaches vergrößert haben. Es ergaben sich auch in der Mitte der Versuchskörper neue Diagonalrisse (siehe Abb. A.16).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.6: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	102,22 KN	56,98 KN	58,79 KN
Max. H Kraft	60,67 KN	34,59 KN	20,63 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 14,44 mm	P1: -10,73mm	P1: 12,97 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 14,44 mm	P1: -10,73mm	P1: 12,97 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P32: 10,19 mm	P41: -1,62 mm	P41: -3,19 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P32: 10,19 mm	P41: -1,62 mm	P41: -3,19 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 18,73 mm	P1: -10,95 mm	P1: 14,85 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 10,43 mm	P41: -1,70 mm	P41: 3,54 mm

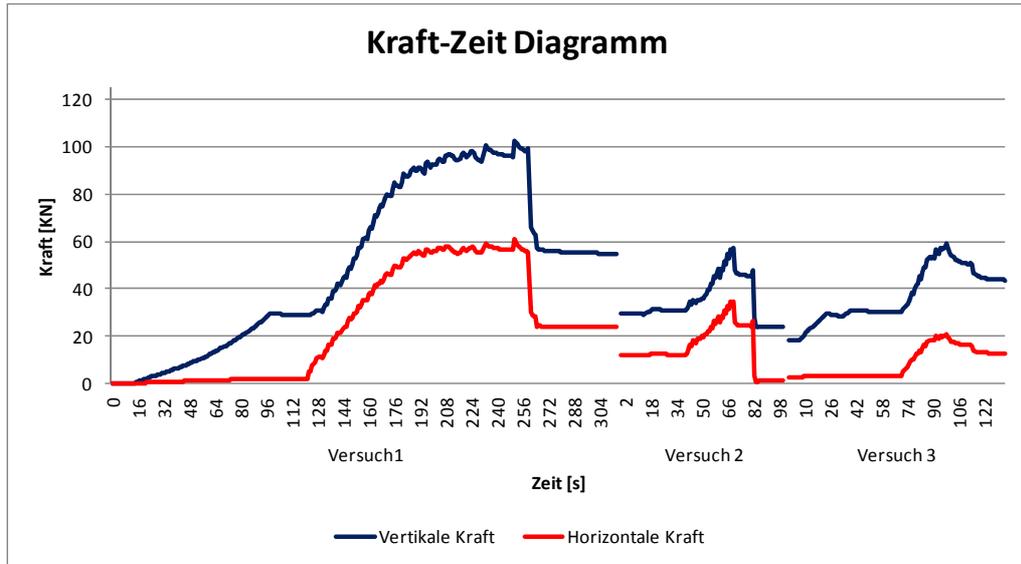


Abb. A.17: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

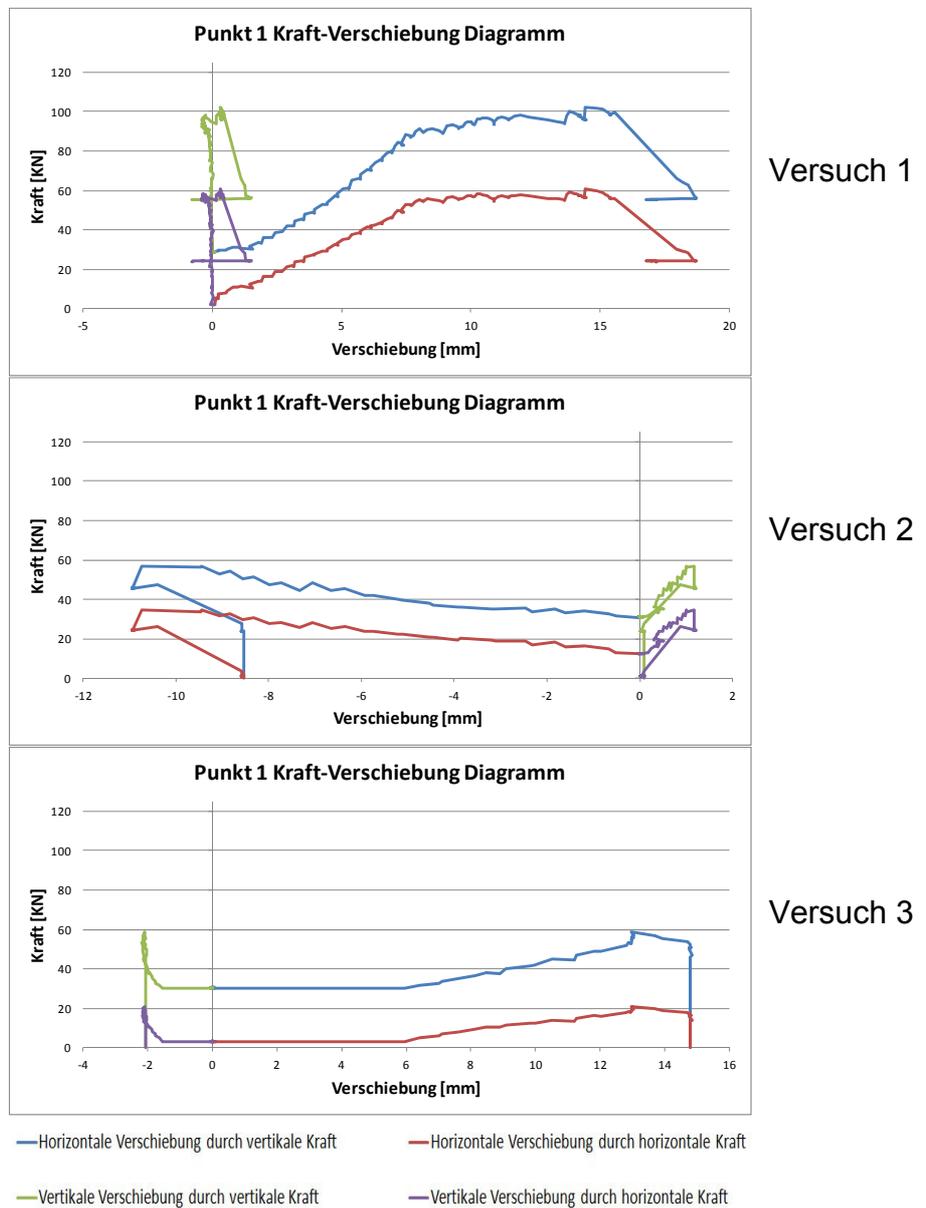


Abb. A.18 Kraft-Verschiebung-Diagramm

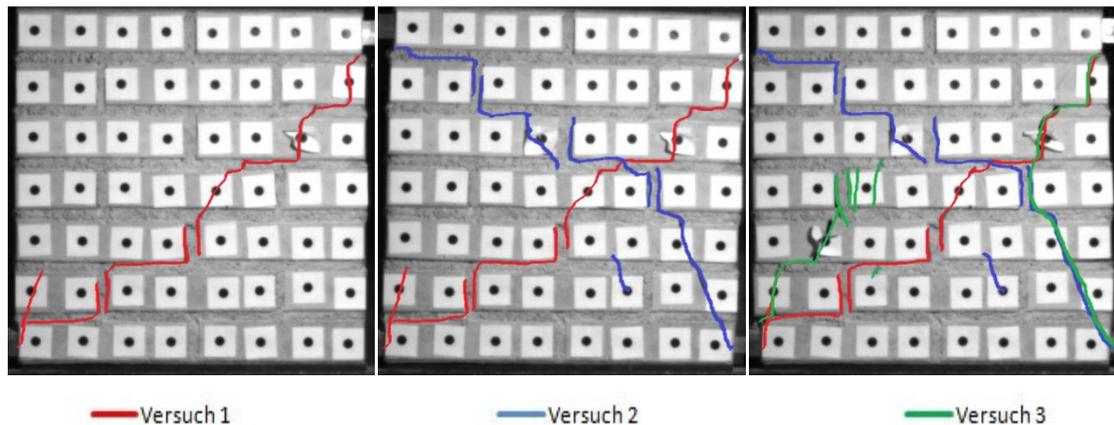
Versuchskörper Nr. 7

Abb. A.19: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Hier sieht man, dass das Rissbild der drei Versuche sehr ähnlich zu den Rissbildern vom Versuchskörper Nr. 5 ist. Die rot markierten Risse haben einen sehr steilen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen). Hier sieht man, dass ein Steinversagen vorliegt. Danach bildet sich ein treppenförmiger Rissverlauf bis zum Endlager. Die blau markierten Risse bilden einen treppenförmigen Rissverlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen). Hier gibt es wieder ein Stoßfugenversagen. Nach der vierten Reihe ist der Verlauf wieder sehr steil und der Riss zieht sich durch die Ziegeln. Beim dritten Versuch sieht man, dass die Rissweiten, die beim ersten und auch beim zweiten Versuch entstanden sind, vergrößert wurden. Besonders deutlich wird hier, dass durch die Vergrößerung der Rissweiten, sich die linke Seite vom Versuchskörper getrennt hat und somit keine Haftung mehr besitzt (siehe Abb. A.19). Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.7: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	102,55 kN	89,39 kN	78,04 kN
Max. H Kraft	59,37 kN	50,90 kN	37,99 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 5,91 mm	P1: -12,26mm	P1: 14,73 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 5,91 mm	P1: -12,26mm	P1: 14,11 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 5,01 mm	P16: -5,67 mm	P16: 6,38 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 5,01 mm	P16: -5,67 mm	P16: 6,18 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 9,43 mm	P1: -17,07 mm	P1: 20,14 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 5,37 mm	P41: -5,67 mm	P16: 6,85 mm

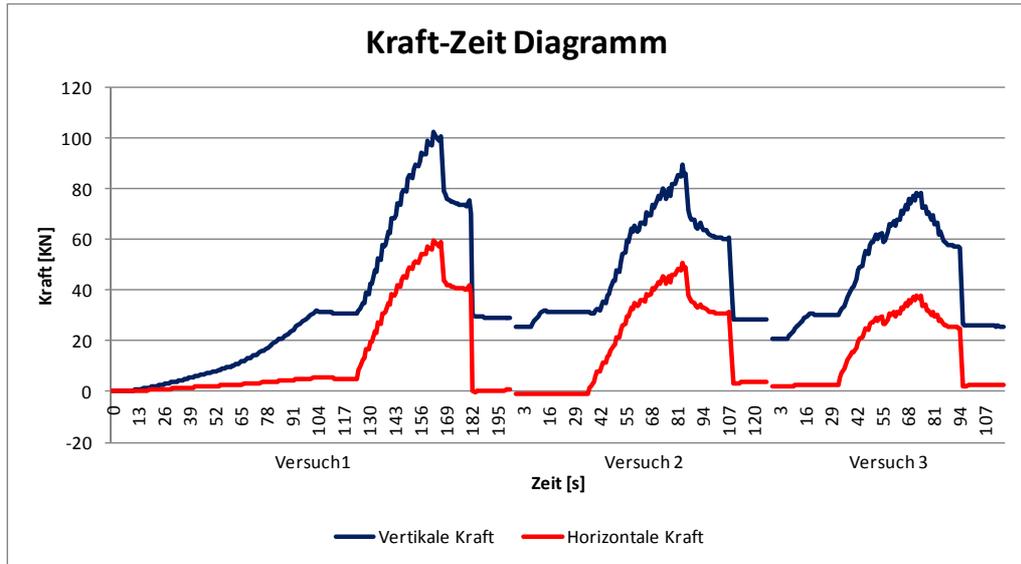


Abb. A.20: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

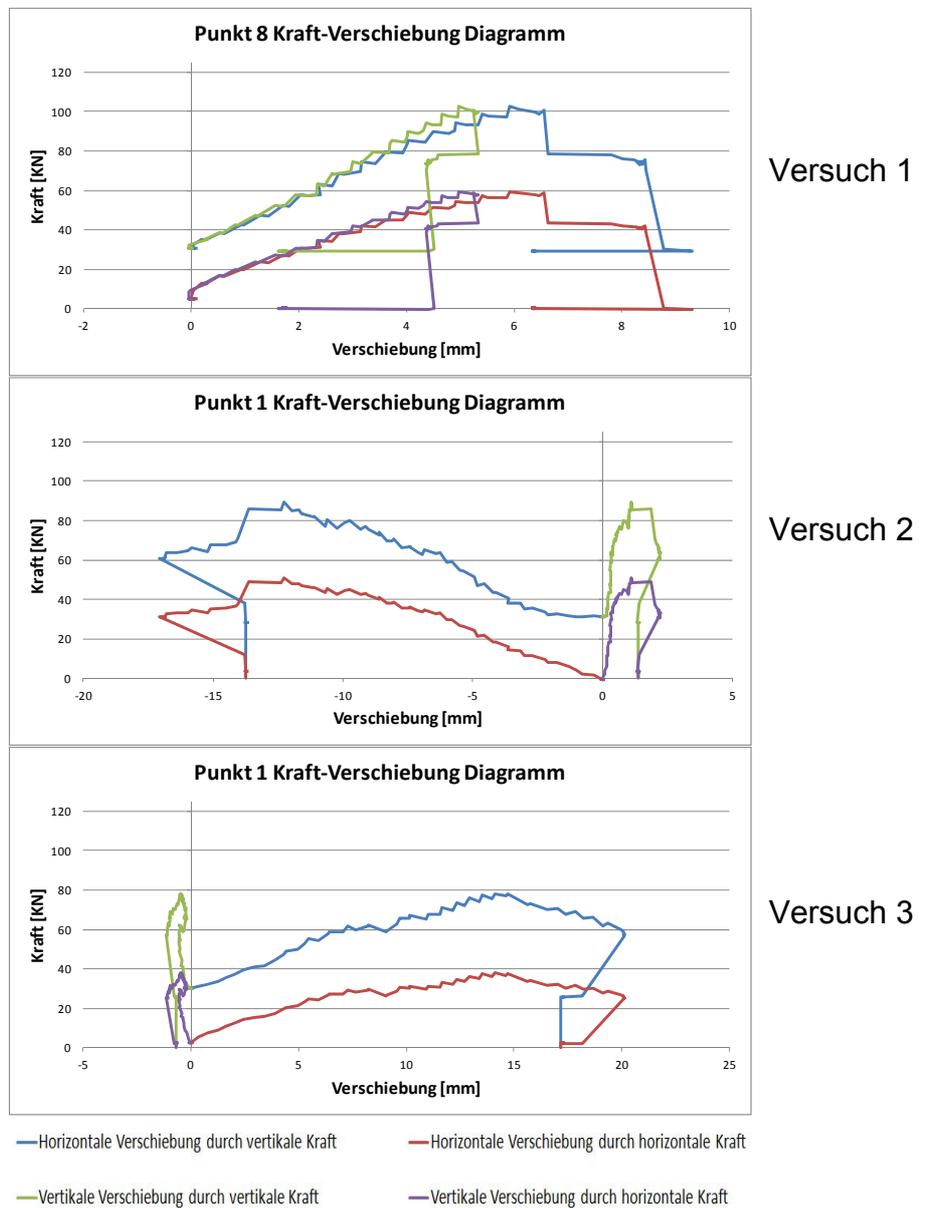


Abb. A.21 Kraft-Verschiebung-Diagramm

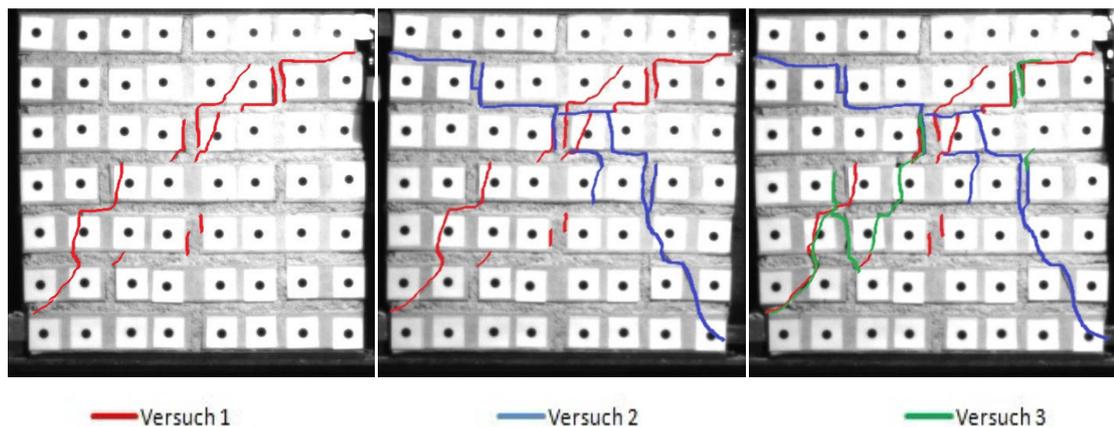
Versuchskörper Nr. 8

Abb. A.22: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper zeigen die rot markierten Risse keinen fortlaufenden Verlauf. Man sieht dabei, dass beim oberen Teil ein Stoßfugenversagen und im unteren Bereich ein Steinversagen vorliegt. Interessant bei diesem Versuch ist weiters, dass viele kleine Risse entstanden sind. Im zweiten Versuch haben die blau markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen) und erst dann bildet sich ein steiler Riss bis zum Endlager. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch sich um ein Vielfaches vergrößert haben. Es ergaben sich auch in der Mitte der Versuchskörper neue Diagonallrisse (siehe Abb. A.22).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.8: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	105,41 KN	78,44 KN	60,92 KN
Max. H Kraft	50,31 KN	42,85 KN	29,63 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P4: 8,68 mm	P1: -15,01mm	P4: 14,88 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 8,62 mm	P1: -11,62mm	P1: 17,13 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P32: 5,86 mm	P21: 3,12 mm	P32: 5,43 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P32: 5,86 mm	P25: 2,96 mm	P32: 6,09 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 12,20 mm	P1: -16,62 mm	P2: 21,80 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 5,86 mm	P32: -3,57 mm	P32: 6,47 mm

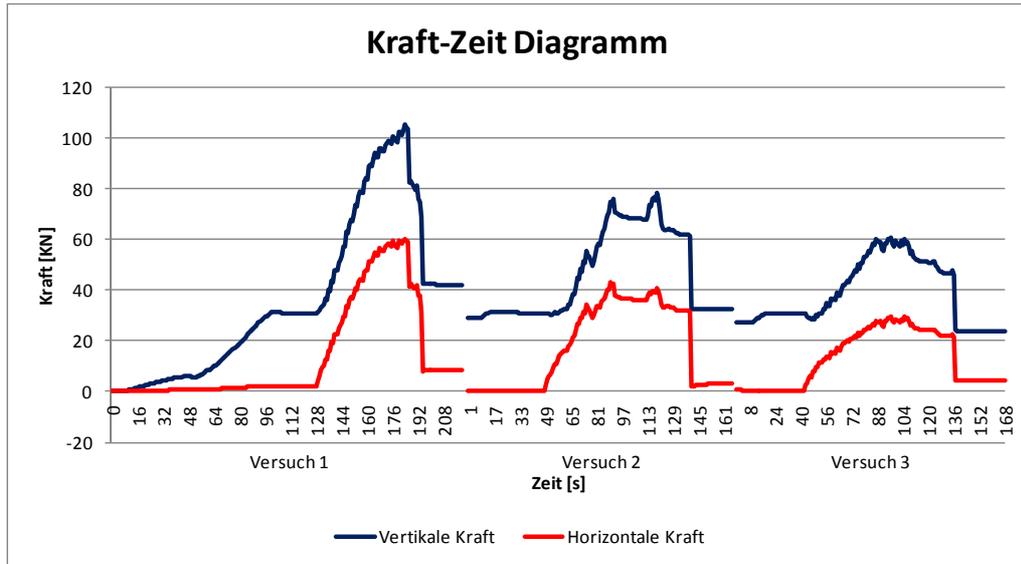


Abb. A.23: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

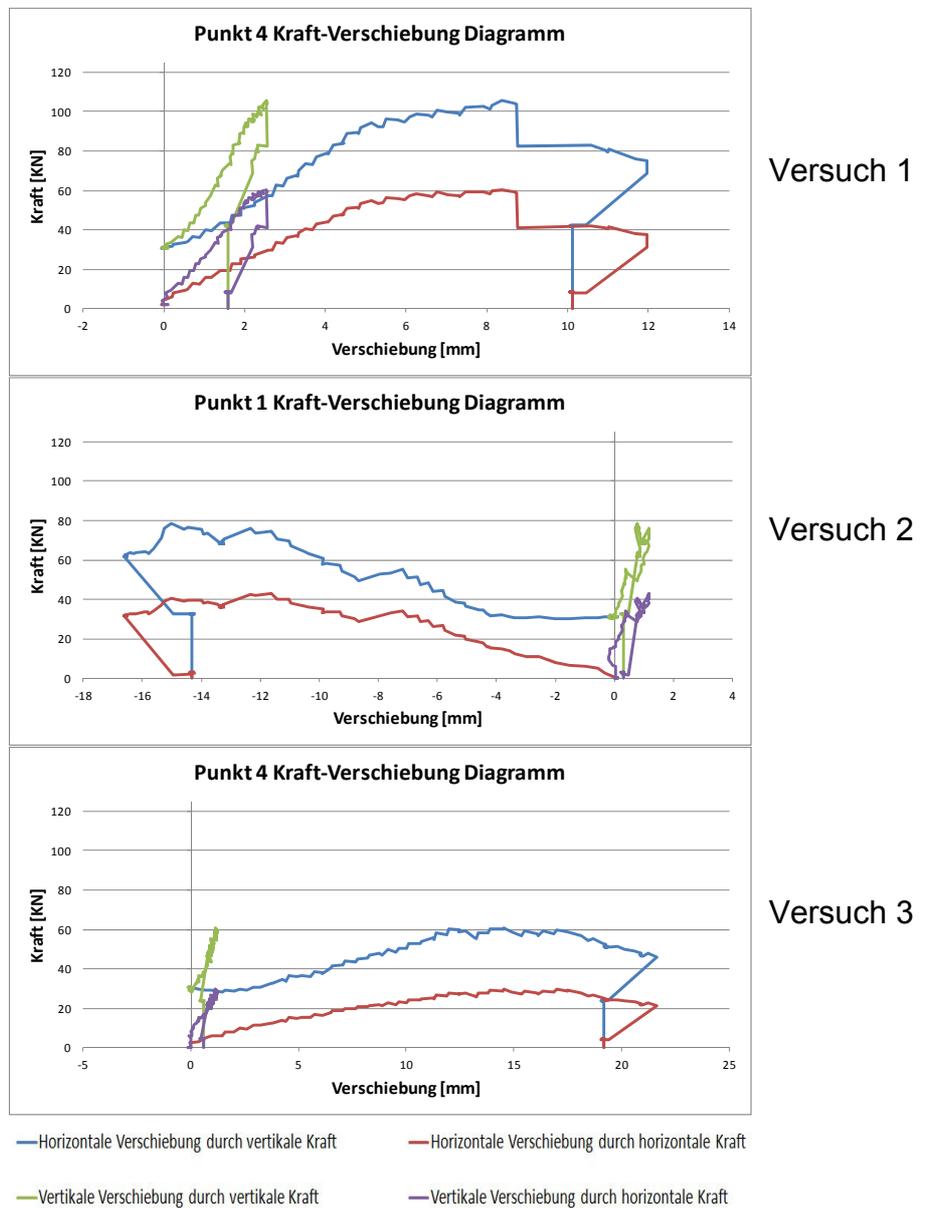


Abb. A.24 Kraft-Verschiebung-Diagramm

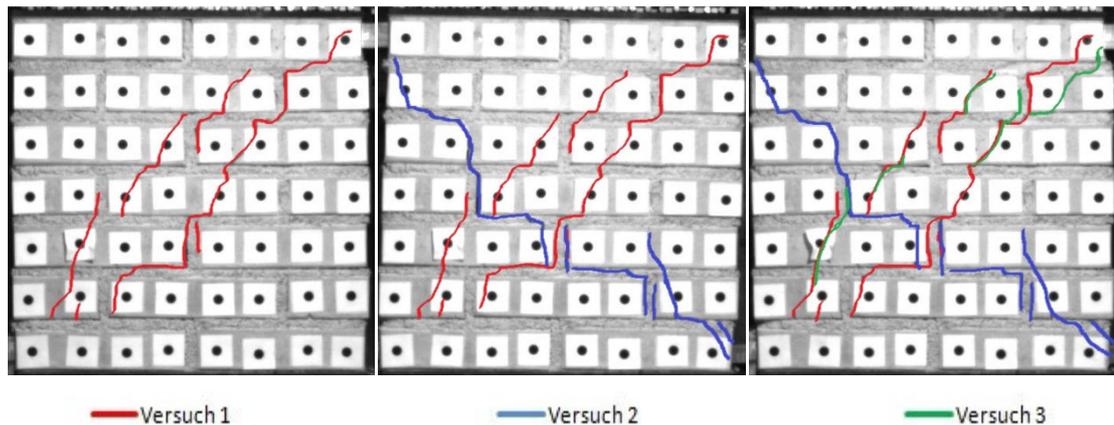
Versuchskörper Nr. 9

Abb. A.25: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Hier sieht man zwei Diagonalrisse, die zueinander parallel sind. Diese rot markierten Risse, die beim ersten Versuch entstanden sind, haben einen sehr steilen Verlauf und zeigen, dass Steinversagen vorliegt. Die blau markierten Risse, die beim zweiten Versuch entstanden sind, haben einen sehr steilen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen). Hier sieht man, dass die Steine versagt haben. Danach bildet sich ein treppenförmiger Rissverlauf bis zum Endlager. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch sich vergrößert haben. Es ergaben sich auch oben beim Kraffteinleitungsbereich der Versuchskörper neue Risse, die ebenfalls nachgezogen wurden. Zu erwähnen ist noch, dass bei diesem Versuchskörper beim ersten Versuch eine vertikale maximale Last von 120 kN erreicht wurde (siehe Abb. A.25).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.9: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	124,23 kN	62,44 kN	88,32 kN
Max. H Kraft	68,40 kN	38,34 kN	44,47 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P4: 12,64 mm	P4: -10,80mm	P1: 14,64 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 12,48 mm	P16: -10,72mm	P1: 14,64 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 6,80 mm	P21: -2,47 mm	P16: 5,95 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 6,80 mm	P16: -2,47 mm	P16: 6,95 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 14,26 mm	P1: -13,61 mm	P1: 16,87 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 6,86 mm	P16: -2,80 mm	P16: 5,95 mm

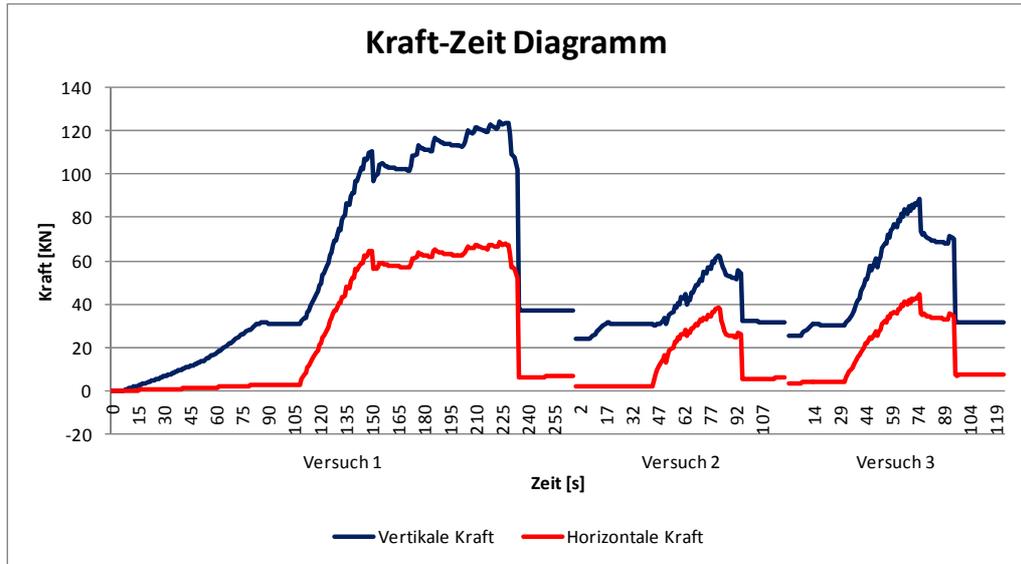


Abb. A.26: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

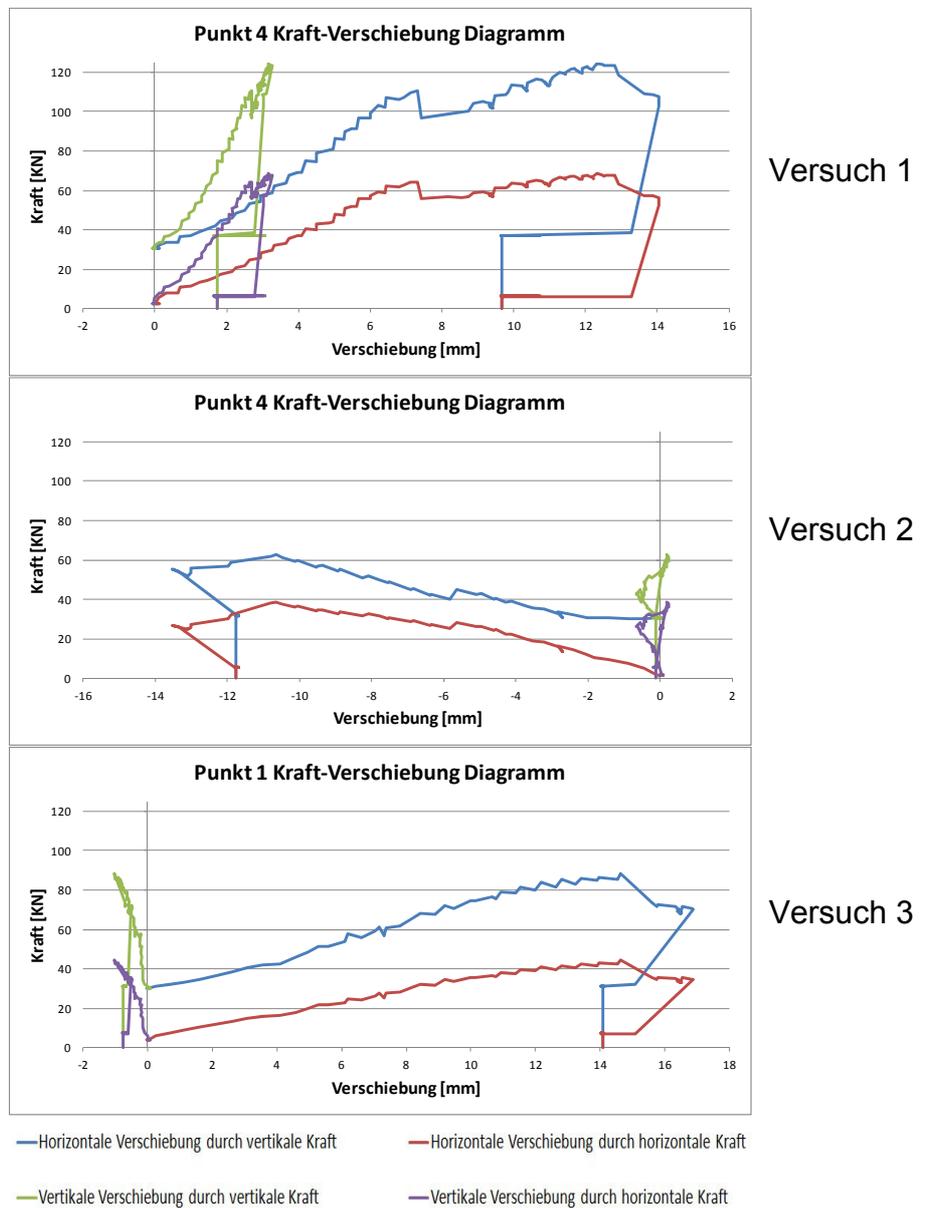


Abb. A.27 Kraft-Verschiebung-Diagramm

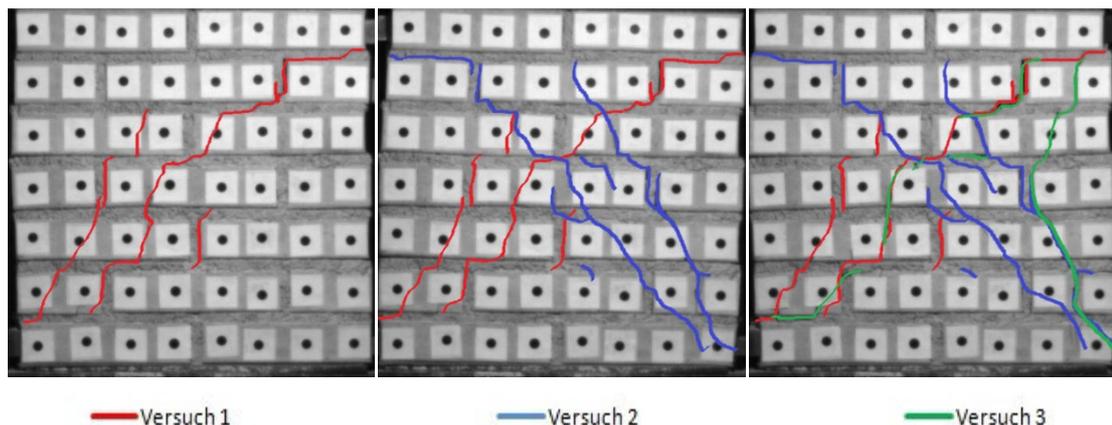
Versuchskörper Nr. 10

Abb. A.28: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Hier haben sich wie bei Versuchskörper Nr. 9 auch zwei parallele Diagonalrisse ergeben. In Unterschied zum Versuchskörper Nr. 9 beginnen diese Diagonalrisse aber erst ab der dritten Reihe. Dabei liegt Steinversagen vor. Die blau markierten Risse, die beim zweiten Versuch entstanden sind, bilden ebenfalls zwei parallele Diagonalrisse und haben einen sehr steilen Verlauf bis zum Endlager. Hier sieht man, dass die Steine versagt sind. Beim dritten Versuch ist zu bemerken, dass die Rissweiten, die beim ersten und auch beim zweiten Versuch entstanden sind, vergrößert wurden. Außerdem sieht man durch die Vergrößerung der Rissweiten, dass sich die linke Seite etwas vom Versuchskörper gelöst hat und keine vollständige Haftung mehr besitzt (siehe Abb. A.28).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.10: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	101,41 kN	84,75 kN	80,98 kN
Max. H Kraft	61,44 kN	48,17 kN	34,50 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 9,80 mm	P8: -16,24mm	P1: 17,94 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 9,80 mm	P8: -16,24mm	P1: 17,94 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 6,58 mm	P32: -6,34 mm	P32: 5,00 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 6,58 mm	P32: -6,34 mm	P32: 5,00 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 13,73 mm	P8: -21,09 mm	P1: 21,95 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 6,65 mm	P32: -6,40 mm	P32: 5,37 mm

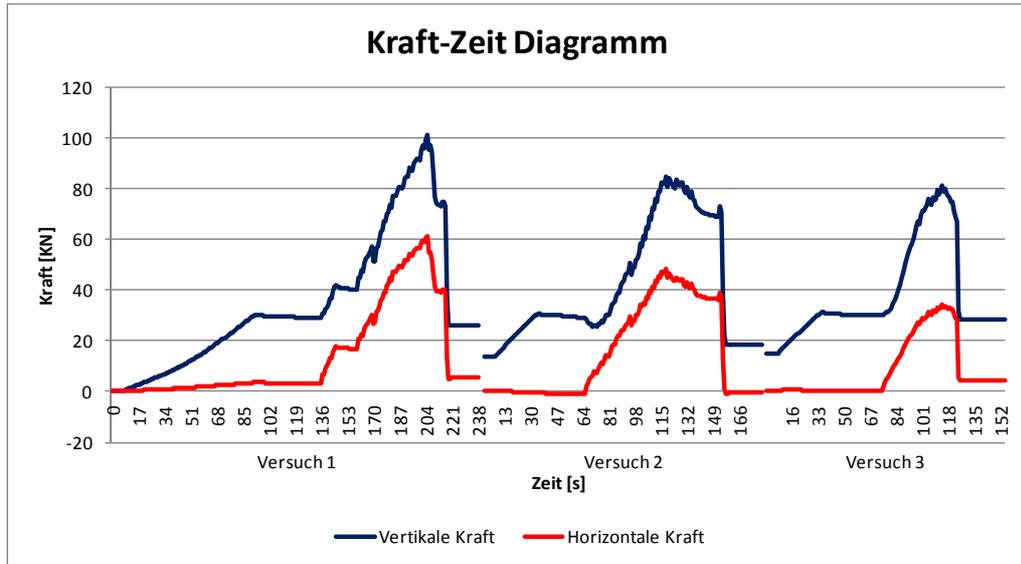


Abb. A.29: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

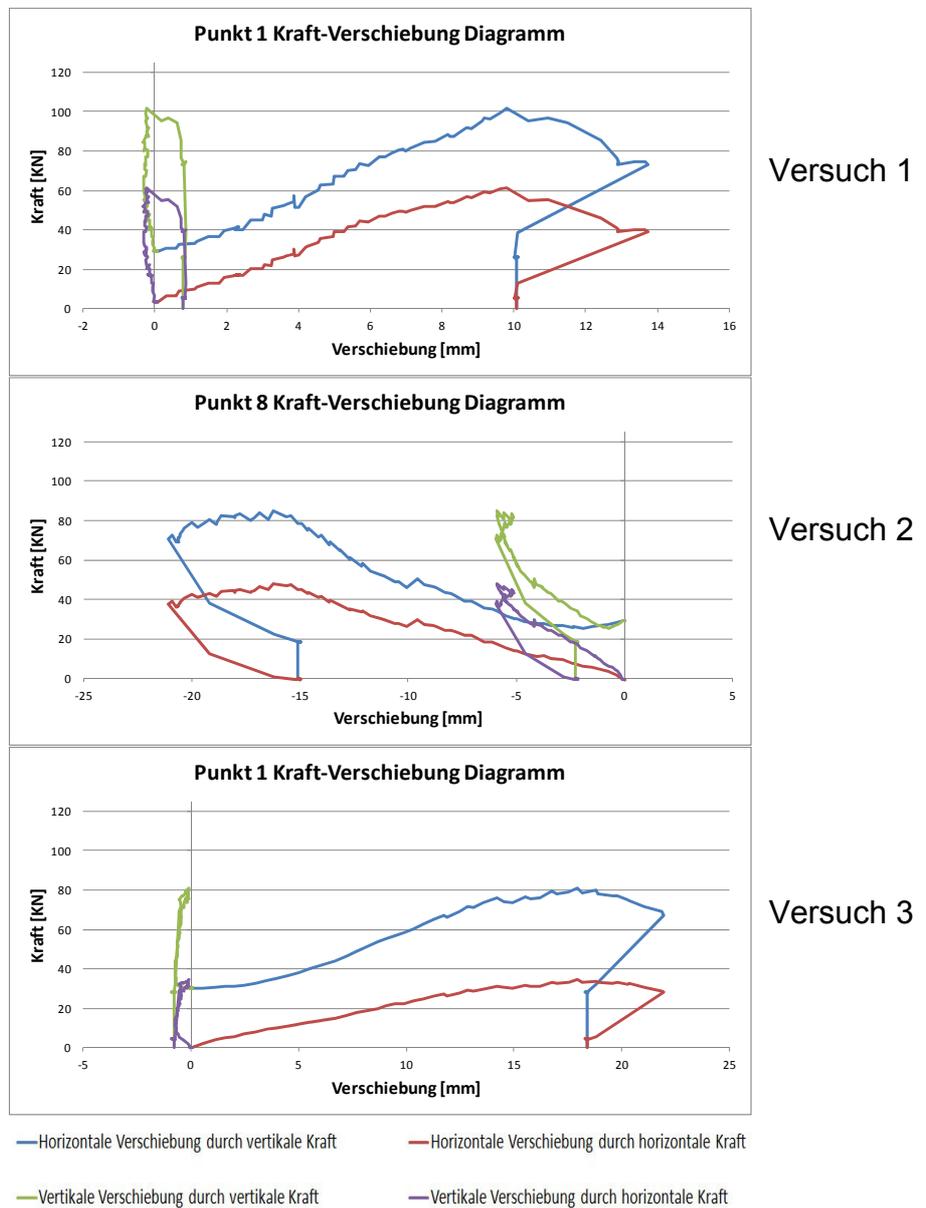


Abb. A.30 Kraft-Verschiebung-Diagramm

A.2 Versuchsreihe mit Mörtel PM5

Versuchskörper Nr. 1

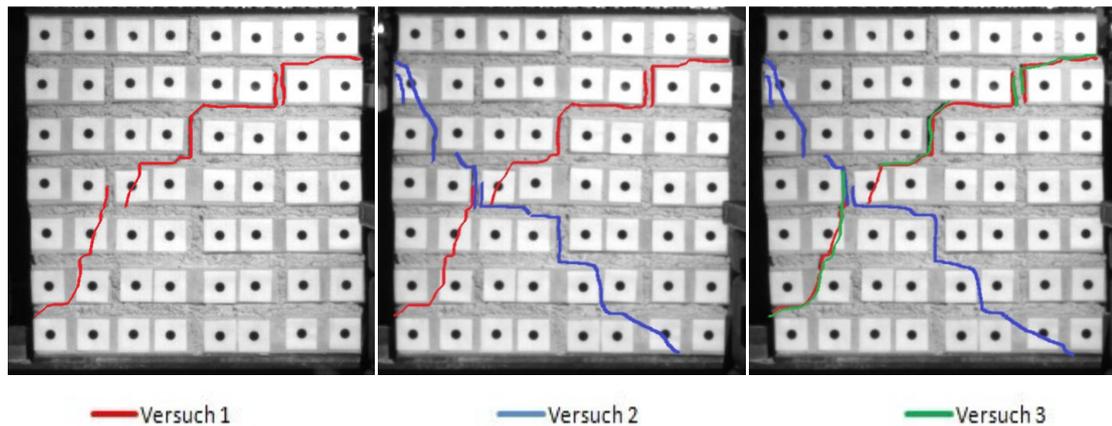


Abb. A.31: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper haben die rot markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen). Interessant ist dabei, dass die Stoßfugen versagt haben. Nach der vierten Reihe geht der Rissverlauf sehr steil in Richtung Endlager und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Die blau markierten Risse, die beim zweiten Versuch entstanden sind, haben einen steilen Verlauf im Kraffteinleitungsbereich und im Endlager. In der Mitte des Versuchskörpers bildeten sich treppenförmige Rissverläufe und die Stoßfugen versagten ebenfalls. Beim dritten Versuch bildeten sich keine neue Risse, es wurden nur die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind, um ein Vielfaches vergrößert (siehe Abb. A.31).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.11: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	60,00 KN	54,87 KN	56,53 KN
Max. H Kraft	31,76 KN	34,50 KN	24,06 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P4: 6,29 mm	P3: -12,444mm	P1: 11,35 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P3: 7,15 mm	P3: -12,44mm	P1: 11,35 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 4,64 mm	P16: -2,72 mm	P16: 3,21 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 4,91 mm	P16: -2,72 mm	P16: 3,21 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P3: 11,37 mm	P3: -12,50 mm	P1: 16,11 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 4,91 mm	P16: -2,73 mm	P32: 4,08 mm

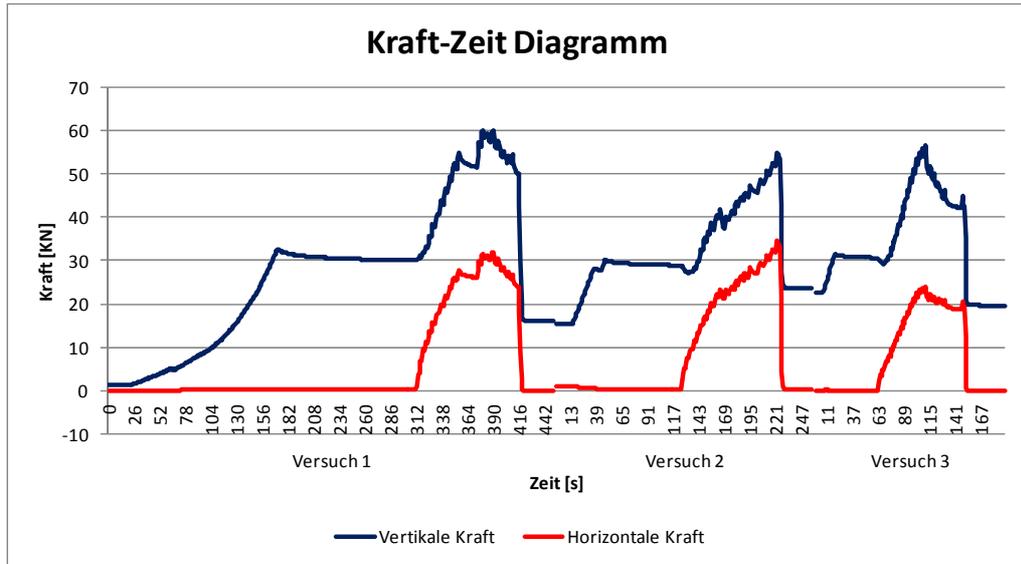


Abb. A.32: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

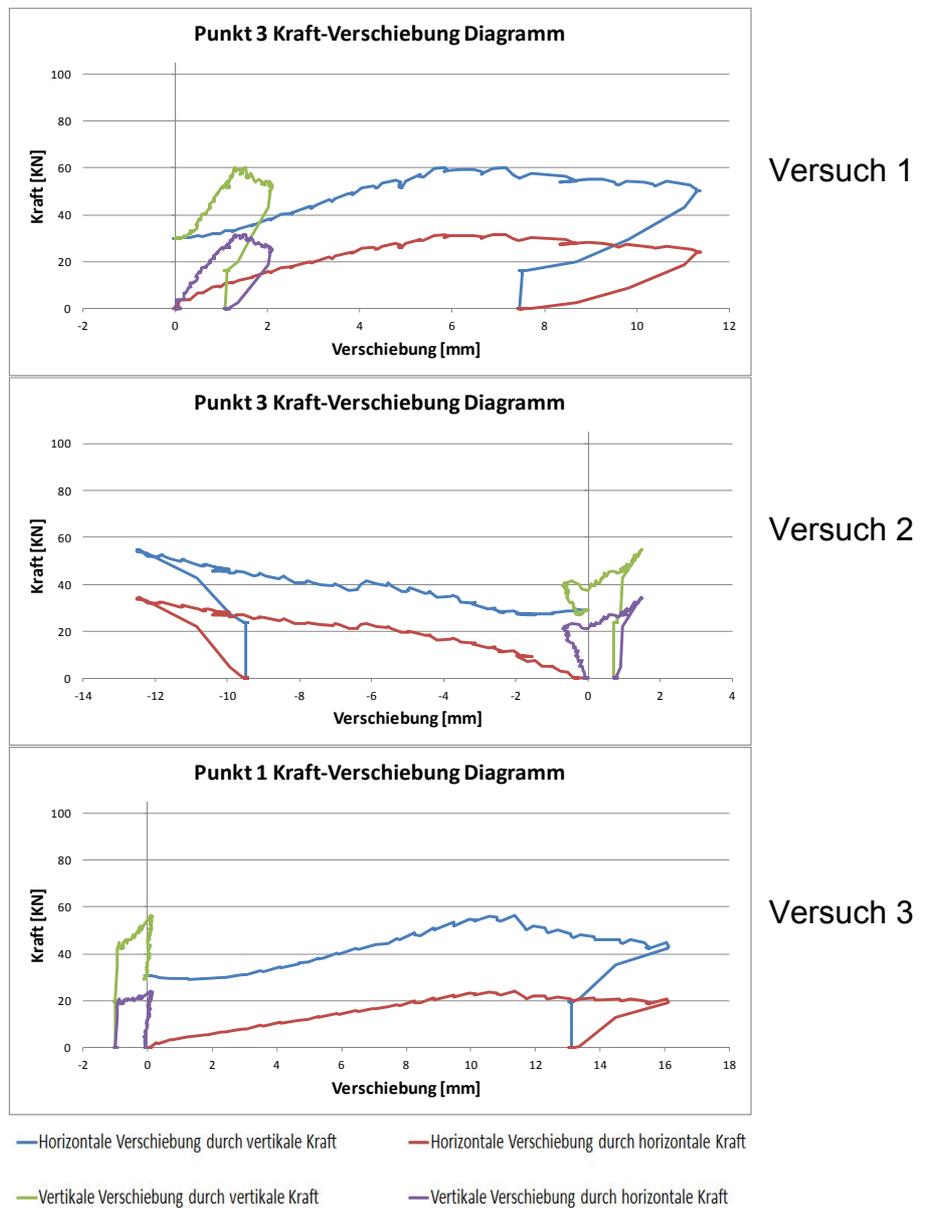


Abb. A.33 Kraft-Verschiebung-Diagramm

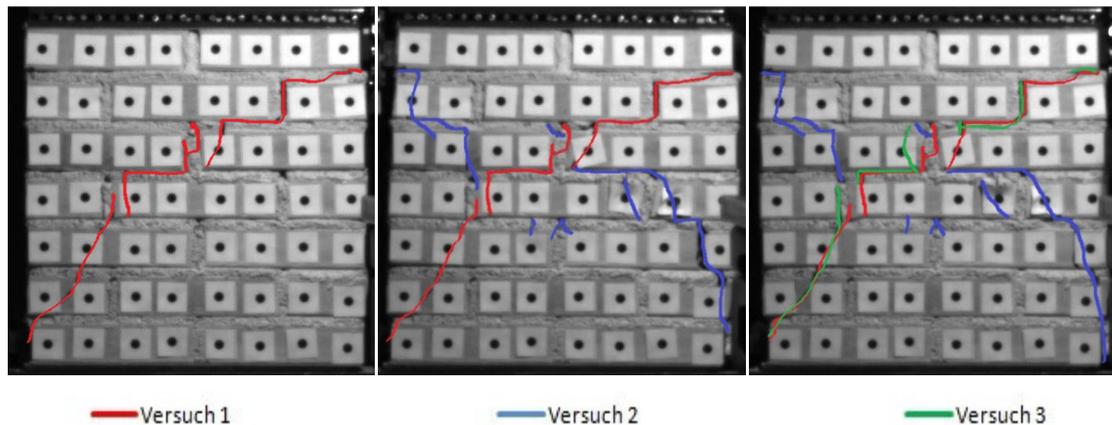
Versuchskörper Nr. 2

Abb. A.34: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man ähnliche Rissverläufe wie beim Versuchskörper Nr. 1 im ersten Versuchsdurchlauf. Jedoch ist beim zweiten Versuch äußerst bemerkenswert, dass es unterschiedliche Rissverläufe gibt. Hier bildeten sich viele kleine Risse, die aber nicht fortlaufend sind. Im linken unteren Bereich des Versuchskörpers sieht man noch, dass die Ziegeln beim Endlager versagt haben. Beim dritten Versuch vergrößerten sich die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind. Außerdem ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls mit grüner Farbe nachgezogen wurden. Beachtlich ist hier, dass im unteren Teil des Versuchskörpers nur wenige Risse entstanden sind (siehe Abb. A.34).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.12: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	65,32 kN	56,88 kN	44,14 kN
Max. H Kraft	45,12 kN	37,73 kN	24,51 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 10,34 mm	P8: -17,25mm	P8: 13,24 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 5,88 mm	P8: -17,25mm	P8: 14,60 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 2,94 mm	P25: 2,44 mm	P25: -2,18 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P32: 3,44 mm	P25: 2,44 mm	P25: -2,41 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 13,53 mm	P3: -23,08 mm	P8: 17,56 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 3,44 mm	P16: -2,70 mm	P25: -3,08 mm

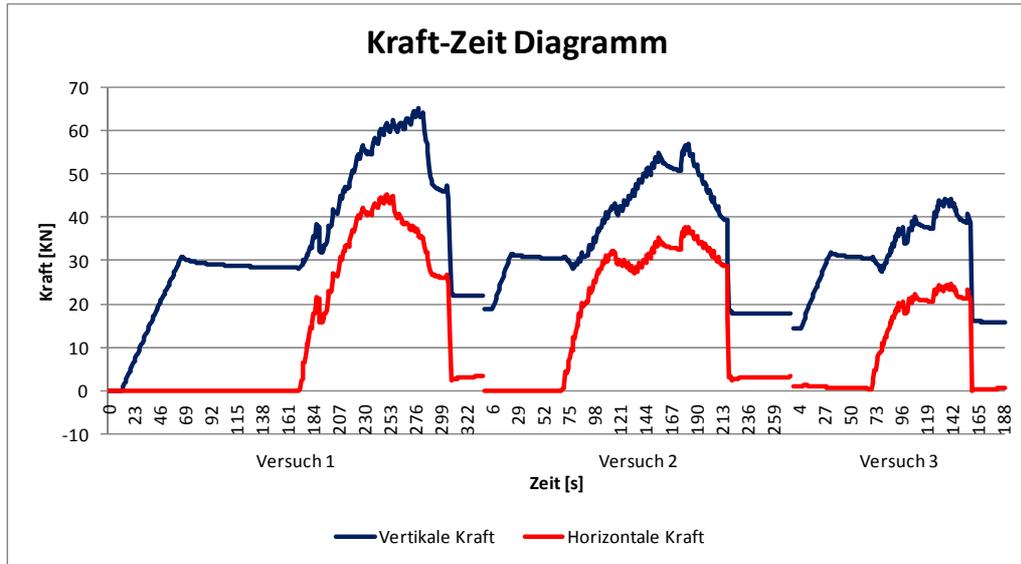


Abb. A.35: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

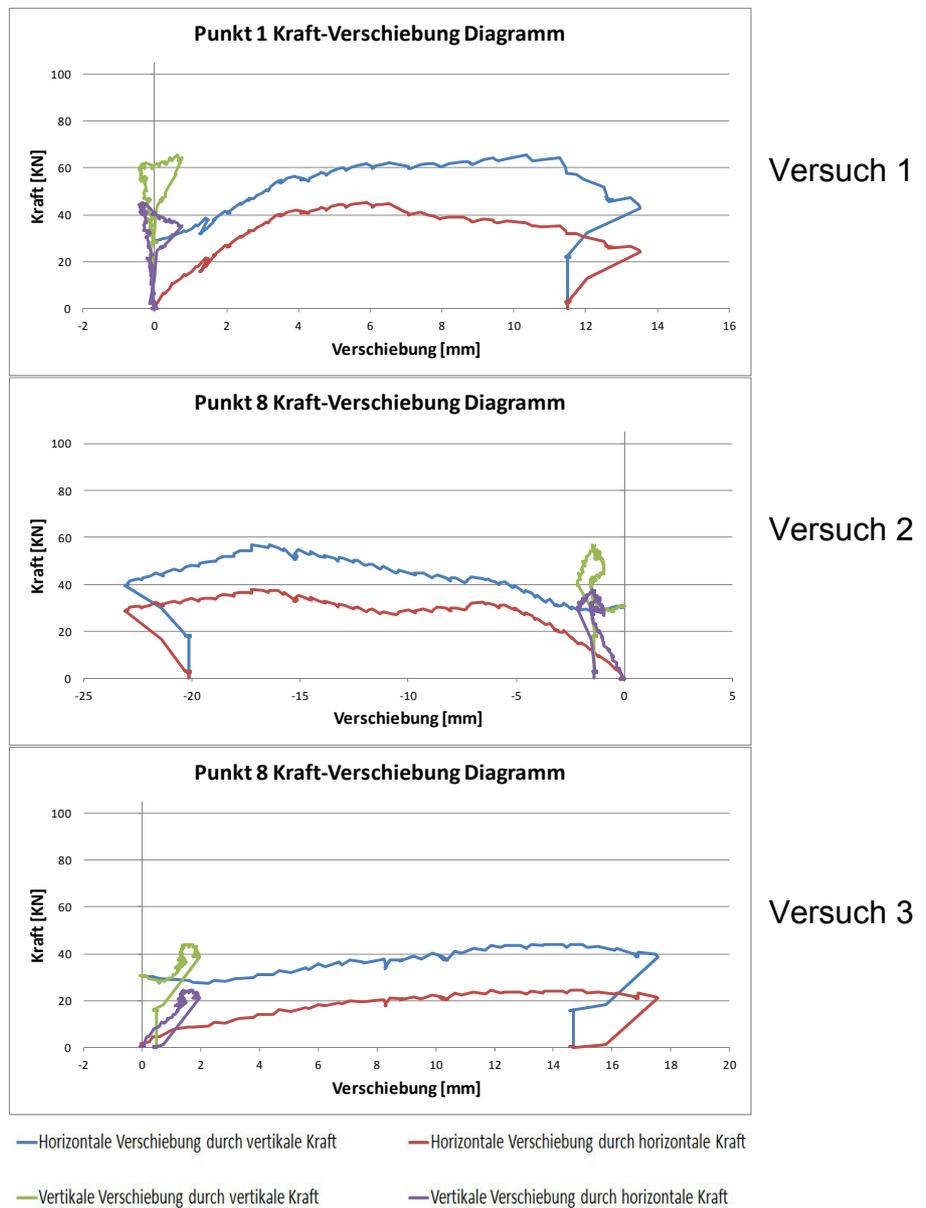


Abb. A.36 Kraft-Verschiebung-Diagramm

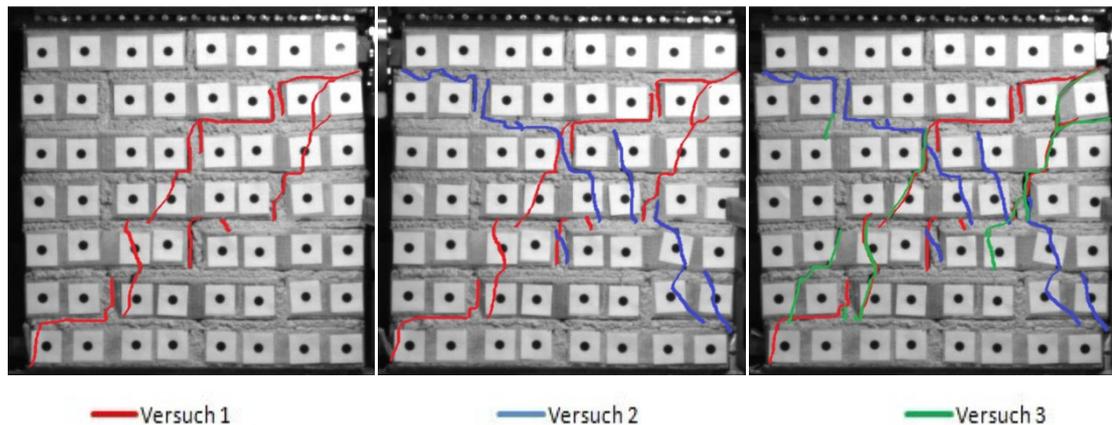
Versuchskörper Nr. 3

Abb. A.37: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Erstaunlicherweise bildeten sich bei diesem Versuchskörper zwei Rissverläufe. Während der obere Riss einen treppenförmigen Verlauf hat, hat der untere Riss einen steilen Verlauf im oberen Bereich und in der Mitte einen treppenförmigen Verlauf. Hier kann man gut sehen, dass sich die Ziegeln in der Mitte des Versuchskörpers aus dem Verband gelöst haben. Im zweiten Versuch haben auch die blau markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen). Danach bildeten sich unregelmäßige Risse im unteren Bereich. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch sich um ein Vielfaches vergrößert haben. Außerdem ist hier sehr gut sichtbar, dass sich einige Teile des Versuchskörpers von dem Verband gelöst haben. Bemerkenswert ist des Weiteren, dass bei allen Versuchen eine Vertikallast über 60 kN erreicht wurde (siehe Abb. A.37).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.13: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	77,66 kN	68,57 kN	68,66 kN
Max. H Kraft	43,50 kN	37,85 kN	32,23 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P5: 11,32 mm	P1: -15,90mm	P5: 18,58 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P6: 7,58 mm	P1: -15,43mm	P5: 18,58 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P24: 3,14 mm	P32: -4,34 mm	P16: 4,09 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 3,12 mm	P32: -4,38 mm	P16: 4,09 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P5: 15,13 mm	P3: -24,01 mm	P5: 23,40 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P24: 3,54 mm	P32: -5,27 mm	P16: 4,81 mm

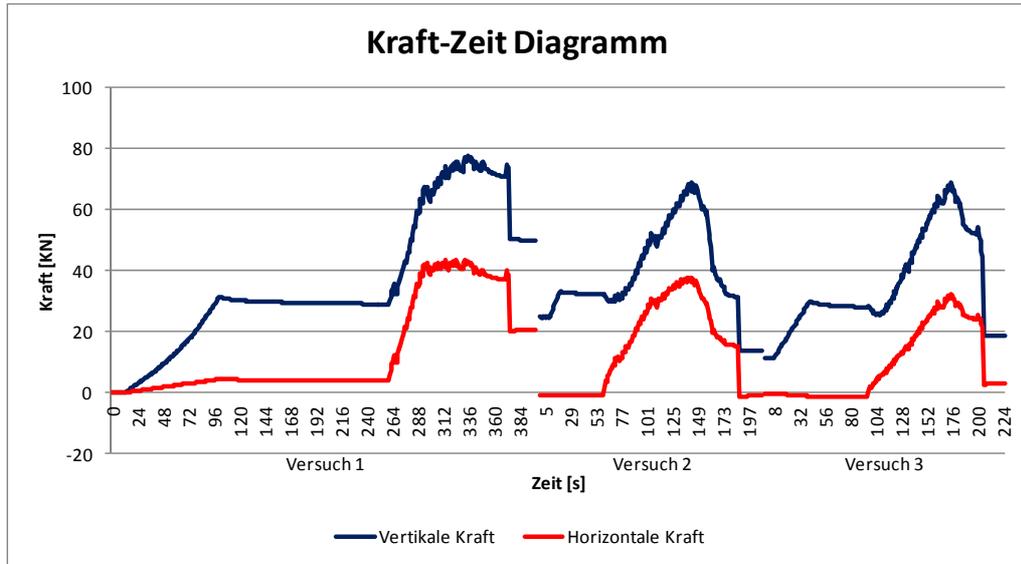


Abb. A.38: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

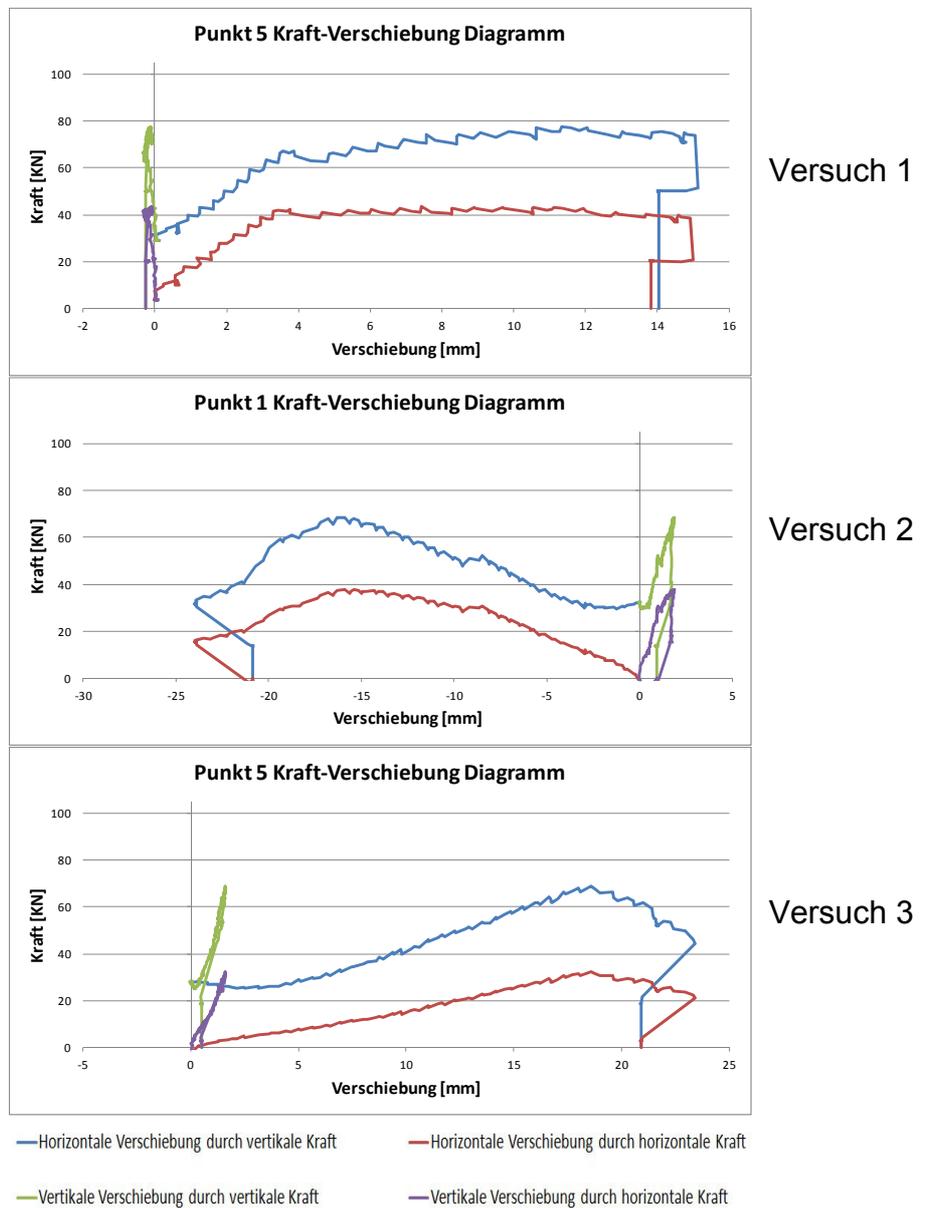


Abb. A.39 Kraft-Verschiebung-Diagramm

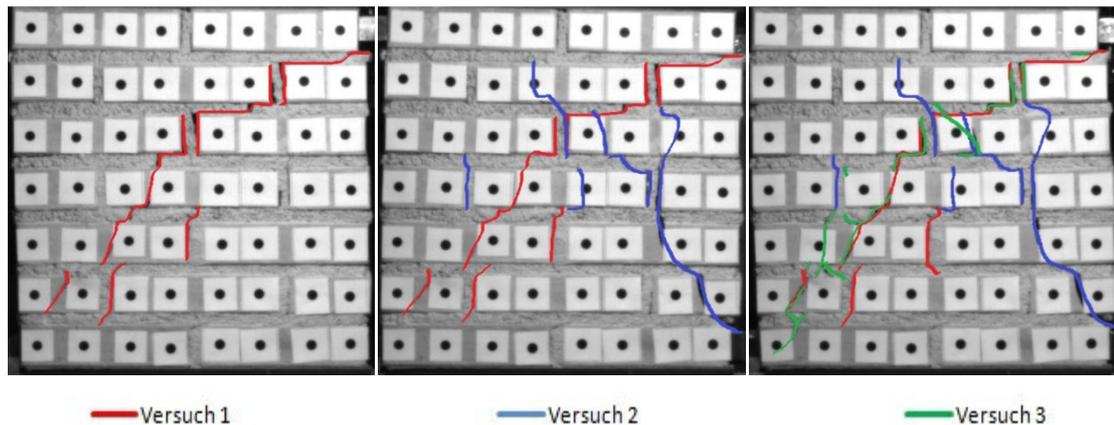
Versuchskörper Nr. 4

Abb. A.40: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man auch ähnliche Rissverläufe wie beim Versuchskörper Nr. 1 und Nr. 2 im ersten Versuchsdurchlauf. Beim zweiten Versuch wird sichtbar, dass die blau markierten Rissverläufe sich erst in der Mitte des Körpers bildeten. Hier kann man auch deutlich sehen, dass die linke Seite sich vom Versuchskörper getrennt hat und keine Haftung mehr besitzt. Beim dritten Versuch vergrößerten sich die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind. Es ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls mit grüner Farbe nachgezogen wurden. Beachtlich ist hier, dass im oberen Teil des Versuchskörpers keine Risse entstanden sind. Ferner wird auch eine Trennung des Versuchskörpers durch die linke Diagonale sichtbar (siehe Abb. A.40).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.14: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	64,65 kN	57,76 kN	75,25 kN
Max. H Kraft	36,74 kN	33,54 kN	31,42 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P5: 6,06 mm	P3: -14,02mm	P3: 17,89 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P5: 6,06 mm	P3: -14,02mm	P3: 17,89 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 3,97 mm	P25: 2,46 mm	P16: 4,14 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 3,97 mm	P25: 2,46 mm	P16: 4,14 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 14,68 mm	P3: -20,95 mm	P1: 19,71 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 4,06 mm	P32: -4,31 mm	P16: 4,63 mm

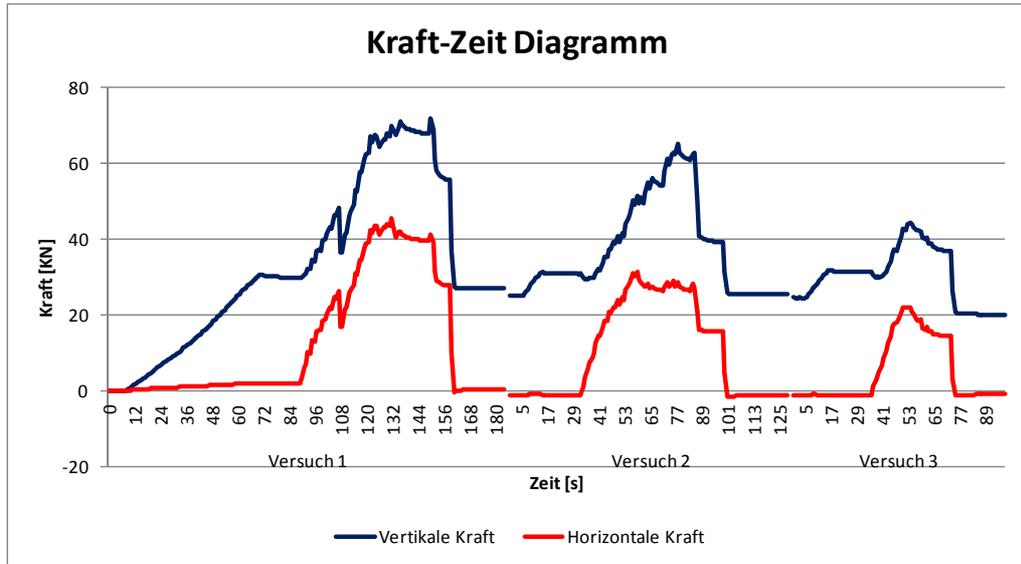


Abb. A.41: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

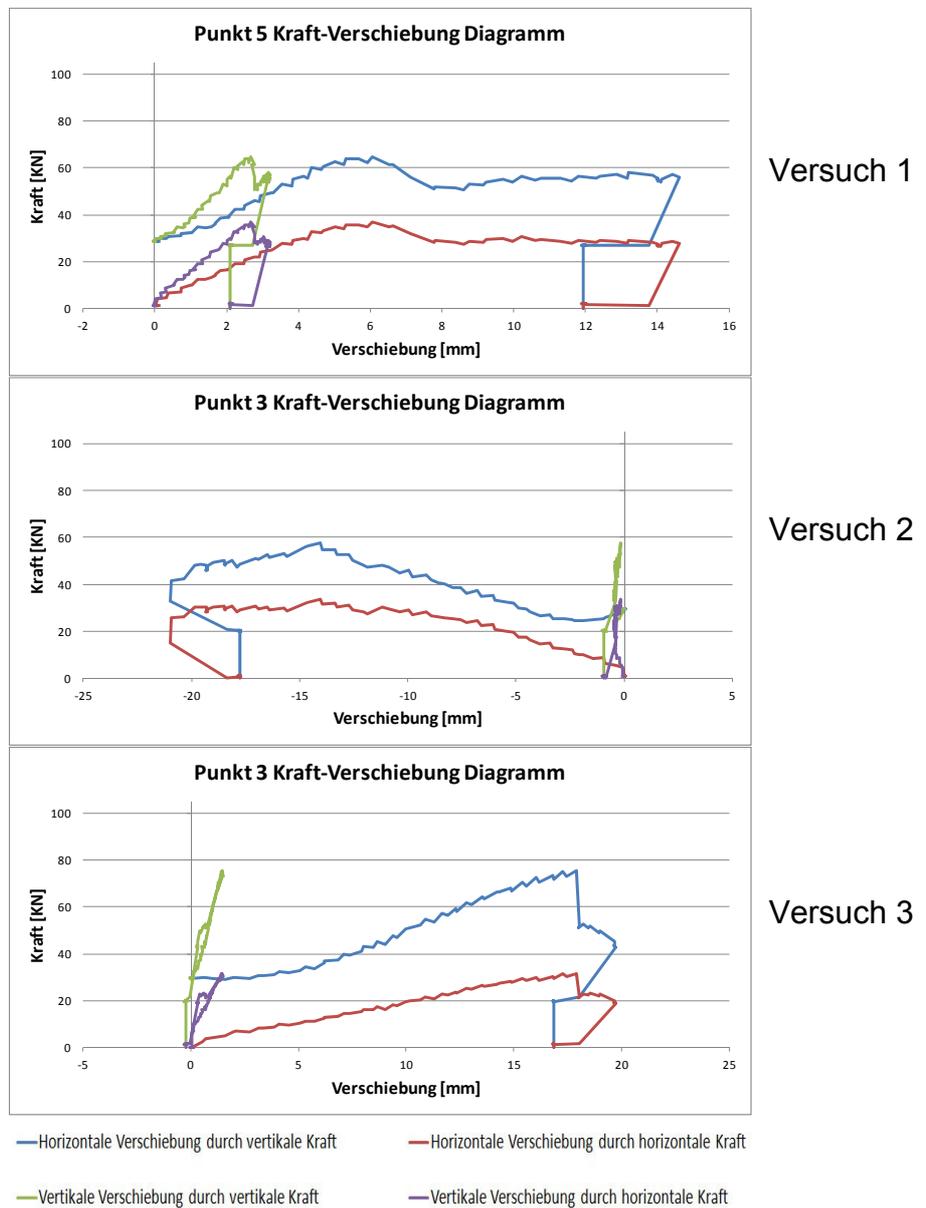


Abb. A.42 Kraft-Verschiebung-Diagramm

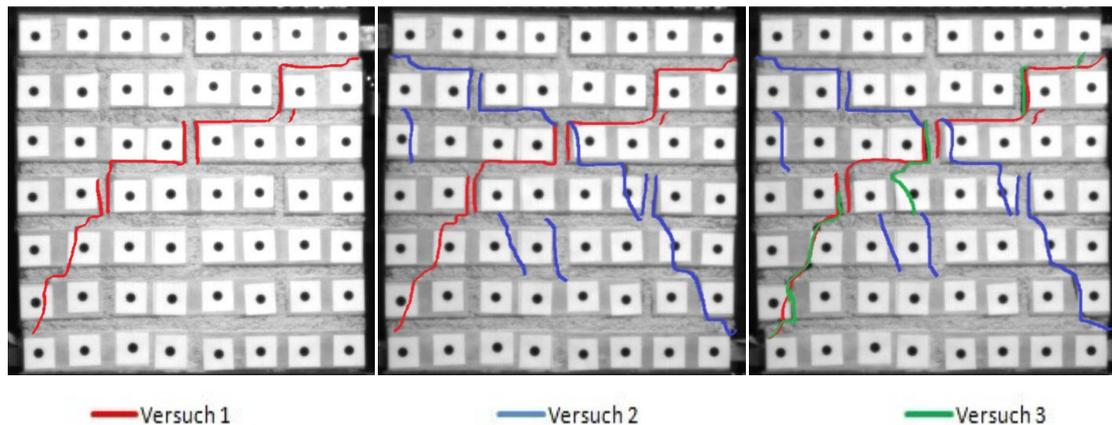
Versuchskörper Nr. 5

Abb. A.43: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Die rot markierten Risse haben einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen), was ähnlich zum Versuchskörper Nr. 1 und Nr.2 im ersten Versuchsdurchlauf ist. Beim zweiten Versuch sieht man, dass die blau markierten Rissverläufe, wie auf der Abb. A.43 sehr gut zu sehen sind, einen fast symmetrischen Verlauf, bezogen auf die rot markierten Diagonallrisse, im ersten Versuch haben. Zusätzlich bildeten sich noch ein paar kleine Risse in der Mitte des Versuchskörpers. Beim dritten Versuch vergrößerten sich die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind. Es ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls mit grüner Farbe nachgezogen wurden. Zudem ist zu erwähnen, dass bei diesen Versuchskörper das Rissbild ein X darstellt (siehe Abb. A.43.).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.15: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	80,36 kN	75,75 kN	40,78 kN
Max. H Kraft	48,65 kN	47,96 kN	19,93 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P7: 6,85 mm	P8: -8,28mm	P2: 8,88 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P7: 6,85 mm	P8: -9,57mm	P2: 8,88 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 5,23 mm	P16: -5,93 mm	P32: 4,11 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 5,23 mm	P16: 4,53 mm	P32: 4,11 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P7: 10,99 mm	P8: -17,64 mm	P1: 16,80 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 5,23 mm	P32: -5,93 mm	P32: 4,91 mm

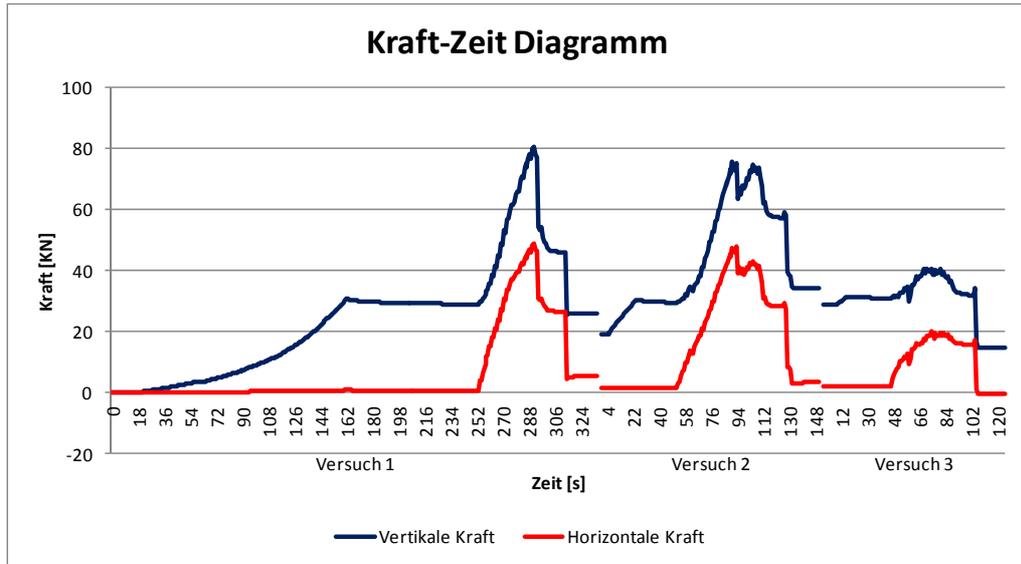


Abb. A.44: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

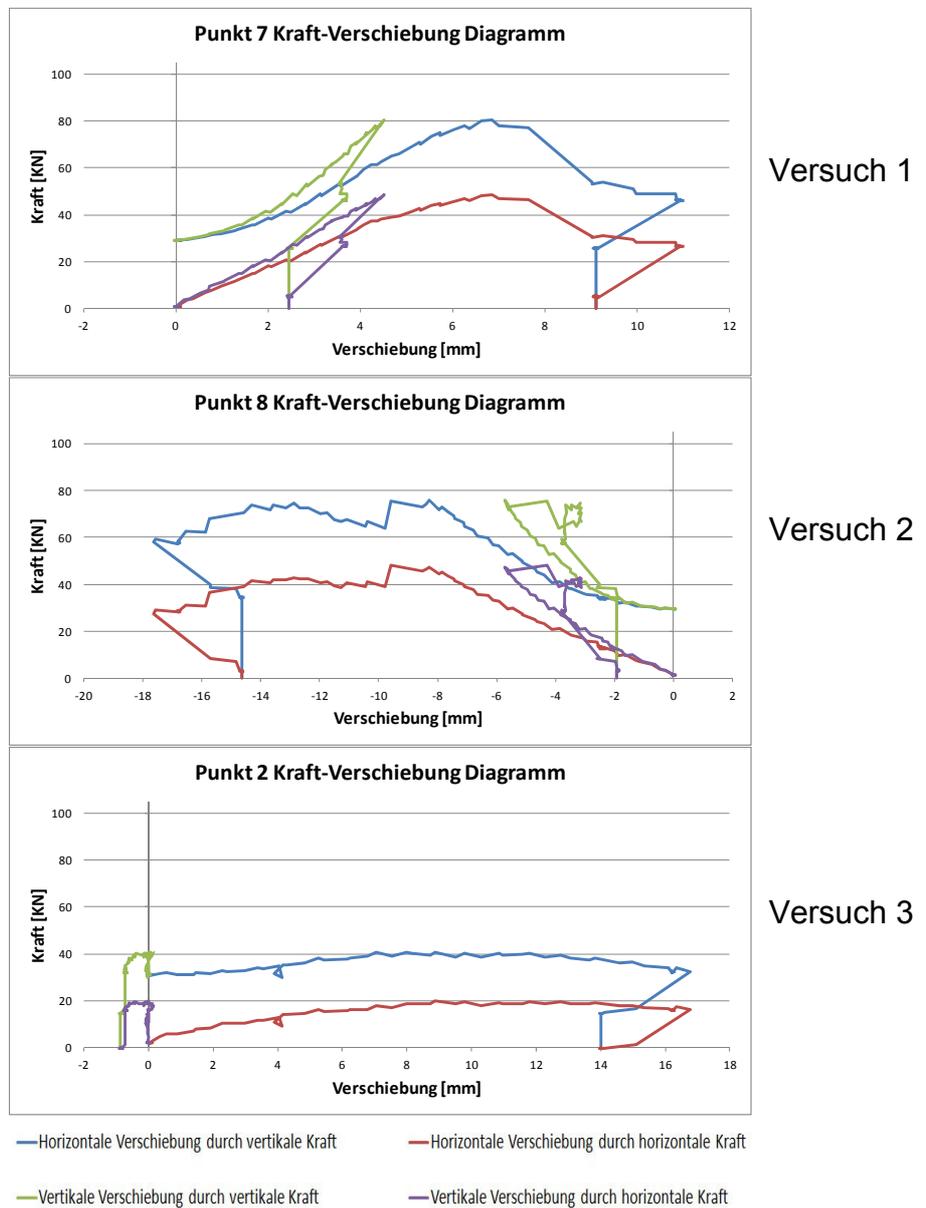


Abb. A.45 Kraft-Verschiebung-Diagramm

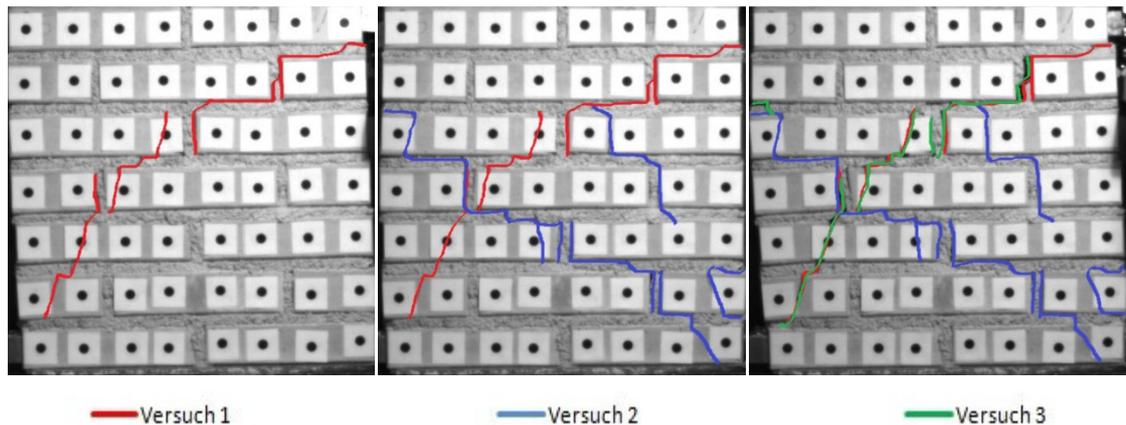
Versuchskörper Nr. 6

Abb. A.46: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

In der oberen Abb. A.46 sieht man wieder treppenförmige Rissverläufe, wie beim Versuchskörper Nr. 1 im ersten Versuchsdurchlauf. Interessant ist hier, dass beim zweiten Versuch die entstandenen Risse erst ab der zweiten Reihe (von oben gesehen) beginnen und einen treppenförmigen Verlauf bis zur unteren Ecke haben. Hier erkennt man sehr gut, dass ein Stoßfugenversagen vorliegt. Es bildeten sich auch ein paar neue Risse oberhalb des treppenförmigen Risses. Beim dritten Versuch sieht man, dass die Rissweiten, die beim ersten entstanden sind, vergrößert wurden. Hier ist noch zu erwähnen, dass beim ersten Versuchsdurchlauf eine vertikale Last von mehr als 80 kN erreicht wurde (siehe Abb. A.46).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.16: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	91,18 kN	77,59 kN	56,39 kN
Max. H Kraft	52,92 kN	43,79 kN	26,13 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P7: 6,77 mm	P1: -12,42mm	P17: 16,53 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P7: 6,77 mm	P1: -11,12mm	P2: 10,73 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P48: 5,37 mm	P40: -2,26 mm	P16: 4,16 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P48: 5,37 mm	P48: -2,11 mm	P16: 3,44 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P6: 9,66 mm	P1: -15,4 mm	P17: 20,09 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P48: 5,37 mm	P48: -2,79 mm	P16: 4,74 mm

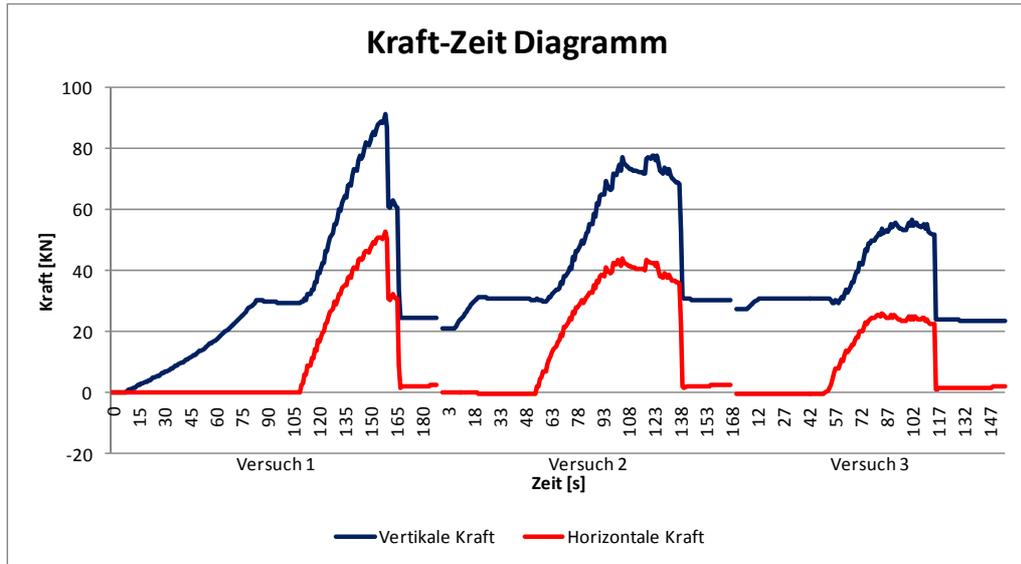


Abb. A.47: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

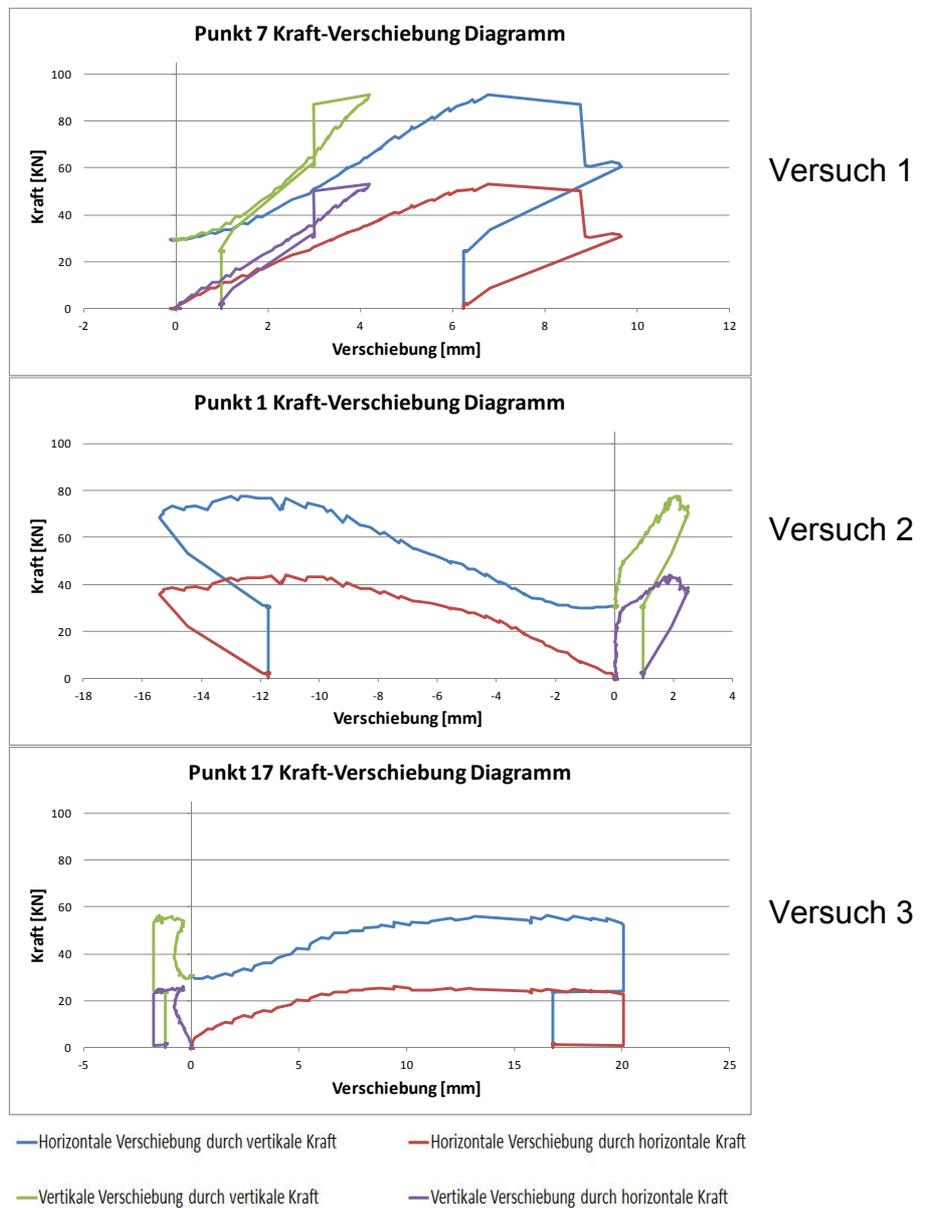


Abb. A.48 Kraft-Verschiebung-Diagramm

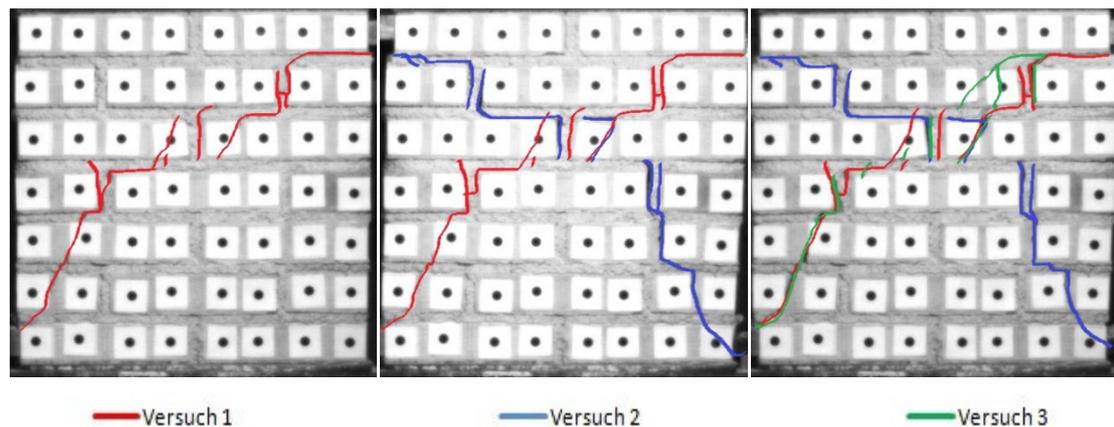
Versuchskörper Nr. 7

Abb. A.49: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man Rissverläufe, die ähnlich zu denen des Versuchskörpers Nr. 5 sind. Dabei haben die rot markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen). Den gleichen Verlauf kann man beim Versuchskörper Nr. 1 und Nr. 2 im ersten Versuchsdurchlauf betrachten. Beim zweiten Versuch sieht man, dass die blau markierten Rissverläufe einen fast symmetrischen Verlauf haben - bezogen auf die rot markierten Diagonallrisse im ersten Versuch. Beim dritten Versuch vergrößerten sich die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind. Es ergaben sich auch ein paar kleine Risse im oberen Bereich des Versuchskörpers, die wieder mit grüner Farbe nachgezogen wurden. Zu erwähnen ist weiters, dass bei diesem Versuchskörper das Rissbild, gleich wie beim Versuchskörper Nr. 5, auch ein X darstellt (siehe Abb. A.49). Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.17: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	71,72 kN	65,14 kN	44,18 kN
Max. H Kraft	45,47 kN	31,28 kN	22,06 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 7,62 mm	P2: -15,61 mm	P2: 8,19 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 5,82 mm	P2: -8,62 mm	P1: 6,18 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 3,98 mm	P21: -3,37 mm	P16: 2,73 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 4,07 mm	P16: -2,65 mm	P16: 2,68 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 9,32 mm	P2: -17,27 mm	P2: 14,31 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 4,13 mm	P21: -4,00 mm	P21: 3,68 mm

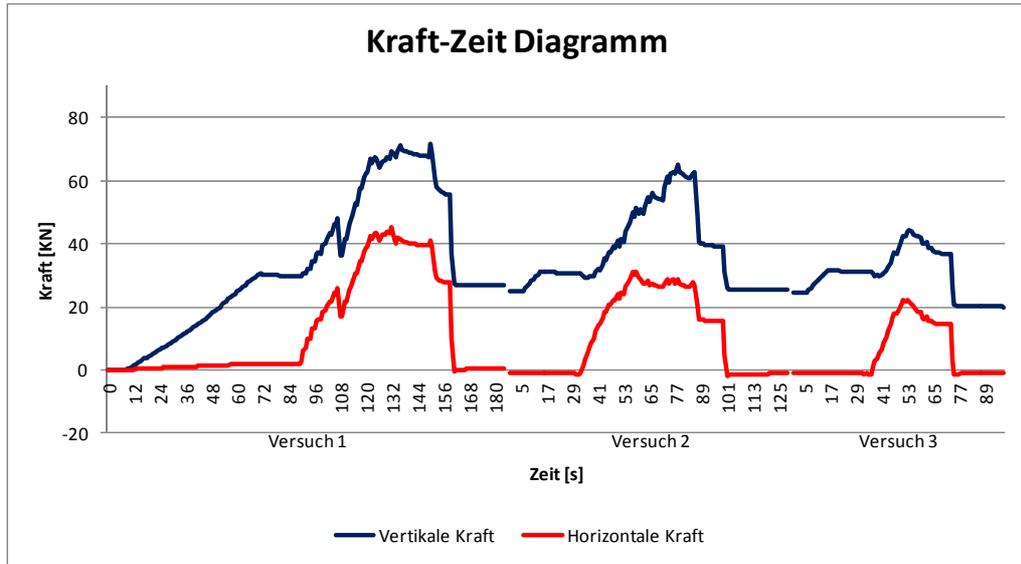


Abb. A.50: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

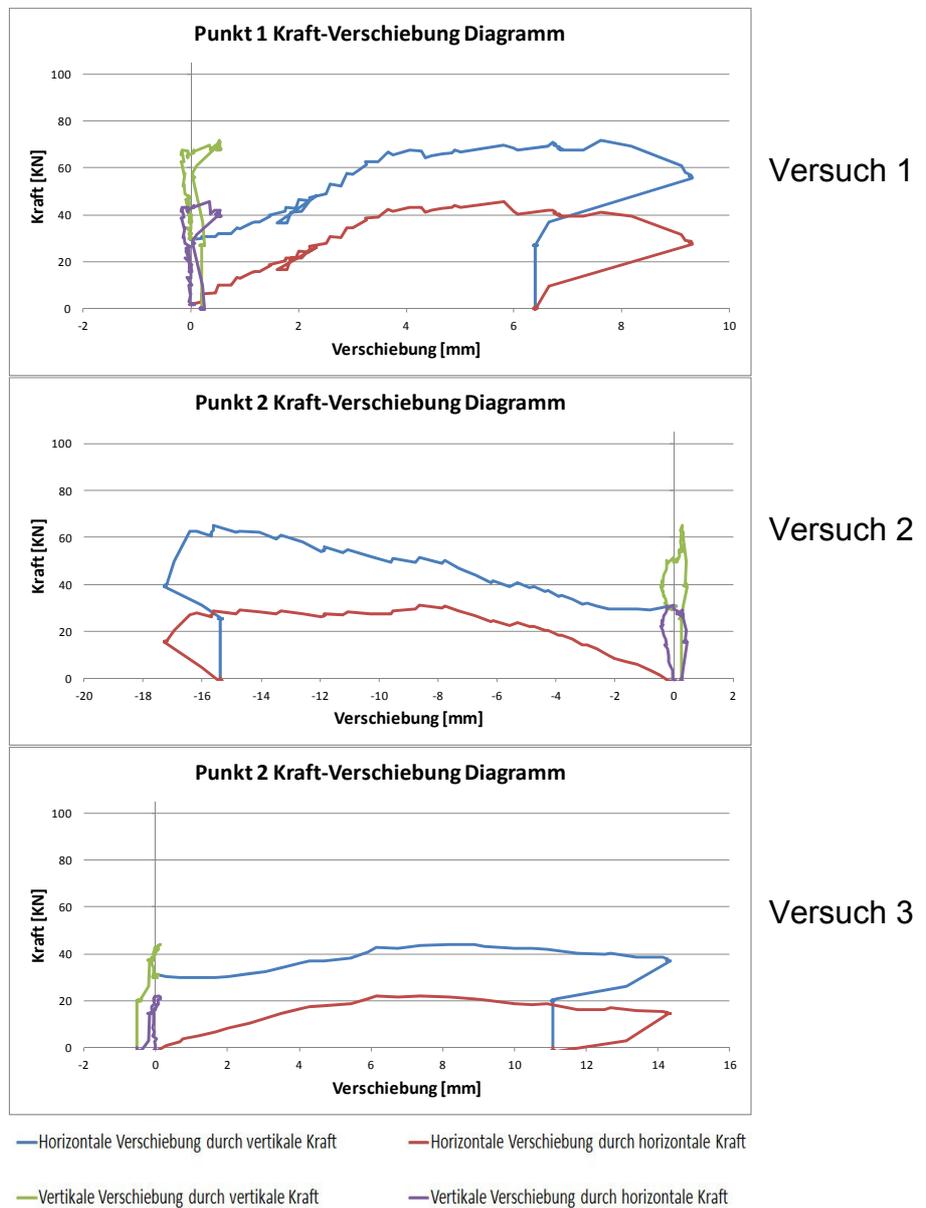


Abb. A.51 Kraft-Verschiebung-Diagramm

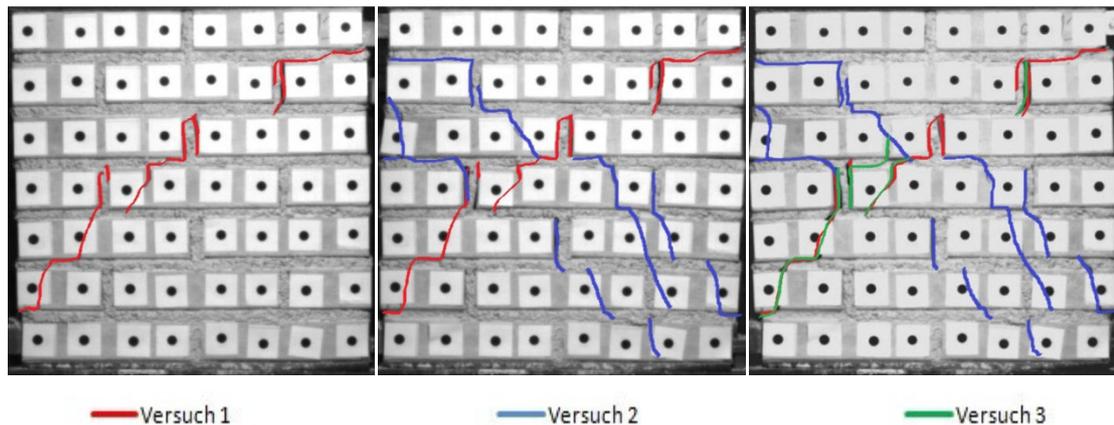
Versuchskörper Nr. 8

Abb. A.52: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man, dass die rot markierten Risse keine fortlaufenden Diagonalen bilden. Es ergaben sich hier nur kleine Risslängen. Auch im zweiten Versuch gab es keine fortlaufenden Diagonalrisse. Die blau markierten Risse verlaufen parallel zueinander (siehe Abb. A.52) und ziehen sich durch die Stoßfugen. Beim Endlager dieses Versuchskörper vermehrten sich die Rissen. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch sich vergrößert haben. Hier ist auffallend, dass die zwei ersten Versuchsdurchläufe eine vertikale Last von über 80 kN erreicht haben. Dadurch konnte beim dritten Versuchsdurchlauf nur eine niedrige Last von ca. 30 kN übertragen werden.

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.18: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	86,32 kN	90,00 kN	35,45 kN
Max. H Kraft	54,30 kN	49,45 kN	17,95 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P6: 8,68 mm	P1: -19,51mm	P1: 8,48 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P6: 8,68 mm	P3: -19,07mm	P1: 8,48 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 5,32 mm	P32: -4,25 mm	P40: 4,03 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 5,32 mm	P32: -4,22 mm	P40: 4,03 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P3: 13,84 mm	P2: -22,39 mm	P8: 15,72 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 5,31 mm	P40: -4,99 mm	P48: 4,45 mm

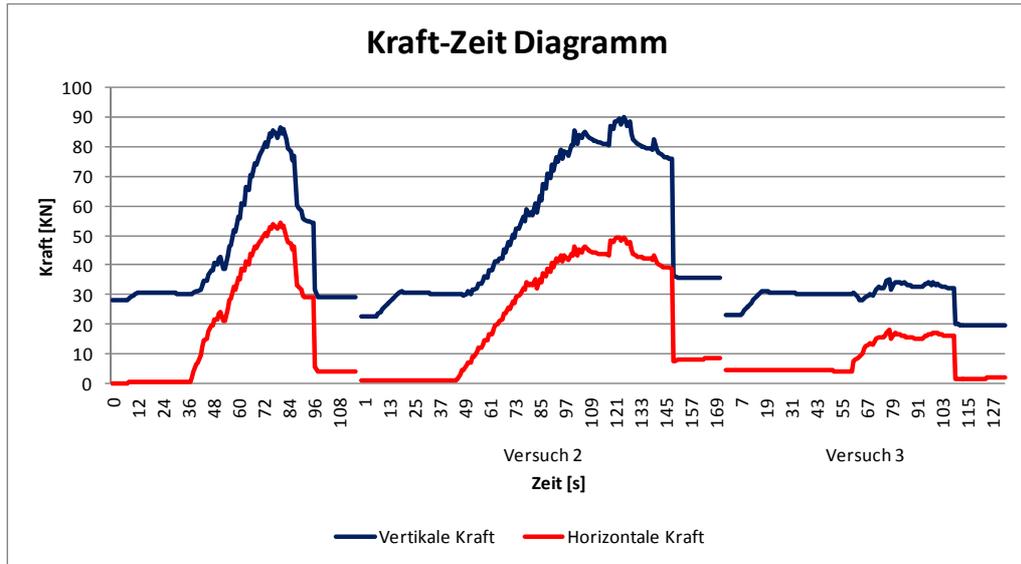


Abb. A.53: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

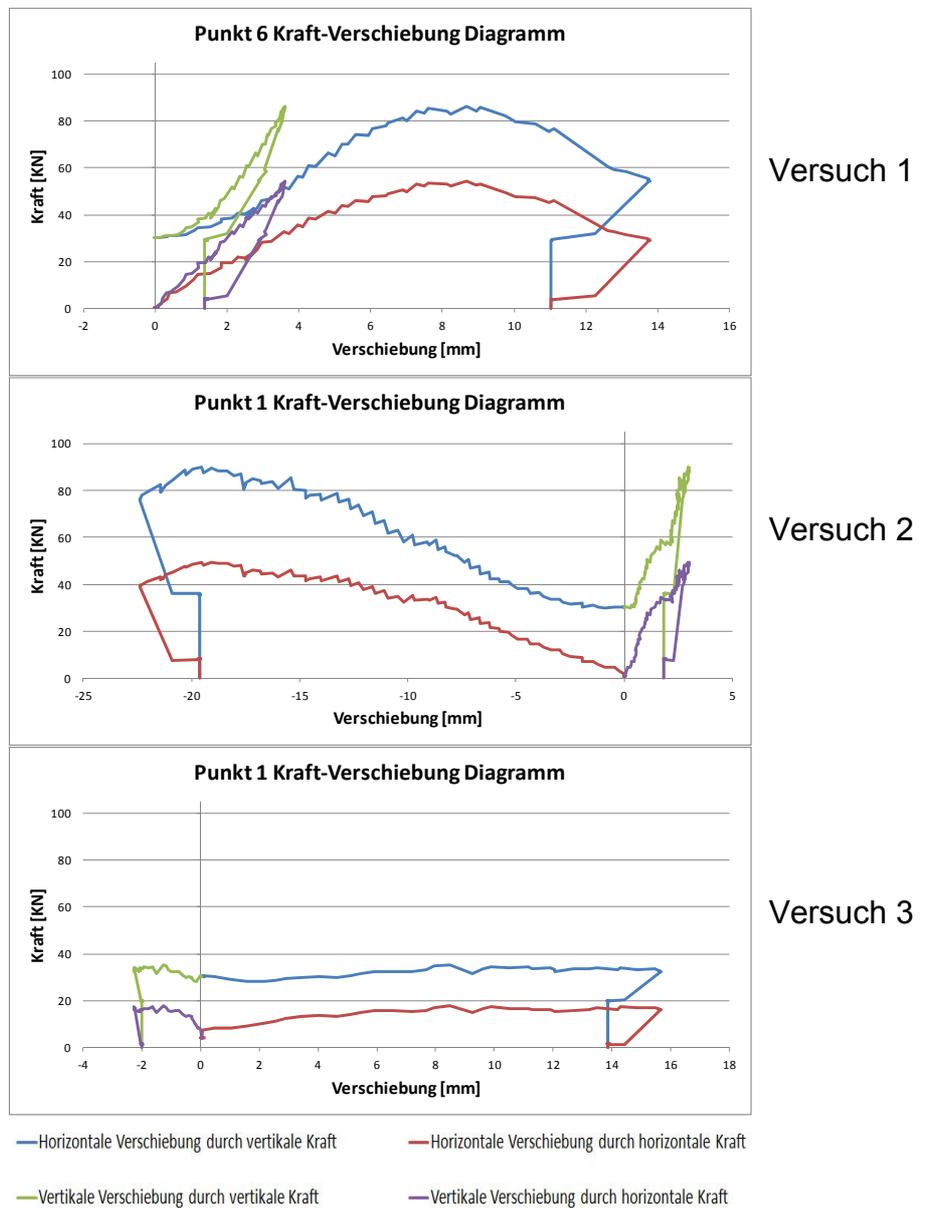


Abb. A.54 Kraft-Verschiebung-Diagramm

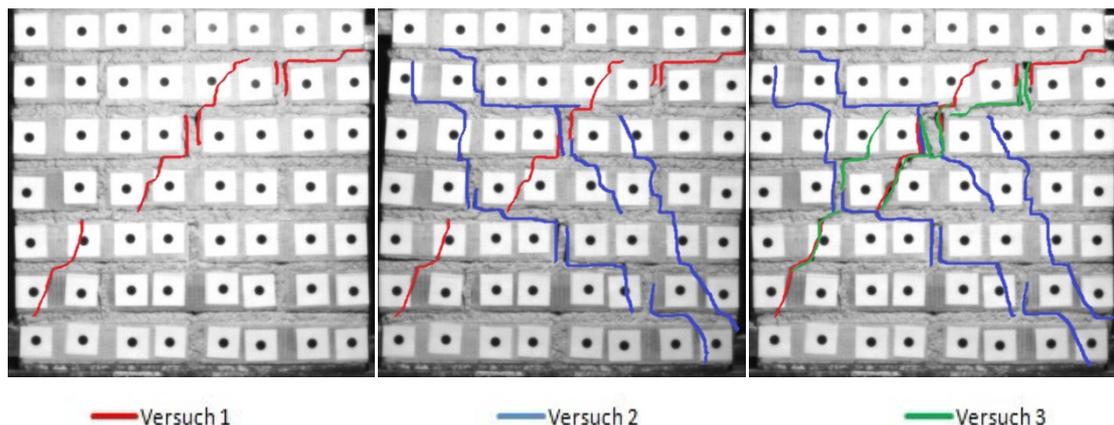
Versuchskörper Nr. 9

Abb. A.55: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

In der oberen Abb. A.55 sieht man, dass die rot markierten Risse keinen kontinuierlichen Verlauf bis zum Endlager des Körpers haben. Des Weiteren ist anzumerken, dass hier ein Stoßfugenversagen im oberen Bereich des Versuchskörpers vorliegt. Die blau markierten Risse entstanden beim zweiten Versuch, wobei drei Rissverläufe zu sehen sind. Der untere Riss hat einen treppenförmigen Verlauf bis zum Endlager. Die weiteren zwei Risse entstanden oberhalb des treppenförmigen Risses. Diese Risse besitzen einem steilen Verlauf und ziehen sich durch die Steine. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch sich um ein Vielfaches vergrößert haben. Außerdem wurde hier, wie beim Versuchskörper Nr. 8, bei den ersten zwei Versuchsdurchläufen eine vertikale Last von über 80 kN erreicht.

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.19: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	92,11 kN	92,29 kN	46,75 kN
Max. H Kraft	60,26 kN	45,96 kN	21,48 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 8,97 mm	P3: -17,99mm	P3: 19,93 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 8,97 mm	P3: -16,56mm	P3: 13,57 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 6,11 mm	P25: 4,84 mm	P16: 4,2 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 6,11 mm	P25: 4,61 mm	P16: 4,17 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P7: 13,53 mm	P3: -22,09 mm	P2: 19,93 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 6,11 mm	P25: 5,80 mm	P16: 4,40 mm

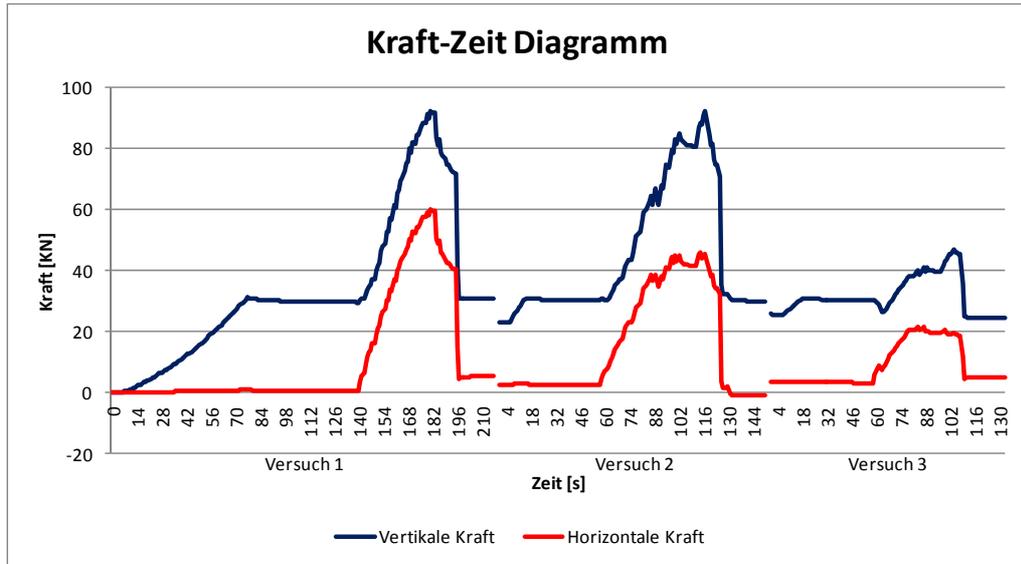


Abb. A.56: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

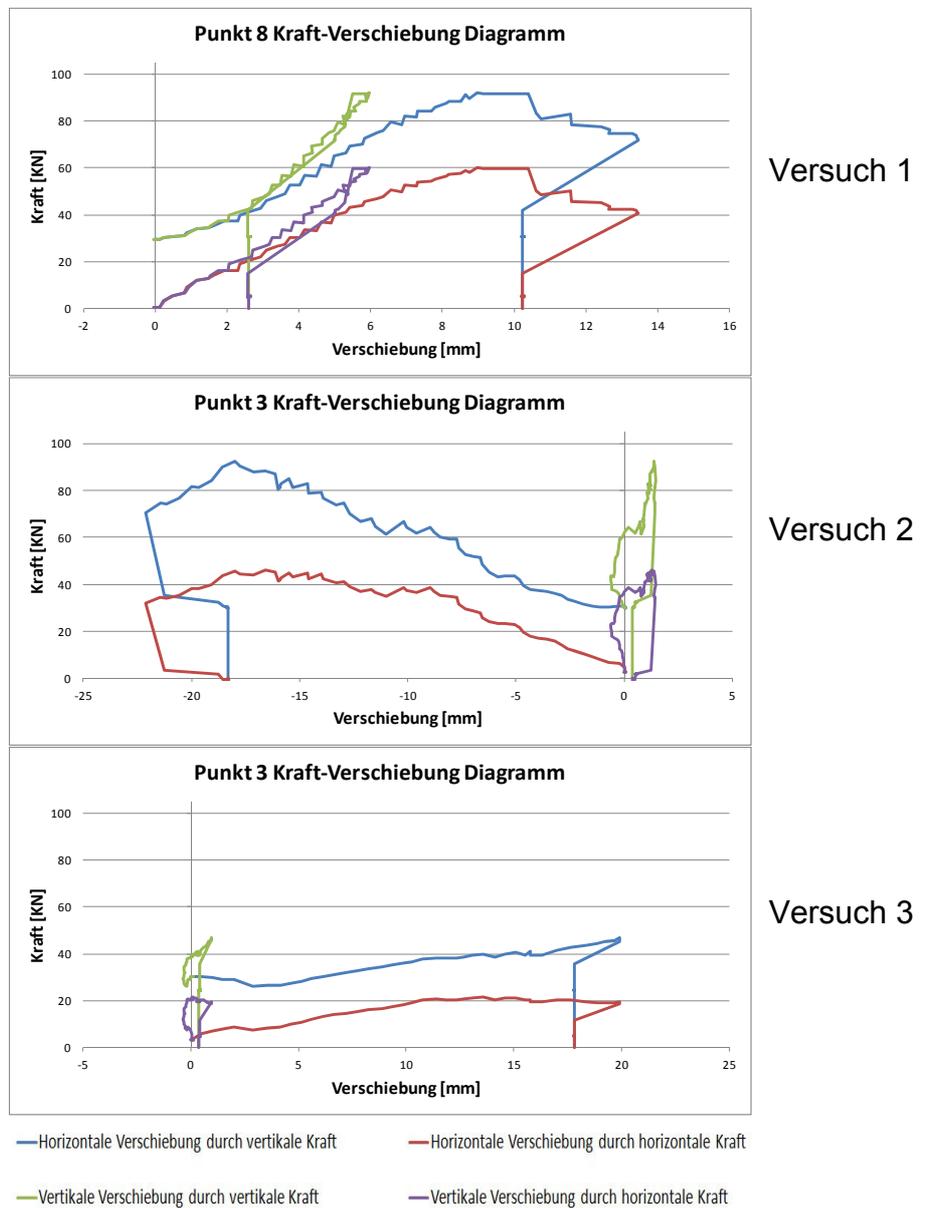


Abb. A.57 Kraft-Verschiebung-Diagramm

Versuchskörper Nr. 10

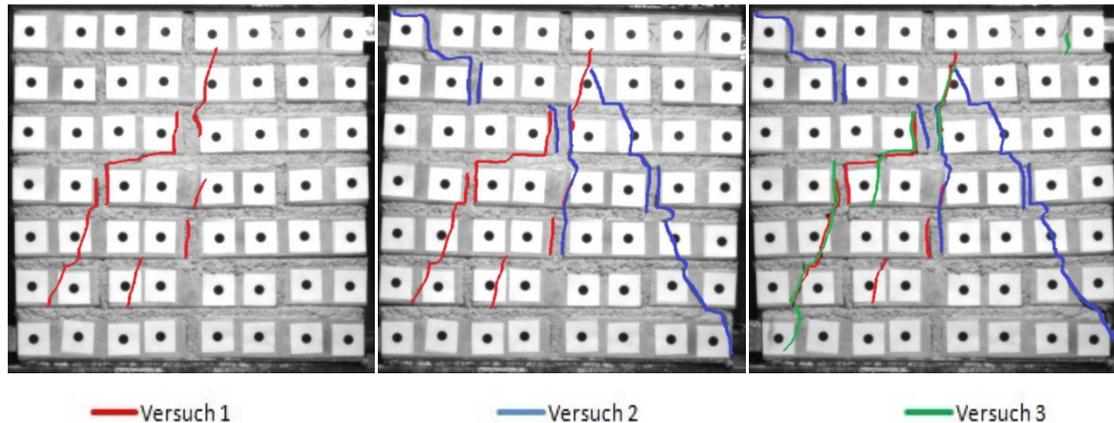


Abb. A.58: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper haben sich erstaunlicherweise keine Risse im Lasteinleitungsbereich gebildet. Die Risse verlaufen hier durch die Steine. Die blau markierten Risse, die beim zweiten Versuch entstanden sind, haben keinen beständigen Verlauf bis zum Endlager des Körpers. Außerdem ist sichtbar, dass es zu einem Stoßfugenversagen im oberen Bereich des Versuchskörpers gekommen ist. Beim dritten Versuch sind die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind, vergrößert worden. Es ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls mit grüner Farbe nachgezogen wurden. Überraschend beim dritten Versuch war, dass hier eine vertikale Last von über 100 kN erreicht wurde (siehe Abb. A.58).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.20: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	82,64 kN	81,33 kN	102,76 kN
Max. H Kraft	47,90 kN	48,19 kN	50,47 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P4: 11,07 mm	P2: -20,19 mm	P1: 20,32 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P4: 11,07 mm	P2: -20,19 mm	P1: 20,32 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P24: 7,35 mm	P32: -7,19 mm	P32: 7,71 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P24: 7,35 mm	P32: -7,19 mm	P32: 7,71 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P7: 11,07 mm	P2: -20,74 mm	P2: 25,43 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P24: 7,35 mm	P32: -7,35 mm	P32: 8,39 mm

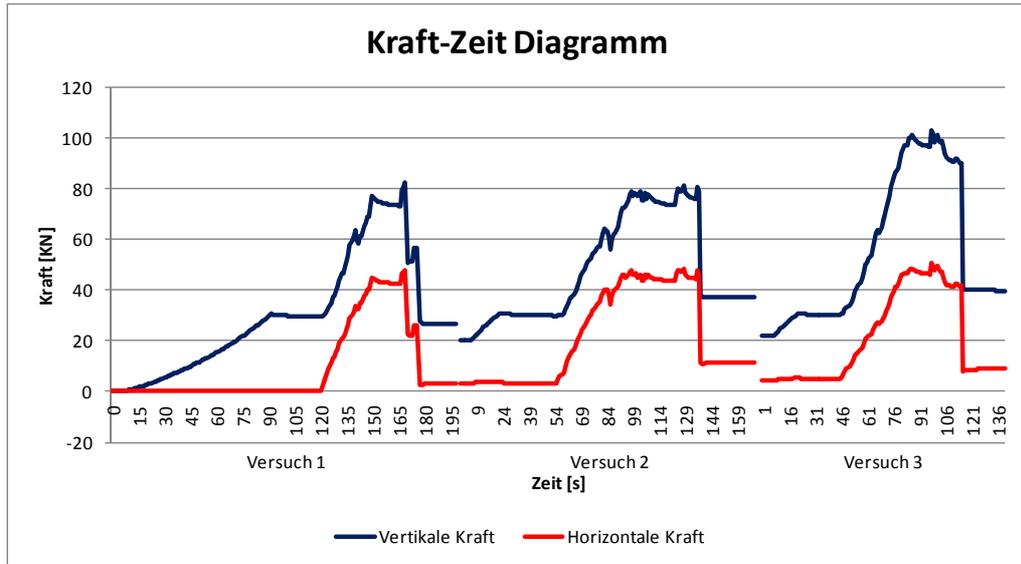


Abb. A.59: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

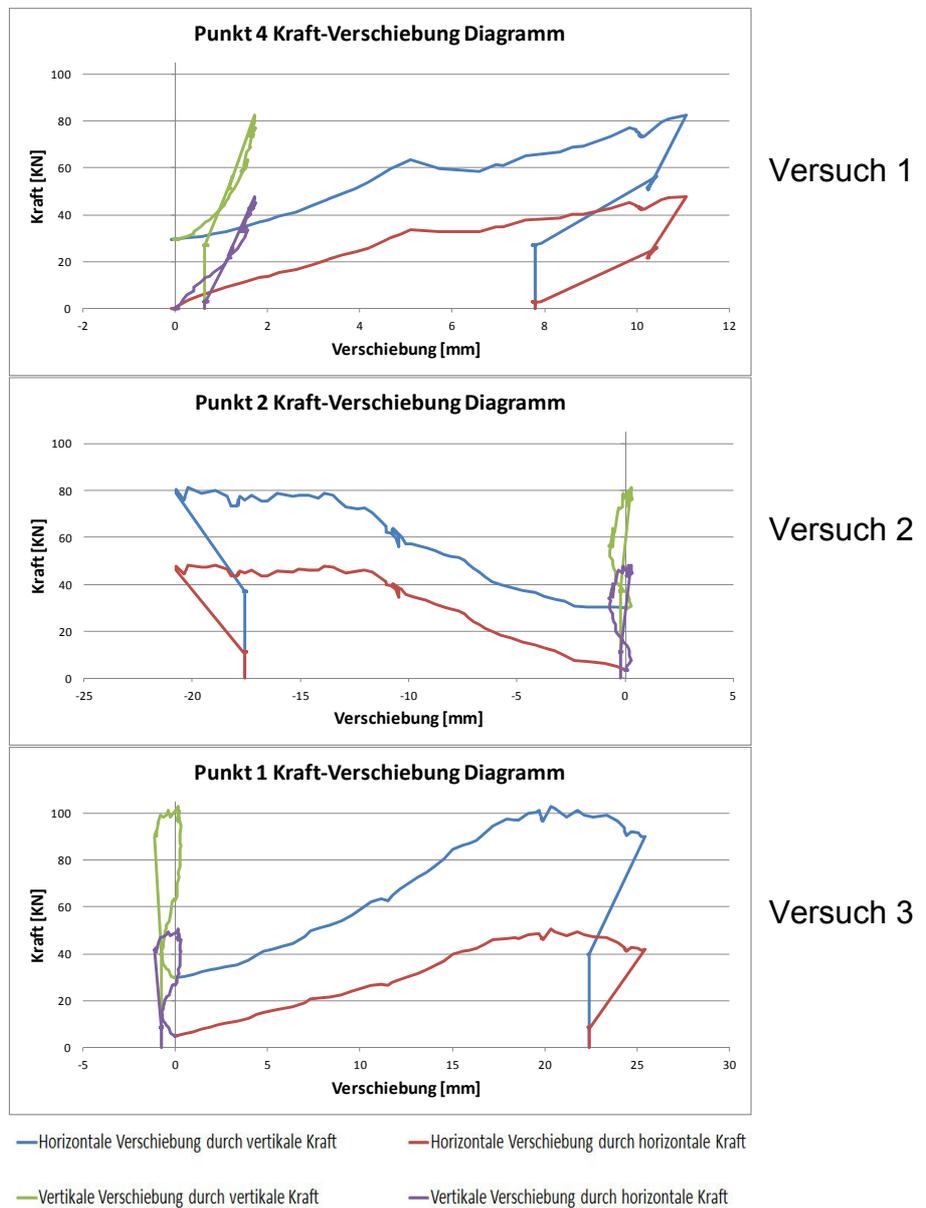


Abb. A.60 Kraft-Verschiebung-Diagramm

A.3 Versuchsreihe mit Mörtel M5

Versuchskörper Nr. 1

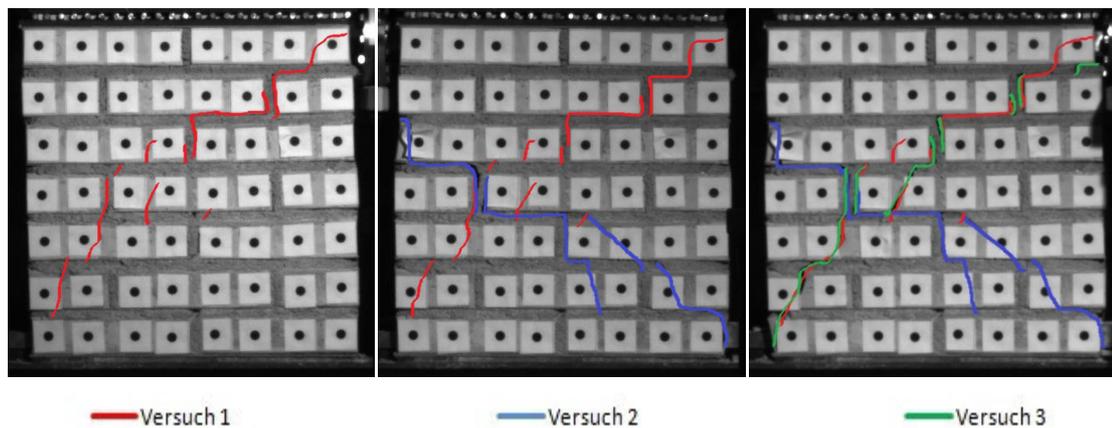


Abb. A.61: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man, dass die rot markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) haben. Im oberen Bereich des Versuchskörpers liegt Stoßfugenversagen vor. Nach der vierten Reihe geht der Rissverlauf sehr steil in Richtung Endlager und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Hier ist anschaulich, dass beim zweiten Versuch die entstandenen Risse erst ab der zweiten Reihe (von oben gesehen) beginnen und einen treppenförmigen Verlauf bis zum Endlager haben. Hier kann man gut sehen, dass die Stoßfugen versagt haben. Beim dritten Versuch bildeten sich keine neuen Risse, es wurden nur die Rissweiten, die beim ersten und zweiten Versuch entstanden sind, vergrößert (siehe Abb. A.61).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.21: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	-- KN	78,07 KN	52,93 KN
Max. H Kraft	-- KN	50,10 KN	26,74 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	-- mm	P7: -15,32 mm	P1: 15,09 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	-- mm	P7: -15,32 mm	P1: 15,09 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	-- mm	P32: -5,78 mm	P16: 5,53 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	-- mm	P32: -5,78 mm	P16: 5,53 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	-- mm	P7: -18,62 mm	P7: 17,14 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	-- mm	P32: -6,15 mm	P16: 5,56 mm

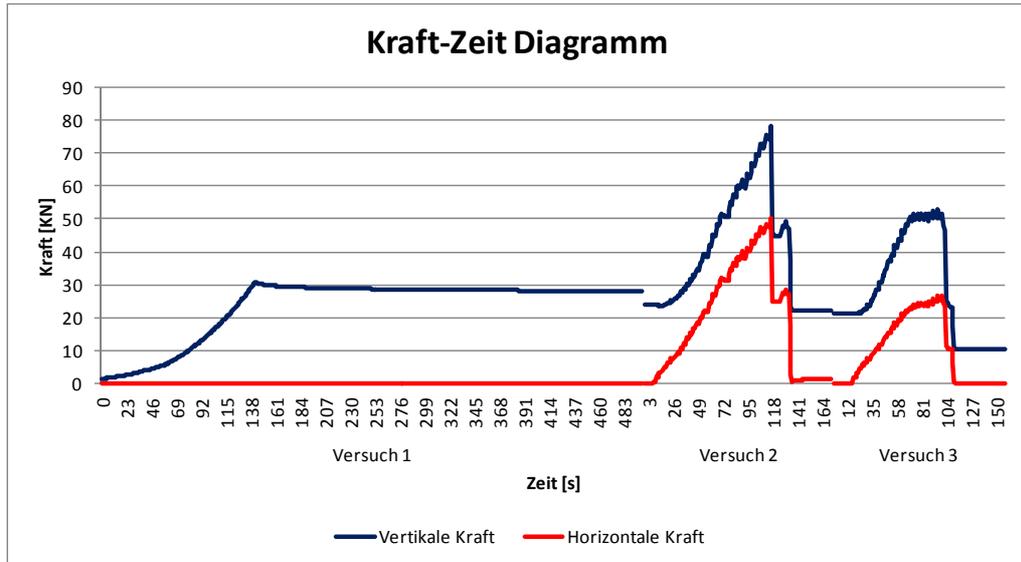
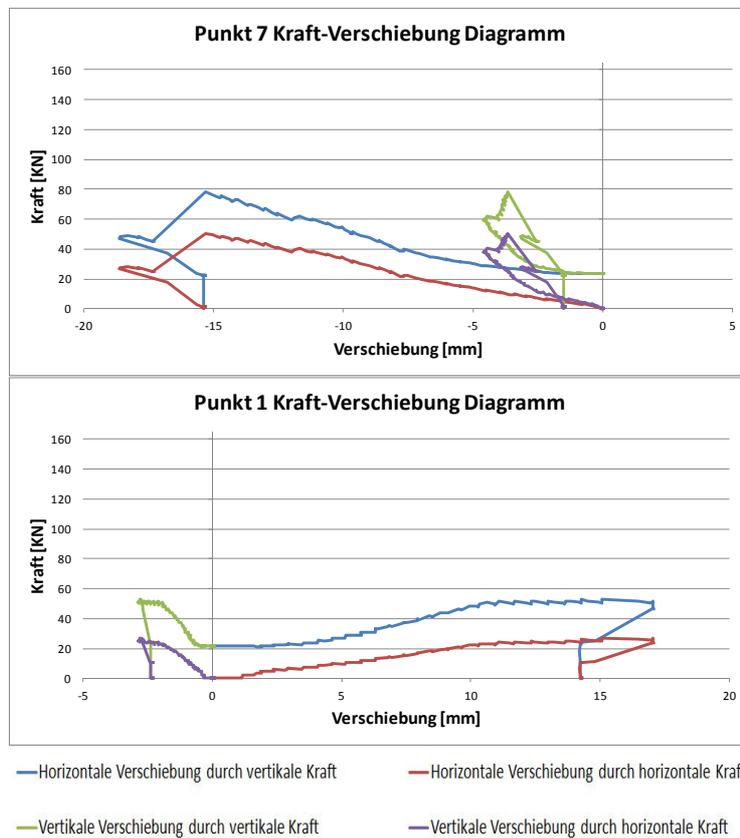


Abb. A.62: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche



Versuch 2

Versuch 3

Abb. A.63 Kraft-Verschiebung-Diagramm

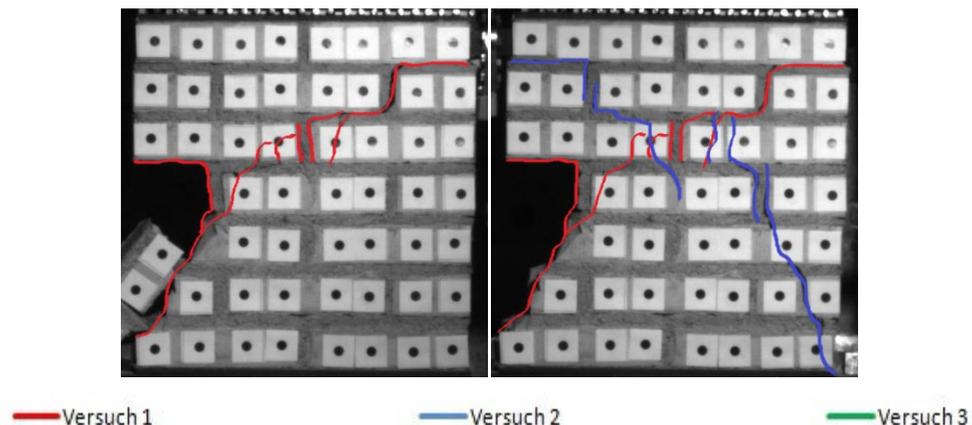
Versuchskörper Nr. 2

Abb. A.64: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Wie auf der oberen Abb. A.64 sehr gut zu sehen ist, trennte sich hier bemerkenswerterweise rechts ein großer Teil vom Versuchskörper ab. Diese Trennung passierte schlagartig bei einer vertikalen Last von 120 kN und war nicht vorhersehbar. Die Rissverläufe sind hier treppenförmig bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) und danach bildeten sich steile Rissverläufe. Beim zweiten Versuch sieht man, dass die blau markierten Rissverläufe einen fast symmetrischen Verlauf, bezogen auf die rot markierten Diagonalarisse im ersten Versuch, haben. Es konnte kein dritter Versuch mehr ausgeführt werden, da der Versuchskörper durch das Versagen der Ziegeln am rechten Rand nicht stabil genug war. Zudem ist zu erwähnen, dass bei diesem Versuchskörper das Rissbild beider Versuche ein X darstellt (siehe Abb. A.64).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.22: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	128,28 kN	58,02 kN	-- kN
Max. H Kraft	78,56 kN	36,79 kN	-- kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 9,56 mm	P1: -19,17 mm	-- mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 9,56 mm	P1: -19,17 mm	-- mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 7,44 mm	P8: -5,48 mm	-- mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 7,44 mm	P8: -5,48 mm	-- mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 16,45 mm	P1: -21,40 mm	-- mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P8: 7,44 mm	P8: -5,76 mm	-- mm

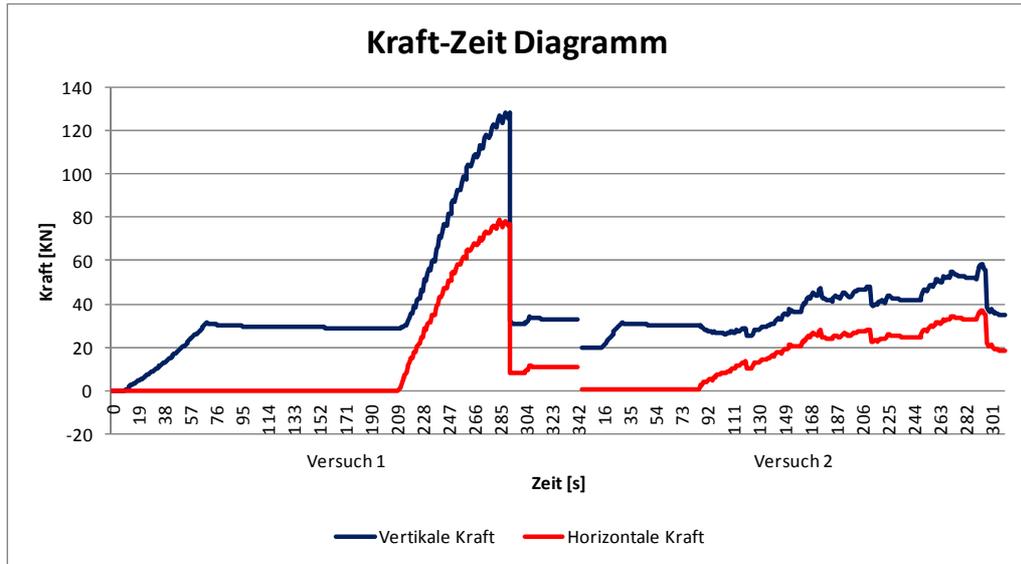


Abb. A.65: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

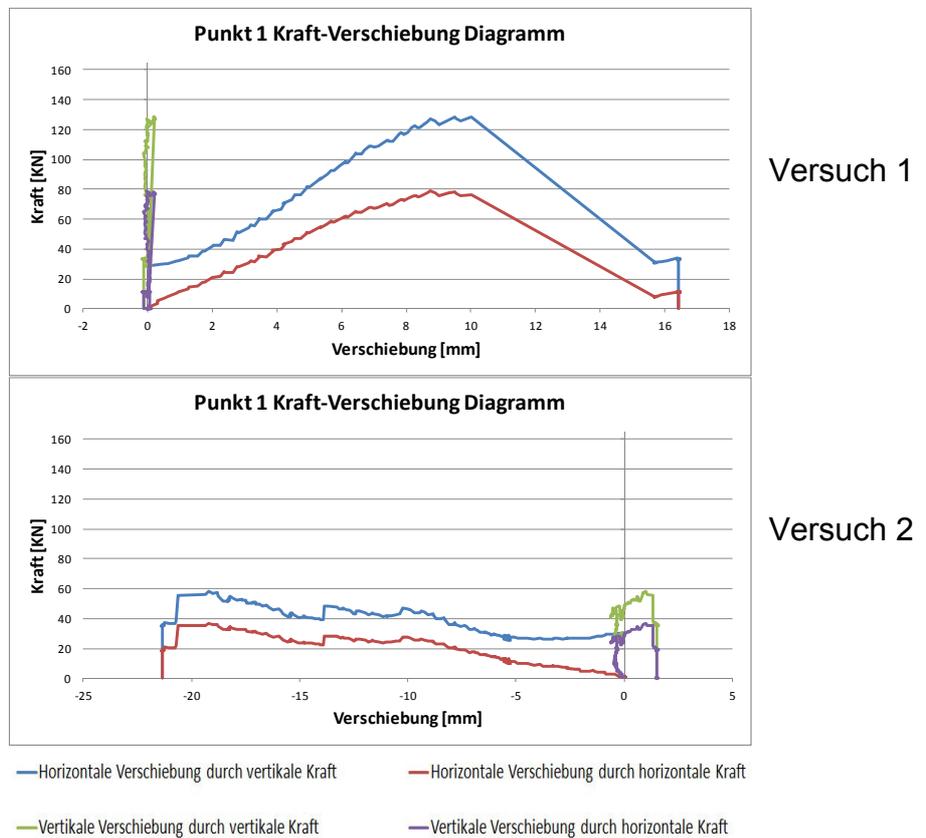


Abb. A.66 Kraft-Verschiebung-Diagramm

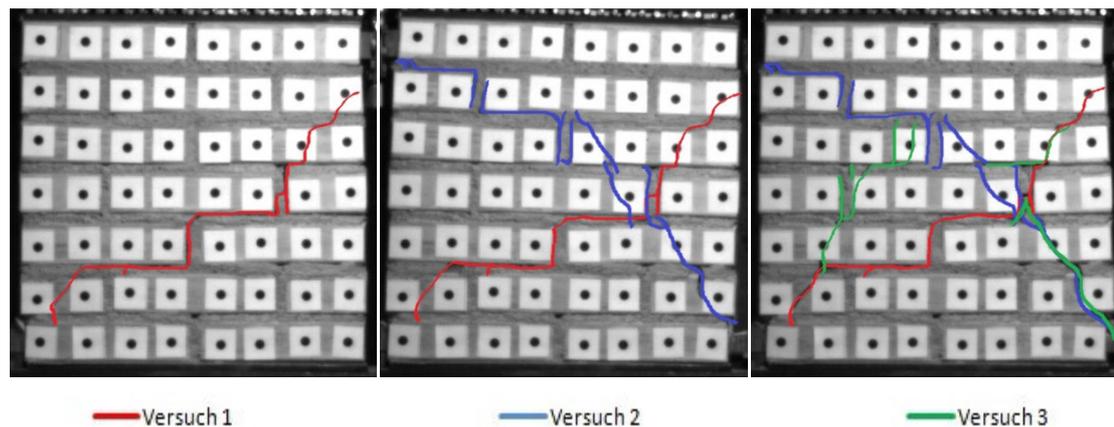
Versuchskörper Nr. 3

Abb. A.67: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Die rot markierten Risse haben einen sehr steilen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen). Hier liegt Steinversagen vor. Danach bildete sich ein treppenförmiger Rissverlauf bis zum Endlager. Beim zweiten Versuch ist es genau umgekehrt: hier bildete sich zuerst ein treppenförmiger Rissverlauf und ab der vierten Reihe ist ein steiler Verlauf erkennbar. Weiters sieht man nach dem zweiten Versuch ein symmetrisches Rissbild, dessen Symmetrieachse horizontal in der Mitte des Versuchskörpers liegt. Beim dritten Versuch ist bemerkenswert, dass die Rissweiten, die beim ersten und auch beim zweiten Versuch entstanden sind, vergrößert wurden. Besonders deutlich wird hier, dass durch die Vergrößerung der Rissweiten sich die linke Seite vom Versuchskörper getrennt hat und somit keine Haftung mehr besitzt. Es ergaben sich auch im rechten Bereich des Versuchskörpers neue Diagonallrisse (siehe Abb. A.67). Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.23: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	101,04 kN	73,45 kN	61,48 kN
Max. H Kraft	65,78 kN	51,19 kN	36,45 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 6,48 mm	P1: -13,34 mm	P8: 12,57 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 6,48 mm	P1: -10,83 mm	P1: 17,07 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 5,23 mm	P32: -6,30 mm	P8: 7,44 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 5,23 mm	P24: -5,91 mm	P8: 7,44 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P2: 11,67 mm	P1: -20,72 mm	P1: 17,16 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 5,32 mm	P24: -7,98 mm	P32: 6,68 mm

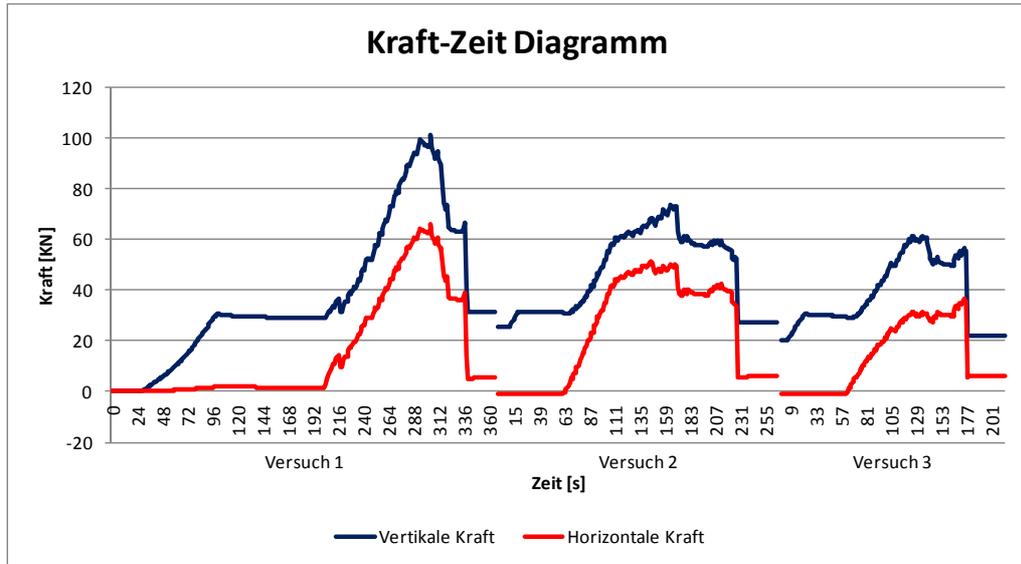


Abb. A.68: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

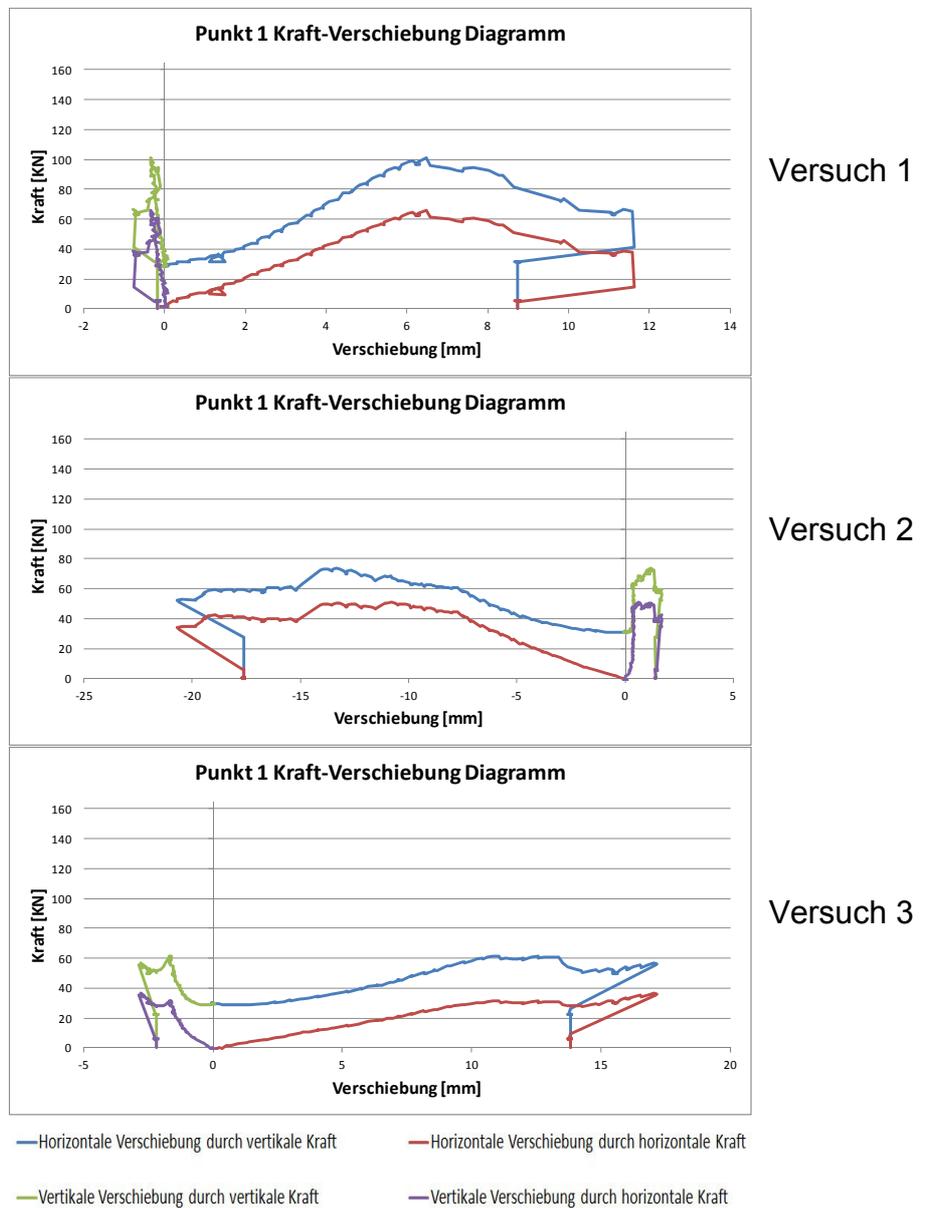


Abb. A.69 Kraft-Verschiebung-Diagramm

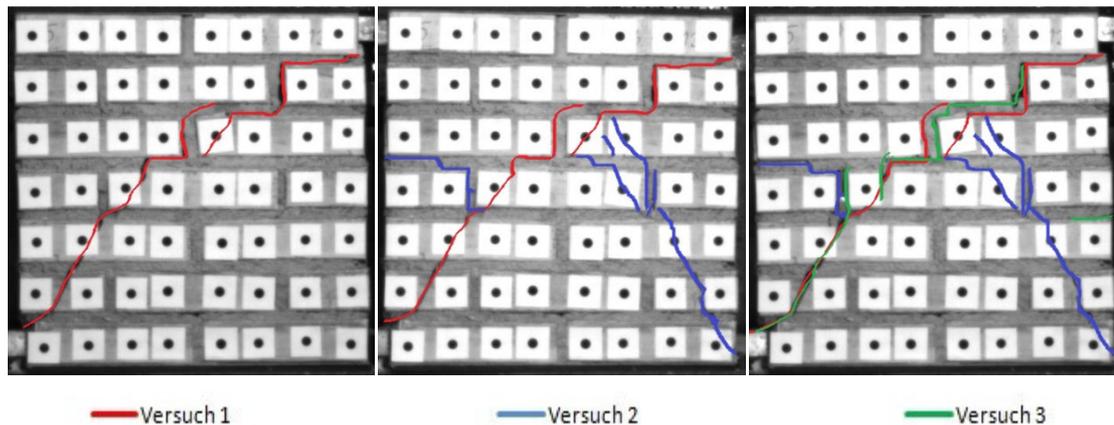
Versuchskörper Nr. 4

Abb. A.70: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper haben die rot markierten Risse, die im ersten Versuch entstanden sind, einen treppenförmigen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen). Nach der dritten Reihe ist der Verlauf wieder sehr steil und der Riss zieht sich durch die Ziegeln. Es liegt auch hier im unteren Bereich Steinversagen vor. Beim zweiten Versuch entstand ein Riss in der Lager- und Stoßfuge im mittleren rechten Bereich des Versuchskörper. Es bildete sich auch ein steiler Diagonalriss im linken Bereich des Versuchskörper. Die grün markierten Risse beim dritten Versuch zeigen, dass die Rissweiten, die beim ersten und zweiten Versuch entstanden sind, sich um ein Vielfaches vergrößert haben. Bei diesem Versuchskörper bildete sich als Rissbild ein verkehrtes V (siehe Abb. A.70) .

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.24: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	131,15 KN	84,88 KN	46,10 KN
Max. H Kraft	85,32 KN	61,08 KN	23,62 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 6,92 mm	P1: -8,32 mm	P1: 5,95 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 6,92 mm	P1: -8,14 mm	P1: 5,95 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P48: 6,08 mm	P8: -4,97 mm	P16: 2,86 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P48: 6,08 mm	P8: -4,95 mm	P16: 2,86 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 14,15 mm	P1: -13,78 mm	P1: 15,89 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 6,14 mm	P8: -5,07 mm	P8: 4,99 mm

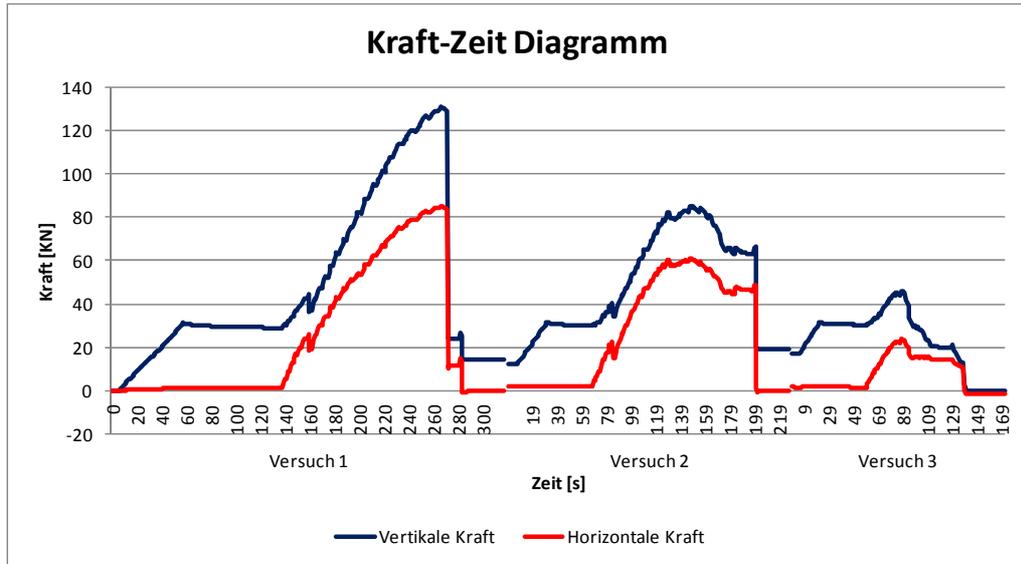


Abb. A.71: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

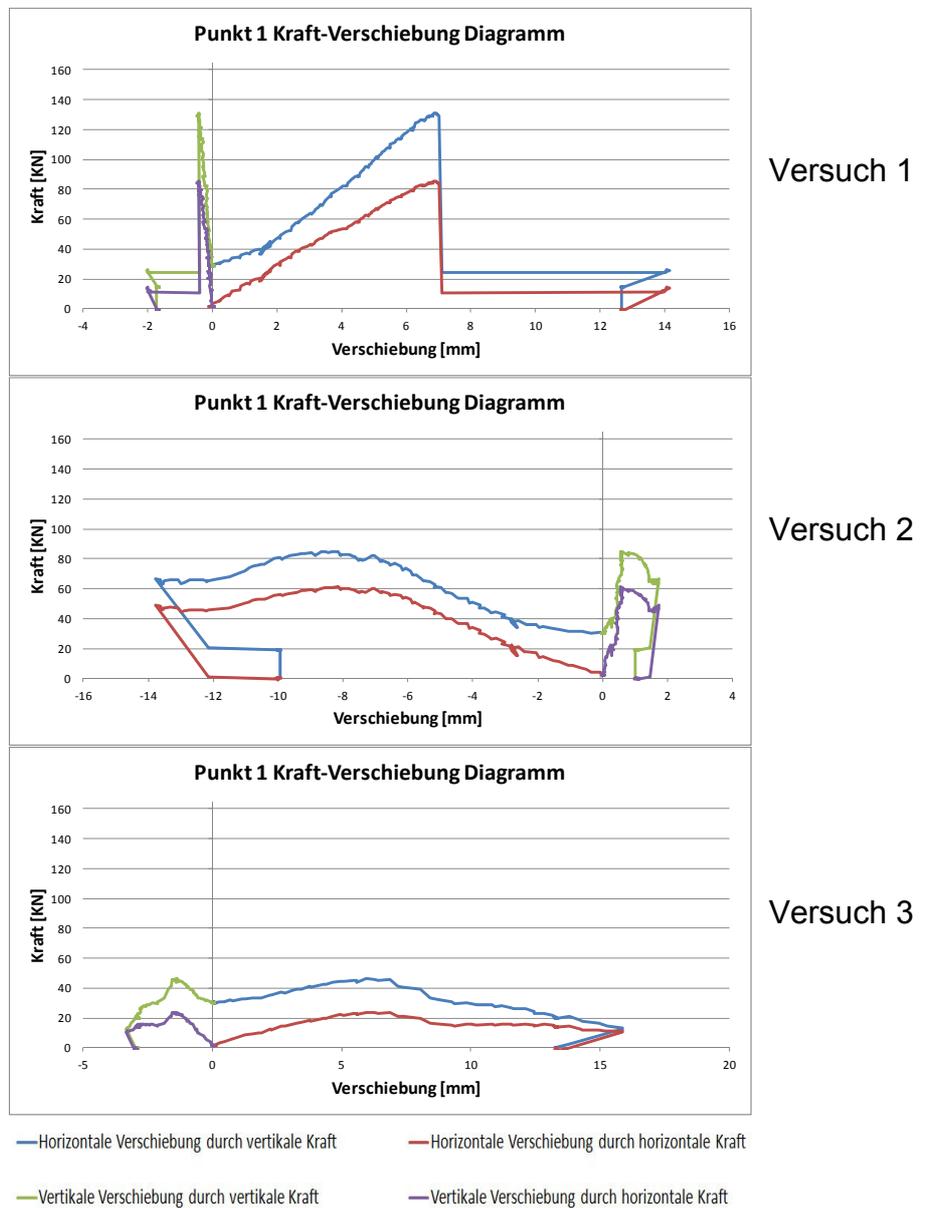


Abb. A.72 Kraft-Verschiebung-Diagramm

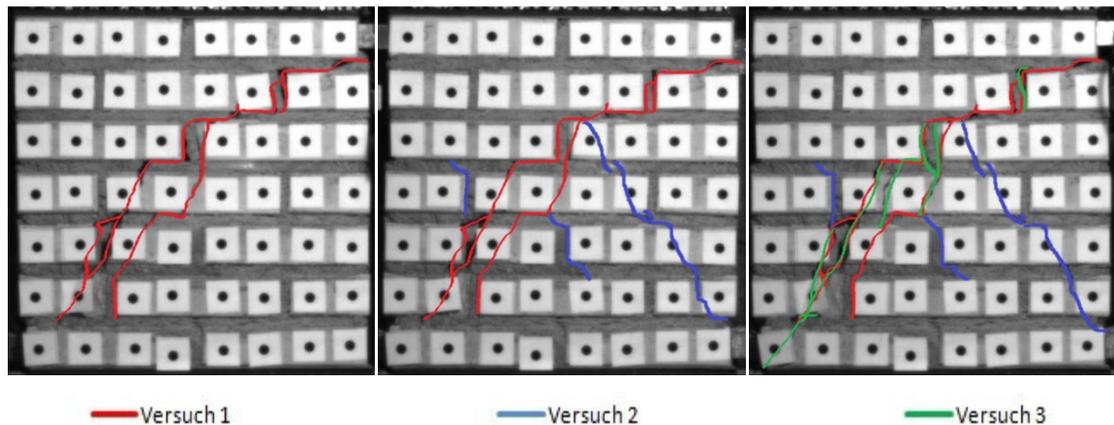
Versuchskörper Nr. 5

Abb. A.73: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man, dass die rot markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen) haben. Nach der dritten Reihe entstanden zwei Risse mit sehr steilem Verlauf. Die Risse ziehen sich durch die Ziegeln und es liegt auch hier im unteren Bereich Steinversagen vor. Beim zweiten Versuch wird sichtbar, dass die Rissverläufe sich erst in der Mitte des Körpers bildeten. Hier entstand ein steiler Diagonalmriss im linken Bereich des Versuchskörpers. Die grün markierten Risse beim dritten Versuch zeigen, dass die Rissweiten, die sich beim ersten Versuch bildeten, sich um ein Vielfaches vergrößert haben. Es ergaben sich auch ein paar neue Risse. Bei diesem Versuchskörper liegt, wie bei Versuchskörper Nr. 4, als Rissbild ein verkehrtes V vor. Hier ist noch eindrucksvoll, dass beim ersten Versuch eine vertikale Last von über 160 kN gemessen wurde (siehe Abb. A.73). Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.25: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	163,12 kN	83,63 kN	51,09 kN
Max. H Kraft	90,45 kN	54,19 kN	18,19 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 9,89 mm	P8: -16,13 mm	P1: 10,67 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 9,89 mm	P8: -16,13 mm	P6: 9,35 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 8,54 mm	P41: 2,74 mm	P32: 2,25 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 8,54 mm	P41: 2,74 mm	P32: 2,64 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 14,19 mm	P8: -18,87 mm	P2: 13,04 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P8: 8,55 mm	P41: -2,74 mm	P41: -3,08 mm

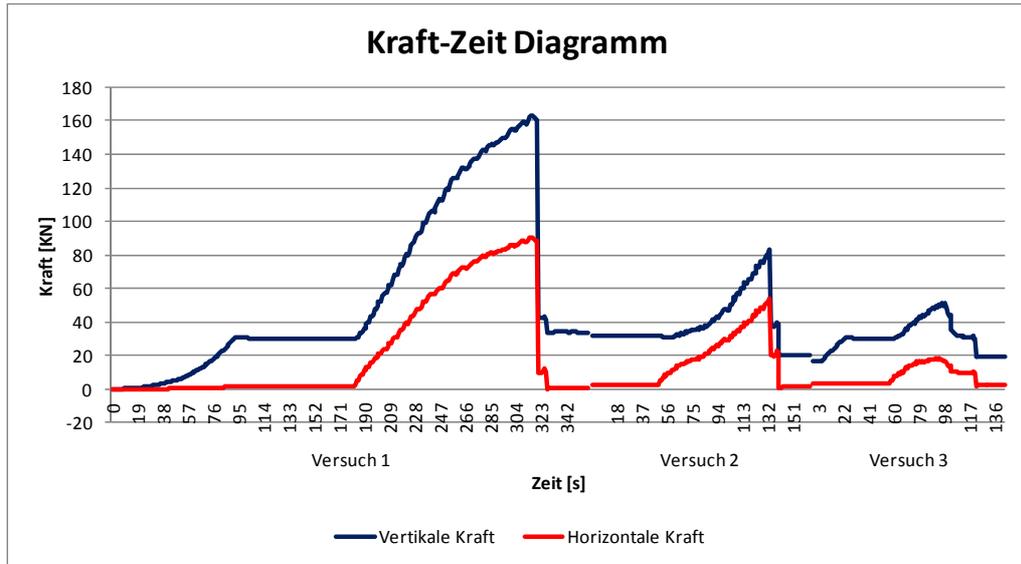


Abb. A.74: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

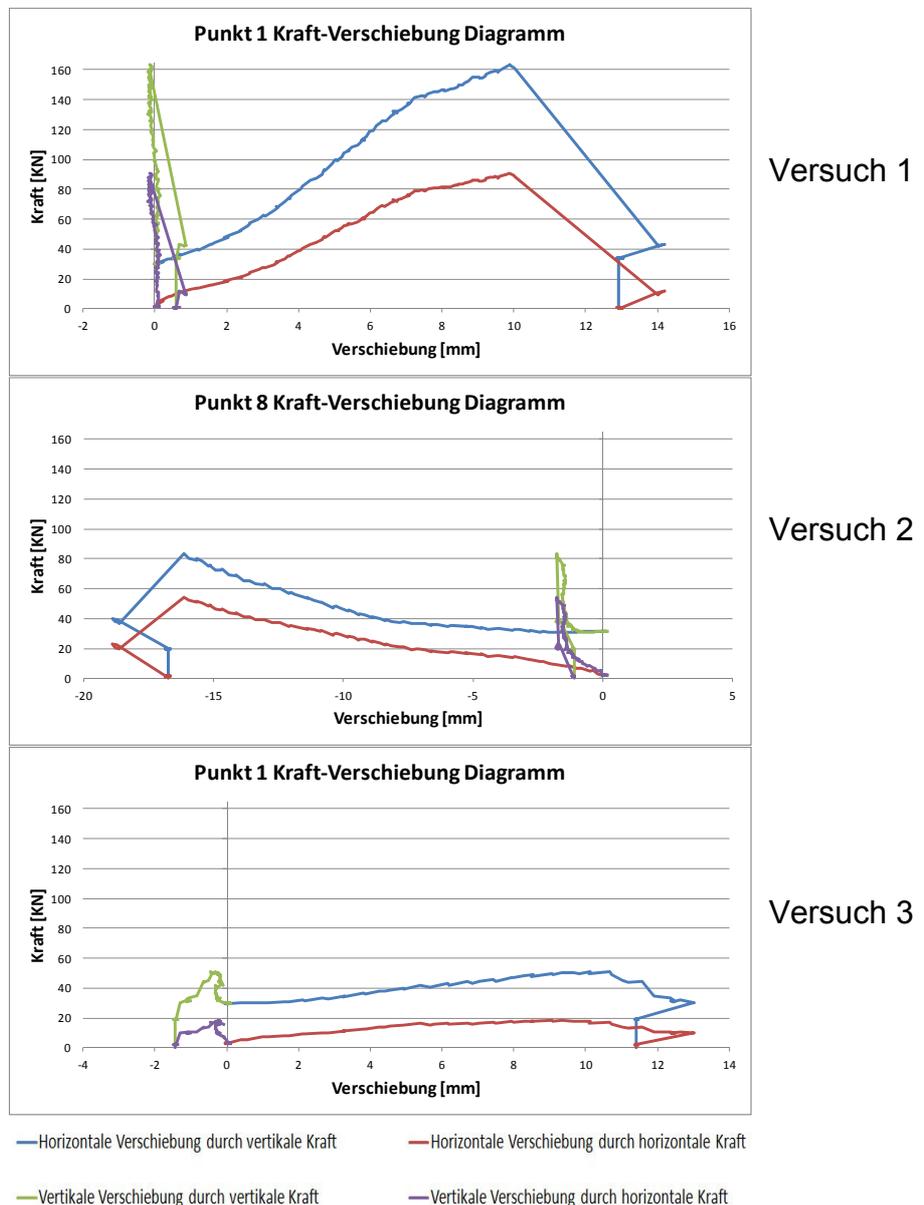


Abb. A.75 Kraft-Verschiebung-Diagramm

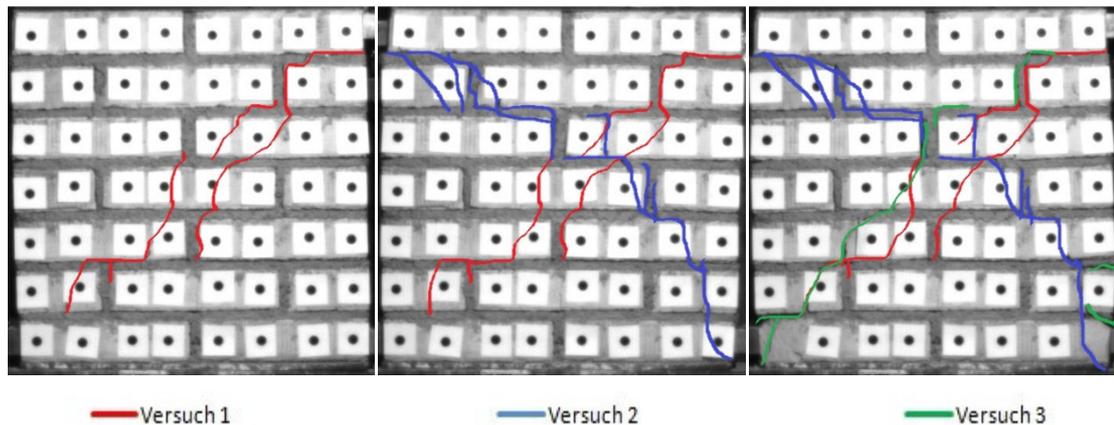
Versuchskörper Nr. 6

Abb. A.76: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

In der oberen Abb. A.76 sieht man, dass die rot markierten Risse, die im ersten Versuchsdurchlauf entstanden sind, keine fortlaufenden Diagonalen bilden. Es formten sich zwei parallele Rissverläufe mit kleinen Risslängen im Mittelbereich des Versuchskörpers. Im zweiten Versuch ist sichtbar, dass viele kleine Risse im Krafeinleitungsbereich entstanden sind. Es gibt auch einen kontinuierlichen Riss, der sich bis zum Endlager zieht. Beim dritten Versuch bildete sich diesmal ein neuer Diagonalriss, der bis zum Endlager reicht. Es wurden auch die Rissweiten beim ersten Versuch vergrößert. Auffallend ist hier, dass das Rissbild wieder ein X darstellt (siehe Abb. A.76).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.26: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	137,69 KN	82,76 KN	58,96 KN
Max. H Kraft	84,09 KN	44,11 KN	28,07 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P5: 10,17 mm	P1: -11,32 mm	P8: 18,71 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P5: 7,73 mm	P2: -9,35 mm	P8: 18,71 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 6,31 mm	P16: -2,27 mm	P24: 6,11 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P24: 6,51 mm	P16: -3,12 mm	P24: 6,11 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P5: 12,07 mm	P1: -18,37 mm	P8: 18,73 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P8: 6,58 mm	P16: -3,20 mm	P32: 6,14 mm

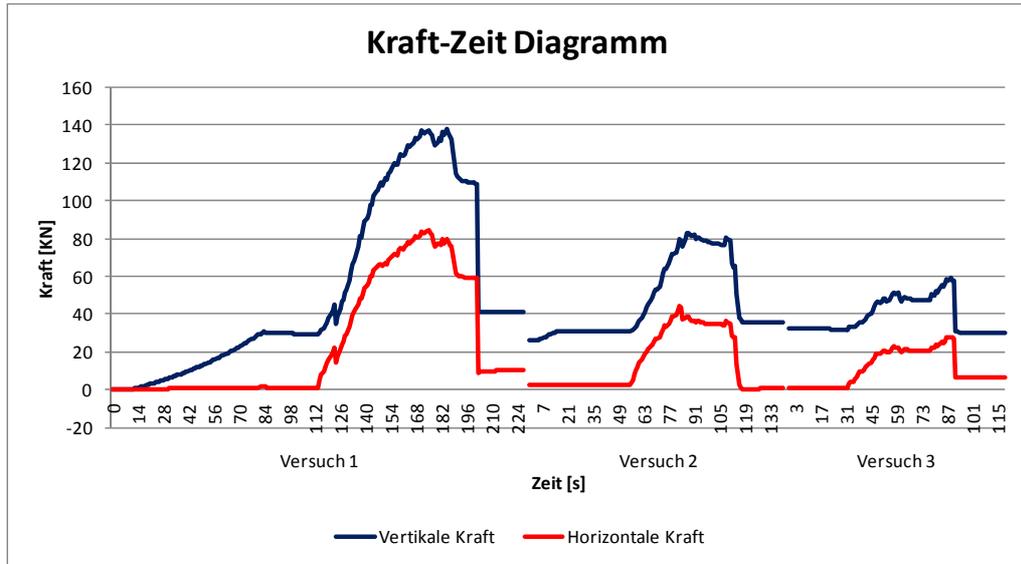


Abb. A.77: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

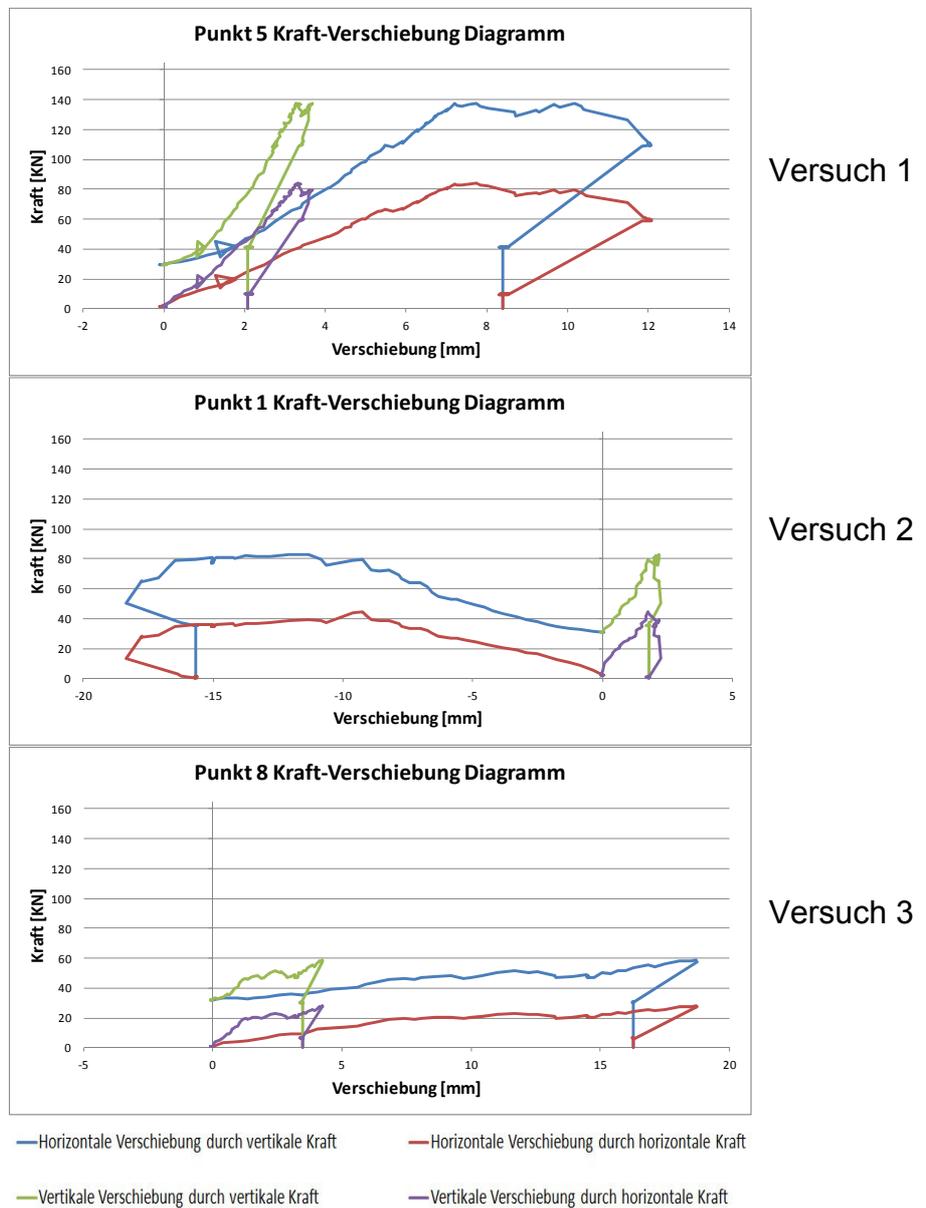


Abb. A.78 Kraft-Verschiebung-Diagramm

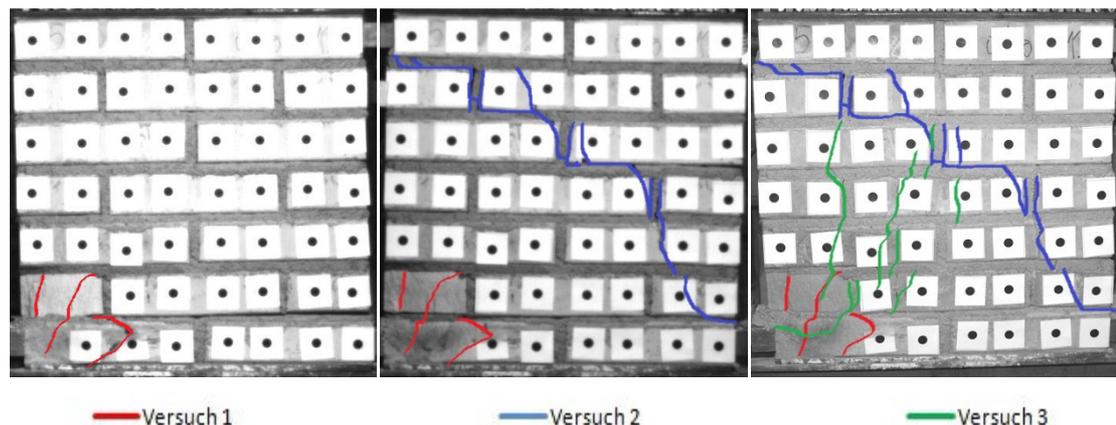
Versuchskörper Nr. 7

Abb. A.79: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Erstaunlicherweise sieht man bei diesem Versuchskörper im ersten Durchgang nicht viele Risse. Nur ein paar kleine Risse bildeten sich im rechten Endlagerbereich. Bei diesem Versuch wurden die Ziegeln im Endlagerbereich leicht beschädigt. Beim zweiten Versuch ist hingegen ein fortlaufender Rissverlauf sichtbar, dessen Anfang von der Lasteinleitung bis zur vierten Reihe treppenförmig ist und dann einen teilweisen Verlauf bis zum Endlager nimmt. Beim dritten Versuch entstanden viele kleine Risse im unteren Bereich des Versuchskörpers. Hier sieht man, dass die Ziegeln im rechten Bereich des Versuchskörpers versagten. Zu erwähnen ist außerdem, dass sich im linken oberen Bereich des Versuchskörpers keine Risse gebildet haben (siehe Abb. A.79).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.27: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	138,86 kN	147,07 kN	73,46 kN
Max. H Kraft	82,52 kN	94,67 kN	33,77 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P7: 9,99 mm	P2: -18,09 mm	-- mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P7: 9,99 mm	P2: -18,09 mm	-- mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 7,36 mm	P1: 6,74 mm	-- mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 7,36 mm	P1: 6,74 mm	-- mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 19,56 mm	P2: -24,23 mm	-- mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 17,28 mm	P1: 6,74 mm	-- mm

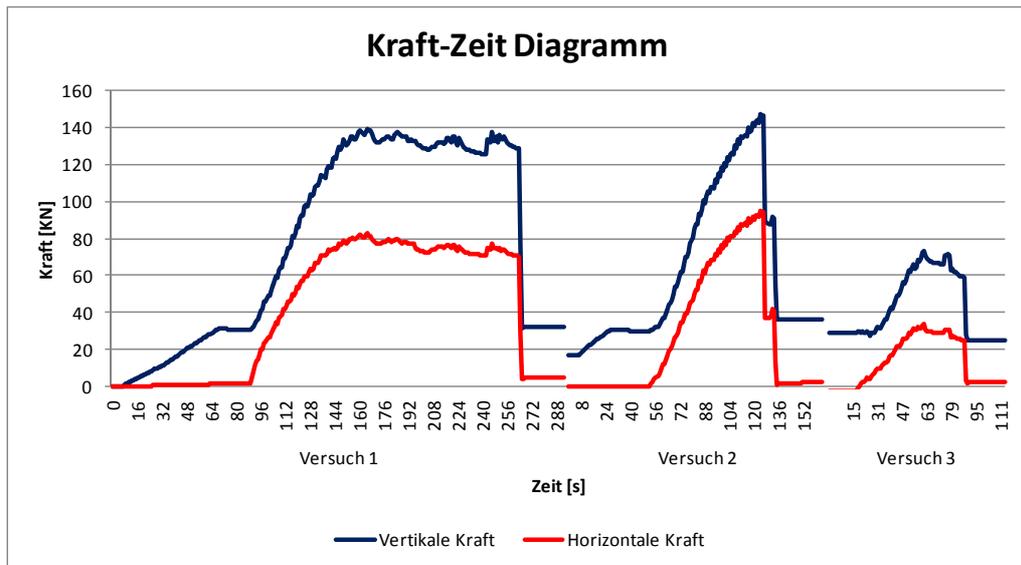


Abb. A.80: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

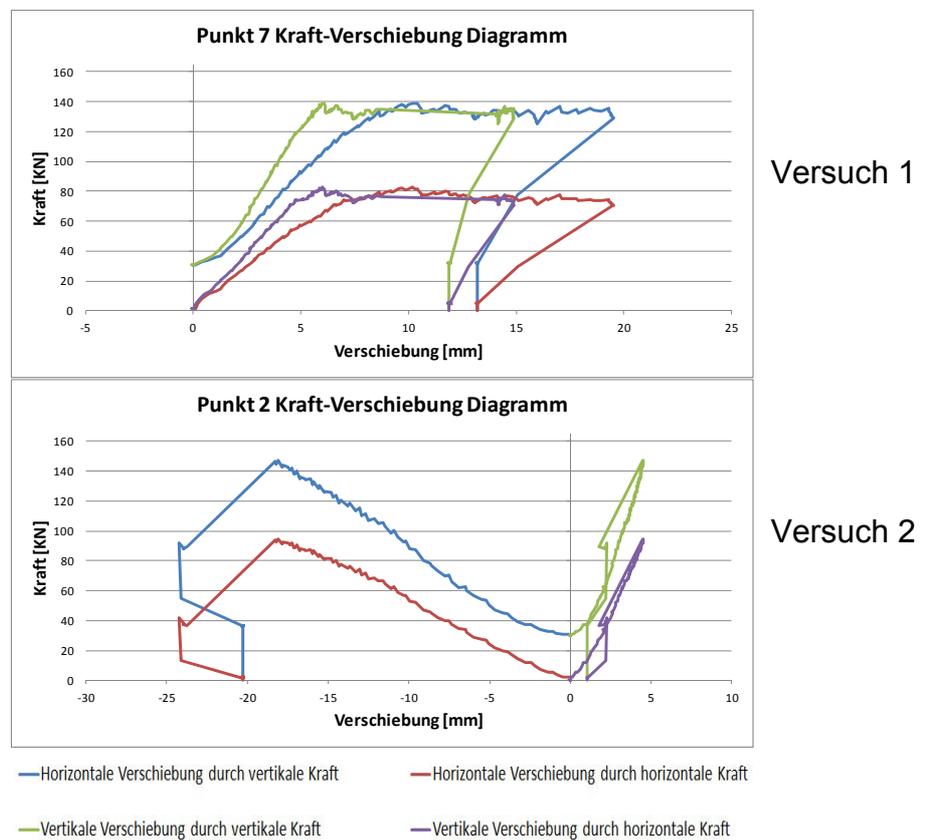


Abb. A.81 Kraft-Verschiebung-Diagramm

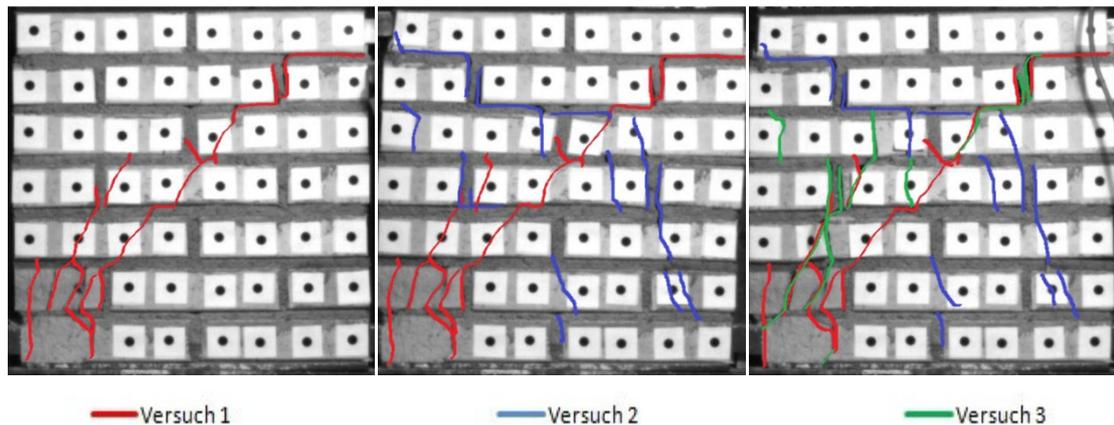
Versuchskörper Nr. 8

Abb. A.82: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Die rot markierten Risse zeigen einen treppenförmigen Verlauf bis zur zweiten Reihe (von oben gesehen). Interessant ist hierbei, dass die Stoßfugen versagt haben. Nach der zweiten Reihe geht der Rissverlauf sehr steil in Richtung Endlager und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Hier ist noch sichtbar, dass viele kleine Risse beim Endlagerbereich entstanden sind. Beim zweiten Versuch bildeten sich viele kleine Risse, die aber nicht fortlaufend sind. Diese Risse verursachten Steinversagen im linken Bereich des Versuchskörpers. Beim dritten Versuch vergrößerten sich die Rissweiten der Stoßfugen, die beim ersten Versuch entstanden sind. Außerdem ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls mit grüner Farbe dargestellt wurden (siehe Abb. A.82.).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.28: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	135,72 kN	122,93 kN	30,34 kN
Max. H Kraft	82,89 kN	55,78 kN	16,1 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 12,28 mm	P8: -18,99 mm	P1: 0,00 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 12,28 mm	P8: -15,288 mm	P1: 20,04 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 11,18 mm	P33: 3,16 mm	P1: 0,00 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 11,18 mm	P33: 3,46 mm	P9: -7,46 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 15,69 mm	P8: -22,13 mm	P1: 21,87 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 11,18 mm	P1: 3,58 mm	P9: 7,57 mm

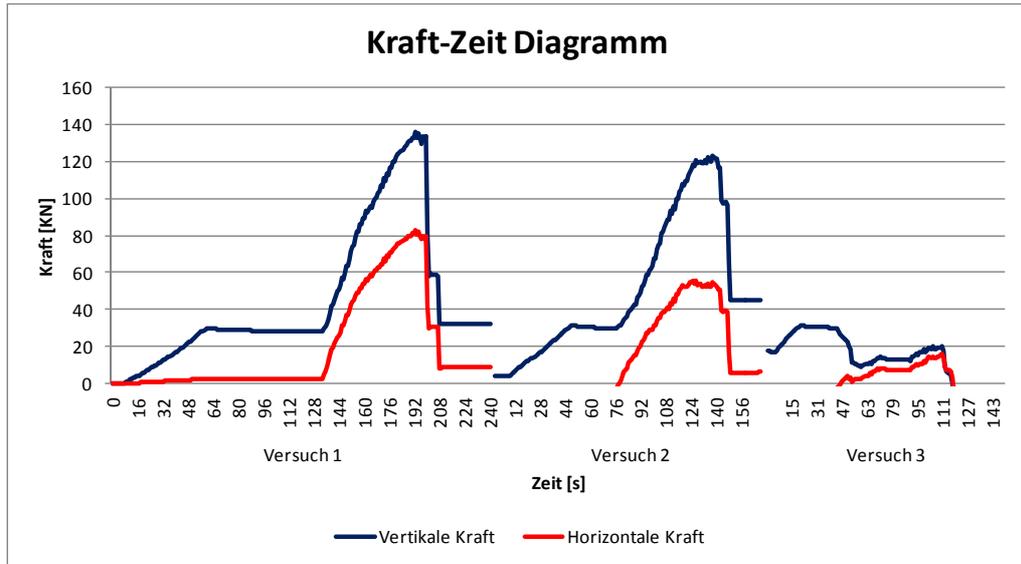


Abb. A.83: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

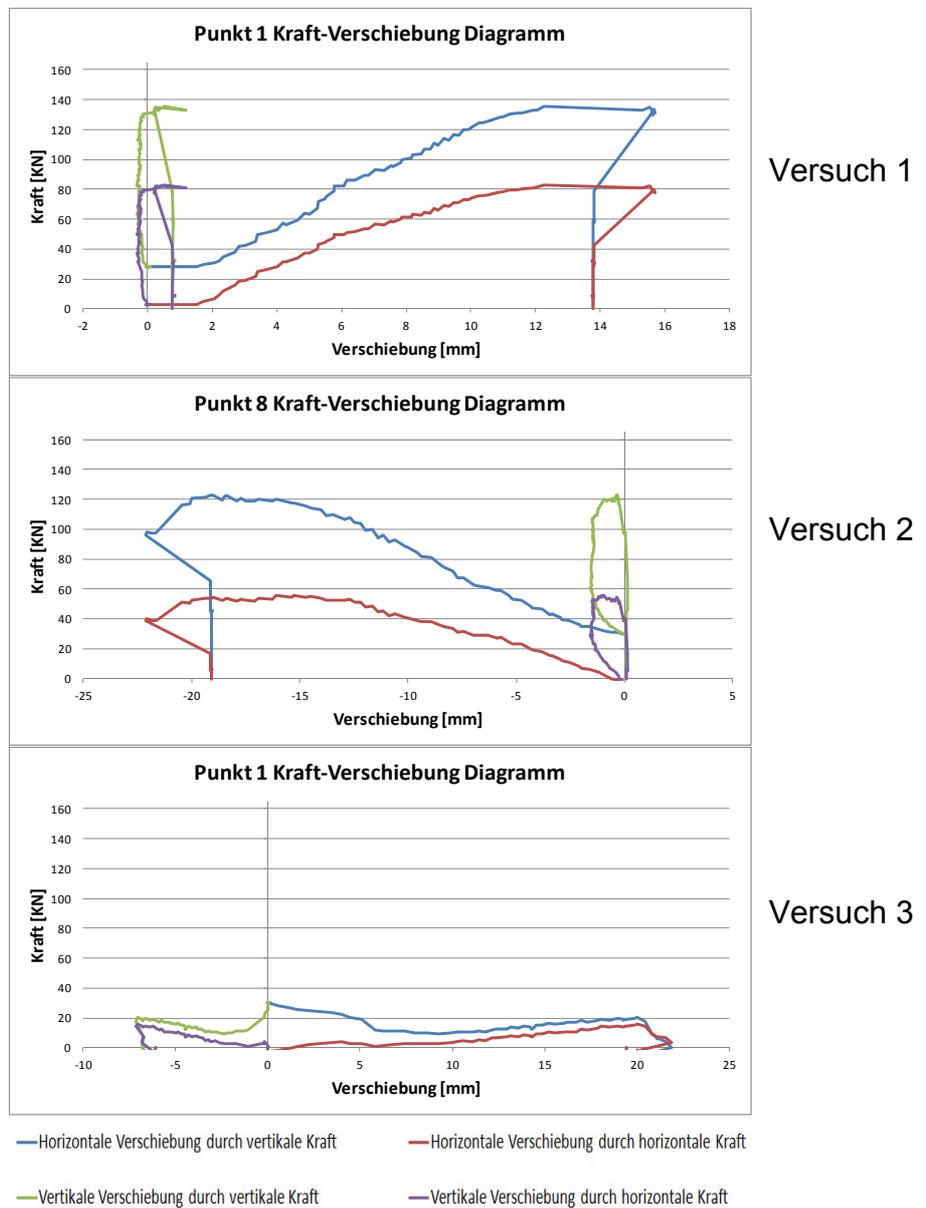


Abb. A.84 Kraft-Verschiebung-Diagramm

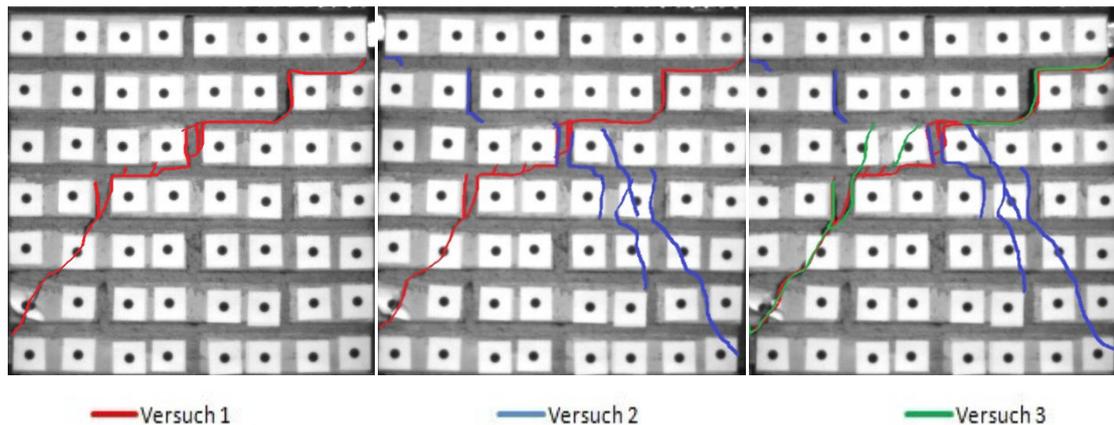
Versuchskörper Nr. 9

Abb. A.85: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper erkennt man ähnliche Rissverläufe wie beim Versuchskörper Nr. 4: die rot markierten Risse haben einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen). Interessant ist weiters, dass die Stoßfugen versagt haben. Nach der vierten Reihe geht der Rissverlauf sehr steil in Richtung Endlager und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Beim zweiten Versuch entstand ein Riss in der Stoßfuge im oberen rechten Bereich des Versuchskörpers. Es bildete sich auch ein steiler Diagonalriss im linken Bereich des Versuchskörpers. Die grün markierten Risse beim dritten Versuch zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch sich um ein Vielfaches vergrößert wurden. Bei diesem Versuchskörper, bildete sich als Rissbild wieder ein verkehrtes V (siehe Abb. A.85).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.29: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	109,81 kN	98,49 kN	34,69 kN
Max. H Kraft	65,13 kN	58,80 kN	17,38 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 5,98 mm	P8: -10,82 mm	P7: 1,46 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 5,98 mm	P8: -10,82 mm	P1: 13,93 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 5,41 mm	P16: -3,95 mm	P16: 0,46 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 5,41 mm	P16: -3,95 mm	P16: 3,84 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P2: 11,62 mm	P7: -13,61 mm	P2: 17,03 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 5,42 mm	P8: -4,42 mm	P16: 4,88 mm

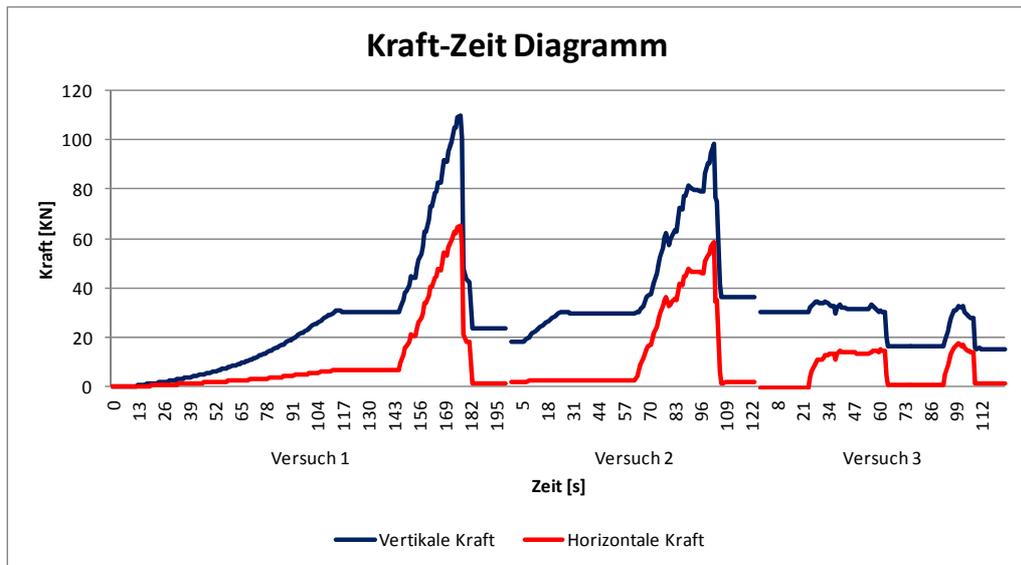


Abb. A.86: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

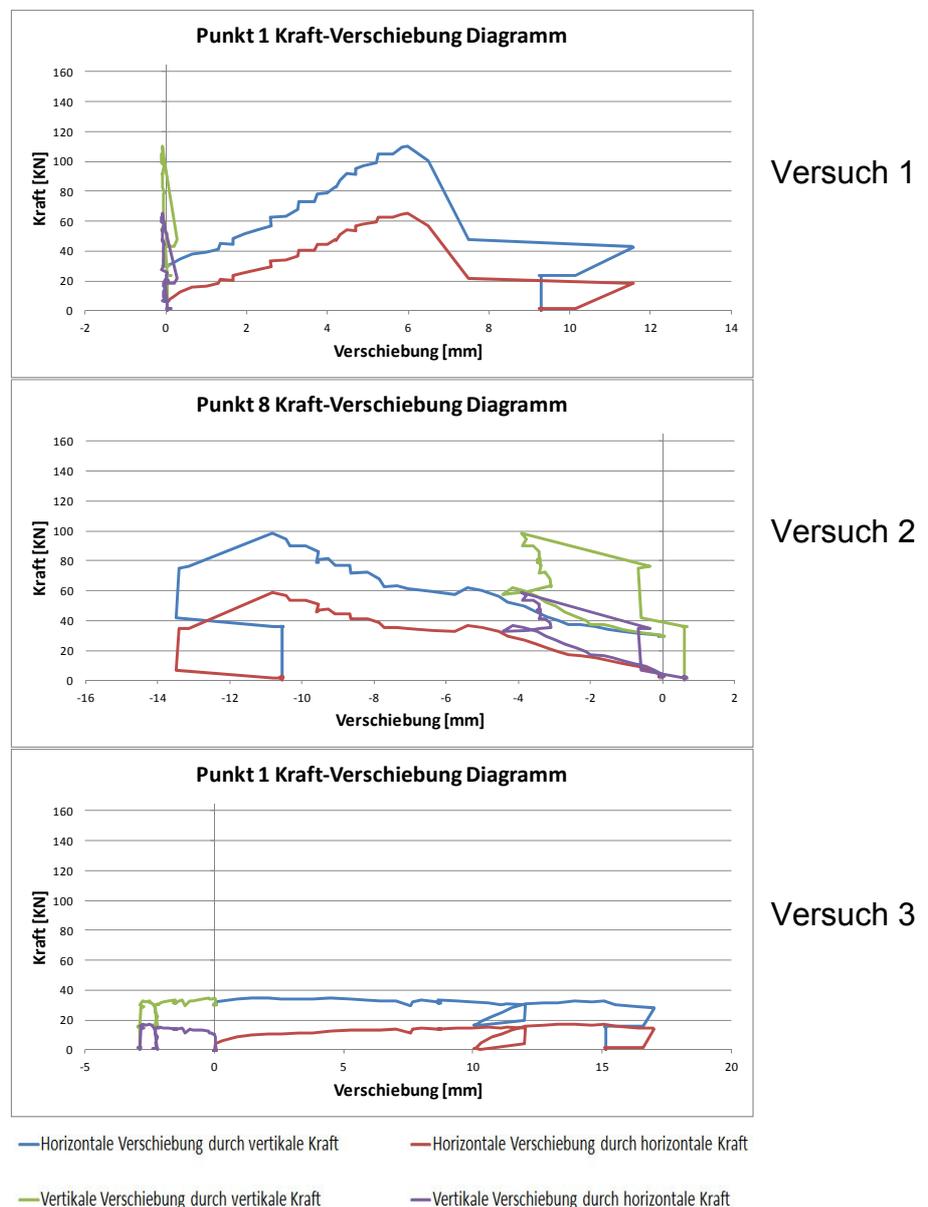


Abb. A.87 Kraft-Verschiebung-Diagramm

Versuchskörper Nr. 10

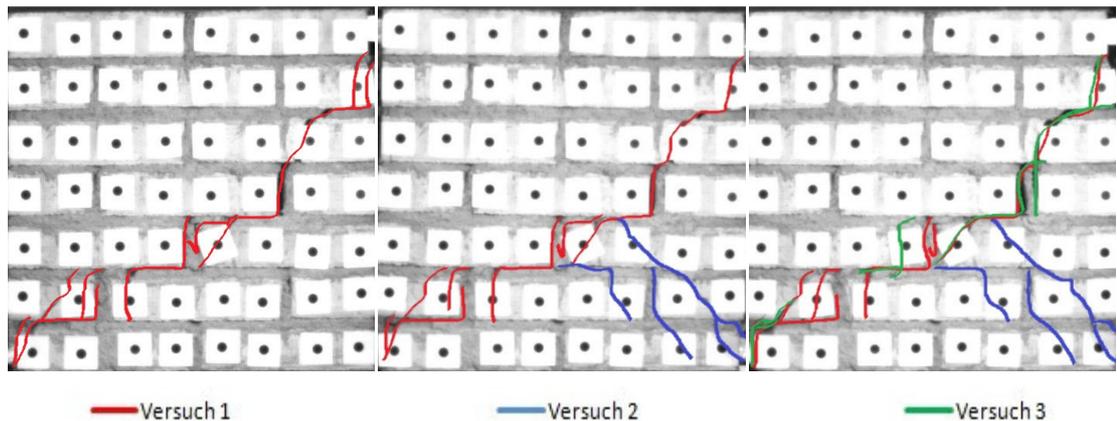


Abb. A.88: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Die obere Abb. A.88 zeigt, dass die rot markierten Risse, die beim ersten Versuch entstanden sind, einen sehr steilen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen) nehmen. Es ist außerdem sichtbar, dass die Steine versagt haben. Danach bildete sich ein treppenförmiger Rissverlauf bis zum Endlager. Beim zweiten Versuch beginnen die blau markierten Risse erst im unteren Bereich des Versuchskörpers. Beim dritten Versuch sieht man, dass die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind, vergrößert wurden. Des Weiteren wird durch die Vergrößerung der Rissweiten deutlich, dass die linke Seite sich vom Versuchskörper getrennt hat und keine Haftung mehr besitzt. Beim der Versuch ist noch auffallend, dass im oberen linken Bereich des Versuchskörpers keine Risse entstanden (siehe Abb. A.88).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.30: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	138,00 kN	94,13 kN	50,28 kN
Max. H Kraft	83,76 kN	50,57 kN	23,98 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 9,88 mm	P1: -11,69 mm	P1: 10,74 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 7,38 mm	P1: -11,69 mm	P1: 10,14 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 6,76 mm	P8: -4,37 mm	P8: 3,34 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 6,35 mm	P8: -4,37 mm	P8: 3,21 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 11,97 mm	P1: -18,11 mm	P1: 16,93 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 6,87 mm	P24: -4,54 mm	P8: 3,51 mm

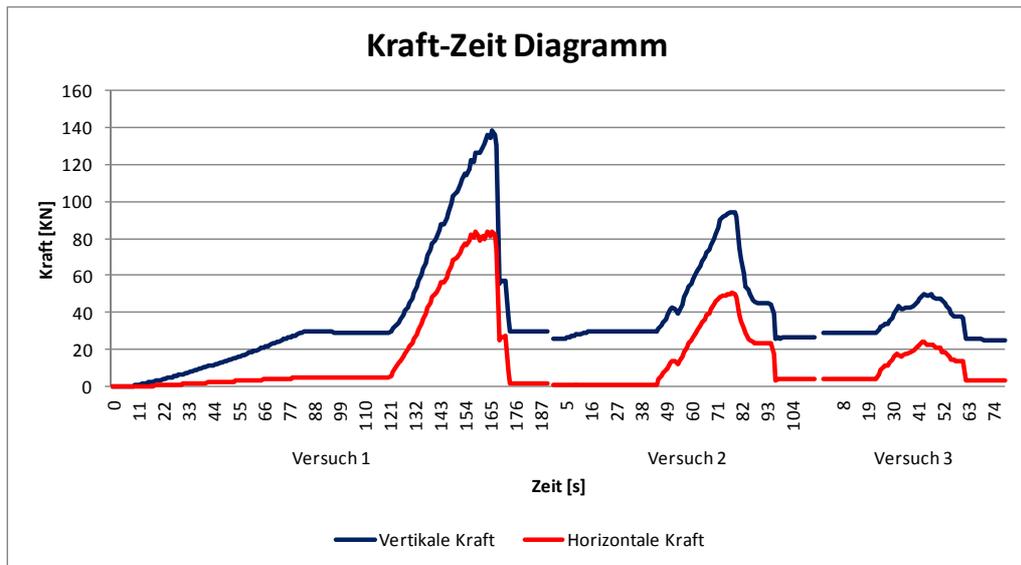


Abb. A.89: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

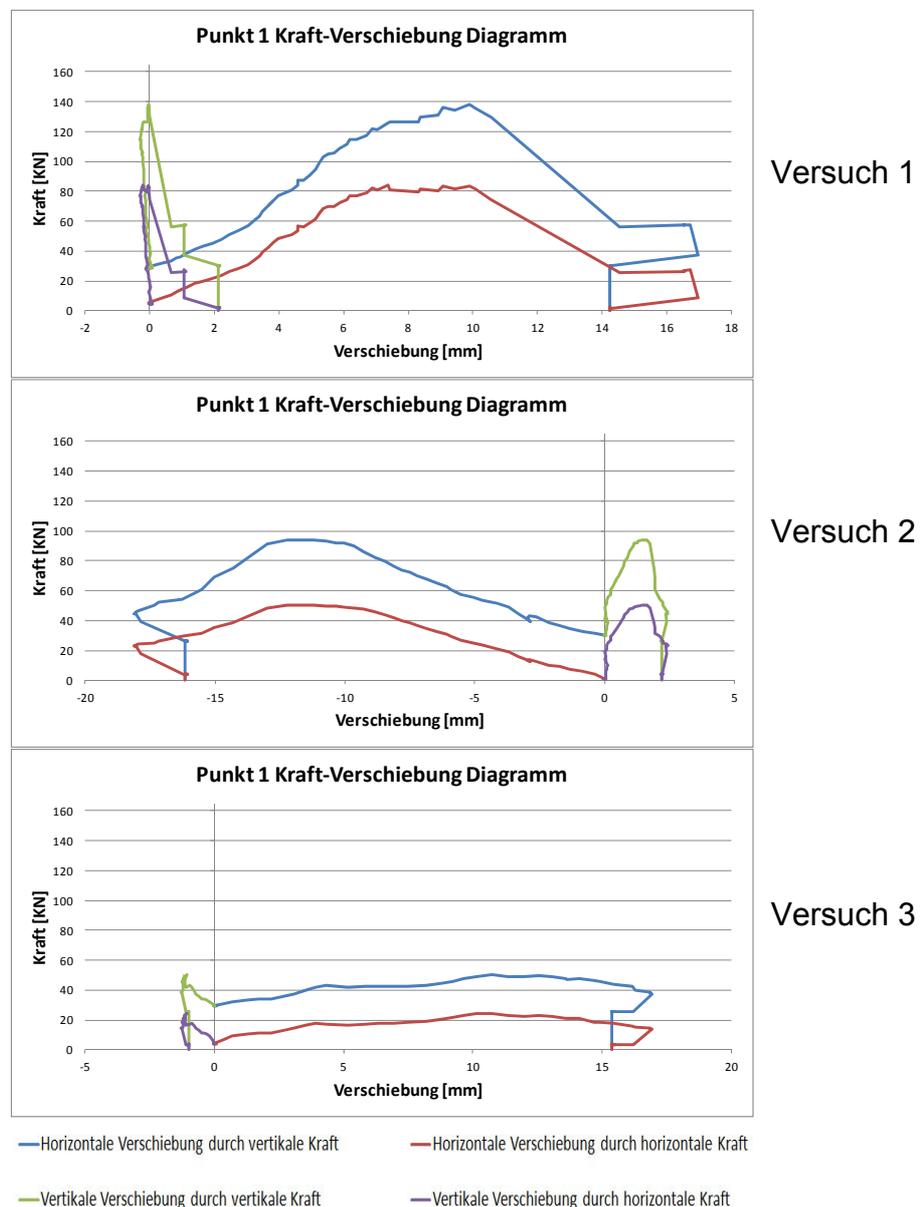


Abb. A.90 Kraft-Verschiebung-Diagramm

A.4 Versuchsreihe mit Mörtel M10

Versuchskörper Nr. 1

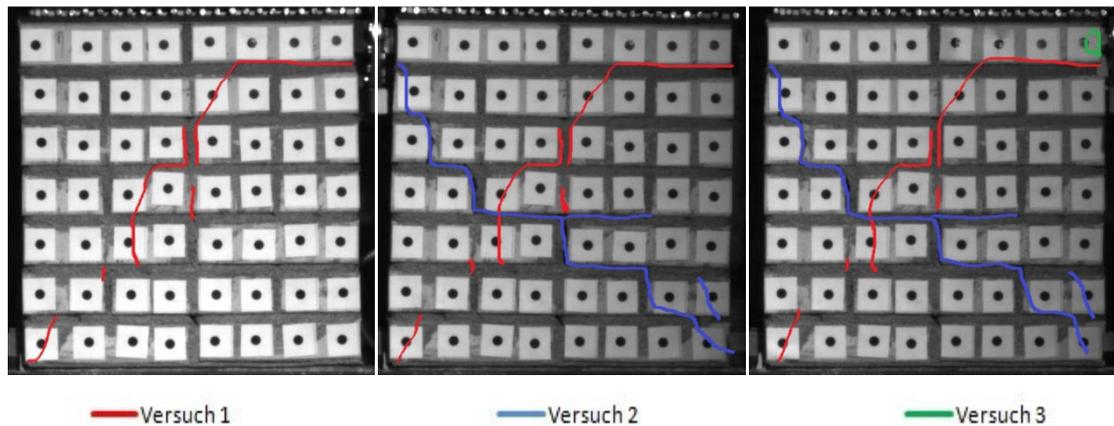


Abb. A.91: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Hier sieht man, dass die Lagerfuge des ersten Ziegels in der ersten Reihe des Versuchskörpers versagt hat. Danach bildeten sich Risse die sich bis zum Endlager ziehen, aber nicht kontinuierlich verlaufen. Beim zweiten Versuch erkennt man einen sehr schönen treppenförmigen Rissverlauf, der beim Lasteinleitung beginnt und bis zum Endlager geht. Beim zweiten Versuch kann man von einem Stoßfugenversagen reden. Beim dritten Versuch versagte die Lasteinleitungsfläche des ersten Ziegels, der in der Abb. mit grüne Farbe markiert wurde. Deshalb konnte der Versuch nicht mehr weiter durchgeführt werden (siehe Abb. A.91).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.31: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	140,58 kN	79,66 kN	--
Max. H Kraft	81,74 kN	52,61 kN	--
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 8,84 mm	P1: -8,31 mm	--
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 8,56 mm	P1: -8,31 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 8,19 mm	P16: -4,22 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 8,03 mm	P16: -4,22 mm	--
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 11,00 mm	P1: -13,10 mm	--
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 10,22 mm	P16: -4,22 mm	--

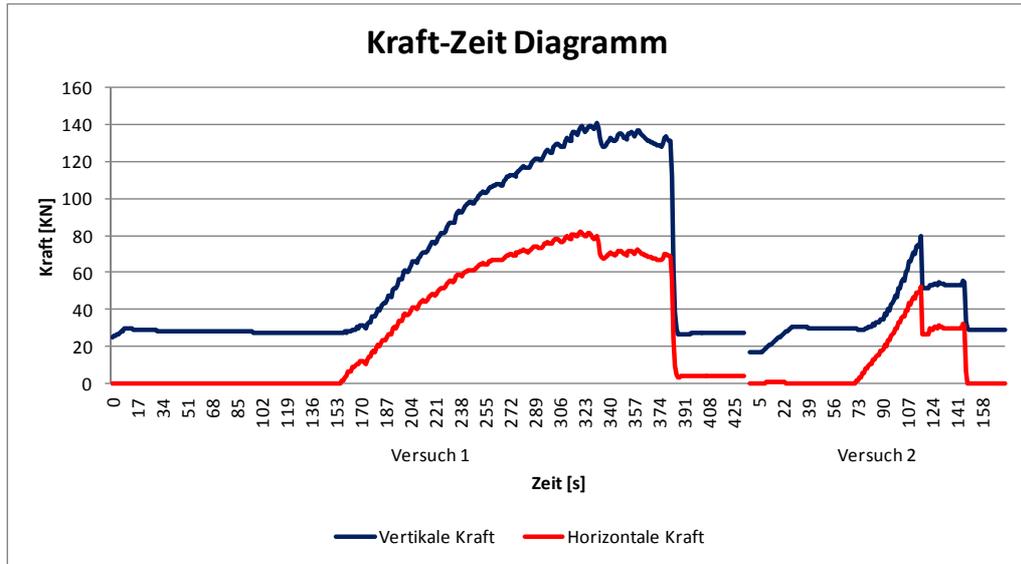


Abb. A.92: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

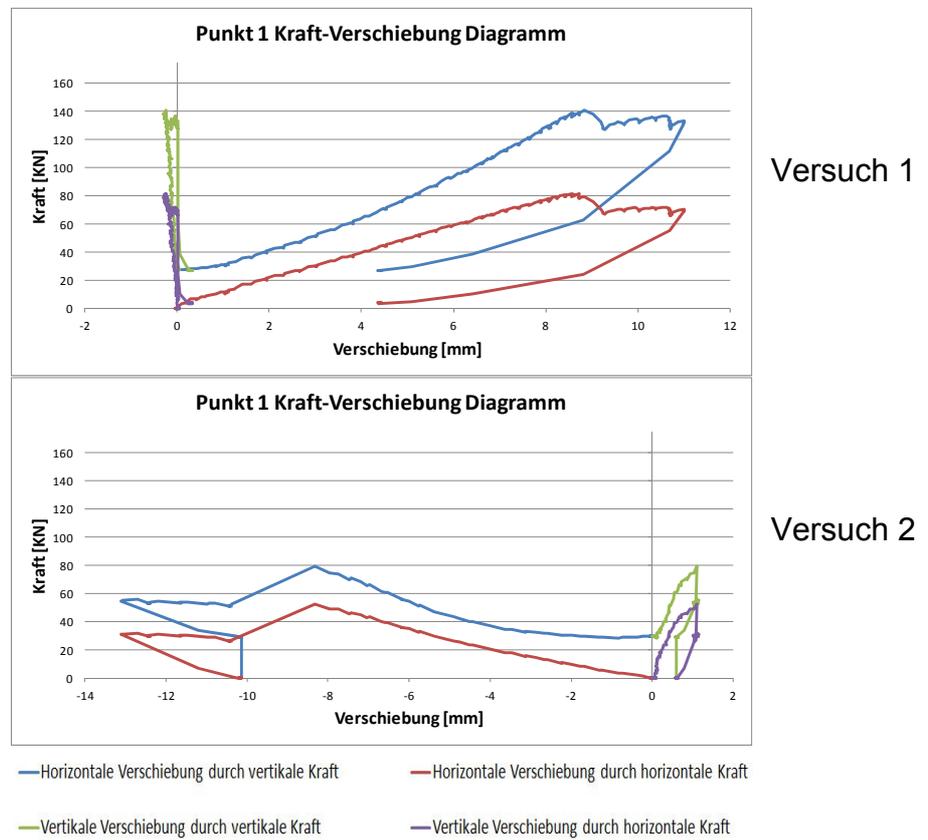


Abb. A.93 Kraft-Verschiebung-Diagramm

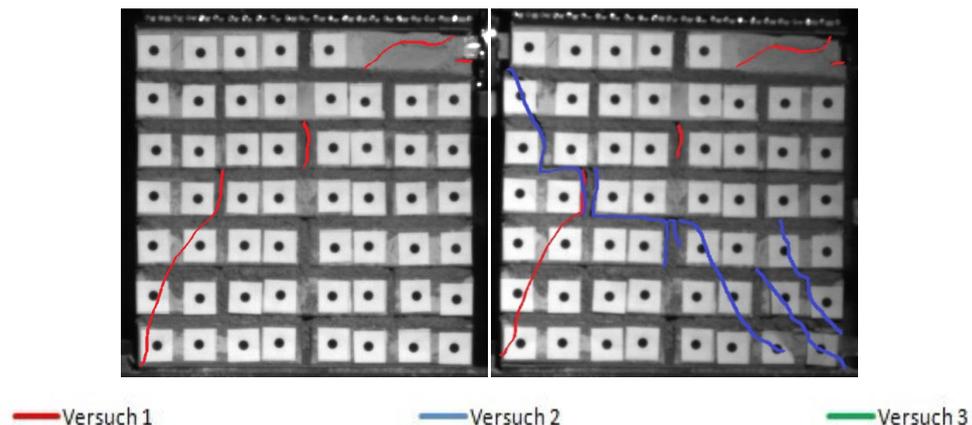
Versuchskörper Nr. 2

Abb. A.94: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuch versagte wieder, wie beim Versuchskörper Nr. 1, der erste Ziegel an der Stelle, an der die Last eingeleitet wurde. Wie man auf der Abb. A.94 sehen kann, trennte sich ein Teil der Oberfläche, was zum Zerschlagen des Ziegels führte. Aber es bildeten sich auch ein paar kleine Rissverläufe. Beim zweiten Versuch zeigen die blau markierten Risse am Anfang ein steilen Verlauf im rechten oberen Teil des Versuchskörpers, wo die Last eingeleitet wurde. In der Mitte, ca. bei der dritten Reihe des Versuchskörper, bildete sich dann ein treppenförmiger Riss. Zudem ist anzumerken, dass die Stoßfugen versagt haben. Nach der vierten Reihe (von oben gesehen) ist der Verlauf wieder steiler und es formten sich drei parallele Risse, die durch die Ziegeln zum Endlager gehen (siehe Abb. A.94).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.32: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	97,89 kN	126,55 kN	--
Max. H Kraft	61,59 kN	80,29 kN	--
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 8,51 mm	P1: -15,73 mm	--
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 8,40 mm	P1: -15,73 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 7,43 mm	P16: -9,09 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 7,38 mm	P16: -9,09 mm	--
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P8: 9,54 mm	P1: -19,07 mm	--
Max V Verschiebung nach dem Riss	P8: 7,43 mm	P16: -10,52 mm	--

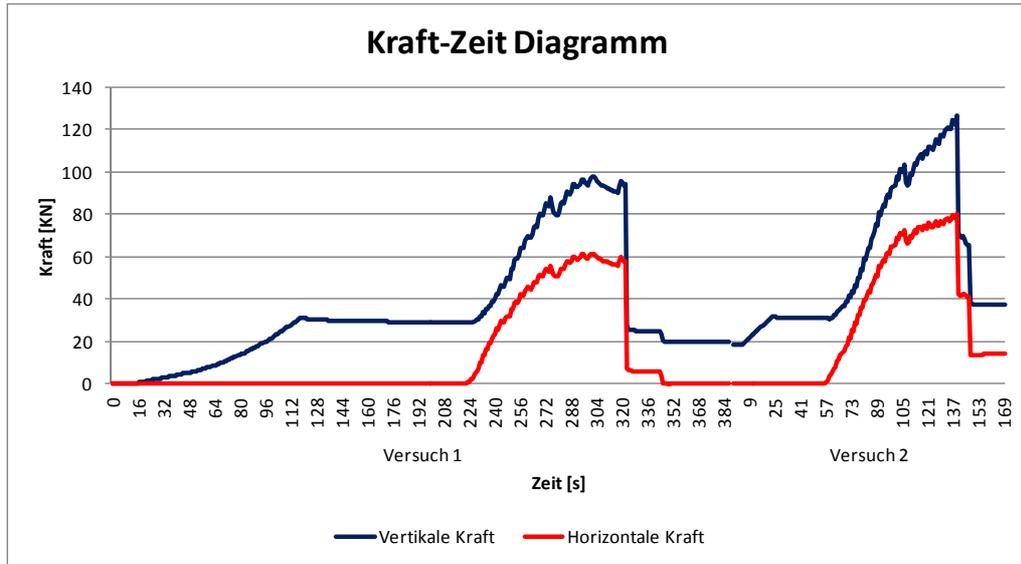


Abb. A.95: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

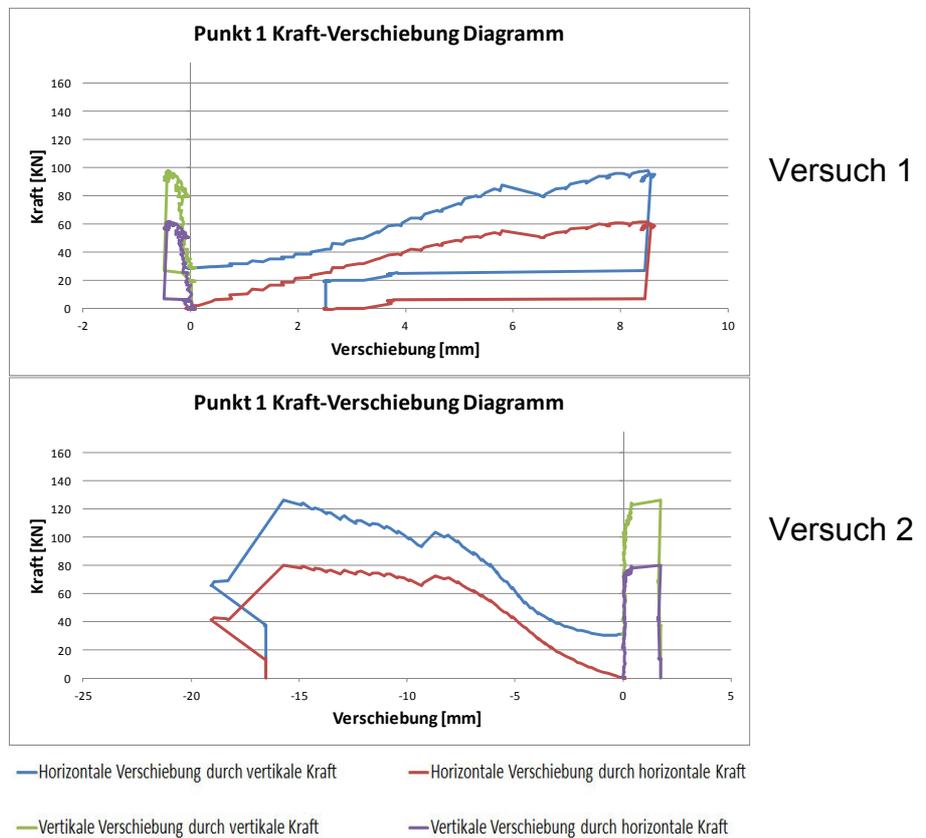


Abb. A.96 Kraft-Verschiebung-Diagramm

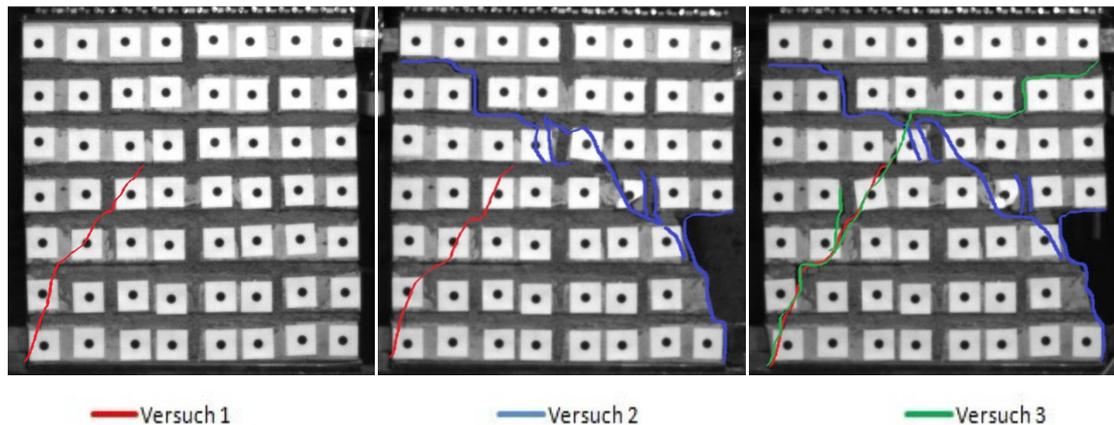
Versuchskörper Nr. 3

Abb. A.97: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

In der oberen Abb. A.97 sieht man, dass die rot markierten Risse sich erstaunlicherweise erst in der Mitte des Versuchskörpers bildeten. Man kann hier nur einen steilen Riss sehen. Beim zweiten Versuch trennte sich bruchartig ein kleiner Teil im linken unteren Bereich vom Körper ab. Zu erwähnen ist außerdem, dass beim zweiten Versuch eine größere Last als beim ersten Versuch gemessen wurde. Die Rissverläufe sind beim zweiten Versuch am Anfang treppenförmig bis zur vierten Reihe, danach bildete sich wieder ein steiler Rissverlauf. Beim dritten Versuch entstand ein treppenförmiger Rissverlauf im oberen linken Bereich, der sich bis zur dritten Reihe durchzog und danach vergrößerten sich die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind, um ein Vielfaches.

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.33: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	102,54 kN	118,75 kN	46,51 kN
Max. H Kraft	61,56 kN	75,72 kN	22,53 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 6,88 mm	P1: -14,64	P2: 17,19 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 6,88 mm	P1: -14,64	P2: 17,19 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 6,23 mm	P24: 3,26 mm	P16: 4,5 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 6,23 mm	P24: 3,26 mm	P16: 4,5 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 8,86 mm	P1: -14,77 mm	P1: 17,27 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P8: 7,18 mm	P32: -7,21 mm	P16: 4,52 mm

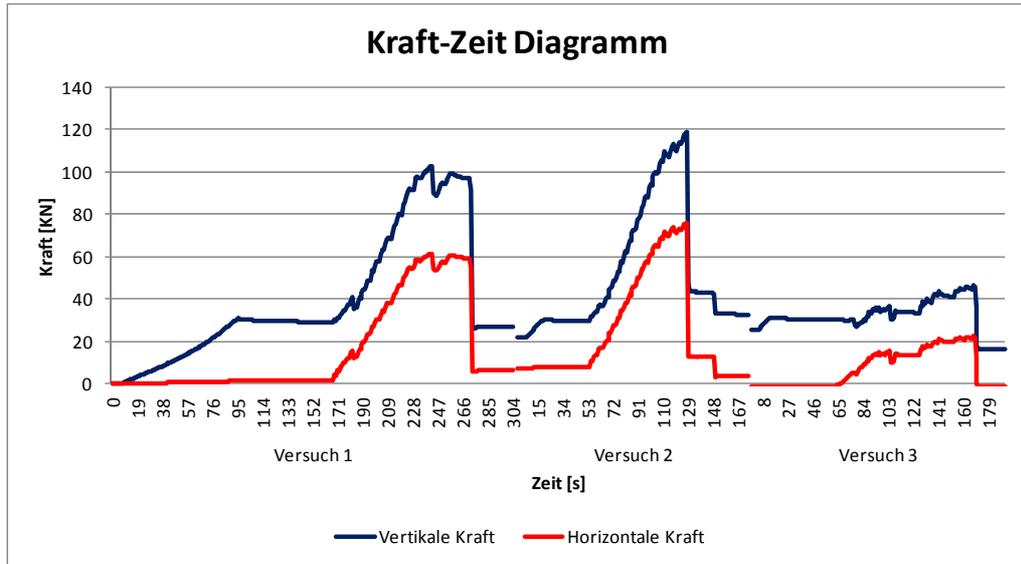


Abb. A.98: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

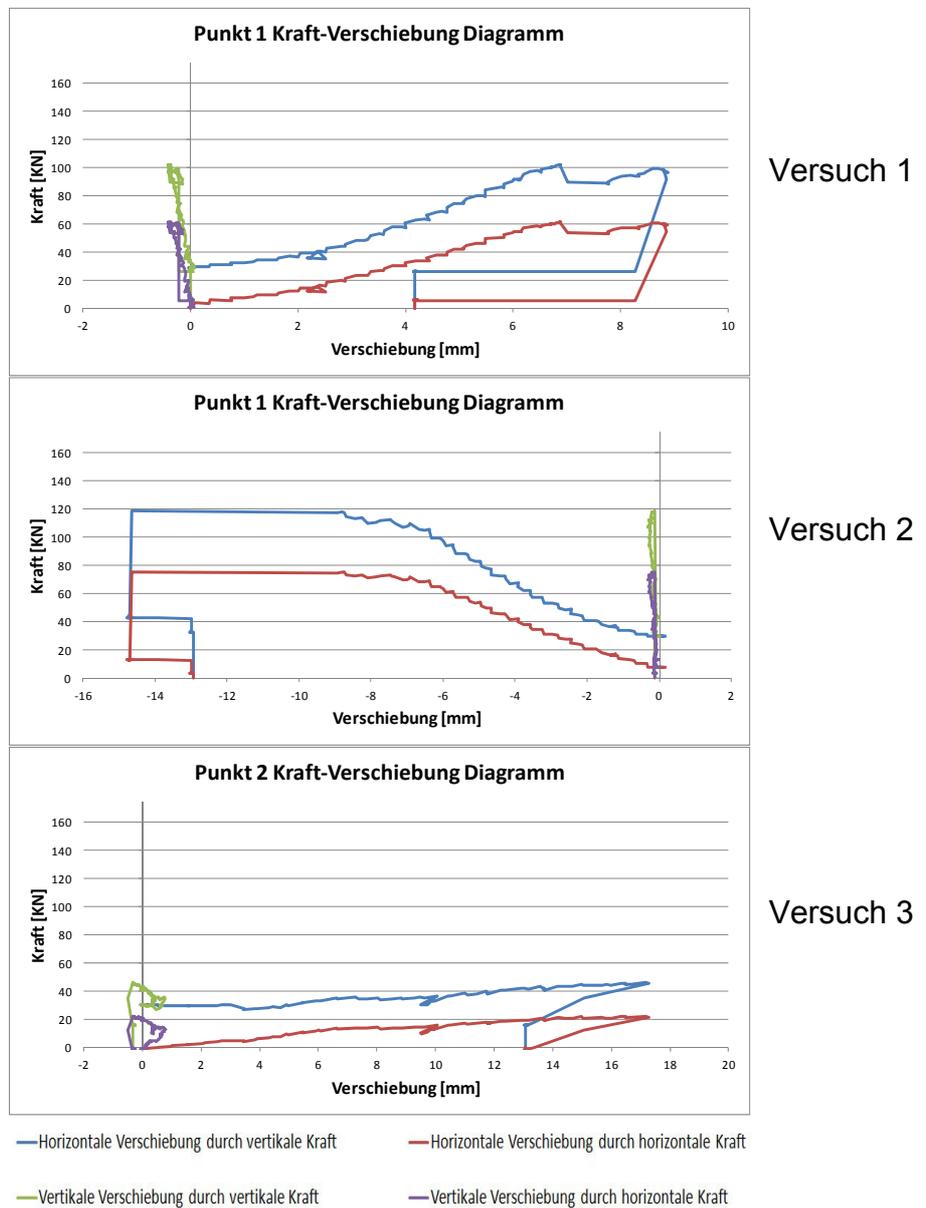


Abb. A.99 Kraft-Verschiebung-Diagramm

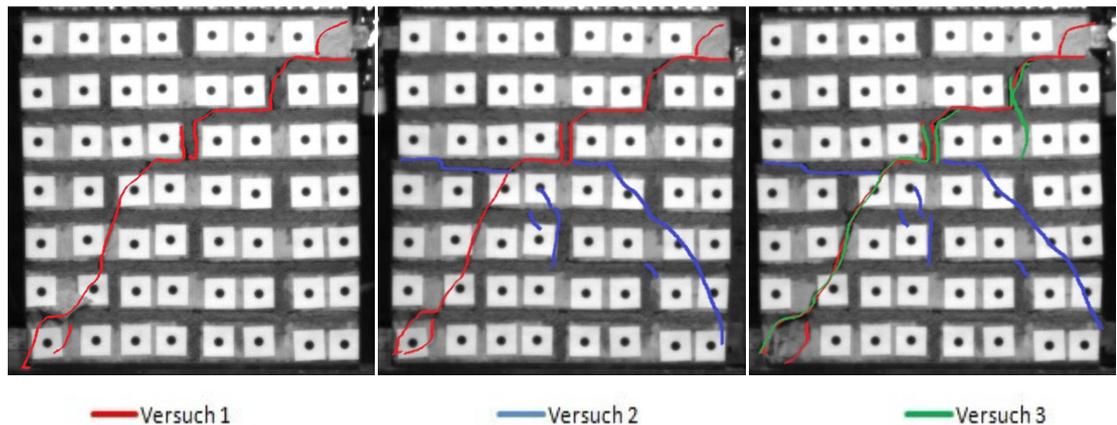
Versuchskörper Nr. 4

Abb. A.100: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper haben die rot markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen). Interessant ist dabei, dass die Stoßfugen versagt haben. Nach der vierten Reihe geht der Rissverlauf sehr steil in Richtung Endlager und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Beim zweiten Versuch sieht man, dass die Risse sich erst ab der dritten Reihe (von oben gesehen) bildeten. Es ist außerdem sichtbar, dass die Lagerfuge im rechten Teil des Versuchskörpers in der dritten Reihe versagte. Außerdem bildete sich ein Diagonalriss im linken unteren Bereich. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten des ersten Versuchs vergrößert wurden. Es ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls nachgezogen wurden (siehe Abb. A.100).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.34: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	131,48 KN	75,59 KN	40,13 KN
Max. H Kraft	82,96 KN	46,91 KN	22,39 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P5: 7,34 mm	P1: -14,71 mm	P5: 11,06 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P5: 7,34 mm	P1: -15,02 mm	P5: 11,75 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 6,56 mm	P9: 3,11 mm	P32: 4,24 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 6,56 mm	P17: 3,18 mm	P32: 4,42 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 13,48 mm	P1: -18,89 mm	P3: 20,89 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 6,68 mm	P17: 3,20 mm	P32: 5,92 mm

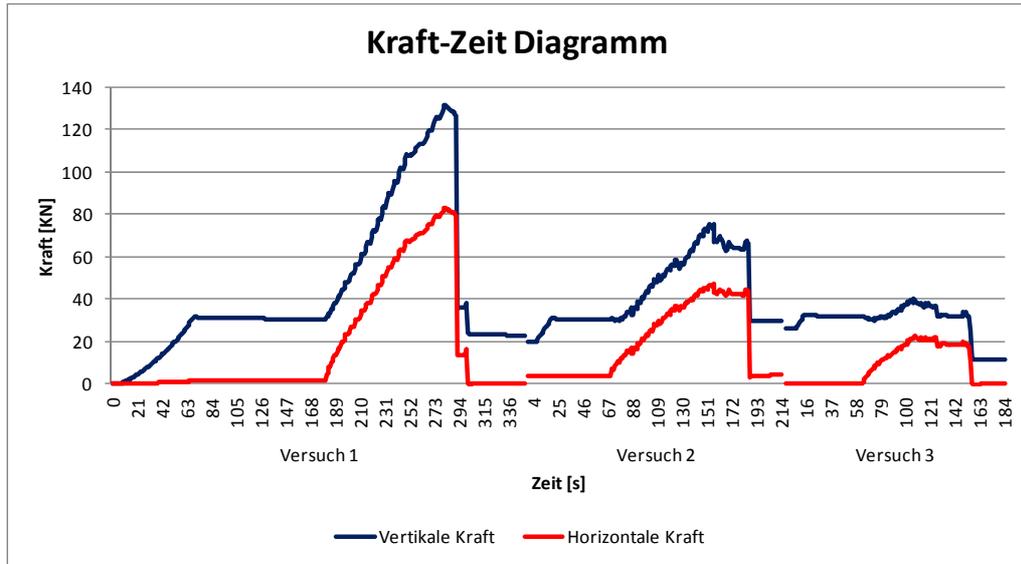


Abb. A.101: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

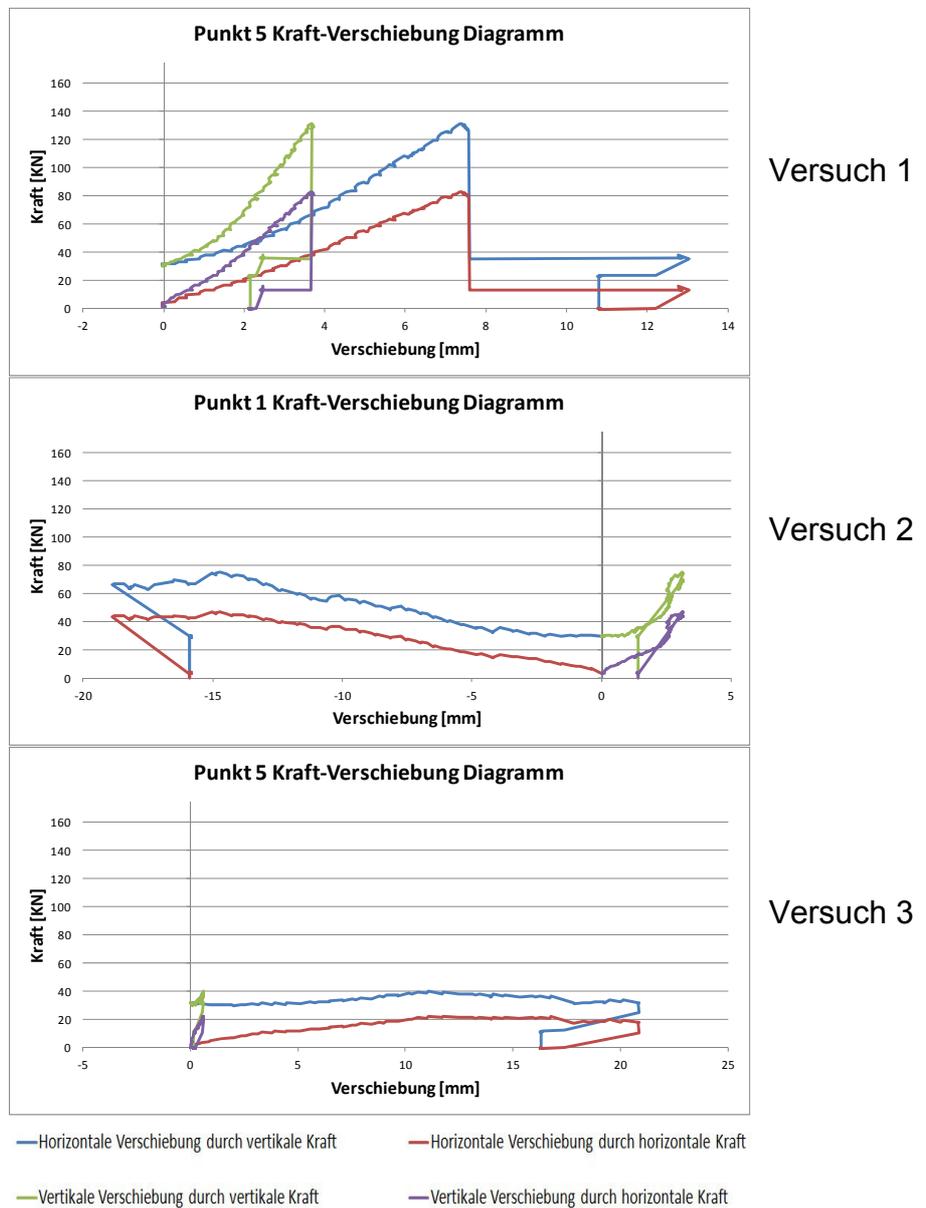


Abb. A.102 Kraft-Verschiebung-Diagramm

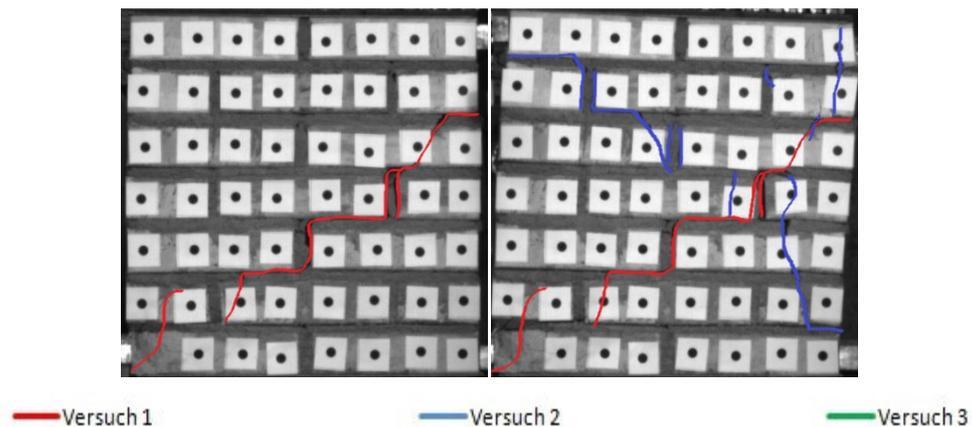
Versuchskörper Nr. 5

Abb. A.103: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man, dass die rot markierten Risse erst ab der zweiten Reihe (von oben gesehen) beginnen und einen treppenförmigen Verlauf bis zum Endlager haben. Hier kann man außerdem gut sehen, dass die Stoßfugen versagt haben. Beim zweiten Versuch wird deutlich, dass die blau markierten Risse einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen) haben. Im oberen Bereich des Versuchskörpers liegt Stoßfugenversagen vor. Nach der vierten Reihe geht der Rissverlauf sehr steil in Richtung Endlager und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Da hier der Ziegel beim Endlager auf den rechten Seite zerstört wurde, konnte man keinen dritten Versuch mehr durchführen. Interessant ist auch, dass beim ersten Versuch eine vertikale Last von über 160 kN erreicht wurde (siehe Abb. A.103).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.35: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	179,79 kN	98,21 kN	--
Max. H Kraft	105,46 kN	57,39 kN	--
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 9,28 mm	P8: -20,99 mm	--
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 9,28 mm	P8: -20,99 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 8,57 mm	P25: 6,09 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 8,57 mm	P25: 6,09 mm	--
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 16,67 mm	P16: -27,68 mm	--
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 8,57 mm	P25: 6,41 mm	--

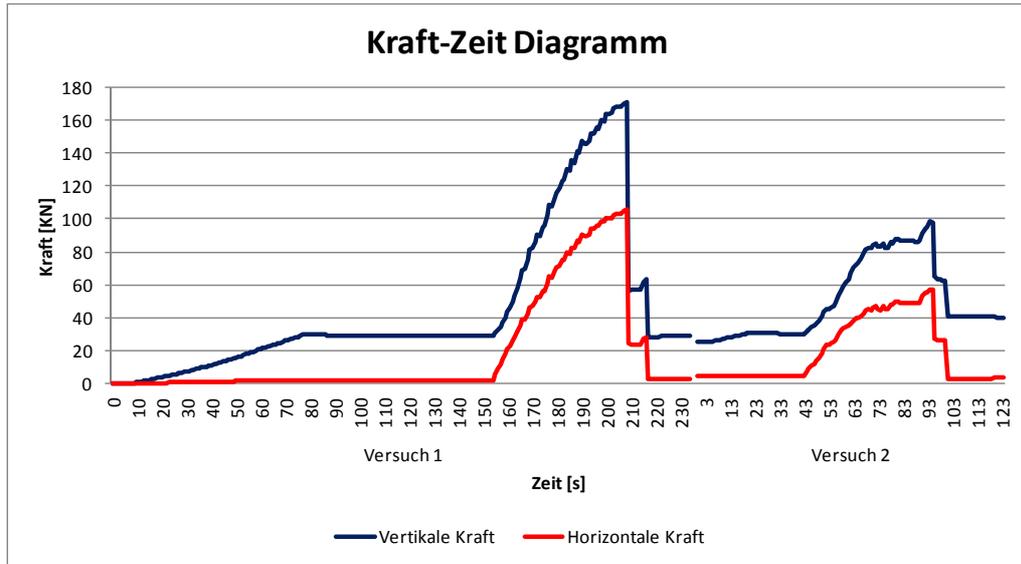


Abb. A.104: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

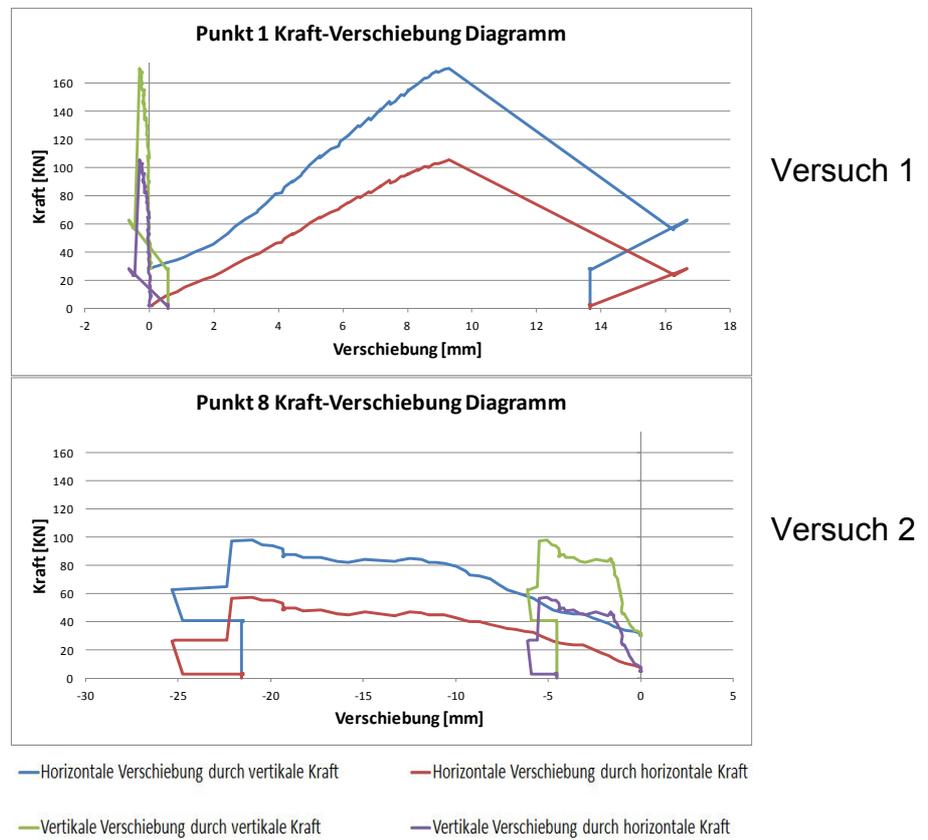


Abb. A.105 Kraft-Verschiebung-Diagramm

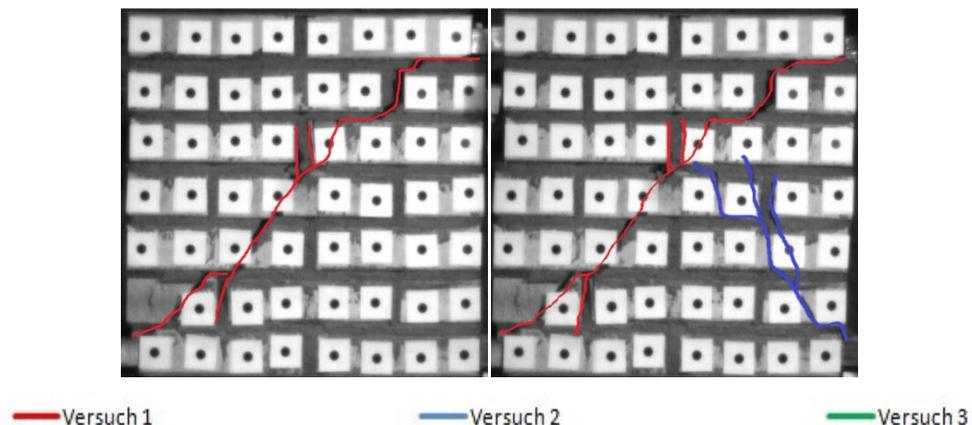
Versuchskörper Nr. 6

Abb. A.106: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

In der oberen Abb. A.106 ist sichtbar, dass die rot markierten Risse, die im ersten Versuch entstanden sind, einen treppenförmigen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen) haben. Nach der dritten Reihe ist der Verlauf wieder sehr steil und der Riss zieht sich durch die Ziegeln. Es liegt auch hier im unteren Bereich Steinversagen vor. Beim zweiten Versuch bildete sich ein steiler Diagonalriss im linken Bereich des Versuchskörpers. Hier sieht man noch, dass die linke Seite sich vom Versuchskörper getrennt hat und somit keine Haftung mehr besitzt. Zu erwähnen ist außerdem, dass sich im rechten oberen Bereich des Versuchskörpers keine Risse bildeten. Hier konnte man auch, wie bei Versuchskörper Nr. 5, keinen dritten Versuch durchführen, weil der Ziegel beim rechten Endlager versagte.

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.36: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	--	74,43 kN	--
Max. H Kraft	--	28,15 kN	--
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	--	P20: -11,89 mm	--
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	--	P1: -5,42 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	--	P24: 4,20 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	--	P41: 3,87 mm	--
Max. H Verschiebung nach dem Riss	--	P9: -16,54 mm	--
Max. V Verschiebung nach dem Riss	--	P41: 6,58 mm	--

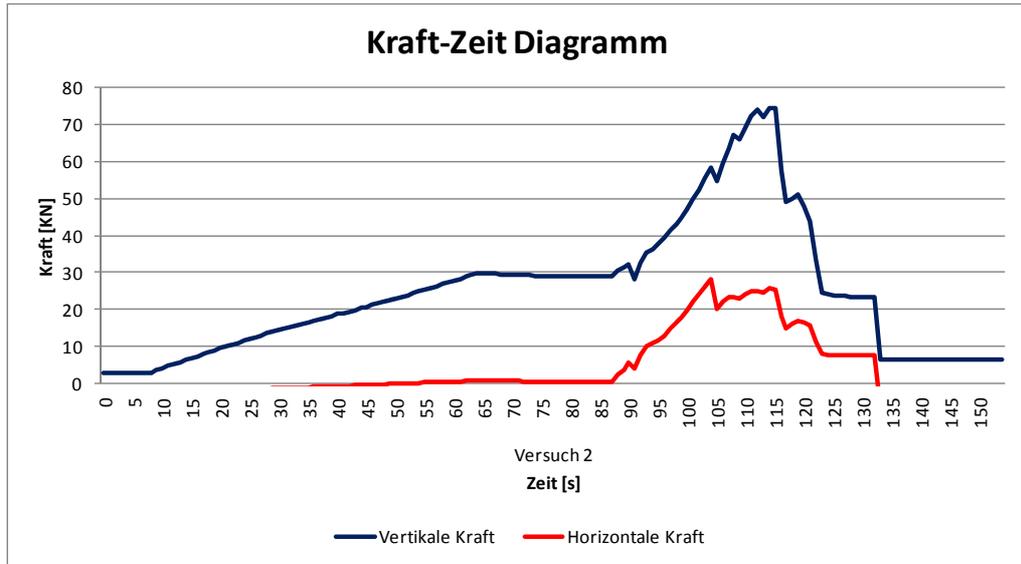
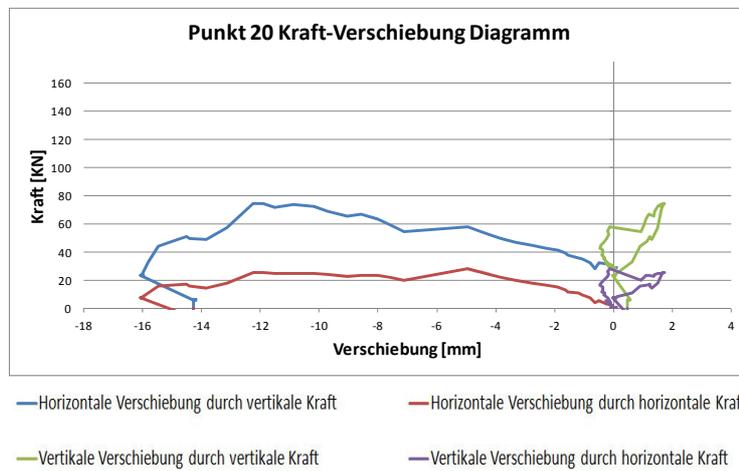


Abb. A.107: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche



Versuch 2

Abb. A.108 Kraft-Verschiebung-Diagramm

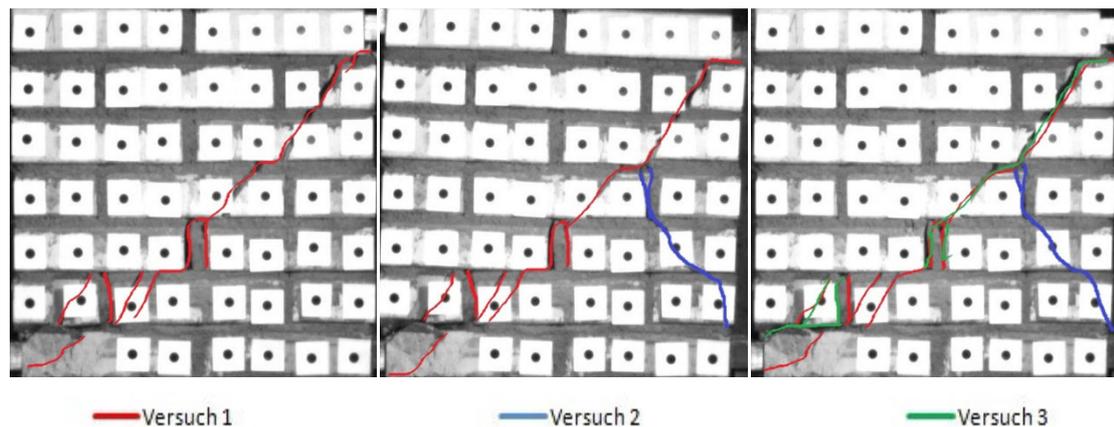
Versuchskörper Nr. 7

Abb. A.109: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man ähnliche Rissverläufe wie bei Versuchskörper Nr.6. Der Unterschied ist lediglich, dass die rot markierten Risse am Anfang einen steilen und erst ab der vierten Reihe (von oben gesehen) einen treppenförmigen Verlauf besitzen. Beim zweiten Versuch entwickelte sich auch ein steiler Diagonalsriss im linken Bereich des Versuchskörpers. Beim dritten Versuch vergrößerten sich die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind. Hier ist sehr gut sichtbar, dass schon beim ersten Versuch die Tragfähigkeit dieses Versuchskörpers erschöpft wurde, da es beim zweiten und dritten Versuch eine geringere Haftung im Körper gab und dadurch verursacht auch einen geringeren Widerstand (siehe Abb. A.109).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.37: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	157,46 kN	39,96 kN	45,30 kN
Max. H Kraft	97,29 kN	21,92 kN	10,38 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 9,03 mm	P8: -3,71 mm	P7: 6,77 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 9,03 mm	P16: -17,86 mm	P7: 6,77 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 8,67 mm	P17: 1,83 mm	P8: 4,13 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 8,67 mm	P17: 7,69 mm	P8: 4,13 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1 :17,25 mm	P16: -17,93 mm	P7: 9,45 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P8 :8,67 mm	P17: 7,72 mm	P16: 5,08 mm

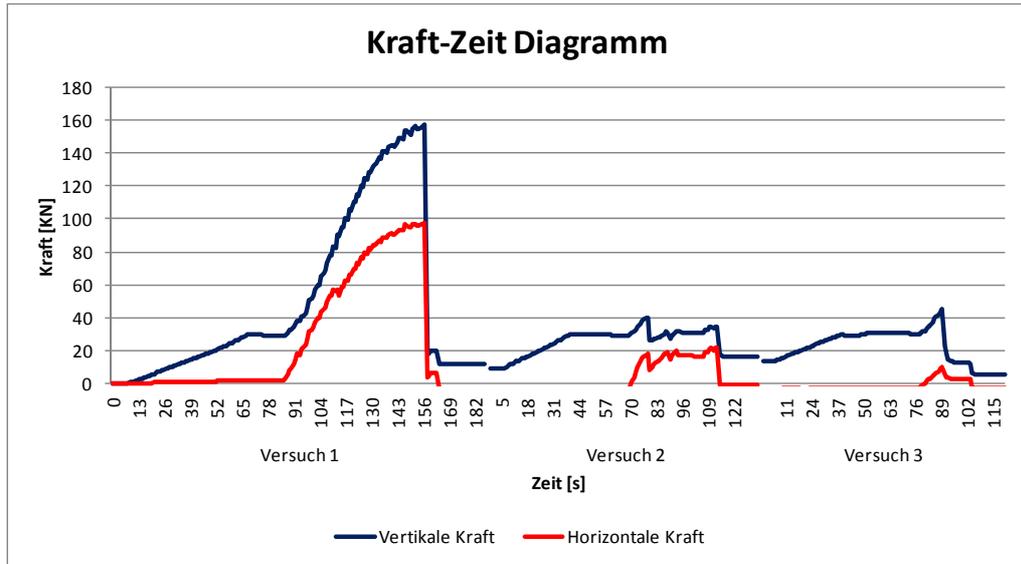


Abb. A.110: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

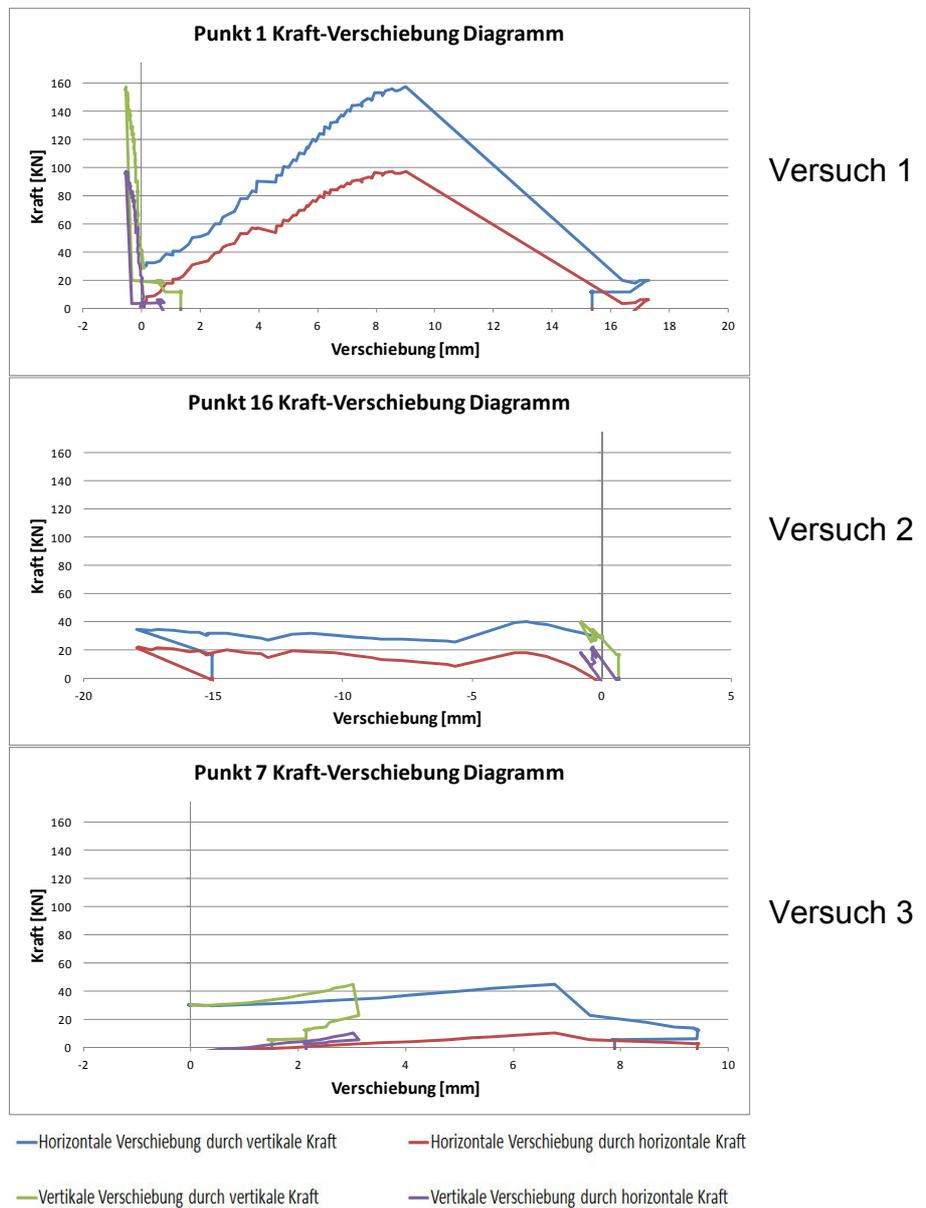


Abb. A.111 Kraft-Verschiebung-Diagramm

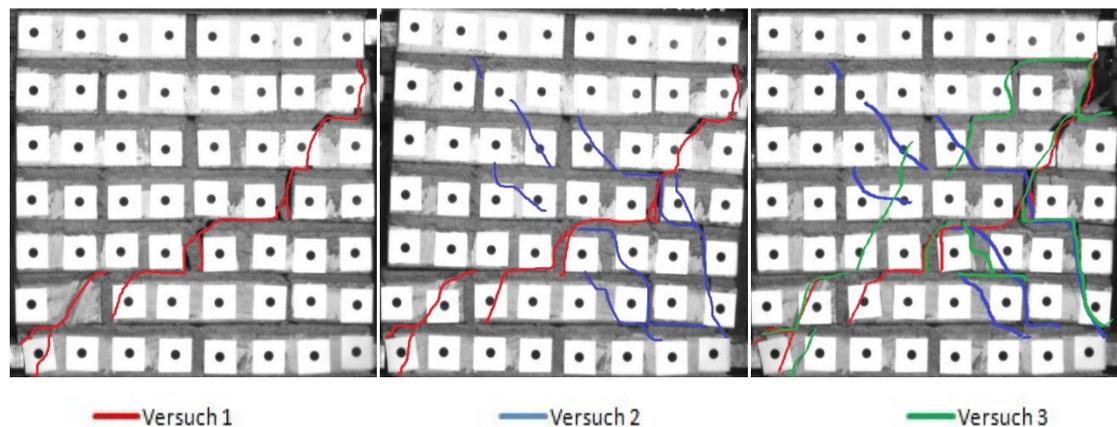
Versuchskörper Nr. 8

Abb. A.112: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Die obere Abb. A.112 zeigt, dass die rot markierten Risse, die beim ersten Versuch entstanden sind, einen sehr steilen Verlauf bis zur dritten Reihe (von oben gesehen) nehmen. Es ist außerdem sichtbar, dass die Steine versagt haben. Danach bildete sich ein treppenförmiger Rissverlauf bis zum Endlager. Beim zweiten Versuch bildeten sich ein Paar Risse im unteren und mittleren Bereich des Versuchskörpers. Beim dritten Versuch sieht man, dass die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind, vergrößert wurden. Des Weiteren wird durch die Vergrößerung der Rissweiten deutlich, dass die linke Seite sich vom Versuchskörper getrennt hat und keine Haftung mehr besitzt. Beim Versuch ist noch auffallend, dass im oberen linken Bereich des Versuchskörpers keine fortlaufende Risse entstanden sind (siehe Abb. A.112).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.38: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	146,77 kN	140,99 kN	67,32 kN
Max. H Kraft	93,57 kN	86,71 kN	37,39 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 7,16 mm	P1: -25,73 mm	P1: 16,37 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 7,16 mm	P1: -25,73 mm	P1: 16,37 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 7,01 mm	P24: -8,06 mm	P8: 6,05 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 7,01 mm	P24: -8,06 mm	P8: 6,05 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P2: 12,60 mm	P1: 28,91 mm	P1: 18,17 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 7,01 mm	P24: 8,51 mm	P8: 6,05 mm

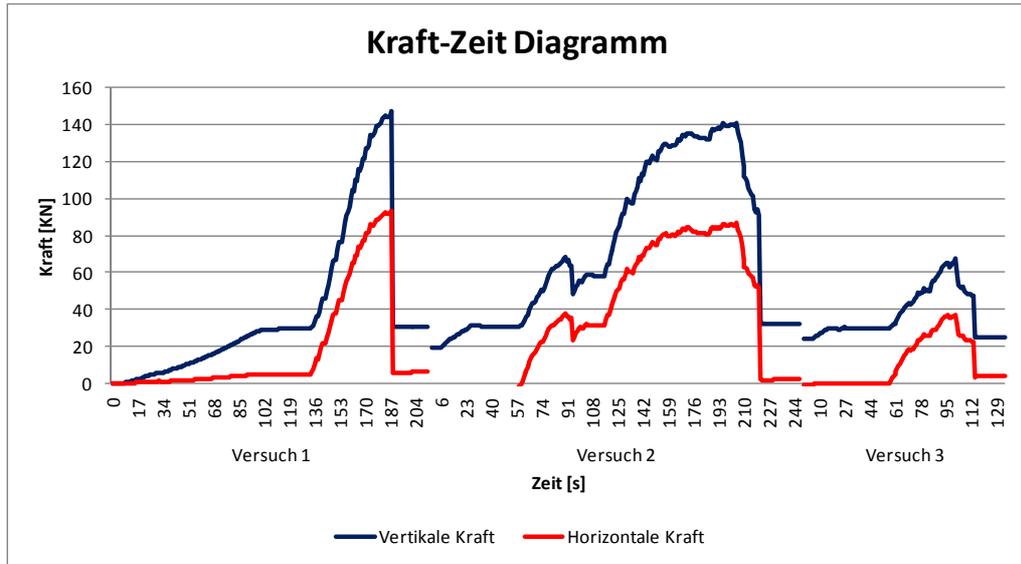


Abb. A.113: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

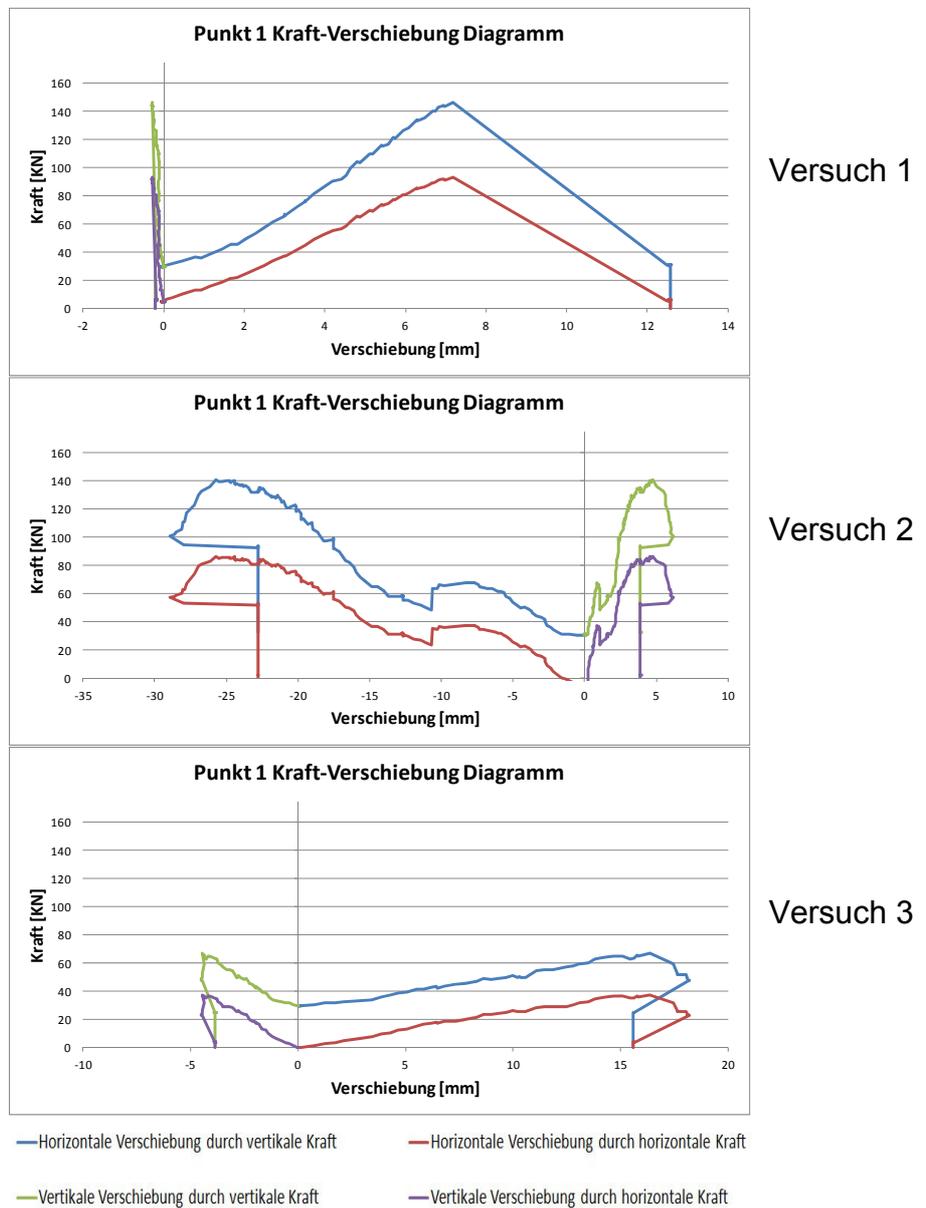


Abb. A.114 Kraft-Verschiebung-Diagramm

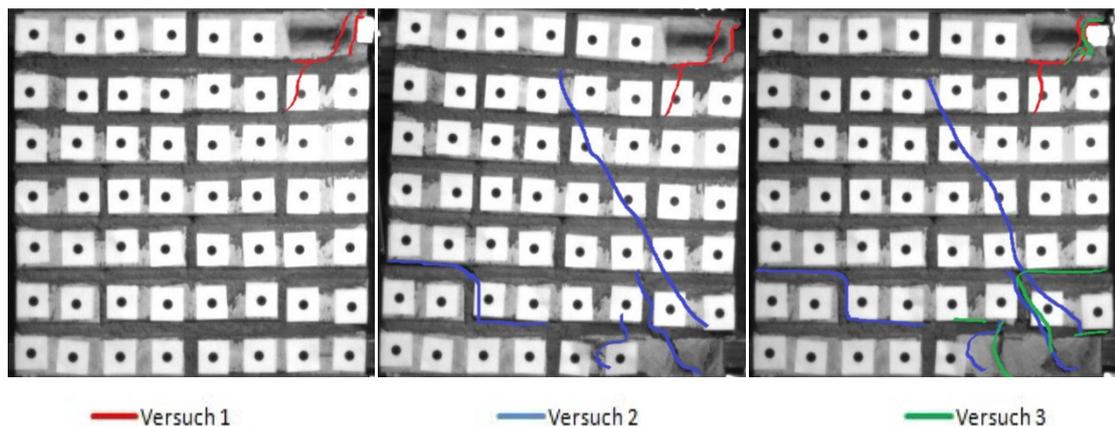
Versuchskörper Nr. 9

Abb. A.115: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuch versagte wieder, wie bei Versuchskörper Nr. 1, der erste Ziegel an der Stelle, an der die Last eingeleitet wurde. Wie man auf Abb. A.115 sehen kann, trennte sich ein Teil der Oberfläche, was zum Zerschlagen des Ziegels führte. Deshalb bildeten sich diesmal fast keine Risse im Körper. Beim zweiten Versuch wurden zwei Risse mit blauer Farbe markiert. Einer davon hat einen steilen Verlauf während der andere einen treppenförmigen Verlauf hat. Interessant bei dem Riss mit treppenförmigen Verlauf ist, dass der Riss erst von der sechsten Reihe (von oben gesehen) beginnt. Bei diesem Versuch konnte aufgrund der Zerstörung des ersten Ziegels kein dritter Versuch mehr durchgeführt werden (siehe Abb. A.115).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.39: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	158,58 kN	147,69 kN	--
Max. H Kraft	96,59 kN	96,28 kN	--
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P1: 8,17 mm	P3: -17,00 mm	--
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P1: 8,17 mm	P3: -11,38 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P8: 8,59 mm	P55: -23,96 mm	--
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P8: 8,59 mm	P16: -9,64 mm	--
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P1: 8,17 mm	P1: 24,53 mm	--
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P8: 8,61 mm	P55: 25,06 mm	--

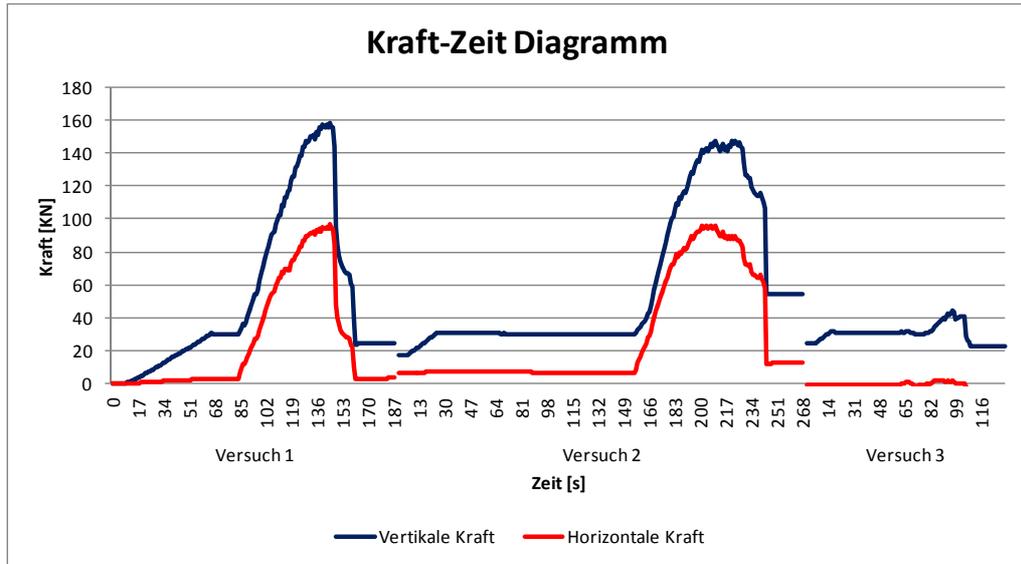


Abb. A.116: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

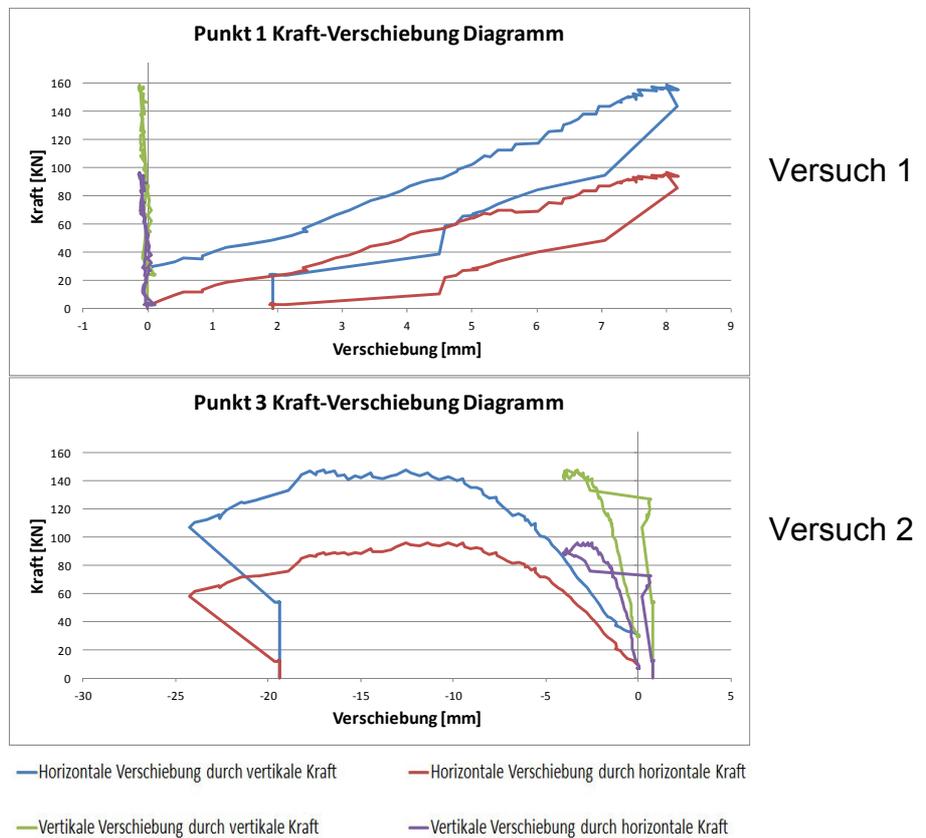


Abb. A.117 Kraft-Verschiebung-Diagramm

A.5 Versuchsreihe Mit Mörtel Kalkmörtel

Versuchskörper Nr. 1

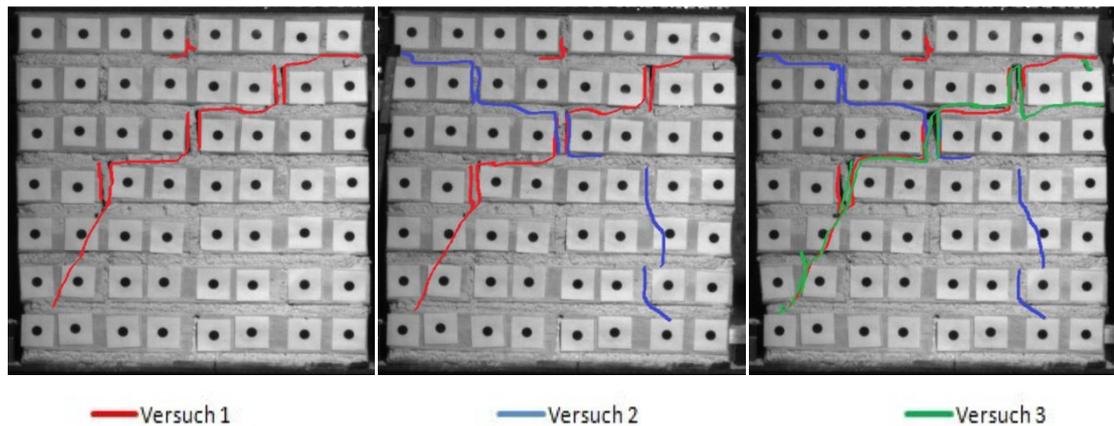


Abb. A.118: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Die rot markierten Risse haben einen treppenförmigen Verlauf bis zur vierten Reihe (von oben gesehen). Interessant ist hierbei, dass die Stoßfugen versagt haben. Nach der vierten Reihe ist der Verlauf viel steiler und der Riss zieht sich auch durch die Ziegeln. Die blau markierten Risse entstanden beim zweiten Versuch. Wie auf der Abb. A.118 sehr gut zu sehen ist, haben die Diagonallrisse einen fast symmetrischen Verlauf bezogen auf die rot markierten Risse im ersten Versuch. Zusätzlich sind noch ein paar kleine Risse in der Mitte des Versuchskörpers entstanden. Die grün markierten Risse zeigen, dass die Rissweiten beim ersten Versuch vergrößert sind. Es ergaben sich auch ein paar neue Risse, die ebenfalls mit grün nachgezogen wurden (siehe Abb. A.118).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.40: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal, H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	31,83 KN	33,73 KN	29,87 KN
Max. H Kraft	15,13 KN	17,40 KN	13,29 KN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P6: 7,55 mm	P4: -10,53 mm	P3: 8,83 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P7: 8,17 mm	P4: -10,53 mm	P3: 9,60 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P16: 2,37 mm	P16: -3,41 mm	P16: 2,44 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P16: 2,43 mm	P16: -3,41 mm	P16: 2,59 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P6: 12,77 mm	P4: 13,29 mm	P2: 15,99 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P16: 2,49 mm	P16: 3,47 mm	P16: 3,11 mm

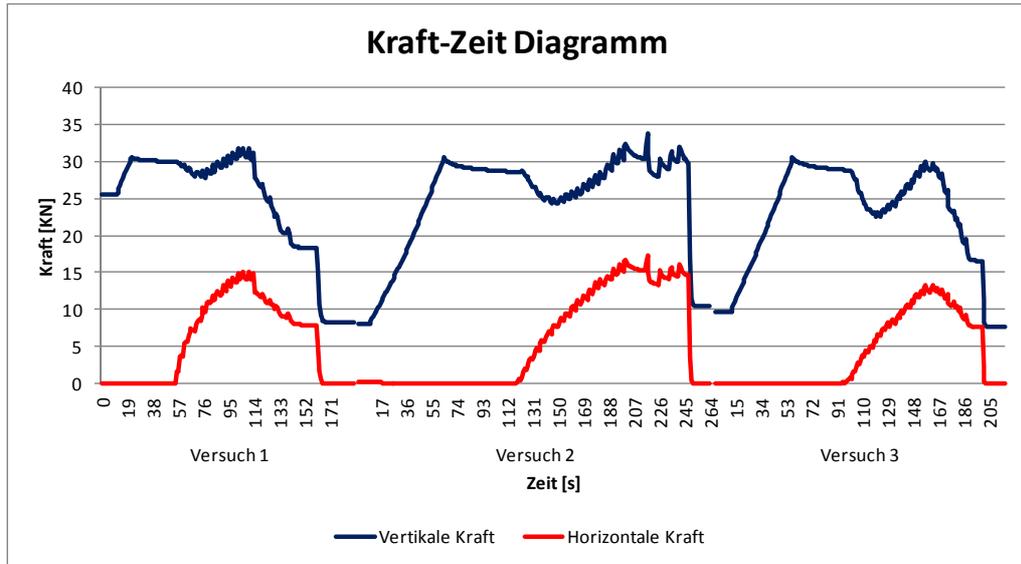


Abb. A.119: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

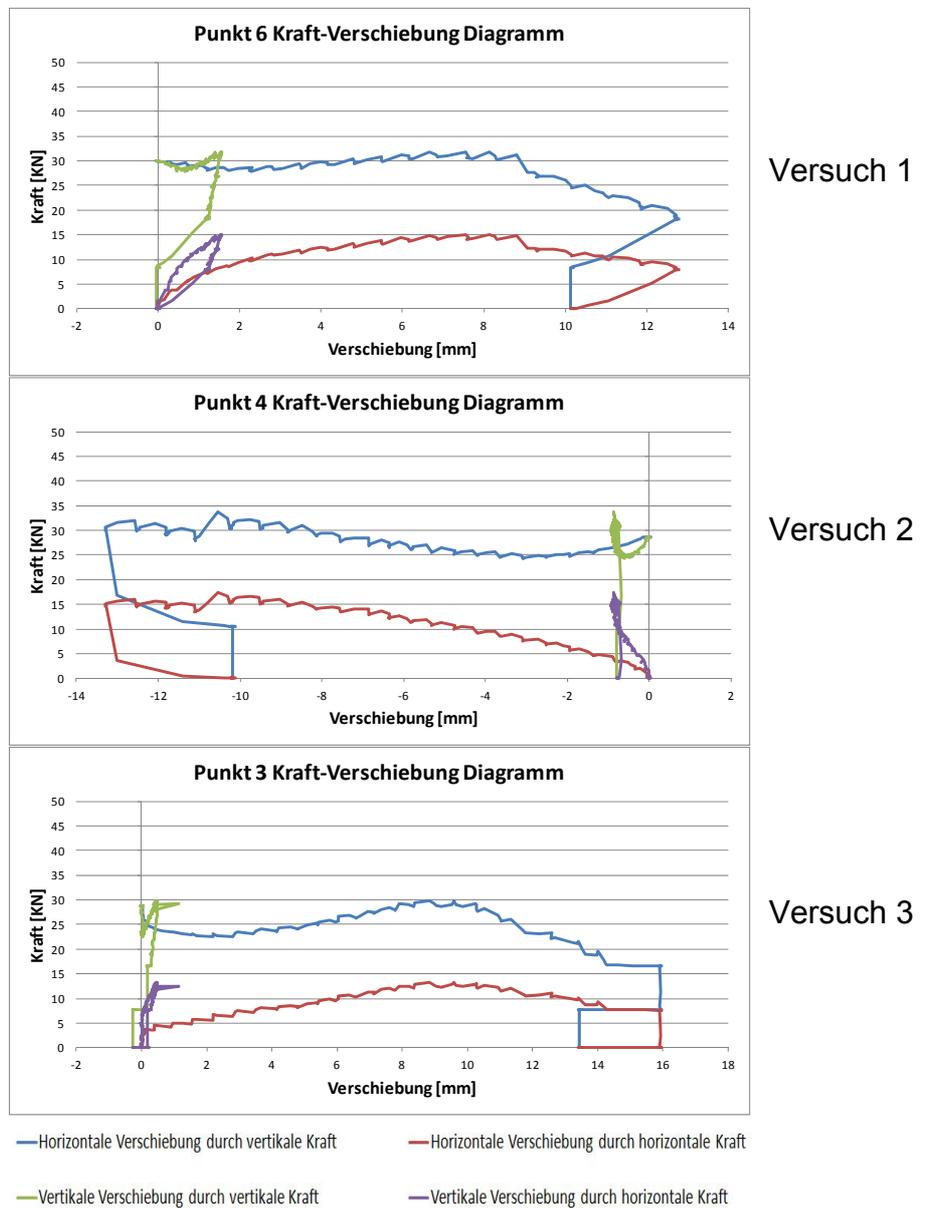


Abb. A.120 Kraft-Verschiebung-Diagramm

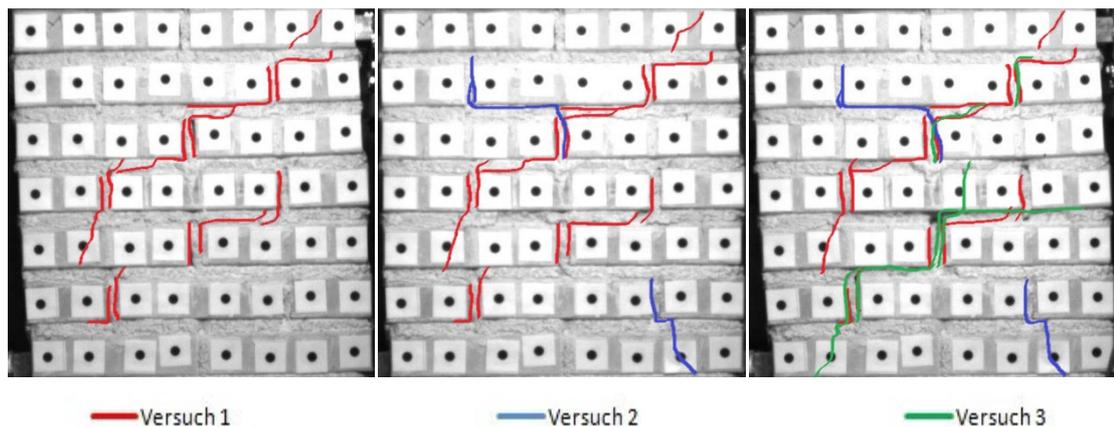
Versuchskörper Nr. 2

Abb. A.121: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen

Bei diesem Versuchskörper sieht man ähnliche Rissverläufe wie bei Versuchskörper Nr.2. Der Unterschied ist lediglich, dass sich ein weiterer treppenförmiger Riss gebildet hat. Beim zweiten Versuch entstanden wieder treppenförmigen Risse und es ist sichtbar, dass fast alle Stoßfugen versagten. Beim dritten Versuch vergrößerten sich die Rissweiten, die beim ersten Versuch entstanden sind. Interessant sei Mörtelart KM ist, dass in der ersten Versuchsanordnung nur Mikrorisse entstanden sind (siehe Abb. A.121).

Im Folgenden sind die wichtigsten Diagramme und Tabellen der einzelnen Versuche bei diesem Versuchskörper dargestellt.

Tabelle A.41: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Max. V Kraft	32,82 kN	30,01 kN	35,94 kN
Max. H Kraft	18,03 kN	12,83 kN	13,44 kN
Max. H Verschiebung beim Max. V Kraft	P6: 9,40 mm	P1: 0,00 mm	P1: 13,88 mm
Max. H Verschiebung beim Max. H Kraft	P6: 10,68 mm	P1: -11,37 mm	P5: 13,23 mm
Max. V Verschiebung beim Max. V Kraft	P32: 2,82 mm	P32: 0,00 mm	P32: 3,66 mm
Max. V Verschiebung beim Max. H Kraft	P32: 3,12 mm	P32: -2,89 mm	P32: 3,48 mm
Max. H Verschiebung nach dem Riss	P5: 14,70 mm	P1: 13,64 mm	P1: 14,06 mm
Max. V Verschiebung nach dem Riss	P32: 3,47 mm	P32: 3,09 mm	P32: 3,66 mm

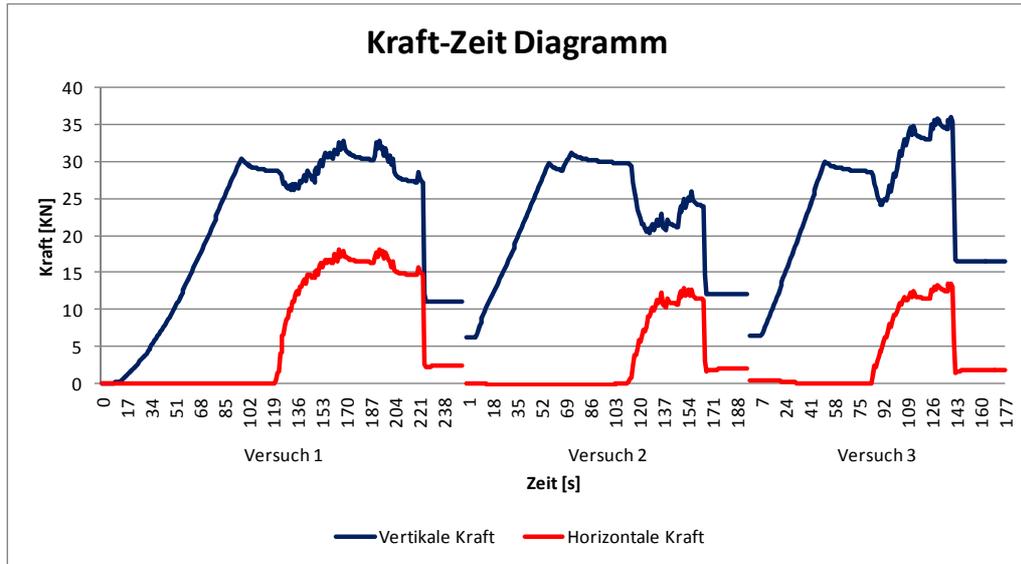


Abb. A.122: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche

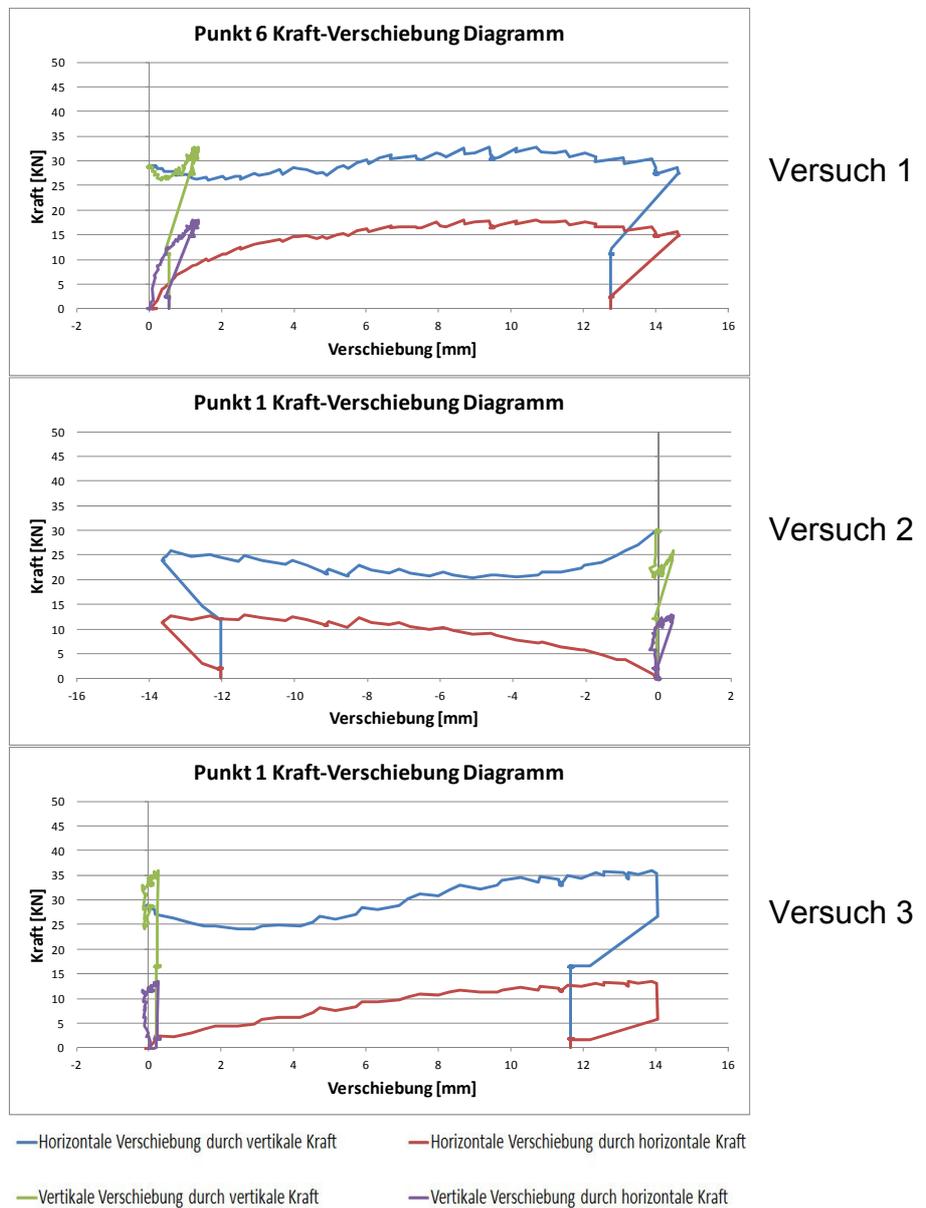


Abb. A.123 Kraft-Verschiebung-Diagramm

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: Glasierte Ziegel des Bogenschützenfries aus dem Palast von Dareios I. [2].....	1
Abb. 1.2: Zikkurat in Tschogha Zanbil [7].....	2
Abb. 2.1: Überbindemaß [11].....	7
Abb. 2.2: Fugenarten [9].....	8
Abb. 2.3: Verbandarten [1].....	8
Abb. 2.4: Mauerwerk unter Druckbeanspruchung [9].....	9
Abb. 2.5: Mögliche Versagensmechanismen von unbewehrtem Mauerwerk unter Zugbeanspruchung und zugehöriges Berechnungsmodell [10].....	11
Abb. 2.6: Biegebeanspruchtes Mauerwerk [13].....	11
Abb. 2.7: Modell zur Berechnung der Schubfestigkeit unter Scheibenschubbeanspruchung nach Mann/Müller [10].....	13
Abb. 2.8: Versagen Arten von Mauerwerk [13].....	14
Abb. 3.1: Normalformatziegel.....	15
Abb. 3.2: Die Abmessung der Versuchskörper (Einheiten in [mm]).....	17
Abb. 3.3: Versuchsaufbau.....	18
Abb. 3.4: Stahlrahmen Profil IPE 240.....	19
Abb. 3.5:Stahlträger Nummer 3.....	19
Abb. 3.6:Stahlplatte.....	20
Abb. 3.7:Kartonplatte.....	20
Abb. 3.8:Rollenlager.....	21
Abb. 3.9: Kraftmessdose der Typenreihe TCLP-20B der Firma <i>Tokyo Sokki Kenkyujo co. ltd.</i>	21
Abb. 3.10: Hydraulische Presse mit Pumpe.....	22
Abb. 3.11: Kraftmessdose der Typenreihe U10M der Firma HBM.....	22
Abb. 3.12: Mechanische Zug-/ Druckprüfmaschine der Firma Heid.....	23
Abb. 3.13: Verteilung der Kräfte vor horizontaler Beanspruchung.....	24
Abb. 3.14: Verteilung der Kräfte bei horizontaler Beanspruchung.....	24
Abb. 3.15: : QuantumX MX840A [16].....	25
Abb. 3.16: Punkteverteilung der Versuchskörper.....	26
Abb. 3.17: Video-Extensiometer.....	26
Abb. 3.18: Versagen der Träger durch Beulen.....	28
Abb. 3.19: mechanische Druckprüfmaschine.....	29
Abb. 3.20: Positionierung der Steifen.....	29
Abb. 4.1: Kraft-Zeit Diagramm erhalten durch das Programm QuantumX.....	30
Abb. 4.2: Kraft-Verschiebung Diagramm für vertikale Kraft.....	30
Abb. 4.3: Kraft-Verschiebung Diagramm für vertikale und horizontale Kraft.....	31
Abb. 4.4: Die Anordnung der Messpunkte.....	31
Abb. 5.1: : Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart PM10.....	35
Abb. 5.2 Kraft-Verschiebung Diagramm.....	36
Abb. 5.3: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte.....	37
Abb. 5.4: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte.....	38
Abb. 5.5: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte.....	38
Abb. 5.6: Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart PM5.....	40

Abb. 5.7 Kraft-Verschiebung Diagramm	41
Abb. 5.8: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	42
Abb. 5.9: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	43
Abb. 5.10: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	43
Abb. 5.11: : Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart M5	45
Abb. 5.12 Kraft-Verschiebung Diagramm	46
Abb. 5.13: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	47
Abb. 5.14: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	48
Abb. 5.15: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	48
Abb. 5.16: : Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart M10	50
Abb. 5.17 Kraft-Verschiebung Diagramm	51
Abb. 5.18: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	52
Abb. 5.19: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	53
Abb. 5.20: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	53
Abb. 5.21: : Charakteristisches Rissbild der Versuchsreihe mit der Mörtelart KM	55
Abb. 5.22 Kraft-Verschiebung Diagramm	56
Abb. 5.23: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	57
Abb. 5.24: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	57
Abb. 5.25: Darstellung der absoluten Werte der maximalen Horizontal- und Vertikalkräfte	58
Abb. 5.26: Vergleich der Kraft-Verschiebung Diagramm aller Mörtelarten im Versuchsanordnung 1	60
Abb. 5.27: Vergleich der Kraft-Verschiebung Diagramm aller Mörtelarten im Versuchsanordnung 2	61
Abb. 5.28: Vergleich der Kraft-Verschiebung Diagramm aller Mörtelarten im Versuchsanordnung 3	62
Abb. A.1: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	70
Abb. A.2: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	71
Abb. A.3 Kraft-Verschiebung-Diagramm	71
Abb. A.4: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	72
Abb. A.5: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	73
Abb. A.6 Kraft-Verschiebung-Diagramm	73
Abb. A.7: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	74
Abb. A.8: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	75
Abb. A.9 Kraft-Verschiebung-Diagramm	75
Abb. A.10: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	76
Abb. A.11: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	77

Abb. A.12 Kraft-Verschiebung-Diagramm	77
Abb. A.13: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	78
Abb. A.14: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	79
Abb. A.15 Kraft-Verschiebung-Diagramm	79
Abb. A.16: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	80
Abb. A.17: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	81
Abb. A.18 Kraft-Verschiebung-Diagramm	81
Abb. A.19: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	82
Abb. A.20: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	83
Abb. A.21 Kraft-Verschiebung-Diagramm	83
Abb. A.22: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	84
Abb. A.23: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	85
Abb. A.24 Kraft-Verschiebung-Diagramm	85
Abb. A.25: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	86
Abb. A.26: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	87
Abb. A.27 Kraft-Verschiebung-Diagramm	87
Abb. A.28: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	88
Abb. A.29: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	89
Abb. A.30 Kraft-Verschiebung-Diagramm	89
Abb. A.31: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	90
Abb. A.32: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	91
Abb. A.33 Kraft-Verschiebung-Diagramm	91
Abb. A.34: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	92
Abb. A.35: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	93
Abb. A.36 Kraft-Verschiebung-Diagramm	93
Abb. A.37: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	94
Abb. A.38: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	95
Abb. A.39 Kraft-Verschiebung-Diagramm	95
Abb. A.40: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	96
Abb. A.41: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	97
Abb. A.42 Kraft-Verschiebung-Diagramm	97
Abb. A.43: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	98
Abb. A.44: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	99
Abb. A.45 Kraft-Verschiebung-Diagramm	99
Abb. A.46: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	100
Abb. A.47: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	101
Abb. A.48 Kraft-Verschiebung-Diagramm	101
Abb. A.49: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	102
Abb. A.50: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	103
Abb. A.51 Kraft-Verschiebung-Diagramm	103
Abb. A.52: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	104
Abb. A.53: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	105
Abb. A.54 Kraft-Verschiebung-Diagramm	105
Abb. A.55: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	106
Abb. A.56: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	107
Abb. A.57 Kraft-Verschiebung-Diagramm	107
Abb. A.58: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	108
Abb. A.59: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	109
Abb. A.60 Kraft-Verschiebung-Diagramm	109
Abb. A.61: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	110
Abb. A.62: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	111

Abb. A.63 Kraft-Verschiebung-Diagramm	111
Abb. A.64: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	112
Abb. A.65: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	113
Abb. A.66 Kraft-Verschiebung-Diagramm	113
Abb. A.67: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	114
Abb. A.68: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	115
Abb. A.69 Kraft-Verschiebung-Diagramm	115
Abb. A.70: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	116
Abb. A.71: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	117
Abb. A.72 Kraft-Verschiebung-Diagramm	117
Abb. A.73: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	118
Abb. A.74: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	119
Abb. A.75 Kraft-Verschiebung-Diagramm	119
Abb. A.76: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	120
Abb. A.77: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	121
Abb. A.78 Kraft-Verschiebung-Diagramm	121
Abb. A.79: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	122
Abb. A.80: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	123
Abb. A.81 Kraft-Verschiebung-Diagramm	123
Abb. A.82: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	124
Abb. A.83: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	125
Abb. A.84 Kraft-Verschiebung-Diagramm	125
Abb. A.85: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	126
Abb. A.86: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	127
Abb. A.87 Kraft-Verschiebung-Diagramm	127
Abb. A.88: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	128
Abb. A.89: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	129
Abb. A.90 Kraft-Verschiebung-Diagramm	129
Abb. A.91: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	130
Abb. A.92: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	131
Abb. A.93 Kraft-Verschiebung-Diagramm	131
Abb. A.94: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	132
Abb. A.95: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	133
Abb. A.96 Kraft-Verschiebung-Diagramm	133
Abb. A.97: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	134
Abb. A.98: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	135
Abb. A.99 Kraft-Verschiebung-Diagramm	135
Abb. A.100: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	136
Abb. A.101: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	137
Abb. A.102 Kraft-Verschiebung-Diagramm	137
Abb. A.103: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	138
Abb. A.104: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	139
Abb. A.105 Kraft-Verschiebung-Diagramm	139
Abb. A.106: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	140
Abb. A.107: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	141
Abb. A.108 Kraft-Verschiebung-Diagramm	141
Abb. A.109: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	142
Abb. A.110: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	143
Abb. A.111 Kraft-Verschiebung-Diagramm	143
Abb. A.112: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	144
Abb. A.113: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	145

Abb. A.114 Kraft-Verschiebung-Diagramm	145
Abb. A.115: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	146
Abb. A.116: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	147
Abb. A.117 Kraft-Verschiebung-Diagramm	147
Abb. A.118: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	148
Abb. A.119: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	149
Abb. A.120 Kraft-Verschiebung-Diagramm	149
Abb. A.121: Verlauf der Risse bei den drei Versuchen	150
Abb. A.122: Kraft-Zeit Diagramm der Versuche	151
Abb. A.123 Kraft-Verschiebung-Diagramm	151

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Ziegeldaten (Quelle: Firmenkatalog Wienerberger)	15
Tabelle 3.2: Verwendete Mörtel	16
Tabelle 3.3: Die Versuche, bei denen Probleme aufgetreten sind	28
Tabelle 5.1: Die gewählten Versuchskörper	34
Tabelle 5.2: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart PM10	37
Tabelle 5.3: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart PM10	37
Tabelle 5.4: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart PM10	38
Tabelle 5.5: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss	39
Tabelle 5.6: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart PM5	42
Tabelle 5.7: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart PM5	42
Tabelle 5.8: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart PM5	43
Tabelle 5.9: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss	44
Tabelle 5.10: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart M5	47
Tabelle 5.11: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart M5	47
Tabelle 5.12: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart M5	48
Tabelle 5.13: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss	49
Tabelle 5.14: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart M10	52

Tabelle 5.15: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart ...	52
Tabelle 5.16: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart M10	53
Tabelle 5.17: Horizontale Verschiebung vor dem ersten Riss	54
Tabelle 5.18: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 1 mit der Mörtelart KM	57
Tabelle 5.19: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 2 mit der Mörtelart KM	57
Tabelle 5.20: maximale Kräfte des Versuchsdurchgangs 3 mit der Mörtelart KM	58
Tabelle 5.21: Die gewählten Versuchskörper	59
Tabelle 6.1: Versuchsreihe PM10 ($f_k= 10,88 \text{ N/mm}^2$, $f_d= 4,35 \text{ N/mm}^2$)	66
Tabelle 6.2: Versuchsreihe PM5 ($f_k= 8,97 \text{ N/mm}^2$, $f_d= 3,59 \text{ N/mm}^2$)	66
Tabelle 6.3: Versuchsreihe M5 ($f_k= 12,62 \text{ N/mm}^2$, $f_d= 5,05 \text{ N/mm}^2$)	67
Tabelle 6.4: Versuchsreihe M10 ($f_k= 14,13 \text{ N/mm}^2$, $f_d= 5,66 \text{ N/mm}^2$)	67
Tabelle 6.5: Versuchsreihe KM($f_k= 5,04 \text{ N/mm}^2$, $f_d= 2,02 \text{ N/mm}^2$)	67
Tabelle A.1: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	70
Tabelle A.2: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	72
Tabelle A.3: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	74
Tabelle A.4: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	76
Tabelle A.5: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	78
Tabelle A.6: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	80
Tabelle A.7: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	82
Tabelle A.8: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	84
Tabelle A.9: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	86
Tabelle A.10: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	88
Tabelle A.11: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	90
Tabelle A.12: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	92

Tabelle A.13: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	94
Tabelle A.14: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	96
Tabelle A.15: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	98
Tabelle A.16: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	100
Tabelle A.17: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	102
Tabelle A.18: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	104
Tabelle A.19: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	106
Tabelle A.20: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	108
Tabelle A.21: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	110
Tabelle A.22: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	112
Tabelle A.23: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	114
Tabelle A.24: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	116
Tabelle A.25: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	118
Tabelle A.26: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	120
Tabelle A.27: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	122
Tabelle A.28: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	124
Tabelle A.29: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	126
Tabelle A.30: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	128
Tabelle A.31: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	130
Tabelle A.32: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	132
Tabelle A.33: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	134

Tabelle A.34: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	136
Tabelle A.35: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	138
Tabelle A.36: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	140
Tabelle A.37: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	142
Tabelle A.38: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	144
Tabelle A.39: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	146
Tabelle A.40: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	148
Tabelle A.41: Extremwerte beim Versuch, Abkürzungen V: Vertikal , H: Horizontal, P: Punkt	150

Literaturverzeichnis

- [1] E. Cziesielski, Lehrbuch der Hochbaukonstruktionen, Stuttgart: Teubner, 1997, pp. 93-142.
- [2] wikipedia. [Online]. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Archers_frieze_Darius_1st_Palace_Suse_Louvre_AOD_488_a.jpg. [Zugriff am 13 6 2013].
- [3] „payvand,“ [Online]. Available: <http://www.payvand.com/news/04/jul/1177.html>. [Zugriff am 16 06 2013].
- [4] J. Hureau, Reise durch den Iran, Tehran: Yassavoli, 1999, p. 109.
- [5] G. Betz, Wie erkenne ich Mesopotamische Kunst? Architektur, Skulptur, Malerei, Augsburg: Weltbild Verlag GmbH, 2000, pp. 5-15.
- [6] „wikipedia,“ [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/wiki/Tappe_Sialk. [Zugriff am 16 06 2013].
- [7] „wikipedia,“ [Online]. Available: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Choghazanbil2.jpg>. [Zugriff am 13 6 2013].
- [8] Verband Österreichischer Ziegelwerke, „Ziegel Verband Österreichischer Ziegelwerke,“ 22 März 2013. [Online]. Available: <http://www.ziegel.at/de/geschichte>. [Zugriff am 11 April 2013].
- [9] K. Zilch, C. Diederichs und R. Katzenbach, Handbuch für Bauingenieure, Heidelberg: Springer, 2012.
- [10] Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner, Bemessung und Ausführung von Mauerwerk, Düsseldorf: by Verlag Bau+Technik GmbH, 2007.

-
- [11] „Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV,“ Bundesverband Kalksandsteinindustrie eV, [Online]. Available: <http://www.kalksandstein.de>. [Zugriff am 11 April 2013].
- [12] U. Schmidt und W. Brameshuber, „Biegezugfestigkeit von Mauerwerk,“ Institut für Bauforschung der RWTH Aachen University , Aachen, 2013.
- [13] Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel I im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V., „Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.,“ [Online]. Available: <http://www.argemauerziegel.de/>. [Zugriff am 11 april 2013].
- [14] P. D.-I. W.Mann, „Zug- und Biegezugfestigkeit von Mauerwerk- theoretische Grundlagen und Vergleich mit Versuchsergebnissen,“ in s *Holzbau-Taschenbuch*, Berlin, Ernst & Sohn, 1990, pp. 601-607.
- [15] *Eurocode ÖNORM 1015-11*, 2007.
- [16] „HBM,“ [Online]. Available: <http://www.hbm.com/de/menu/produkte/>. [Zugriff am 17 06 2013].
- [17] *Eurocode ÖNORM 1996-1-1*, 2013.
- [18] *Eurocode ÖNORM B 1996-1-1*, 2009.