



Lehrstuhl für Subsurface Engineering

Masterarbeit



Kurzzeituntersuchungen an  
Nassspritzbeton

Johanna Maria Maximiliane Hohenbuehel, BSc

März 2019



## EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Ich erkläre, dass ich die Richtlinien des Senats der Montanuniversität Leoben zu "Gute wissenschaftliche Praxis" gelesen, verstanden und befolgt habe.

Weiters erkläre ich, dass die elektronische und gedruckte Version der eingereichten wissenschaftlichen Abschlussarbeit formal und inhaltlich identisch sind.

Datum 19.03.2019

---

Unterschrift Verfasser/in  
Johanna Maria Maximiliane, Hohenbuehel  
Matrikelnummer: 01016937

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir mein Studium ermöglicht haben und mich in all meinen Entscheidungen unterstützt haben.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler, der mir die Gelegenheit gab, dieser Arbeit anzufertigen und mich als studentischer Mitarbeiter beschäftigt hat.

Für die Unterstützung und Betreuung bei der Versuchsdurchführung möchte ich mich bei meinem Betreuer Dipl.-Ing. Dr. mont. Gehwolf Paul bedanken. Ebenfalls möchte ich mich bei meinem Kollegen Cornelius Lamprecht für die gute Zusammenarbeit in allen Arbeitsprozessen bedanken.

Auch allen Mitarbeitern danke ich für die freundliche Aufnahme am Institut und tatkräftige Unterstützung bei der Probenentnahme an den Tunnelbaustellen und bei der Probenvorbereitung im Labor.

## **Kurzfassung**

Der Lehrstuhl für Subsurface Engineering wurde von der ÖBB Infrastruktur AG beauftragt, im Zuge des Bauprojekts „Semmering-Basistunnel“ (SBT), am Baulos 3.1 Grautschenhof Versuche zum Dehnungsverhalten von Nassspritzbeton durchzuführen. In Zusammenarbeit mit Cornelius Lamprecht wurden am Spritzbeton Kurzzeitversuche und Langzeitversuche durchgeführt [1]. Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde mit Hilfe von Kurzzeitversuchen die Entwicklung der Druckfestigkeit und des E-Moduls in Abhängigkeit des Betonalters ermittelt. Die Langzeitversuche wurden in der Masterarbeit von Cornelius Lamprecht behandelt [1]. Teil dieser Arbeit war es, ein Konzept für die Probennahme an der Tunnelbaustelle mit zu entwickeln und den darin chronologischen Ablauf der Tätigkeiten, von der Probenbeschaffung bis zur Versuchsdurchführung, darzustellen. Für diesen Zweck wurden Proben für Vorversuche am Zentrum am Berg (ZaB) entnommen und ein Konzept ausgearbeitet. Insgesamt wurden zehn Probenserien vom ZaB und drei vom SBT entnommen. Der Ablauf der Probenentnahme und die Probenvorbereitung wird in der vorliegenden Arbeit erläutert. Anschließend wird auf die Ergebnisse der Kurzzeitversuche eingegangen und Optimierungsvorschläge werden gegeben.

## **Abstract**

The Chair of Subsurface Engineering was commissioned by ÖBB Infrastruktur AG to investigate wet shotcrete at construction lot 3.1 Grautschenhof as part of the "Semmering-Basistunnel" (SBT) construction project. The aim was to investigate the shotcrete by short-term and long-term tests. Within the scope of this master thesis, the development of the compressive strength and the modulus of elasticity as a function of the concrete age was determined by short-term tests. The long-term tests were carried out in the master thesis by Cornelius Lamprecht [1]. Part of this task was to create a concept for the sampling at the tunnel construction site and to present the chronological sequence of the activities, from the sample preparation to the test execution. For this purpose, samples for preliminary tests were taken from the Zentrum am Berg (ZaB) and the concept was elaborated. A total of seven sample series were taken from the ZaB and three from the SBT. The sampling procedure and the sample preparation tests are explained in this thesis. Subsequently, the results of the short-term tests are discussed and optimizations are suggested.

## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung .....	1
2	Allgemeines zu Spritzbeton .....	2
2.1	Zusammensetzung von Spritzbeton .....	2
2.2	Betonklassifizierung.....	4
2.3	Zusammensetzung des Spritzbetons der einzelnen Serien.....	5
2.4	Herstellung von Spritzbeton .....	7
3	Probennahme und Probenvorbereitung .....	9
3.1	Probenkörper.....	9
3.2	Vorbereitung vor der Probennahme .....	13
3.3	Probennahme an der Baustelle .....	13
3.4	Probenvorbereitung im Labor .....	16
4	Versuchsdurchführung.....	21
4.1	Anlagenbeschreibung .....	21
4.2	Anleitung zur Bedienung der MTS zur Durchführung einaxialer Druckversuche .....	23
4.2.1	Bedienung der Software Station Manager und Multipurpose Elite .....	24
4.2.2	Nullpunktsetzung der Dehnungsaufnehmer .....	27
5	Auswertung und Ergebnisse .....	32
5.1	Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit des Spritzbetons der Serien vom Semmering-Basistunnel.....	33
5.2	Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit des Spritzbetons der Serien vom Zentrum am Berg.....	35
5.3	Entwicklung des Elastizitätsmoduls des Spritzbetons der Serien vom Semmering-Basistunnel.....	41
5.4	Entwicklung des Elastizitätsmoduls des Spritzbetons der Serien vom Zentrum am Berg.....	42
5.5	Streubereich der Druckfestigkeiten .....	45
5.6	Streubereich des Elastizitätsmoduls.....	48
5.7	Einfluss des Wasser-Zementwertes auf die Ergebnisse .....	49
5.8	Einfluss von Beschleunigeranteil und Förderleistung auf die Ergebnisse.....	51

5.9	Einfluss von Rissen auf die Versuchsergebnissen .....	52
5.10	Bruchbildung.....	55
6	Zusammenfassung und Verbesserungsvorschläge .....	58
7	Literaturverzeichnis .....	60
8	Abbildungsverzeichnis .....	62
9	Tabellenverzeichnis.....	65

# 1 Aufgabenstellung

Im Zuge des Bauprojekts Semmering-Basistunnel wurde der Lehrstuhl für Subsurface Engineering von der ÖBB Infrastruktur AG beauftragt Versuche zum Dehnungsverhalten von Nassspritzbeton am Baulos SBT 3.1 „Grautschenhof“ zu untersuchen. Dabei war es Ziel, eine Abschätzung der kritischen Stauchung der Spritzbetonschale in Abhängigkeit der Verformungsgeschwindigkeit und des Betonalters zu ermitteln. Langzeitversuche sollen darüber Aufschluss geben. Zusätzlich wurde die Entwicklung der Druckfestigkeit und des E-Moduls in Abhängigkeit des Betonalters untersucht. Die Langzeitversuche und deren Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit mit Cornelius Lamprecht in dessen Masterarbeit „Langzeitversuche an jungem Nassspritzbeton“ erarbeitet [1]. Ziel dieser Arbeit ist ein Konzept für die Probennahme der Langzeit- und Kurzzeitversuche mit zu entwickeln. Darin soll der chronologische Ablauf der Tätigkeiten, von der Probenbeschaffung bis zur Versuchsdurchführung, dargestellt werden. Des Weiteren soll die Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit und des Elastizitätsmoduls (E-Modul) dokumentiert werden.

Dafür wurde die einaxiale Druckfestigkeit und das E-Modul des Nassspritzbetons in festgelegten Zeitintervallen beziehungsweise Aushärtezuständen ermittelt. In Zusammenarbeit mit Cornelius Lamprecht wurden insgesamt zehn Probenserien von den Tunnelbaustellen Zentrum am Berg (ZaB) und drei vom Semmering-Basistunnel (SBT) entnommen, bearbeitet und getestet.

## 2 Allgemeines zu Spritzbeton

Spritzbeton ist ein Beton, der aus einer Mischung aus Zement, Wasser und Zuschlagsstoffen besteht und mit einer hohen Geschwindigkeit auf eine Auftragsfläche gespritzt wird [2]. Durch die Aufprallenergie auf die Arbeitsfläche entsteht eine dichte, homogene Masse. Im Unterschied zu normalem Beton hat Spritzbeton den Vorteil, dass keine oder nur eine einseitige Schalung benötigt wird, um ihn in Form zu halten bis er eine ausreichende Festigkeit erreicht hat. Diese frühe Festigkeit wird durch Zugabe von Beschleunigern bewirkt. Der Spritzbeton kann daher im Gegensatz zu normalem Beton schon früher Belastungen aufnehmen. Aus diesem Grund eignet sich der Spritzbeton als Stabilisationsmittel in den verschiedensten Anwendungsgebieten, wie zum Beispiel in der Hangsicherung, in der Baugrubensicherung und im Tunnelbau. Im Tunnelbau treten durch den Bau des Hohlraums Spannungsumlagerung auf und somit auch entsprechende Deformationen. In der „Neuen Österreichischen Tunnelbaumethode“ beziehungsweise New Austrian Tunneling Method“ (NATM) wird das Gebirge durch Stütz- und Sicherungsmitteln, wie eben auch durch Spritzbeton, gesichert [3].

Der Begriff Spritzbeton beschreibt nicht nur das Material, sondern gleichzeitig auch ein Verfahren und eine Bauweise [2]. Dabei wird zwischen dem Trocken- und dem Nassspritzverfahren unterschieden. Diese Arbeit konzentriert sich ausschließlich auf das Nassspritzverfahren. Im Trockenspritzverfahren wird als Ausgangsmischung ein Trockengemisch verwendet, bei dem das Anmachwasser erst in der Spritzdüse hinzugefügt wird. Dabei wird das Trockengemisch mit Druckluft durch Schlauchleitungen bis zur Spritzdüse gefördert. Im Nassspritzverfahren wird das Anmachwasser vor dem Spritzvorgang dem Gemisch zugegeben und in der Spritzdüse kommt Druckluft hinzu [2].

### 2.1 Zusammensetzung von Spritzbeton

Der Spritzbeton besteht aus folgenden Komponenten: Gesteinskörnungen, Zement, Wasser und Zusatzstoffen. Zusätzlich können dem Spritzbeton auch Zuschlagsstoffe, wie Stahl- und synthetische Fasern, zugegeben werden, um seine Eigenschaften zu ändern [4]. Das Gerüst in der Spritzbetonmatrix bilden die Gesteinskörnungen, welche durch den Zement miteinander verbunden werden. Allgemein wird natürliches Rundkorn für Spritzbeton verwendet, da es einige Vorteile gegenüber gebrochenem Korn vorweist. Das Rundkorn verbraucht aufgrund seiner runden Form weniger Zementleim und verursacht im Gegensatz zu scharfkantigem Korn geringeren Materialverschleiß [4]. Bezüglich der Kornzusammensetzung liegt meist gemischtkörniges Zuschlagsmaterial vor, wobei darauf zu achten ist, dass der Anteil der großen Körner nicht zu hoch ist, da diese meist als Rückprall verloren gehen. Der Feinkornanteil hat Einfluss auf die Festigkeit, denn es gilt: Je mehr Feinkorn, desto geringere Festigkeit [2]. Prinzipiell nimmt die Gesteinskörnung circa 75% des Volumens des Spritzbetons

ein und hat einen großen Einfluss auf die Gleichmäßigkeit und Verarbeitbarkeit der Mischung [4]. Dabei ist besonders auf eine günstige Sieblinienverteilung für die Pumpbarkeit des Spritzbetons zu achten. Günstige Sieblinienverteilungen für Spritzbeton sind aus der Literatur der ÖVBB Richtlinien für Spritzbeton zu entnehmen [5]. Die Gesteinskörnungen können künstlichen oder natürlichen Ursprungs sein. Natürliche Gesteinskörnungen werden dabei aus Steinbrüchen, Flussablagerungen oder auch Gruben gewonnen und werden mechanisch aufbereitet [4]. Künstliche Gesteinskörnungen hingegen werden aus Industriellen Produkten, wie zum Beispiel Schlacke gewonnen. Jedoch werden künstliche Gesteinskörnungen wesentlich seltener als natürliche benutzt, da diese einen höheren Verschleiß der Geräte verursachen.

Der Zement ist ein wichtiger Bestandteil des Spritzbetons und hat Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Spritzbetons nach dessen Erhärtung und ermöglicht eine rasche Erstarrung und Frühfestigkeit [6]. Während des Förderns von Spritzbeton wirkt er als Schmiermittel. Eine wesentliche Eigenschaft des Zementes ist die Normdruckfestigkeit, da sich diese auf die Betondruckfestigkeit auswirkt. Bei zunehmender Normdruckfestigkeit des Zementes steigt die Betondruckfestigkeit linear an. Außerdem beeinflusst die Wahl des Zementes die Frühfestigkeit des Betons. Zemente mit einer hohen Mahlfineinheit beziehungsweise schnell erhärtende Zemente führen zu höheren Frühfestigkeiten [4].

Mit Wasser und Spritzbetonzusatzmittel wird die Konsistenz eingestellt. Dabei sollte das Wasser die Hydratation des Zementes nicht behindern oder beschleunigen. Als geeignet gelten Wässer wie: Grundwasser, Regenwasser, Seewasser oder Flusswasser [2].

Verschiedenste Zusatzstoffe werden als Füllstoff, Schmierstoff, Mischungsstabilisatoren oder auch zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit verwendet. Einige Beispiele der Zuschlagsstoffe sind Flugasche, Mikrosilikate, Gesteinsmehle und Hüttensande. Sie werden in der Mischung als Volumenbestandteil angegeben. Richtwerte für die Zusammensetzung von Nassspritzbeton befinden sich in der angegebenen Literatur [5]. Die Vielzahl an Zusatzstoffen führt zur komplexen, gegenseitigen Beeinflussung der Stoffe und den daraus resultierenden Festigkeiten des Spritzbetons.

Spritzbetonzusatzmittel wie Erstarrungsbeschleuniger werden dem Spritzbetongemisch hinzugefügt, um die Frühfestigkeit zu erhöhen. Ohne Zusatzmittel erhärtet der Spritzbeton nach circa zwei bis drei Stunden [4]. Im Tunnelbau wird Spritzbeton in circa 15-30 cm dicken Schichten auf das Gebirge aufgetragen. Durch Sprengarbeiten im Tunnel benötigt der Spritzbeton aus arbeitstechnischen Gründen eine rasche Erstarrung. Der Beschleuniger erhöht die Geschwindigkeit der Hydratation des Zementes. Es gibt drei verschiedene Arten der Beschleunigung der Zementhydratation [4]:

- durch Erhöhung der Auflösung von Zementbestandteilen
- durch verhinderte Bildung von verzögernden Schichten auf den Zementteilchen
- durch Kristallisationskeime

Der Nachteil der Erstarrungsbeschleuniger ist, dass durch den Eingriff in die Zementhydratation die Endfestigkeit des Spritzbetons deutlich herabgesetzt wird [2]. Die Dosierung des Beschleunigers hat keinen linearen Zusammenhang mit der Erstarrungszeit: Die Erstarrungszeit nimmt zunächst rasch bei zunehmender Dosierung ab und steigt bei zu hoher Dosierung wieder an. Dies wird als Umschlagen des Erstarrungsbeschleunigers bezeichnet [4]. Eine charakteristische Dosierung beträgt für eine kurze Erstarrungszeit 3 bis 8 % und wird über ein Dosiergerät gesteuert [4]. Diese Dosiergeräte werden dabei mit der Betonförderung synchronisiert [6].

Ein weiteres Zusatzmittel, welches allgemein im Nassspritzverfahren verwendet wird, ist ein Verflüssiger beziehungsweise ein Fließmittel, um das Gemisch pumpfähig zu halten [4]. Zur Verringerung von Feinstaub werden Stabilisierer beziehungsweise Kleber verwendet. Diese wirken als Staubbindemittel und verbessern dadurch die Arbeitsbedingungen. Der Nachteil der Stabilisierer ist, dass dieser sich auf die Festigkeit des Betons auswirkt und verringert sowohl Früh- als auch Endfestigkeit [4].

## 2.2 Betonklassifizierung

Beton wird nach seiner Druckfestigkeit in Klassen eingeteilt. Für die Klassifizierung wird laut ÖNORM B 4710-1 [7] die charakteristische Druckfestigkeit von zylinderförmigen Proben mit 150 mm Durchmesser und 300 mm Länge und von würfelförmigen Proben mit 150 mm Kantenlänge verwendet. Ein Beispiel einer Druckfestigkeitsklasse wird in Tabelle 1 angeführt.

Druckfestigkeitsklasse	Charakteristische Druckfestigkeit von Zylindern [N/mm <sup>2</sup> ]	Charakteristische Druckfestigkeit von Würfeln [N/mm <sup>2</sup> ]
C20/25	20	25

*Tabelle 1 Beispiel einer Druckfestigkeitsklasse*

Die Ergebnisse der einaxialen Druckfestigkeiten in diese Arbeit werden mit der charakteristischen Druckfestigkeit von Zylindern verglichen, die laut der Lieferscheine beziehungsweise der Chargenprotokolle angegeben wurden.

### 2.3 Zusammensetzung des Spritzbetons der einzelnen Serien

Alle Serien vom ZaB besitzen die gleiche Sortenbezeichnung SpC 25/30 (56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7. Laut ÖNORM B 4710-1 [7] bedeutet dies, dass der Beton nach 56 Tagen eine Druckfestigkeit von 25 MPa als zylinderförmige Probe und 30 MPa als würfelförmige Probe aufweist. GK8 zeigt an, dass das Größtkorn der Gesteinskörnung maximal 8mm groß ist. Die Beschreibung der Konsistenz erfolgt durch F (engl. flow) und wird mit F59 als sehr weich bezeichnet. J2 bedeutet, dass die Frühfestigkeitsklasse des Spritzbetons mit einer Mindestdruckfestigkeit von 5 MPa nach 24 Stunden festgelegt ist. Die Expositionsklasse ist mit XC4 bezeichnet und versichert eine Dichtheit bis zu 10 m Wasserdruckhöhe. RV 0,7 definiert ein reduziertes Versinterungspotential von 0,7 kg freigesetztem Calcium pro Tonne Spritzbeton. Die Güte des Spritzbetons ist mit der Spritzbetonklasse III definiert und entspricht damit besonderen Anforderungen an die Güteeigenschaften und Dauerhaftigkeit. In allen Serien vom ZaB bis auf Serie 4 wurde die gleiche Rezeptur der Spritzbetonmischung angewendet. Sie variieren nur in zu vernachlässigenden Schwankungen des W/Zk-Wertes, zwischen 0,49 bis 0,53. Dieser Wert gibt das Gleichgewichtsverhältnis zwischen Wassergehalt W und Zementgehalt Zk an [4]. Der Wassergehalt setzt sich dabei aus der Eigenfeuchte des Zuschlags und dem Zugabewasser zusammen. Die genauen W/Zk-Werte jeder Serie sind aus Anhang A zu entnehmen. Die Rohdichte des Spritzbetons vom ZaB beträgt circa 2420 kg/m<sup>3</sup> und der Luftgehalt 3%. Für Serie 4 vom ZaB wurden aus Grund der Geheimhaltungspflicht keine genauen Angaben über die Zusammensetzung des Spritzbetons gegeben. Jedoch wurde der Spritzbeton der Serie 4 mit SpC 25/30 klassifiziert. Der Prozentanteil des Beschleunigers (BE-Anteil) und die Förderleistung wurde für alle Serien dokumentiert. In Serie 1 des ZaB wurden beim Spritzvorgang 6 % Erstarrungsbeschleuniger hinzugefügt, wobei Serie 2, 3 und 4 ein Prozentanteil von 5 % beigefügt wurde. In den Serien 7, 8 und 9 wurde der Anteil des Erstarrungsbeschleunigers auf 7 % erhöht. Als Erstarrungsbeschleuniger für alle Serien des ZaB wurde das alkalifreie Produkt Sigunit L-93 AF von Mika ausgewählt. Die Förderleistung des Spritzmobils unterschied sich in den Serien 1, 2, 3 und 4 vom ZaB mit 20 m<sup>3</sup>/h zu den Serien 7, 8 und 9 mit 10 m<sup>3</sup>/h. Die Serien 5 und 6 wurden für die Kurzzeitversuche nicht vorgesehen, sondern einzig für die Langzeitversuche verwendet.

Alle Proben vom SBT besitzen die Sortenbezeichnung SpC 20/25(56) II J2 GK 8 XC4 RV0,7. Hierbei unterscheiden sie sich von den Proben des ZaB durch eine Druckfestigkeit von 20 MPa für zylinderförmige Proben und 25 MPa für würfelförmige Proben nach 56 Tagen. Außerdem besitzt der Spritzbeton die Spritzbetonklasse II und entspricht somit üblichen Anforderungen an die Güteeigenschaft. Die Serien des SBTs haben eine Rohdichte von circa 2315 kg/m<sup>3</sup> und besitzen einen W/Zk-Wert von 0,72. Der Beschleunigeranteil betrug 7% für alle drei Serien vom SBT. Der Beschleuniger für die Serien des SBT wurde nicht bekannt gegeben. Die Probenserien des SBT wurden ebenfalls mit einer Förderleistung von 10 m<sup>3</sup>/h hergestellt. Eine Übersicht der entnommenen Serien vom ZaB befindet sich in Tabelle 2 und vom SBT in Tabelle 3.

Serie	Datum	Zeit	Ort	Sortenbezeichnung Spritzbeton	BE- Anteil	Förderleistung
ZaB 1	20.06.18	11:00	Portal West, Röhre Nord	SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7	6 %	20 m <sup>3</sup> /h
ZaB 2	02.07.18	12:30	Röhre Süd	SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7	5 %	20 m <sup>3</sup> /h
ZaB 3	19.07.18	11:30	Portal West, Röhre Süd	SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7	5 %	20 m <sup>3</sup> /h
ZaB 4	31.07.18	13:00	Röhre Süd	SpC 25/30(56)	5 %	20 m <sup>3</sup> /h
ZaB 7	08.11.18	07:35	Portal West, Röhre Nord	SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h
ZaB 8	14.11.18	09:35	Röhre Süd	SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h
ZaB 9	21.11.18	12:50	Röhre Nord	SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h

Tabelle 2 Übersicht der entnommenen Serien vom Zentrum am Berg (ZaB).

Serie	Datum	Zeit	Ort	Sortenbezeichnung Spritzbeton	BE- Anteil	Förderleistung
SBT 1	03.10.18	10:00	Grautschenhof Werkstatt	SpC 20/25(56) II J2 GK 8 XC4 RV0,7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h
SBT 2	21.11.18	11:00	Grautschenhof Werkstatt	SpC 20/25(56) II J2 GK 8 XC4 RV0,7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h
SBT 3	31.10.18	09:30	Grautschenhof Werkstatt	SpC 20/25(56) II J2 GK 8 XC4 RV0,7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h

Tabelle 3 Übersicht der entnommenen Serien vom Semmering-Basistunnel (SBT).

Die Rezeptur des Spritzbetons für alle Serien vom ZaB variiert nur sehr gering und ist in Tabelle 4 dargestellt.

Inhaltsstoffe	Bezeichnung im Chargenprotokoll	Masse [kg]
0/4 Gesteinskörnung	Erzberg 1391	1391
4/8 Gesteinskörnung	Erzberg 1391 und Tieber 365	365
Zement	der Blaue CEM I 52,5 R SP 320	320
Zusatzstoff	AHWZ Lafarge Fluamix C 140	140
Wasser	Wasser gesamt	200
Zusatzmittel	Fließmittel BT3 Premment B 121 SP	3,2 – 3,7
Zusatzmittel	Luftporenbildner BT3 Premair LP K 50	1,3

Tabelle 4 Rezeptur der Serien vom ZaB nach den Chargenprotokollen.

Für die Serien vom Semmering-Basistunnel wurde nur das Chargenprotokoll der Serie 1 bekannt gegeben. Jedoch liegen, laut örtlicher Bauaufsicht, keine großen Abweichungen der Rezeptur in den Serien 2 und 3 von Serie 1 vor (siehe Tabelle 5).

Inhaltsstoffe	Bezeichnung im Chargenprotokoll	Masse [kg]
0/4 Gesteinskörnung	KW Dolomit B. bzw. Aspanger	1329
4/8 Gesteinskörnung	KW Dolomit B. 448	448
Zement	Lafarge CEM I 52,5R SP 280	280
Zusatzstoff	AHWZ Lafarge Fluamix C	110
Wasser	Wasser gesamt	156

*Tabelle 5 Rezeptur der Serien vom SBT nach den Chargenprotokollen.*

## 2.4 Herstellung von Spritzbeton

Bei der Herstellung der Spritzbetons existieren zwei verschiedene Verfahren: das Trockenspritzverfahren und das Nassspritzverfahren. Unter ersterem versteht man die Förderung einer trockenen Mischung ohne Zugabewasser, die mit großer Wucht auf die Auftragsfläche prallt. Mittels Druckluft wird die Mischung in einer Rohr- oder Schlauchleitung zur Düse gefördert. In der Spritzdüse durchströmt das Gemisch Wasser und die Austrittsgeschwindigkeit wird durch einen auf der Düse aufgesetzten Konus erhöht [2]. Die Zugabe des Wassers wird dabei händisch vom Düsenführer eingestellt.

Im Nassspritzverfahren wird die notwendige Aufprallgeschwindigkeit durch die Druckluft in der Düse erreicht. Die bereits fertige Betonmischung wird mit Pumpen oder Druckluft zur Düse gefördert. Dabei gibt es zwei Systeme zur Förderung des Nassspritzverfahrens: die Dünnstromförderung und die Dichtstromförderung. In der Dünnstromförderung wird die fertige Mischung aufgelockert, sodass die Mischung im Druckluftstrom in der Förderleitung fliegend gespritzt werden kann. Somit unterscheidet sich das Dünnstromverfahren im Prinzip nur sehr gering vom Trockenspritzverfahren, mit Ausnahme, dass im Nassspritzverfahren keine Wasserzugabe in der Düse nötig ist [2]. Im Gegensatz dazu wird in der Dichtstromförderung die Mischung gleichmäßig mit geeigneten Pumpen ohne Druckluftstrom in der Förderleitung transportiert. Erst durch Zugabe von Druckluft an der Düse wird die Betonmischung aufgerissen und auf die Auftragsfläche gespritzt. Zusätzlich wird in der Düse flüssiger Erstarrungsbeschleuniger dem Betongemisch hinzugegeben.

Vorteil des Nassspritzverfahrens ist die Gleichmäßigkeit des eingebauten Spritzbetons. Dies ist bedingt durch die kontrollierte Zugabe von Wasser in den Mischer und durch einen geringeren Rückprall, als im Trockenspritzverfahren [2]. Die Betonmischung wird mit einem bestimmten Wasser-Zementwert im Mischwerk hergestellt und wird gleichmäßig auf die Auftragsfläche gespritzt. Das Nassspritzverfahren bietet außerdem eine höhere Spritzleistung

als das Trockenspritzverfahren [4]. Dabei können im Einzelfall bis zu 25 m<sup>3</sup>/h erzielt werden. Ein weiterer Vorteil liegt in der Reduktion der Verschleißkosten an der Spritzeinrichtung. Im Nassspritzverfahren kann jedoch die Förderung nur begrenzt unterbrochen werden, da die fertige Betonmischung in den Leitungen sonst zu erstarren droht und zu Verstopfungen führen kann. Dies zwingt zu einer raschen Verarbeitung der hergestellten Mischung.

Im Trockenspritzverfahren hängt die Betonzusammensetzung stark vom Geschick des Düsenführers ab, da dieser die Wasserzugabe an der Düse regelt. [2] Ein Nachteil des Trockenspritzverfahrens ist die zusätzliche Belastung der Arbeiter durch die Staubentwicklung und der höhere Verschleiß der Geräte, gegenüber dem Nassspritzverfahren. Ein Vorteil des Verfahrens ist jedoch, dass die Mischung, je nach Eigenfeuchte der Zuschläge, über mehrere Stunden verwertbar ist. In Abbildung 1 sind die verschiedenen Fördersysteme graphisch dargestellt [2].

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde für die Herstellung aller Proben das Dichtstromverfahren verwendet und der Düsenführer spritzte ausschließlich mit der Hilfe von Spritzmanipulatoren. Durch den Einsatz von Manipulatoren wird der Düsenführer von den Rückschlagkräften an der Düse und vom hohen Gewicht des Schlauches entlastet und eine größere Reichweite ist durch die Manipulatoren möglich. Außerdem kann der Düsenführer außerhalb des Gefahrenbereiches der Auftragsstellen arbeiten und ist somit besser gegenüber dem Rückprall und Gesteinsablösungen in ungesicherten Zonen geschützt. Des Weiteren wird die gesundheitliche Beeinträchtigung durch Staubentwicklung verringert [4].

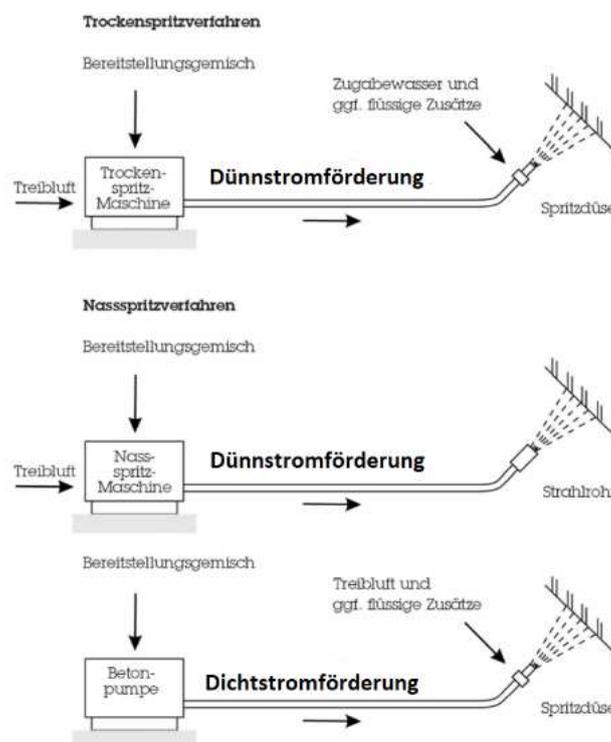


Abbildung 1 Systematik der Verfahrenstechnik bei Spritzbeton. Quelle [2] S.22

### **3 Probennahme und Probenvorbereitung**

Für die Probennahme sind in diesem Kapitel alle Vorbereitungen und Arbeitsschritte erläutert. Dazu gehören die Beschaffung von Material, Vorbereitungen, Organisation für den Transport der Proben und die Probenvorbereitung im Labor für die verschiedenen Untersuchungen der Langzeit- und Kurzzeitversuche. Für die Probenvorbereitung wurden die Räumlichkeiten und Geräte vom Labor des Lehrstuhls für Subsurface Engineering verwendet.

Zusammengefasst werden vor der Probennahme alle nötigen Materialien im Labor vorbereitet. Auf der Baustelle werden die Proben hergestellt und anschließend ins Labor transportiert. Um Beschädigungen der Proben durch den Transport vorzubeugen, wird ein geschlossenes Fahrzeug mit Platz für zwei Europalpaletten verwendet. Zur Sicherstellung des Versuchsbeginns der Langzeituntersuchung, welche sechs Stunden nach der Probennahme erfolgt, muss ein rascher Transport ins Labor ermöglicht werden.

Im Labor werden die Proben für die Versuche vorbereitet. Dabei ist zu beachten, dass die Proben für die Langzeitversuche innerhalb von sechs Stunden bereits vorbereitet sein müssen. Die genaue Beschreibung zur Durchführung der Langzeitversuche befinden sich in der Masterarbeit von Cornelius Lamprecht [1]. Weitere Proben werden für die Kurzzeitversuche beziehungsweise für die einaxialen Druckversuche verwendet. Dabei wird für drei Proben jeweils 24, 48, 72, 120, 168, 336 und 672 Stunden nach ihrer Herstellung die Druckfestigkeit und das E-Modul ermittelt.

#### **3.1 Probenkörper**

Der Probenkörper hat für sowohl die Langzeitversuche als auch für die Kurzzeitversuche dieselben Maße. Um die Ergebnisse der Versuche mit den Druckfestigkeitsklassen, welche im Chargenprotokoll angegeben sind, zu vergleichen, werden die Spritzbetonproben als Quader mit einer Kantenlänge von 150 mm und einer Höhe von 300 mm hergestellt (siehe Abbildung 2). Durch Kanteneffekte kann der Probenkörper nicht uneingeschränkt mit den zylindrischen Prüfkörpern, welche in der ÖNORM B 4710-1 [7] mit einem Durchmesser zu Höhe Verhältnis eins zu zwei festgelegt sind, verglichen werden. Jedoch ist eine Herstellung von zylindrischen Proben ausgeschlossen, da die Untersuchungen nur in Richtung des Spritzens möglich wären und dies entspricht nicht der Belastung im Tunnel.

Um einen realitätsnahen Probenkörper herzustellen, wurde für den Probenkörper ein quadratischer Grundriss ausgewählt. Die Schalung des Probenkörpers gleicht einem eckigen U-profil und wurde aus 20 mm starken Siebdruckplatten zusammengebaut (siehe Abbildung 3). Ein Ausweichen des Spritzbetons ist über die offenen Stirnflächen während des Spritzvorgangs möglich, um Spritzschatten zu verhindern.

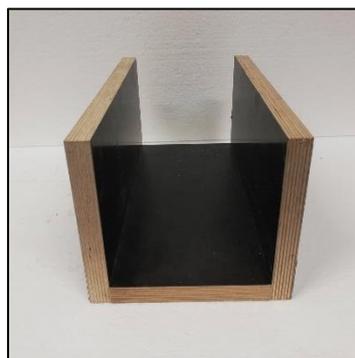
Die Tunnelschale wird im rechten Winkel zur Spritzrichtung belastet und mit diesem definierten Probenkörper ist es möglich diese Belastung nachzustellen. In der ÖNORM EN

14488-1 [8] werden für die Ermittlung der Druckfestigkeit Bohrkernempfohlen, die parallel zu Spritzrichtung entnommen und belastet werden. Dies entspricht aber nicht der Belastung im Tunnel. Mit dem in dieser Arbeit ausgewählten Probekörper ist es möglich den Spritzbeton senkrecht zur Spritzrichtung zu belasten.



*Abbildung 2 Probekörper.*

Damit das U-Profil aus Siebdruckplatten nicht durch den großen Druck während des Spritzvorgangs aufgeweitet wird und seine Form beibehält, wurde eine Probenhaltungsvorrichtung aus 5 mm starken Stahlprofilen angefertigt (siehe Abbildung 4). Drei solche Probenhaltungsvorrichtungen wurden nebeneinander auf einer Europoolpalette befestigt (siehe Abbildung 5).



*Abbildung 3 U-Profilchalung aus Siebdruckplatten.*

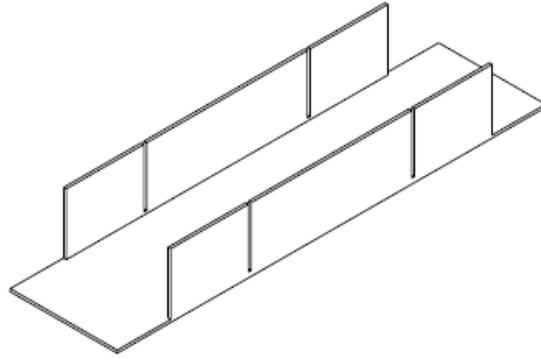


Abbildung 4 Skizze des Stahlprofils als Probenhaltevorrichtung während des Spritzvorganges.



Abbildung 5 Probenhaltevorrichtung mit 3 Halterungen für die U-Profilschalungen aus Siebdruckplatten.

Für den Bau der Schalungen werden Siebdruckplatten verwendet, die zu einem U Profil zusammengebaut werden. In diese Schalungen wird der Beton hineingespritzt und im weiteren Verlauf der Probenvorbereitung sind Überschalungen zu den U-Profilen notwendig, um die Stirnflächen der Proben zu glätten (siehe Kapitel Probenvorbereitung).

Material und Maße für ein U-Profil:

- 1x Siebdruckplatte: 30 x 15 x 2,1cm
- 2x Siebdruckplatte: 30 x 17,1 x 2,1cm

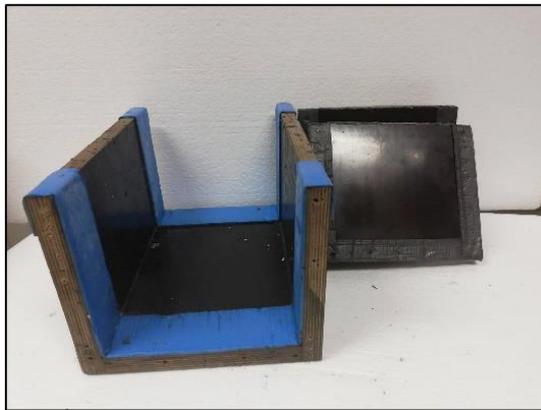
Beim Zusammenbau werden die drei Siebdruckplatten zu einem U-Profil miteinander verschraubt. Dabei ist zu beachten, dass die glatten Oberflächen der Siebdruckplatten in das Innere des U-Profil zeigen, um glatte, ebene Flächen der Spritzbetonproben sicherzustellen. Es ist empfehlenswert die Schraubenköpfe in den Schalungen mit einem Panzertape zu versiegeln, da im Laufe des Herstellungsprozesses Spritzbeton diese verkleben wird und somit das Aufschauben beim Ausbau der Proben erschwert wird.

Die Anwendung der Überschalung für die U-Profile wird in der Probenvorbereitung näher erläutert. Folgende Materialien sind für die Überschalung notwendig:

2x Siebdruckplatte: 23,9x19,7x2,1 cm

3x Siebdruckplatte: 19,7x33x2,1 cm

1x Dichtungsband



*Abbildung 6 Bestandteile der Überschalung; links U-profil, rechts dazugehörige Stirnflächen.*

Die Siebdruckplatten werden miteinander zu einem U-Profil mit geschlossenen Stirnflächen verschraubt. Dichtungsbänder werden an den inneren Rändern der Überschalung angebracht. An den zwei Stirnflächen werden ebenfalls Dichtungsbänder aufgeklebt (siehe Abbildung 6).

### 3.2 Vorbereitung vor der Probennahme

Vorwiegend werden pro Serie circa 30 Proben hergestellt und entsprechend der Anzahl an Proben werden Schalungen vorbereitet. Gemäß folgender Liste wird die Ausrüstung für die Probennahme an der Baustelle zusammengestellt:

Ausrüstungsliste für die Probennahme an der Tunnelbaustelle:

- 4 Europoolpaletten
- 1 Probenhaltevorrichtung
- circa 30 Schalungen
- Trennmittel
- Spanngurte (mind. 6)
- Abziehwerkzeug/Abziehlineale (mind. 2)
- Schaumstoffmatten
- Spatel
- 2 Spitzhacken
- Panzertape
- Persönliche Schutzausrüstung
- Kellen
- Etiketten
- Stanley Messer
- Handtacker

Zudem müssen folgende Materialien für die Probenvorbereitung im Labor bereitstehen:

- UZIN NC 172 Schnellspachtelmasse
- Styroporplatten (20 mm Dicke)

Die Ausrüstung wird im Fahrzeug gesichert und es empfiehlt sich insgesamt fünf Personen für die Probennahme an der Tunnelbaustelle bereitzustellen.

### 3.3 Probennahme an der Baustelle

An der Baustelle wird eine Serie mit circa 30 Proben hergestellt. Pro Spritzdurchgang werden jeweils drei Proben zeitgleich in der Probenhaltevorrichtung produziert. Hierfür wird die Probenhaltevorrichtung in circa 45 – 60 ° aus der Horizontalen an der Ulme positioniert und gut stabilisiert. In diese Probenhaltevorrichtung werden die Schalungen eingesetzt (siehe Abbildung 7). Kurz vor dem Einsetzen in die Probennahmeverrichtung werden die Schalungen mit einem Trennmittel/Schalungsöl benetzt, um ein Anhaften des Spritzbetons vorzubeugen.



*Abbildung 7 Einsetzen der U-Profilschalungen in die Probenhaltevorrichtung an der Ulme.*



*Abbildung 8 Spritzvorgang an der Tunnelbaustelle Zentrum am Berg.*

Anschließend wird der Spritzvorgang eingeleitet: Ein Betonmischer bringt den Nassspritzbeton zum Spritzmobil und im Dichtstromverfahren wird das Gemisch zur Spritzdüse des Spritzmobils befördert. An der Düse wird ein Erstarrungsbeschleuniger hinzugefügt. Ein Düsenführer steuert die in alle Richtungen schwenkbar angebrachte Düse mit einer Fernbedienung, wobei in 90° zur Auftragsoberfläche und aus einer Höhe von ca. 1,5 bis 2 Metern mit einer schwenkenden Bewegung gespritzt wird (siehe Abbildung 8). Die Spritzparameter (Beschleunigeranteil und Förderleistung) sind während des gesamten

Vorgangs der Probennahme einer kompletten Serie unverändert. Die Kanten der Schalungen werden vollständig überspritzt.

Nach dem Spritzvorgang werden die Proben inklusive Schalung mit Hilfe von Spitzhacken zeitnah aus der Probennahmeverrichtung entnommen (siehe Abbildung 9). Überschüssiger Beton wird mit einem Abziehlineal abgezogen (siehe Abbildung 10). Das Abziehen muss so rasch wie möglich durchgeführt werden, da der Spritzbeton sehr schnell aushärtet und dann ein sauberes Abziehen nicht mehr möglich ist.



*Abbildung 9 Entnahme der Proben aus der Probenvorrichtung mit Hilfe von Spitzhacken.*



*Abbildung 10 Abziehen von überschüssigem Spritzbeton mit Hilfe eines Abziehlineals.*

Anschließend wird die Probehaltvorrichtung grob gereinigt, sodass die nächsten drei Schalungen eingesetzt werden können. Danach kommt es erneut zum Spritzvorgang und dieser Zyklus wird wiederholt bis circa 30 Proben hergestellt wurden. Jede Probe wird mit einer Nummer markiert und Datum, Uhrzeit, Beschleunigeranteil und Förderleistung werden für jede Probe notiert.

Im Transportwagen werden Schaumstoffmatten am Boden ausgelegt. Auf diesen Schaumstoffmatten werden zwei Europoolpaletten als Grundlage für die Proben platziert (siehe Abbildung 11a). Für mehr Stabilität werden zwei weitere Europoolpaletten auf die Proben gelegt und mit Spanngurten gesichert (siehe Abbildung 11b). Die Schaumstoffmatten unterhalb dieser Proben absorbieren grobe Erschütterungen, die durch den Transport entstehen und vermindern dadurch Nachverdichtungen der Proben. Nach Ankunft der Proben im Labor werden diese sofort für die Versuche vorbereitet.



Abbildung 11a) frische Proben auf Europoolpalette mit untergelegter Schaumstoffmatte. b) Sichern der Proben durch Auflegen weitere Europoolpaletten und Spanngurte

### 3.4 Probenvorbereitung im Labor

Die Proben werden gleichermaßen sowohl für die Langzeitversuche für die Masterarbeit von Cornelius Lamprecht als auch für die einaxialen Druckversuche für diese Arbeit vorbereitet. Durch Belassen der Proben im U-Profil, werden Beschädigungen während der Probenvorbereitung verhindert. Erst kurz vor dem Einbau der Probe in die Gesteinsprüfpresse werden die Schalungen entfernt.

Für den einaxialen Druckversuch benötigen die Proben glatte planparallele Stirnflächen, um eine senkrechte Krafteinleitung in den Probenkörper gewährleisten zu können. Unebenheiten der Stirnflächen bewirken eine Verfälschung der Druckfestigkeitsergebnisse. Für eine gleichmäßige Belastung über die Querschnittsfläche der Probe wird ein Sockel aus einer

schnell erhärtenden Spachtelmasse auf die Stirnflächen aufgegossen. Dafür wird die Probe inklusive Schalung in die Überschalung gegeben. Anschließend wird der Sockel im Zwischenraum der Überschalung und der Probe aufgegossen. Nach Erhärten dieser Masse werden die Stirnflächen gefräst, um die Planparallelität der gegenüberliegenden Stirnflächen sicherzustellen.

Für den ersten Schritt der Probenvorbereitung werden Styroporstreifen zugeschnitten, um diese anschließend mit einem Handtacker an das U-Profil der Schalung zu befestigen (siehe Abbildung 12). Dies dient als Maßnahme gegen übermäßige Verwendung von Spachtelmasse und gleichzeitig als Dichtung gegen das Ausdringen der Spachtelmasse aus der Überschalung.



Abbildung 12a) Zurechtschneiden der Styroporstreifen (ca. 10 mm breit). b) Anbringen der Styroporstreifen an das U-Profil der Schalungen.



Abbildung 13 a) Überschalung mit Dichtungsbändern. b) Einfügen der Probe in die Überschalung und Zuschrauben der Überschalung mit Hilfe von Zwingen. c) eingebaute Probe in Überschalung.

Die Proben werden mit dem befestigten Styropor in die Überschalungen (siehe Abbildung 13a) gegeben. Zuvor werden die Stirnflächen der Überschalung und ihre Abdichtungsbänder mit einem Trennmittel benetzt, um das Haften der Spachtelmasse zu verhindern. Um das Einfügen

der Probe in die Überschalung zu erleichtern, werden die Stirnflächen der Überschalung abgeschraubt. In den meisten Fällen sind beim Wiederanschrauben der Stirnflächen der Überschalung Zwingen nötig (siehe Abbildung 13b). Die soweit vorbereitete Probe wird anschließend auf eine ebene Fläche (siehe Abbildung 13c) gestellt, um in den freien Raum zwischen Probe und Überschalung die Spachtelmasse einzufüllen (siehe Abbildung 14). Die Spachtelmasse soll bis zum oberen Rand der Schalung aufgefüllt werden, um die Unebenheiten der Spritzbetonprobe an den Stirnflächen auszugleichen.



Abbildung 14 Eingießen der Schnellspachtelmasse in den freien Raum zwischen Überschalung und Probe.

Folgende Rezeptur wird für die Spachtelmasse angewendet:

- 1,35 l Wasser für 6 kg Schnellspachtelmasse UZIN NC 172 (Druckfestigkeit C50)

Diese Menge reicht für circa drei Proben. Um Luftbläschen zu verhindern, werden die Proben von außen abgeklopft. Nach erfolgtem Aushärten der Spachtelmasse (circa eine Stunde) werden die Proben aus den Überschalungen ausgebaut. Die zuvor angehefteten Styroporstreifen werden anschließend von dem U-Profil der Schalung entfernt (siehe Abbildung 15).



Abbildung 15 a) angehefteter Styroporstreifen an ausgehärteter Schnellspachtelmasse. b) Abtrennen der Styroporstreifen vom U-Profil der Probenschalung mittels Hammer und Abziehwerkzeug. c) gesäubertes U-Profil nach Abtrennen der Styroporstreifen.

Zur Sicherstellung der geforderten Einbautoleranzen in die Prüfmaschine werden die Stirnflächen der Proben mithilfe einer Planfräse bearbeitet. Durch das Belassen der Probe in der Schalung werden Beschädigungen der Probe bei diesem Vorgang vorgebeugt.

Beim Einbau der Probe in die Planfräse wird die Probe mittig platziert (siehe Abbildung 16a) und eine 2 cm Dicke Siebdruckplatte wird in den hinteren Bereich zwischen Probe und Einspannvorrichtung der Fräse gelegt (siehe Abbildung 16b). Durch das zusätzliche Einfügen der Siebdruckplatte wird sichergestellt, dass die Stirnflächen der Probe vollständig durch den Fräskopf bearbeitet werden, da sonst der „Fräsweg“ der zur Verfügung stehenden Maschine zu kurz wäre. Um die Planparallelität festzustellen, wird vor der Fräsung ein Muster mit einem wasserfesten Stift auf den Stirnflächen der Proben aufgezeichnet (siehe Abbildung 16a). Anschließend wird die Probe gefräst und der Fräsvorgang wird solange wiederholt, bis das Muster an den Stirnflächen nicht mehr vorhanden ist. Ein abgefrästes Muster bestätigt, dass die komplette Stirnfläche bearbeitet wurde. Anschließend werden die Stirnflächen gut abgeputzt, da aufgeraute Spachtelmasse sich wieder verfestigen könnte und somit zu Unebenheiten führen kann.

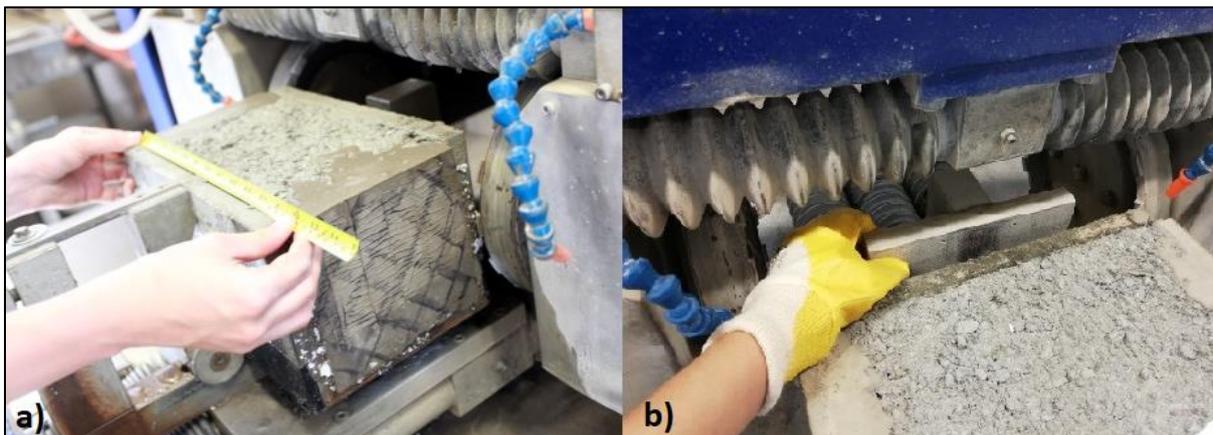
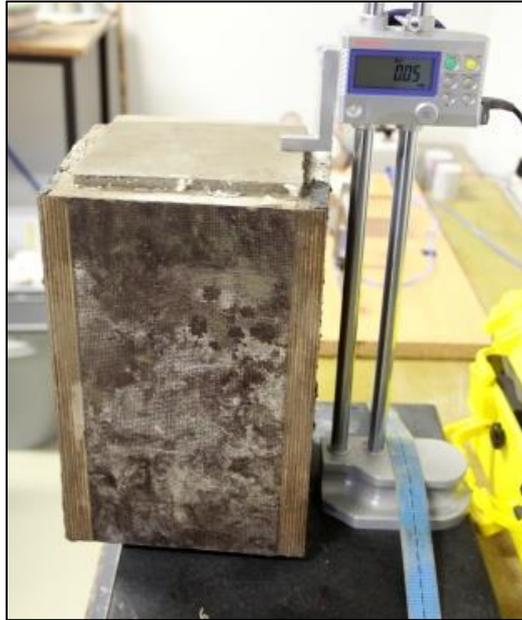


Abbildung 16 a) Zentrierter Einbau der Probe in die Fräse mit aufgezeichnetem Muster an den Stirnflächen der Probe. b) Einfügen einer ca. 1cm dicken Siebdruckplatte zwischen Probe und Einspannwerk.

Zur Qualitätskontrolle werden die Proben nach der Fräsung mithilfe eines Messschiebers auf ihre Planparallelität kontrolliert. Dabei wird die Höhendifferenz zwischen den gegenüberliegenden Stirnflächen an drei Punkten gemessen (siehe Abbildung 17). Bei Überschreitung der festgelegten Toleranz von 0,07 mm Abweichung, wird die Probe durch weiteres Fräsen nachbearbeitet. Nachdem die Planparallelität sichergestellt wurde, wird die Schalung von der Probe entfernt. Bei Feststellung einer Vorbeschädigung oder Fehlstelle der Probe wird diese ausgeschieden.



*Abbildung 17 Kontrolle der Planparallelität mittel Messschieber.*

## 4 Versuchsdurchführung

Um sowohl die Festigkeits- als auch die Elastizitätsmodulentwicklung einer Probenserie zu dokumentieren, wurden einaxiale Druckversuche zu bestimmten Betonaltern durchgeführt. Die Versuche wurden an folgenden Betonaltern festgelegt: 24, 48, 72, 120, 168, 336 und 672 Stunden nach der Herstellung der Proben. Für jedes festgelegte Betonalter wurden drei Proben getestet und die Ergebnisse dieser drei Proben gemittelt. Dabei ergab sich eine durchschnittliche Festigkeits- und E-Modulentwicklung über 28 Tage.

Beim einaxialen Druckversuch wird der quaderförmige Probenkörper (15x15x30 cm) zwischen zwei starren Druckplatten in eine Gesteinsprüfpresse eingesetzt und bei unbehinderter Radialdehnung axial gestaucht. Ermittelt wird die einaxiale Druckfestigkeit bei Erreichen der maximalen Axialspannung sowie das Elastizitätsmodul, welches durch Belastungs- und Entlastungsschleifen errechnet wird. Der Probekörper wird zunächst mit etwa 0,5 MPa beansprucht, bevor der Versuch gestartet wird. Mit einer Beanspruchungsgeschwindigkeit von 0,250 MPa/s wird die Oberspannung der ersten E-Modulschleife angefahren und anschließend mit der gleichen Geschwindigkeit auf eine Grundspannung von 2 MPa gebracht. In einigen Richtlinien, wie in der ÖNORM 13412, wird vorgeschrieben die Dehnungen bei Erreichen der Oberspannung erst nach einer Wartezeit von 60 Sekunden abzulesen [9], was in dieser Versuchsführung nicht eingehalten wird. Insgesamt werden drei Belastungszyklen kontinuierlich durchgeführt und die E-Module anhand der Entlastungsschleifen berechnet. Nach der dritten Belastungsschleife wird die Probe anschließend soweit belastet bis die Druckspannung größer als die Druckfestigkeit der Probe ist und somit zerstört wird. Nach dem Bruch der Probe wird der Versuch zylinderwegeregelt gesteuert. Die Berechnung der E-Module und die Auswertung der Druckfestigkeiten aus den gemessenen Daten sind in der Masterarbeit von Cornelius Lamprecht beschrieben [1].

### 4.1 Anlagenbeschreibung

Die Proben wurden mit einer servo-hydraulische Gesteinsprüfpresse vom Typ MTS 815 (2,6 MN) mit einem FlexTest60 Controller getestet (siehe Abbildung 19). Die Öldruckversorgung läuft über ein Servoventil, welches elektrisch gesteuert wird. Die Extensiometer HBM DD1 mit einer nominellen Messlänge von 100 mm wurden für die Dehnungsaufnahme verwendet (siehe Abbildung 18). Die Messlänge wird durch eine bewegliche obere Schneide, auch Messzunge genannt und einer unteren festen Schneide begrenzt. Durch Stauchungen oder Dehnungen an der Probe wird die Messzunge des Dehnungsaufnehmers verschoben und die Verschiebung wird in ein elektrisches Signal umgewandelt [10]. Diese Dehnungsaufnehmer werden mittels einer Anschlussbox an die MTS angeschlossen (siehe Abbildung 20). Im unteren Bereich der MTS befindet sich der Hydraulikzylinder und der maximale Vorschub beträgt 100 mm. Um den Abstand der oberen und unteren Druckplatte auf die Probenhöhe





Abbildung 20 Anschlussbox der Dehnungsaufnehmer. ① und ②: Dehnungsaufnehmer.

#### 4.2 Anleitung zur Bedienung der MTS zur Durchführung einaxialer Druckversuche

Nach der Probenvorbereitung wird die Spritzbetonprobe in die Gesteinsprüfpresse zentrisch zwischen den zwei starren Druckplatten eingebaut und die abgezogene Seite der Probe zeigt dabei nach vorne. Beim zentrischen Einbau wird außermittige Krafteinleitung ausgeschlossen. Durch außermittige Krafteinleitung würde der Probenkörper neben Normalspannung auch Biegebeanspruchungen ausgesetzt werden und die Wegaufnehmer weichen in ihren Längsverformungen voneinander ab. Dies verhindert die exakte Bestimmung des E-Moduls. Die Auflagefläche der starren Druckplatten ist vor dem Einbau der Probe sauber zu wischen und lose Bestandteile der Probe werden entfernt.

Bei jungen Proben (24-48 Stunden) ist der Beton noch sehr weich und zum Befestigen der Dehnungsaufnehmer benötigt es einen angefertigten Kunststoffwinkel als Kantenschutz. Dadurch schneidet die Halterung der Dehnungsaufnehmer nicht in den Beton ein (siehe Abbildung 21a). Nachdem die Dehnungsaufnehmer auf den Nullpunkt gesetzt wurden (siehe Kapitel Nullpunktsetzung), werden diese auf den glatten Flächen links und rechts von der abgezogenen Fläche angebracht. Sie werden mittig auf diese Fläche platziert, wobei Dehnungsaufnehmer 1 auf der linken Seite der abgezogenen Fläche und Dehnungsaufnehmer 2 auf der rechten Seite der abgezogenen Fläche positioniert ist (siehe Abbildung 19). Die

Messzunge des Dehnungsaufnehmers liegt 10 cm unterhalb der Kontrastlinie zwischen Spachtelmasse und Spritzbeton (siehe Abbildung 21b).



Abbildung 21a: Eingebaute Probe in der Langzeitversuchsanlage mit Dehnungsaufnehmern und Kantenschutz. b) zentriertes Positionieren des Dehnungsaufnehmers auf der rechten Seite der Probe (10 cm unterhalb der Kontrastlinie Spachtelmasse und Spritzbeton).

#### 4.2.1 Bedienung der Software Station Manager und Multipurpose Elite

Der Versuch wird mittels der Software „Station Manager“ und „Multipurpose Elite“ gesteuert.

Im ersten Schritt wird die Hydraulik der MTS eingeschaltet und anschließend zurückgesetzt. Das Zurücksetzen erfolgt durch das Betätigen der blauen `Reset`-Taste (siehe Abbildung 22).



Abbildung 22 Hydraulik mit Einschaltknopf rechts oben (rot) und blauer „Reset“-Taste für das Zurücksetzen.

In Folge wird die Kühlung für die Hydraulik eingeschaltet. Der Computer für die Steuerung der MTS befindet sich neben dieser. Nach Hochfahren des PCs wird das Programm „Station Manager“ geöffnet und das Projektfile „SE\_Standard“ wird durch folgenden Pfad in das Programm reingeladen:

D:\DatenNeu\00\_Projekte\SE\_Standard

Anschließend wird das Konfigurationsfile geladen, welches unter folgendem Pfad zu finden ist:

D:\DatenNeu\03\_Versuche\18\_SpC\SpC\_SE\_PGe.cfg

Nach dem Laden der Dateien wird folgende Arbeitsoberfläche sichtbar (siehe Abbildung 23). Um die Hydraulik zu aktivieren, wird zuerst die `Ausschließliche Regelungen` aktiviert (siehe Abbildung 23, ①), danach wird die Freigabe durch Bestätigen der `Freigabe` -Taste gegeben (siehe Abbildung 23, ②). Anschließend wird die Hydraulik von Niederdruck auf Hochdruck gefahren. Dazu wird der Button, gekennzeichnet durch ① in Abbildung 24 betätigt und Niederdruck wird erzeugt. Dieser Button blinkt während des Aktivierens des Niederdrucks für ein paar Sekunden. Nachdem die Taste nicht mehr blinkt und somit signalisiert, dass der Niederdruck erreicht wurde, wird der Button, gekennzeichnet durch ② in Abbildung 24, betätigt, um den Hochdruck der Hydraulik zu aktivieren. Das gleiche wird für das Servoventil „Axial T6-J28A“ wiederholt.

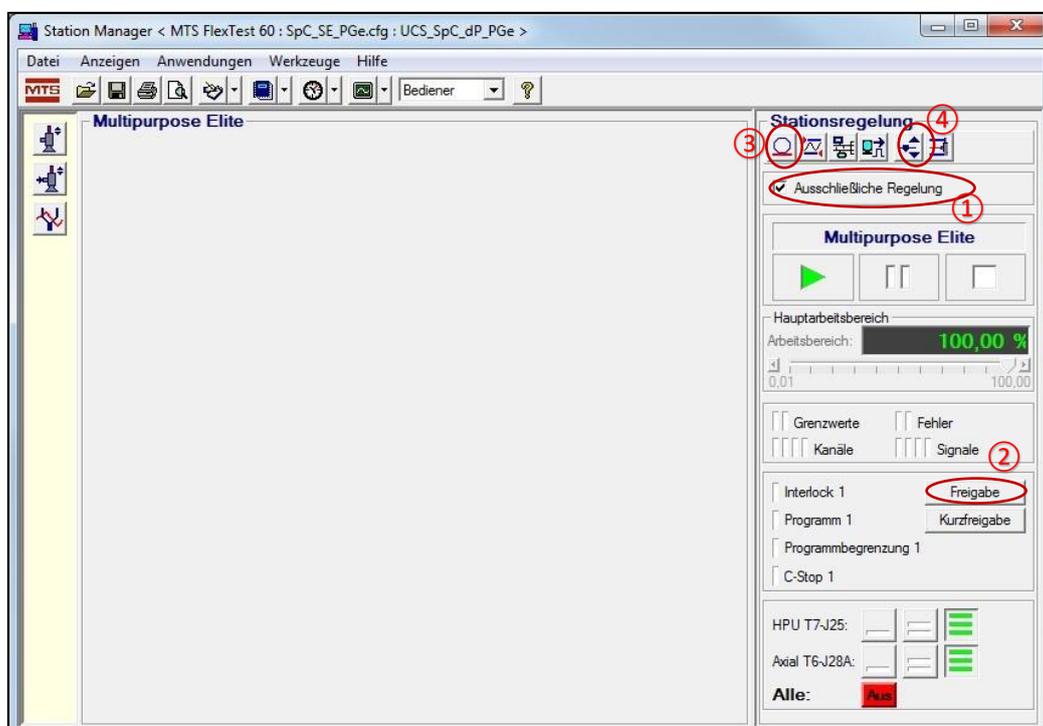


Abbildung 23 Arbeitsoberfläche der Software Stationmager. ①: Ausschließliche Regelung, ②: Freigabe-Taste, ③: Zero-Offset, ④: manueller Sollwert.

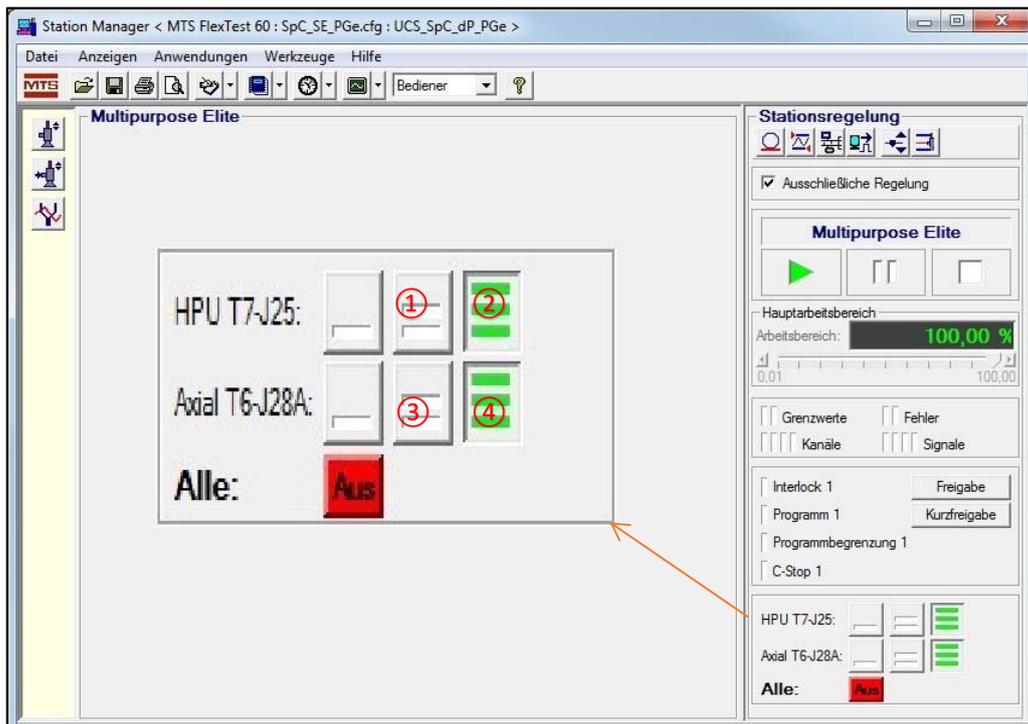


Abbildung 24 Arbeitsoberfläche der Software „Station Manager“ (1): Niederdruck für die Hydraulik HPU T7-J25, (2): Hochdruck für die Hydraulik HPU T7-J25 (3): Niederdruck für das Servo-ventil Axial T6-J28A (4): Hochdruck für das Servo-ventil Axial T6-J28A.

Sobald der Hochdruck erreicht wurde, ist es möglich den Zylinder der MTS zu steuern. Um die Probe in der MTS einzurichten, muss der Abstand der Druckplatten so eingestellt werden, dass die Probe zwischen diesen 2 Druckplatten einsetzbar ist. Dafür findet man in der Arbeitsoberfläche des Station Managers die 'Stationsregelung', welche in Abbildung 23 zu finden ist. Hier wird die Taste mit dem Symbol für 'Manueller Sollwert' betätigt (siehe Abbildung 23, (4)), wobei folgendes Fenster, wie in Abbildung 25, erscheint.

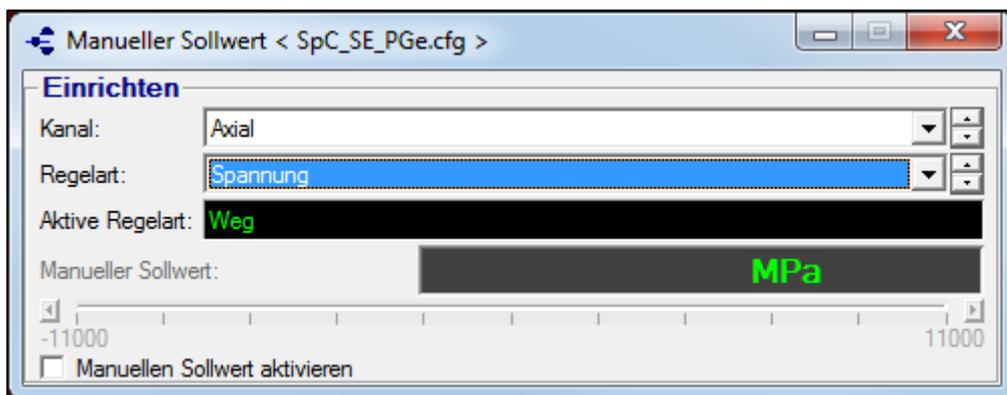


Abbildung 25 Fenster für die Eingabe des Manuellen Sollwertes.

Hier wird die Regelart des Zylinders für die Zylinderwegregelung auf „Weg“ umgestellt. Nun kann der Vorschub manuell gesteuert werden. Dafür wird ein Wert in Millimeter in den Manuellen Sollwert (siehe Abbildung 25) eingegeben. Dieser Wert definiert auf welche Höhe sich der Zylinder für die Wegsteuerung bewegen soll. Der Vorschub des Zylinders hat einen Maximalweg von 100 Millimeter und wird im manuellen Sollwert durch ein Minimum von -50,000 mm und ein Maximum von 50,000 mm begrenzt. Ein Beispiel: Der aktuelle manuelle Sollwert liegt bei +20,000 mm und die Probe kann durch den zu engen Abstand der Druckplatten nicht eingefügt werden. Der Abstand der Druckplatten muss durch Absenken des Zylinders vergrößert werden. Um den Zylinder um 30 mm zu senken, wird der Manuelle Sollwert von den aktuellen 20,000 mm auf -10,000 mm geändert.

Sobald die Probe auf die untere Druckplatte platziert ist, kann ein Kraft- bzw. Spannungsschluss aufgebaut werden. Diese Spannung darf den Wert von 0,5 MPa nicht überschreiten. Für die Sicherstellung, dass dieser Wert nicht überschritten wird, wird die Zylinderhöhe soweit erhöht bis zwischen Probe und oberer Druckplatte 1-2 mm Abstand vorhanden sind. Danach wird die Regelart (siehe Abbildung 25) auf Spannung umgestellt, in das Feld „manueller Sollwert“ 0,5 MPa eingegeben und der Wert mit der Entertaste bestätigt. Die Probe wird dadurch langsam auf diese Spannung eingespannt und auf diesem Wert gehalten.

#### **4.2.2 Nullpunktsetzung der Dehnungsaufnehmer**

Im nächsten Schritt werden die Dehnungsaufnehmer auf den Nullpunkt gesetzt. Dafür wird ein „Kalibrierstab“ verwendet. Um den Abgleich auszuführen, wird die Zero-Offset Taste betätigt (siehe Abbildung 23, ③). In der Arbeitsfläche der Zero-Offsets (siehe Abbildung 26a) werden die aktuellen und Offset-Werte der verschiedenen Eingangssignale dargestellt. Um die Dehnungsaufnehmer auf den korrekten Nullpunkt zu setzen, kommt der Kalibrierstab zum Einsatz. Die Schneiden der Dehnungsaufnehmer werden dabei mit offener Verriegelung der Messzunge in die oberste und unterste Einkerbung des Stabes eingefügt (siehe Abbildung 26b). Der Abstand dieser zwei Einkerbungen beträgt 100 mm und das Eingangssignal der Dehnungsaufnehmer (mit den Bezeichnungen „Axial Ext\_Axial1“ und „Axial Ext\_Axial2“ in Abbildung 26a) wird mit Bestätigen der Taste ① in Abbildung 26a auf Null gesetzt. Dabei ist sicherzustellen den Nullpunkt genau dann zu setzen während die Dehnungsaufnehmer in den Einkerbungen des Kalibrierungsstabes liegen (siehe Abbildung 26). Anschließend wird der Dehnungsaufnehmer vom Kalibrierstab genommen, die Messzunge des Dehnungsaufnehmers verriegelt und diese an die Probe angebracht.

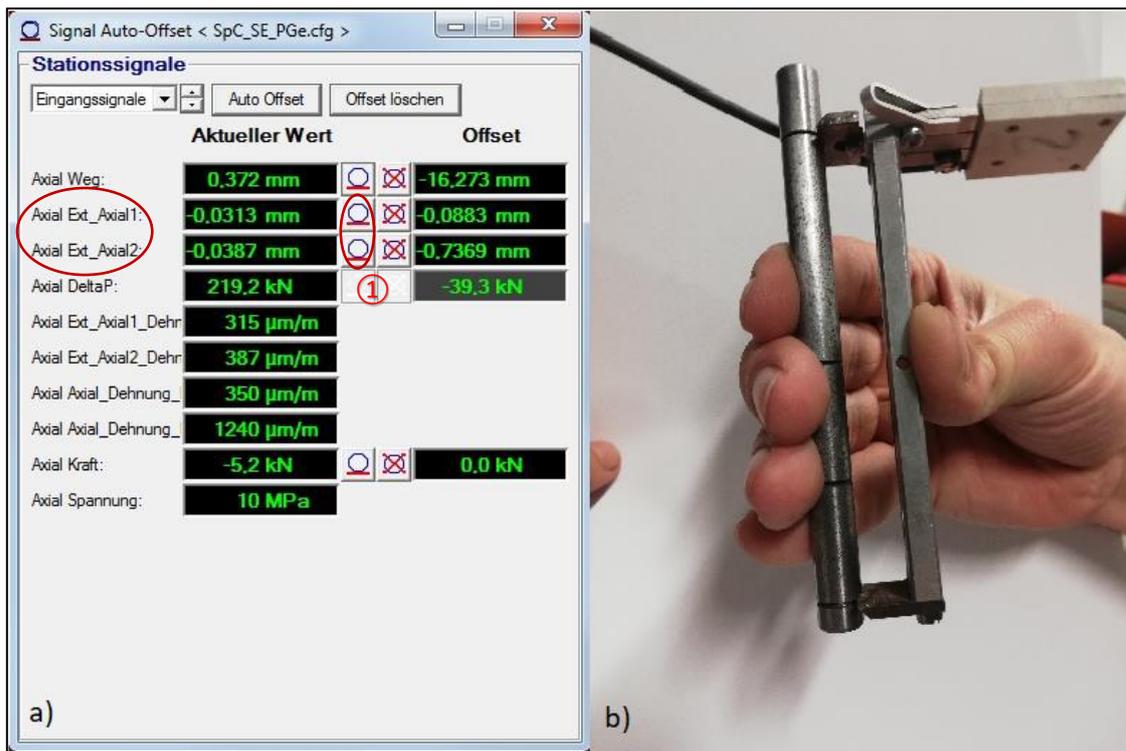


Abbildung 26 a) Arbeitsfenster für die Stationssignale und deren aktuelle Werte und Offset. ①: Nullsetzungstaste b) Kalibrierstab und Dehnungsaufnehmer beim Festlegen des Nullpunktes.

Im nächsten Schritt wird parallel zum „Station Manager“ die Software „Multipurpose Elite“ (MPE) gestartet. Dabei ist folgende Arbeitsoberfläche in Abbildung 27 zu sehen. Um den einaxialen Druckversuch zu starten wird eine vorprogrammierte Belastungsfunktion hochgeladen. Dies erfolgt durch Bestätigen der Taste `neuer Test öffnen` (siehe Abbildung 27) und ladet unter folgenden Pfad das Test- File:

D:\DatenNeu\03\_Versuche\18\_SpC\SE\_SpC\_PGe

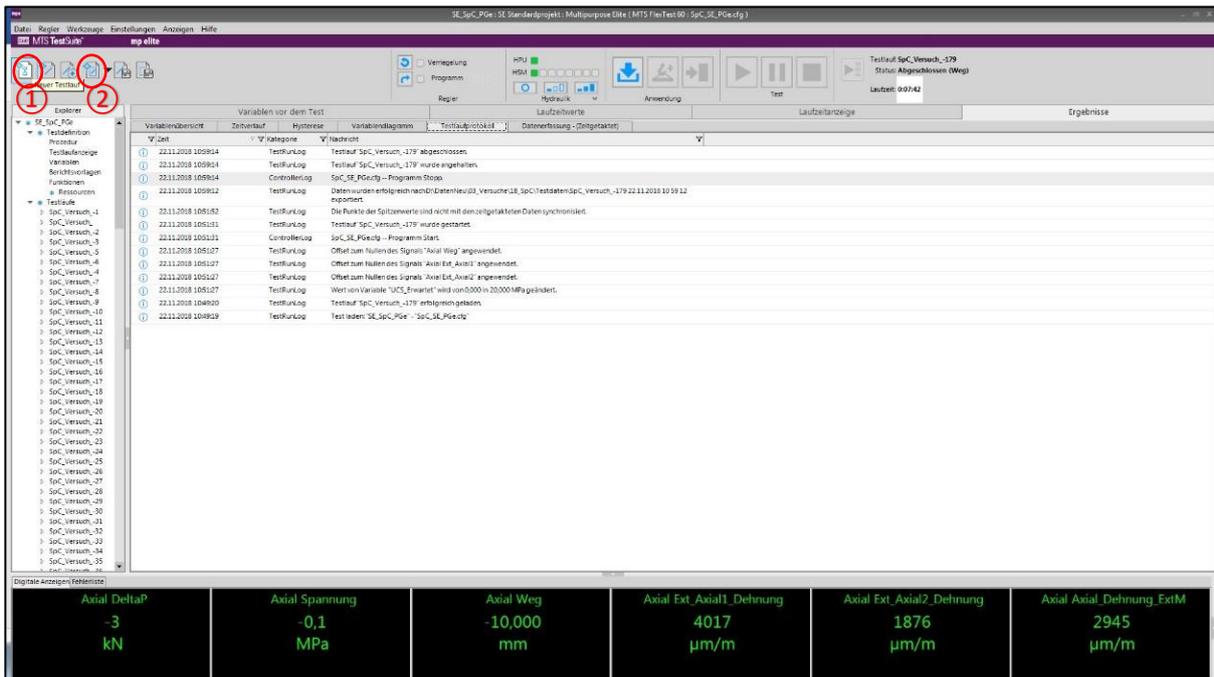


Abbildung 27 Arbeitsoberfläche des Programms „Multipurpose Elite“. Die gemessenen Echtzeitwerte sind unten in Grün dargestellt. ①: neuer Testlauf ②: neuer Test öffnen.

Anschließend wird ein neuer Testlauf gestartet. Dazu wird die Taste mit dem Symbol 'Neuer Testlauf' (siehe Abbildung 27) betätigt und die entsprechenden Variablen, wie Versuchsdatum, Probenname, Versuchsdurchführer und Probenalter werden in folgenden zwei Fenstern eingegeben (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29).

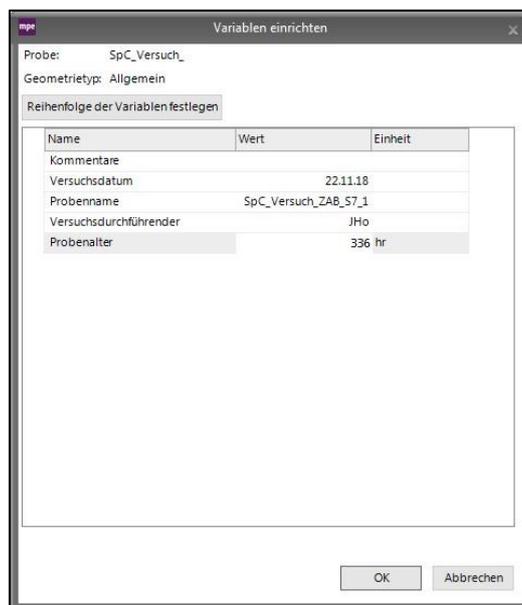


Abbildung 28 Eingabefenster für den einaxialen Druckversuch.

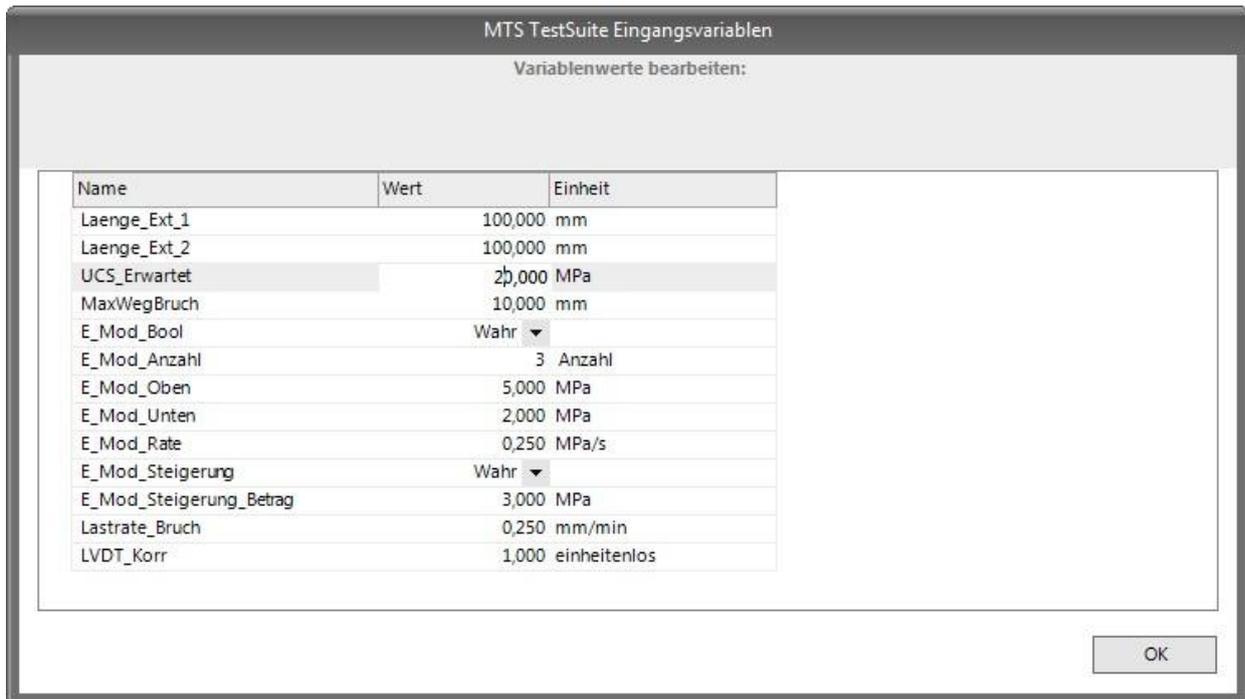


Abbildung 29 Eingabefenster für den einaxialen Druckversuch.

Die Eingangsvariablen in Abbildung 29 definieren die Messlänge der Dehnungsaufnehmer (Laenge\_ext\_1 und Laenge\_Ext\_2 in Abbildung 29). Für den einaxialen Druckversuch wird sowohl das Elastizitätsmodul als auch die einaxiale Druckfestigkeit bestimmt. Für die Bestimmung des Elastizitätsmoduls werden drei Entlastungsschleifen durchgeführt. Dafür wird in der Tabelle in Abbildung 29 die Zeile „E\_Mod\_Anzahl“ gleich drei gesetzt. Der obere Grenzwert der ersten Entlastungsschleife „E\_Mod\_Oben“ wird auf 5 MPa und der untere Grenzwert wird auf 2 MPa festgelegt. Durch die Steigerung „E\_Mod\_Steigerung\_Betrag“ von 3 MPa wird die zweite Schleife ihren oberen Grenzwert bei 8 MPa und bei der dritten Schleife bei 11 MPa haben. Die Spannungsrate für die E-Modulschleifen beträgt 0,250 MPa/s. Das Programm besitzt eine Brucherkenkung und die spannungsgeregelte Steuerung des Hydraulikzylinders wechselt nach dem Bruch der Probe auf eine weggeregelte Steuerung. Die Geschwindigkeit der weggeregelten Steuerung wird mit „Lastrate\_Bruch“ auf 0,250 mm/ min festgelegt (siehe Abbildung 29).

UCS steht für uniaxial compressive strength und ist die englische Bezeichnung für die einaxialen Druckfestigkeit. UCS\_Erwartet (siehe Abbildung 29) wird vom Versuchsdurchführer, abhängig vom Alter der Probe, selbst eingeschätzt. Sollte die erwartete Druckfestigkeit „UCS\_Erwartet“ geringer sein als der obere Grenzwert der letzten Entlastungsschleife, so setzt man die Anzahl der Schleifen entsprechend herunter. Dies ist oft der Fall bei jungen Proben (Alter von 24 bis 72 Stunden), da diese in den meisten Fällen eine Druckfestigkeit von 8 - 12 MPa aufweisen. Der maximale Weg, der während der Belastung erreicht werden kann wird aus sicherheitstechnischen Gründen mit 10 mm festgelegt.

Im nächsten Schritt wird der Versuch gestartet, indem die grüne Starttaste (siehe Abbildung 30, ②) betätigt wird. Es ist vor dem Start des Versuches sicherzustellen, dass die

Dehnungsaufnehmer entriegelt sind. Im Fenster „SigEpsExt“ (siehe Abbildung 30, ③) werden die Echtzeitwerte des Versuches in einem Spannungs-Dehnungsdiagramm dargestellt. Die Werte der zwei Dehnungsaufnehmer, die im Diagramm in grün und blau dargestellt werden, sollten bei einer idealen homogenen Probe parallel verlaufen (siehe Abbildung 30). Sollten diese sehr stark voneinander abweichen, muss der Versuch sofort beendet werden mittels des Buttons „Versuch Abbrechen“ (siehe Abbildung 30, ①). Anschließend werden die Dehnungsaufnehmer nochmals auf den Nullpunkt gesetzt und der Versuch wiederholt.

Nach Erreichen der maximalen Spannung (einaxiale Druckfestigkeit) wird der Versuch mittels des Buttons `Versuch abbrechen` (siehe Abbildung 30) beendet. Wichtig dabei ist, nicht die rote Taste mit dem quadratischen Symbol „Versuchs beenden“ zu betätigen (siehe Abbildung 30 rechts neben der grünen „Start-Taste“), da dadurch der Versuch abgebrochen wird und die Daten erst exportiert werden müssen.

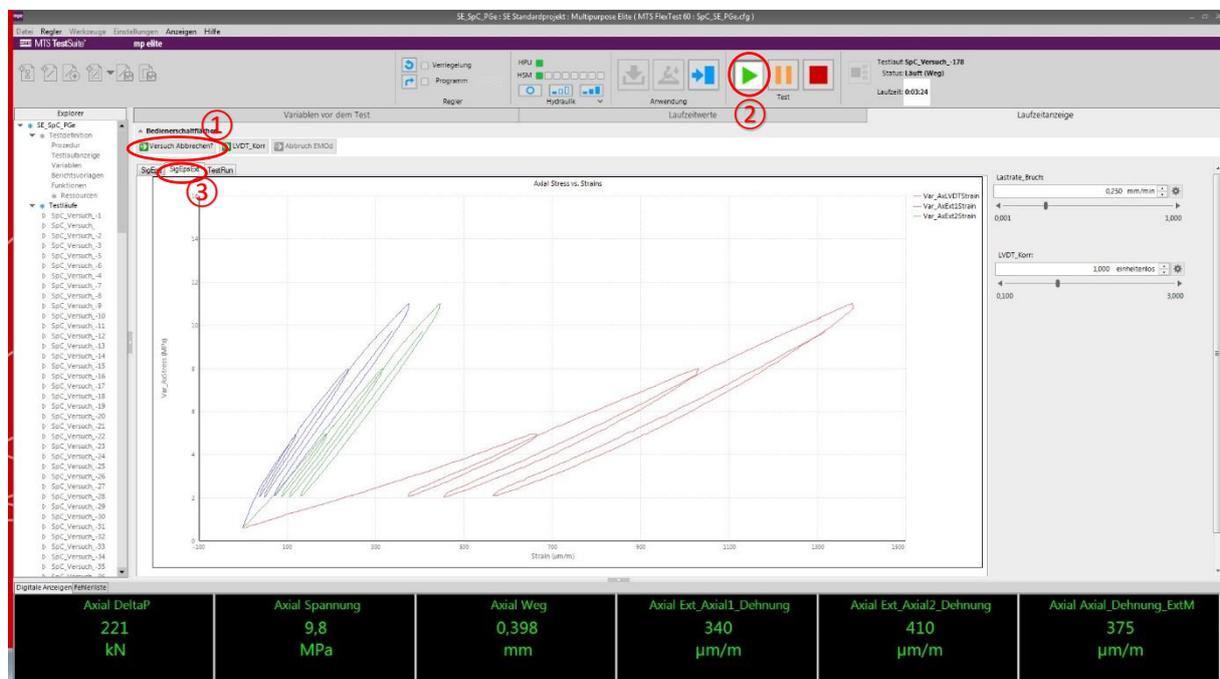


Abbildung 30 Arbeitsoberfläche während eines einaxialen Druckversuchs mit Echtzeitwerten (Werte in grün unten). Blaue und Grüne Kurve entsprechen den Werten der Dehnungsaufnehmer 1 und 2 und verlaufen parallel zueinander. Die rote Kurve entspricht den Werten des Zylinderweges. ①: Taste für „Versuch abbrechen“ ②: Taste für „Versuch starten“ ③ Echtzeitwerte im Spannungs-Dehnungsdiagramm.

Die Daten werden als xml.files gespeichert und werden laut der Beschreibung in der Masterarbeit von Cornelius Lamprecht entsprechend ausgewertet [1]. Eine Fotodokumentation wurde für jeden Versuch durchgeführt. Vor dem Versuch und nach diesem wurden Fotos gemacht, um die Bruchbildung zu dokumentieren und um Risse festzuhalten, die vor der Versuchsdurchführung in den Proben vorhanden waren.

## 5 Auswertung und Ergebnisse

Insgesamt wurden zehn Serien getestet, wobei sieben Serien am Zentrum am Berg (ZaB) und drei am Semmering-Basistunnel (SBT) Baulos 3.1 „Grautschenhof“ hergestellt wurden. Eine Serie besteht aus circa 30 Proben. Kurzzeitversuche beziehungsweise einaxiale Druckversuche wurden für die Bestimmung des Elastizitätsmoduls (E-Modul) und der einaxialen Druckfestigkeit durchgeführt. Dafür wurden 24, 48, 72, 120, 168, 336 und 672 Stunden nach der Herstellung der Proben jeweils drei Versuche durchgeführt und ihre Ergebnisse gemittelt. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Masterarbeit 195 Kurzzeitdruckversuche durchgeführt. Die einzelnen Spannungs-Dehnungsdiagramme sind aus Anhang B zu entnehmen. Die ausgewerteten Ergebnisse der Diagramme pro Serie befinden sich im Anhang A.

In diesem Kapitel werden die Entwicklungen der einaxialen Druckfestigkeit und des E-Moduls für jede Serie vom ZaB und vom SBT präsentiert.

Die Beschreibung des Programms für die Auswertung der Versuchsergebnisse befindet sich in der Masterarbeit „Langzeitversuche an jungem Nassspritzbeton“ von Cornelius Lamprecht [1].

## 5.1 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit des Spritzbetons der Serien vom Semmering-Basistunnel

In Abbildung 31 ist die Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit für die Serien 1, 2 und 3 vom SBT ersichtlich. Die Proben der drei Serien besitzen die Sortenbezeichnung SpC 20/25(56) II J2 GK 8 XC4 RV0,7. Die Mindestdruckfestigkeit von 5 MPa nach 24 Stunden, welche in der Sortenbezeichnung angegeben ist, ist für alle drei Serien gewährleistet. Mit zunehmender Zeit nimmt die Druckfestigkeit aller drei Serien zu. Nach 28 Tagen wird eine Druckfestigkeit von 26,63 MPa für Serie 1, 20,57 MPa für Serie 2 und 26,47 MPa für Serie 3 erreicht. Die Bezeichnung des Zements, der für diese Serien verwendet wurde, lautet CEM I 52,5R SP. Laut ÖNORM EN 197-1 [11] wird mit der Bezeichnung CEM I der Zement als Portlandzement klassifiziert. 52,5R ist eine Festigkeitsklasse und besagt, dass der Zement nach zwei Tagen eine Druckfestigkeit über 30 MPa und nach 28 Tagen über 52,5 MPa besitzt. Die Förderleistung bei der Herstellung der Proben entsprach für alle Serien 10 m<sup>3</sup>/h und der Beschleunigeranteil betrug 7 % (siehe Tabelle 6). Um die Ergebnisse den richtigen Druckfestigkeitsklassen zuzuordnen, wird die Richtlinie Spritzbeton herangezogen [12]. Dabei muss die gemittelte Druckfestigkeit von mindestens drei Proben mit 4 MPa aufaddiert werden und größer sein als die charakteristische Druckfestigkeit der zugeteilten Druckfestigkeitsklasse. Serie 1 und 3 entsprechen somit der Festigkeitsklasse von SpC C20/25, die laut Chargenprotokoll angegeben wurden. Serie 2 entspricht jedoch in diesem Fall der nächstkleineren Druckfestigkeitsklasse C16/20 und stimmt somit nicht mit der Bezeichnung im Chargenprotokoll überein.

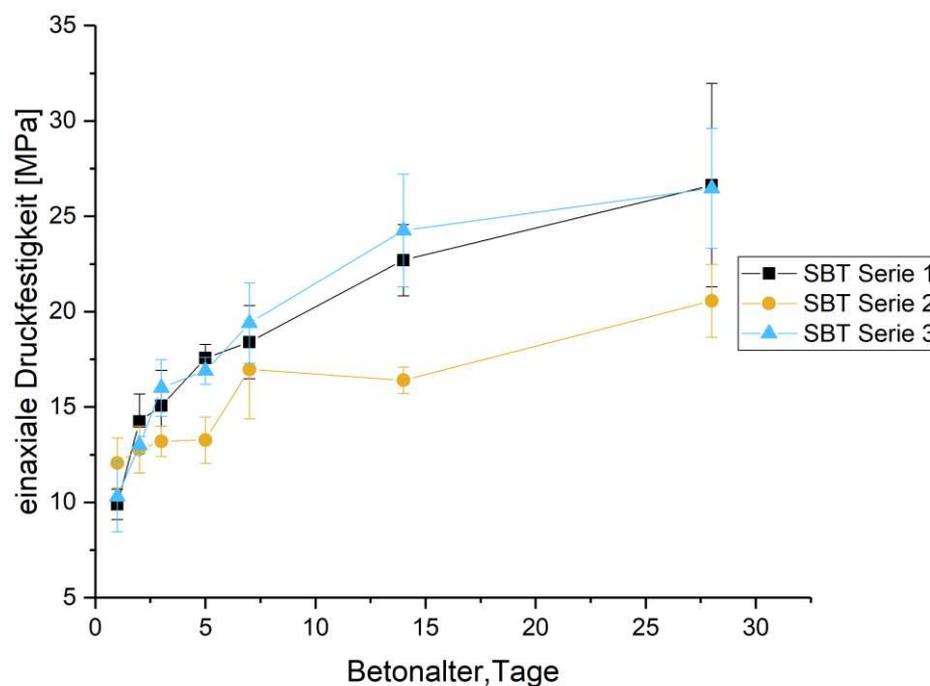


Abbildung 31 Verlauf der Druckfestigkeit mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serien 1, 2 und 3 des Semmering-Basistunnels (SBT).

Serie SBT	BE-Anteil	Förderleistung	W/Zk
1	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	0,72
2	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	-
3	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	-

*Tabelle 6 Eckdaten der Serien 1,2 und 3 vom SBT.*

Nach der ÖNORM B-4710-1 [7] kann der Spritzbeton in Klassen, bezogen auf die Festigkeitsentwicklung, unterteilt werden. Die Festigkeitsentwicklung wird durch das Verhältnis der mittleren Druckfestigkeit nach zwei Tagen ( $f_{cm,2}$ ) zur mittleren Druckfestigkeit nach 28 Tagen ( $f_{cm,28}$ ) ausgedrückt. Ein Verhältnis von 0,3 bis 0,5 beschreibt die Festigkeitsentwicklung als mittel und wird der Klasse EM zugeteilt. Werte über 0,5 beschreiben die Festigkeitsentwicklung als schnell und werden der Klasse ES zugeteilt

Serie	Festigkeitsverhältnisses ( $f_{cm,2}/f_{cm,28}$ )	Klasse
SBT 1	0,53	ES
SBT 2	0,62	ES
SBT 3	0,49	EM

*Tabelle 7 Festigkeitsverhältnisse der Serien vom SBT.*

Serie 1 und 2 werden der Klasse ES und Serie 3 wird der Klasse EM zugeteilt. Die Daten zu Berechnung der Festigkeitsverhältnisse sind aus Anhang A zu entnehmen.

## 5.2 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit des Spritzbetons der Serien vom Zentrum am Berg

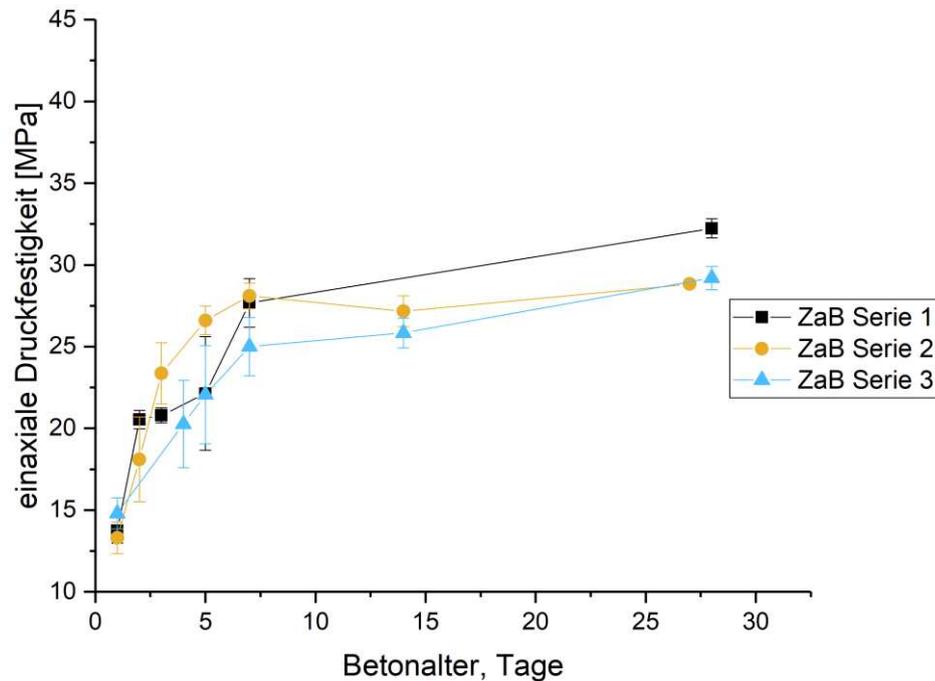


Abbildung 32 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit der Serien 1, 2 und 3 vom ZaB.

Serie ZaB	BE-Anteil	Förderleistung	W/Zk
1	6 %	20 m <sup>3</sup> /h	0,51
2	5 %	20 m <sup>3</sup> /h	0,5
3	5 %	20 m <sup>3</sup> /h	0,49

Tabelle 8 Eckdaten der Serien 1,2 und 3 vom ZaB.

Die Entwicklungen der einaxialen Druckfestigkeit der Serien 1, 2 und 3 vom ZaB sind in Abbildung 32 dargestellt. Die Probebezeichnung dieser Serien lautet SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7. Für alle Serien vom ZaB wurde in der Betonmischung der Portlandzement CEM I 52,5 N SR0 verwendet. Die Frühfestigkeit nach 24 Stunden beträgt bei diesen Serien über 10 MPa und ist somit höher als die in der vorgeschriebenen Frühfestigkeitsklassifizierung J2 mit 5 MPa nach 24 Stunden. Die Druckfestigkeit der Serien steigt mit zunehmendem Betonalter kontinuierlich an. Die Festigkeitskurven dieser drei Serien verlaufen parallel. In den ersten sieben Tagen ist die Festigkeitskurve steil und verflacht sich anschließend. Die gemittelte Endfestigkeit für Serie 1 beträgt 32,2 MPa, für Serie 2 28,8 MPa und für Serie 3 29,2 MPa. Die Serien 1 und 3 entsprechen somit der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, wie sie auch im Chargenprotokoll festgelegt wurden. Serie 2 entspricht laut der Richtlinie DIN 18136 [13]

nicht der vorgegeben Druckfestigkeitsklassifikation und wird nach den Ergebnissen der Druckfestigkeitsklasse C20/25 zugeteilt. In der Rezeptur unterscheiden sich die drei Serien nicht und auch die Förderleistung bleibt bei allen Serien mit 20 m<sup>3</sup>/h gleich. Der einzige Unterschied liegt im Beschleunigeranteil, welcher 6 % bei Serie 1 beträgt und 5 % bei den Serien 2 und 3.

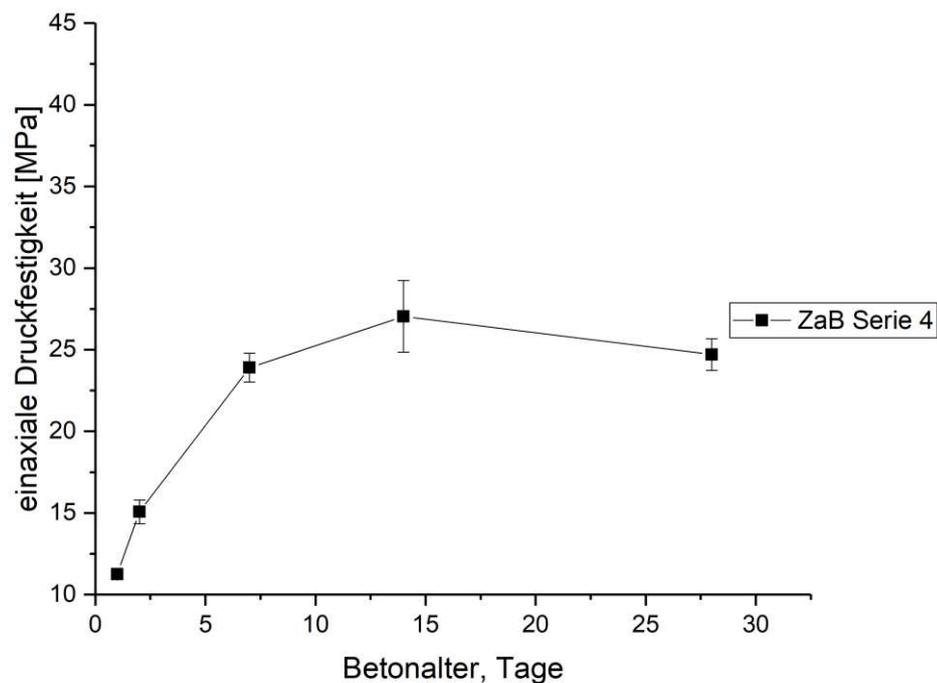


Abbildung 33 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit der Serie 4 vom ZaB.

Die Sortenbezeichnung für den Spritzbeton in Serie 4 lautet SpC 25/30. Weitere Informationen zur Zusammensetzung der Serie 4 wurden aus Geheimhaltungspflicht nicht bekannt gegeben. Der Beschleunigeranteil beträgt wie in den Serien 2 und 3 vom ZaB 5 % und die Proben wurden mit einer Förderleistung von 20 m<sup>3</sup>/h gespritzt. Die Frühfestigkeit 24 Stunden nach der Herstellung der Proben beträgt über 10 MPa. Mit zunehmendem Alter steigt die Festigkeitskurve an und erreicht eine durchschnittliche Festigkeit von 27 MPa nach 14 Tagen. Zwei Wochen später sinkt die Druckfestigkeit auf 24,7 MPa. In Tabelle 9 sind die genauen Ergebnisse der Druckversuche für Serie 4 dargestellt. Nach einem Alter von 14 Tagen ist bei der Ermittlung der durchschnittlichen Festigkeit eine Standardabweichung von 1,79 berechnet worden. Diese Abweichung ist im Gegensatz zu den anderen Werten der Serie 4 vergleichsweise hoch. Die Versuche 2 und 3 nach 14 Tagen (siehe Tabelle 9) mit Werten über 28 MPa können als Ausreißer bestimmt werden. Ohne die Werte der Ausreißer würde die Festigkeitskurve nach sieben Tagen kontinuierlich von 23,9 auf 24,7 MPa ansteigen. Durch die Endfestigkeit entspricht Serie 4 laut der Richtlinie DIN 18136 [13] nicht der im

Chargenprotokoll vorgegebenen Druckfestigkeitsklassifikation und wird somit der Druckfestigkeitsklasse C20/25 zugeteilt.

Alter Tage	Versuch			Mittelwert MPa	Standardabw. MPa
	1	2	3		
1	11,3	nB	11,2	11,3	0,05
2	15,9	14,6	14,7	15,1	0,59
7	24,9	23,2	23,6	23,9	0,73
14	24,5	28,2	28,4	27,0	1,79
28	24,0	25,8	24,3	24,7	0,79

Tabelle 9 Ergebnisse der einaxialen Druckfestigkeit der Serie 4 vom ZaB.

Die Serien 5 und 6 vom ZaB wurden nicht für die Kurzzeit -, sondern einzig für die Langzeitversuche verwendet.

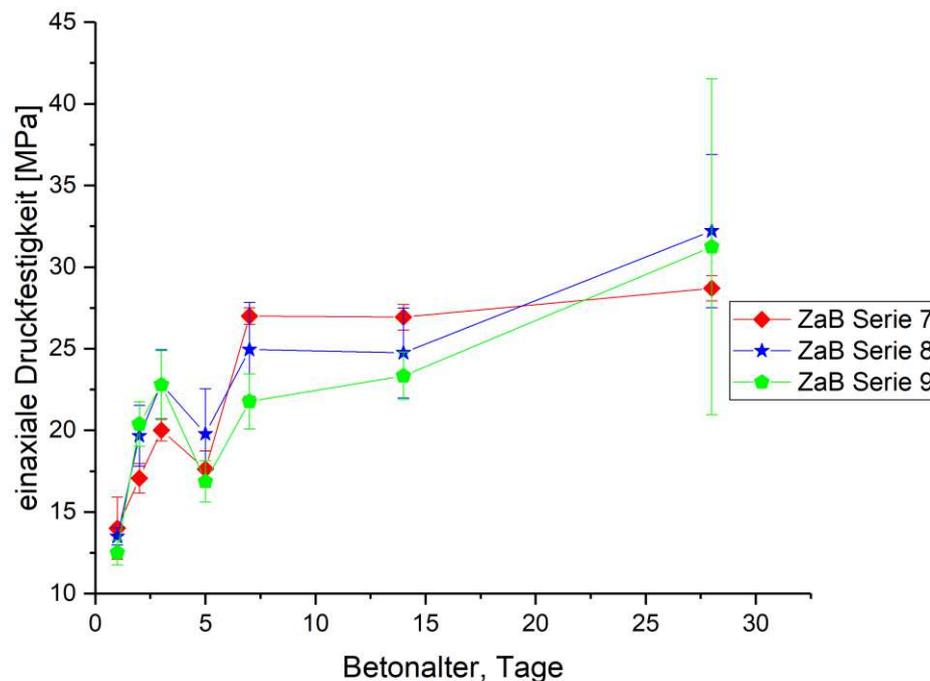


Abbildung 34 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit der Serien 7, 8 und 9 vom ZaB.

Serie ZaB	BE-Anteil	Förderleistung	W/Zk
7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	0,51
8	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	0,52
9	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	0,53

Tabelle 10 Eckdaten der Serien 7, 8 und 9 vom ZaB.

In Abbildung 34 sind die Festigkeitskurven der Serien 7, 8 und 9 vom ZaB dargestellt. Die Bezeichnung des Spritzbetons „SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7“ blieb in den Serien 7, 8 und 9 gleich wie in den restlichen Serien vom ZaB. Im Gegensatz zu den anderen Serien wurde jedoch mit einer Förderleistung von 10 m<sup>3</sup>/h gespritzt und der Beschleunigeranteil wurde auf 7 % erhöht. Die Frühfestigkeit in den Serien 7, 8 und 9 entspricht, mit über 10 MPa nach 24 Tagen, der Sortenbezeichnung des Spritzbetons und in den ersten drei Tagen nimmt die Festigkeit stark zu. Fünf Tage nach der Probenherstellung wird eine Anomalie in der Druckfestigkeitsentwicklung für diese drei Serien beobachtet. Die durchschnittliche Druckfestigkeit von Serie 7, drei Tagen nach der Herstellung, beträgt 20 MPa und nimmt nach fünf Tagen auf 17,6 MPa ab. Bei Serie 8 wurde fünf Tagen nach der Herstellung ein Festigkeitsabfall von 22,8 MPa auf 19,8 MPa festgestellt. Die Festigkeit bei Serie 9 nimmt ebenfalls am fünften Tag ab, da der zuvor gemessene Wert von 22,8 MPa am dritten Tag auf 16,9 MPa sinkt.

Ab dem siebten Tag der Herstellung nimmt die Festigkeit jedoch für diese drei Serien wieder kontinuierlich zu und erreicht eine Endfestigkeit von 23,6 MPa für Serie 7, 32,2 MPa für Serie 8 und 31,2 MPa für Serie 9. Serie 7 entspricht laut der Richtlinie DIN 18136 [13] nicht der im Chargenprotokoll vorgegebenen Druckfestigkeitsklassifikation und wird der Druckfestigkeitsklasse C20/25 zugeteilt.

Die Ursachenforschung der Druckfestigkeitsabnahme nach fünf Tagen stellt sich als schwierig heraus. Als erstes wurde dieses untypische Verhalten der Festigkeitskurven Messfehlern zugewiesen, jedoch ist der Zufall zu hoch, dass die Druckfestigkeitsabnahme bei drei Serien am fünften Tag zutrifft. Durch den Vergleich dieser drei Serien mit den restlichen Serien des ZaB, konnten keine großen Unterschiede in Bezug auf die Zusammensetzung der Betonmischungen gefunden werden (mit Ausnahme von Serie 4). Einen wesentlichen Einfluss auf die Spritzbetonqualität bewirkt der Zement. Laut Chargenprotokoll vom ZaB wurde für die Serien 7, 8 und 9 die gleiche Zementart CEM I 52,5R SP verwendet wie in den Serien 1, 2 und 3. Unterschiedliche Zementarten als Ursache der Druckfestigkeitsanomalie können somit ausgeschlossen werden. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Druckfestigkeit ist der W/Zk-Wert. Nimmt dieser Wert zu, so nimmt die Druckfestigkeit des Spritzbetons ab [4]. Der W/Zk-Wert schwankt für alle Serien vom ZaB zwischen 0,49 und 0,53 und bewirkt durch diese geringe Variationsbreite keine nennenswerte Änderung der Druckfestigkeit, welche als Ursache der Druckfestigkeitsanomalie festgelegt werden könnte.

Die wesentlichen Unterschiede der Serien 7, 8 und 9 zu den restlichen Serien vom ZaB zeigen sich bei der Herstellung der Proben und durch den Beschleunigeranteil. Die Proben der Serien 7, 8 und 9 wurden mit einer Förderleistung von 10 m<sup>3</sup>/h gespritzt, was der Hälfte der Förderleistung der Serien 1, 2, 3 und 4 entspricht.

Der Beschleunigeranteil der Serien mit der Druckfestigkeitsanomalie beträgt 7 % und ist somit um 2 % höher als bei den Serien 1, 2 und 3 vom ZaB. Die Vermutung für die Ursache der Druckfestigkeitsabnahme liegt somit in der Probenherstellung beziehungsweise beim Beschleunigeranteil. Genauere Untersuchungen über chemische Reaktionen während des Aushärtens können Aufschluss über diese Druckfestigkeitsanomalie geben. Die Serien vom SBT besitzen ebenfalls die gleiche Förderleistung von 10 m<sup>3</sup>/h und einen Beschleunigeranteil von 7 %. Bei diesen Serien wird jedoch keine Druckfestigkeitsabnahme nach fünf Tagen festgestellt. Allerdrings besitzt die Mischung andere Zuschlagsstoffe als die Serien vom ZaB. Daraus lässt sich schließen, dass durch die Kombination der Herstellungsart mit dem Beschleunigeranteil und Zuschlagsstoffen verschiedene Druckfestigkeitsverläufe entstehen können.

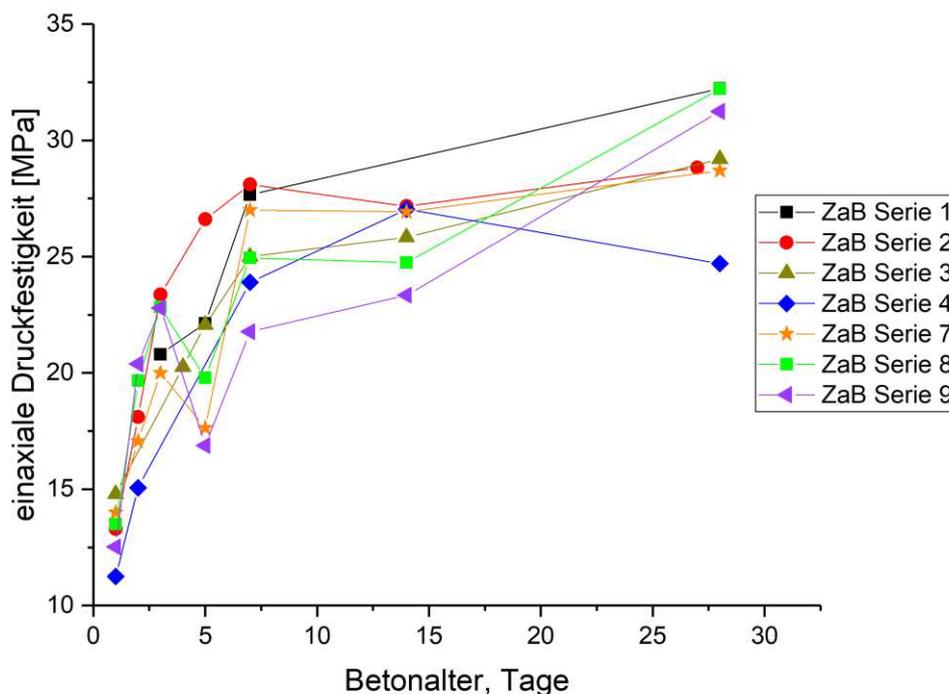


Abbildung 35 Verlauf der Druckfestigkeit mit gemittelten Werten der Druckfestigkeit der Serien 1, 2, 3, 4, 7, 8 und 9 der Spritzbetonproben vom Zentrum am Berg (ZaB).

In Abbildung 35 werden alle Serien vom ZaB miteinander verglichen. Der Spritzbeton dieser Serien ist für alle gleich mit SpC 25/30(56) GK8 F59 III J2 XC4 RV0,7 bezeichnet, mit Ausnahme von Serie 4, bei welcher nur die Festigkeitsklasse SpC 25/30 bekannt ist. Die Zusammensetzung ist für alle Serien gleich und sie unterscheiden sich hauptsächlich durch ihren Beschleunigeranteil und die Förderleistung. Zusätzlich sind geringe Abweichungen des W/Zk-Wertes, von 0,59 bis 0,56, innerhalb der Serien gegeben. Die Druckfestigkeit steigt bei den Serien 1, 2, 3 und 4 stetig an, wobei bei den Serien 7, 8 und 9 am fünften Tag nach der Probenherstellung eine Abnahme der Druckfestigkeit auffällt.

Die gemittelte Endfestigkeit variiert für alle Serien vom ZaB zwischen 32,2 MPa (Serie 1) und 24,7 MPa (Serie 4). Die Serien 1, 3, 8 und 9 vom ZaB entsprechen der im Chargenprotokoll vorgegebenen Druckfestigkeitsklassifizierung C 25/30. Diese Klassifizierung trifft laut der Richtlinie in DIN 18136 [13] für die Serien 2, 4 und 7 vom ZaB nicht zu und diese werden der Druckfestigkeitsklasse C20/25 zugeteilt. Jedoch ist zu beachten, dass die vorgegebene Klassifizierung der Druckfestigkeiten anhand der Lieferscheine vom ZaB 56 Tagen nach der Herstellung gegeben sind. Die Endfestigkeiten der Proben wurden im Rahmen dieser Arbeit nach 28 Tagen bestimmt und es besteht die Möglichkeit, dass die Spritzbetonproben nach 56 Tagen stärker aushärten und somit den vorgegeben Chargenprotokollen entsprechen könnten.

Für die Klasseneinteilung bezogen auf die Festigkeitsentwicklung wurde die ÖNORM B-4710-1 herangezogen [11]. In Tabelle 11 werden die berechneten Festigkeitsverhältnisse der Serien vom ZaB dargestellt.

<b>Serie</b>	<b>Festigkeitsverhältnisse (<math>f_{cm, 2} / f_{cm, 28}</math>)</b>	<b>Klasse</b>
ZaB 1	0,64	ES
ZaB 2	0,67	ES
ZaB 3	0,70	ES
ZaB 4	0,61	ES
ZaB 7	0,72	ES
ZaB 8	0,61	ES
ZaB 9	0,65	ES

*Tabelle 11 Klasseneinteilung im Bezug auf die Festigkeitsentwicklung der Serien vom ZaB.*

Alle Serien vom ZaB besitzen ein Festigkeitsverhältnis über 0,6 und entsprechen somit einer schnellen Festigkeitsentwicklung. Serie 4 und Serie 8 zeigen mit einem Festigkeitsverhältnis von 0,61 in Relation zu den anderen Serien des ZaB die geringsten Werte, während Serie 7 mit 0,72 den höchsten Wert dieser Serien besitzt.

### 5.3 Entwicklung des Elastizitätsmoduls des Spritzbetons der Serien vom Semmering-Basistunnel

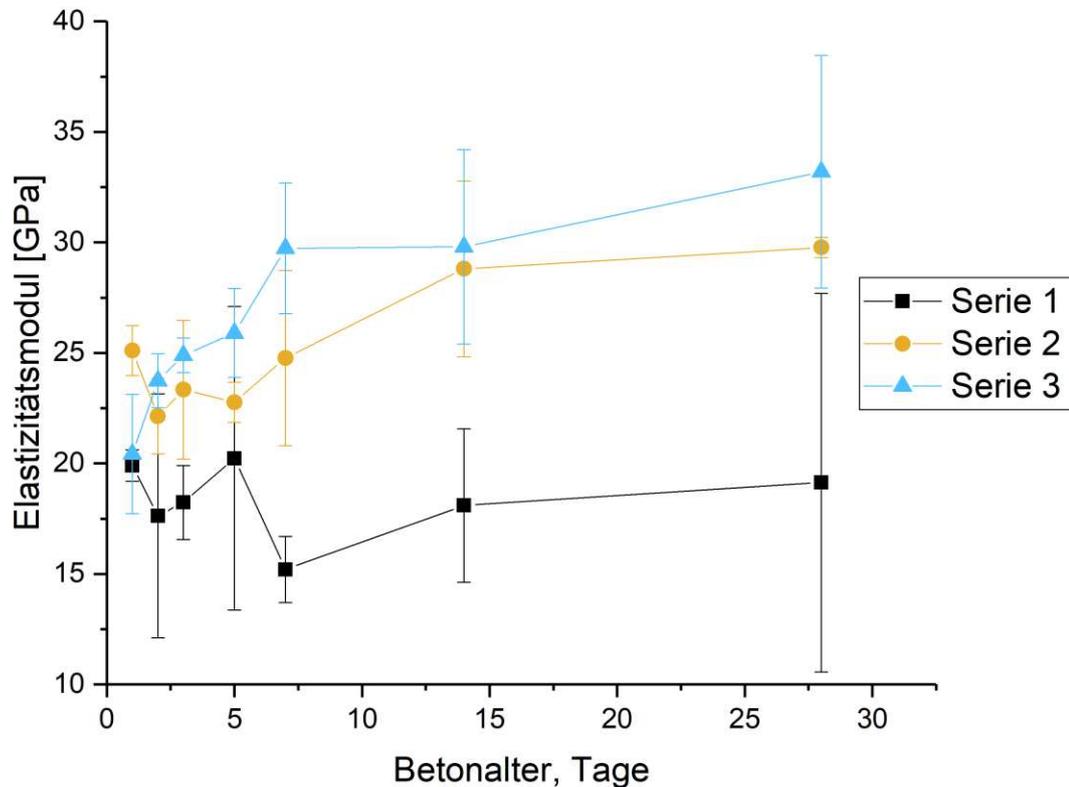


Abbildung 36 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serien 1,2 und 3 vom Semmering-Basistunnel (SBT).

In Abbildung 36 ist die Entwicklung des E-Moduls für die Serien 1, 2 und 3 vom SBT ersichtlich. Die Serien 2 und 3 besitzen annähernd eine gleiche Zunahme des E-Moduls über die Zeit. Die Entwicklung des E-Moduls der Serie 1 variiert sehr stark über die Zeit und besitzt sehr hohe Streuungswerte. Die Annahme, dass das E-Modul mit zunehmendem Betonalter steigt, wird in Serie 1 widerlegt. Diese Serie weist 24 Stunden nach der Herstellung ein gemitteltes E-Modul von 19,9 GPa auf und beträgt 28 Tagen später sogar einen geringeren Wert von 19,1 GPa. Diese Entwicklung spricht für eine schlechte Qualität der Proben, wobei die Druckfestigkeitsentwicklung dieser Serie für eine gute Qualität der Proben spricht (siehe Abbildung 31). Serie 2 beträgt nach 28 Tagen ein gemitteltes E-Modul von 29,77 GPa und Serie 3 erreicht einen Endwert von 33,19 GPa. Obwohl die Zusammensetzung, die Förderleistung ( $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ) und der Beschleunigeranteil (7 %) dieser drei Serien gleich blieb, unterscheiden sich diese im Hinblick auf ihre E-Modulentwicklung stark voneinander. Ein Grund für diese stark variierenden Werte kann die Führung der Spritzdüse sein.

#### 5.4 Entwicklung des Elastizitätsmoduls des Spritzbetons der Serien vom Zentrum am Berg

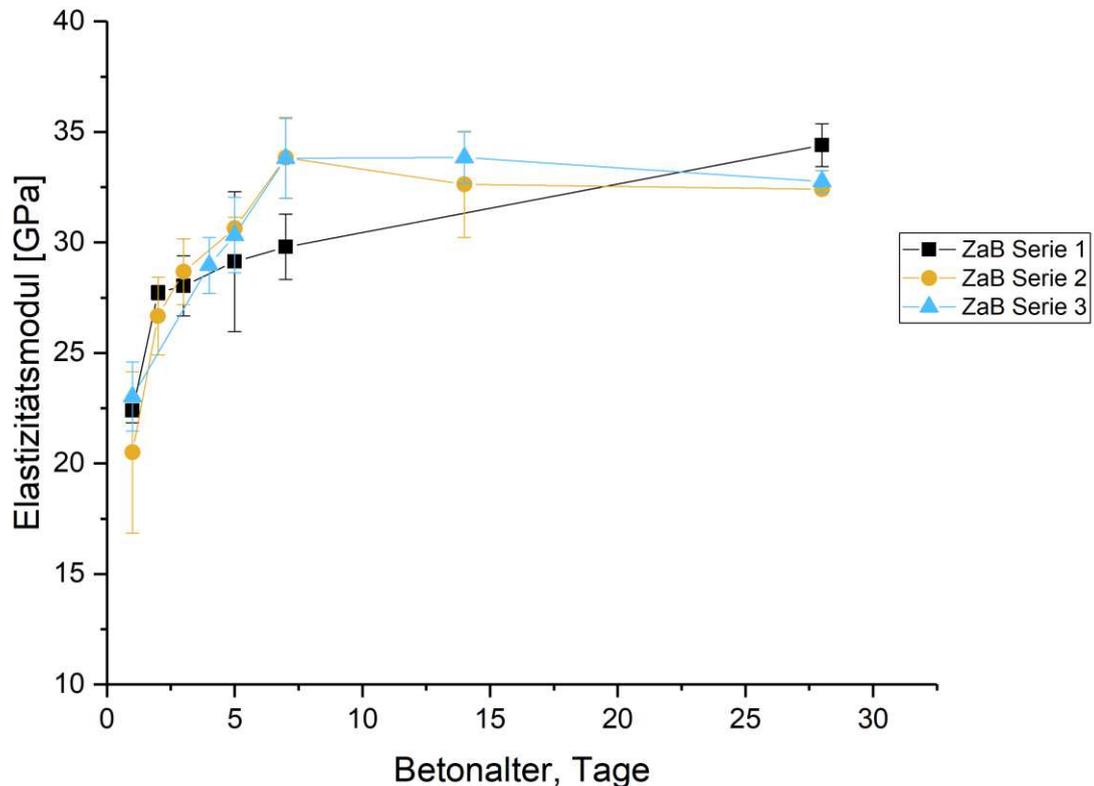


Abbildung 37 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serien 1,2 und 3 vom Zentrum am Berg (ZaB).

Die Entwicklung des E-Moduls der Serien 1, 2 und 3 vom ZaB sind in Abbildung 37 dargestellt. Die Zusammensetzung und die Förderleistung von  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  blieb für diese drei Serien gleich. Nur durch den Beschleunigeranteil unterscheidet sich bei Serie 1 mit 6 % von den Serien 2 und 3 mit 5 %. Trotz dieser Unterschiede weichen diese drei Serien im Vergleich zu den Serien vom SBT im Hinblick auf die E-Modulkurven voneinander nur gering ab. Wie auch in der Druckfestigkeitsentwicklung steigen die E-Modulkurven in den ersten sieben Tagen stark an und verflachen sich danach. Serie 1 erreicht dabei einen Endwert von 34,4 GPa und Serie 2 einen Endwert von 32,4 GPa. Serie 3 beträgt 28 Tagen nach der Herstellung der Proben ein E-Modul von 32,8 GPa.

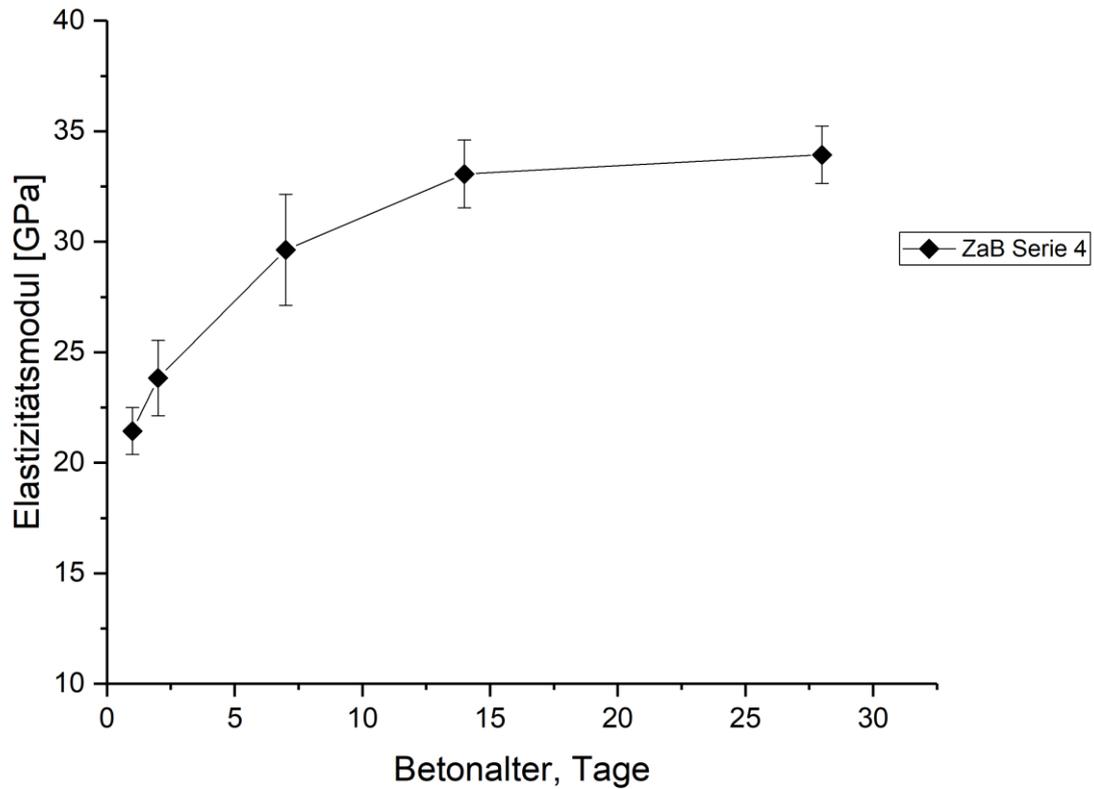


Abbildung 38 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serie 4 vom Zentrum am Berg (ZaB).

Serie 4 wird aufgrund der nicht bekannten Zusammensetzung der Spritzbetonmischung separat in Abbildung 38 dargestellt. In dieser Serie ist eine kontinuierliche Zunahme des E-Moduls ersichtlich. Das E-Modul 24 Stunden nach der Herstellung beträgt 21,5 GPa und erreicht nach 28 Tagen einen Endwert von 33,9 GPa.

Für die Serien 7, 8 und 9 sind die E-Module in Abhängigkeit vom Betonalter in Abbildung 39 dargestellt. Für diese drei Serien wurde eine gleiche Zusammensetzung des Spritzbetons verwendet, wie auch ein gleicher Beschleunigungsanteil von 7 %. Die Förderleistung von 10 m<sup>3</sup>/h blieb für diese drei Serien ebenfalls konstant. Dennoch unterscheidet sich Serie 9 in der E-Modulentwicklung sehr stark von den Serien 7 und 8. Serie 9 besitzt sehr starke Variationen und hohe Streuungswerte. Dennoch steigt der Endwert des E-Moduls über 30 GPa, wie Serie 7 und 8.

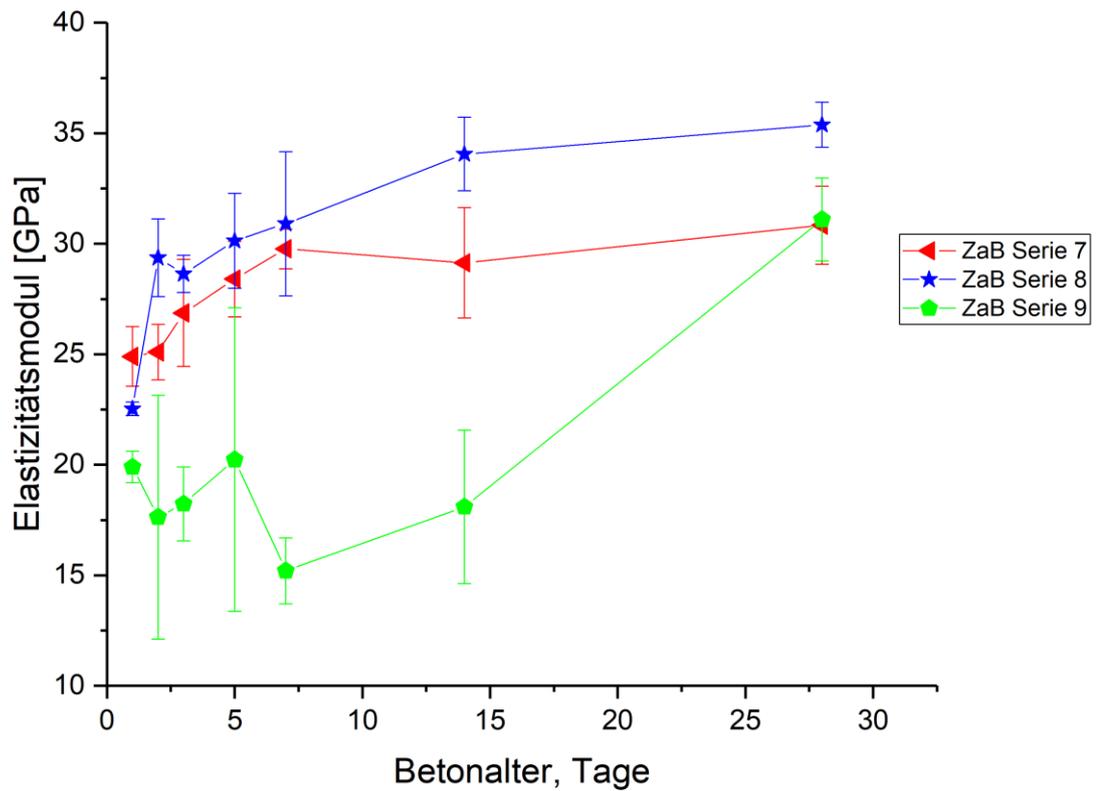


Abbildung 39 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serie 7, 8 und 9 vom Zentrum am Berg (ZaB).

Die Ergebnisse des E-Modul-Verlaufs für alle Serien vom ZaB sind in Abbildung 40 dargestellt. Die Serien 1 bis 8 folgen einem ähnlichen Trend der E-Modul-Zunahme. Ihre Werte nach 28 Tagen variieren zwischen 30 GPa (Serie 7) und 35 GPa (Serie 8). Serie 9 weicht stark in der Entwicklung von den Serien 1 bis 8 ab, jedoch beträgt der Endwert 31,24 GPa und befindet sich somit im selben Bereich der Endwerte der Serien 1 bis 8.

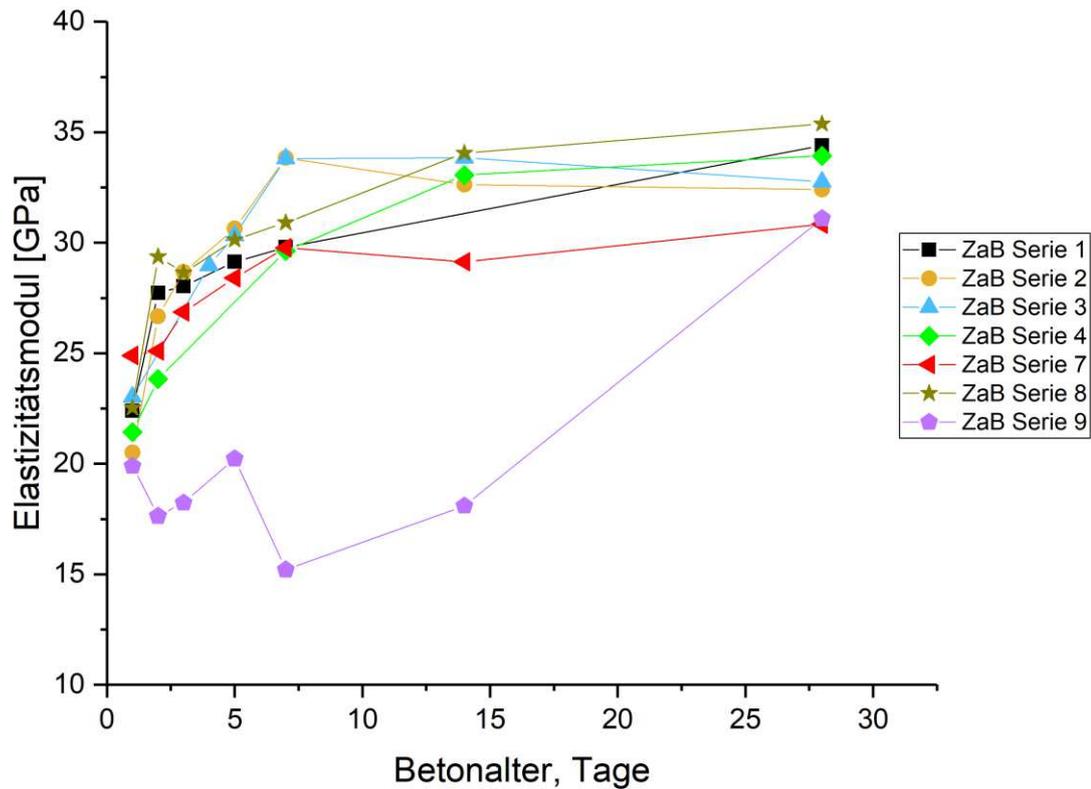


Abbildung 40 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serie 1 bis 9 vom Zentrum am Berg (ZaB).

## 5.5 Streubereich der Druckfestigkeiten

In den Versuchsserien 1, 2, 3 und 4 vom ZaB nimmt die Druckfestigkeit in den ersten sieben Tagen zu und erreicht dabei eine durchschnittliche Druckfestigkeit von  $25 \pm 3$  MPa (siehe Abbildung 32, Abbildung 33 und Abbildung 34). Nach sieben Tagen verflachen sich die Kurven der Druckfestigkeitsentwicklung und erreichen nach 28 Tagen Festigkeiten zwischen 25 und 30 MPa. Bei Serie 4 fällt jedoch auf, dass die Festigkeit nach 15 Tagen leicht abnimmt. Diese Abnahme ist jedoch sehr gering und kann auf die Streuung der Ergebnisse zurückgeführt werden.

In allen Serien vom ZaB zeigen sich Abweichungen in der Druckfestigkeitsentwicklung, welche durch die Größe der Standardabweichung verdeutlicht werden. In der Regel ist der Streubereich der Druckfestigkeit von Spritzbeton höher als bei normalem Beton [2]. Dies hängt von den schnell wechselnden Bedingungen des Spritzvorgangs ab. Dabei beeinflusst die Düsenführung die Druckfestigkeit des Spritzbetons. Der ideale Spritzwinkel ergibt sich bei  $90^\circ$  zur Auftragsfläche und bei einem Düsenabstand von 1,5-2 m [4]. In Abbildung 41 ist erkennbar, dass eine Abweichung von 0,5 m vom idealen Düsenabstand (bei circa 1,8 m)

Verringerungen der Druckfestigkeit bis zu circa 5 MPa verursachen. Die Proben, die im Rahmen dieser Arbeit getestet wurden, zeigen in allen Serien bei der Bestimmung der durchschnittlichen Druckfestigkeit Abweichungen von 0 bis 6 MPa. Jedoch gab es in folgenden Proben Ausreißer:

Serie 9 vom ZaB (28 Tagesfestigkeit) mit 20 MPa maximaler Abweichung (siehe Anhang A), wobei diese extreme Abweichung für eine sehr schlechte Qualität der Probe steht und somit als Probenausfall bezeichnet wird.

Serie 7 vom ZaB (28 Tagesfestigkeit) mit 15,5 MPa maximaler Abweichung (siehe Anhang A).

Serie 1 vom SBT (28 Tagesfestigkeit) mit 10 MPa maximaler Abweichung (siehe Anhang A).

Für die Abweichungen von 0 bis 6 MPa konnten in der Versuchsdurchführung keine Ursachen gefunden werden. Für die Bestimmung der durchschnittlichen Druckfestigkeit wurden jeweils drei Versuche exakt gleich durchgeführt und am Probenkörper konnten keine auffälligen, unterschiedlichen Merkmale gefunden werden.

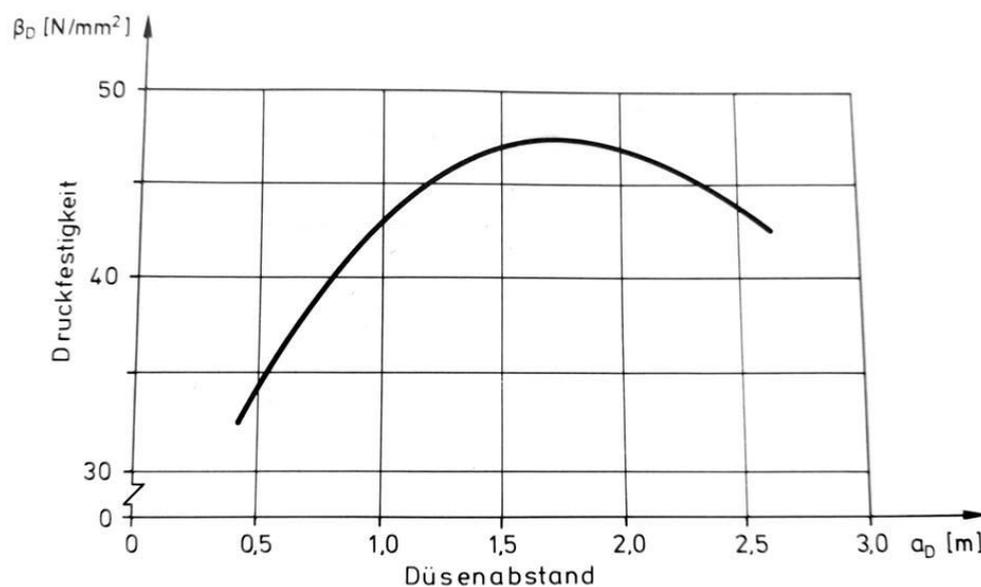


Abbildung 41 Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Düsenabstandes. Quelle: [4] S. 167

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Düsenabstand für alle Serien auf 1,5 m mit Augenmaß des Düsenführers gehalten. Dies bewog zur Schlussfolgerung, dass der Düsenabstand durch menschlichen Einfluss nicht konstant gehalten werden konnte und es deshalb zu Abweichungen von Druckfestigkeiten kommt.

In den Versuchsserien 7, 8 und 9 vom ZaB fällt eine gemeinsame Anomalie in der Druckfestigkeitsentwicklung auf. Nach einem Betonalter von fünf Tagen nimmt die Druckfestigkeit der Serien 7, 8 und 9 ab. Eine Korrelation zwischen der Druckfestigkeitsentwicklung und dem Beschleunigungsanteil kann vermutet werden. Die Serien 7, 8 und 9 unterscheiden sich nämlich von den Serien 1, 2 und 3 nur durch ihren Beschleunigeranteil und durch die Förderleistung.

Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit dieses Zusammenhangs noch zu gering und die Anomalie der Druckfestigkeitsentwicklung kann auch auf den Zufall der Streuung zurückgeführt werden. Um den Zusammenhang vom Beschleunigeranteil und der Druckfestigkeitsabnahme nach fünf Tagen belegen zu können, werden weitere Versuchsserien empfohlen, um den Zufall der Streuung auszuschließen. Dabei sollten diese die gleiche Rezeptur und den gleichen Beschleunigeranteil besitzen wie in den Serien 7, 8 und 9 vom ZaB. Es sollte auch der gleiche Beschleuniger „Sigunit L-93 AF“ von Mika verwendet werden. Da die Druckfestigkeitsabnahme nach fünf Tagen stattfindet, wird empfohlen, ein dichteres Zeitintervall für die Versuche in den ersten sieben Tagen anzulegen. Zudem könnten chemische Reaktionen während des Aushärtens des Spritzbetons in den ersten sieben Tagen genauer untersucht werden.

Die Druckfestigkeit der Probenserien vom SBT nehmen gleichmäßig über die Zeit zu und erreichen nach 28 Tagen Festigkeiten von 26,6 MPa (Serie 1), 20,6 MPa (Serie 2) und 26,5 MPa (Serie 3). In diesen drei Serien wurde dem Spritzbeton ebenfalls ein Beschleunigeranteil von 7 % beigefügt. Jedoch wurde keine Druckfestigkeitsabnahme nach fünf Tagen, wie in den Serien 7, 8 und 9 vom ZaB, beobachtet.

In allen Serien vom ZaB und SBT ist erkennbar, dass die Werte sehr weit streuen. Trotz gleicher Zusammensetzung der Proben wurden unterschiedliche Druckfestigkeitsentwicklungen festgestellt. Dies kann auf die Auftragstechnik des Düsenführers zurückgeführt werden, denn für jede Serie kamen unterschiedliche Düsenführer zum Einsatz. Parameter, wie Form der Düsenführung, Bewegungsgeschwindigkeit, Düsenabstand und Düsenwinkel haben einen großen Einfluss auf die Spritzbetonqualität und als Maß der Güte des Spritzbetons wird die Streuung der Druckfestigkeitswerte angesehen [4]. Die Gleichmäßigkeit von Spritzbeton ist mit einer starren Düsenbewegung relativ gering im Gegensatz zu einer pendelnden Bewegung der Spritzdüse. Die höchste Gleichmäßigkeit in Bezug auf die Form der Düsenbewegung wird mit einer kreisenden Bewegung erreicht [4]. Werden die Amplituden beziehungsweise die Radien der Düsenbewegung erhöht, wird dadurch der Vermischungseffekt verstärkt und somit die Gleichmäßigkeit des Spritzbetons positiv beeinflusst. Außerdem spielt die Geschwindigkeit der Düsenbewegung eine zusätzliche Rolle für die Gleichmäßigkeit, denn es gilt: Höhere Frequenzen bei pendelnden oder kreisenden Bewegungen bewirken eine Verbesserung der Homogenität des Spritzbetons [4]. Zusätzlich kommen geringe Abweichung des idealen Düsenwinkels von 90 Grad zur Auftragsoberfläche hinzu, welche zu Druckfestigkeitsverlusten

führen. Ein Winkelabweichen von 30 Grad vom idealen Winkel kann zu einer Abweichung bis zu 15 % der Druckfestigkeit führen [4].

Bei manueller Führung ist es jedoch unmöglich, die zuvor angeführten Parameter der Düsenführung zu dokumentieren und diese mit den Ergebnissen zu vergleichen. Der Düsenführer hat somit einen großen Einfluss auf die Spritzbetonqualität. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine pendelnde Bewegung bei der Düsenführung durchgeführt, die manuell vom Düsenführer mit einem Manipulator gesteuert wurde. Die Amplitude und die Frequenz der Düsenbewegung kann bei manueller Steuerung nicht konstant gehalten werden. Aus diesem Grund wird für eine Verbesserung der Streuwerte empfohlen, einen Spritzroboter anzuwenden. Die Automatisierung der Düsenführung hat bereits eine wesentliche Verbesserung der Qualität des Spritzbetons gezeigt [4].

Die Temperatur kann eine weitere Ursache für die Streuung der Druckfestigkeiten sein. Allgemein wird Zement häufig mit unterschiedlichen Temperaturen angeliefert und nach anschließender Verarbeitung führt dies zu unterschiedlichem Reaktionsvermögen mit dem Beschleunigungsmittel und somit zu Streuungen der Festigkeiten [4]. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Temperatur der Zemente vor der Verarbeitung nicht dokumentiert. Die Proben wurden nach ihrer Herstellung im Labor in einer Klimakammer gelagert, jedoch wurde nicht auf eine konstante Temperatur für alle Serien geachtet beziehungsweise dokumentiert. Teilweise wurden die Proben aus logistischen Gründen außerhalb der Klimakammer in den Räumlichkeiten des Labors gelagert und dabei wurden die Proben, nicht dokumentierten Temperaturschwankungen ausgesetzt. Da die Temperatur Einfluss auf die Reaktionen während des Aushärtens des Spritzbetons hat, wird für zukünftige Serien empfohlen, auf eine Lagerung der Proben mit konstanter Temperatur zu achten.

## **5.6 Streubereich des Elastizitätsmoduls**

Die Streuung der Elastizitätsmodule ist in allen Serien sehr hoch. Dennoch verlaufen alle Serien vom ZaB im gleichen Trend bis auf Serie 9, welche sich als Ausreißer herausstellt (siehe Abbildung 40). Alle Endwerte der Serien vom ZaB nach 28 Tagen variieren zwischen 30 GPa und 35 GPa, wobei sich die Endwerte der Serien vom SBT sich zwischen 19,1 GPa und 33,19 GPa befinden. Bei einer idealen, homogenen Probe würden im Spannungs-Dehnungsdiagramm des einaxialen Druckversuches die Kurven der Axialdehnung 1 und 2 parallel zueinander und deckend verlaufen. In der Realität ist der Spritzbeton aufgrund der Verteilung der verschiedenen Korngrößen heterogen und verursacht leicht voneinander abweichende Werte der Axialdehnungen 1 und 2. Die Gleichmäßigkeit beziehungsweise die Homogenität der Kornverteilung im Spritzbeton kann auf die Form der Düsenführung

zurückgeführt werden. Die beeinflussenden Parameter der Düsenbewegung für die Gleichmäßigkeit des Spritzbetons wurden zuvor erläutert. Bei richtiger Probenvorbereitung sind kleine Abweichungen der Axialdehnungen zu vernachlässigen. Ein nahezu paralleler Verlauf der Axialdehnungen bestätigt einen erfolgreichen Versuch und spricht für eine gute Homogenität der Probe (siehe Beispiel in Abbildung 42).

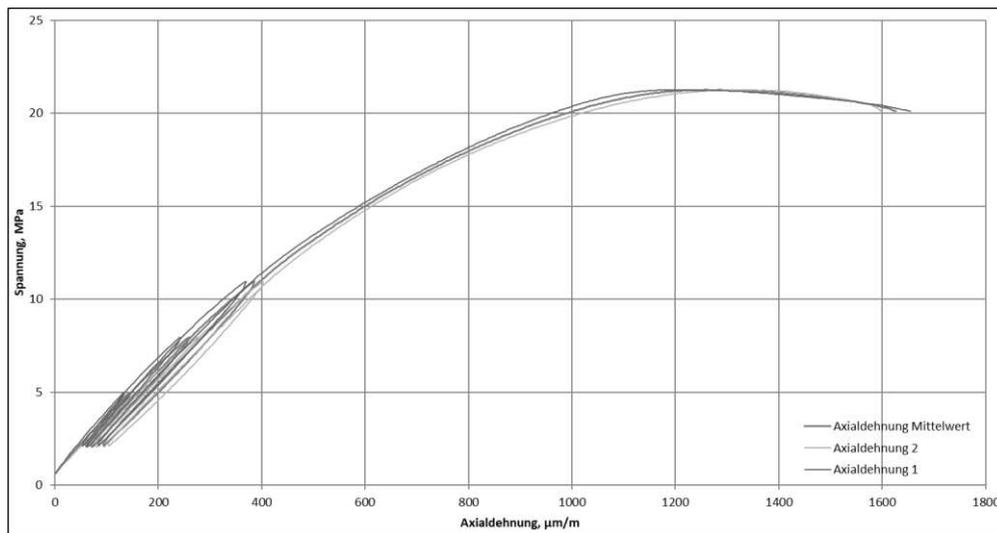


Abbildung 42 einaxialer Druckversuch aus der Serie 8 vom ZaB nach 120 Stunden, mit einaxialer Druckfestigkeit von 21,3 MPa und E-Modul von 32 GPa.

Elastizitätsmodule der Zementsteinmatrix und des Zuschlags sind einer der wichtigsten Einflussgrößen für das resultierende Elastizitätsmodul [14]. Da alle Serien vom ZaB aus dem gleichen Zement bestehen, kann die Variation der Werte sowohl für die Druckfestigkeit als auch für das E-Modul nicht dem Zement zugeschrieben werden.

## 5.7 Einfluss des Wasser-Zementwertes auf die Ergebnisse

Ein Beton geringer Festigkeit besitzt ein kleineres Elastizitätsmodul im Vergleich zu einem Beton mit hoher Festigkeit [14]. Dies hängt in mit dem W/Zk-Wert zusammen. Eine hoher W/Zk-Wert bedeutet, dass der Zementporenraum höher ist und somit sowohl die resultierende Druckfestigkeit als auch das E-Modul geringer ist. Dieses Verhalten bestätigt vor allem Serie 9 vom ZaB (siehe Abbildung 44).

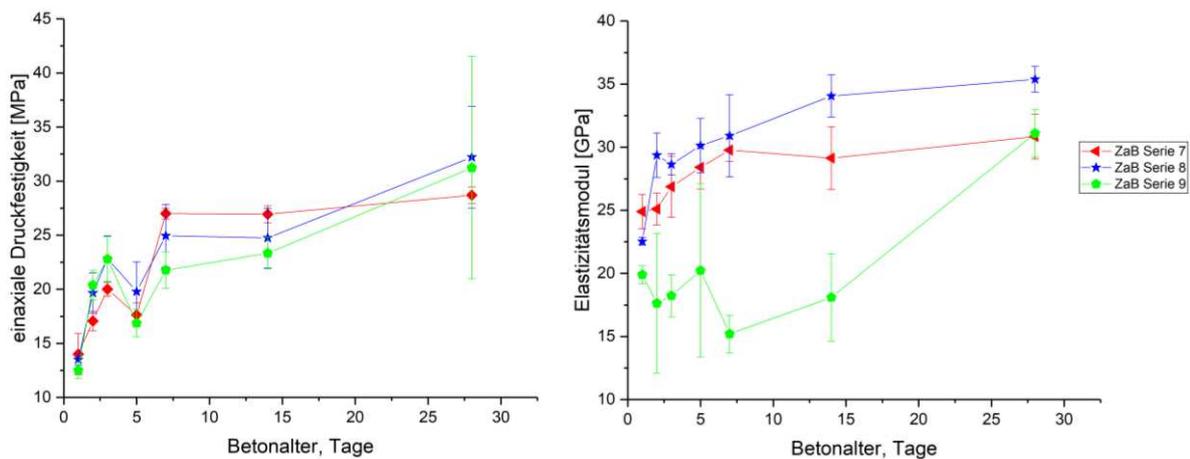


Abbildung 44 Vergleich Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul der Serien 7, 8 und 9 vom ZaB.

In Abbildung 44 werden die Werte der Druckfestigkeit mit den Werten des Elastizitätsmoduls der Serien 7, 8 und 9 verglichen. Den höchsten W/Zk-Wert dieser drei Serien besitzt Serie 9 mit 0,53. Serie 8 hat einen Wert von 0,52 und Serie 7 einen Wert von 0,51. Obwohl diese Werte nur sehr gering voneinander abweichen, ist erkennbar, dass Serie 9 im Vergleich zu Serie 8 und 7 geringe Festigkeitswerte ab dem fünften Tag bis zum 28ten Tag zeigt und somit auch geringe E-Module. Bei Betrachtung der Endfestigkeiten ist ebenfalls erkennbar, dass Serie 8 mit der höchsten Druckfestigkeit der drei Serien auch einen höheren E-Modul als die Serien 7 und 9 besitzt.

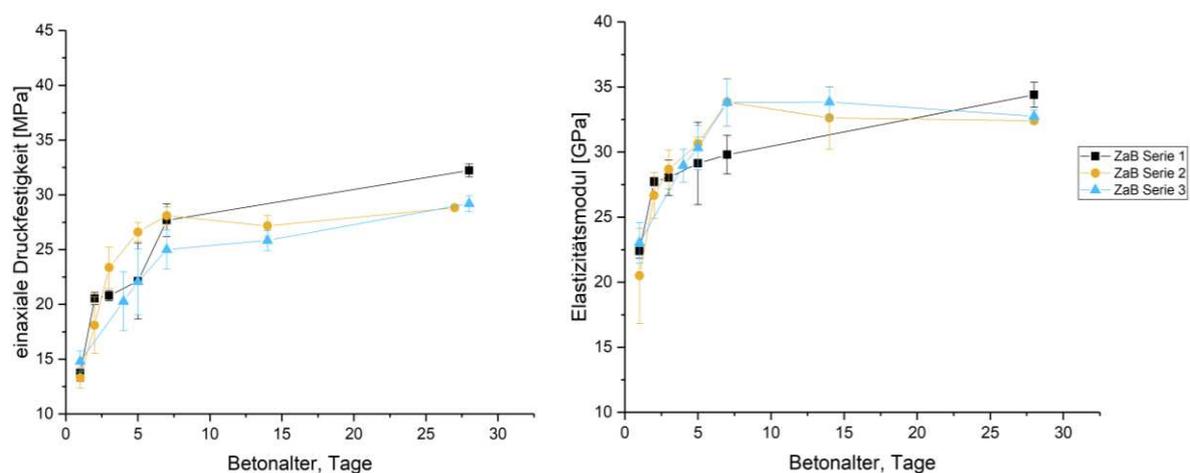


Abbildung 43 Vergleich Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul der Serien 1, 2 und 3 vom ZaB.

Die Endwerte der Druckfestigkeit und des Elastizitätsmoduls der Serie 1, 2 und 3 vom ZaB werden in Abbildung 43 verglichen. Der W/Zk-Wert für Serie 1 beträgt 0,51 und Serie 2 besitzt einen Wert von 0,5. Für Serie 3 wurde ein W/Zk-Wert von 0,49 festgestellt. Die höchste Festigkeit dieser drei Serien besitzt Serie 1 und weist auch ein höheres Elastizitätsmodul als

Serie 2 und 3 auf. Jedoch stimmt die Theorie hier nicht überein, dass ein höherer W/Zk-Wert zu einer geringeren Druckfestigkeit beziehungsweise E-Modul führt. Ein Grund dafür kann die höhere Förderleistung im Gegensatz zu den Serien 7, 8 und 9 sein. Eine höhere Förderleistung führt zu einer größeren Verdichtung der Proben und die Werte der Druckfestigkeit und des E-Moduls werden somit ebenfalls beeinflusst.

Für Serie 4 vom ZaB konnten die Ergebnisse im Zusammenhang mit dem W/Zk-Wert nicht verglichen werden, da dieser aus Geheimhaltungspflicht nicht gegeben wurde.

## 5.8 Einfluss von Beschleunigeranteil und Förderleistung auf die Ergebnisse

Serie ZaB	BE-Anteil	Förderleistung	Druckfestigkeit nach 28 Tagen [MPa]	E-Modul nach 28 Tagen [GPa]
1	6 %	20 m <sup>3</sup> /h	32,23	34,40
2	5 %	20 m <sup>3</sup> /h	28,82	32,40
3	5 %	20 m <sup>3</sup> /h	29,20	32,75
4	5 %	20 m <sup>3</sup> /h	24,70	33,93
7	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	23,58	30,83
8	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	32,21	35,38
9	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	31,24	31,10

Tabelle 12 Beschleunigeranteil (BE-Anteil), Förderleistung und W/Zk-Wert der Serien vom ZaB.

Für alle Serien vom ZaB wurde die gleiche Rezeptur verwendet und Parameter wie Beschleunigeranteil und Förderleistung wurden variiert. Im Vergleich der Serien vom ZaB ist erkennbar, dass die Serien 1, 2, 3 und 4 mit einer Förderleistung von 20 m<sup>3</sup>/h höhere E-Module als die Serien 7 und 9 aufweisen, welche mit einer 50 % niedrigeren Förderleistung hergestellt wurden. Daraus kann zurückgeführt werden, dass durch eine höhere Förderleistung eine größere Verdichtung stattfindet und somit höhere E-Module entstehen. Serie 8 stellt dabei eine Ausnahme mit dem höchsten E-Modul aller Serien vom ZaB dar. Beim E-Modul kommt es bis zu 12 % Abweichung bei variierenden Parametern wie in Tabelle 12 dargestellt. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Endfestigkeitswerten und den Beschleunigeranteil oder der Förderleistung konnte nicht gefunden werden. Die Serien vom ZaB besitzen Abweichungen bis zu 26 % in Bezug auf ihre Enddruckfestigkeit. Es stellt sich heraus, dass die Endwerte der E-Module somit geringere Variationen besitzen als die der Druckfestigkeit.

Serie SBT	BE-Anteil	Förderleistung	Druckfestigkeit nach 28 Tagen [MPa]	E-Modul nach 28 Tagen [GPa]
1	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	26,63	19,13
2	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	20,57	29,77
3	7 %	10 m <sup>3</sup> /h	26,46	33,19

Tabelle 13 Beschleunigeranteil (BE-Anteil), Förderleistung und W/Zk-Wert der Serien vom SBT.

Die Rezeptur der Serien vom Semmering-Basistunnel wurde nur für Serie 1 angegeben. Laut örtlicher Bauaufsicht ist jedoch kein Unterschied in Bezug auf die Rezeptur zu den Serien 2 und 3 vorhanden. Für alle drei Serien wurde derselbe Beschleunigeranteil und eine gleichbleibende Förderleistung gewählt (siehe Tabelle 13). Die Endfestigkeiten besitzen dabei eine Abweichung vom maximalen bis zum minimalen Wert bis zu 22 %. Eine Abweichung von 42 % ergibt sich beim Vergleich der E-Module nach 28 Tagen, bei gleichbleibenden Beschleunigeranteil und Förderleistung.

## 5.9 Einfluss von Rissen auf die Versuchsergebnissen

In der Serie 1 vom SBT ist in einer Probe ein horizontaler Riss im oberen Bereich, mit einer Öffnung von weniger als 1 mm, ersichtlich (siehe Abbildung 45).

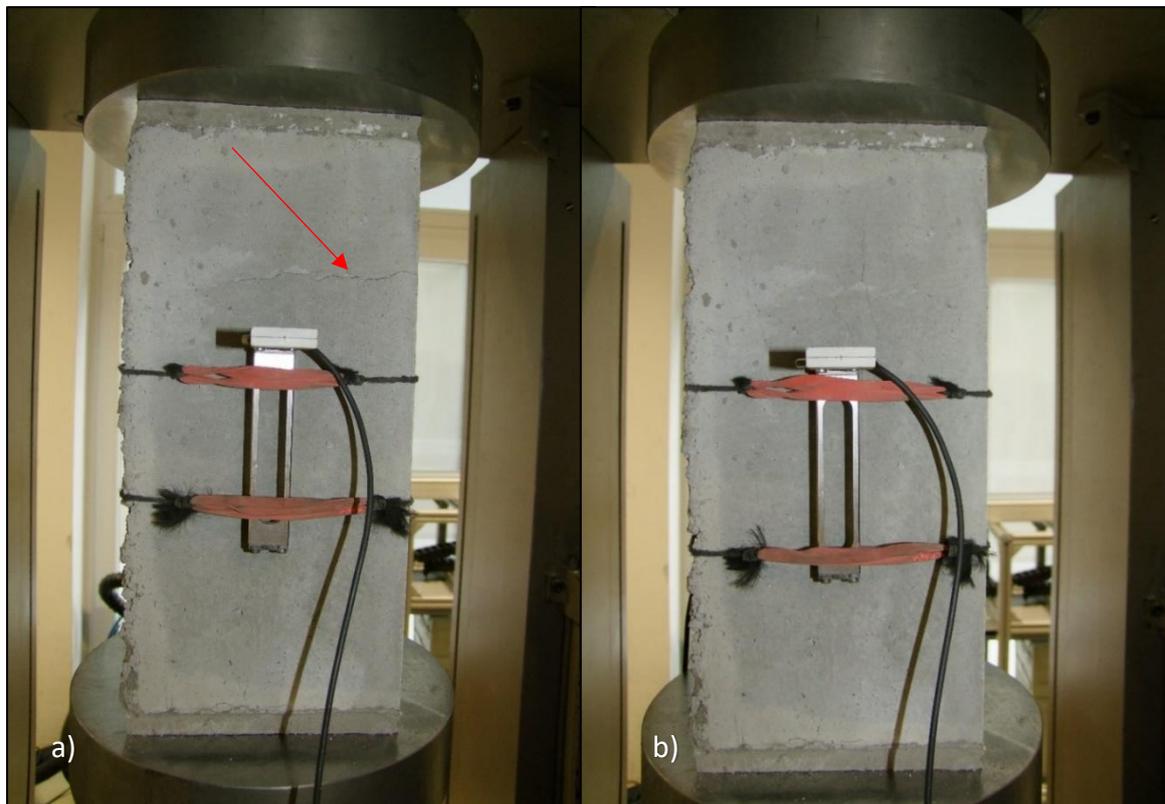


Abbildung 45 Versuch aus der Serie 1 vom SBT nach 336 Stunden; a) vor dem Versuch mit gekennzeichnetem Riss, b) Probe nach dem Versuch mit geschlossenem Riss.

Durch das zentrierte Anbringen der Dehnungsaufnehmer unterhalb des Risses wird das Ergebnis des Versuches stark beeinflusst. Während des einaxialen Druckversuches wird der Riss geschlossen und die gemessene Axialdehnung unterhalb des Risses zeigt einen deutlich steileren Verlauf (siehe Abbildung 46). Dies bedeutet, dass ein höheres E-Modul ausgewertet wird als aus der Axialdehnung auf der gegenüberliegenden Seite, welche keine Risse zeigt.

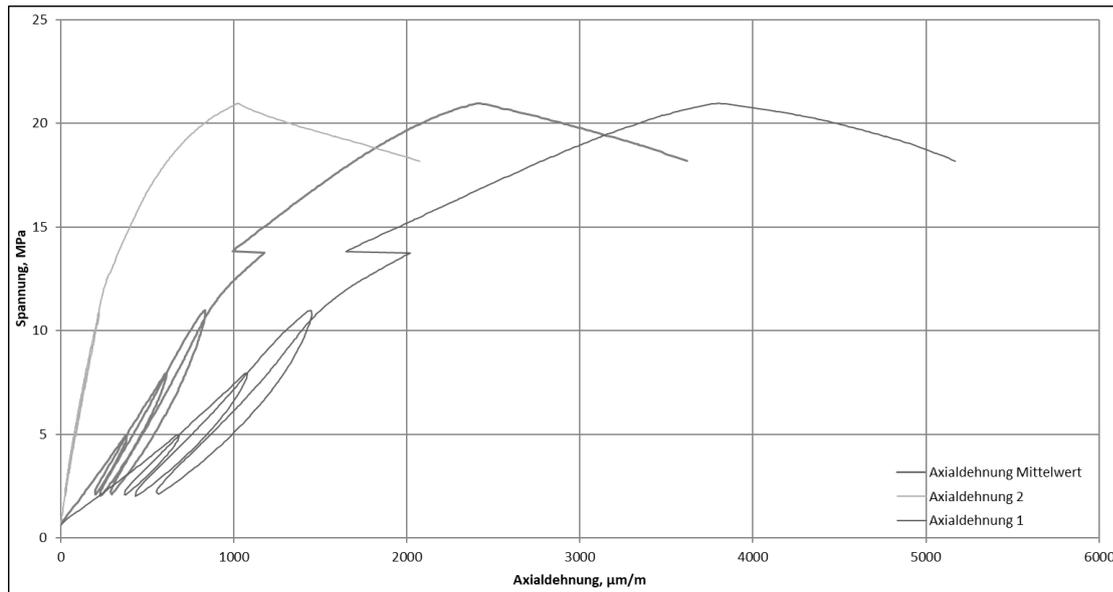


Abbildung 46 Spannungs-Dehnungsdiagramm aus Serie 1 vom SBT nach 336 Stunden. Emodul aus der Axialdehnung 1 beträgt 9,47 GPa und E-Modul aus der Axialdehnung 2 beträgt 49,73 GPa.

Der horizontale Riss ist nach dem Versuch geschlossen und ein senkrechter Riss hat sich nach Erreichen der maximalen Druckfestigkeit gebildet. In dem Diagramm in Abbildung 46 ist eine Störung der Axialdehnung 1 bei einer Spannung von circa 14 MPa erkennbar. Solche Störungen werden durch vorzeitige Rissbildung, die direkt unterhalb der Messzunge des Dehnungsaufnehmers verlaufen, zurückgeführt.

In Abbildung 47 ist ein horizontaler Riss in einer Probe zwischen den Schneiden des Dehnungsaufnehmers zu sehen. Dies beeinflusst ebenfalls die Auswertung des E-Moduls. Jedoch wird bei der Berechnung des E-Moduls im Gegensatz zu der Probe, welche den Riss oberhalb der Messzunge besitzt, einen deutlich geringeren Wert aufweisen. Durch die Schließung des Risses während des Versuches misst der Dehnungsaufnehmer eine größere Verformung und daraus resultiert ein geringeres E-Modul als es der Fall ohne Riss wäre. Das Spannungs-Dehnungsdiagramm dieser Probe ist in Abbildung 48 ersichtlich.

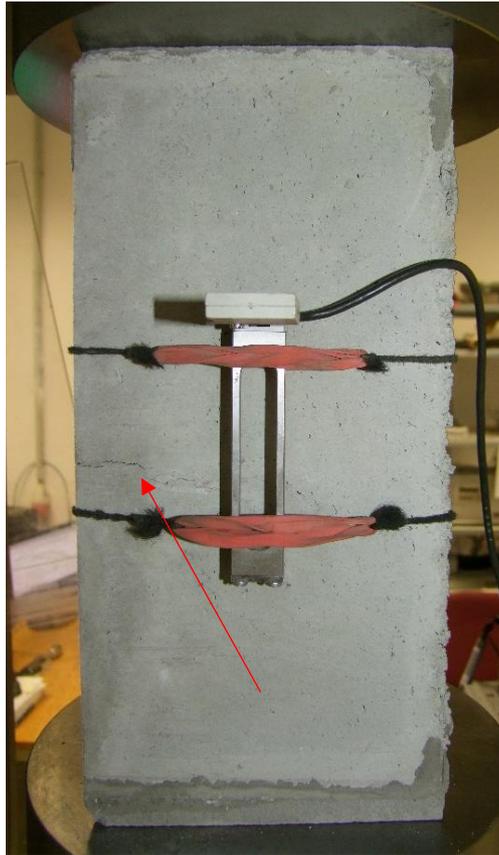


Abbildung 47 Probe aus der Serie 1 vom SBT mit einem Betonalter von 28 Tagen mit horizontalem Riss zwischen den Messungen des Dehnungsaufnehmers 1.

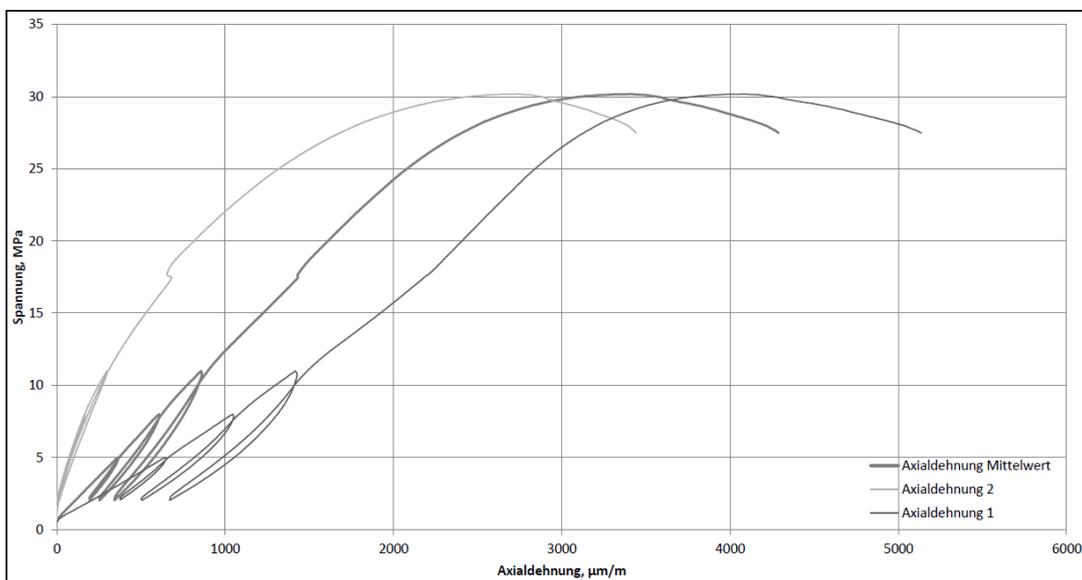


Abbildung 48 Spannungs-Dehnungsdiagramm aus Serie 1 vom SBT nach 28 Tagen. E-modul aus der Axialdehnung 1 beträgt 11,32 GPa und E-Modul aus der Axialdehnung 2 beträgt 36,95 GPa.

Die Rissbildung der Proben vor den Versuchen kann zu einen der Düsenführung zum anderen der Probenvorbereitung kurz nach der Herstellung der Proben zugeschrieben werden. Nachdem die Proben auf der Baustelle frisch gespritzt wurden, wird überschüssiger Beton mit

einem Abziehlineal abgezogen. Durch die Zähigkeit des frischen Betons kann die Probe während des Abziehens in sich auseinanderreißen und Risse bilden, die nicht sofort erkennbar sind. Aus diesem Grund muss das Abziehen sorgfältig erfolgen, um ein Auseinanderreißen der Probe zu verhindern.

### 5.10 Bruchbildung

Durch Reibungskräfte zwischen der Probe und den starren Druckplatten ergibt sich keine gleichmäßige Stauchung über die Probenhöhe. An der Kontaktstelle werden keine Verformungen zugelassen, während der Mittelteil der Probe zur Seite weichen kann. Dies wird als Ausbauchung der Probe während des Druckversuchs bezeichnet. Unverformte Druckkegel innerhalb der Probe schieben sich wie Keile in das umgebende Material und sorgen im Mittelteil der Probe für große Schubspannungen. Die höchsten Schubspannungen treten in einem 45°-Winkel zur Druckbeanspruchungsrichtung auf und die Probekörper brechen in den meisten Fällen entlang dieser Richtung [15]. Ein Beispiel dieser Bruchbildung ist in Abbildung 49 dargestellt. Hierbei handelt es sich um einen Versuch aus der Serie 1 vom ZaB 48 Stunden nach der Herstellung der Probe. Das dazugehörige Spannungs-Dehnungsdiagramm zu diesem Versuch befindet sich in Abbildung 50. Diese Bruchbildung wurde allerdings selten beobachtet.



Abbildung 49 Bruchbildung des Probekörpers 17 aus der Serie 1 vom ZaB 48 Stunden nach der Herstellung der Probe.

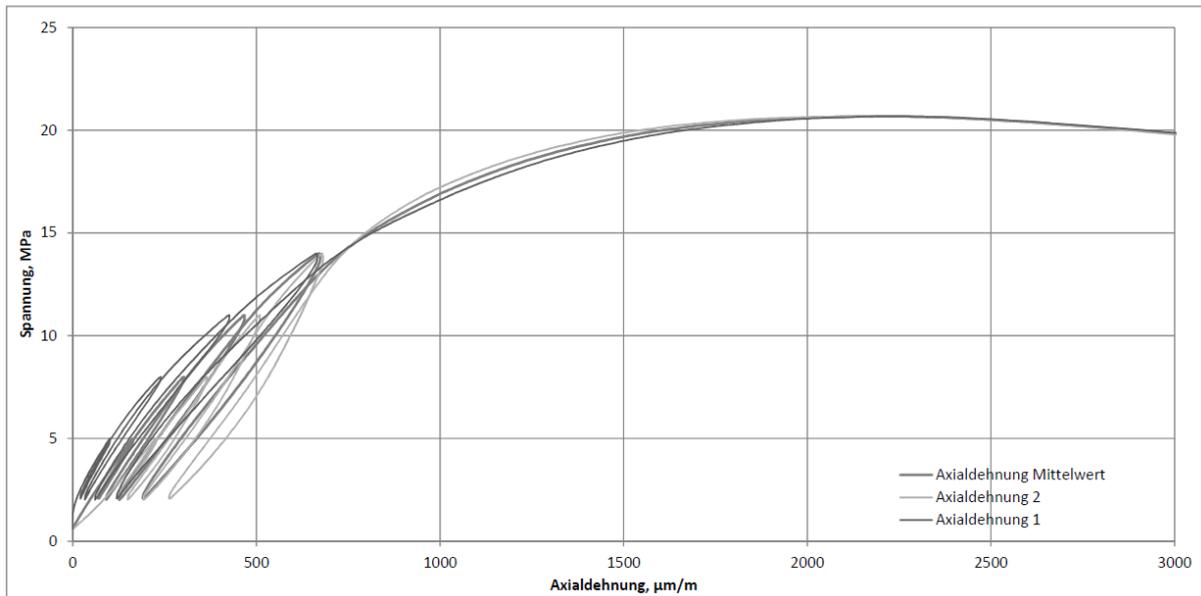


Abbildung 50 Spannungs-Dehnungsdiagramm der Probe 17 aus Serie 7 vom ZaB 48 Stunden nach der Herstellung der Probe

Die Spritzbetonproben weisen in den meisten Fällen ein duktiler Bruchverhalten auf. Dies zeigt die Spannung-Dehnungskurve des einaxialen Druckversuches, da sich diese stark im Bereich der maximalen Druckfestigkeit verflacht. Für den Großteil der Versuche wurde nach Erreichen der maximalen Druckfestigkeit ähnliche Bruchfiguren beobachtet. Als Beispiel wird die Bruchfigur einer Probe vom SBT in Abbildung 51 dargestellt. Das dazugehörige Spannungs-Dehnungsdiagramm zu diesem Versuch befindet sich in Abbildung 52.



Abbildung 51 Bruchbildung nach Versuch der Probe 20 aus Serie 3 vom SBT 120 Stunden nach der Herstellung

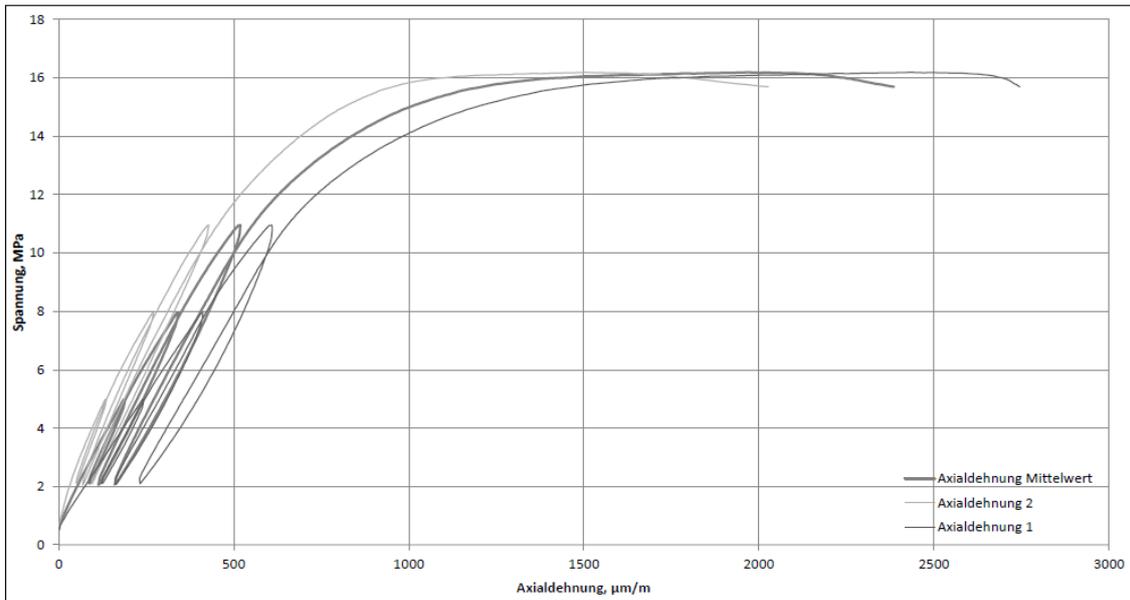


Abbildung 52 Spannungs-Dehnungsdiagramm der Probe 20 aus Serie 3 vom SBT 48 Stunden nach der Herstellung.

Durch das Abflachen der Spannung-Dehnungskurve nahe der maximalen Druckfestigkeit wird auf ein duktileres Verhalten der Probe geschlossen. Die senkrechte Rissbildung nach Erreichen der maximalen Druckfestigkeit deutet darauf hin, dass der Spritzbeton sich normal zur Spritzrichtung in Lagen aufträgt und richtungsorientierte Eigenschaften bildet. Ein Zusammenhang mit dieser Bruchform zeigt sich durch die Verdichtung während des Spritzvorgangs in Spritzrichtung und durch Auflockerung vertikal zur Spritzrichtung [16]. Im weiteren Sinne bestätigt Ruffert [2], dass die Festigkeit parallel zur Spritzrichtung höher ist als senkrecht dazu. Im Unterschied dazu besitzt das E-Modul parallel zur Spritzrichtung einen geringeren Wert als senkrecht dazu. Um diese Theorie für diesen Fall zu bestätigen, wird empfohlen, weitere Proben parallel zur Spritzrichtung mit einaxialen Druckversuchen zu untersuchen.

## 6 Zusammenfassung und Verbesserungsvorschläge

Für die Kenntnis über mechanische Eigenschaften des Spritzbetons sind die Festigkeit und die Verformung wichtige Größen. Das E-Modul gibt den Zusammenhang zwischen Belastung und Verformung wieder und charakterisiert das elastische Verhalten bei Druckbeanspruchungen. 28 Tage nach der Herstellung des Spritzbetons beträgt das E-Modul für alle Serien über 30 GPa mit Ausnahme von Serie 1 vom SBT mit 19,13 GPa. Die Druckfestigkeitswerte jeder Serie sind in Diagrammen über die Zeit aufgetragen. Allgemein kann festgehalten werden, dass bei der Bestimmung der gemittelten Druckfestigkeit die Werte bis zu 6 MPa voneinander abweichen. Als Maß für die Qualität des Spritzbetons kann die Streuung der Druckfestigkeitswerte verwendet werden. Werden die einzelnen Serien miteinander verglichen, zeigen sich die unterschiedlichen Qualitäten der einzelnen Serien. Die beste Qualität, mit den geringsten Standardabweichungen weisen die Proben der zweiten Serie vom ZaB auf.

Die Qualität ist vor allem von der Spritzdüsenführung abhängig. Der Düsenabstand wurde nach jedem Herstellungszyklus für je drei Proben neu mit Augenmaß des Düsenführers auf 1,5 bis 2 m eingestellt. Weitere Parameter wie die Form der Düsenführung, die Bewegungsgeschwindigkeit und der Düsenwinkel haben ebenfalls Einfluss auf die Spritzbetonqualität und wurden manuell vom Düsenführer gesteuert. Durch den menschlichen Einfluss können diese Parameter für eine komplette Serie nicht konstant gehalten werden. Dies kann ein Grund für die Abweichungen von Druckfestigkeiten sein. Für eine Verbesserung der Streuungswerte wird daher empfohlen, einen Spritzroboter mit automatischer Düsenführung anzuwenden. Durch einen Vergleich zwischen manueller Führung der Spritzdüse und automatisierten Führung eines Spritzroboters, hat sich gezeigt, dass bei einer manuellen Führung deutlich höhere Abweichung der Beurteilungskriterien erzielt werden [4].

Ein weiterer Grund für die Streuungswerte können Temperaturschwankungen in den verschiedenen Lagerungsräumen der Proben sein, denn die Temperatur hat ebenfalls Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit der Zementhydratation. Die Proben wurden zu einen in einer Klimakammer aufbewahrt zum anderen in weiteren Räumlichkeiten des Labors. Teilweise wurden die Schalungen der Proben nach ihrer Ankunft im Labor abgenommen. Proben deren Schalung abgenommen wurde könnten schneller austrocknen und somit die Geschwindigkeit des Aushärtens beeinflussen. Aus diesem Grund wird für zukünftige Serien empfohlen, die Schalungen bis zur Versuchsdurchführung an den Proben zu lassen und sie in der Klimakammer mit konstanter Temperatur zu lagern. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass ein Tag nach Abnahme der Schalung die Probe sich leicht verformte und nicht mehr in die Schalung einsetzbar war und dies die Probenvorbereitung erschwerte.

Für eine Verbesserung der Streuungswerte kann die Anzahl an Proben beziehungsweise an Versuchen erhöht werden. Für die Bestimmung einer durchschnittlichen Festigkeit in Abhängigkeit vom Betonalter konnten nur drei Versuche durchgeführt werden. Die

Versuchsdauer mittels Gesteinsprüfpresse für drei Proben beträgt circa eine Stunde und eine größere Anzahl an Versuchen zu einem bestimmten Betonalter wäre in einem kurzen Zeitfenster nur schwer möglich. Des Weiteren beansprucht vor allem die Probenvorbereitung einen hohen Zeitaufwand: Bis zu einem halben Tag für drei Proben. Ein weiteres Problem für eine höheren Anzahl an Proben ist die begrenzte Transportmöglichkeit.

Im Normalfall nimmt die Druckfestigkeit von Spritzbeton mit zunehmendem Alter stetig zu. Dies bestätigt sich in allen Serien bis auf Serie 7, 8 und 9 vom ZaB. Für das atypische Verhalten dieser Serien in Bezug auf die Druckfestigkeitsabnahme nach einem Betonalter von fünf Tagen wird empfohlen, zusätzliche Kurzzeitdruckversuche vorzunehmen. Dabei wird ein dichteres Zeitintervall für die Versuche in den ersten sieben Tagen vorgeschlagen. Untersuchungen des Chemismus während des Aushärtens des Spritzbetons in den ersten sieben Tagen könnte ebenfalls Aufschluss über die atypische Druckfestigkeitsabnahme geben.

Die Serien 1, 3, 8 und 9 vom ZaB entsprechen der im Chargenprotokoll vorgegebenen Druckfestigkeitsklassifizierung C 25/30. Für die Serien 2, 4 und 7 vom ZaB trifft die Klassifizierung vom Chargenprotokoll laut der Richtlinie in DIN 18136 [13] nicht zu und sie werden der Druckfestigkeitsklasse C20/25 zugeteilt. Jedoch ist zu beachten, dass die im Chargenprotokoll angegebene Klassifizierung für ein Betonalter von 56 Tagen gilt. Für einen besseren Vergleich wird empfohlen, die Proben nach 56 Tagen zusätzlich zu testen. Die Serien 1 und 3 vom SBT entsprechen der Druckfestigkeitsklasse C 25/30 wie im Chargenprotokoll festgelegt wurde. Serie 2 vom SBT wird der Druckfestigkeitsklasse C20/25 zugeteilt.

Als Ergänzung zu den Versuchen kann das Penetrationsnadel- und das Bolzensetzverfahren angewendet werden, mit welchen auf die Druckfestigkeit des Spritzbetons rückgeschlossen werden kann. Beim Penetrationsnadelverfahren wird die Kraft gemessen, die erforderlich ist, um eine Nadel mit definierter Abmessung in den Spritzbeton zu drücken [4]. Vorteil dieses Verfahren ist, dass in kurzer Zeit viele Versuche durchgeführt werden können. Jedoch kann dieses Verfahren nur an jungem Spritzbeton, welcher noch weich genug für das Eindringen der Nadel ist, angewendet werden. Für eine fortgeschrittene Erhärtung des Spritzbetons empfiehlt sich daher die Anwendung des Bolzensetzverfahrens. In diesem Verfahren wird die Nadel in den Spritzbeton geschossen und die Ausziehkraft der Nadel gemessen [4]. Mit den zusätzlichen Ergebnissen dieser beiden Verfahren können die Versuche der einaxialen Druckversuche ergänzt werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] *C. Lamprecht, Langzeitversuche an jungem Nassspritzbeton, 2019.*
- [2] *G. Ruffert, Spritzbeton, Düsseldorf: Beton Verlag, 1991.*
- [3] *ÖNORM B2230-1, "Untertagebauarbeiten - Werkvertragsnorm - Teil 1: Zyklischer Vortrieb", 2001.*
- [4] *B. Maidl, Handbuch für Spritzbeton, Berlin: Ernst&Sohn Verlag für Architektur un technische Wissenschaften, 1992.*
- [5] *Österreichische Vereinigung für Beton und Bautechnik, Richtlinien Spritzbeton, Wien: Österreichische Vereinigung für Beton-und Bautechnik, 2009.*
- [6] *J. Höfler und J. Schlumpf, Spritzbeton im Tunnelbau, Aichtal: Putzmeister AG, 2004.*
- [7] *ÖNORM B 4710-1, Beton Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis, Wien: ON Österreichisches Normungsinstitut, 2007.*
- [8] *ÖNORM EN 14488-1, Prüfung von Spritzbeton-Teil 1 Probenahme von Frisch- und Festbeton, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2005.*
- [9] *ÖNORM 13412, Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Druckversuch, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2006.*
- [10] *„HBM,“ [Online]. Available: <https://www.hbm.com/de/2514/praeziser-aufnehmer-zum-messen-von-weg-und-dehnung/>. [Zugriff am 03 01 2019].*
- [11] *ÖNORM EN 197-1, Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement, Wien: ON, 2011.*
- [12] *Österreichische Vereinigung für Beton-und Bautechnik, „Richtlinie Spritzbeton,“ Wien, 2009.*

- [13] *DIN 18136, Baugrund - Untersuchung von Bodenproben - Einaxialer Druckversuch, Deutsches Institut für Normung, 2003.*
- [14] *D. H. Winkler, „Über mechanische Eigenschaften von normalfestem und hochfestem Beton unter besonderer Berücksichtigung des Elastizitätsmoduls,“ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, 2010.*
- [15] „*Maschinenbau Physik,“ [Online]. Available: <https://www.ahoefer.de/maschinenbau/werkstoffkunde/werkstoffpruefung/zerstoerende-werkstoffpruefung-zwp/druckversuch/86-druckversuch.html>. [Zugriff am 03 01 2019].*
- [16] *B. Otto und H. Lutsch, Spritzbeton, Wien: Springer, 1981.*
- [17] *ÖNORM 12390-3, Prüfung von Festbeton Teil 3: Durckfestigkeit von Probekörpern, Wien: Österreichisches Normungsinstitut, 2017.*

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Systematik der Verfahrenstechnik bei Spritzbeton. [2] S.22.....	8
Abbildung 2 Probenkörper.....	10
Abbildung 3 U-Profilchalung aus Siebdruckplatten.....	10
Abbildung 4 Skizze des Stahlprofils als Probenhaltevorrichtung während des Spritzvorganges. .....	11
Abbildung 5 Probenhaltevorrichtung mit 3 Halterungen für die U-Profilchalungen aus Siebdruckplatten.....	11
Abbildung 6 Bestandteile der Überschalung; links U-profil, rechts dazugehörige Stirnflächen. .....	12
Abbildung 7 Einsetzen der U-Profilchalungen in die Probenhaltevorrichtung an der Ulme.	14
Abbildung 8 Spritzvorgang an der Tunnelbaustelle Zentrum am Berg.....	14
Abbildung 9 Entnahme der Proben aus der Probenvorrichtung mit Hilfe von Spitzhacken. ..	15
Abbildung 10 Abziehen von überschüssigem Spritzbeton mit Hilfe eines Abziehlineals. ....	15
Abbildung 11a) frische Proben auf Europoolpalette mit untergelegter Schaumstoffmatte. b) Sichern der Proben durch Auflegen weitere Europoolpaletten und Spanngurte .....	16
Abbildung 12a) Zurechtschneiden der Styroporstreifen (ca. 10 mm breit). b) Anbringen der Styroporstreifen an das U-Profil der Schalungen.....	17
Abbildung 13 a) Überschalung mit Dichtungsbändern. b) Einfügen der Probe in die Überschalung und Zuschrauben der Überschalung mit Hilfe von Zwingen. c) eingebaute Probe in Überschalung.....	17
Abbildung 14 Eingießen der Schnellspachtelmasse in den freien Raum zwischen Überschalung und Probe.....	18
Abbildung 15 a) angehefteter Styroporstreifen an ausgehärteter Schnellspachtelmasse. b) Abtrennen der Styroporstreifen vom U-Profil der Probenschalung mittels Hammer und Abziehwerkzeug. c) gesäubertes U-Profil nach Abtrennen der Styroporstreifen. ....	18
Abbildung 16 a) Zentrierter Einbau der Probe in die Fräse mit aufgezeichnetem Muster an den Stirnflächen der Probe. b) Einfügen einer ca. 1cm dicken Siebdruckplatte zwischen Probe und Einspannwerk.....	19
Abbildung 17 Kontrolle der Planparallelität mittel Messschieber.....	20
Abbildung 18 Dehnungsaufnehmer mit ①: Verriegelung der Messzunge [10].....	22

Abbildung 19 Aufbau der Gesteinsprüfpresse für den einaxialen Druckversuch mit eingebauter Probe. ①: obere Druckplatte ②: untere Druckplatten, ③: 5 Beilagplatten für passenden Abstand der Druckplatten, ④:Dehnungsaufnehmer 1, ⑤: Dehnungsaufnehmer 2.....	22
Abbildung 20 Anschlussbox der Dehnungsaufnehmer. ① und ②: Dehnungsaufnehmer.....	23
Abbildung 21a: Eingebaute Probe in der Langzeitversuchsanlage mit Dehnungsaufnehmern und Kantenschutz. b) zentriertes Positionieren des Dehnungsaufnehmers auf der rechten Seite der Probe (10 cm unterhalb der Kontrastlinie Spachtelmasse und Spritzbeton).....	24
Abbildung 22 Hydraulik mit Einschaltknopf rechts oben (rot) und blauer „Reset“-Taste für das Zurücksetzen .....	24
Abbildung 23 Arbeitsoberfläche der Software Stationmager. ①: Ausschließliche Regelung, ② : Freigabe-Taste, ③: Zero-Offset, ④: manueller Sollwert.....	25
Abbildung 24 Arbeitsoberfläche der Software„Station Manager“①: Niederdruck für die Hydraulik HPU T7-J25, ②: Hochdruck für die Hydraulik HPU T7-J25③; Niederdruck für das Servo-ventil Axial T6-J28A④: Hochdruck für das Servo-ventil Axial T6-J28A.....	26
Abbildung 25 Fenster für die Eingabe des Manuellen Sollwertes .....	26
Abbildung 26 a) Arbeitsfenster für die Stationssignale und deren aktuelle Werte und Offset. ①: Nullsetzungstaste b) Kalibrierstab und Dehnungsaufnehmer beim Festlegen des Nullpunktes .....	28
Abbildung 27 Arbeitsoberfläche des Programms „Multipurpose Elite“. Die gemessenen Echtzeitwerte sind unten in Grün dargestellt. ①: neuer Testlauf ②: neuer Test öffnen.....	29
Abbildung 28 Eingabefenster für den einaxialen Druckversuch.....	29
Abbildung 29 Eingabefenster für den einaxialen Druckversuch.....	30
Abbildung 30 Arbeitsoberfläche während eines einaxialen Druckversuchs mit Echtzeitwerten (Werte in grün unten). Blaue und Grüne Kurve entsprechen den Werten der Dehnungsaufnehmer 1 und 2 und verlaufen parallel zueinander. Die rote Kurve entspricht den Werten des Zylinderweges. ①: Taste für „Versuch abbrechen“ ②: Taste für „Versuch starten“ ③ Echtzeitwerte im Spannungs-Dehnungsdiagramm.....	31
Abbildung 31 Verlauf der Druckfestigkeit mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serien 1, 2 und 3 des Semmering-Basistunnels (SBT).....	33
Abbildung 32 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit der Serien 1, 2 und 3 vom ZaB .....	35
Abbildung 33 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit der Serie 4 vom ZaB .....	36

Abbildung 34 Entwicklung der einaxialen Druckfestigkeit der Serien 7, 8 und 9 vom ZaB .....	37
Abbildung 35 Verlauf der Druckfestigkeit mit gemittelten Werten der Druckfestigkeit der Serien 1, 2, 3, 4, 7, 8 und 9 der Spritzbetonproben vom Zentrum am Berg (ZaB) .....	39
Abbildung 36 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serien 1,2 und 3 vom Semmeringbasistunnel (SBT) .....	41
Abbildung 37 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serien 1,2 und 3 vom Zentrum am Berg (ZaB).....	42
Abbildung 38 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serie 4 vom Zentrum am Berg (ZaB) .....	43
Abbildung 39 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serie 7, 8 und 9 vom Zentrum am Berg (ZaB).....	44
Abbildung 40 Verlauf des Elastizitätsmoduls mit gemittelten Werten und Standardabweichung der Serie 1 bis 9 vom Zentrum am Berg (ZaB) .....	45
Abbildung 41 Druckfestigkeit in Abhängigkeit des Düsenabstandes. Quelle: [4] S.167“ .....	46
Abbildung 42 einaxialer Druckversuch aus der Serie 8 vom ZaB nach 120 Stunden, mit einaxialer Druckfestigkeit von 21,3 MPa und E-Modul von 32 GPa .....	49
Abbildung 43 Vergleich Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul der Serien 1, 2 und 3 vom ZaB .....	50
Abbildung 44 Vergleich Druckfestigkeit und Elastizitätsmodul der Serien 7, 8 und 9 vom ZaB .....	50
Abbildung 45 Versuch aus der Serie 1 vom SBT nach 336 Stunden; a) vor dem Versuch mit gekennzeichnetem Riss, b) Probe nach dem Versuch mit geschlossenem Riss .....	52
Abbildung 46 Spannungs-Dehnungsdiagramm aus Serie 1 vom SBT nach 336 Stunden. Emodul aus der Axialdehnung 1 beträgt 9,47 GPa und E-Modul aus der Axialdehnung 2 beträgt 49,73 GPa .....	53
Abbildung 47 Probe aus der Serie 1 vom SBT mit einem Betonalter von 28 Tagen mit horizontalem Riss zwischen den Messzungen des Dehnungsaufnehmers 1.....	54
Abbildung 48 Spannungs-Dehnungsdiagramm aus Serie 1 vom SBT nach 28 Tagen. Emodul aus der Axialdehnung 1 beträgt 11,32 GPa und E-Modul aus der Axialdehnung 2 beträgt 36,95 GPa .....	54
Abbildung 49 Bruchbildung des Probekörpers 17 aus der Serie 1 vom ZaB nach 48 Stunden der Herstellung der Probe .....	55
Abbildung 50 Spannungs-Dehnungsdiagramm der Probe 17 aus Serie 7 vom ZaB nach 48 Stunden der Herstellung der Probe .....	56

Abbildung 51 Bruchbildung nach Versuch der Probe 20 aus Serie 3 vom SBT nach 120 Stunden der Herstellung.....	56
Abbildung 52 Spannungs-Dehnungsdiagramm der Probe 20 aus Serie 3 vom SBT nach 48 Stunden der Herstellung. ....	57

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiel einer Druckfestigkeitsklasse.....	4
Tabelle 2 Übersicht der entnommenen Serien vom Zentrum am Berg (ZaB). ....	6
Tabelle 3 Übersicht der entnommenen Serien vom Semmering-Basistunnel (SBT). ....	6
Tabelle 4 Rezeptur der Serien vom ZaB nach den Chargenprotokollen. ....	6
Tabelle 5 Rezeptur der Serien vom SBT nach den Chargenprotokollen. ....	7
Tabelle 6 Eckdaten der Serien 1,2 und 3 vom SBT.....	34
Tabelle 7 Festigkeitsverhältnissse der Serien vom SBT.....	34
Tabelle 8 Eckdaten der Serien 1,2 und 3 vom ZaB. ....	35
Tabelle 9 Ergebnisse der einaxialen Druckfestigkeit der Serie 4 vom ZaB. ....	37
Tabelle 10 Eckdaten der Serien 7, 8 und 9 vom ZaB. ....	37
Tabelle 11 Klasseneinteilung im Bezug auf die Festigkeitsentwicklung der Serien vom ZaB. .	40
Tabelle 12 Beschleunigeranteil (BE-Anteil), Förderleistung und W/Zk-Wert der Serien vom ZaB. ....	51
Tabelle 13 Beschleunigeranteil (BE-Anteil), Förderleistung und W/Zk-Wert der Serien vom SBT. ....	51

# Anhang A

Ergebnisse der Kurzzeitversuche

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## ZaB Serie 1

<b>Baustelle:</b>	ZaB					
<b>Serie:</b>	1					
<b>Probenahmedatum:</b>	20.06.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	6%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	C25/30					
<b>Konsistenzklasse:</b>	F59					
<b>W/Zk:</b>	0,51 Gr-Korn 8					
<b>Anmerkungen:</b>	Keine Versuche nach 14 Tagen.					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	13,2	nB	14,3	13,8	0,55
2	20,7	19,9	21,0	20,5	0,46
3	21,2	20,3	20,9	20,8	0,37
5	26,1	19,6	20,7	22,1	2,84
7	29,3	26,4	27,3	27,7	1,21
28	31,8	32,9	32,0	32,2	0,48

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	22,3	21,9	23,0	22,4	0,45
2	27,6	28,1	27,5	27,7	0,26
3	27,8	29,5	26,8	28,0	1,11
5	32,6	28,4	26,4	29,1	2,58
7	31,5	28,9	29,0	29,8	1,20
28	34,0	35,5	33,7	34,4	0,79

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## ZaB Serie 2

<b>Baustelle:</b>	ZaB					
<b>Serie:</b>	2					
<b>Probenahmedatum:</b>	02.07.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	5%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	C25/30					
<b>Konsistenzklasse:</b>	F59					
<b>W/Zk:</b>	0,5					
<b>Anmerkungen:</b>	nur ein Wert für 28 Tage-Festigkeit					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	13,8	13,9	12,2	13,3	0,78
2	16,0	21,0	17,3	18,1	2,12
3	24,5	21,2	24,4	23,4	1,53
5	25,6	27,0	27,2	26,6	0,71
7	27,6	27,7	29,0	28,1	0,64
14	26,1	27,9	27,5	27,2	0,77
28	28,8	x	x	28,8	x

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	22,9	22,3	16,3	20,5	2,98
2	24,9	28,4	26,7	26,7	1,43
3	30,3	27,4	28,3	28,7	1,21
5	30,5	31,2	30,2	30,6	0,42
7	31,8	34,4	35,3	33,8	1,48
14	31,1	35,4	31,4	32,6	1,96
28	32,4	x	x	32,4	x

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## ZaB Serie 3

<b>Baustelle:</b>	ZaB					
<b>Serie:</b>	3					
<b>Probenahmedatum:</b>	19.07.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	5%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	C25/30					
<b>Konsistenzklasse:</b>	F59					
<b>W/Zk:</b>	0,49					
<b>Anmerkungen:</b>	wegen Wochenende keine Versuche nach 48 und 72 Stunden					
	Nur 2 Werte für 28-Tagesfestigkeit					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	14,9	15,7	13,8	14,8	0,78
4	22,5	21,0	17,3	20,3	2,19
5	18,8	24,7	22,7	22,1	2,45
7	23,6	27,0	24,4	25,0	1,45
14	26,5	26,2	24,8	25,8	0,74
28	28,7	29,7	x	29,2	0,50

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	22,8	24,7	21,6	23,0	1,28
4	30,4	28,5	28,0	29,0	1,03
5	29,3	32,3	29,4	30,3	1,39
7	32,1	35,7	33,6	33,8	1,48
14	34,9	34,0	32,6	33,8	0,95
28	33,1	32,4	x	32,8	0,35

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## ZaB Serie 4

<b>Baustelle:</b>	ZaB					
<b>Serie:</b>	4					
<b>Probenahmedatum:</b>	31.07.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	5%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	SpC25/30					
<b>Konsistenzklasse:</b>	Nicht bekannt					
<b>W/Zk:</b>	Nicht bekannt					
<b>Anmerkungen:</b>	Da nur mehr eine begrenzte Menge an Spritzbeton vorhanden war, wurden nur 22 Proben genommen, deshalb keine Versuche bei 72h und 120h.					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	11,3	nB	11,2	11,3	0,05
2	15,9	14,6	14,7	15,1	0,59
7	24,9	23,2	23,6	23,9	0,73
14	24,5	28,2	28,4	27,0	1,79
28	24,0	25,8	24,3	24,7	0,79

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	21,6	20,3	22,4	21,4	0,87
2	25,8	22,8	22,9	23,8	1,39
7	32,3	29,3	27,3	29,6	2,05
14	33,8	31,3	34,1	33,1	1,26
28	35,3	33,8	32,7	33,9	1,07

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## ZaB Serie 7

<b>Baustelle:</b>	ZaB					
<b>Serie:</b>	7					
<b>Probenahmedatum:</b>	08.11.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	7%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	C25/30					
<b>Konsistenzklasse:</b>	F59					
<b>W/Zk:</b>	0,51					
<b>Anmerkungen:</b>	keine					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	15,1	11,8	15,1	14,0	1,56
2	16,1	17,2	17,9	17,1	0,74
3	19,4	20,7	19,9	20,0	0,54
5	16,6	17,5	18,8	17,6	0,90
7	26,7	27,6	26,7	27,0	0,42
14	27,7	26,1	26,9	26,9	0,64
28	28,2	29,2	13,3	23,6	7,25

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	24,5	26,4	23,8	24,9	1,10
2	26,4	23,9	25,0	25,1	1,02
3	24,1	28,6	27,9	26,9	1,98
5	26,5	28,9	29,8	28,4	1,39
7	29,9	30,6	28,8	29,8	0,74
14	31,0	26,3	30,1	29,1	2,03
28	29,4	32,8	30,3	30,8	1,41

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## ZaB Serie 8

<b>Baustelle:</b>	ZaB					
<b>Serie:</b>	8					
<b>Probenahmedatum:</b>	14.11.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	7%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	C25/30					
<b>Konsistenzklasse:</b>	F59					
<b>W/Zk:</b>	0,52					
<b>Anmerkungen:</b>	keine					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	13,3	13,1	14,1	13,5	0,43
2	17,6	21,2	20,2	19,7	1,52
3	24,8	20,6	23,1	22,8	1,72
5	21,3	21,5	16,6	19,8	2,25
7	28,0	22,2	24,7	24,9	2,36
14	27,5	22,0	24,7	24,7	2,25
28	32,1	27,6	37,0	32,2	3,84

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	22,6	22,8	22,2	22,5	0,25
2	27,7	29,2	31,2	29,4	1,43
3	29,6	28,2	28,1	28,6	0,68
5	32,0	30,6	27,8	30,1	1,75
7	33,3	27,2	32,2	30,9	2,66
14	35,4	34,6	32,2	34,1	1,36
28	34,6	35,0	36,5	35,4	0,83

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## ZaB Serie 9

<b>Baustelle:</b>	ZAB					
<b>Serie:</b>	9					
<b>Probenahmedatum:</b>	21.11.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	7%?					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	C25/30					
<b>Konsistenzklasse:</b>	F59					
<b>W/Zk:</b>	0,53					
<b>Anmerkungen:</b>	keine					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	12,8	13,05	11,7	12,5	0,61
2	21,8	19,1	20,3	20,4	1,11
3	24,6	20,5	23,3	22,8	1,70
5	17,5	17,7	15,4	16,9	1,04
7	20,0	22,0	23,3	21,8	1,37
14	23,8	21,7	24,5	23,3	1,19
28	40,2	33,5	20,0	31,2	8,40

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	20,4	19,4	nB	19,9	0,50
2	14,3	14,6	24,0	17,6	4,50
3	19,1	19,3	16,3	18,2	1,37
5	21,3	26,5	12,9	20,2	5,60
7	13,5	15,8	16,3	15,2	1,22
14	16,3	15,9	22,1	18,1	2,83
28	30,9	33,0	29,3	31,1	1,53

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## SBT Serie 1

<b>Baustelle:</b>	SBT 3.1 Grautschenhof				
<b>Serie:</b>	1				
<b>Probenahmedatum:</b>	03.10.2018				
<b>Beschleuniger:</b>	7%				
<b>Festigkeitsklasse:</b>	Spc C20/25				
<b>Konsistenzklasse:</b>	-				
<b>W/Zk:</b>	0,72				
<b>Anmerkungen:</b>	keine				

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	9,9	10,7	9,1	9,9	0,65
2	13,2	13,6	15,9	14,2	1,19
3	15,6	13,0	16,6	15,1	1,52
5	16,8	18,2	17,7	17,6	0,58
7	17,1	17,5	20,6	18,4	1,56
14	24,7	21,0	22,4	22,7	1,53
28	20,5	30,2	29,2	26,6	4,36

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	20,4	19,4	nB	19,9	0,50
2	14,3	14,6	24,0	17,6	4,50
3	19,1	19,3	16,3	18,2	1,37
5	21,3	26,5	12,9	20,2	5,60
7	13,5	15,8	16,3	15,2	1,22
14	16,3	15,9	22,1	18,1	2,83
28	28,5	17,2	11,7	19,1	6,99

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## SBT Serie 2

<b>Baustelle:</b>	SBT 3.1 Grautschenhof					
<b>Serie:</b>	2					
<b>Probenahmedatum:</b>	10.10.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	7%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	Spc C20/25					
<b>Konsistenzklasse:</b>	-					
<b>W/Zk:</b>	0,72					
<b>Anmerkungen:</b>	keine					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	12,2	13,3	10,7	12,1	1,07
2	11,4	13,1	13,8	12,8	1,01
3	13,2	14,0	12,4	13,2	0,65
5	13,7	11,9	14,2	13,3	0,99
7	15,0	19,9	16,0	17,0	2,11
14	15,7	16,4	17,1	16,4	0,57
28	21,3	18,4	22,0	20,6	1,56

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	26,4	24,5	24,4	25,1	0,92
2	20,4	23,8	22,2	22,1	1,39
3	24,4	25,8	19,8	23,3	2,56
5	22,9	21,8	23,6	22,8	0,74
7	23,0	29,3	22,0	24,8	3,23
14	28,3	25,1	33,0	28,8	3,24
28	30,2	29,8	29,3	29,8	0,37

# Ergebnisse der einaxialen Druckversuche

## SBT Serie 3

<b>Baustelle:</b>	SBT 3.1 Grautschenhof					
<b>Serie:</b>	3					
<b>Probenahmedatum:</b>	31.10.2018					
<b>Beschleuniger:</b>	7%					
<b>Festigkeitsklasse:</b>	Spc C20/25					
<b>Konsistenzklasse:</b>	-					
<b>W/Zk:</b>	0,72					
<b>Anmerkungen:</b>	keine					

Entwicklung UCS:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	10,4	12,1	8,4	10,3	1,51
2	13,5	12,6	12,9	13,0	0,37
3	17,0	16,7	14,3	16,0	1,21
5	17,6	16,2	16,9	16,9	0,57
7	19,4	21,5	17,3	19,4	1,71
14	22,5	27,7	22,6	24,3	2,41
28	30,0	25,4	24,0	26,5	2,57

Entwicklung E-Modul:

Alter	Versuch			Mittelwert	Standardabw.
	1	2	3		
Tage	GPa	GPa	GPa	GPa	GPa
1	20,3	23,2	17,8	20,4	2,21
2	24,8	22,4	24,0	23,7	1,00
3	25,4	25,3	24,0	24,9	0,64
5	27,3	26,8	23,6	25,9	1,64
7	27,6	33,1	28,5	29,7	2,41
14	30,5	33,8	25,1	29,8	3,59
28	36,0	36,5	27,1	33,2	4,30

# Anhang

# B

# Diagramme

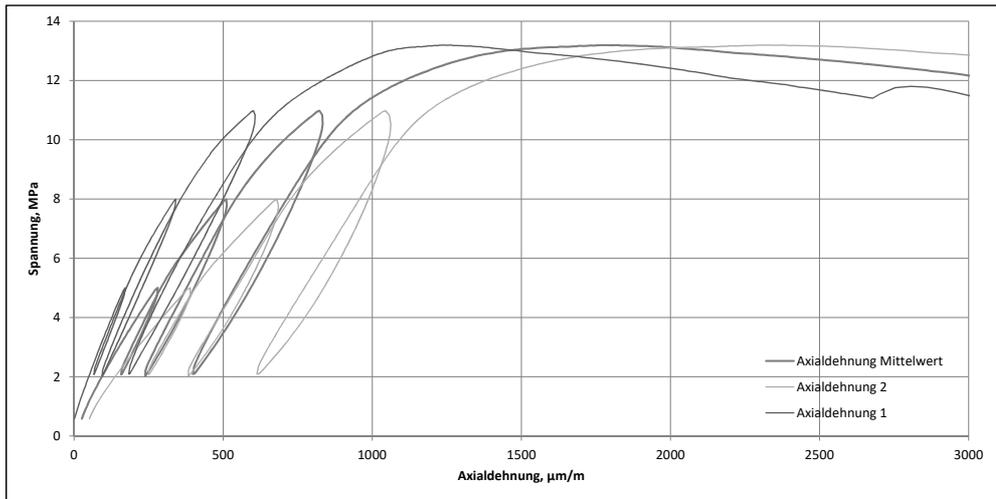
## Inhaltsverzeichnis

Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 1 vom ZaB:.....	1
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 2 vom ZaB:.....	10
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 3 vom ZaB.....	20
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 4 vom ZaB.....	29
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 7 vom ZaB.....	37
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 8 vom ZaB.....	48
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 9 vom ZaB.....	59
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 1 vom SBT.....	70
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 2 vom SBT.....	81
Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 3 vom SBT.....	92

# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 1 vom ZaB:

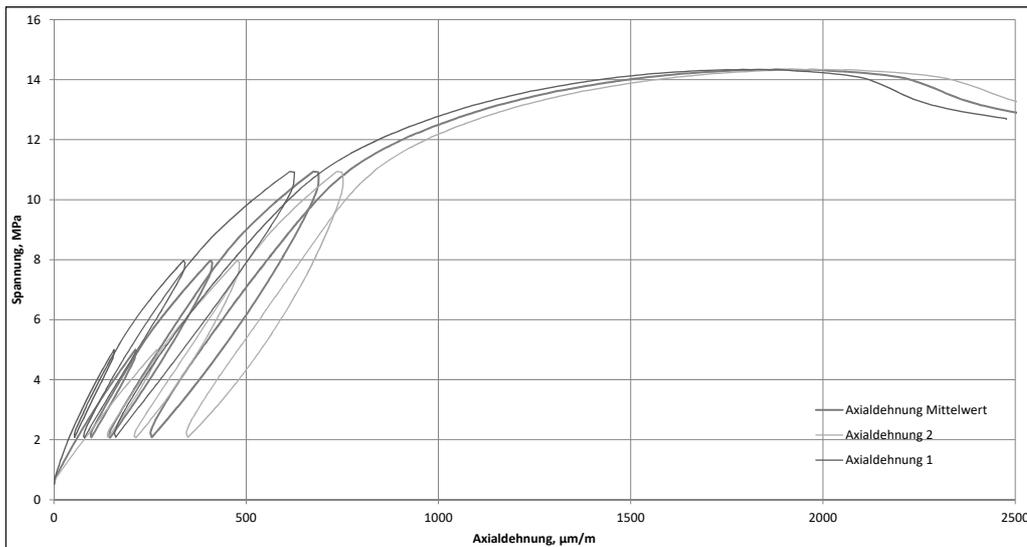
## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_11		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	21.06.2018 11:36:28	UCS	13,2 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	22,3 GPa



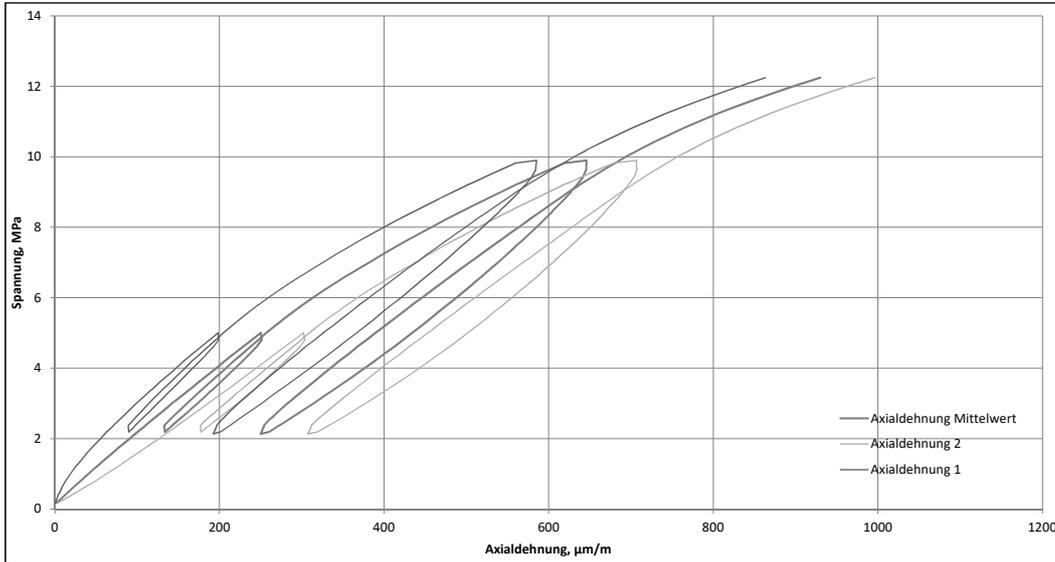
## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_13		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	21.06.2018 11:11:42	UCS	14,3 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	23,0 GPa



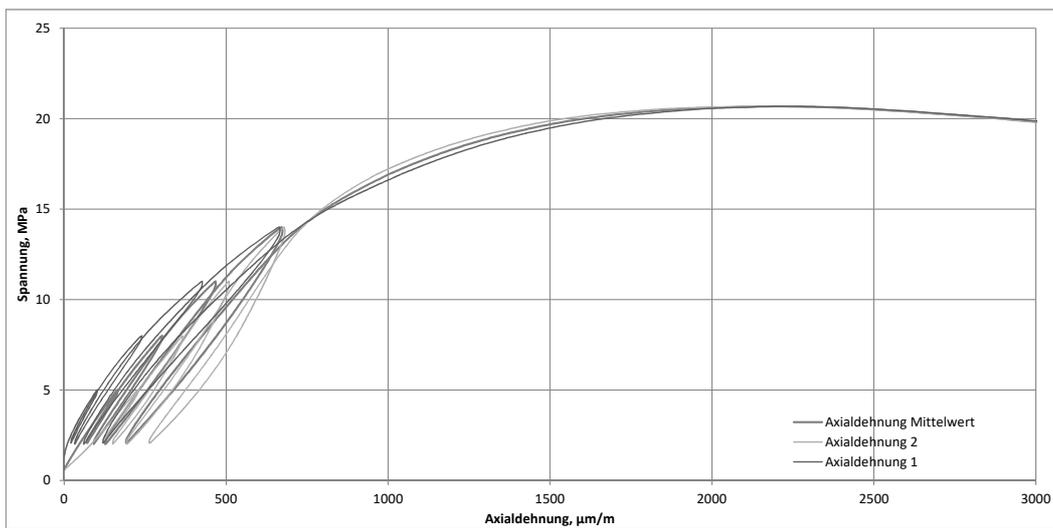
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_12		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	21.06.2018 10:46:04	UCS	nB MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	21,9 GPa



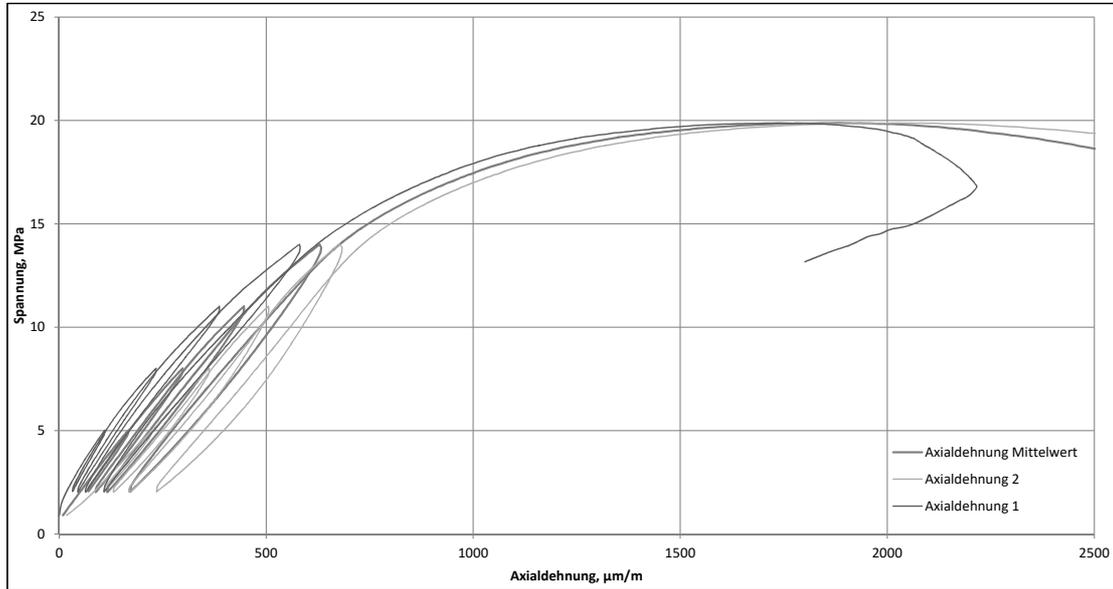
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_17		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.06.2018 11:14:48	UCS	20,7 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	27,6 GPa



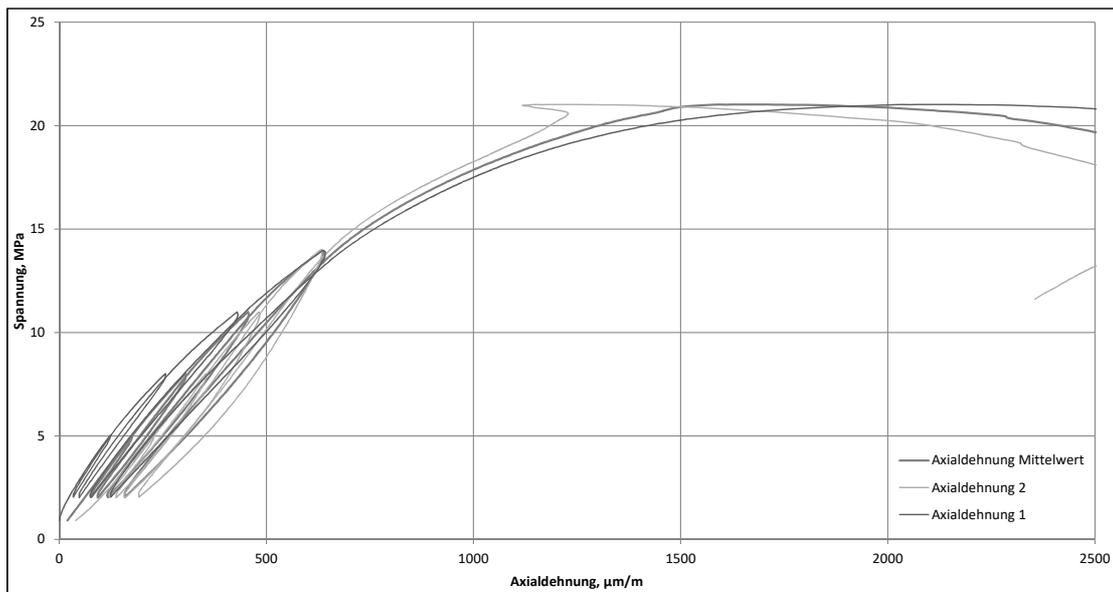
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_18		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.06.2018 12:08:23	UCS	19,9 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	28,1 GPa



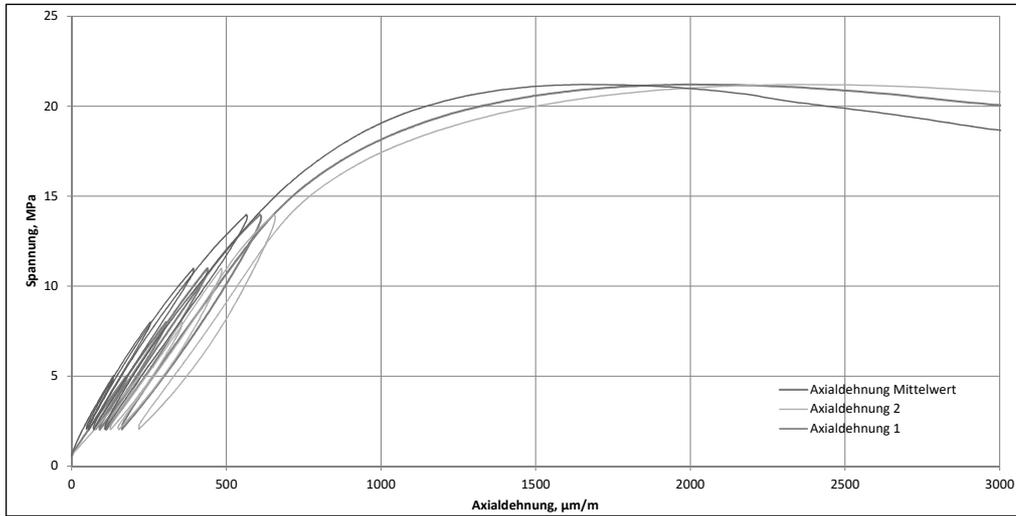
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_19		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.06.2018 11:44:48	UCS	21,0 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	27,5 GPa



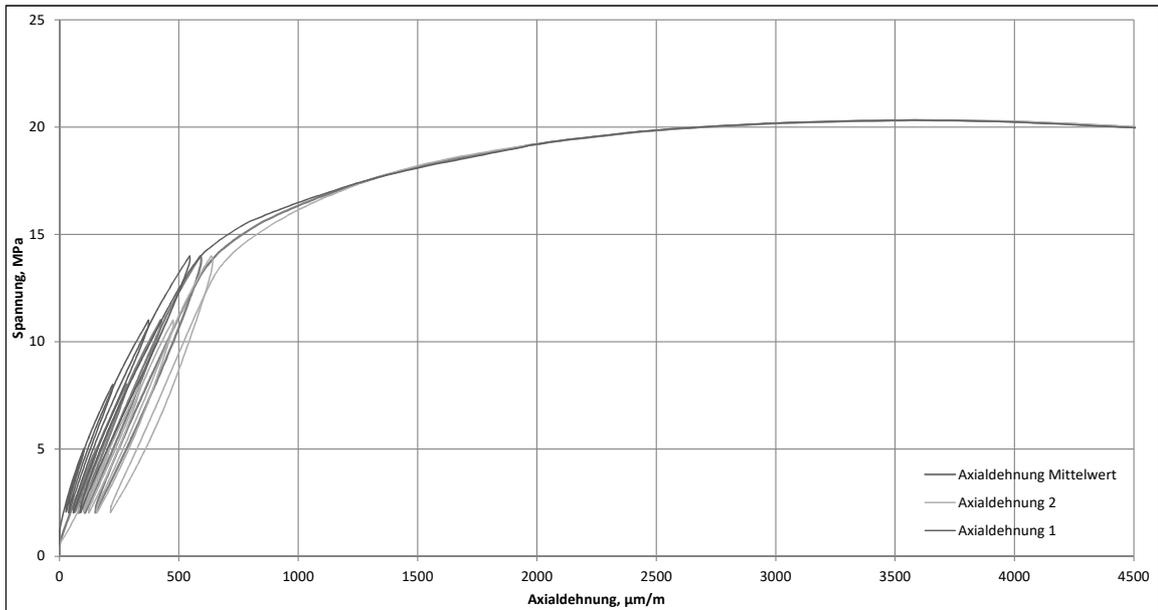
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_14		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.06.2018 11:23:53	UCS	21,2 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	27,8 GPa



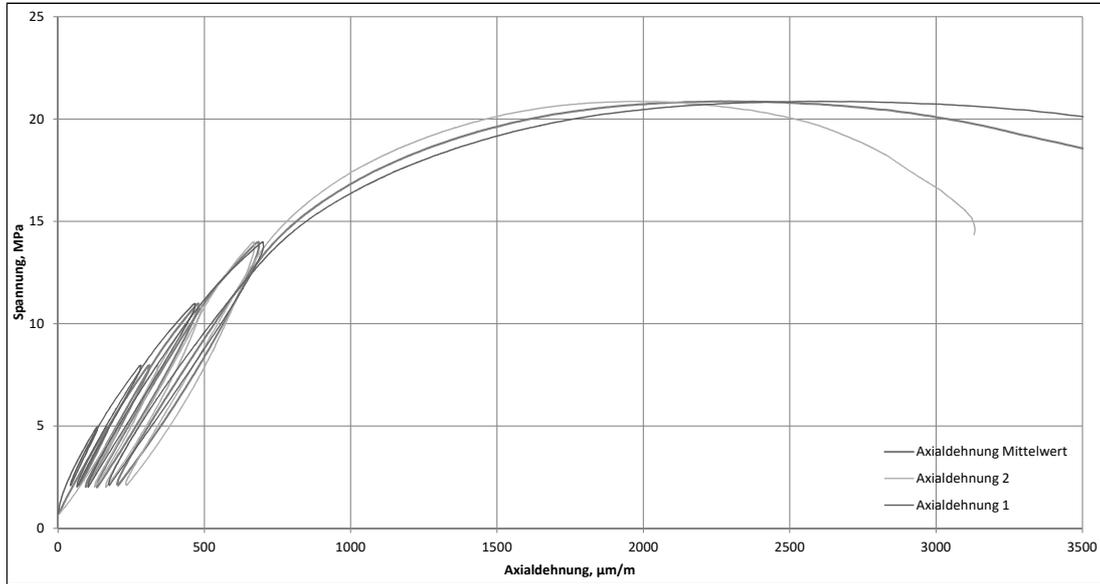
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_15		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.06.2018 11:42:53	UCS	20,3 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	29,5 GPa



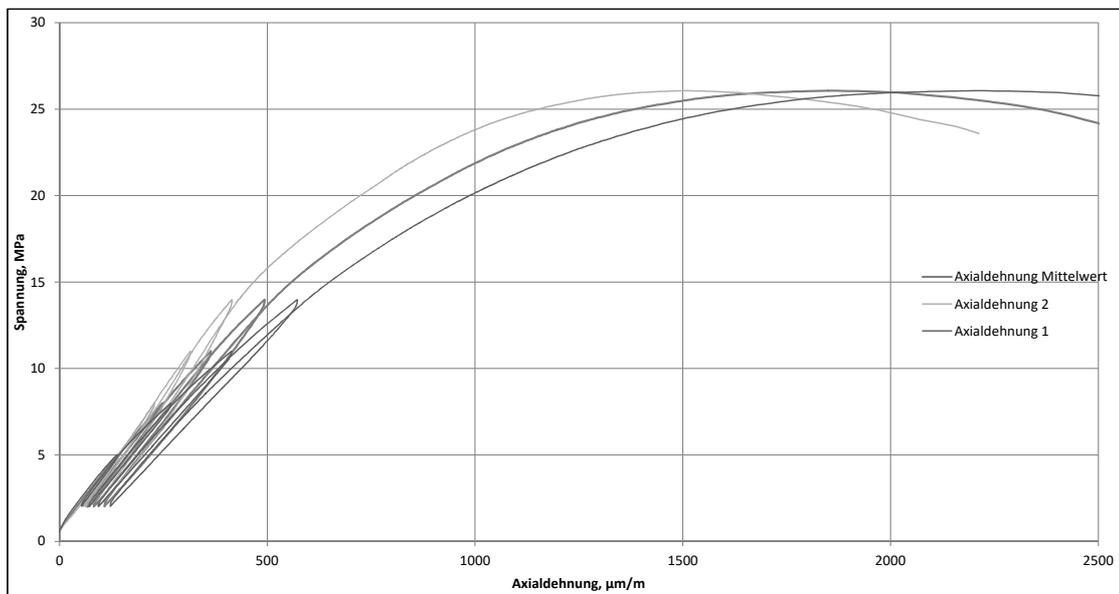
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b> SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_16			
<b>Versuchsart:</b> einaxialer Druckversuch			
<b>Datum:</b> 23.06.2018 12:01:34	<b>UCS</b>	20,9 MPa	
<b>Probenalter:</b> 72 h	<b>E-Modul</b>	26,8 GPa	



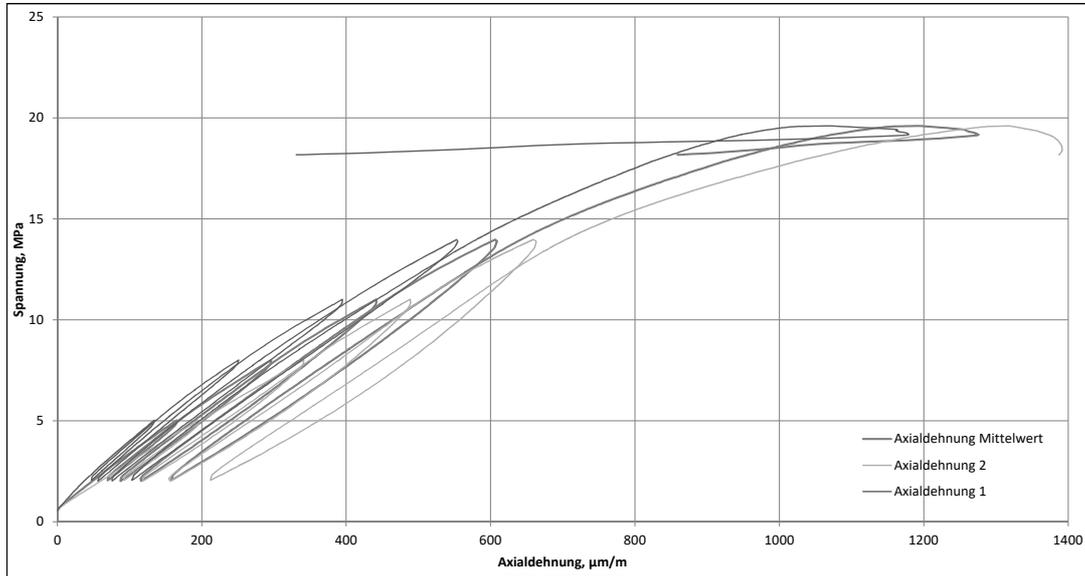
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b> SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_1			
<b>Versuchsart:</b> einaxialer Druckversuch			
<b>Datum:</b> 25.06.2018 13:02	<b>UCS</b>	26,1 MPa	
<b>Probenalter:</b> 120 h	<b>E-Modul</b>	32,6 GPa	



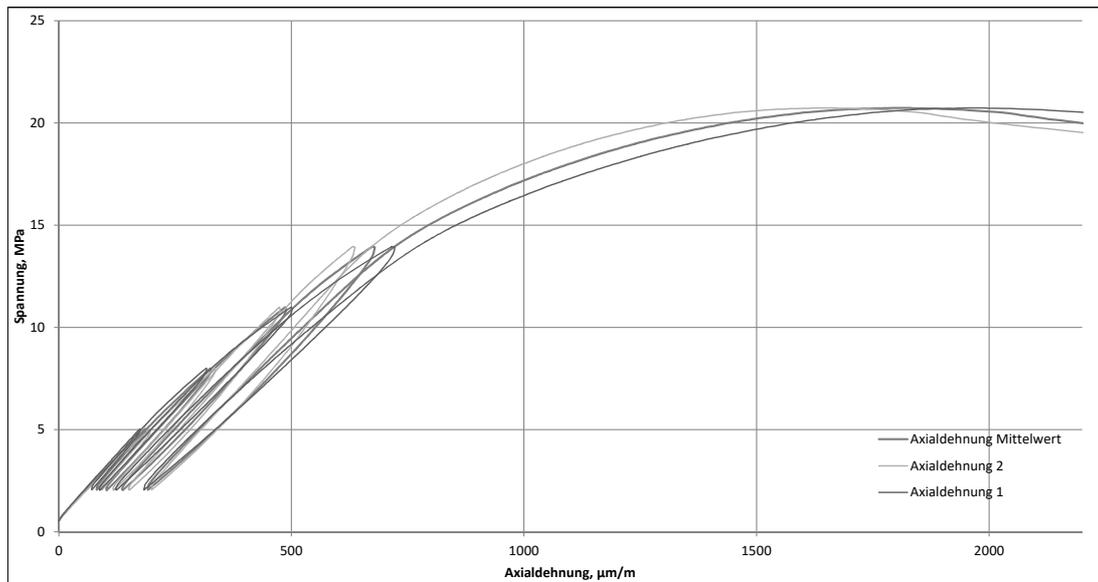
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_2		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	25.06.2018 12:42:02	UCS	19,6 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	28,4 GPa



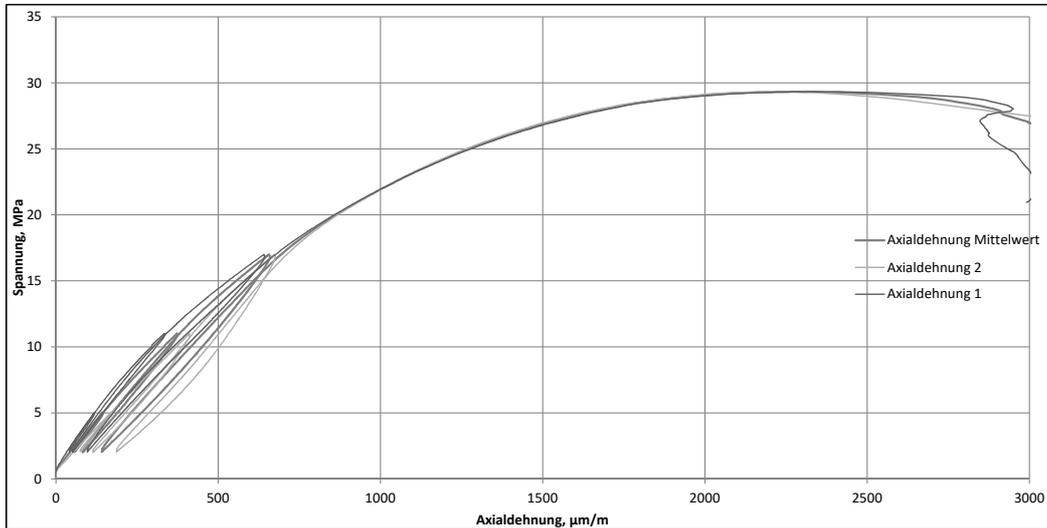
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_3		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	25.06.2018 12:17:28	UCS	20,7 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	26,4 GPa



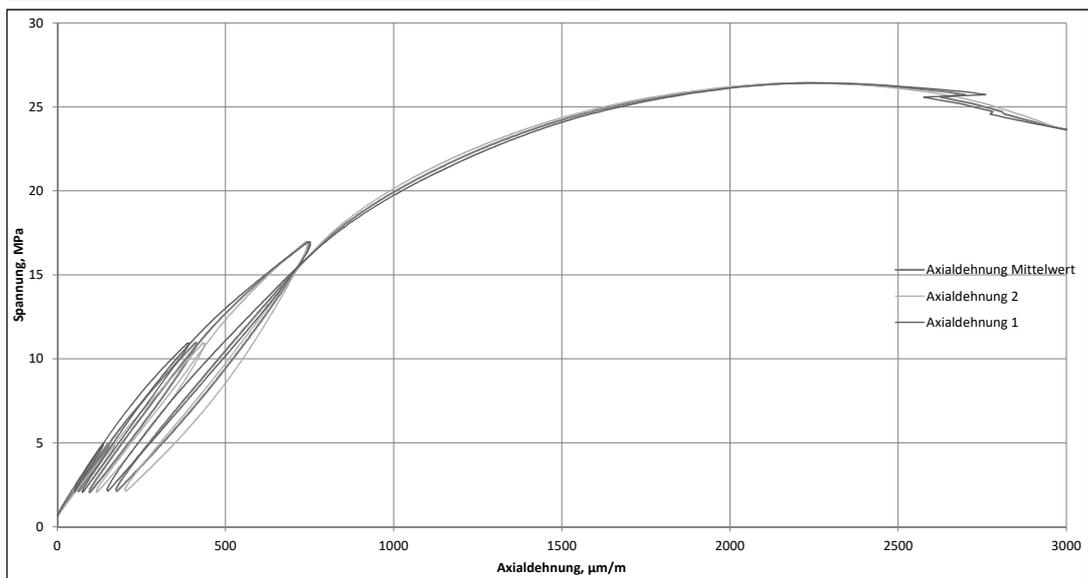
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_4		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	27.06.2018 13:57:34	UCS	29,3 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	31,5 GPa



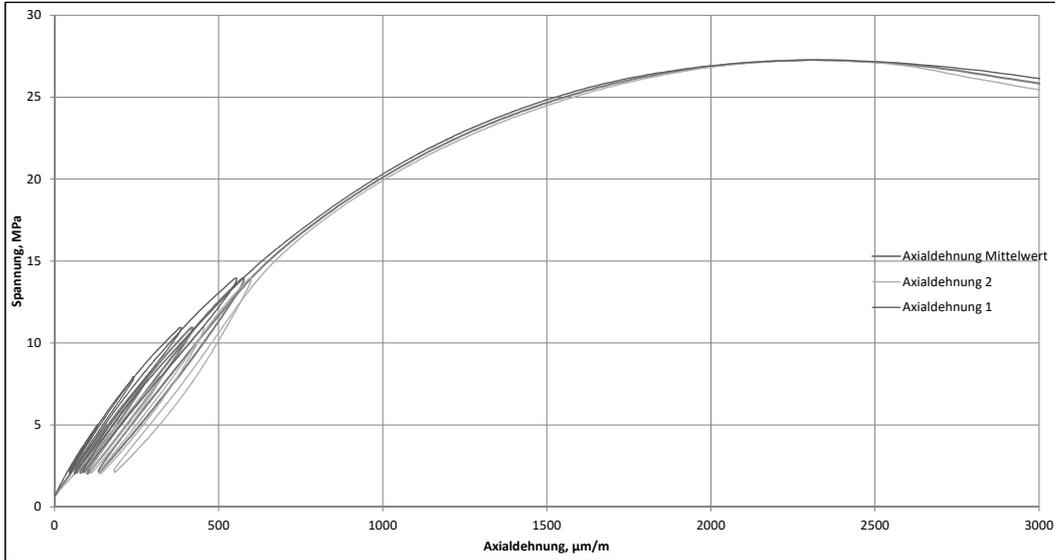
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_5		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	27.06.2018 13:37:55	UCS	26,4 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	28,9 GPa



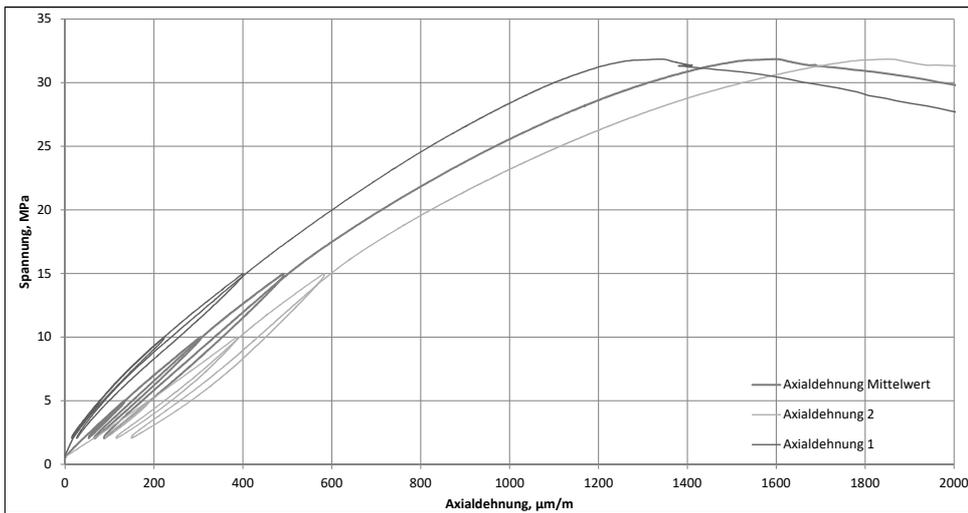
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_6		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	27.06.2018 13:18:08	UCS	27,3 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	29,0 GPa



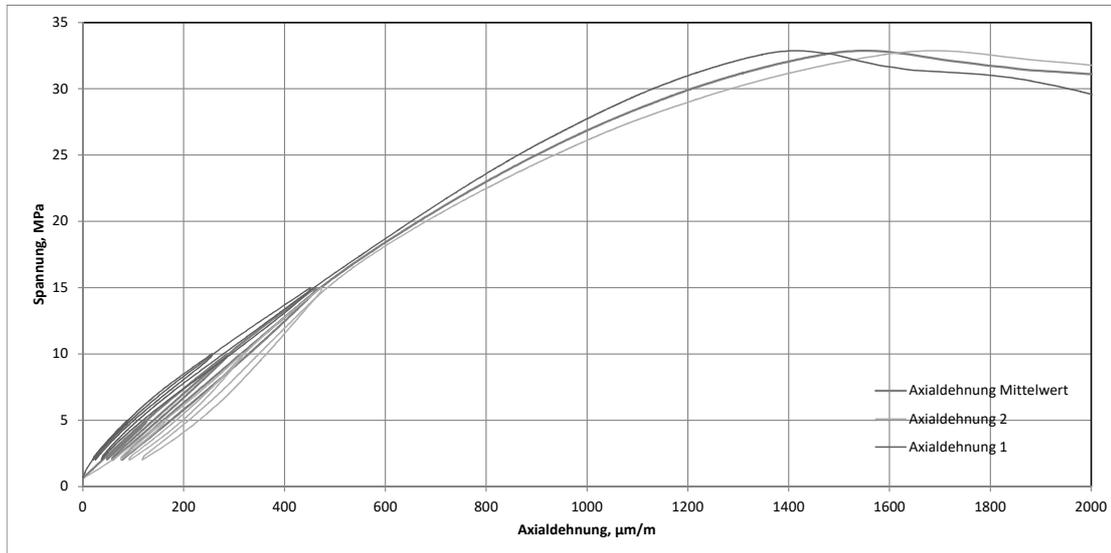
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_7		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	18.07.2018 17:00:43	UCS	31,8 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	34,0 GPa



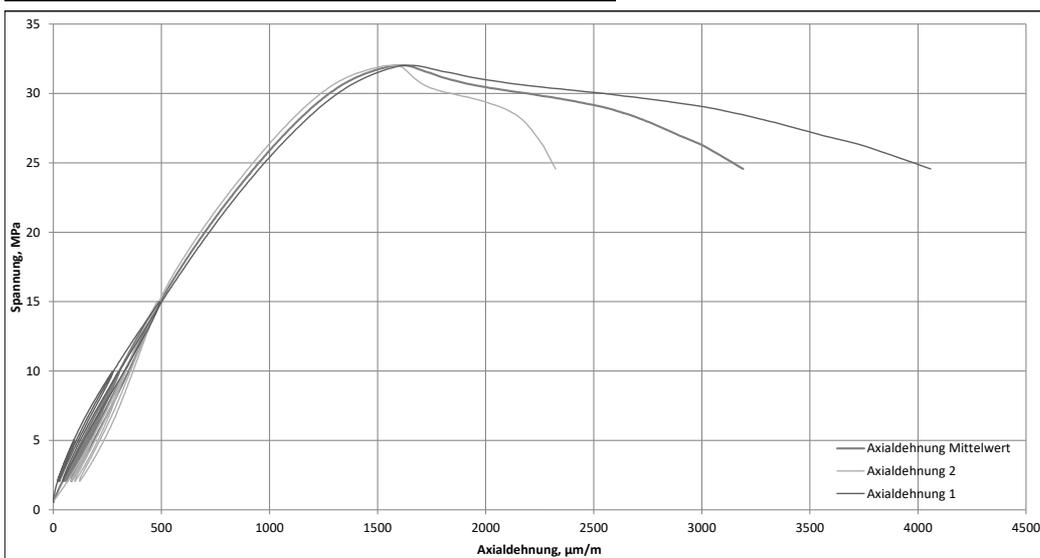
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_1_8		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	18.07.2018 16:25:27	UCS	32,9 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	35,5 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

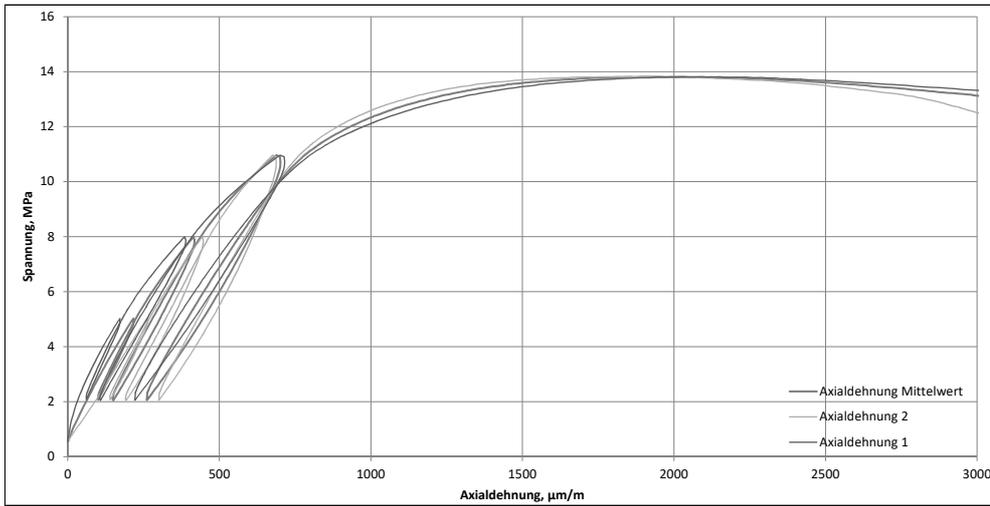
Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie1_9		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	18.07.2018 16:44:26	UCS	32,0 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	33,7 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 2 vom ZaB:

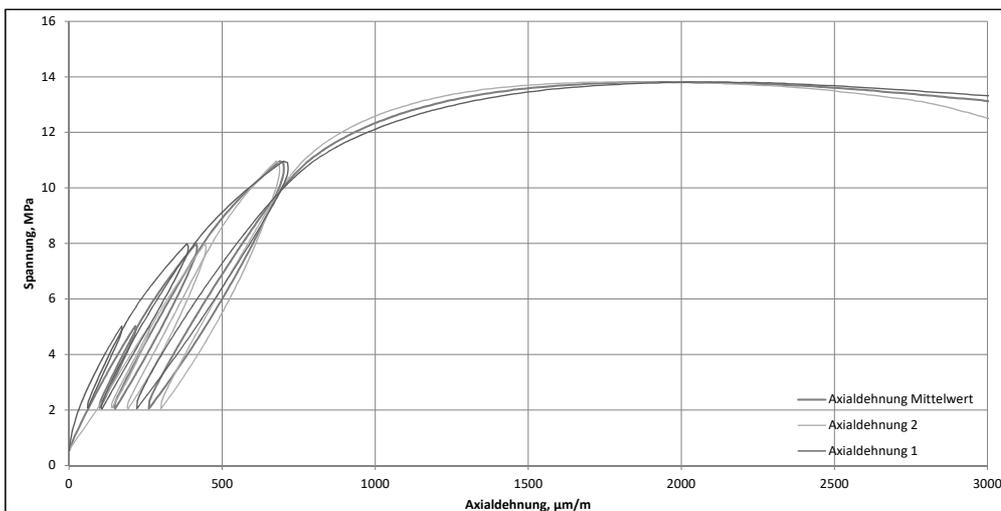
## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_1		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	03.07.2018 12:28:17	UCS:	13,8 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul:	22,9 GPa



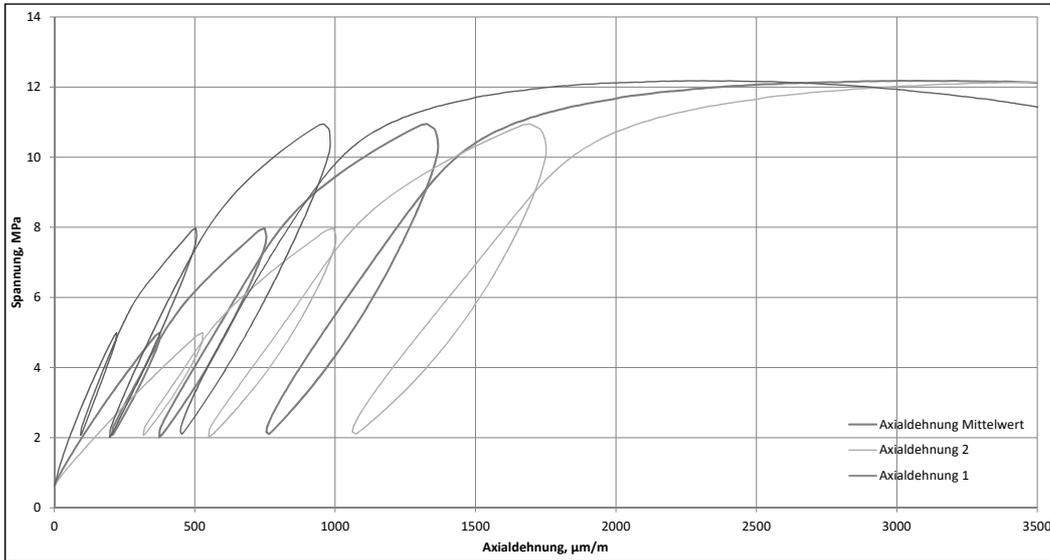
## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_1		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	03.07.2018 12:28:17	UCS:	13,8 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul:	22,9 GPa



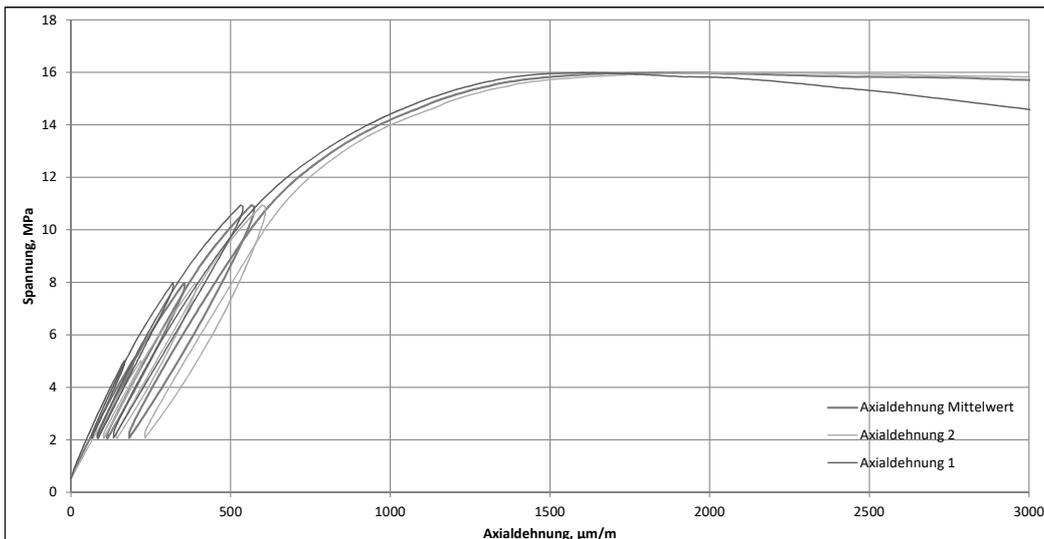
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_3		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	03.07.2018 13:15:00	UCS	12,2 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	16,3 GPa



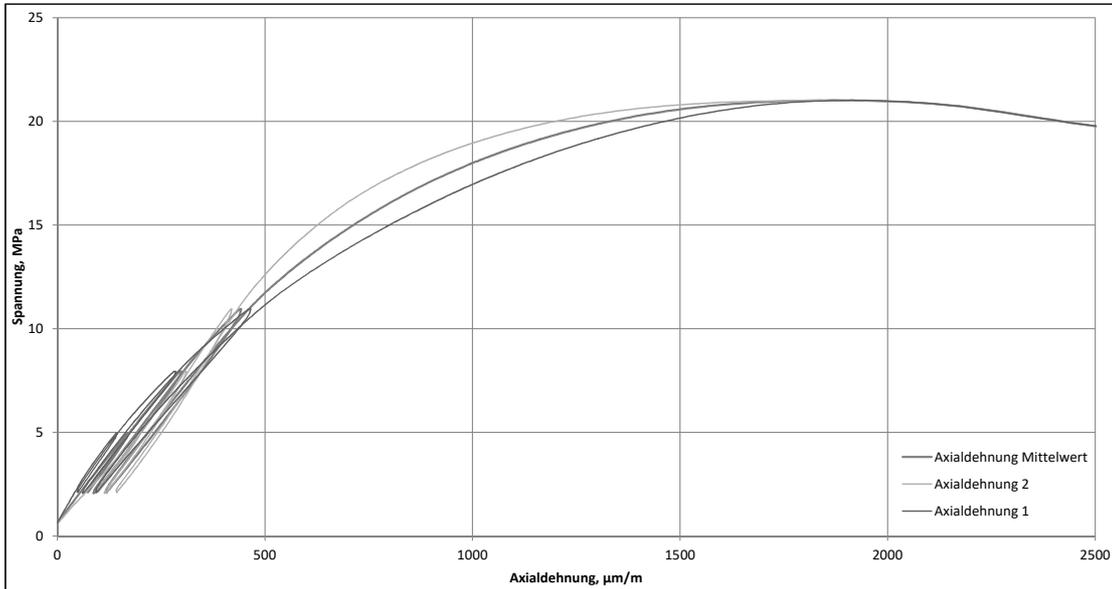
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_19		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	04.07.2018 13:02:46	UCS	16,0 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	24,9 GPa



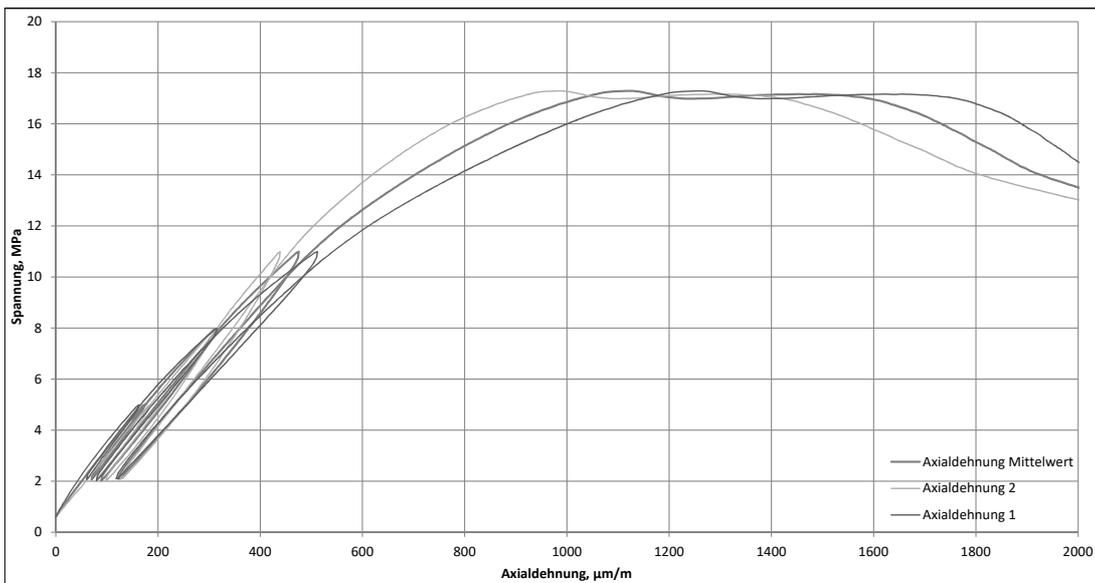
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_20		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	04.07.2018 13:19:54	UCS	21,0 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	28,4 GPa



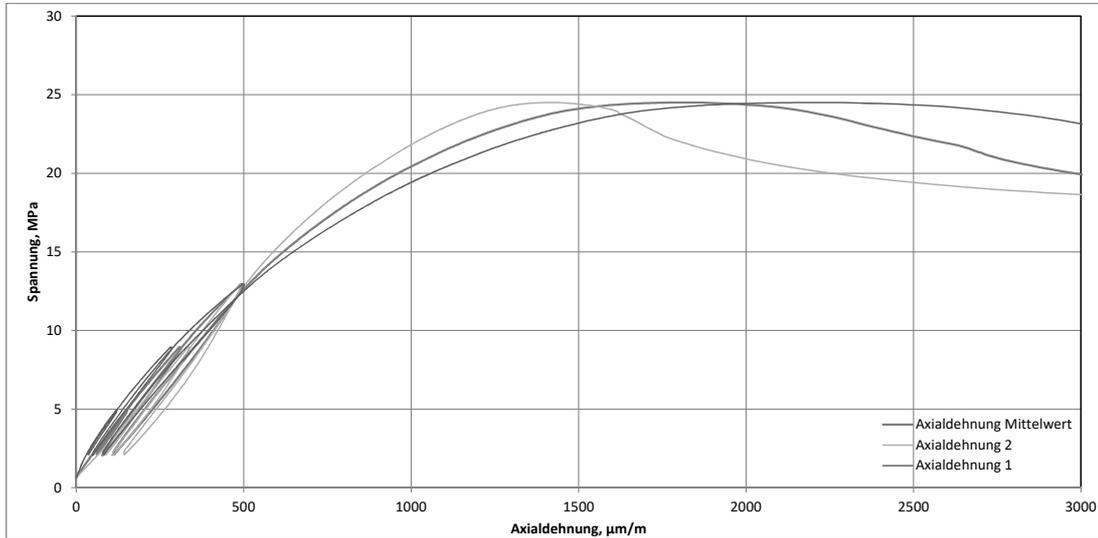
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_21		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	04.07.2018 15:04:27	UCS	17,3 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	26,7 GPa



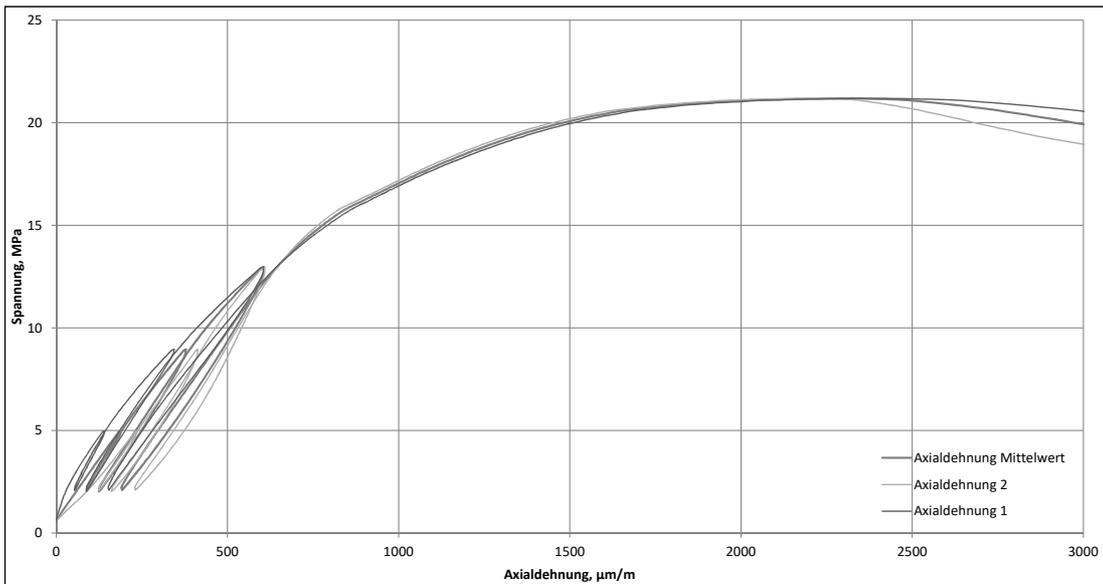
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_16		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	05.07.2018 13:20:10	<b>UCS</b>	24,5 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	30,3 GPa



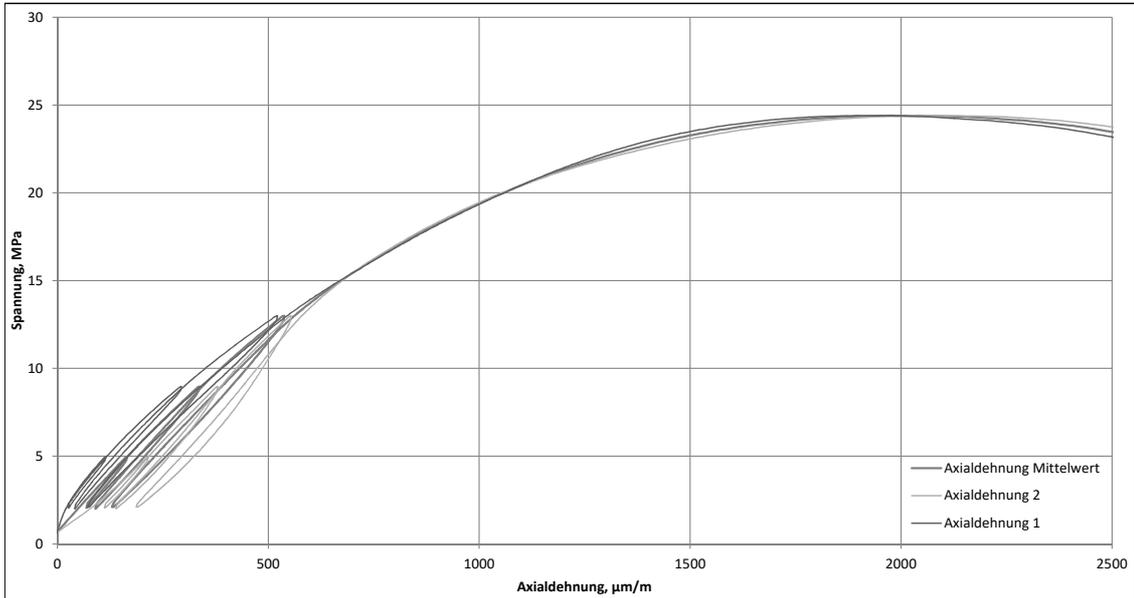
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_17		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	05.07.2018 12:46:43	<b>UCS</b>	21,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	27,4 GPa



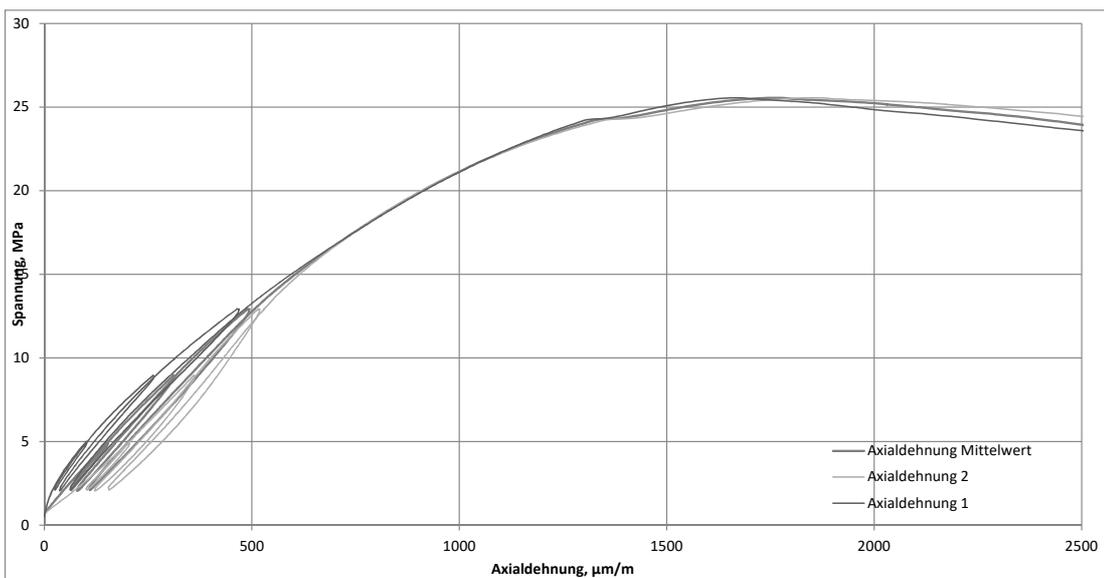
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_18		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	05.07.2018 13:03:27	UCS	24,4 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	28,3 GPa



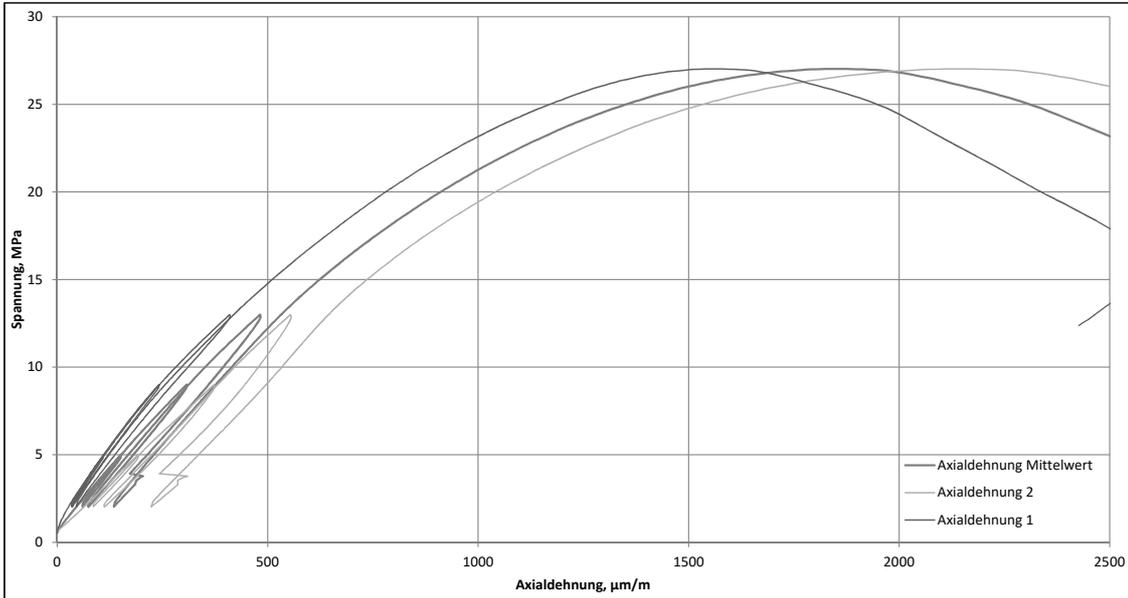
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_13		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.07.2018 13:24:08	UCS	25,6 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	30,5 GPa



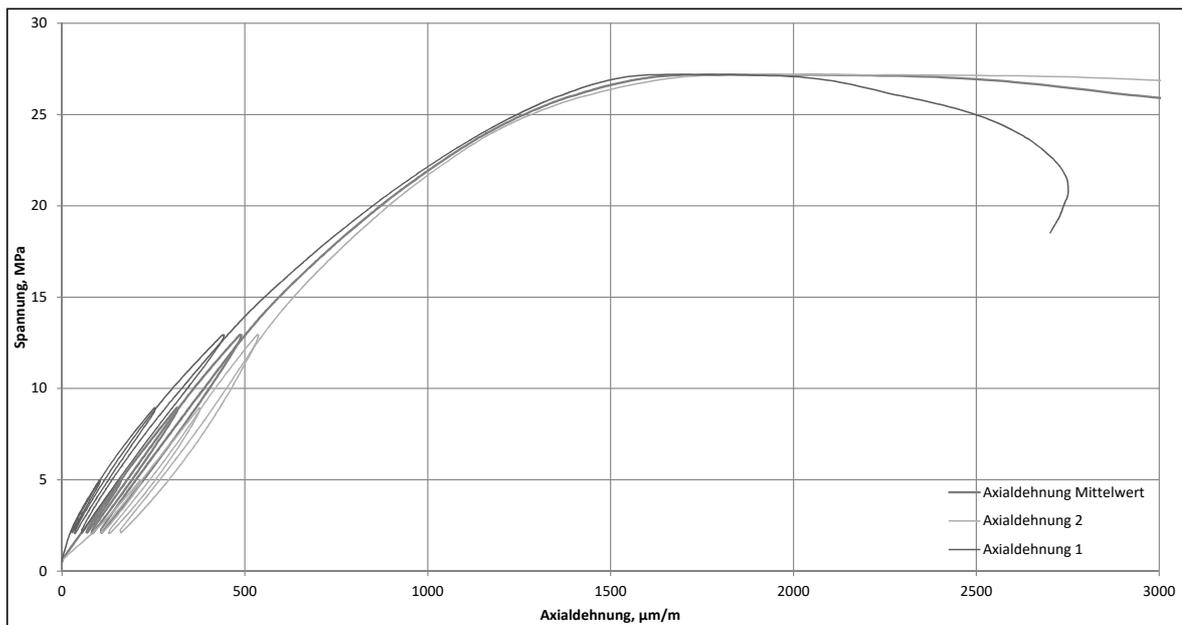
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_14		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.07.2018 13:07:28	UCS	27,0 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	31,2 GPa



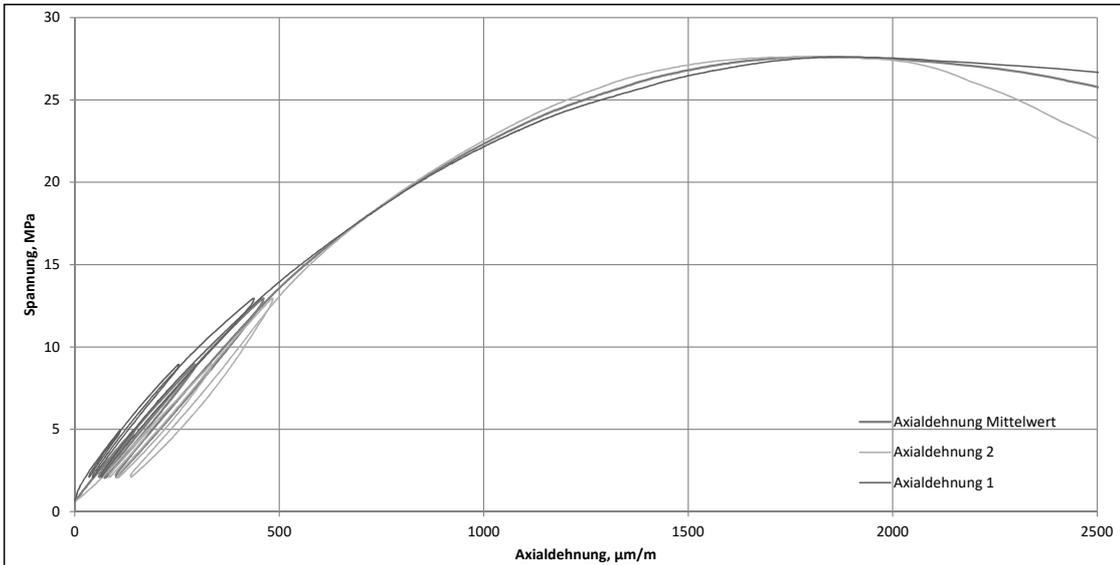
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_15		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.07.2018 12:48:29	UCS	27,2 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	30,2 GPa



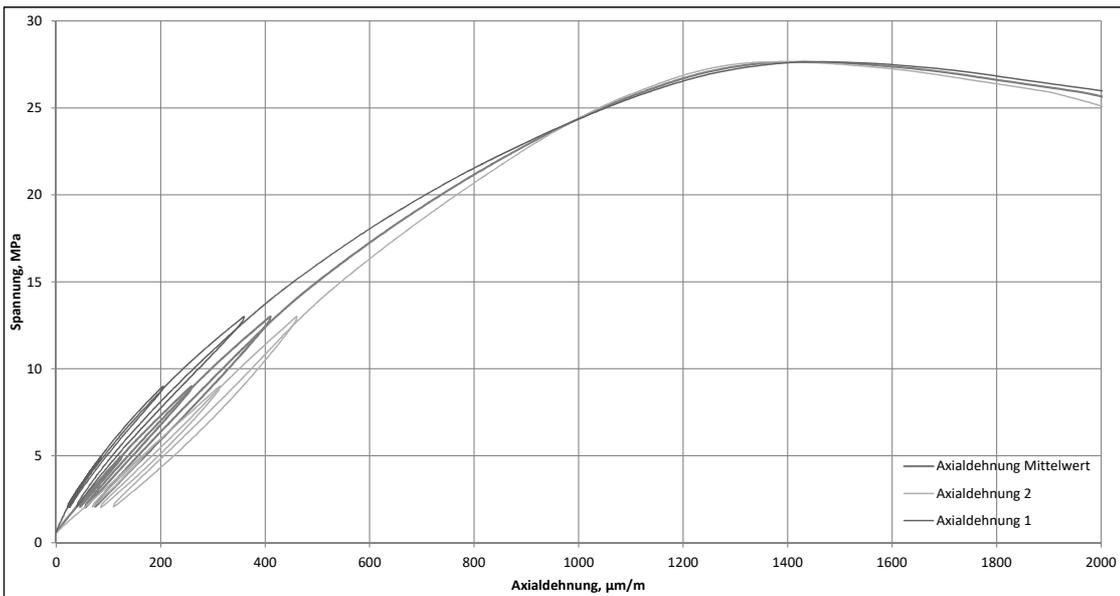
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b> SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_10			
<b>Versuchsart:</b> einaxialer Druckversuch			
<b>Datum:</b> 09.07.2018 11:57:08	<b>UCS</b>	27,6 MPa	
<b>Probenalter:</b> 168 h	<b>E-Modul</b>	31,8 GPa	



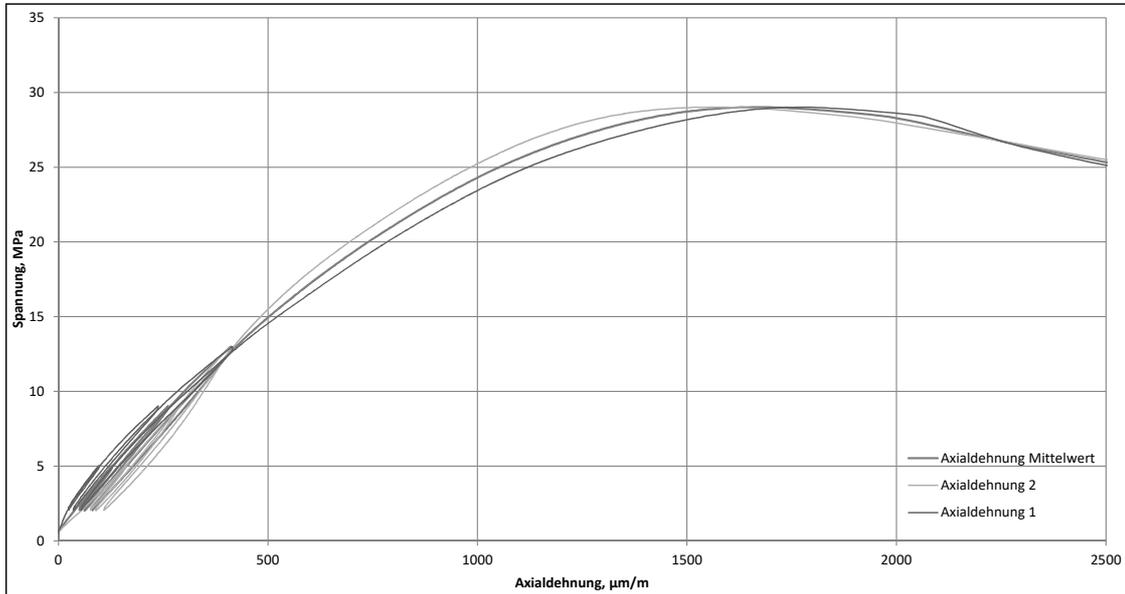
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b> SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_11			
<b>Versuchsart:</b> einaxialer Druckversuch			
<b>Datum:</b> 09.07.2018 12:21:06	<b>UCS</b>	27,7 MPa	
<b>Probenalter:</b> 168 h	<b>E-Modul</b>	34,4 GPa	



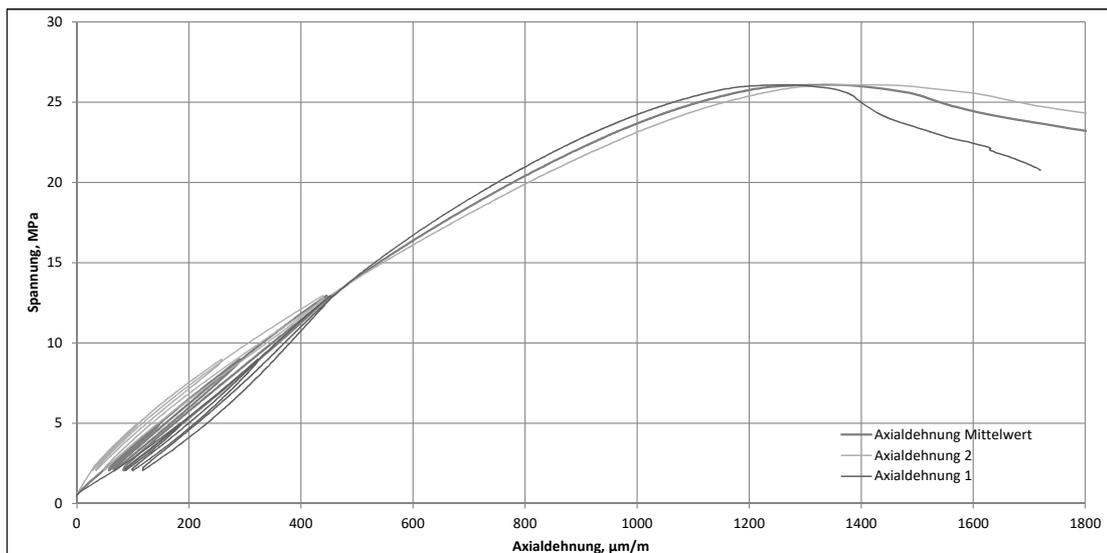
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_12		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	09.07.2018 12:38:39	UCS:	29,0 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul:	35,3 GPa



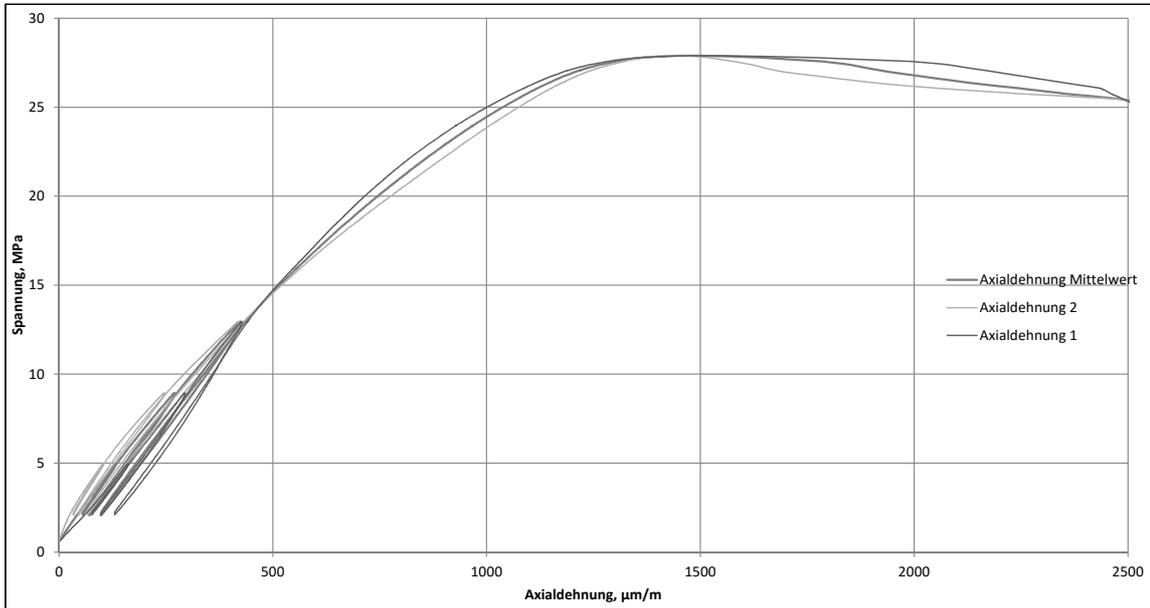
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_6		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	16.07.2018 14:54:28	UCS:	26,1 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul:	31,3 GPa



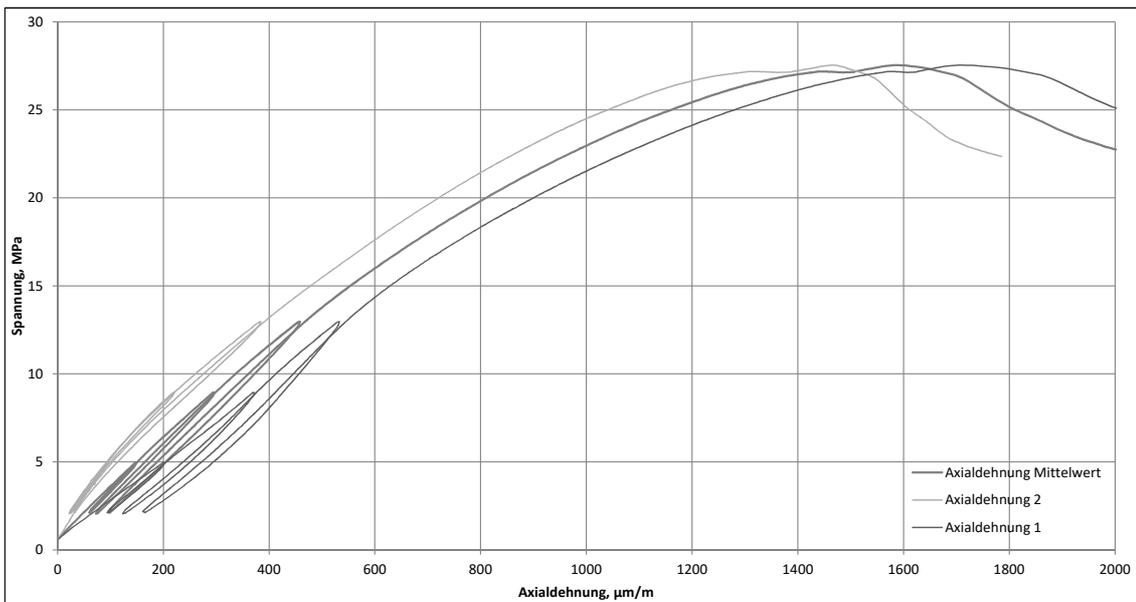
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_7		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	16.07.2018 15:11:34	UCS	27,9 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	35,4 GPa



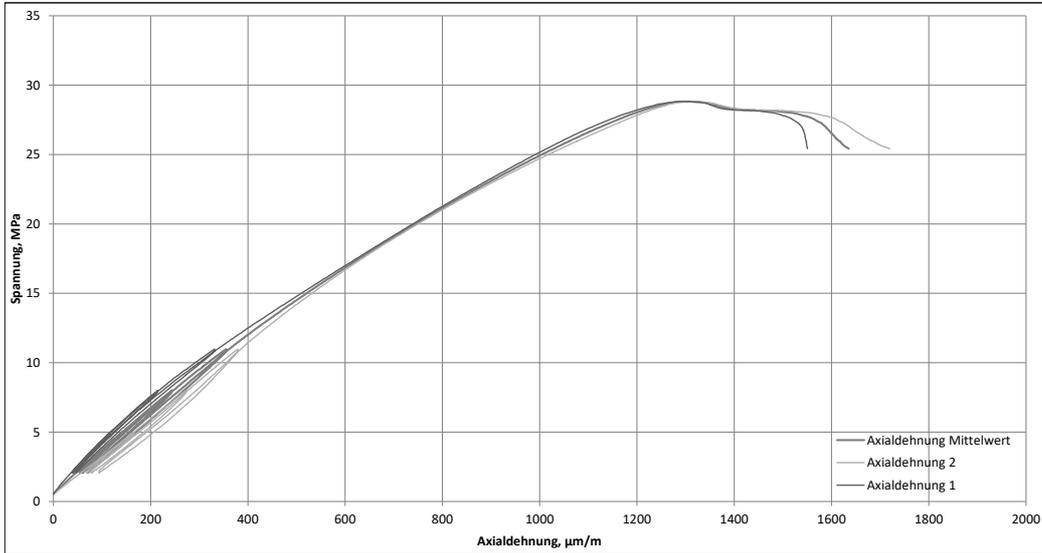
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_2_8		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	16.07.2018 15:27:21	UCS	27,5 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	31,4 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

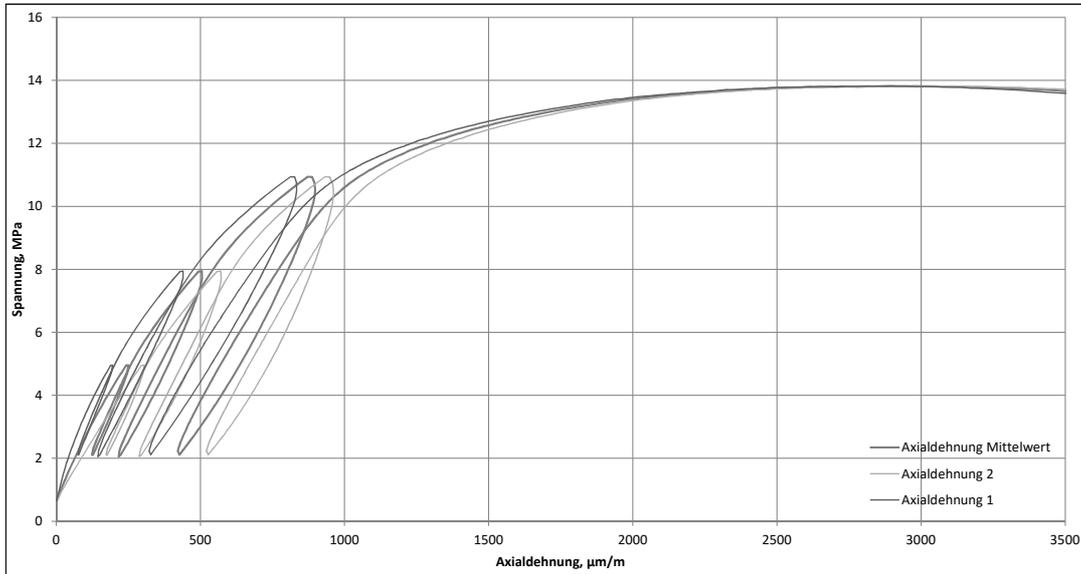
Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie2_30		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	30.07.2018 11:57:51	UCS	28,8 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	32,4 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 3 vom ZaB

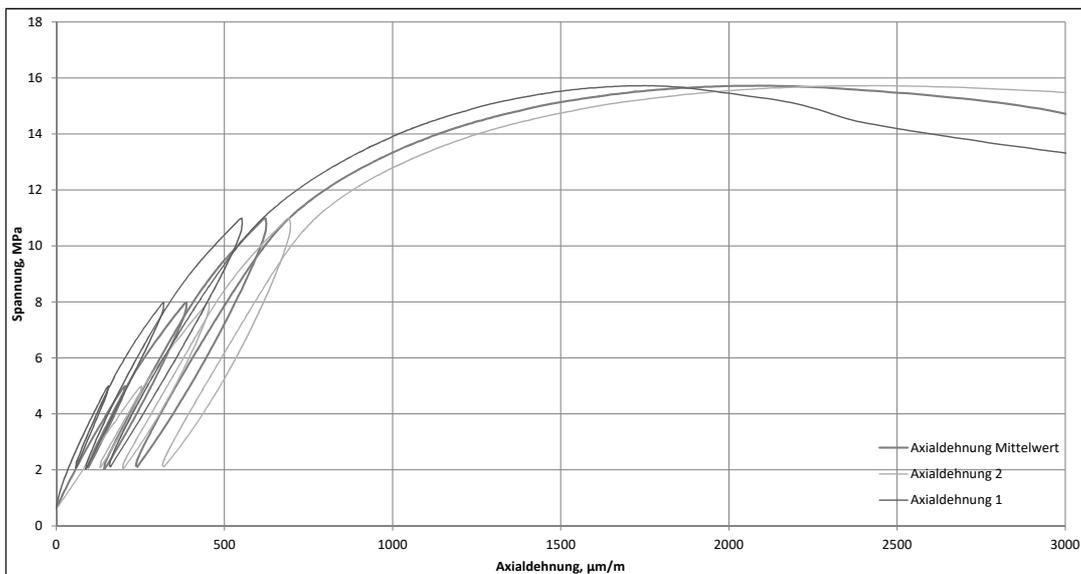
## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_15		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	20.07.2018 12:16:01	UCS	13,8 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	21,6 GPa



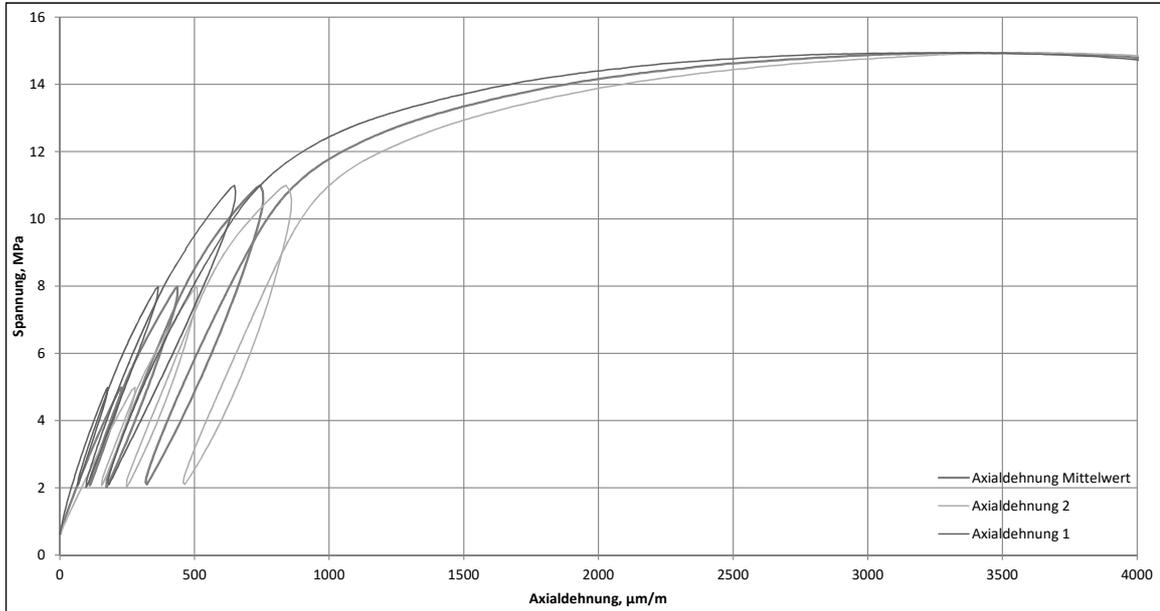
## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_16		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	20.07.2018 12:00:46	UCS	15,7 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	24,7 GPa



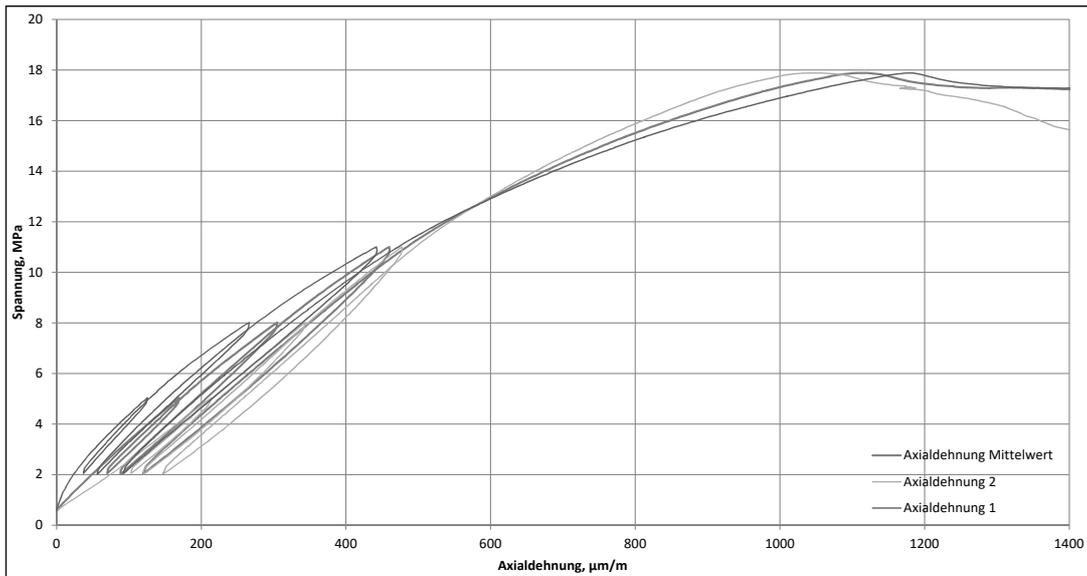
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_17		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	20.07.2018 11:42:33	UCS	14,9 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	22,8 GPa



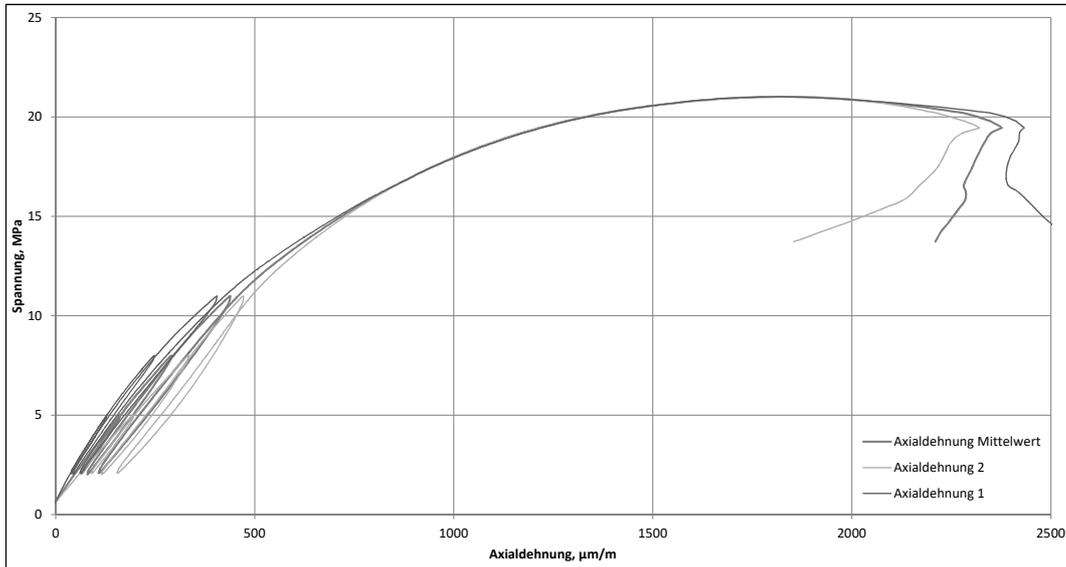
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_12		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.07.2018 11:47:02	UCS	17,3 MPa
Probenalter:	96 h	E-Modul	28,0 GPa



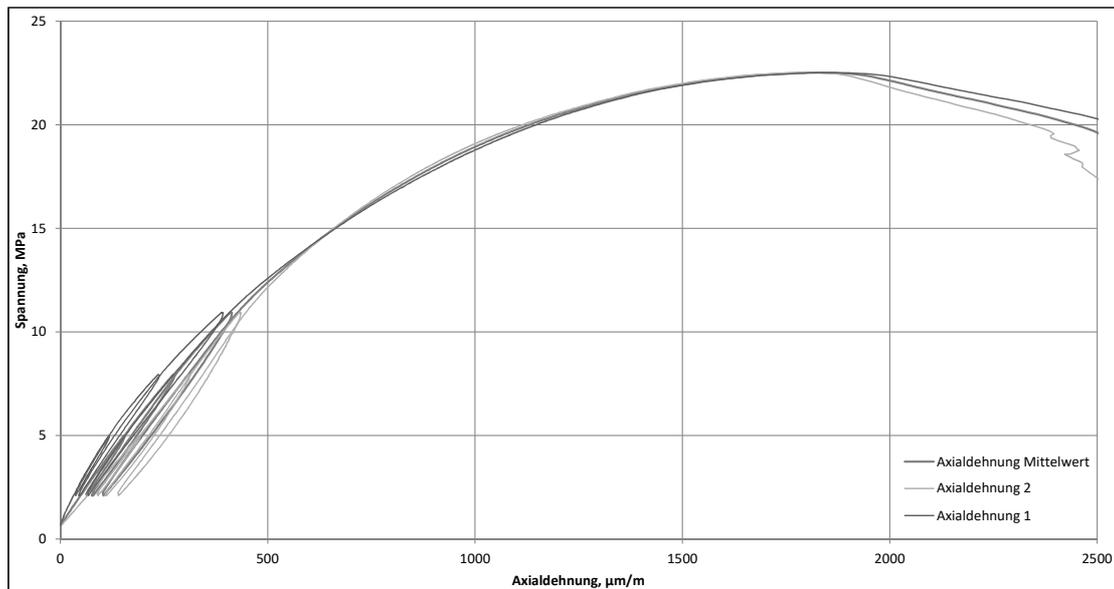
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_13		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.07.2018 12:02:42	UCS	21,0 MPa
Probenalter:	96 h	E-Modul	28,5 GPa



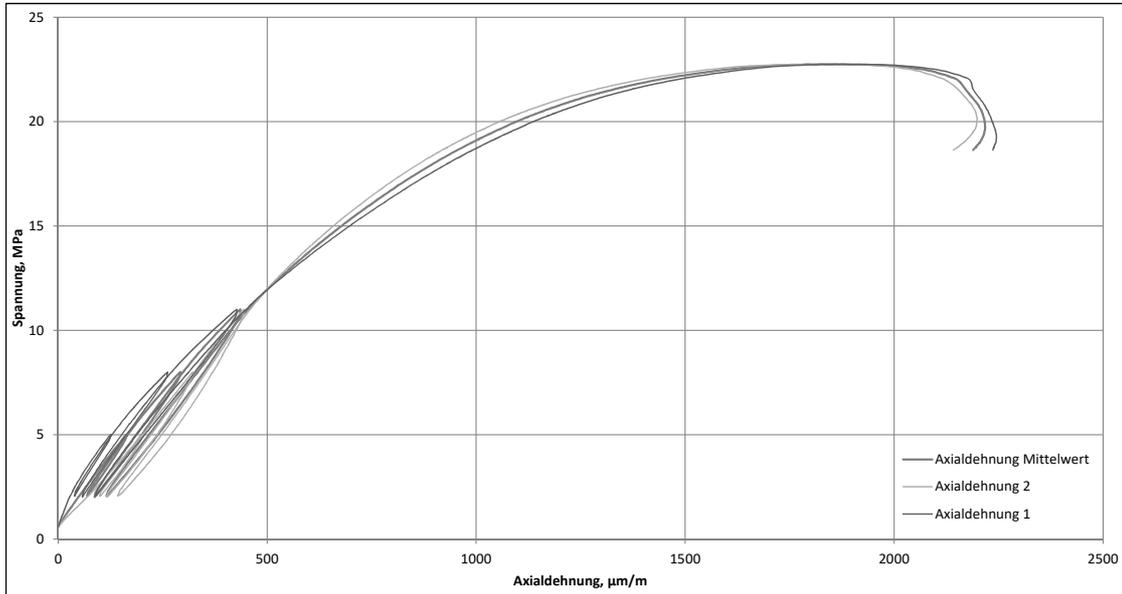
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_14		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.07.2018 12:18:19	UCS	22,5 MPa
Probenalter:	96 h	E-Modul	30,4 GPa



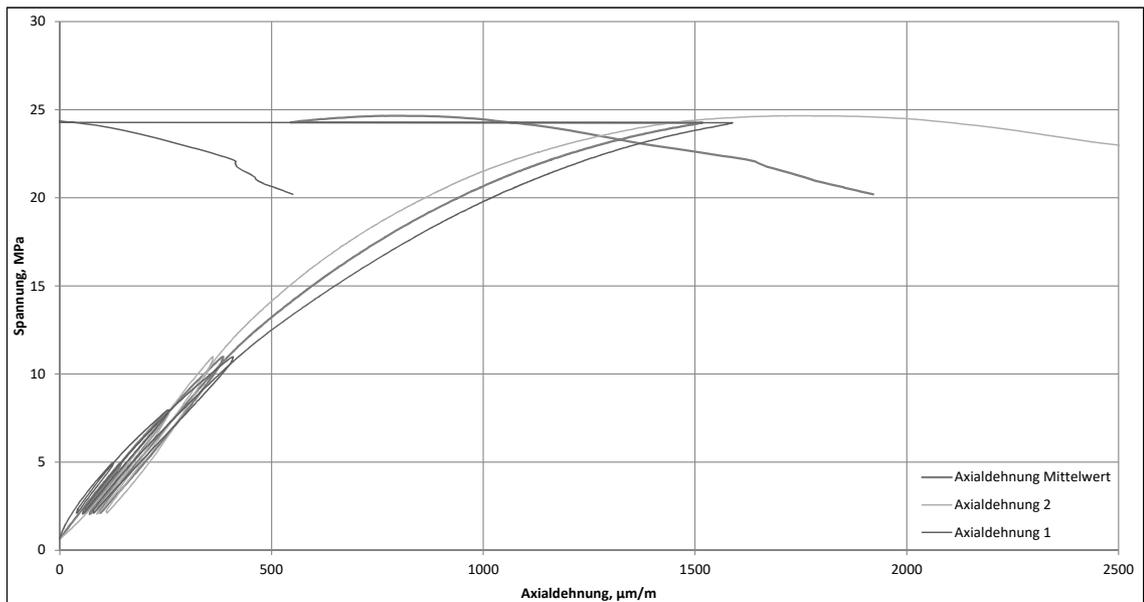
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_9		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.07.2018 12:04:03	UCS	22,7 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	29,4 GPa



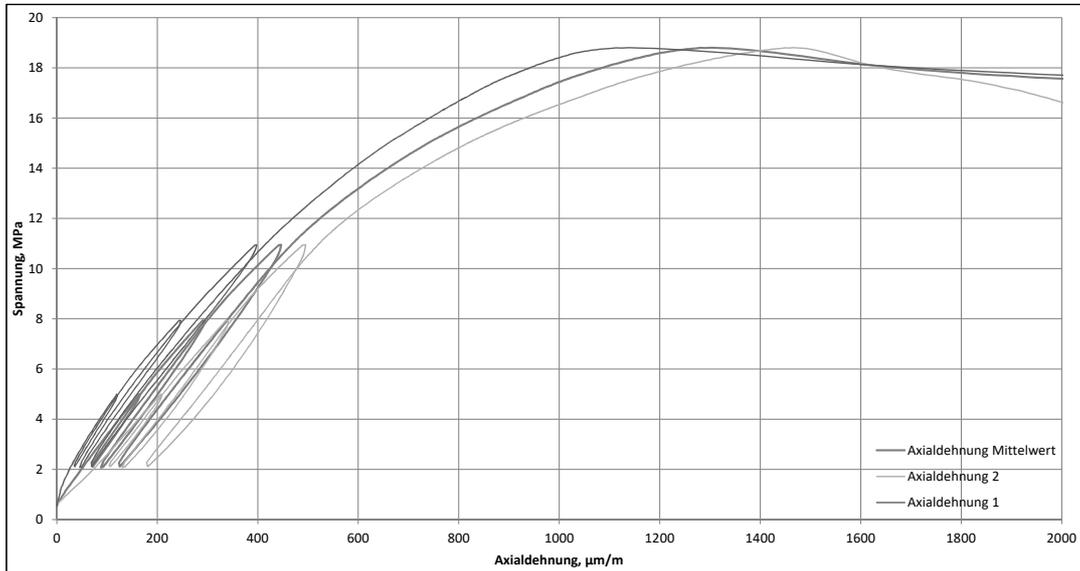
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_10		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.07.2018 11:44:38	UCS	24,7 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	32,3 GPa



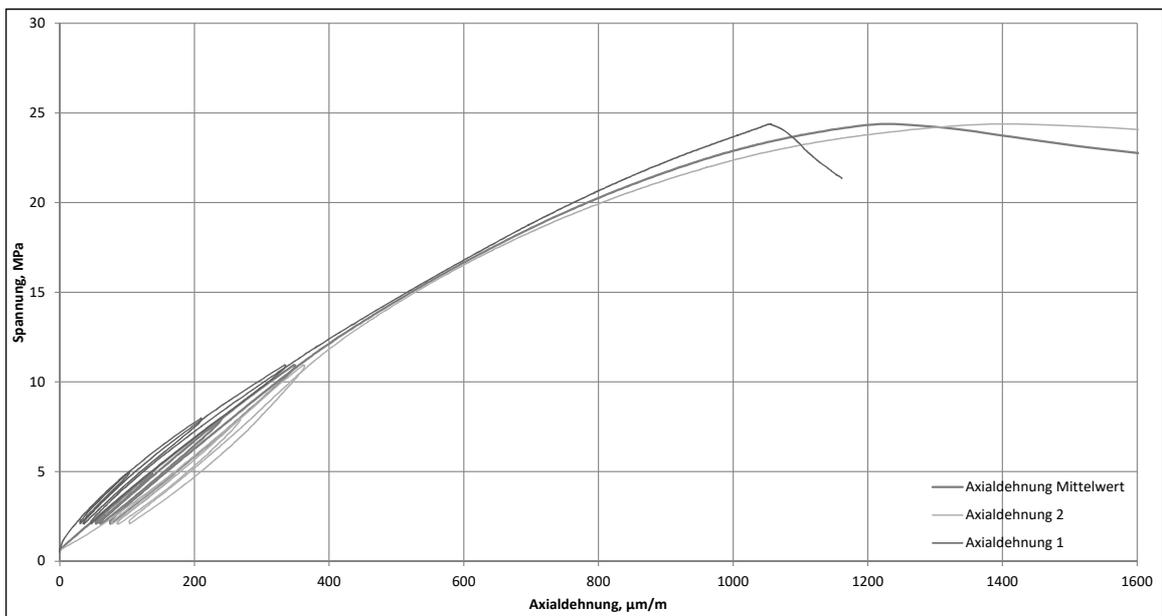
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_11		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.07.2018 11:31:07	UCS	18,8 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	29,3 GPa



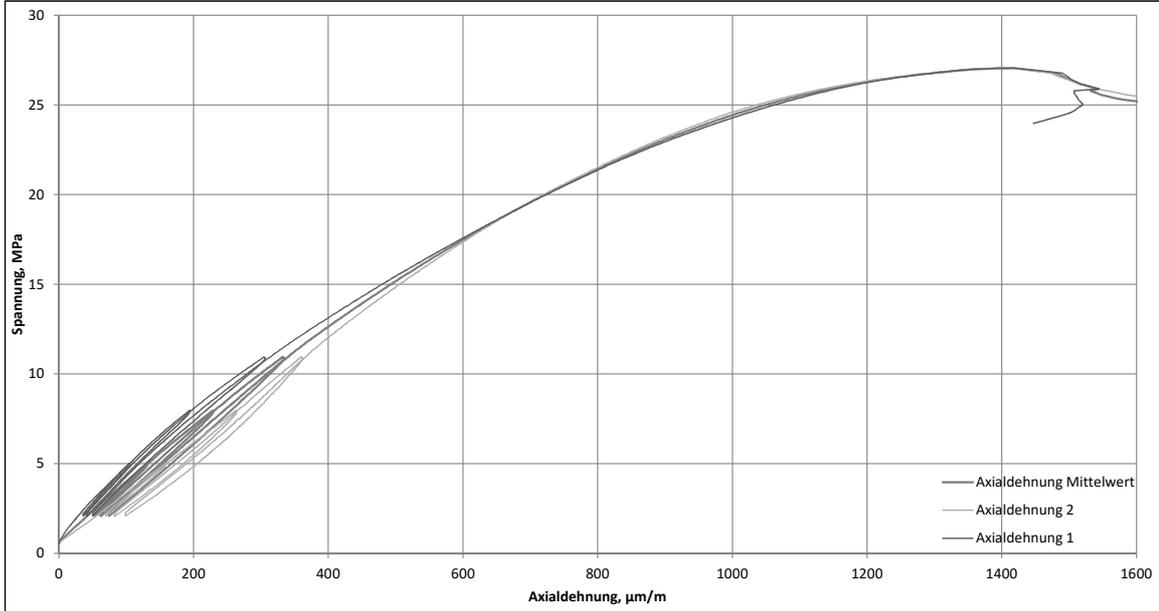
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_6		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	26.07.2018 12:02:21	UCS	24,4 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	33,6 GPa



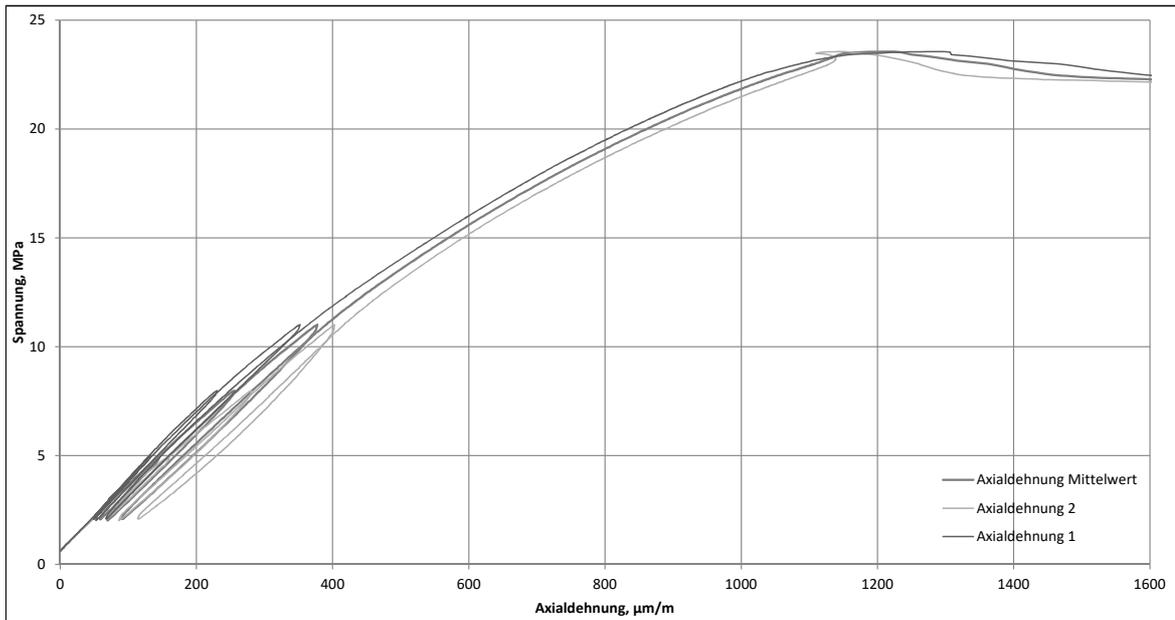
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_7		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	26.07.2018 11:48:29	UCS	27,0 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	35,7 GPa



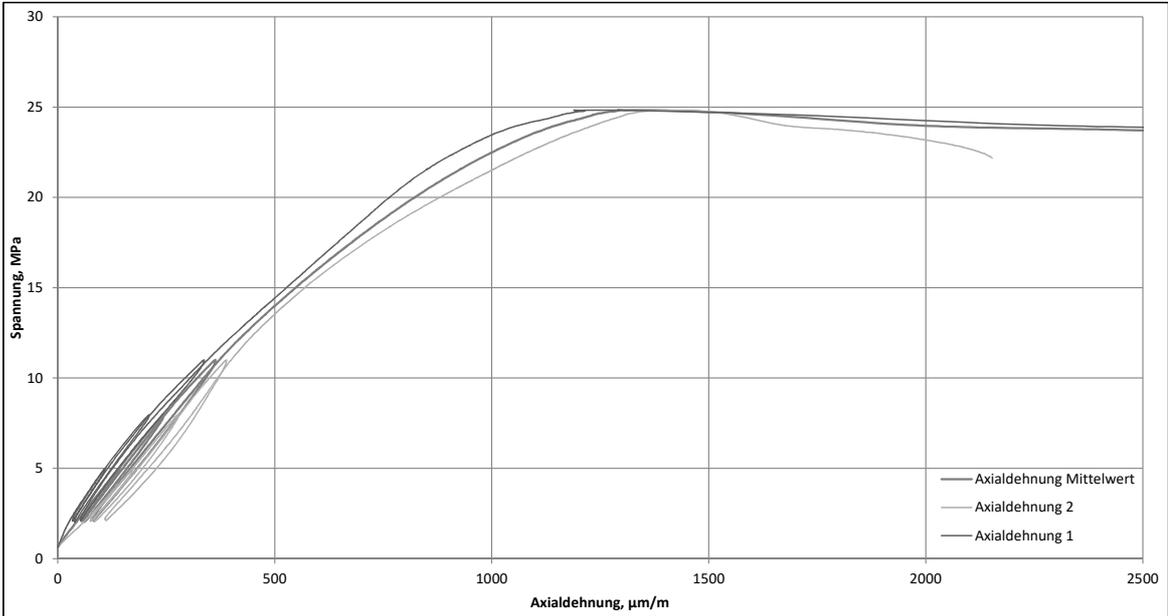
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_8		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	26.07.2018 11:35:05	UCS	23,6 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	32,1 GPa



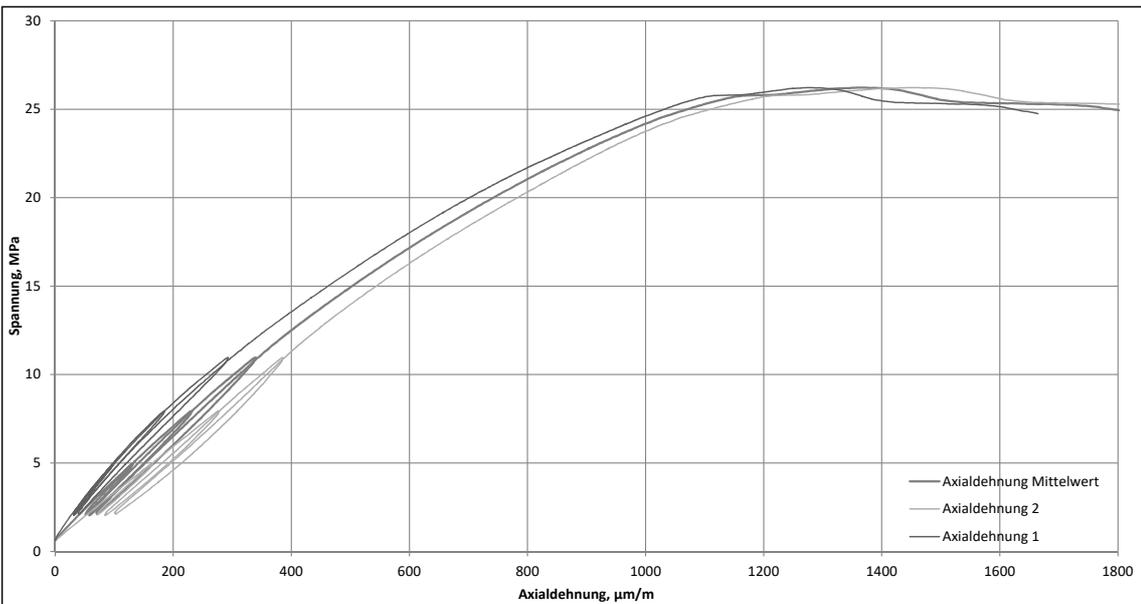
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_3		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	02.08.2018 13:06:29	UCS	24,8 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	32,6 GPa



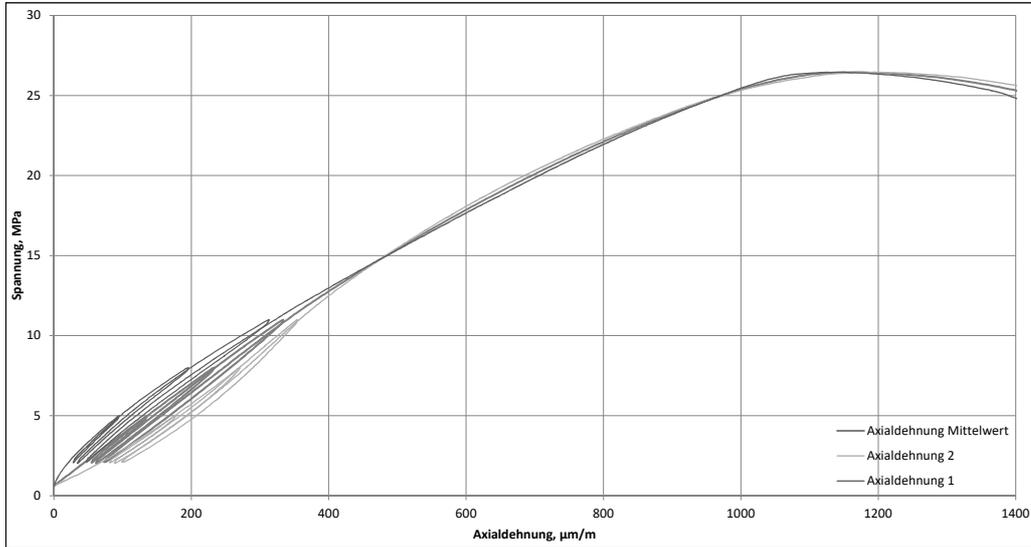
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_4		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	02.08.2018 12:49:36	UCS	26,2 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	34,0 GPa



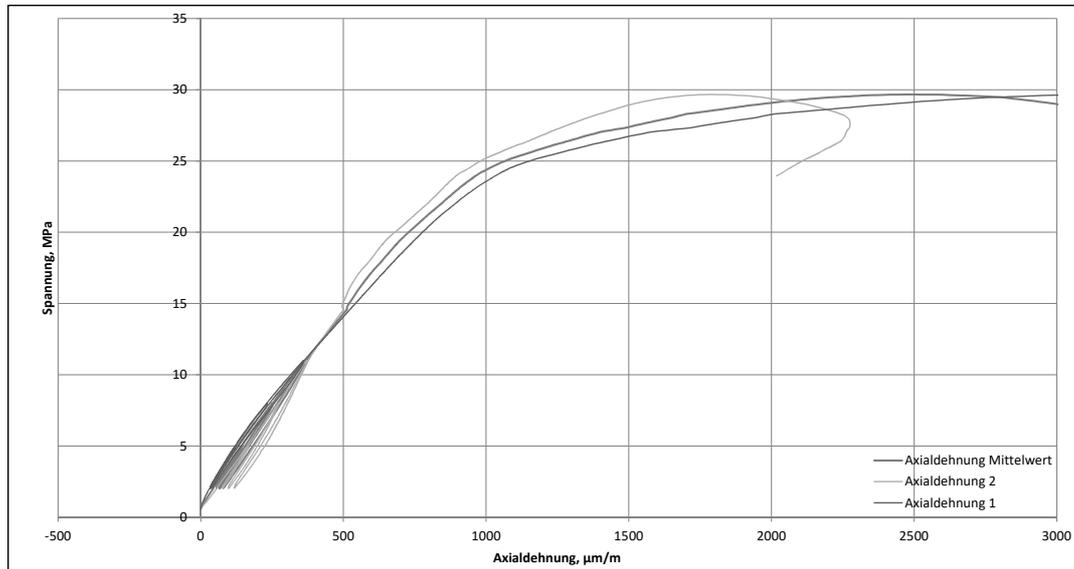
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_5		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	02.08.2018 12:34:09	UCS	26,5 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	34,9 GPa



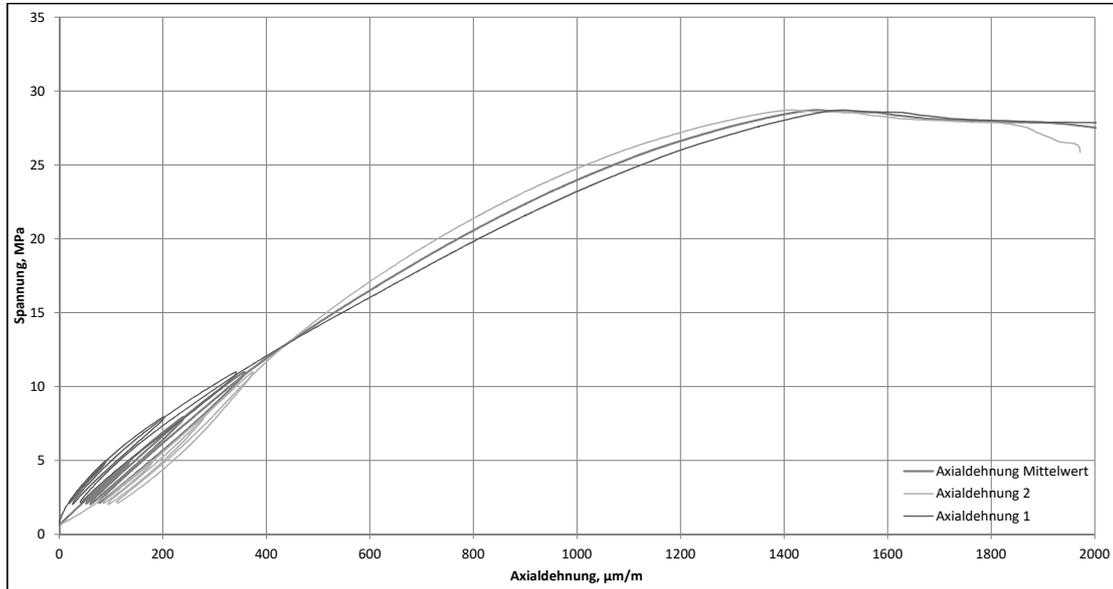
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_1		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	16.08.2018 12:04:48	UCS	29,7 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	32,4 GPa



### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

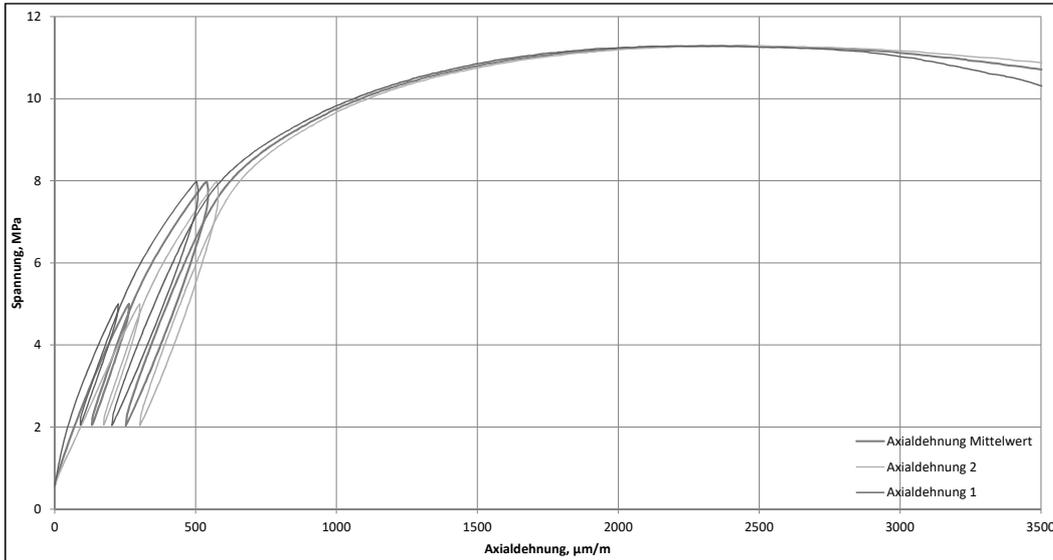
Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_3_2		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	16.08.2018 11:50:38	UCS	28,7 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	33,1 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 4 vom ZaB

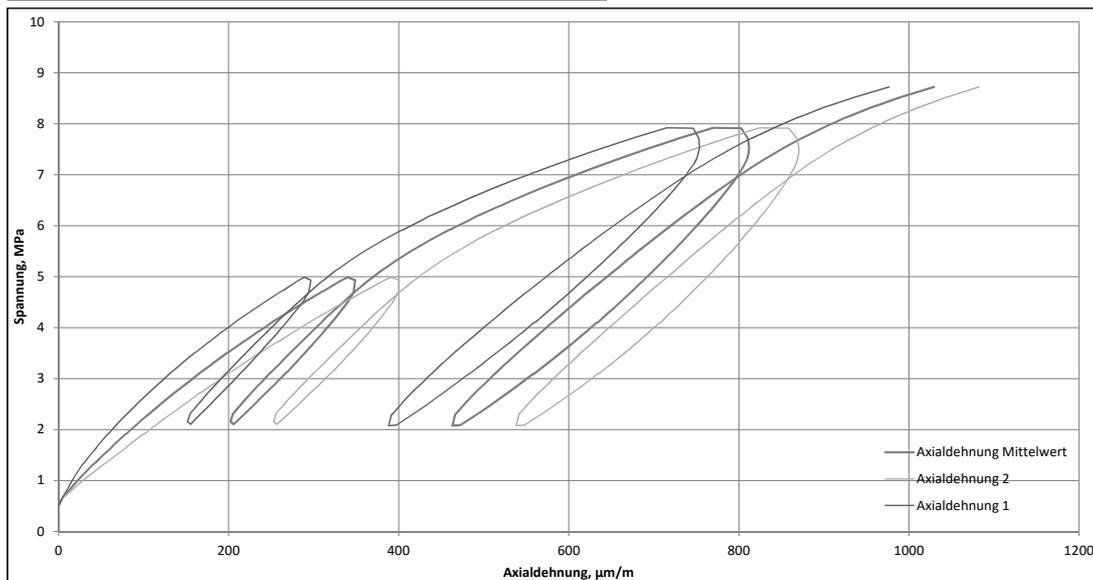
## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_12		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	01.08.2018 14:40:00	UCS	11,3 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	21,6 GPa



## Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

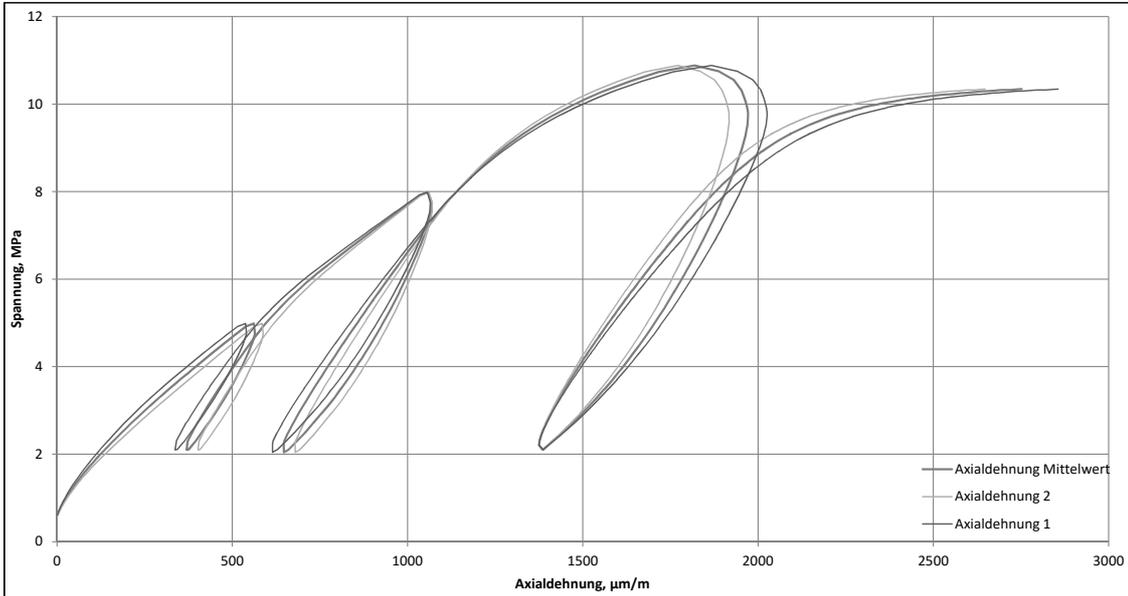
Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_13_EM		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	01.08.2018 13:56:11	UCS	nB MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	20,3 GPa



### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

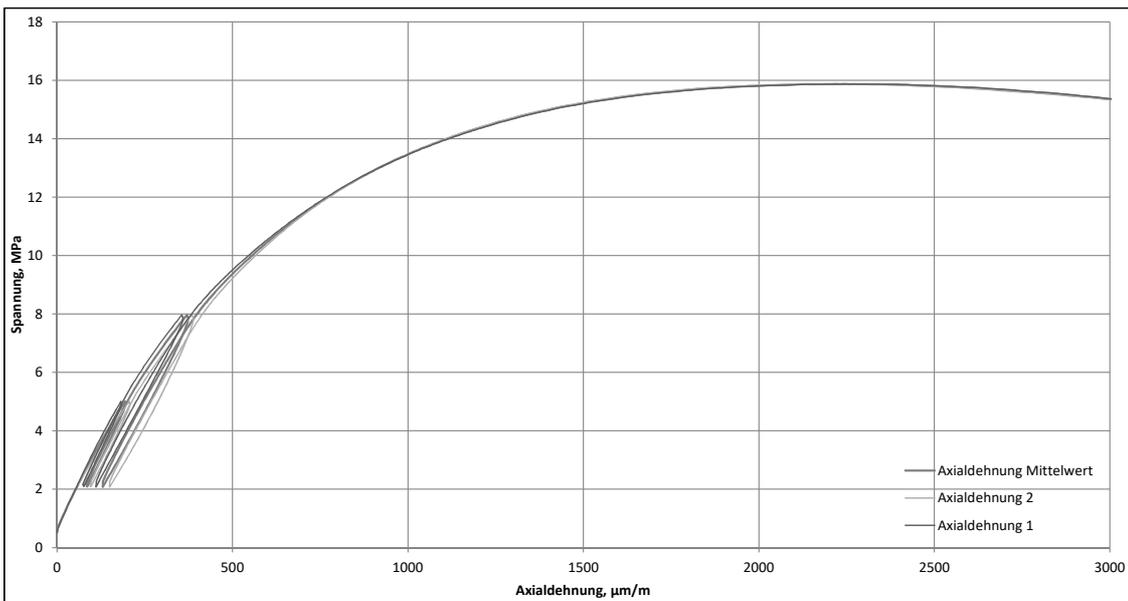
Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_13		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	01.08.2018 14:09:41	UCS	10,9 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	14,7 GPa

nicht gewertet!



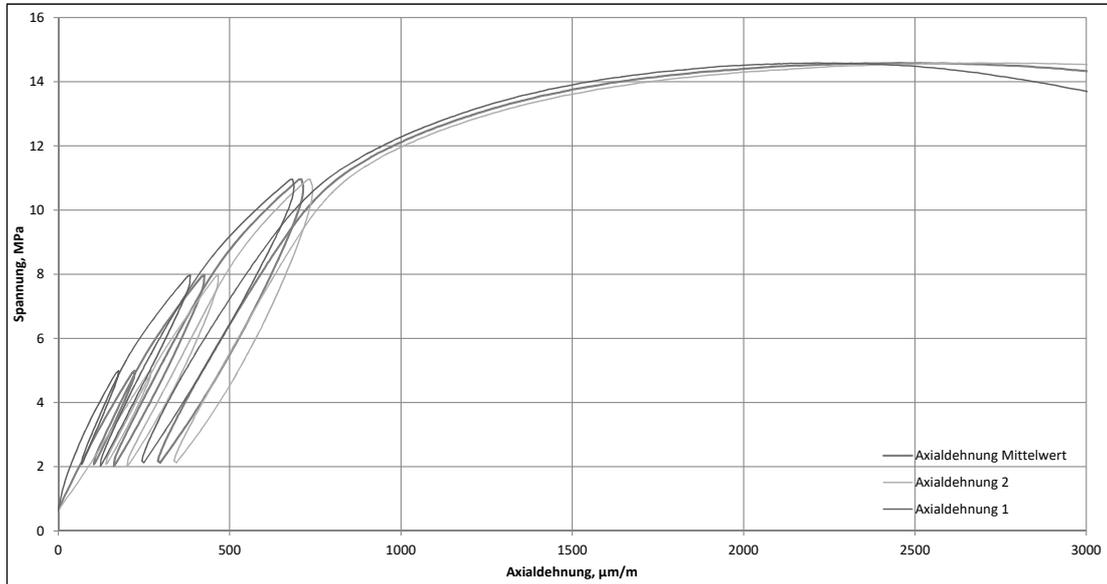
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_8		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	02.08.2018 13:23:14	UCS	15,9 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	25,8 GPa



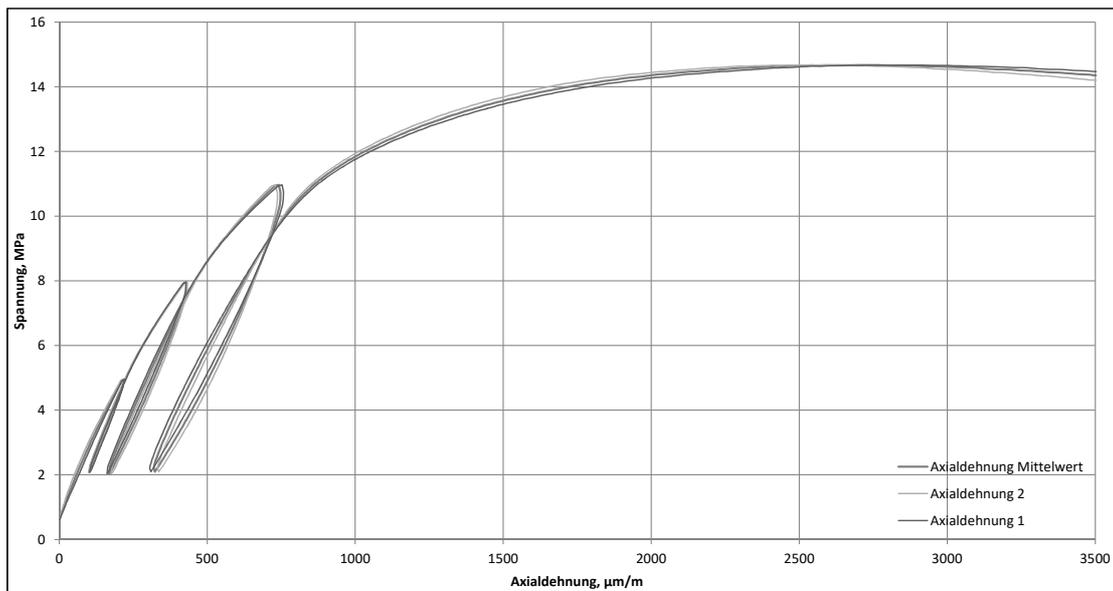
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	02.08.2018 13:55:10	UCS	14,6 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	22,8 GPa



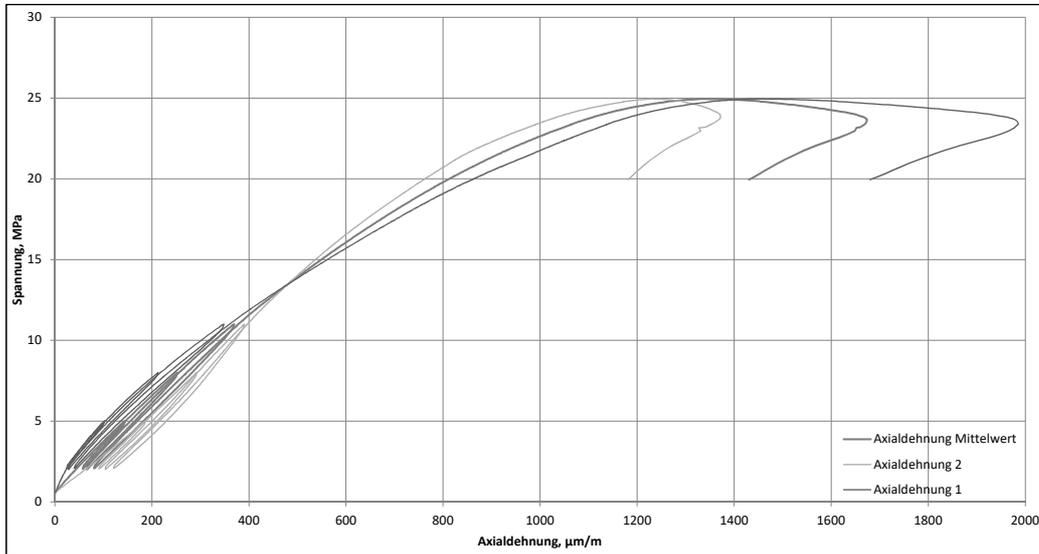
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_10		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	02.08.2018 13:37:15	UCS	14,7 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	22,9 GPa



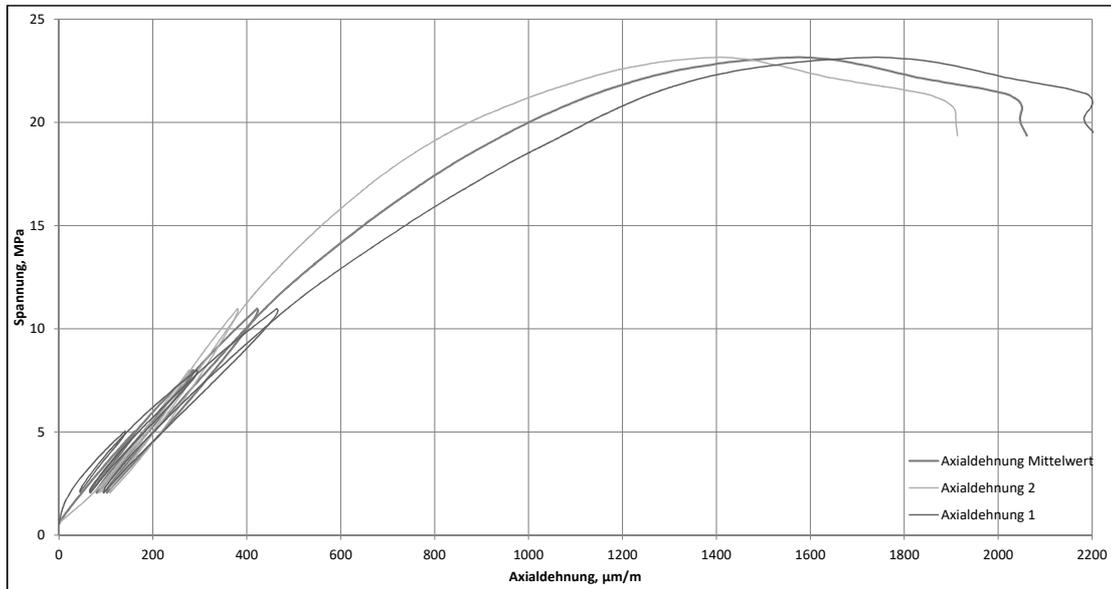
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.08.2018 11:53:01	UCS	24,9 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	32,3 GPa



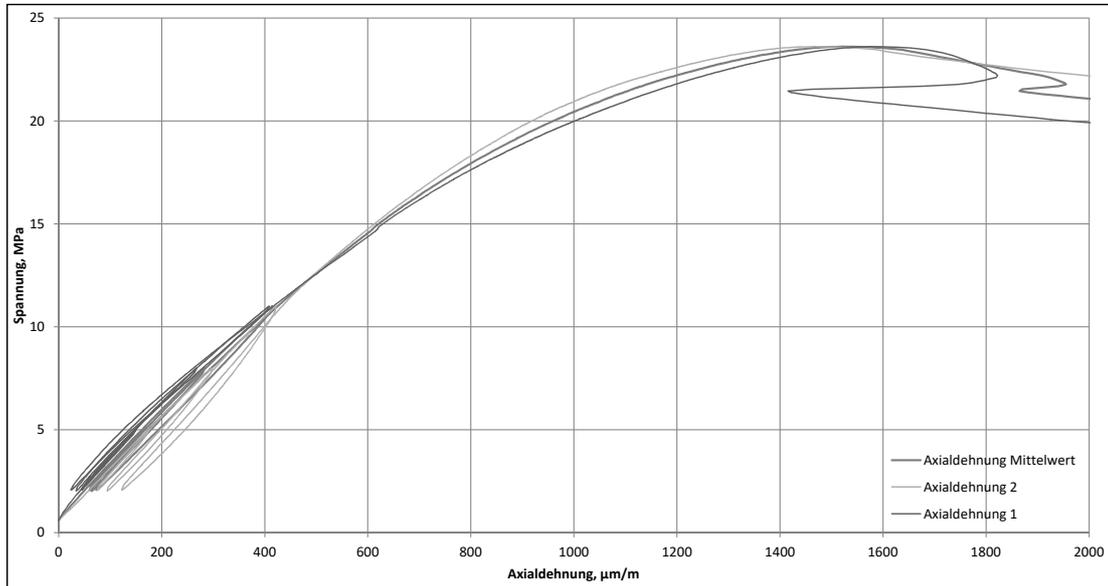
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.08.2018 12:11:22	UCS	23,2 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	29,3 GPa



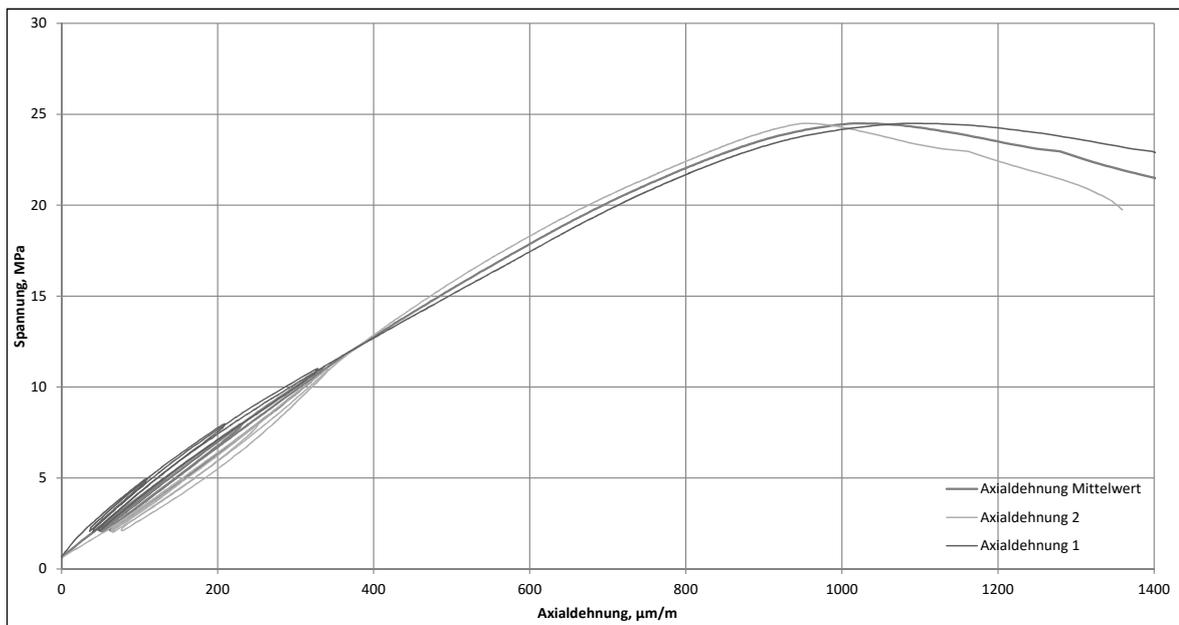
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_7		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.08.2018 12:26:42	UCS	23,6 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	27,3 GPa



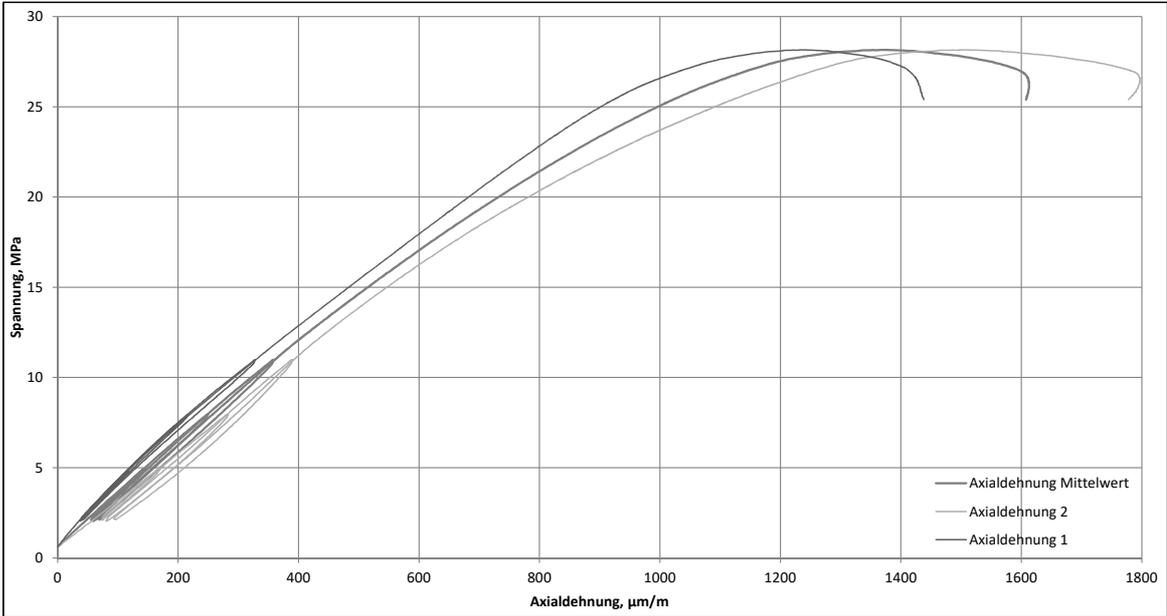
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_2		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	14.08.2018 13:52:21	UCS	24,5 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	33,8 GPa



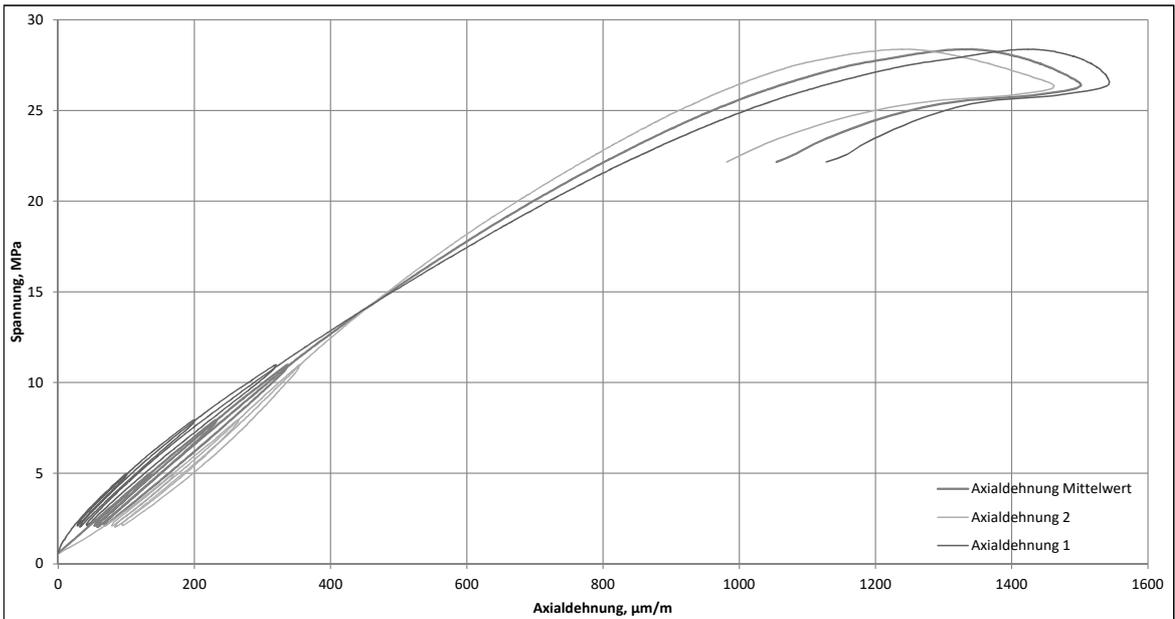
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_3		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	14.08.2018 14:06:36	UCS	28,2 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	31,3 GPa



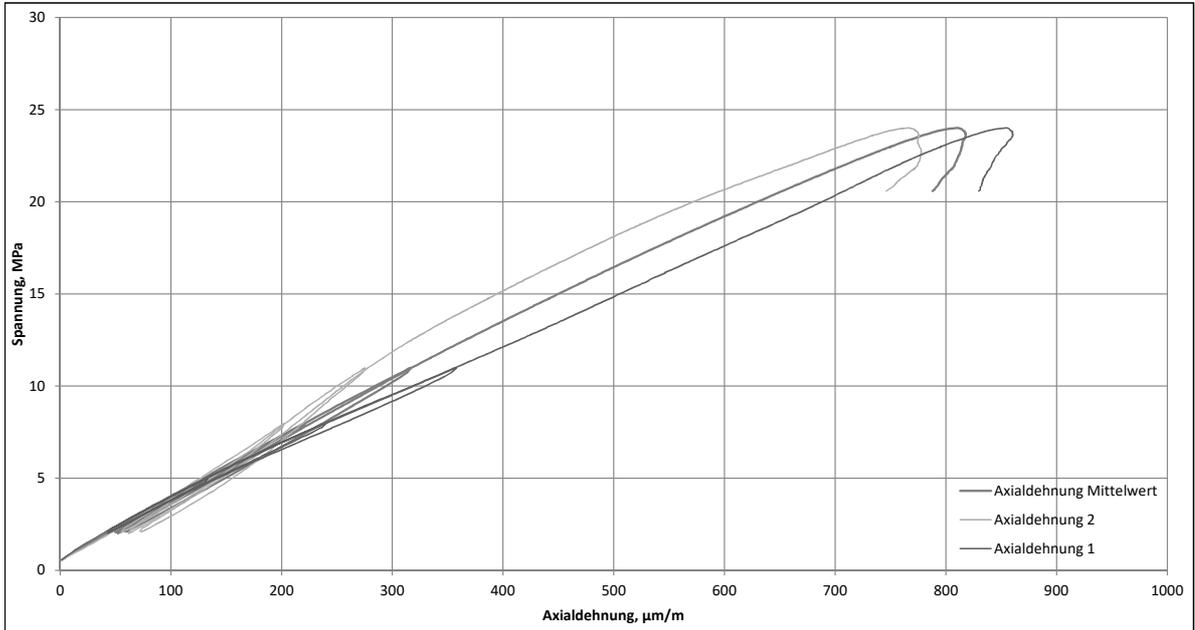
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	14.08.2018 13:30:09	UCS	28,4 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	34,1 GPa



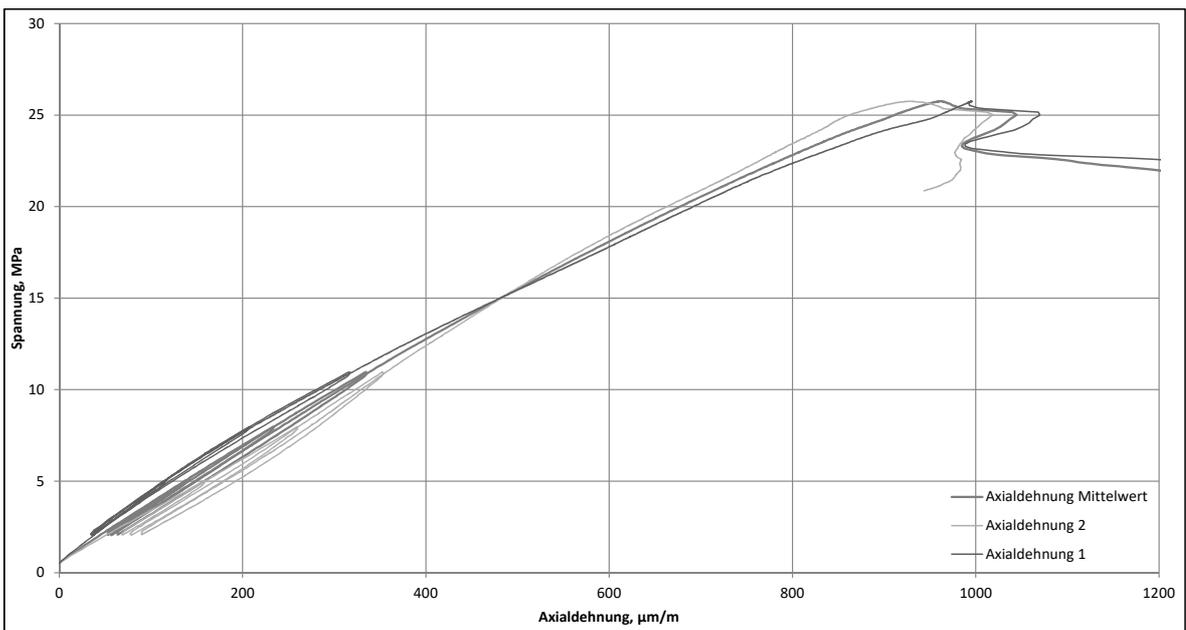
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_1		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	28.08.2018 11:31:58	UCS	24,0 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	35,3 GPa



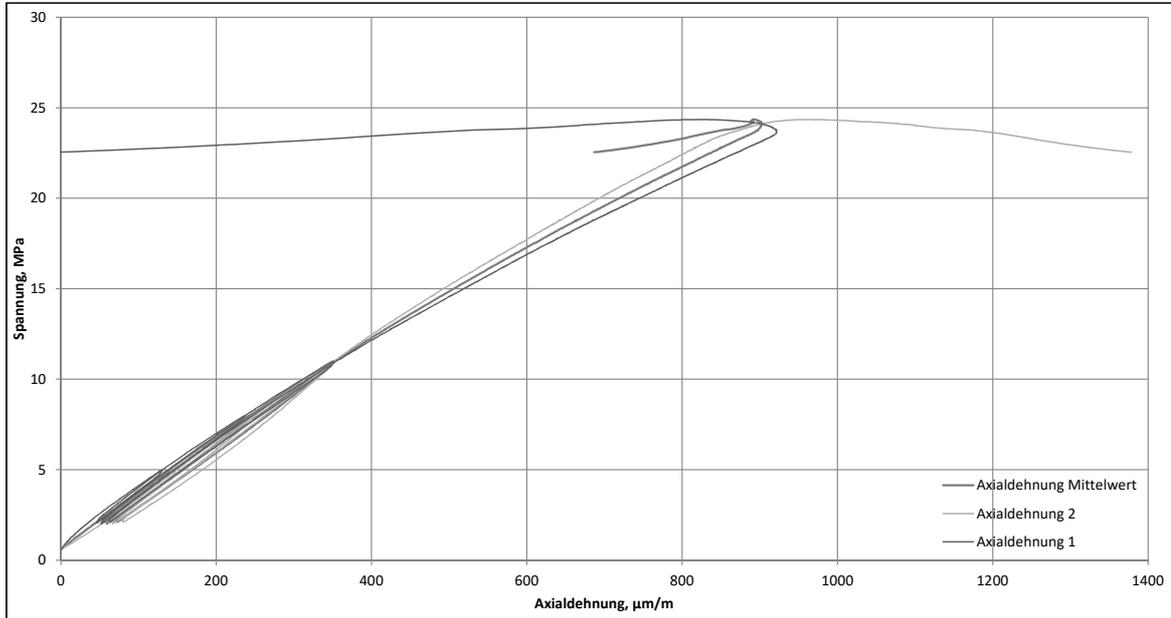
### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_14_1		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	28.08.2018 10:59:52	UCS	25,8 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	33,8 GPa



### Zwischenbericht Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

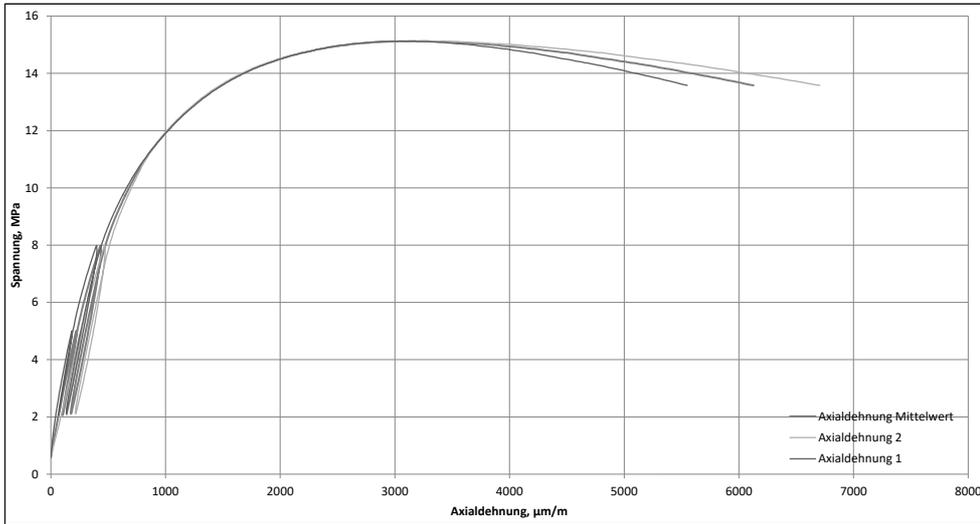
Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_Serie_4_15		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	28.08.2018 11:16:39	UCS	24,3 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	32,7 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 7 vom ZaB

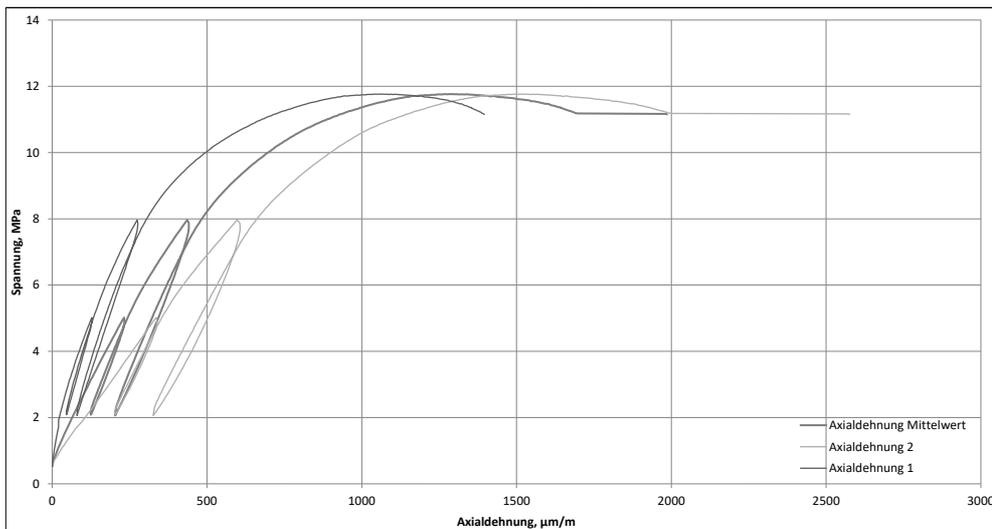
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZAB_S7_28		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	09.11.2018 08:47:50	UCS	15,1 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	23,8 GPa



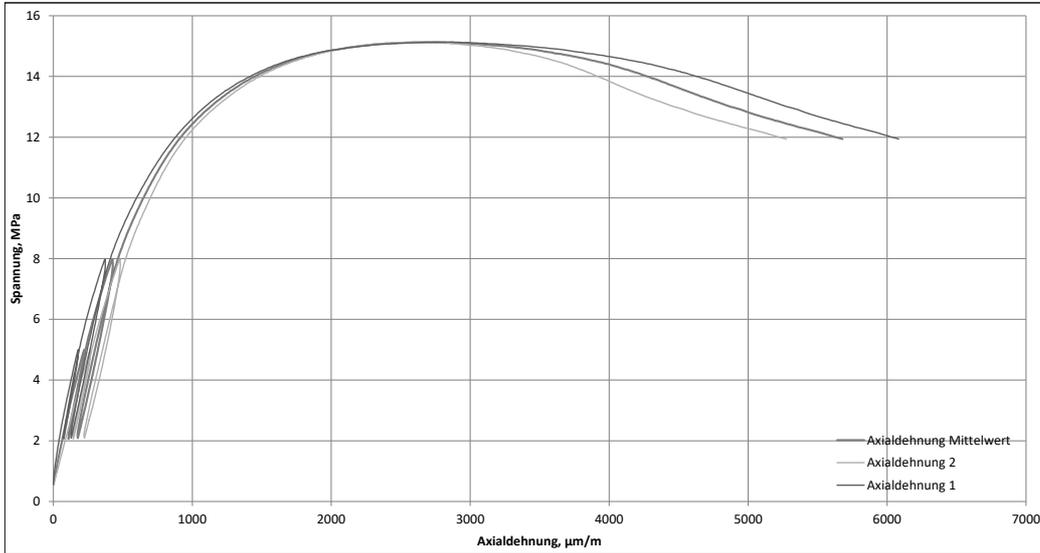
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZAB_S7_29		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	09.11.2018 08:34:17	UCS	11,8 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	26,4 GPa



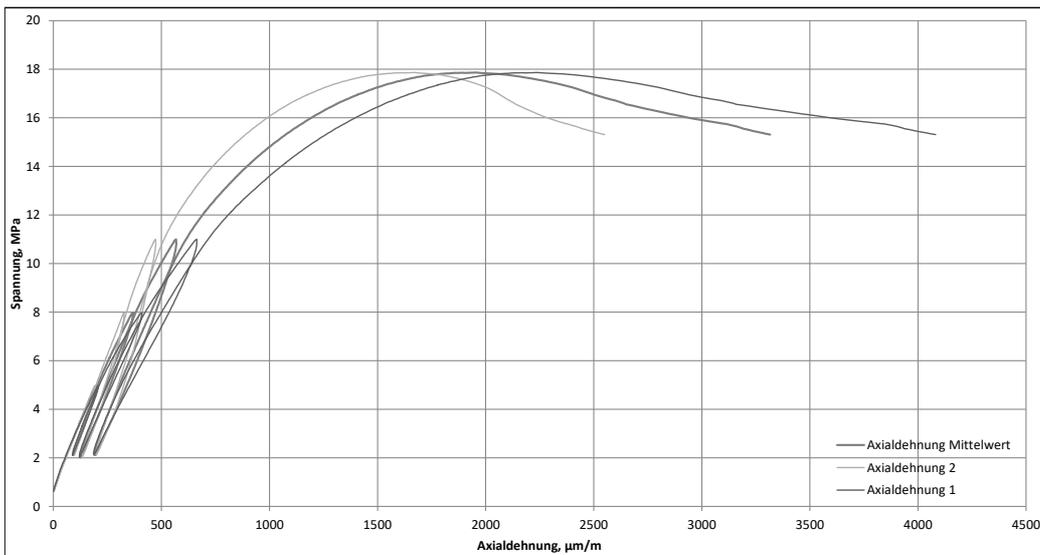
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_30		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	09.11.2018 08:13:28	UCS	15,1 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	24,5 GPa



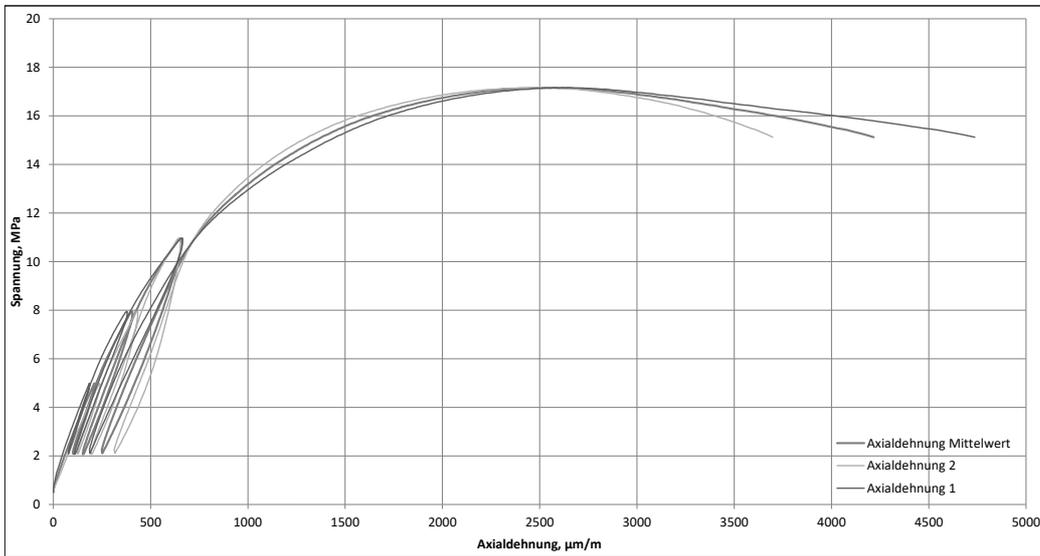
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_25		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	10.11.2018 08:47:42	UCS	17,9 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	25,0 GPa



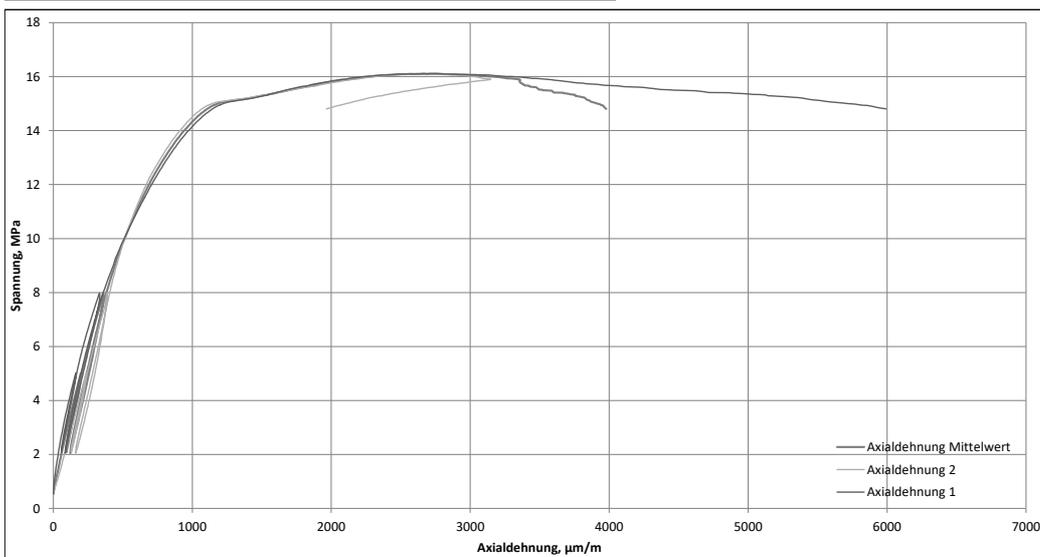
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_26		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	10.11.2018 08:34:09	UCS	17,2 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	23,9 GPa



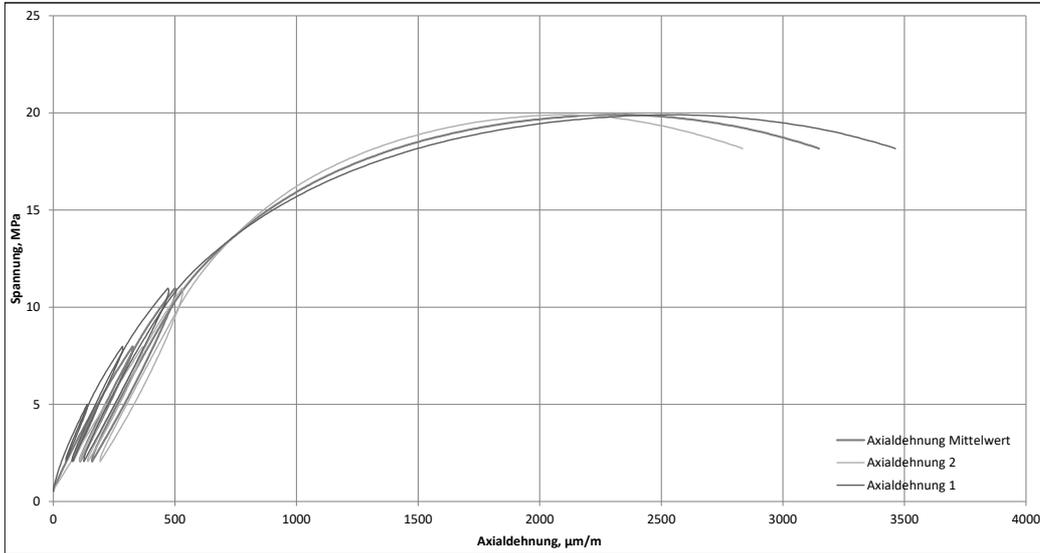
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_27		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	10.11.2018 08:22:03	UCS	16,1 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	26,4 GPa



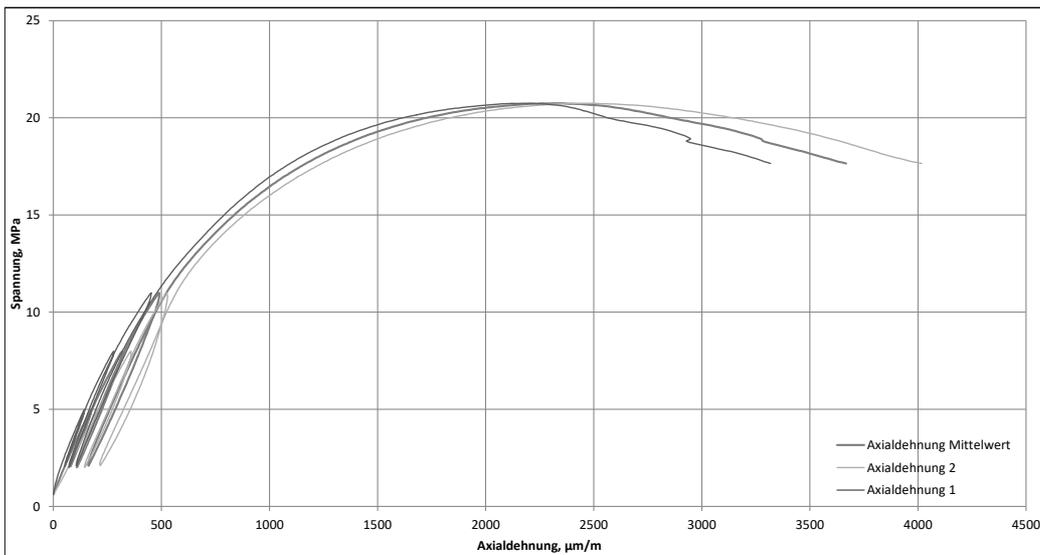
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_22		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	11.11.2018 08:34:46	UCS	19,9 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	27,9 GPa



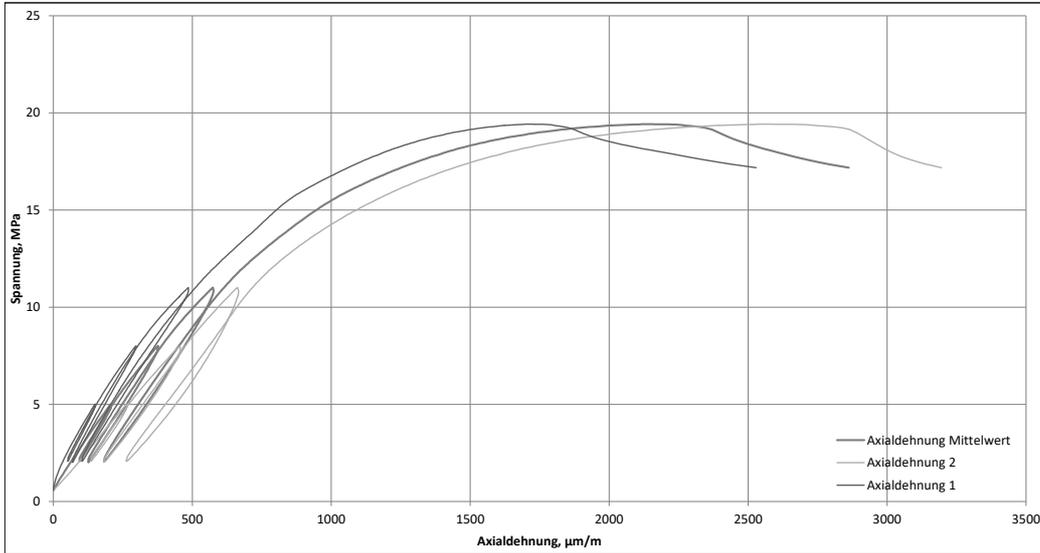
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_23		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	11.11.2018 08:17:34	UCS	20,7 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	28,6 GPa



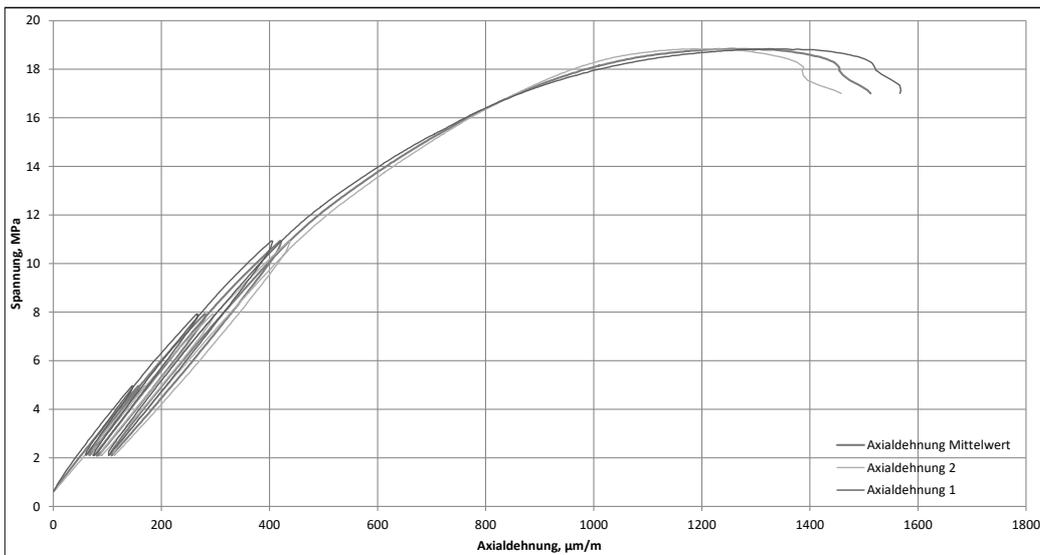
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S7_24		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	11.11.2018 08:04:31	UCS	19,4 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	24,1 GPa



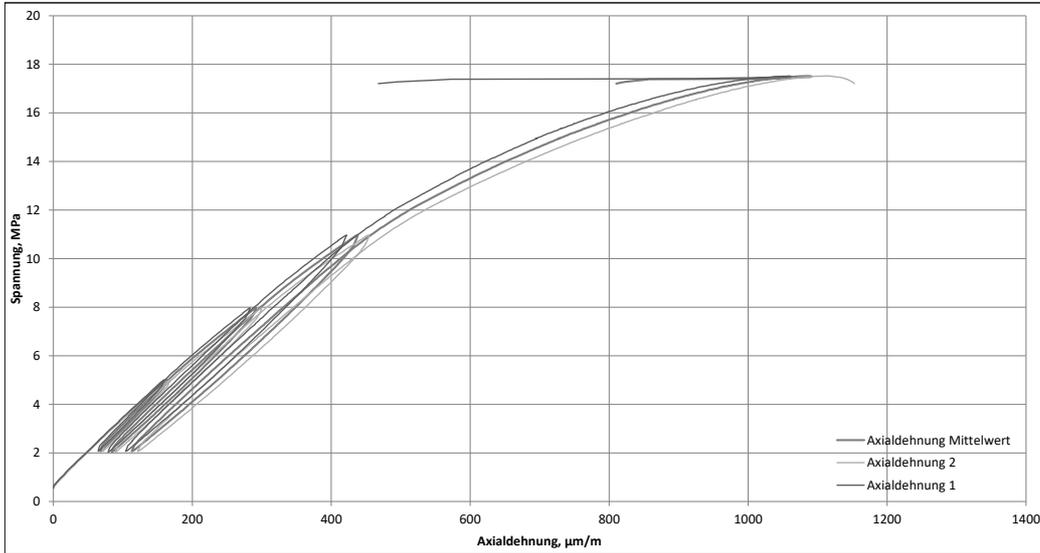
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_7_19		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	13.11.2018 16:25:47	UCS	18,8 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	29,8 GPa



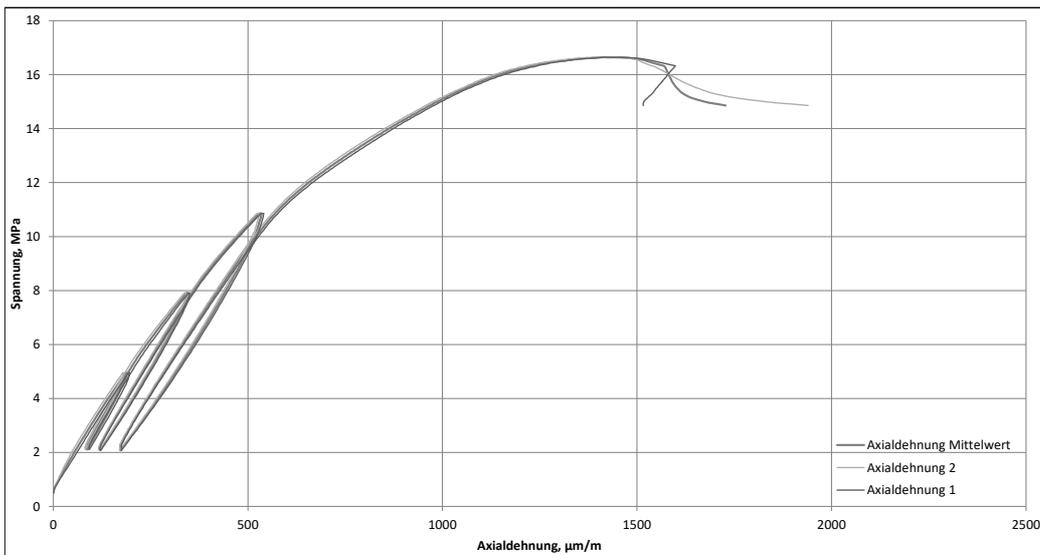
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_7_20		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	13.11.2018 16:43:11	UCS:	17,5 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul:	28,9 GPa



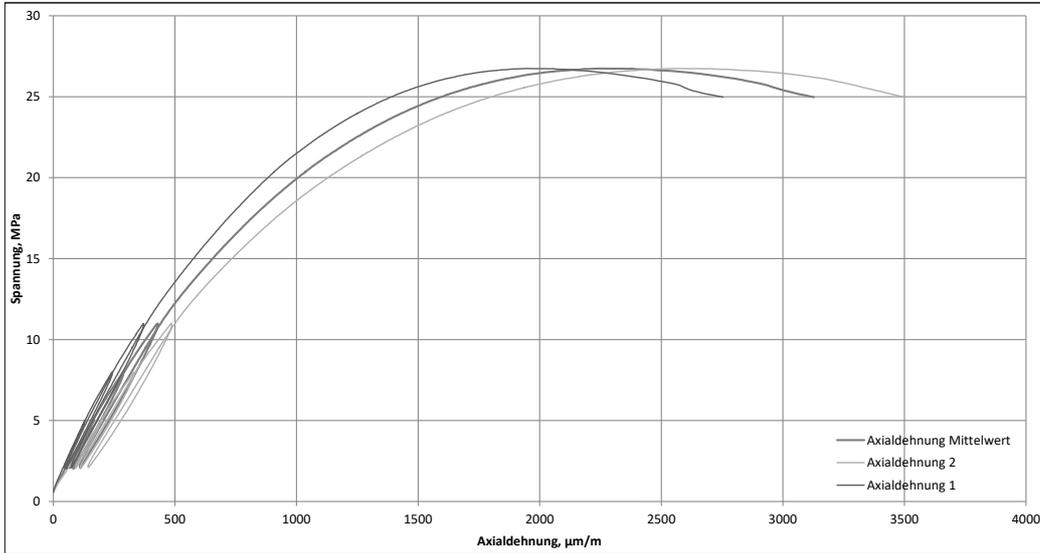
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_7_21		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	13.11.2018 16:06:41	UCS:	16,6 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul:	26,5 GPa



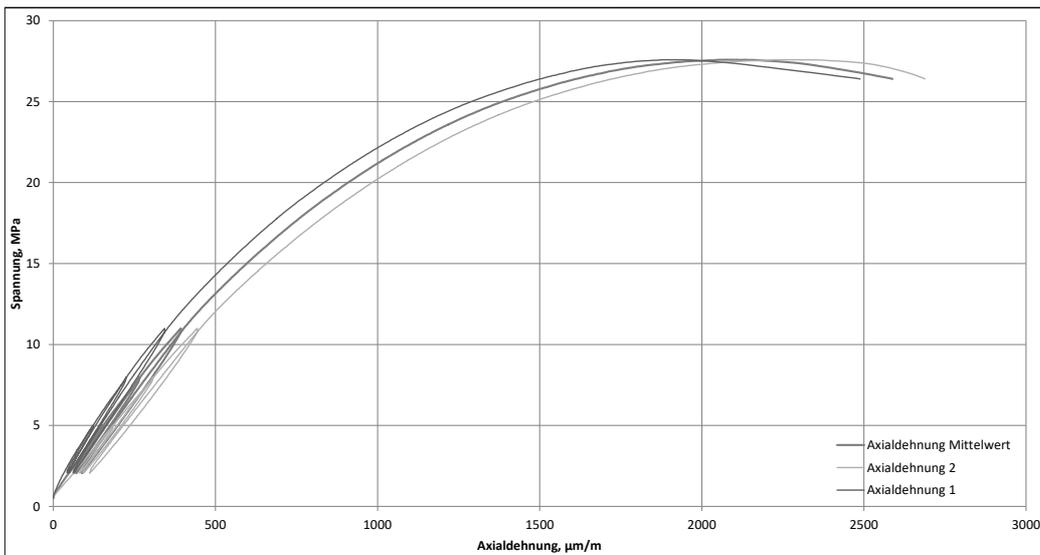
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_7_16		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	15.11.2018 10:14:38	UCS:	26,7 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul:	28,8 GPa



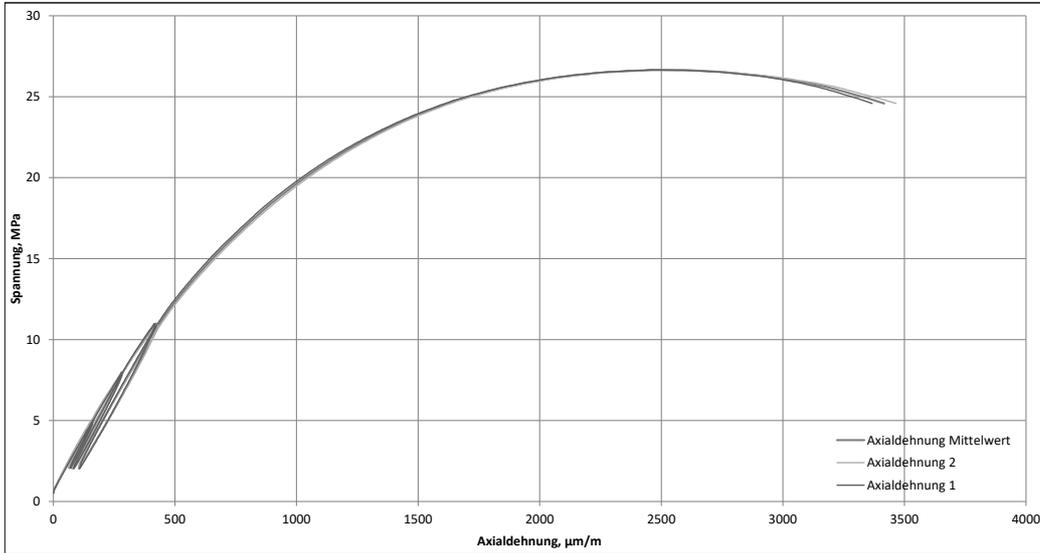
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_7_17		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	15.11.2018 10:29:27	UCS:	27,6 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul:	30,6 GPa



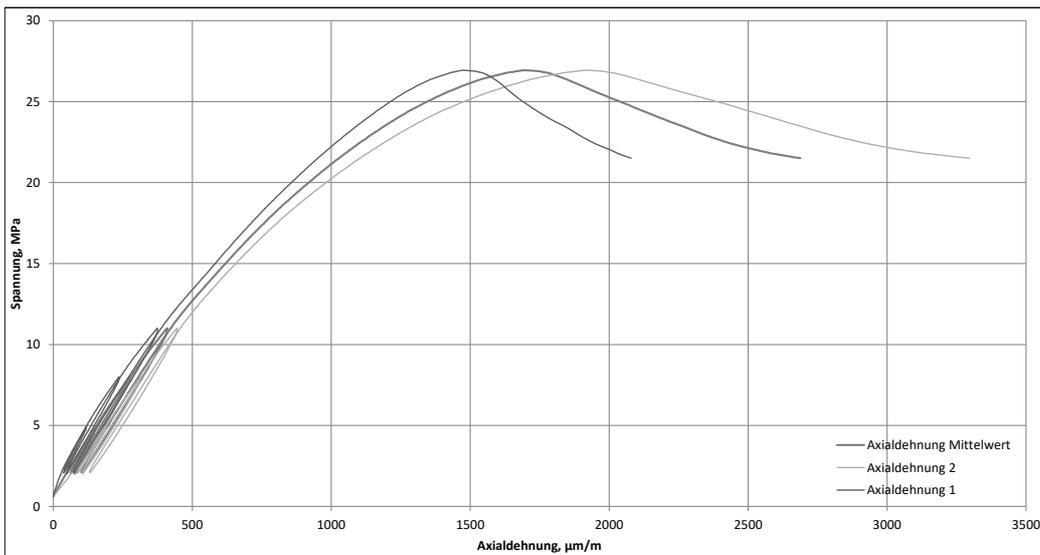
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_7_18		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	15.11.2018 10:43:17	<b>UCS</b>	26,7 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	29,9 GPa



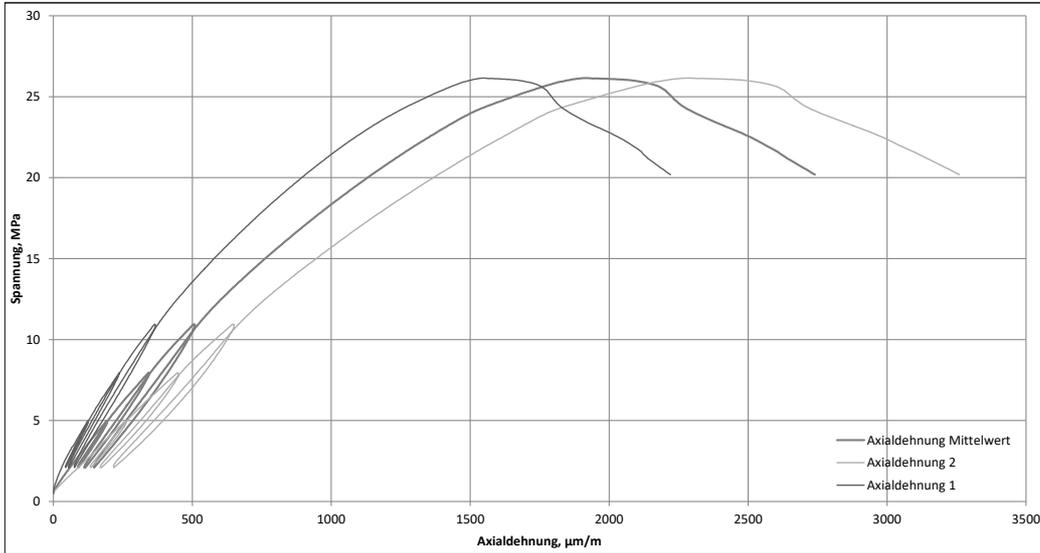
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_S7_12		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	22.11.2018 10:33:47	<b>UCS</b>	26,9 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	30,1 GPa



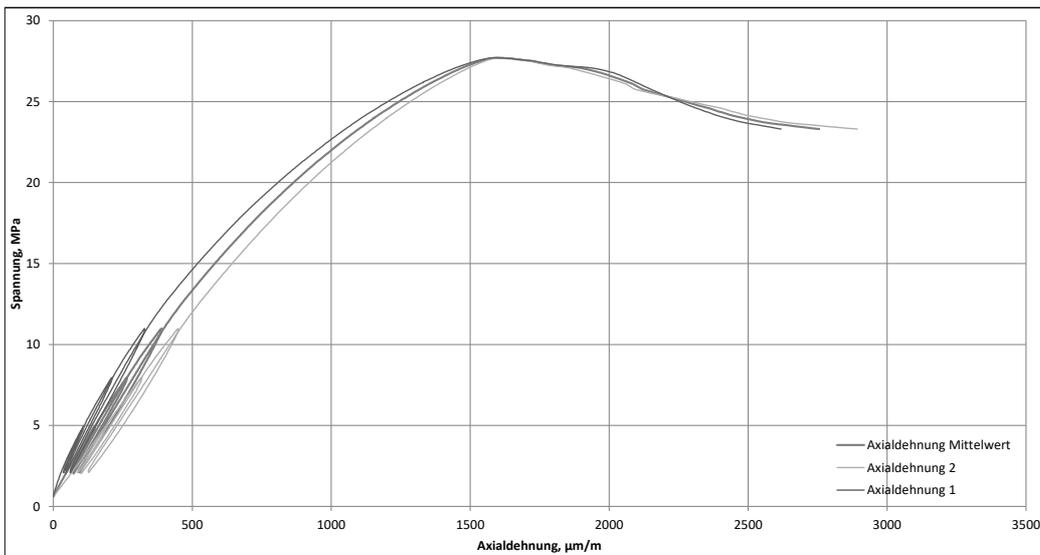
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_14		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.11.2018 10:48:42	UCS	26,1 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	26,3 GPa



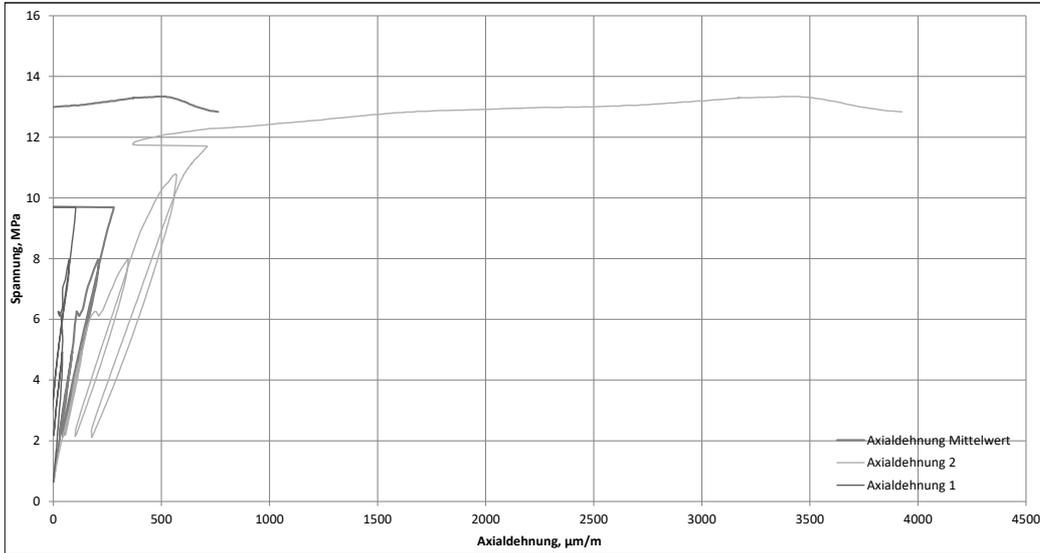
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_15		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.11.2018 11:05:05	UCS	27,7 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	31,0 GPa



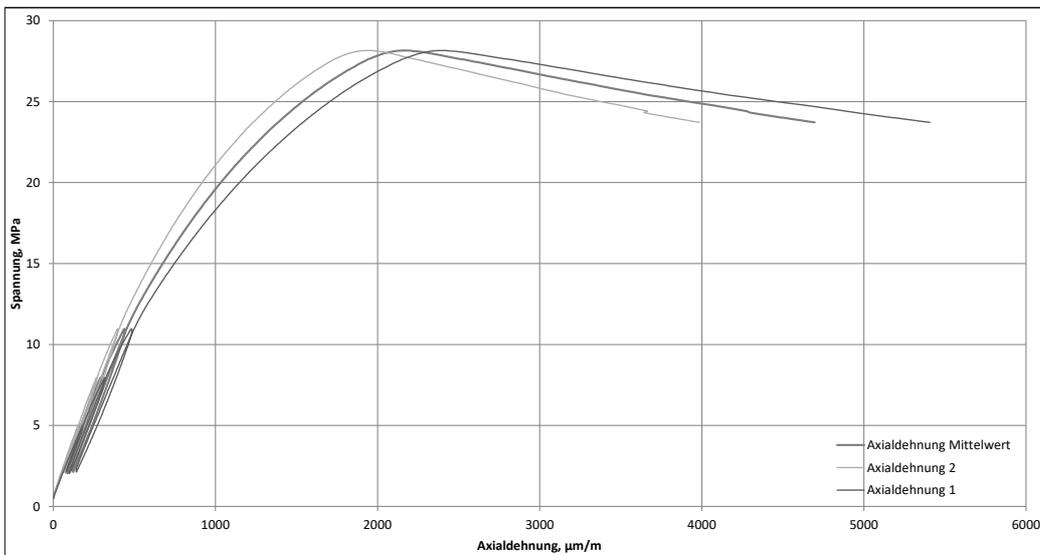
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S7_9		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	06.12.2018 15:35:02	UCS	13,3 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	30,3 GPa



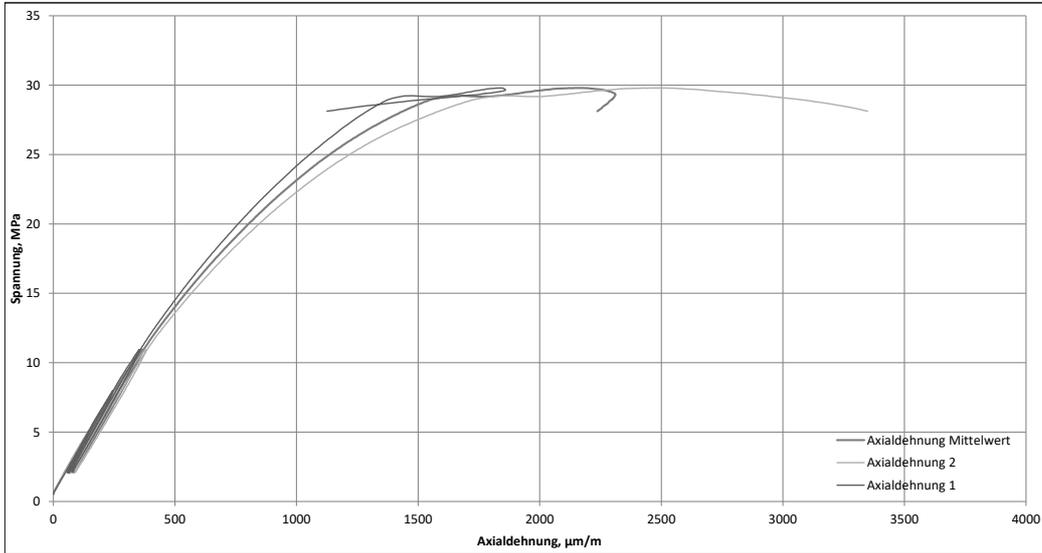
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S7_7		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	06.12.2018 14:57:43	UCS	28,2 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	29,4 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

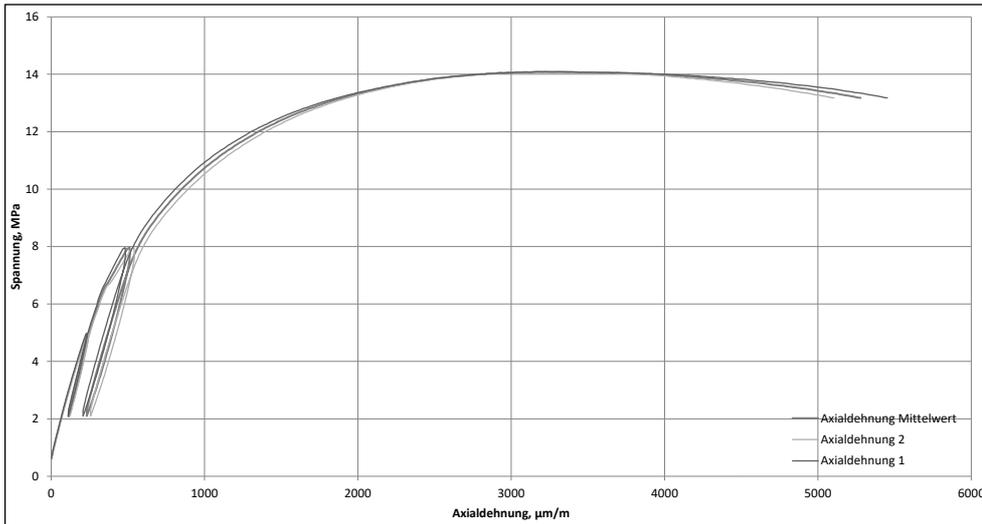
Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S7_8		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	06.12.2018 15:21:31	UCS	29,2 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	32,8 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 8 vom ZaB

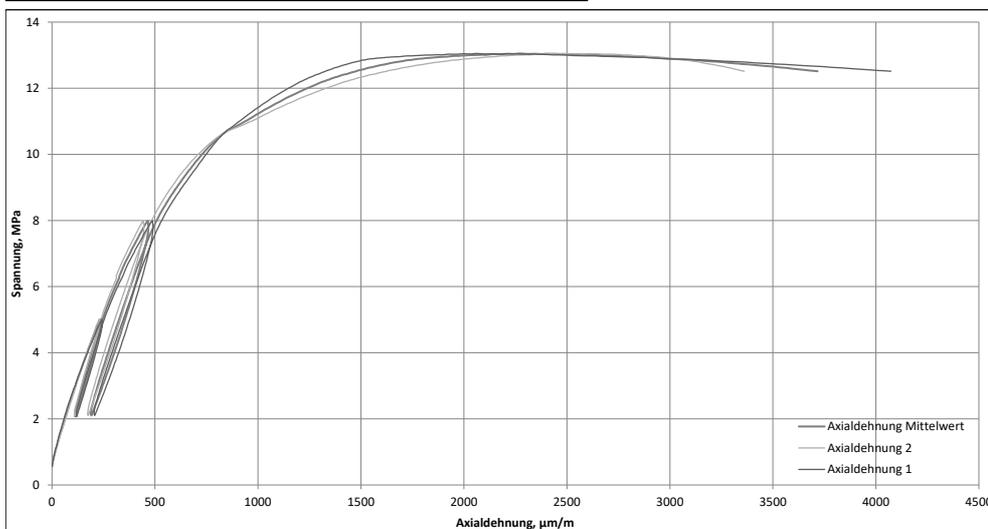
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_8_25		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	15.11.2018 09:31:01	UCS	14,1 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	22,2 GPa



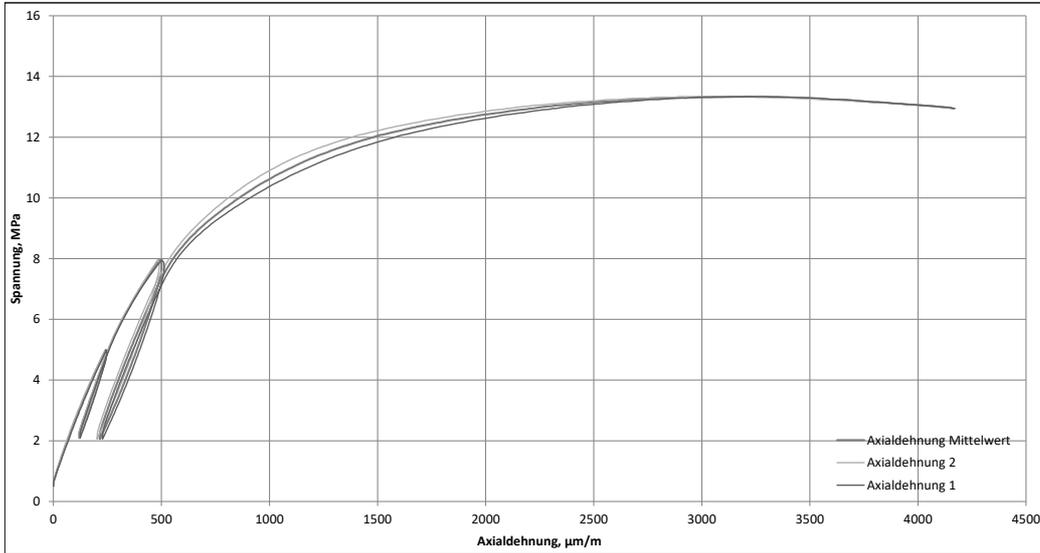
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_8_26		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	15.11.2018 09:47:09	UCS	13,1 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	22,8 GPa



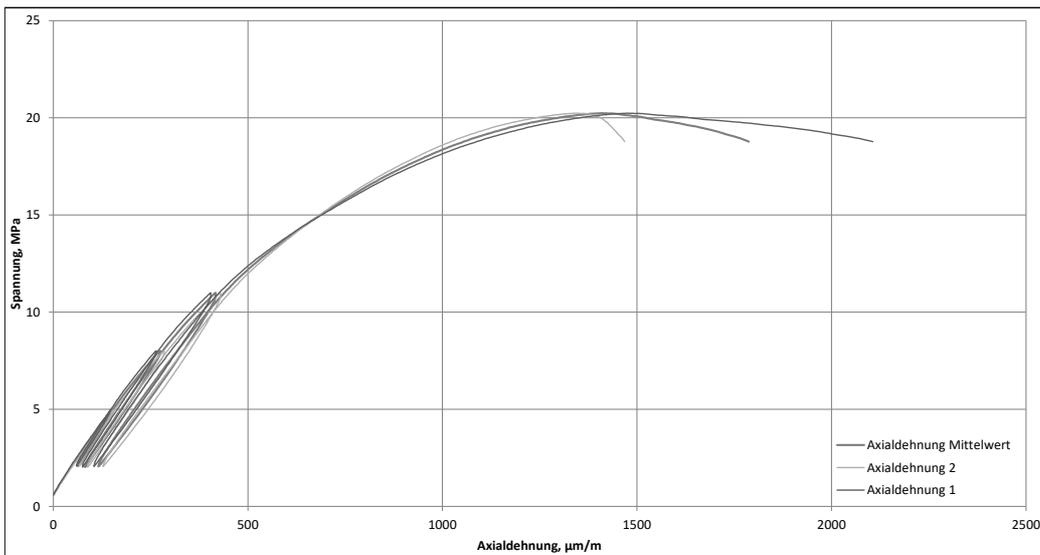
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZaB_8_27		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	15.11.2018 09:59:35	UCS:	13,3 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul:	22,6 GPa



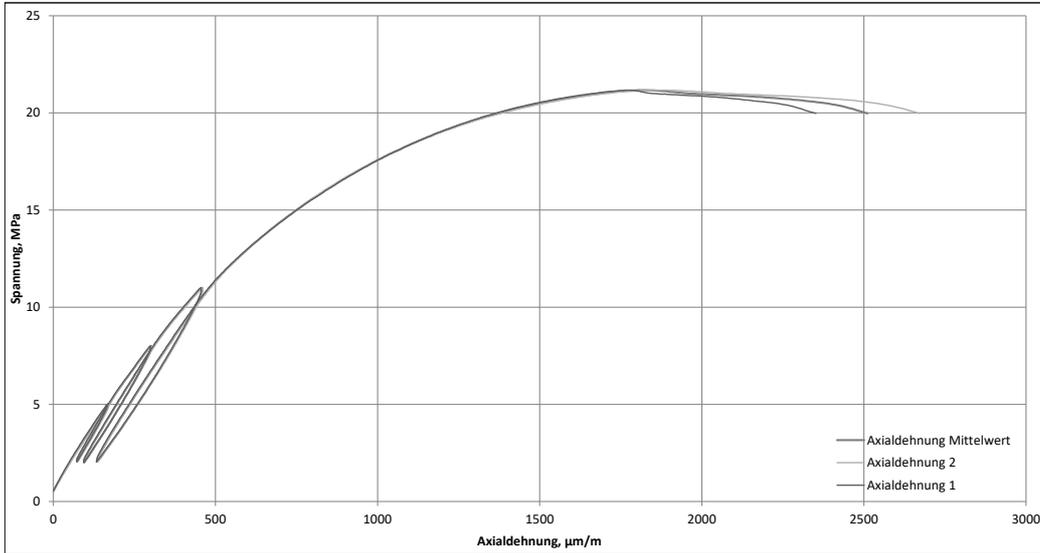
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_ZAB_S8_22		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	16.11.2018 10:30:25	UCS:	20,2 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul:	31,2 GPa



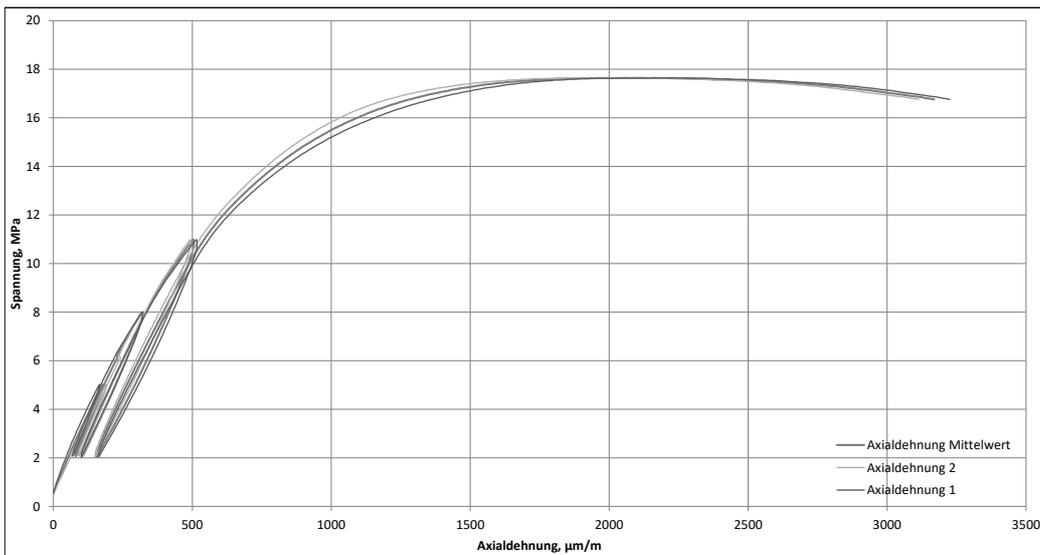
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_S8_23		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	16.11.2018 10:19:15	<b>UCS</b>	21,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	48 h	<b>E-Modul</b>	29,2 GPa



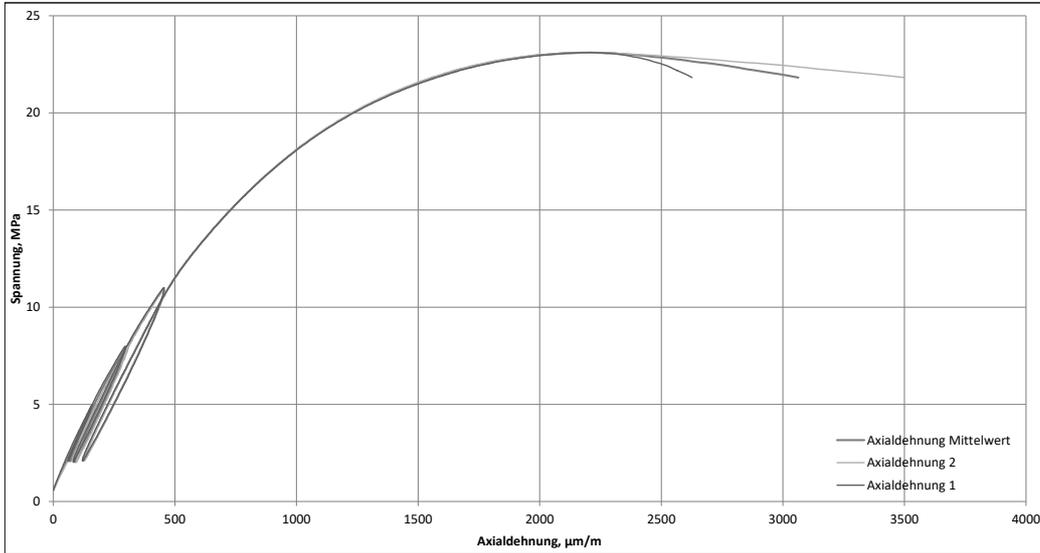
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_8_24		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	16.11.2018 10:05:50	<b>UCS</b>	17,6 MPa
<b>Probenalter:</b>	48 h	<b>E-Modul</b>	27,7 GPa



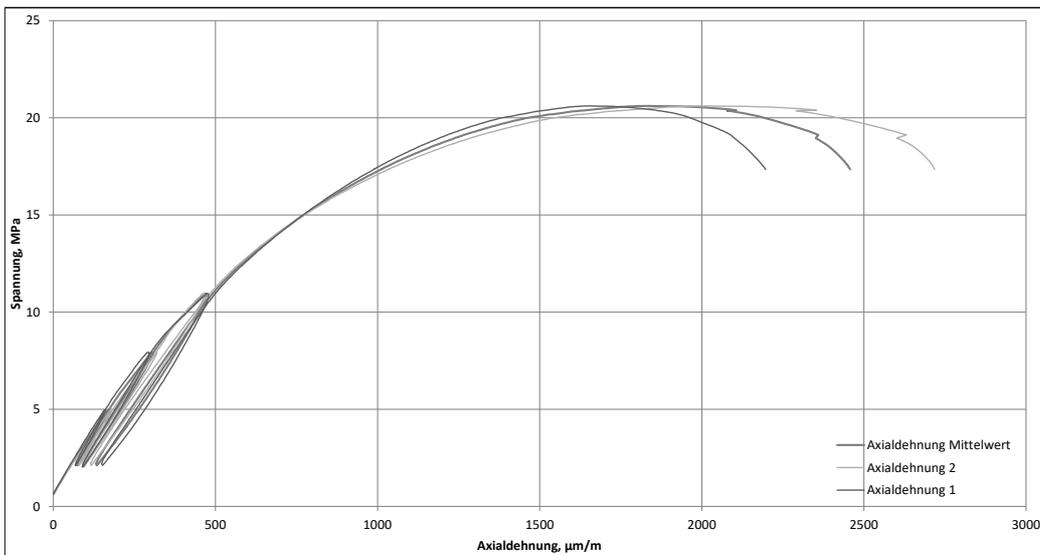
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S8_19		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	17.11.2018 10:12:31	<b>UCS</b>	23,1 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	28,1 GPa



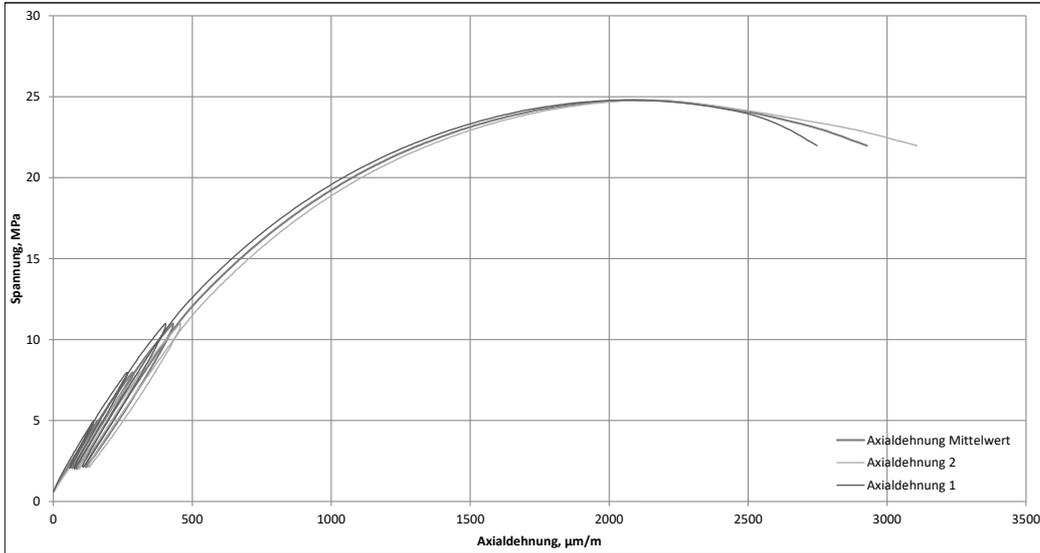
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S8_20		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	17.11.2018 10:02:32	<b>UCS</b>	20,6 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	28,2 GPa



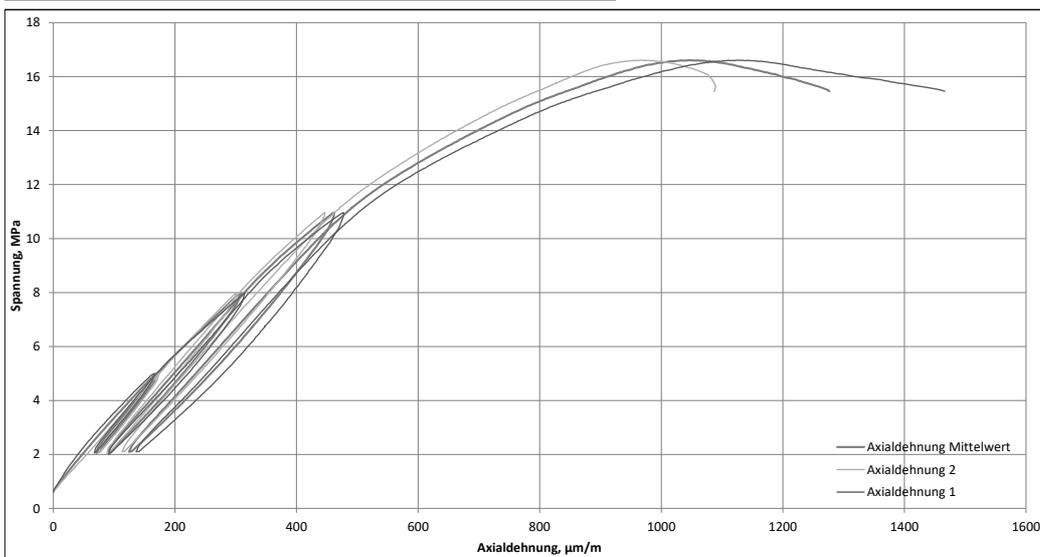
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S8_21		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	17.11.2018 09:51:12	UCS	24,8 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	29,6 GPa



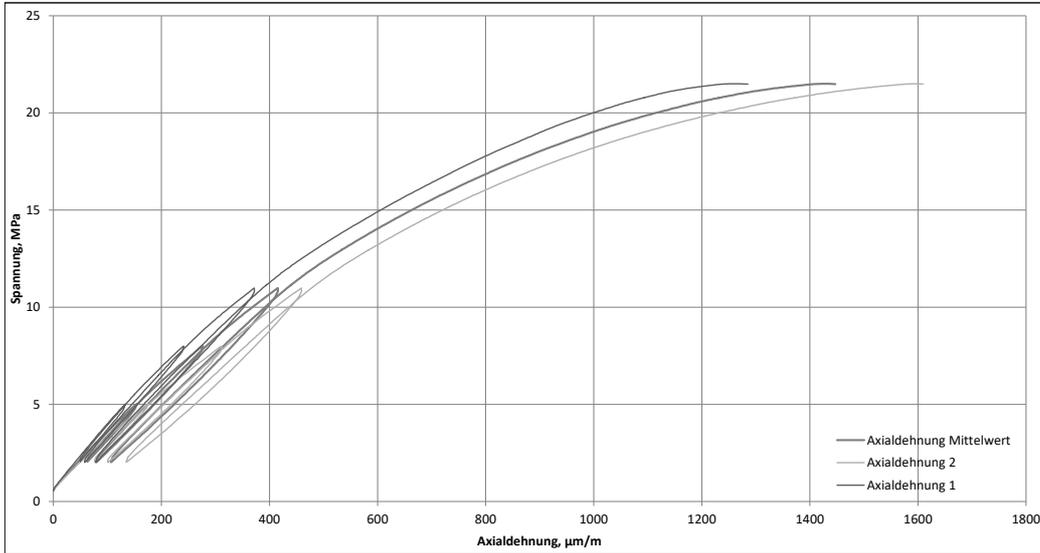
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S8_16		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	19.11.2018 16:57:28	UCS	16,6 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	27,8 GPa



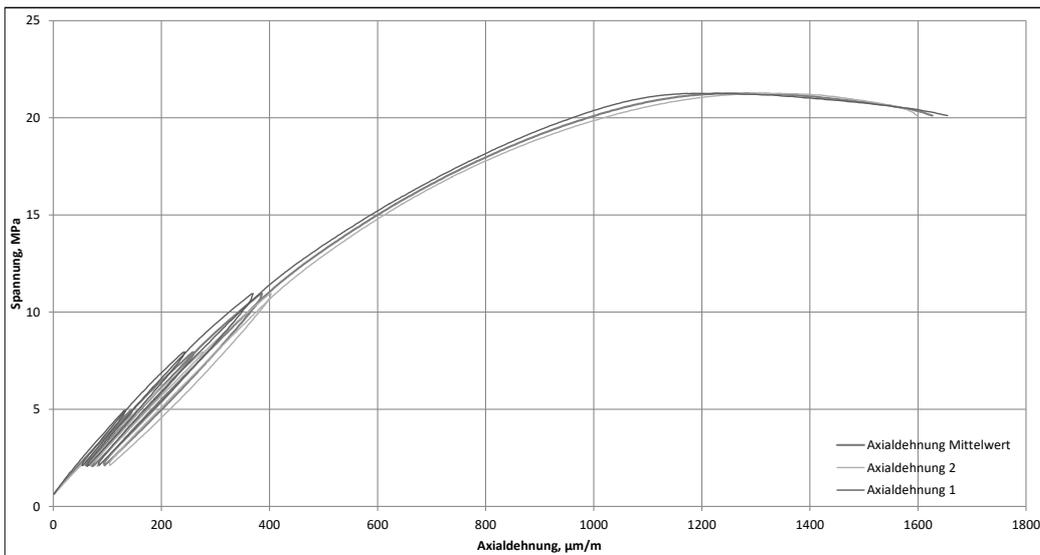
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S8_17		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	19.11.2018 17:15:46	UCS	21,5 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	30,6 GPa



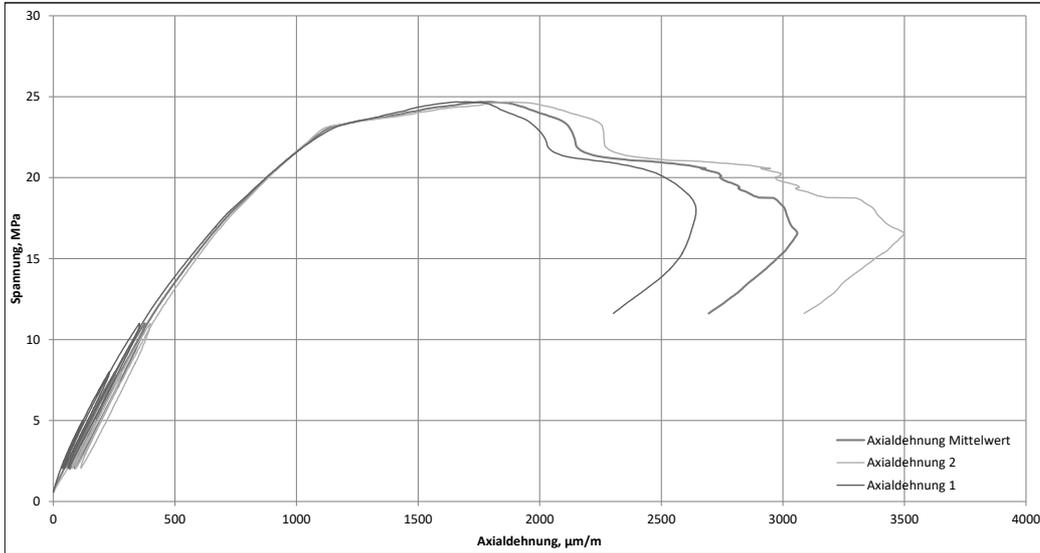
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S8_18		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	19.11.2018 17:31:53	UCS	21,3 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	32,0 GPa



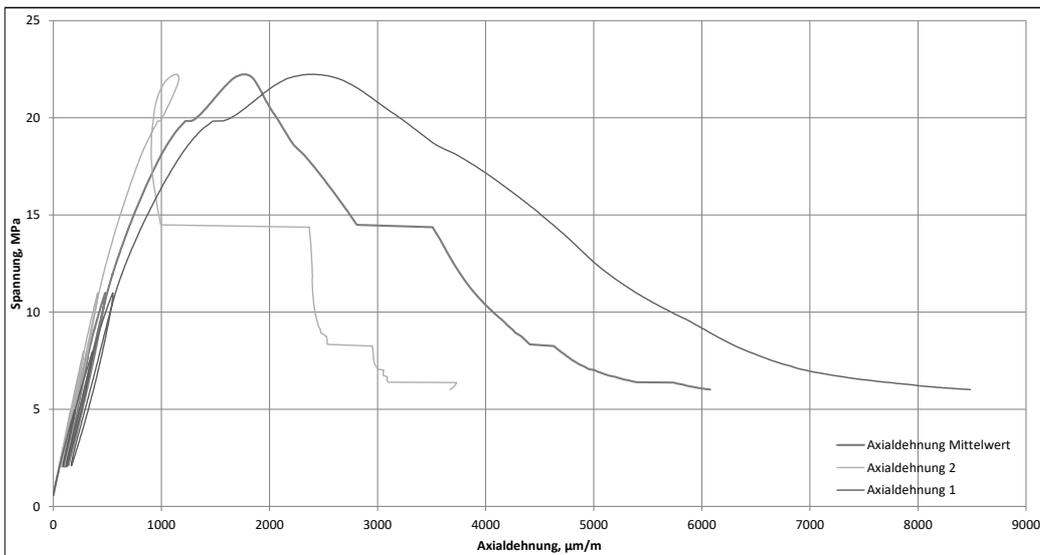
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_S8_13		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	21.11.2018 16:24:27	<b>UCS</b>	24,7 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	32,2 GPa



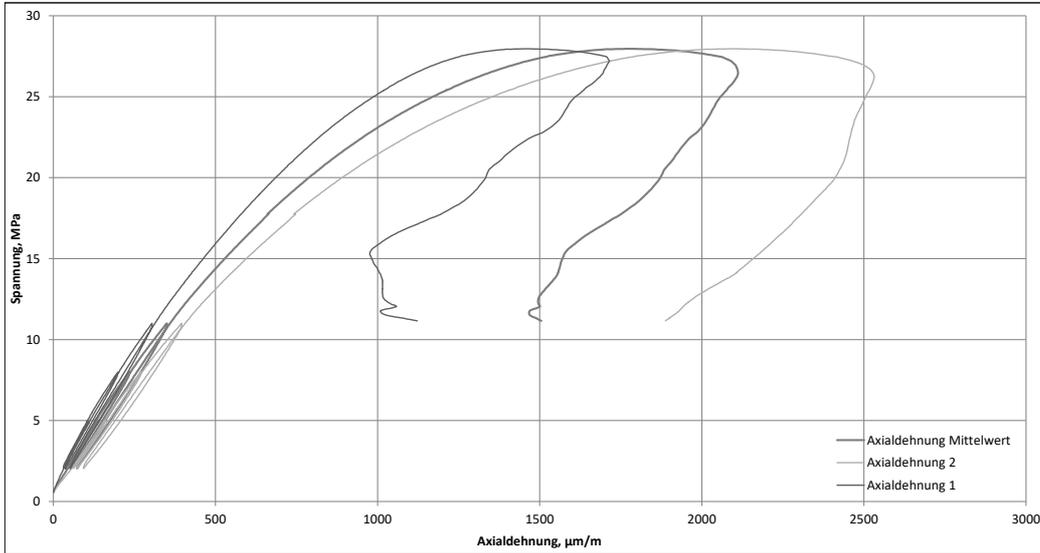
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_S8_14		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	21.11.2018 16:42:06	<b>UCS</b>	22,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	27,2 GPa



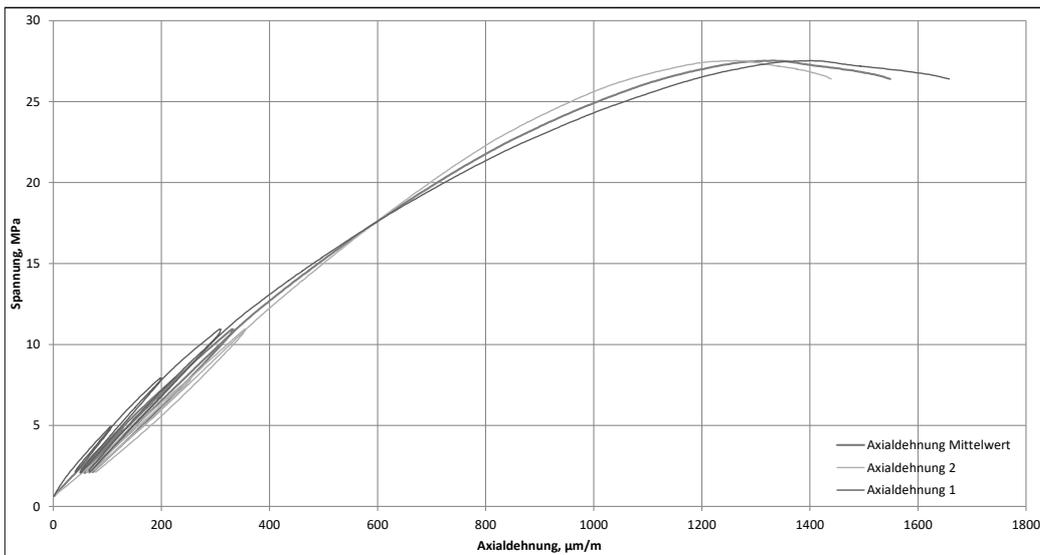
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S8_15		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	21.11.2018 16:55:15	UCS	28,0 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	33,3 GPa



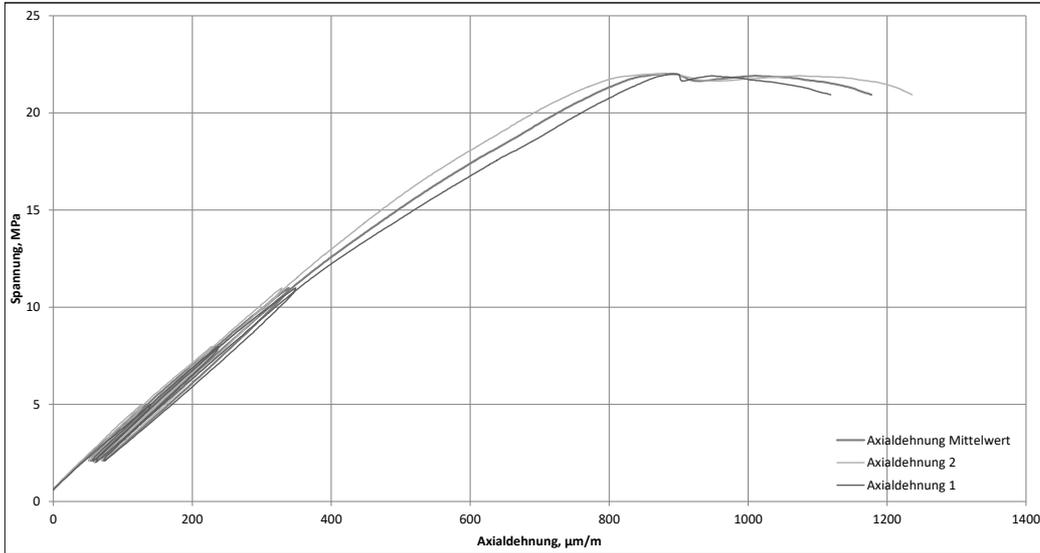
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S8_10		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	28.11.2018 13:18:51	UCS	27,5 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	35,4 GPa



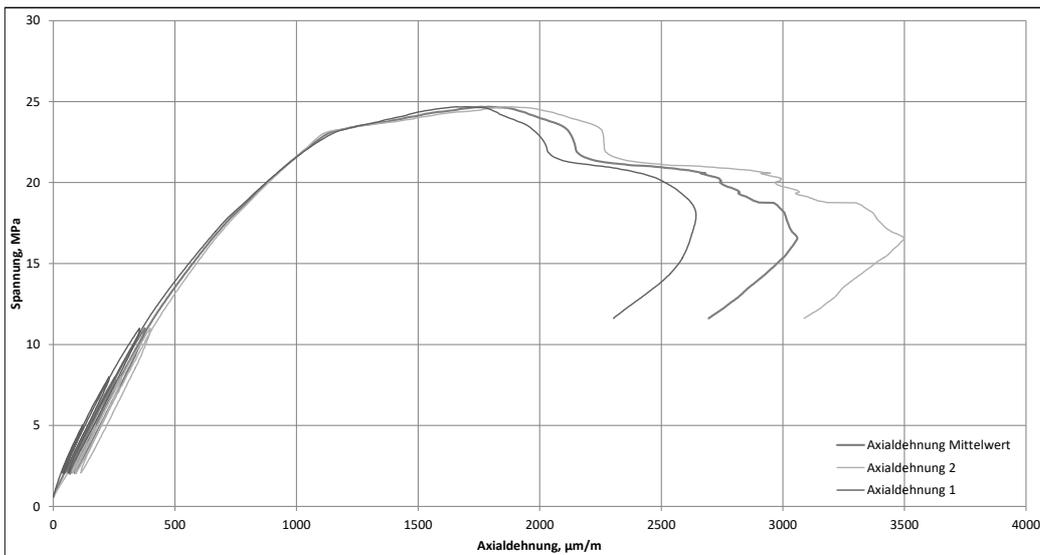
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S8_11		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	28.11.2018 13:40:19	<b>UCS</b>	22,0 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	34,6 GPa



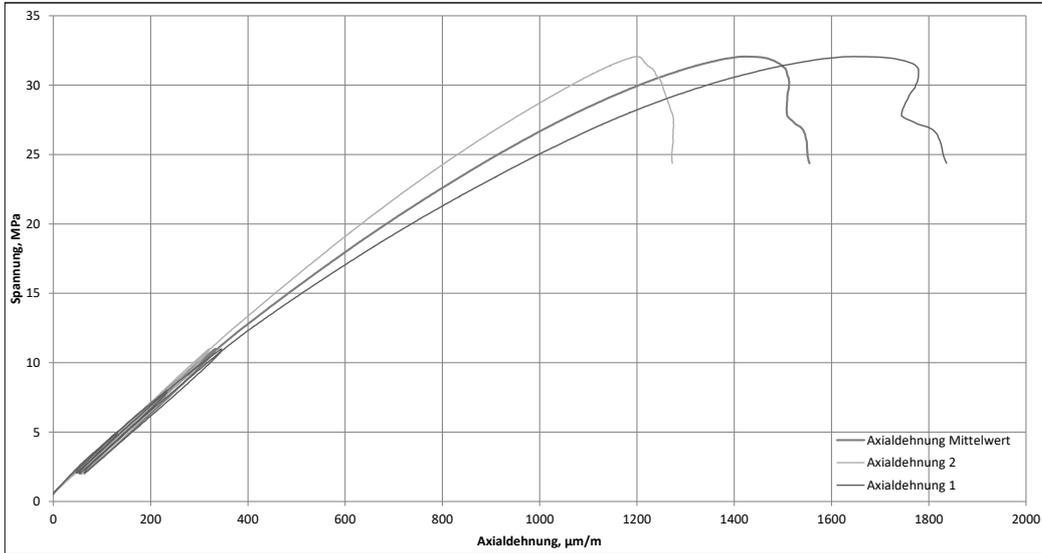
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_S8_12		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	21.11.2018 16:24:27	<b>UCS</b>	24,7 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	32,2 GPa



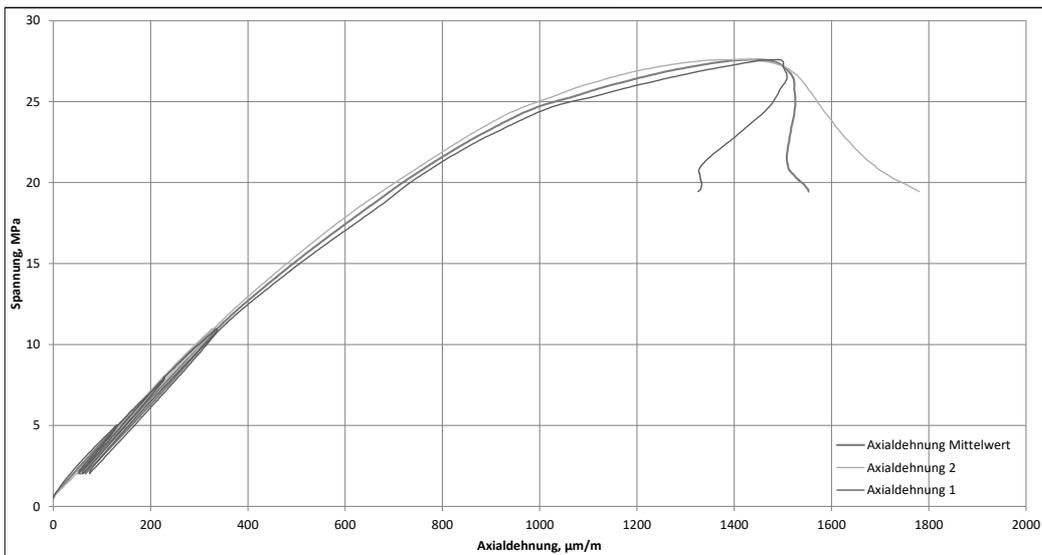
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_S8_5		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	12.12.2018 15:01:35	<b>UCS</b>	32,1 MPa
<b>Probenalter:</b>	672 h	<b>E-Modul</b>	34,6 GPa



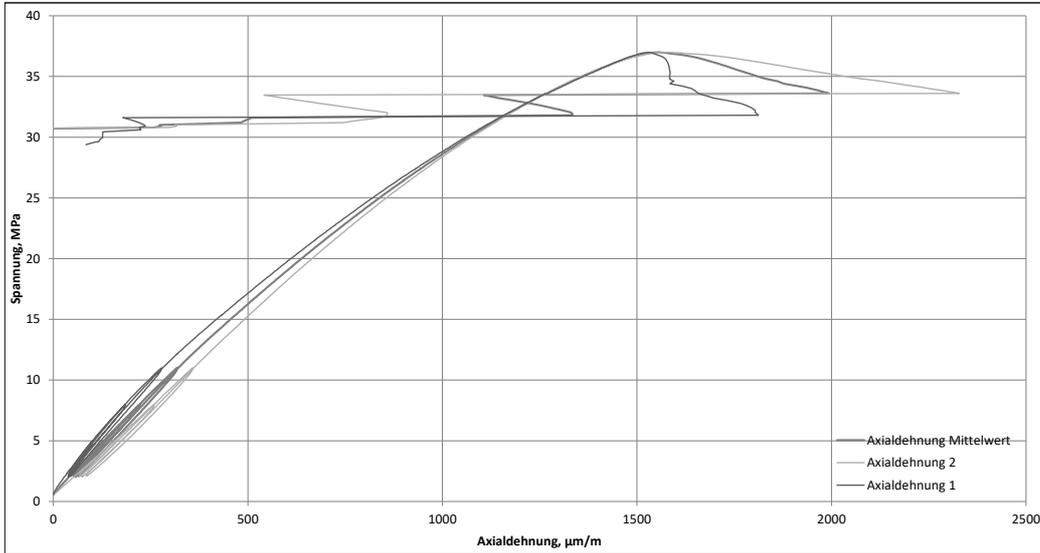
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZAB_S8_8		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	12.12.2018 15:23:01	<b>UCS</b>	27,6 MPa
<b>Probenalter:</b>	672 h	<b>E-Modul</b>	35,0 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

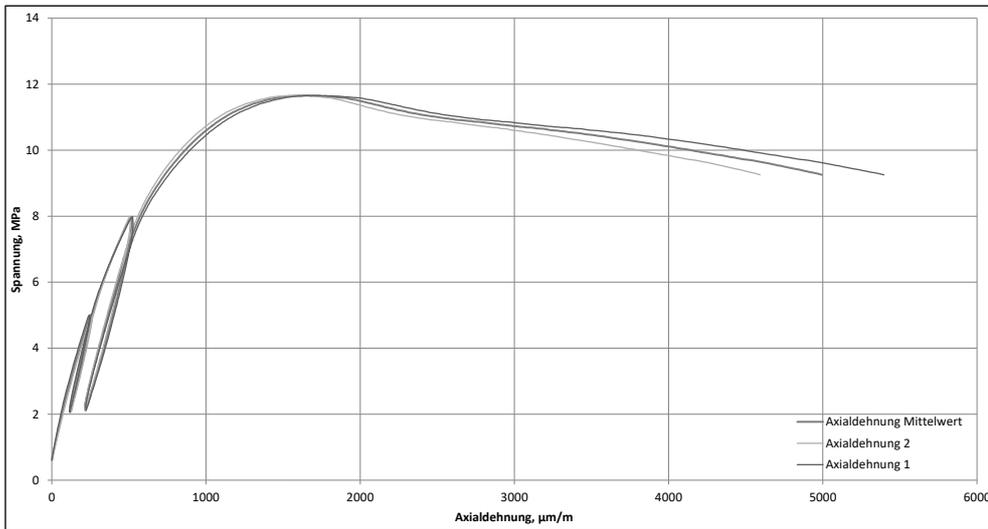
Probename:	SpC_Versuch_ZAB_S8_9		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	12.12.2018 15:35:55	UCS	37,0 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	36,5 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 9 vom ZaB

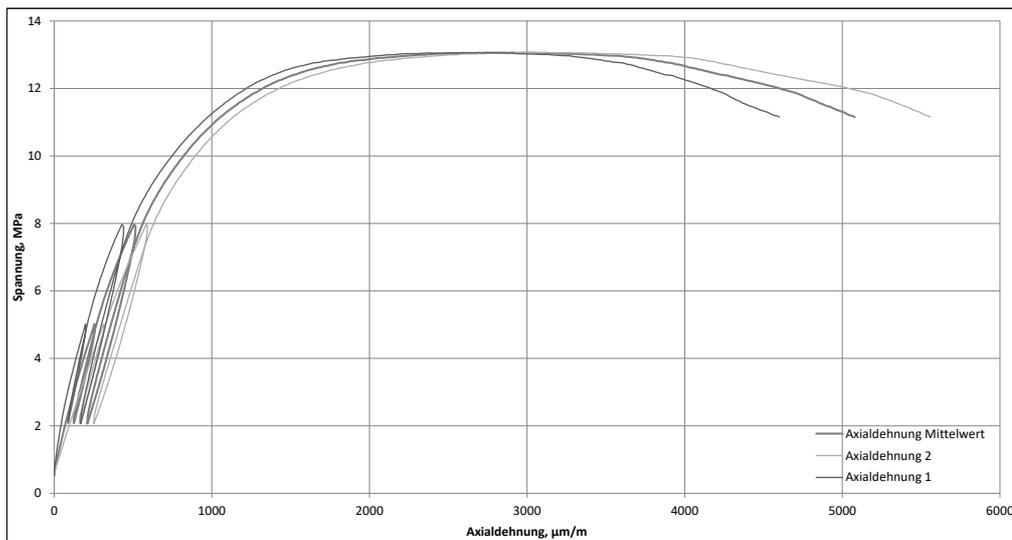
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S9_31		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.11.2018 13:08:04	UCS	11,7 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	20,9 GPa



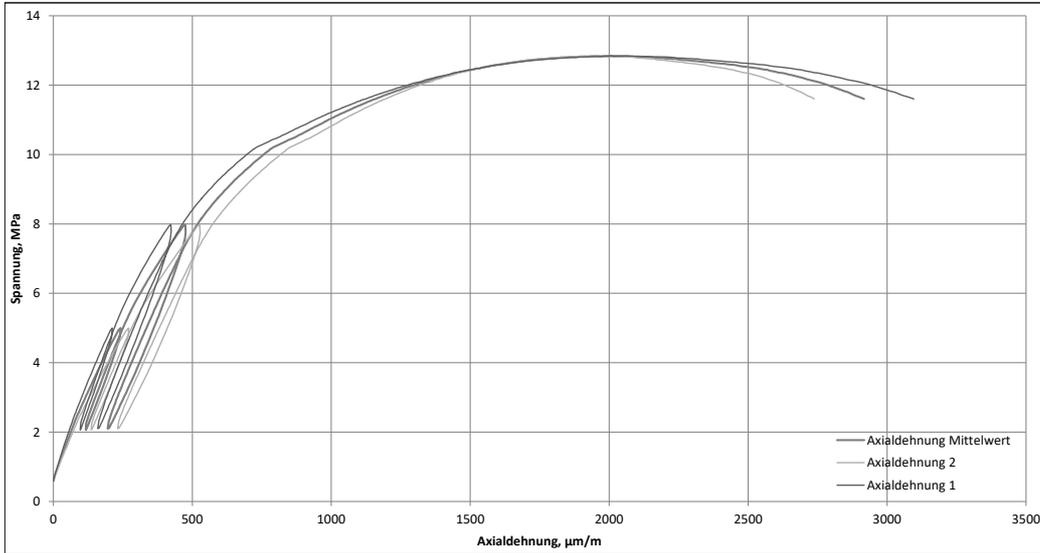
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S9_32		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.11.2018 13:26:07	UCS	13,1 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	21,1 GPa



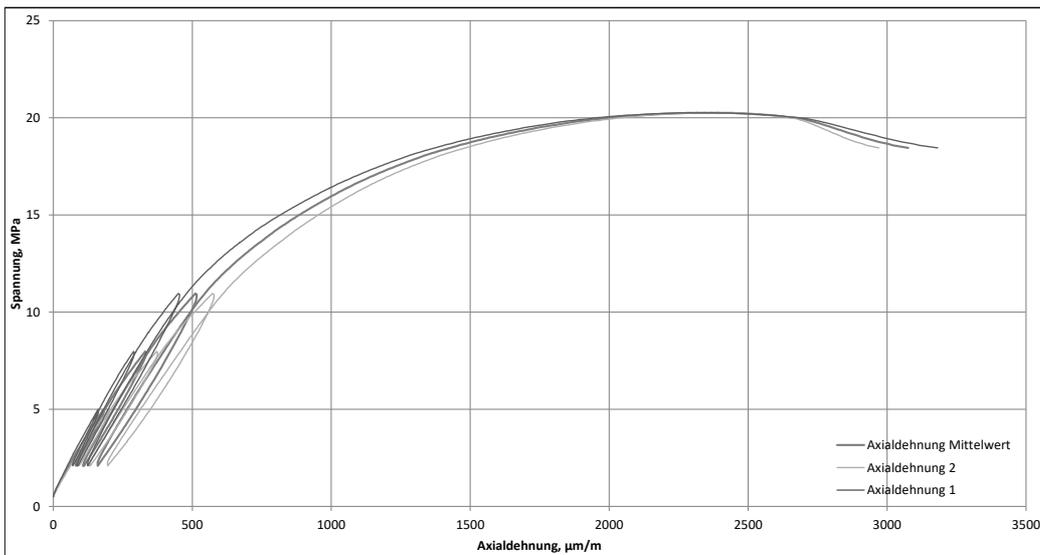
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S9_33		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	22.11.2018 13:44:22	UCS	12,8 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	22,3 GPa



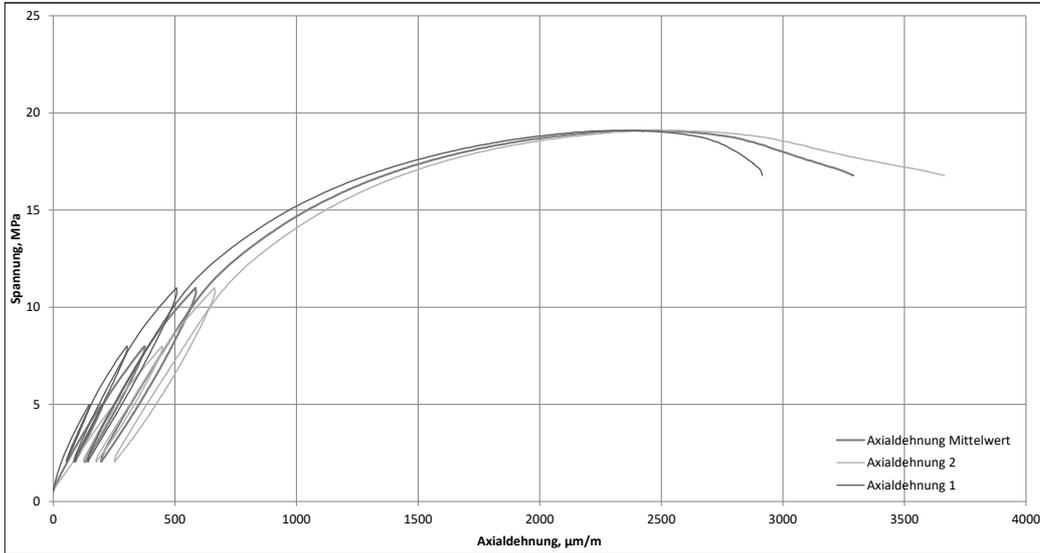
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S9_28		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.11.2018 13:15:54	UCS	20,3 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	27,0 GPa



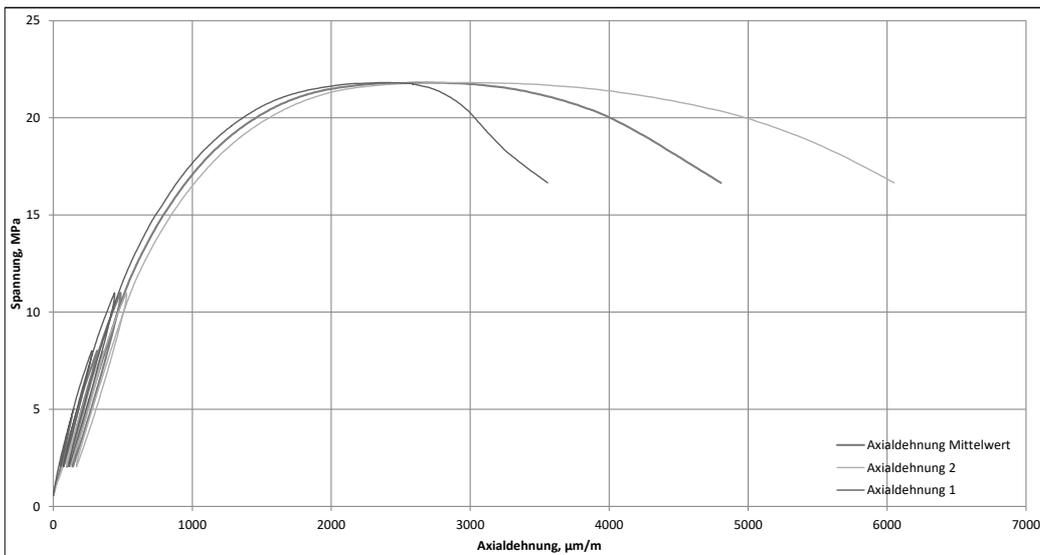
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S9_29		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.11.2018 12:59:20	UCS	19,1 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	24,7 GPa



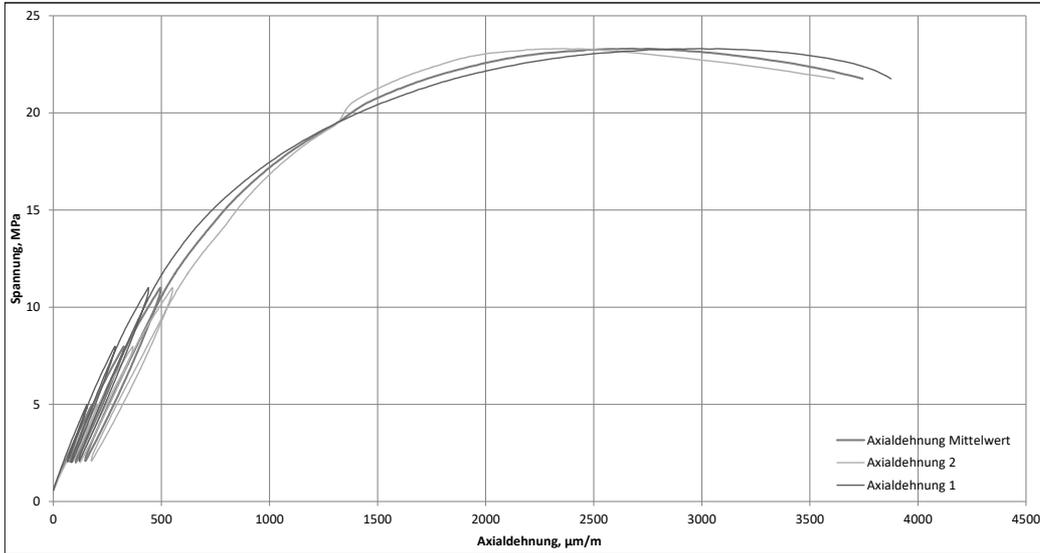
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S9_30		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	23.11.2018 12:44:51	UCS	21,8 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	27,1 GPa



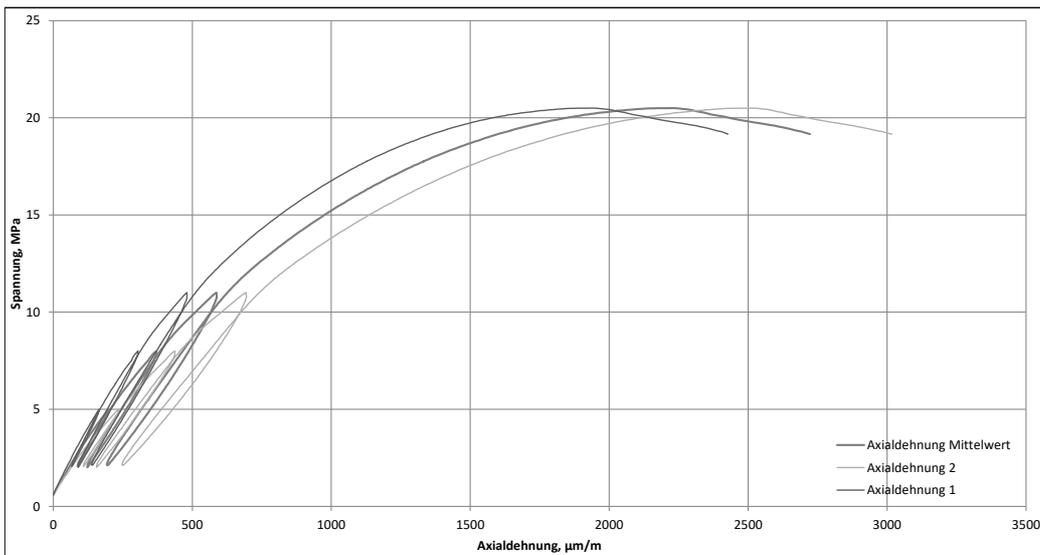
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S9_25		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.11.2018 12:43:18	UCS	23,3 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	27,1 GPa



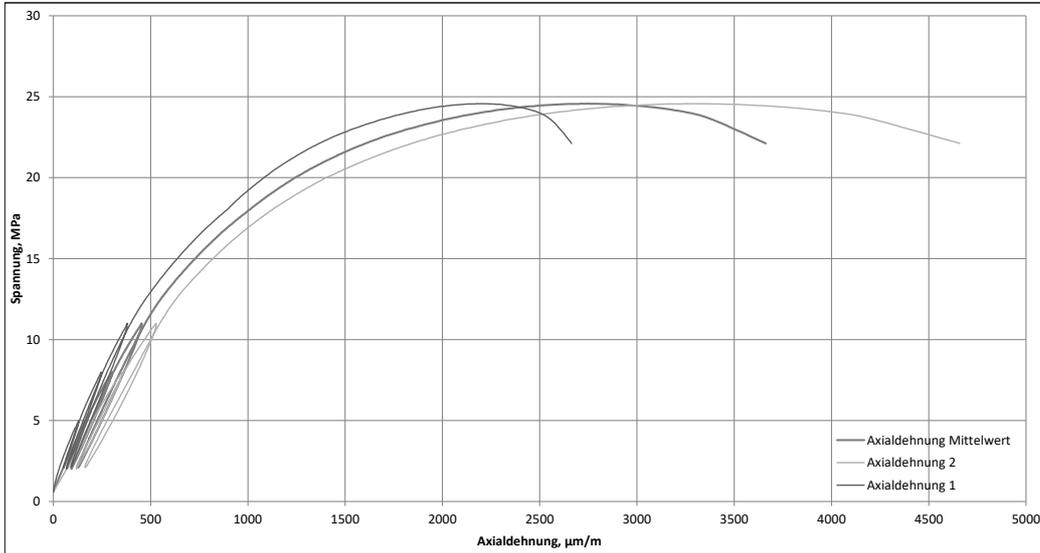
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S9_26		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.11.2018 13:02:49	UCS	20,5 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	24,2 GPa



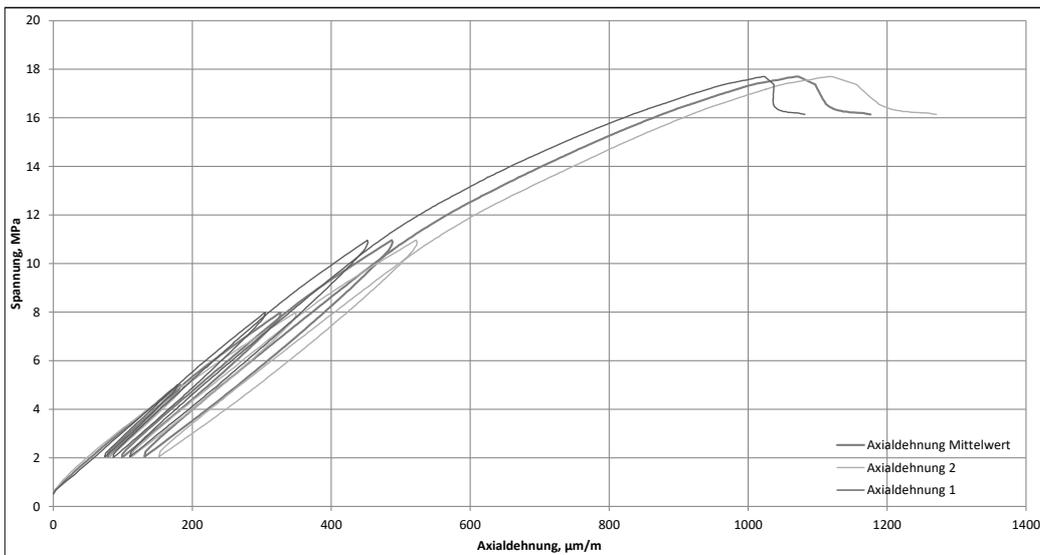
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_27		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	24.11.2018 13:13:56	<b>UCS</b>	24,6 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	28,7 GPa



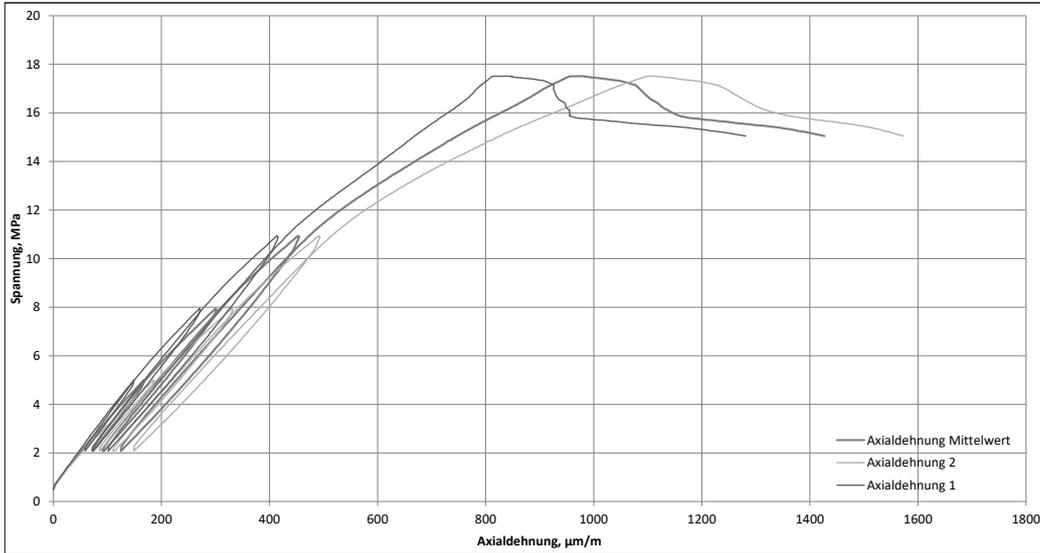
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_22		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	26.11.2018 14:37:50	<b>UCS</b>	17,7 MPa
<b>Probenalter:</b>	120 h	<b>E-Modul</b>	26,5 GPa



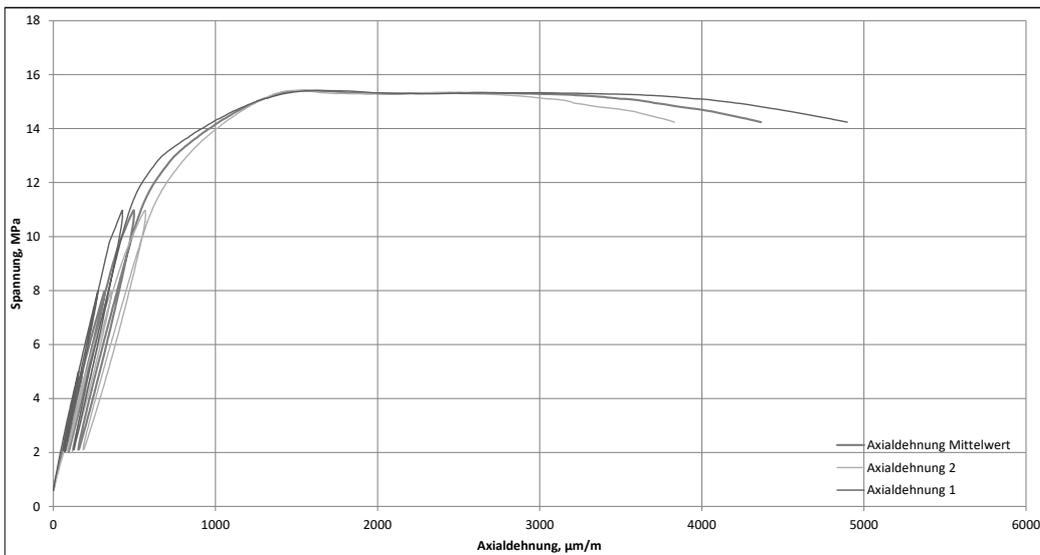
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S9_23		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	26.11.2018 14:24:35	UCS	17,5 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	28,7 GPa



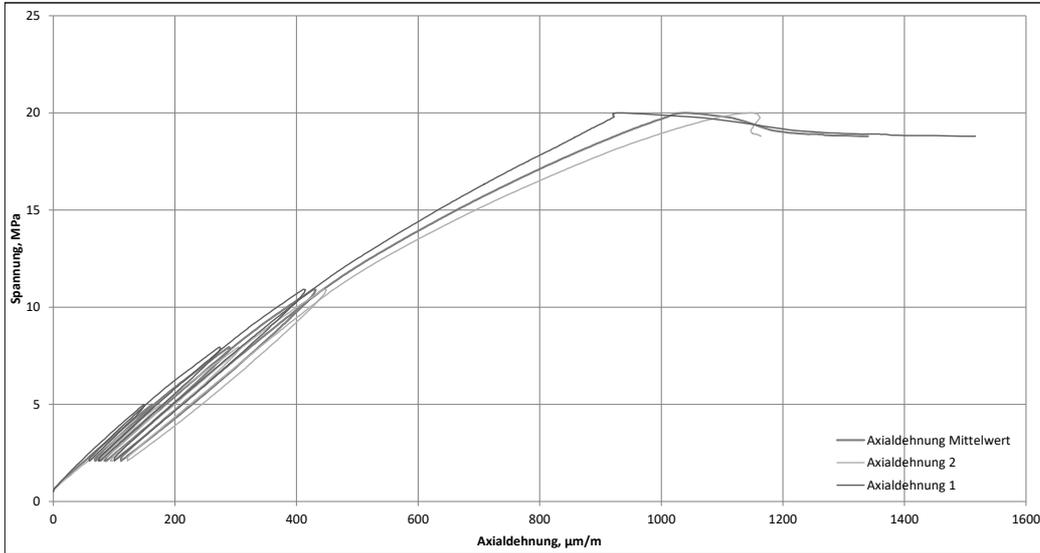
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZaB_S9_24		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	26.11.2018 14:48:39	UCS	15,4 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	26,9 GPa



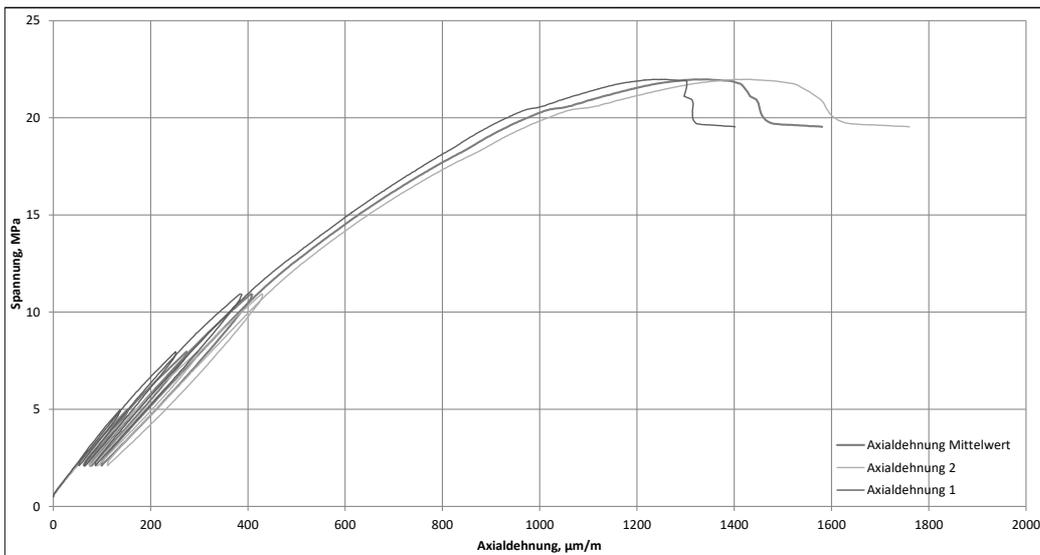
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_19		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	28.11.2018 12:32:51	<b>UCS</b>	20,0 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	29,3 GPa



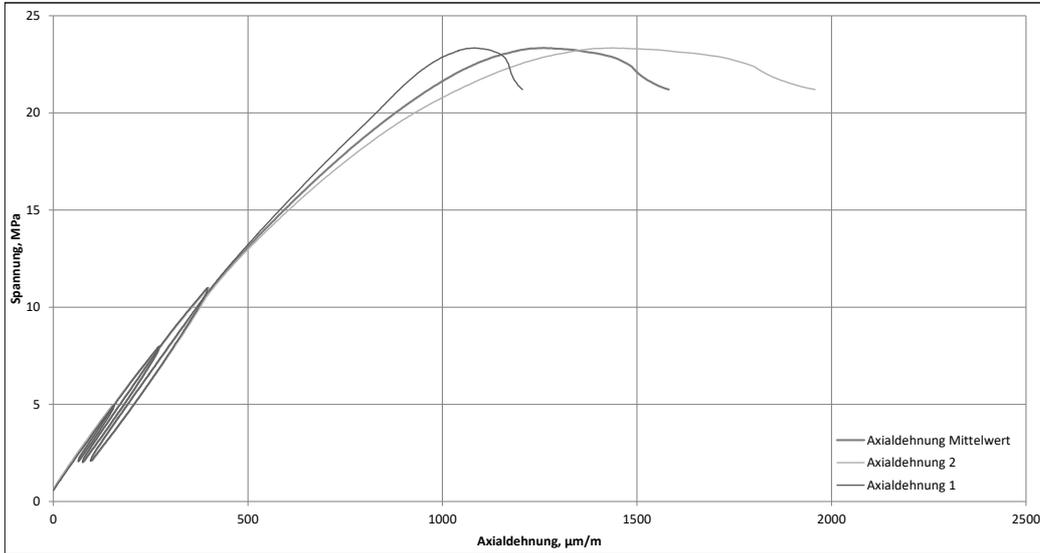
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_20		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	28.11.2018 12:49:04	<b>UCS</b>	22,0 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	30,4 GPa



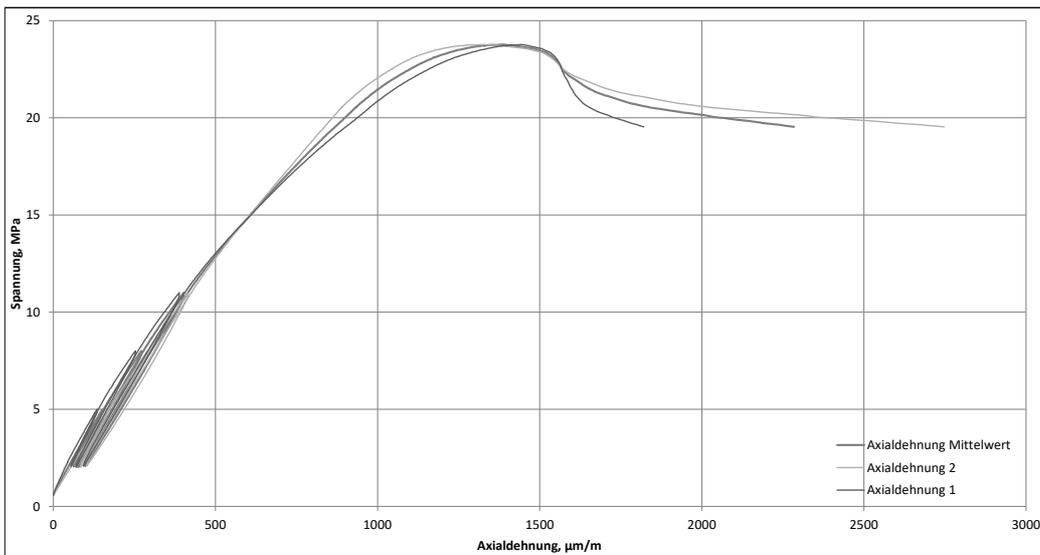
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_21		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	28.11.2018 13:06:05	<b>UCS</b>	23,3 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	30,6 GPa



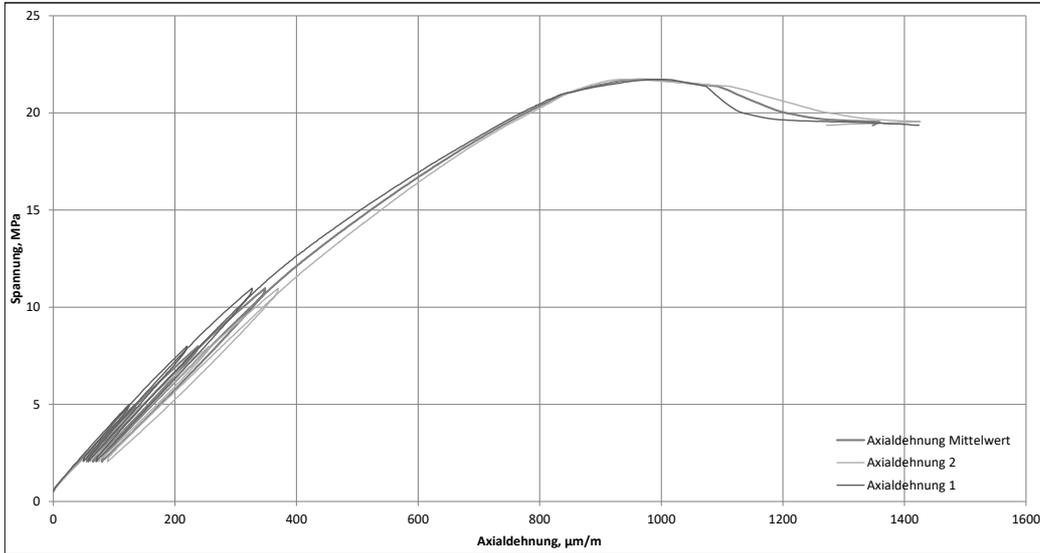
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_13		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	05.12.2018 11:43:50	<b>UCS</b>	23,8 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	30,8 GPa



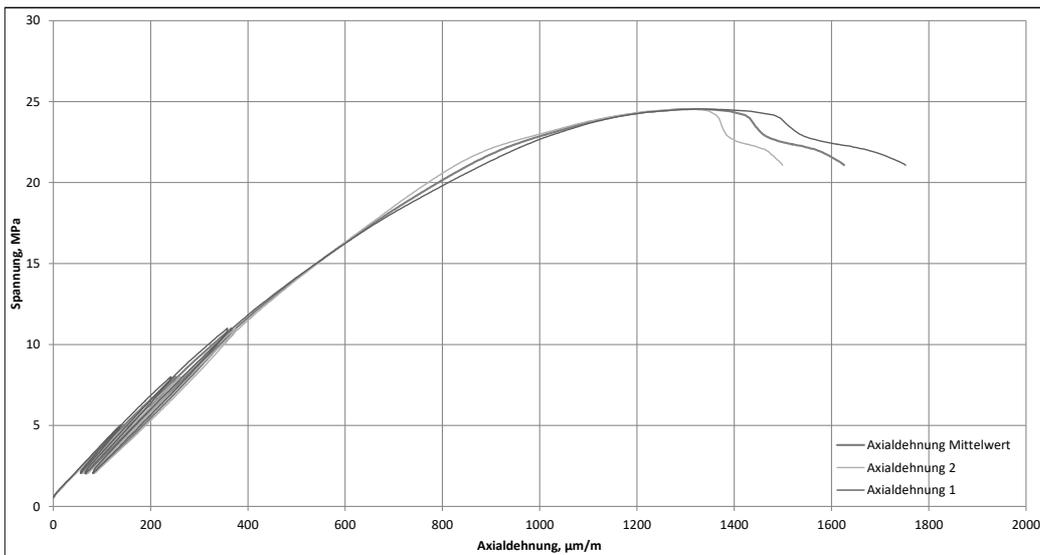
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_14		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	05.12.2018 12:00:54	<b>UCS</b>	21,7 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	34,7 GPa



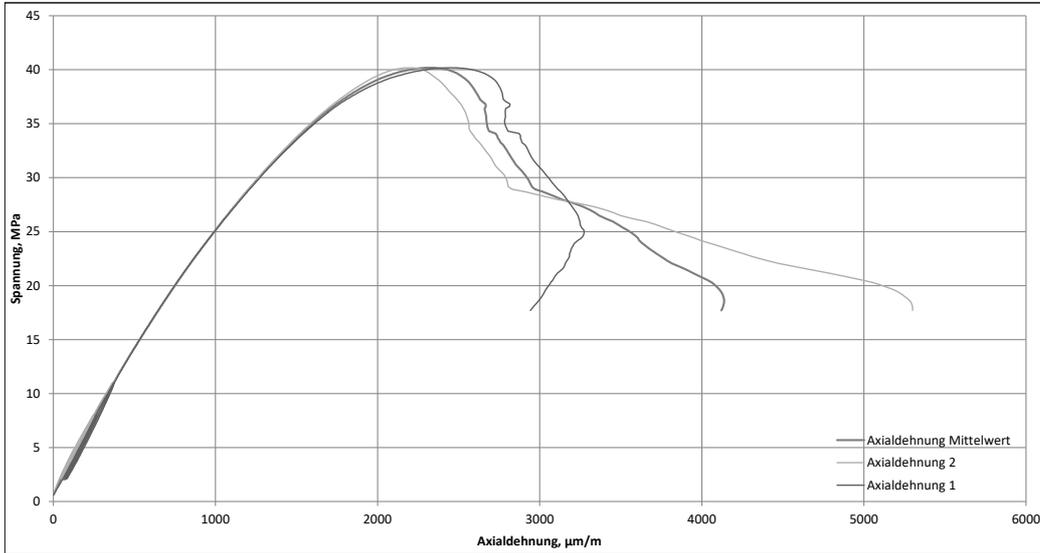
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_ZaB_S9_15		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	05.12.2018 12:16:26	<b>UCS</b>	24,5 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	32,7 GPa



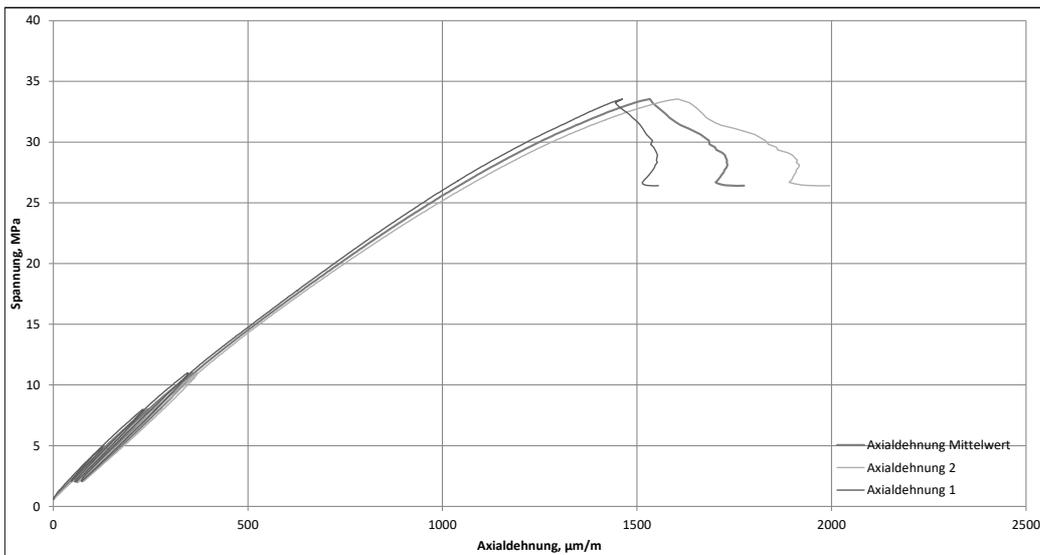
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S9_17		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	19.12.2018 11:30:04	UCS	40,2 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	30,9 GPa



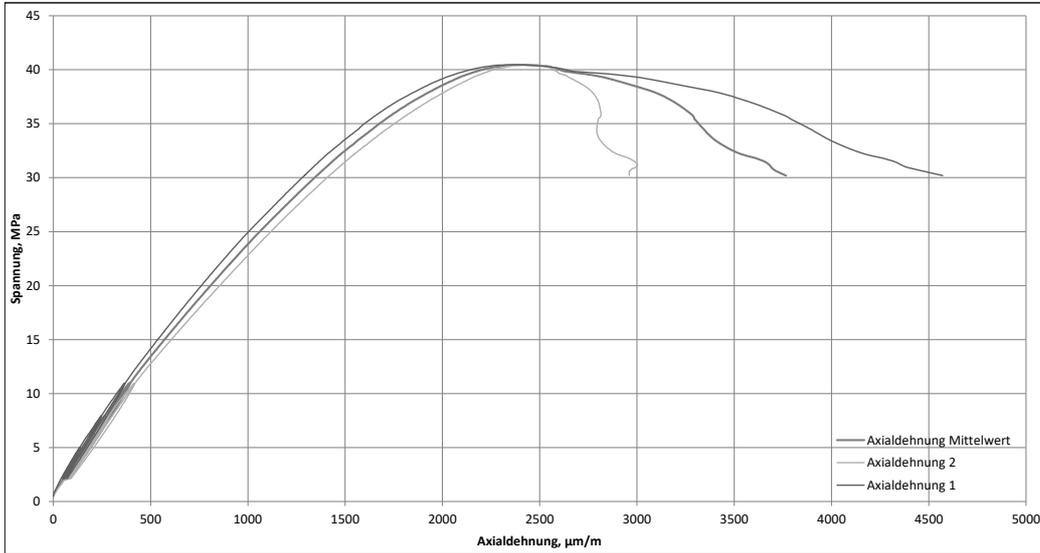
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_ZAB_S9_18		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	19.12.2018 11:42:18	UCS	33,5 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	33,0 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

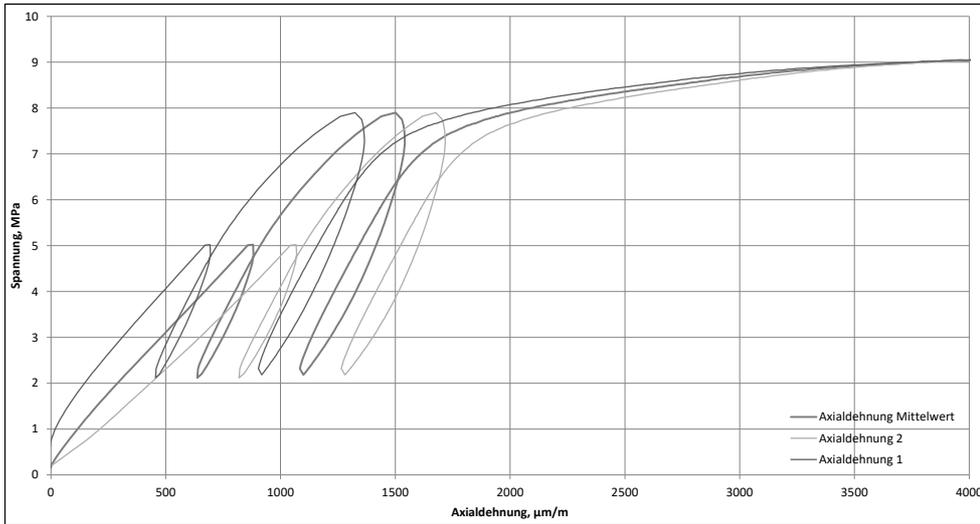
Probename:	SpC_Versuch_SBT31_S9_16		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	19.12.2018 11:16:50	UCS	40,5 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	30,0 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 1 vom SBT

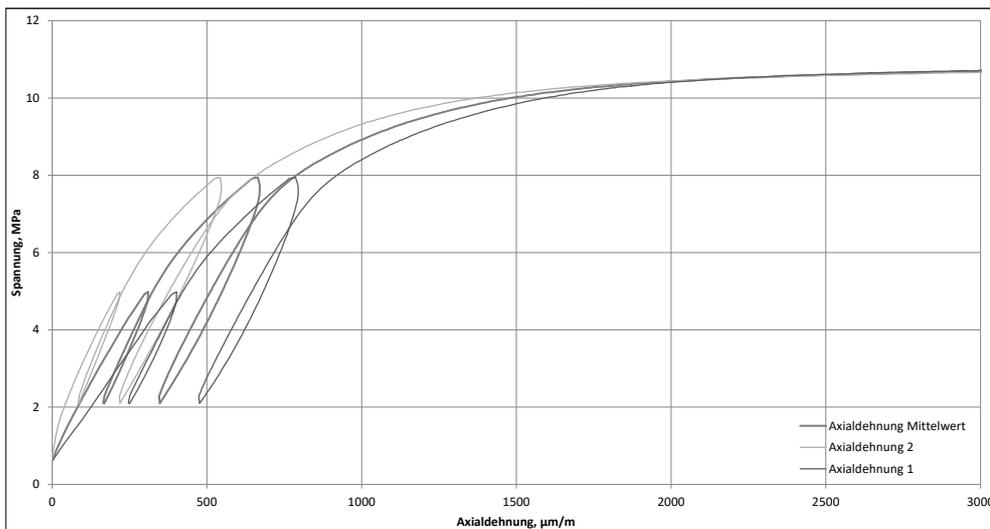
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_28_2		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	04.10.2018 11:10:15	UCS	9,1 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	13,1 GPa



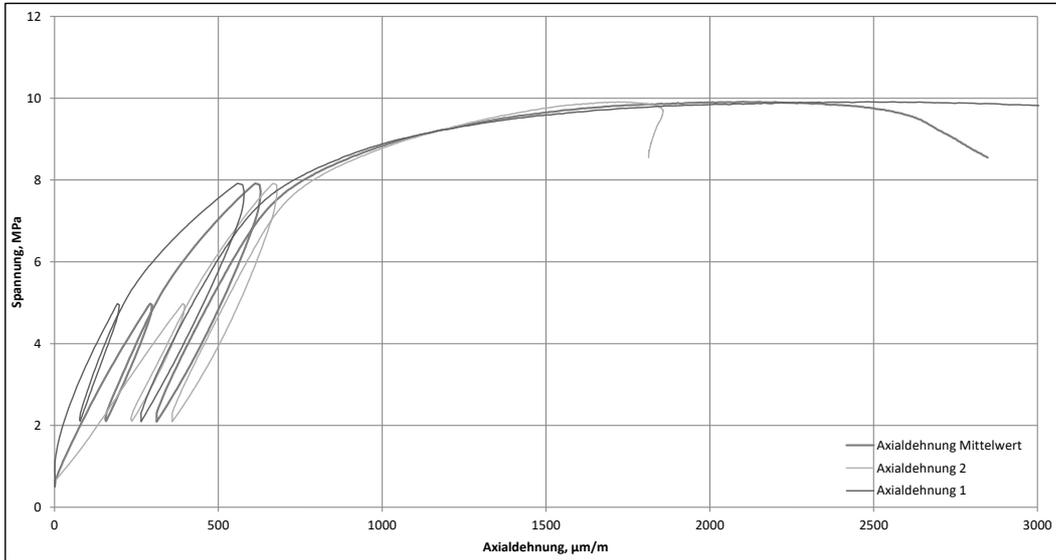
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_29		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	04.10.2018 10:40:58	UCS	10,7 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	19,4 GPa



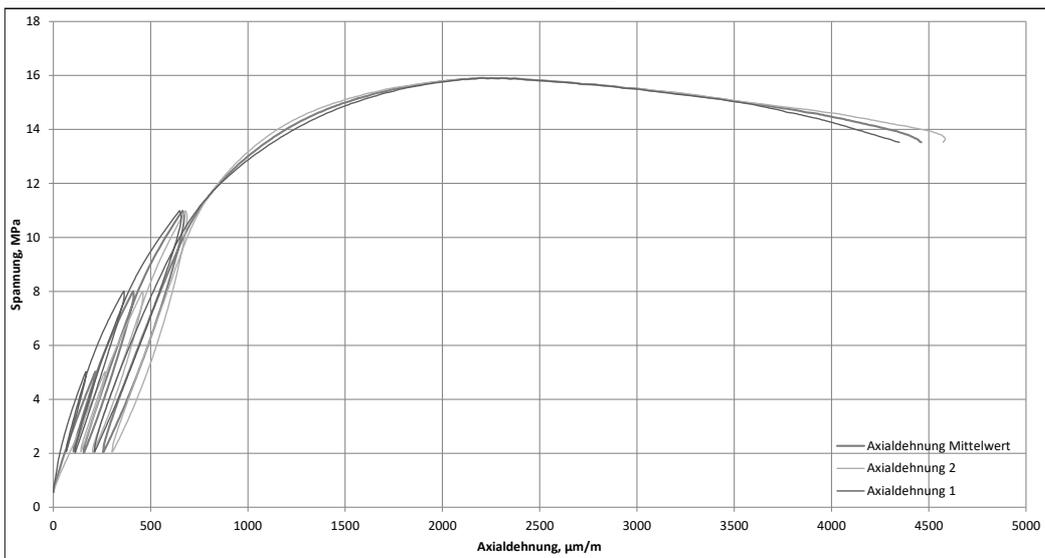
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_30		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	04.10.2018 11:27:38	UCS	9,9 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	20,4 GPa



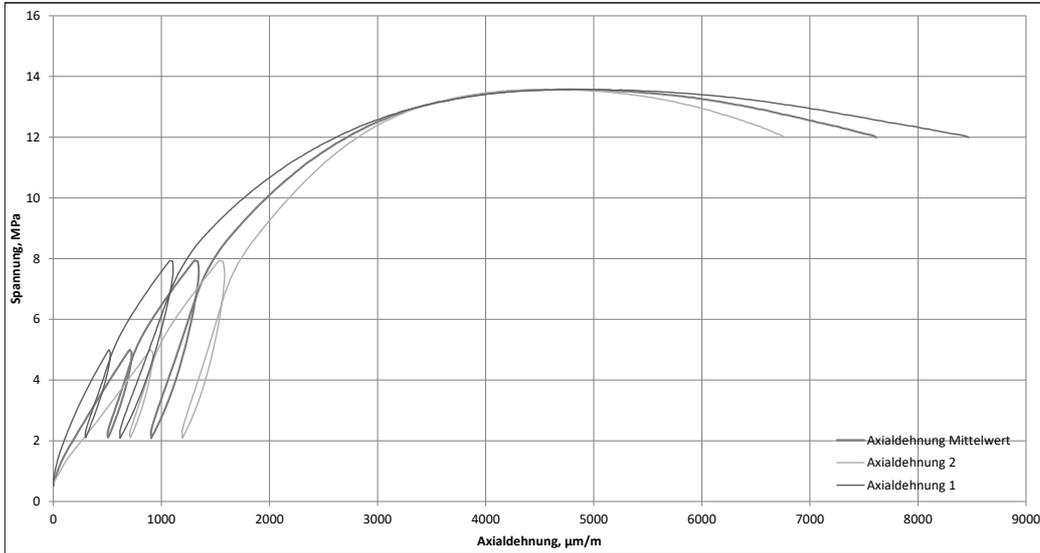
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_25		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	05.10.2018 11:15:51	UCS	15,9 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	24,0 GPa



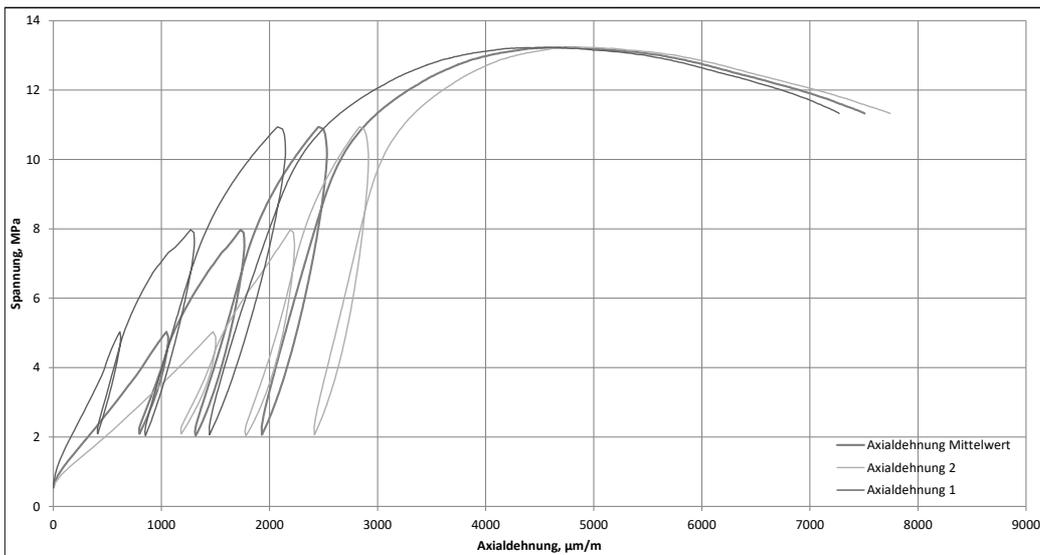
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_26		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	05.10.2018 10:34:01	UCS	13,6 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	14,6 GPa



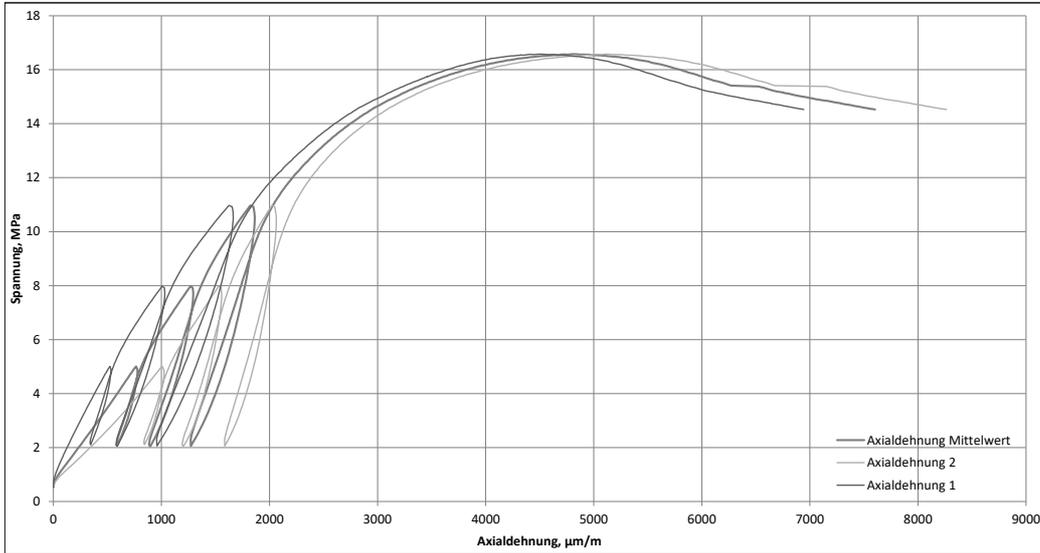
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_27		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	05.10.2018 10:59:50	UCS	13,2 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	14,3 GPa



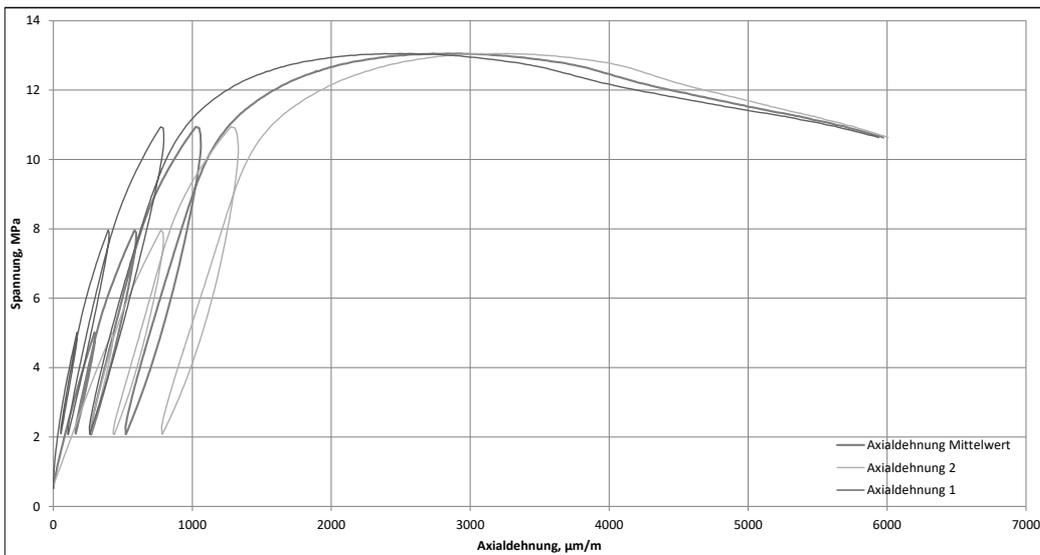
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_22		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	06.10.2018 10:32:20	<b>UCS</b>	16,6 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	16,3 GPa



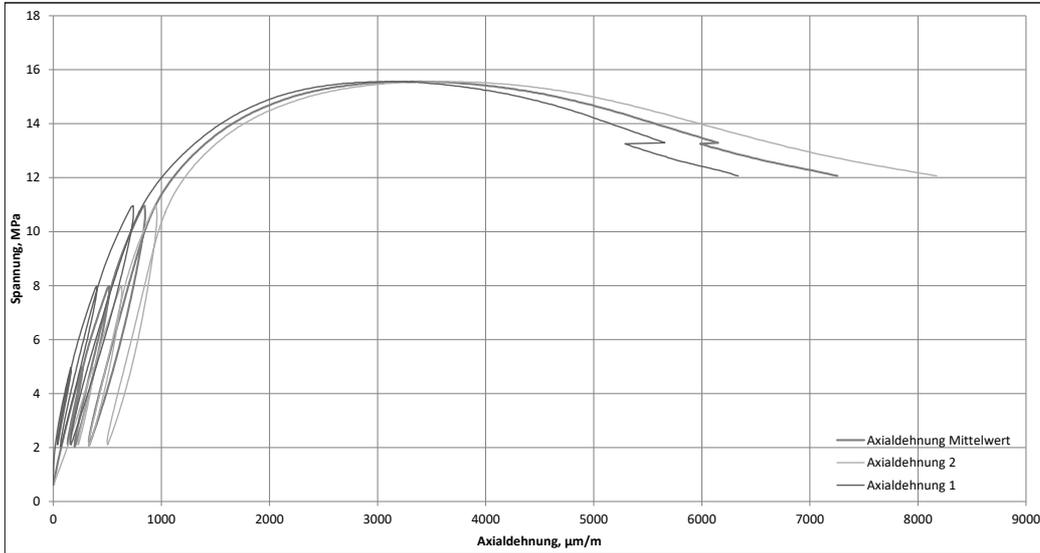
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_23		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	06.10.2018 10:50:36	<b>UCS</b>	13,0 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	19,3 GPa



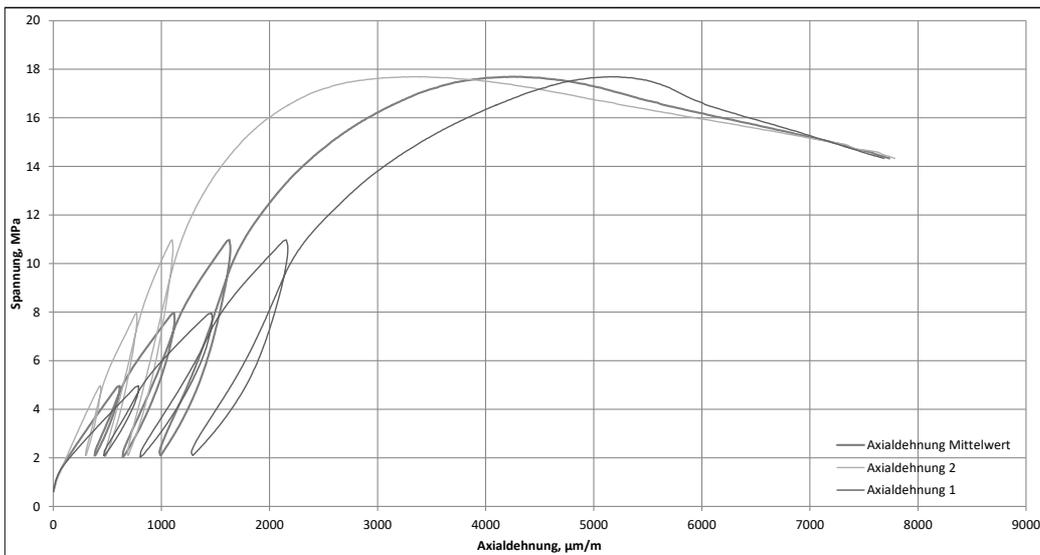
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_24		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	06.10.2018 11:09:35	UCS	15,6 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	19,1 GPa



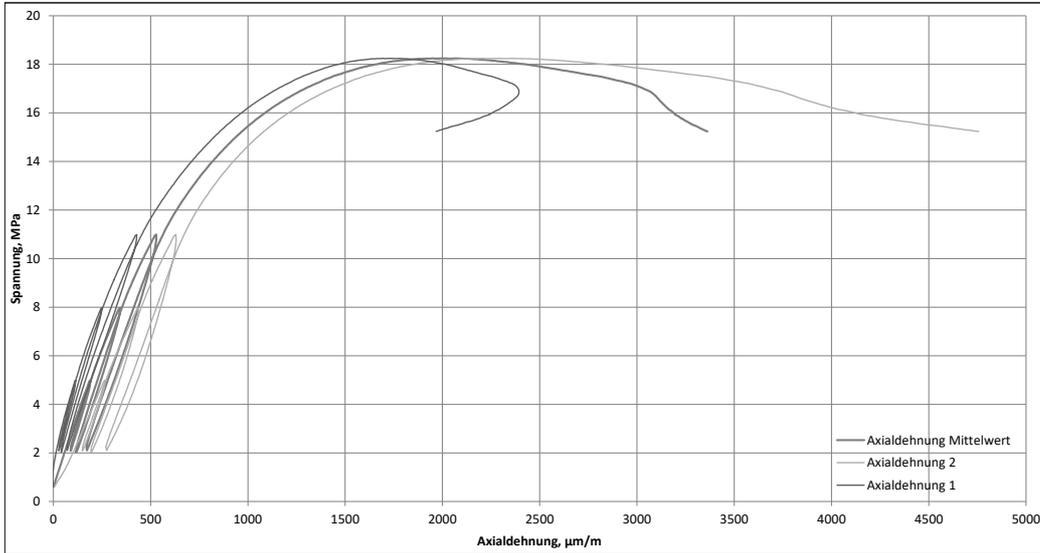
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_19		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	08.10.2018 11:10:38	UCS	17,7 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	12,9 GPa



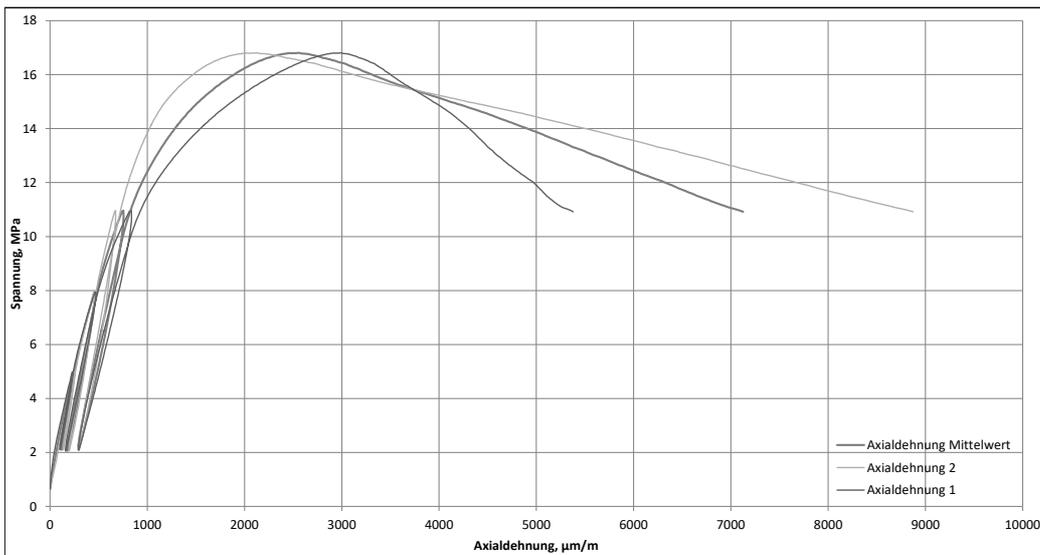
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_20		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	08.10.2018 10:55:43	UCS:	18,2 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul:	26,5 GPa



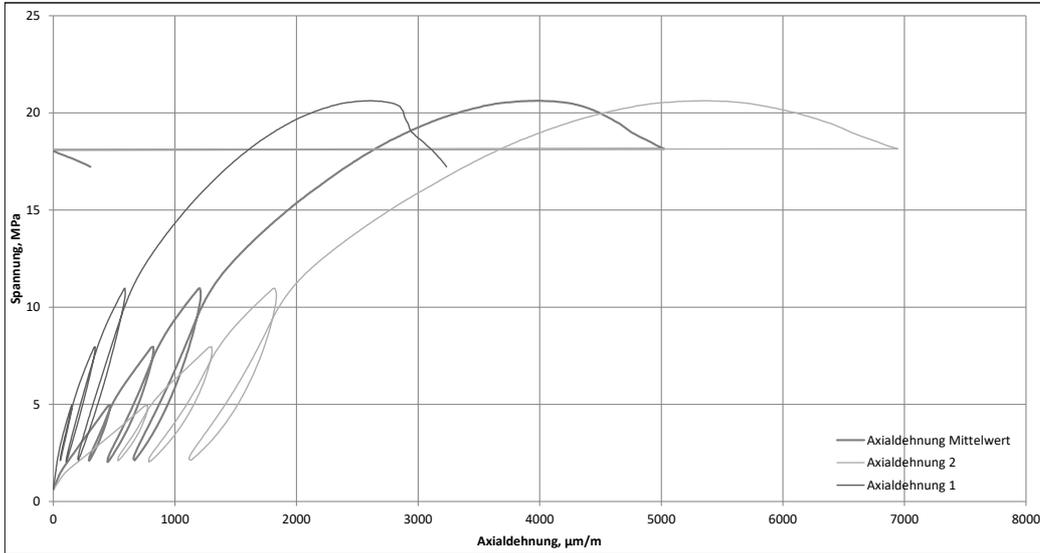
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_21		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	08.10.2018 11:27:38	UCS:	16,8 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul:	21,3 GPa



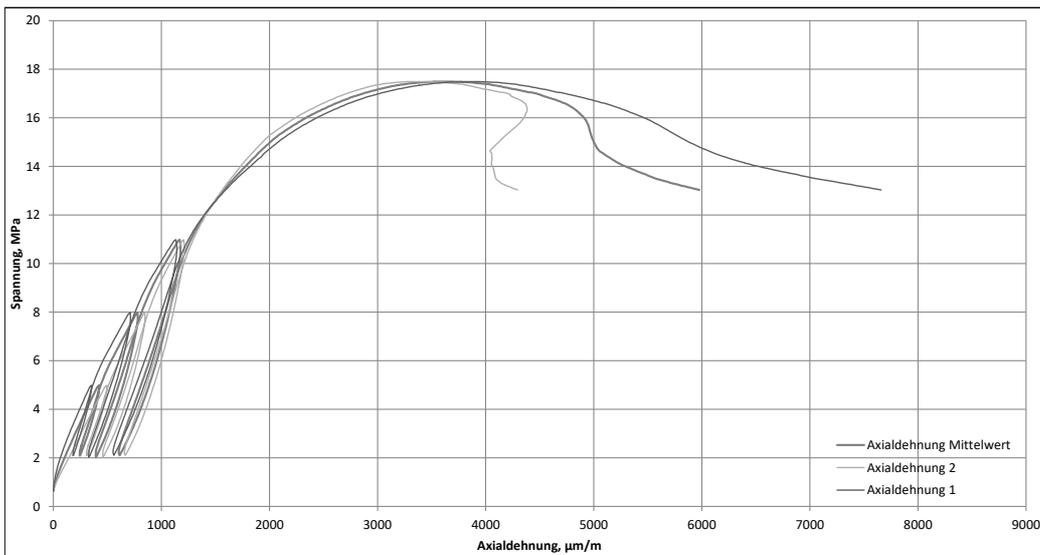
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_16		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	10.10.2018 17:31:09	<b>UCS</b>	20,6 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	16,3 GPa



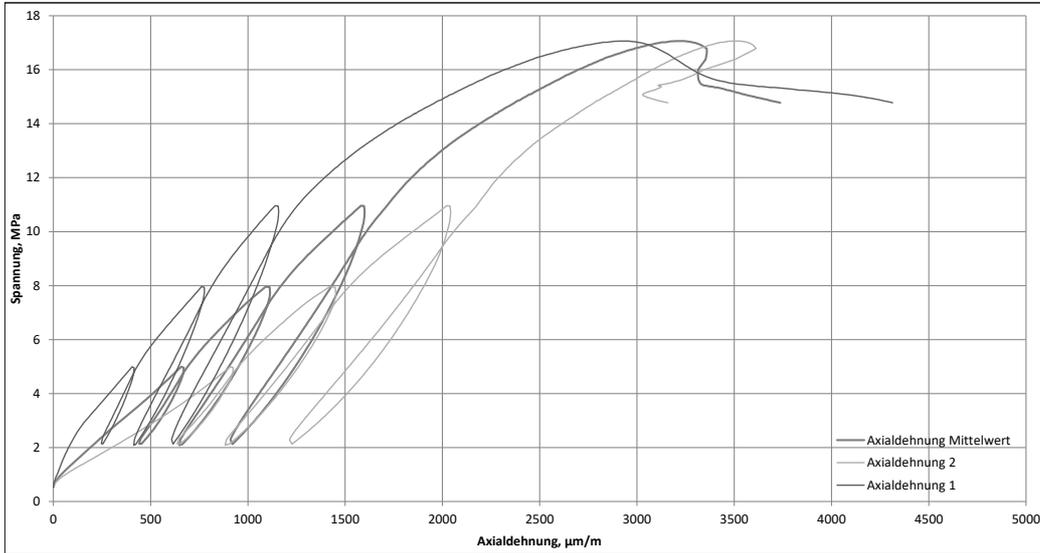
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_17		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	10.10.2018 17:12:41	<b>UCS</b>	17,5 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	15,8 GPa



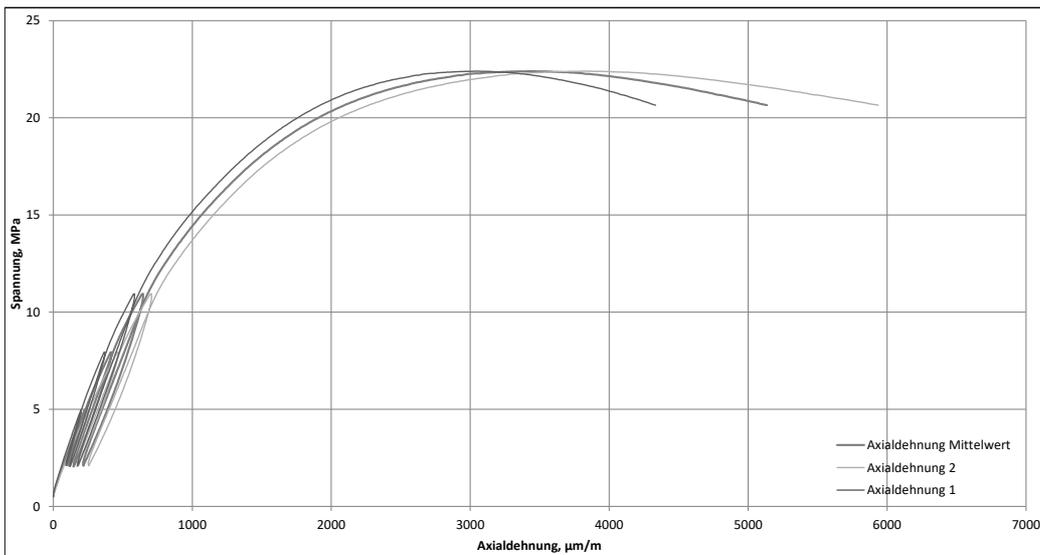
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_18		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	10.10.2018 16:47:15	<b>UCS</b>	17,1 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	13,5 GPa



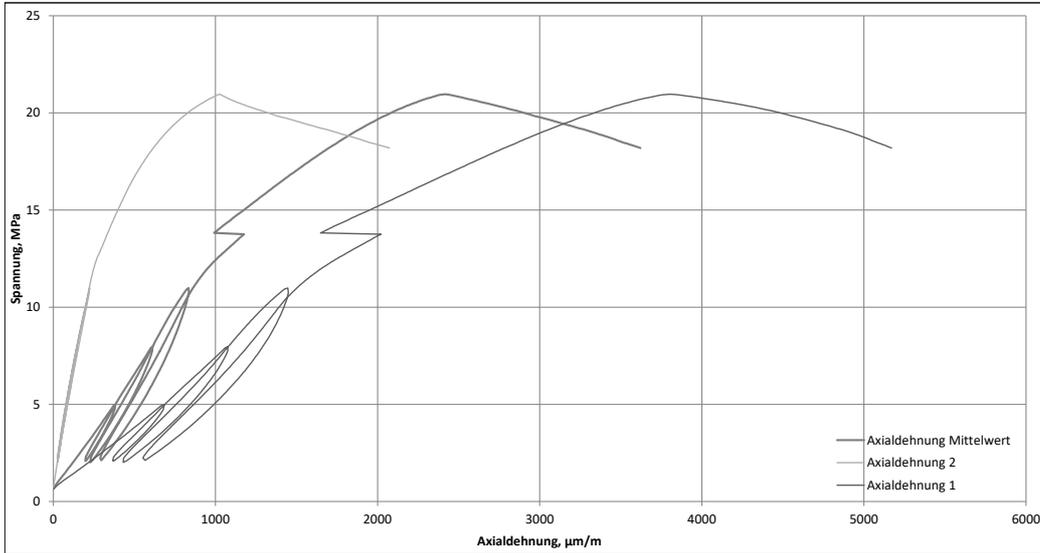
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_13		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	17.10.2018 10:19:20	<b>UCS</b>	22,4 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	22,1 GPa



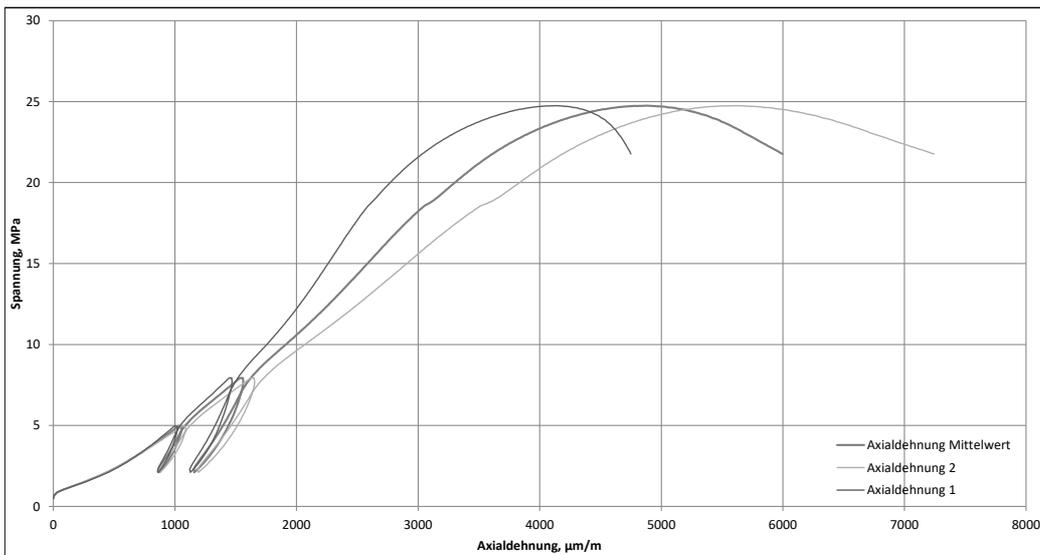
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_14_2		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	17.10.2018 10:03:44	<b>UCS</b>	21,0 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	15,9 GPa



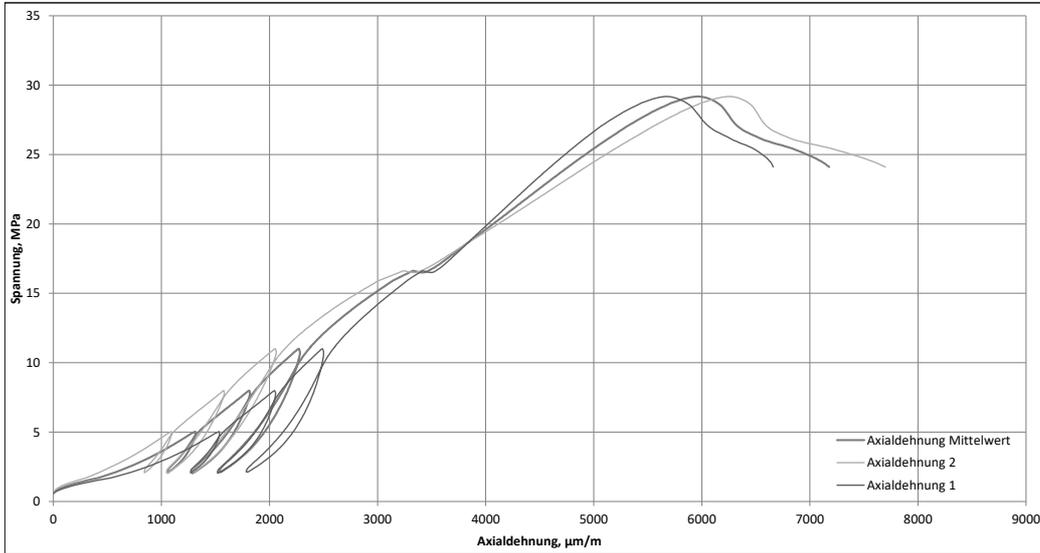
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_15		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	17.10.2018 09:35:11	<b>UCS</b>	24,7 MPa
<b>Probenalter:</b>	336 h	<b>E-Modul</b>	16,3 GPa



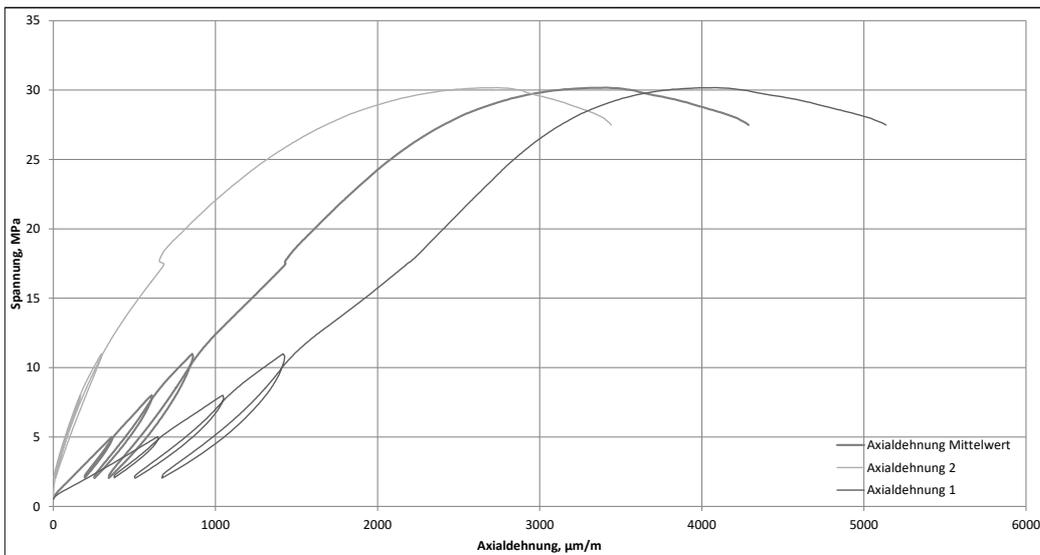
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_10		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	31.10.2018 15:10:21	<b>UCS</b>	29,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	672 h	<b>E-Modul</b>	11,7 GPa



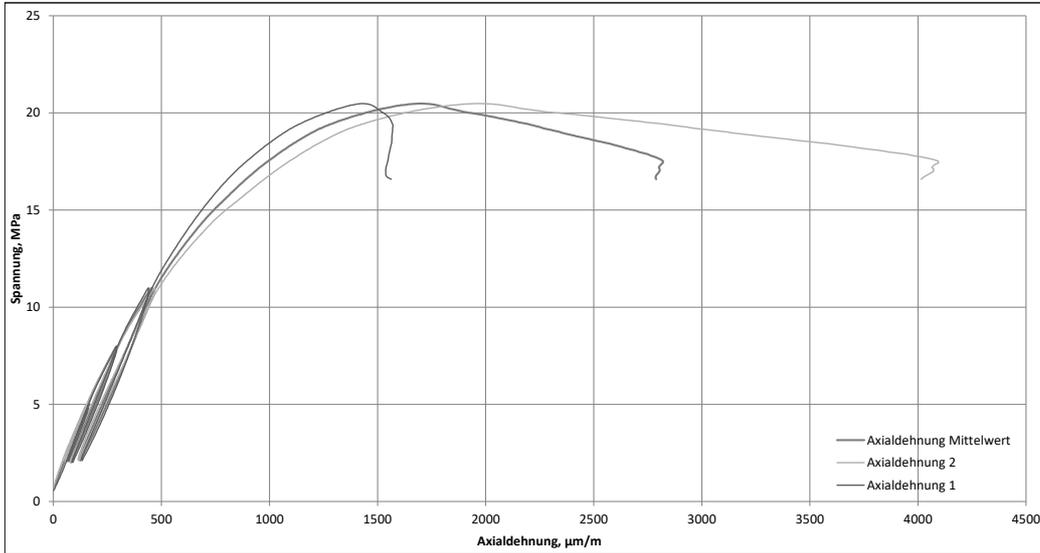
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_1_11		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	31.10.2018 15:23:55	<b>UCS</b>	30,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	672 h	<b>E-Modul</b>	17,2 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

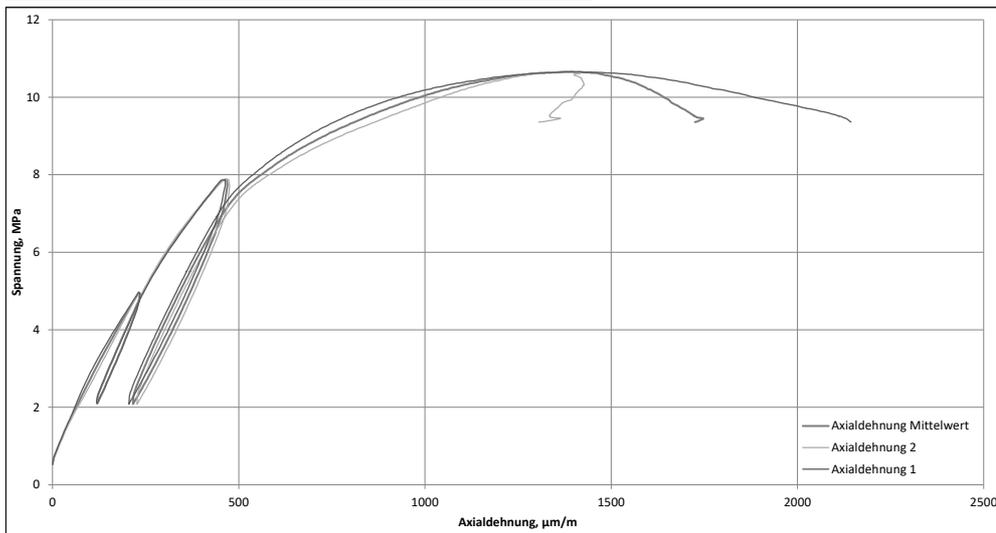
Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_1_12		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	31.10.2018 15:41:59	UCS	20,5 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	28,3 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 2 vom SBT

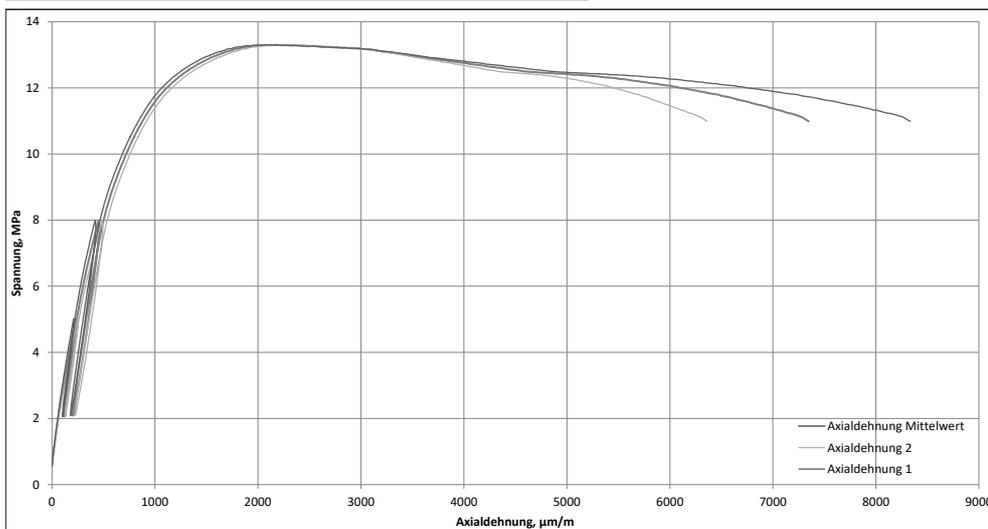
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_28		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	11.10.2018 10:41:20	UCS	10,7 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	24,4 GPa



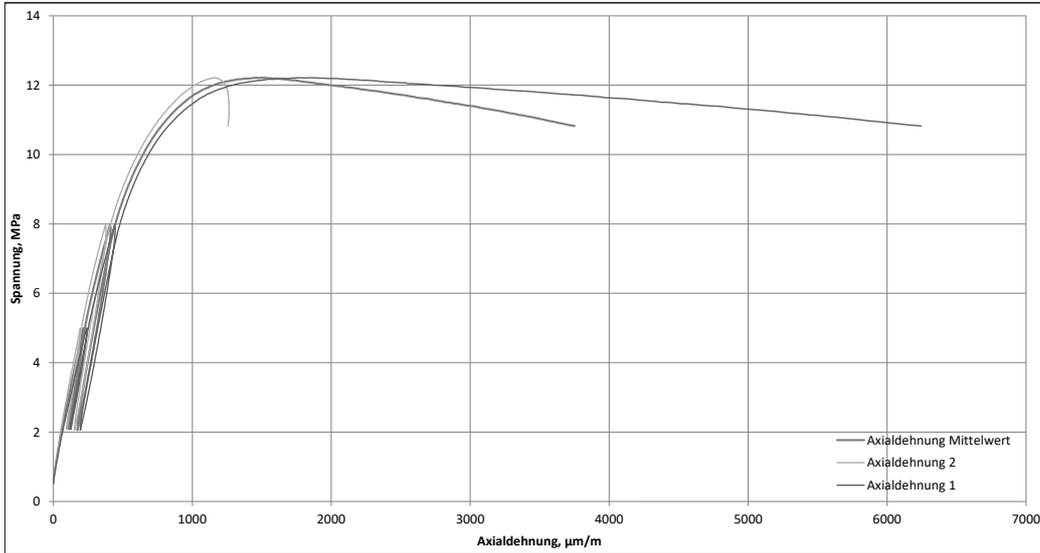
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_29		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	11.10.2018 10:59:44	UCS	13,3 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	24,5 GPa



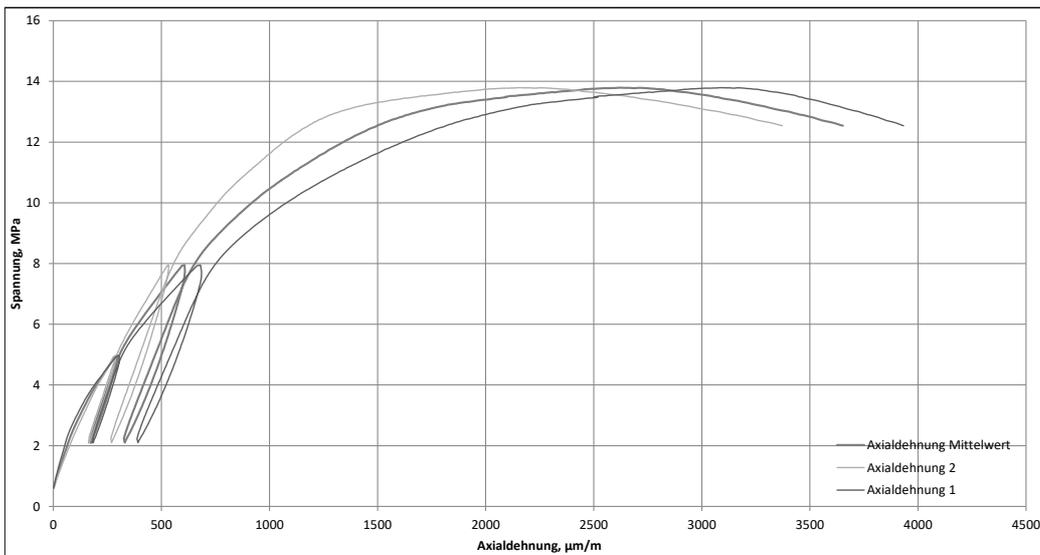
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_30		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	11.10.2018 11:16:09	UCS	12,2 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	26,4 GPa



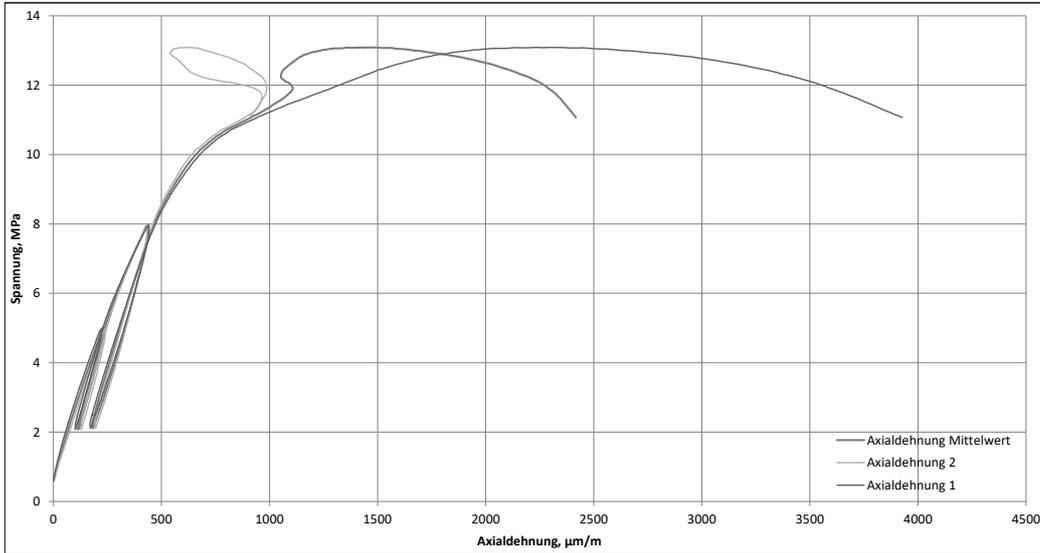
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_25		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	12.10.2018 11:45:09	UCS	13,8 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	22,2 GPa



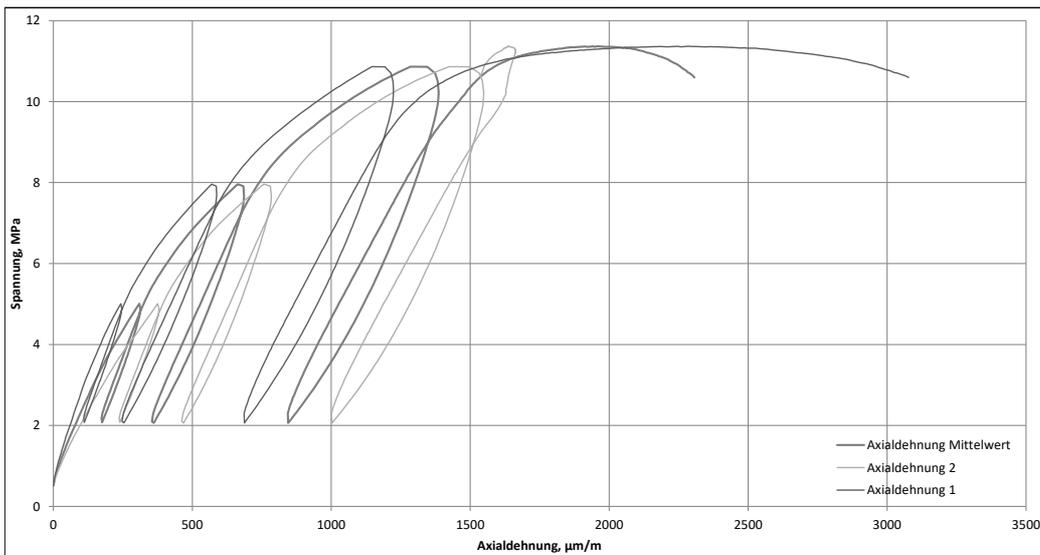
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_26		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	12.10.2018 11:31:06	UCS	13,1 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	23,8 GPa



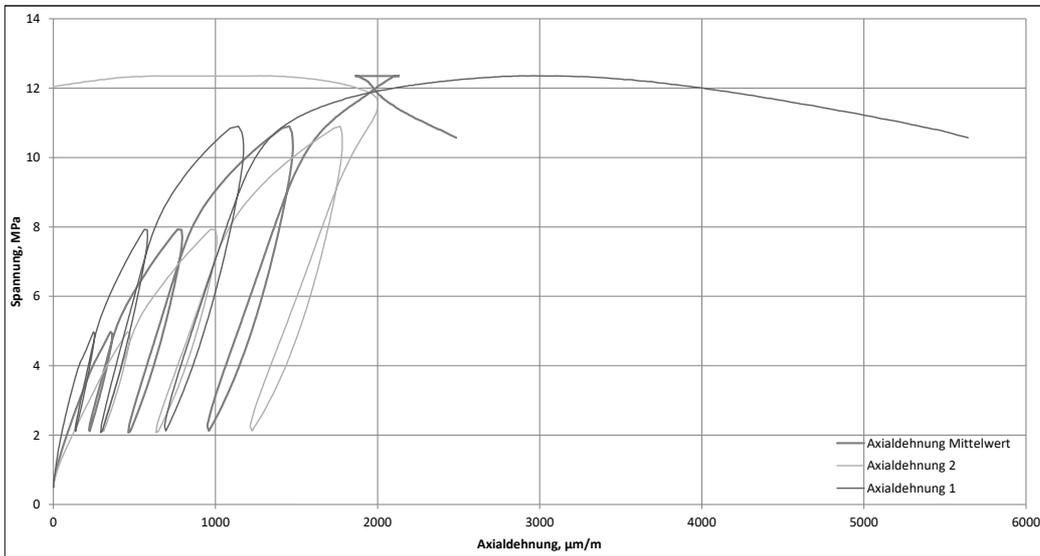
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_27		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	12.10.2018 11:15:42	UCS	11,4 MPa
Probenalter:	48 h	E-Modul	20,4 GPa



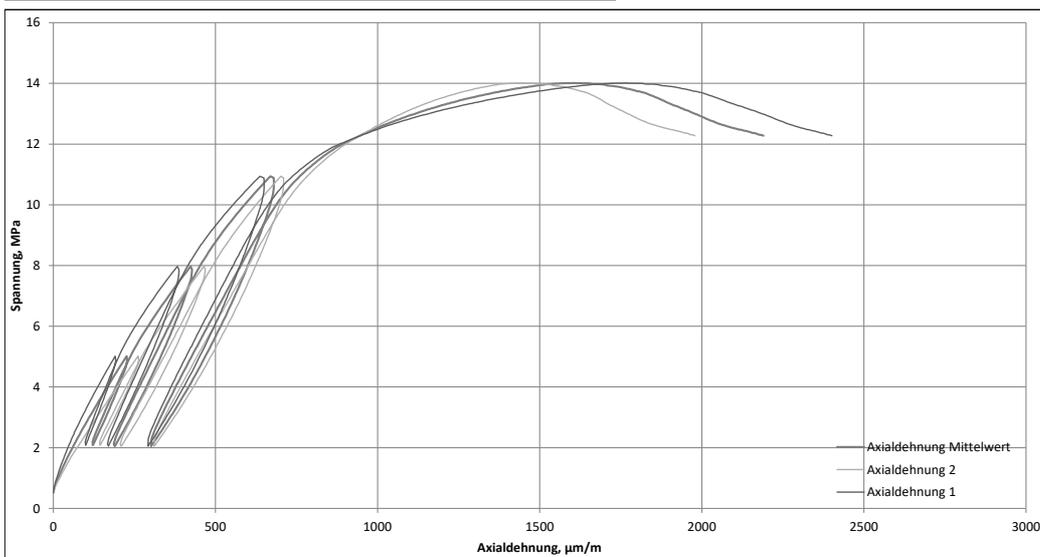
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_22		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	13.10.2018 10:48:36	UCS	12,4 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	19,8 GPa



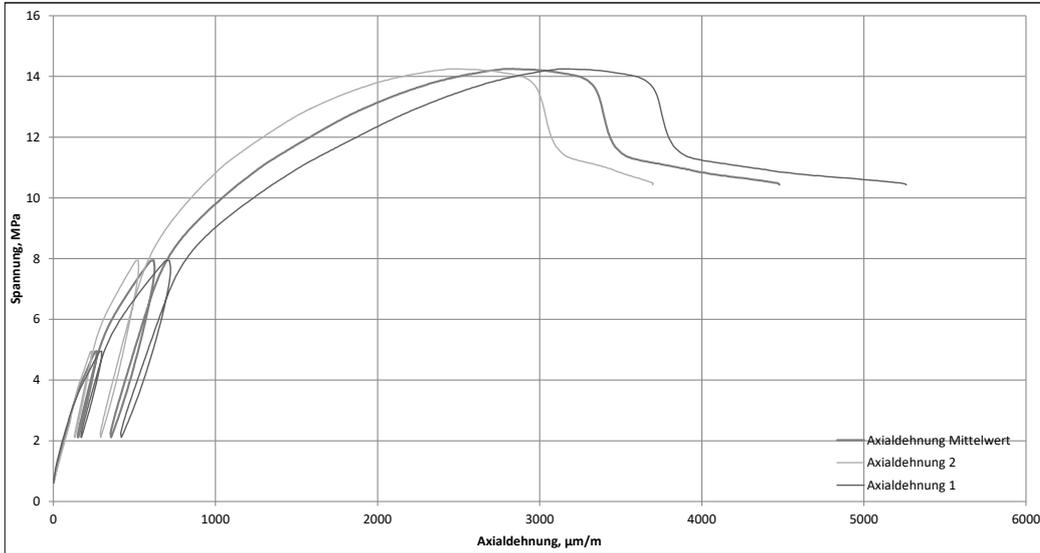
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_23		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	13.10.2018 10:34:57	UCS	14,0 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	25,8 GPa



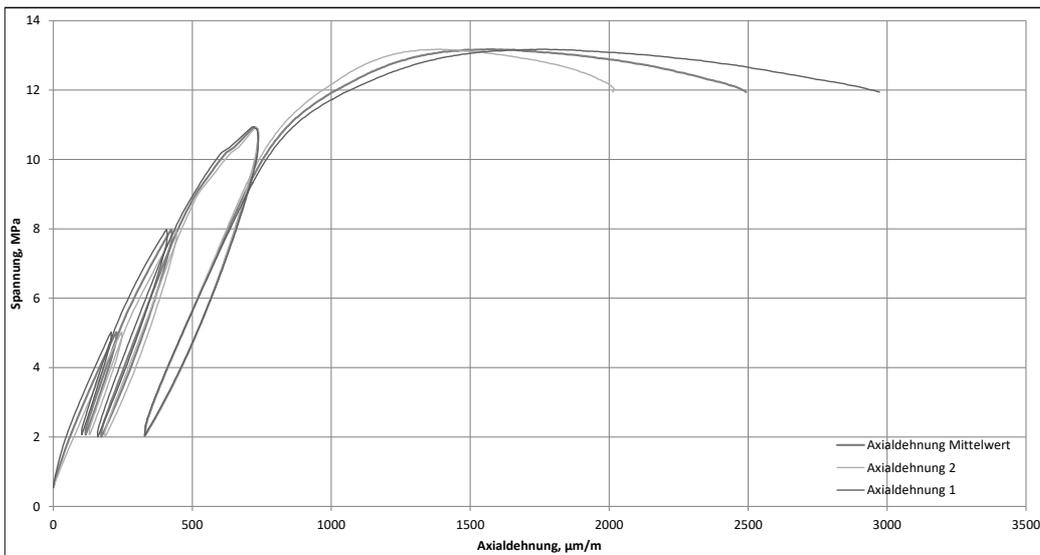
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_2_19		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	15.10.2018 10:43:24	<b>UCS</b>	14,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	120 h	<b>E-Modul</b>	23,6 GPa



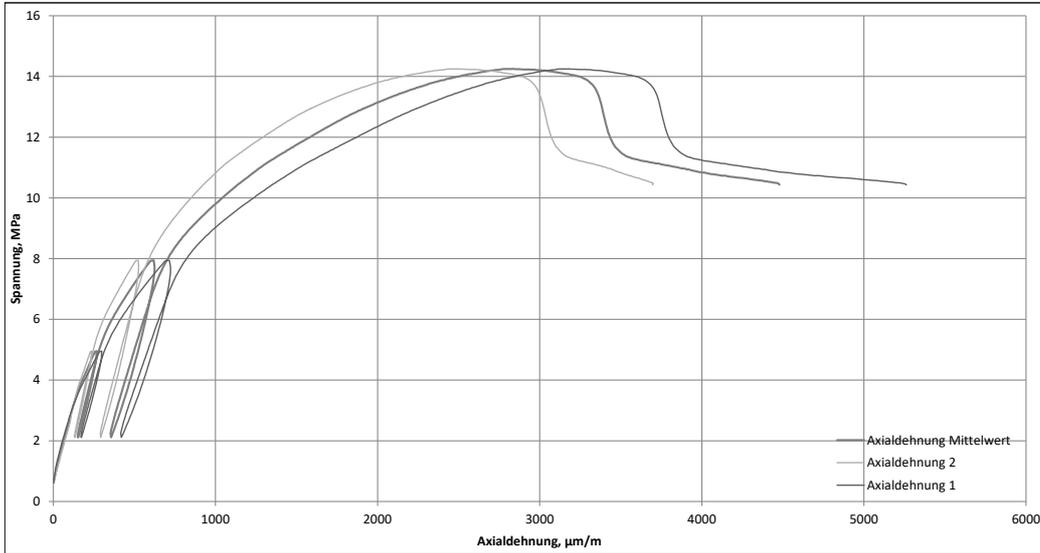
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_2_24		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	13.10.2018 10:19:35	<b>UCS</b>	13,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	24,4 GPa



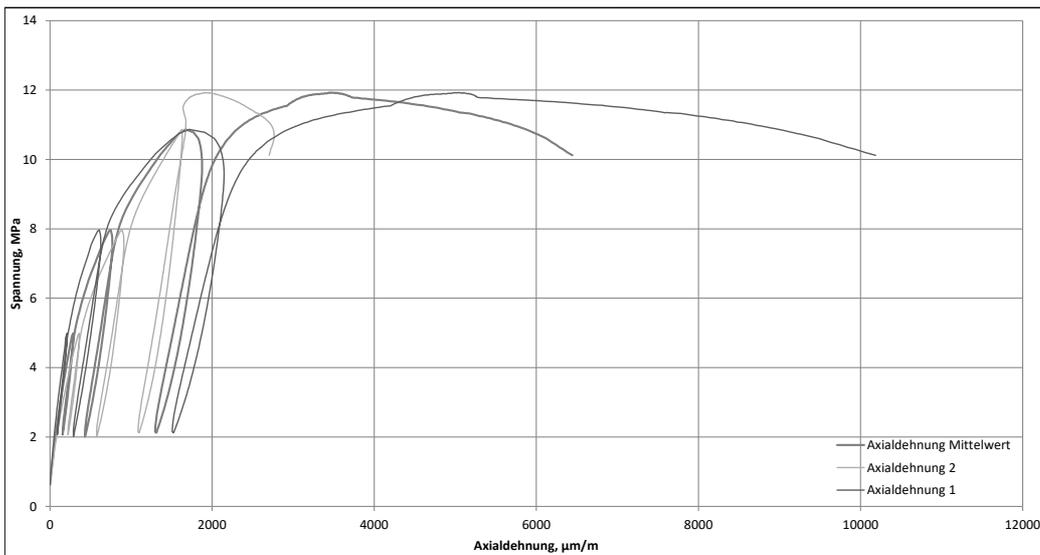
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_2_19		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	15.10.2018 10:43:24	<b>UCS</b>	14,2 MPa
<b>Probenalter:</b>	120 h	<b>E-Modul</b>	23,6 GPa



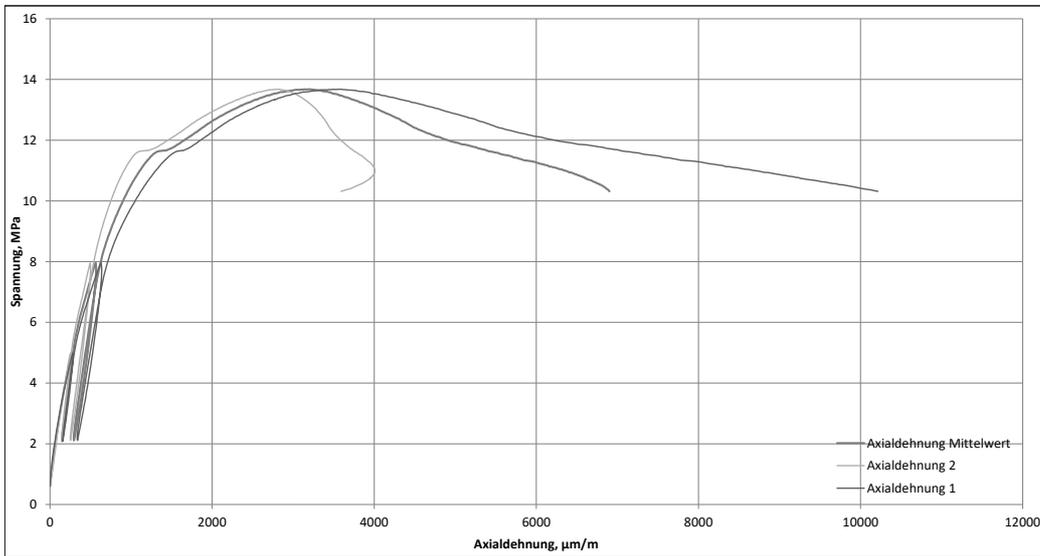
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_2_20		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	15.10.2018 10:10:21	<b>UCS</b>	11,9 MPa
<b>Probenalter:</b>	120 h	<b>E-Modul</b>	21,8 GPa



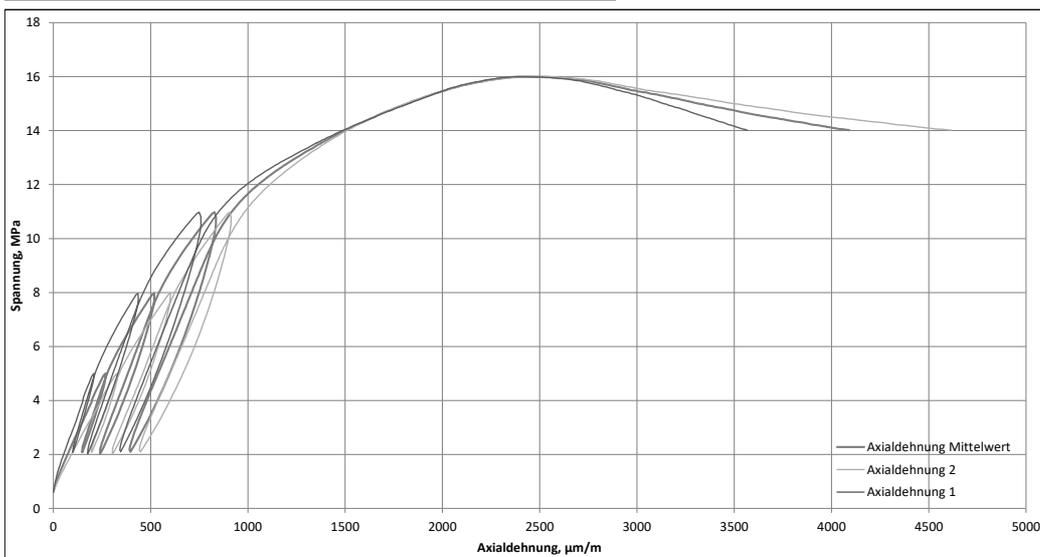
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_21		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	15.10.2018 10:26:54	UCS:	13,7 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul:	22,9 GPa



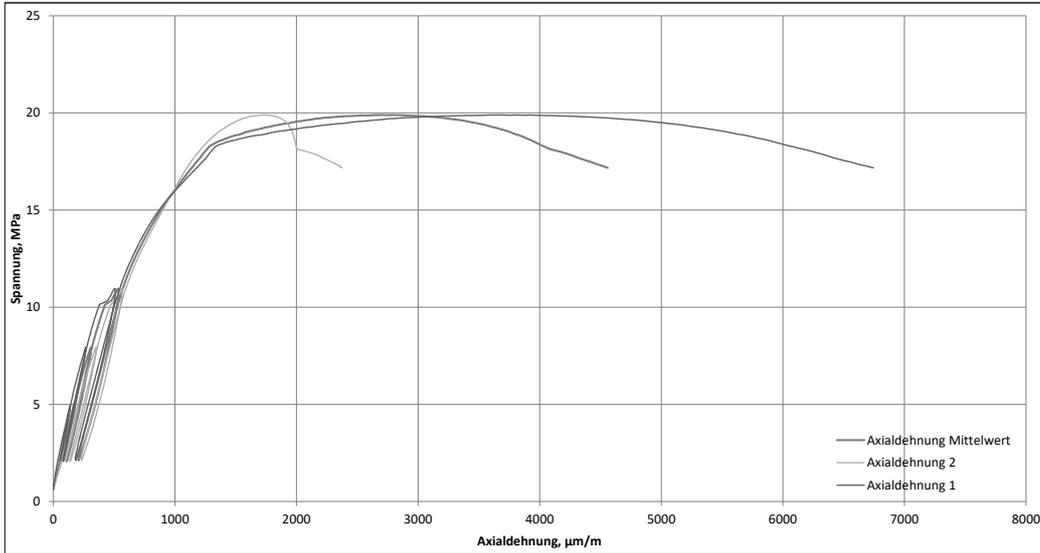
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_16		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	17.10.2018 11:06:17	UCS:	16,0 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul:	22,0 GPa



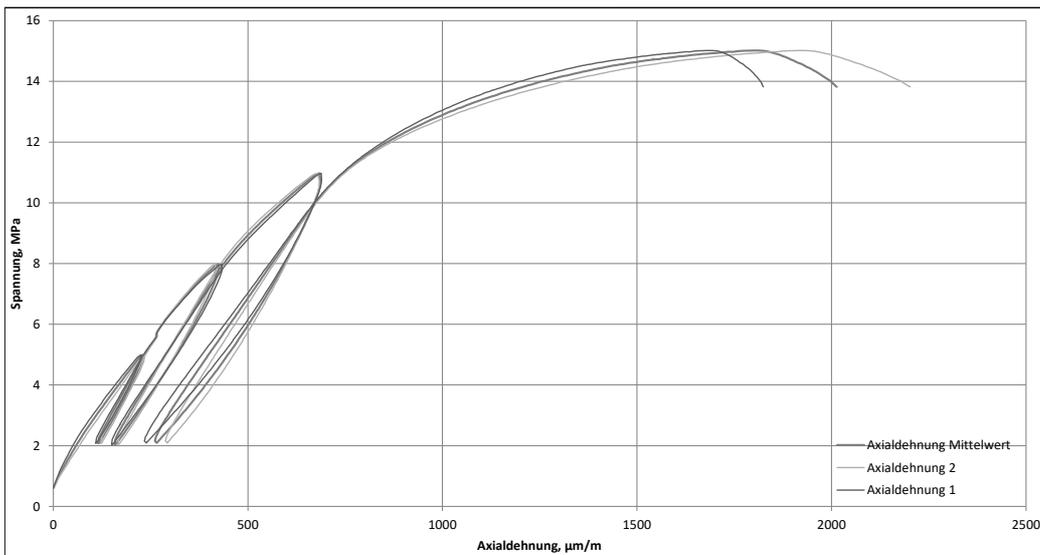
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_2_17		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	17.10.2018 10:47:02	<b>UCS</b>	19,9 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	29,3 GPa



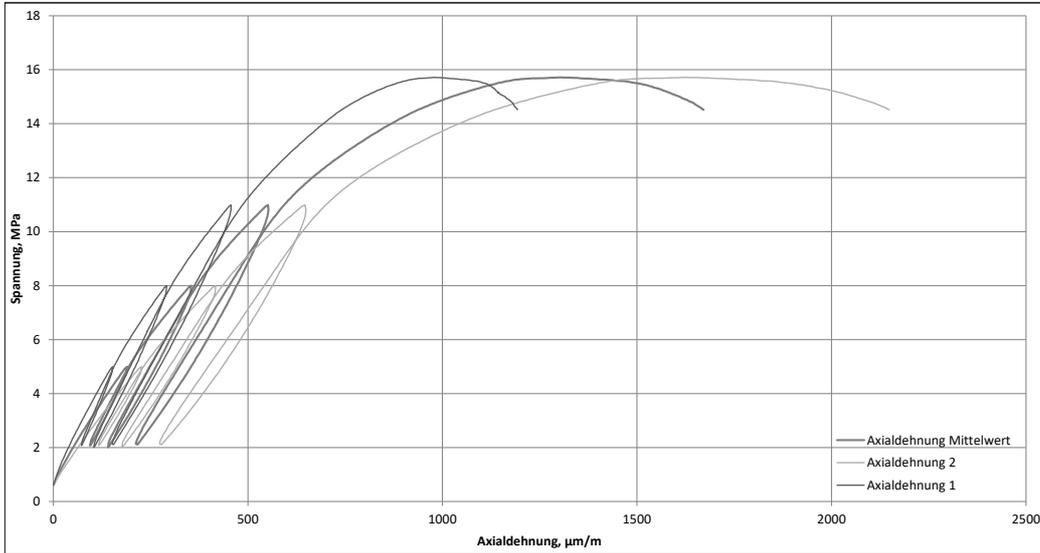
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_2_18		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	17.10.2018 10:34:29	<b>UCS</b>	15,0 MPa
<b>Probenalter:</b>	168 h	<b>E-Modul</b>	23,0 GPa



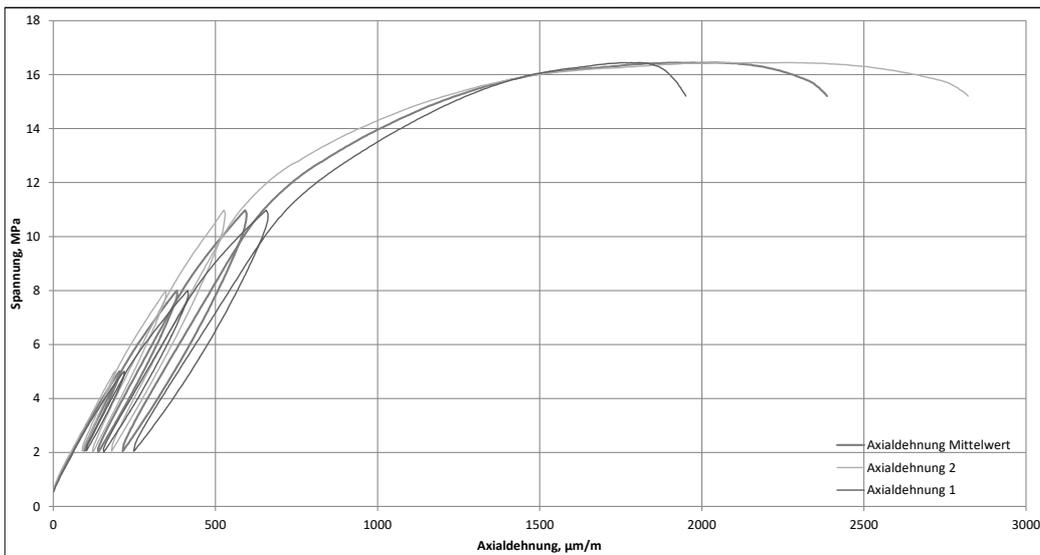
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_12		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.10.2018 11:51:29	UCS:	15,7 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul:	28,3 GPa



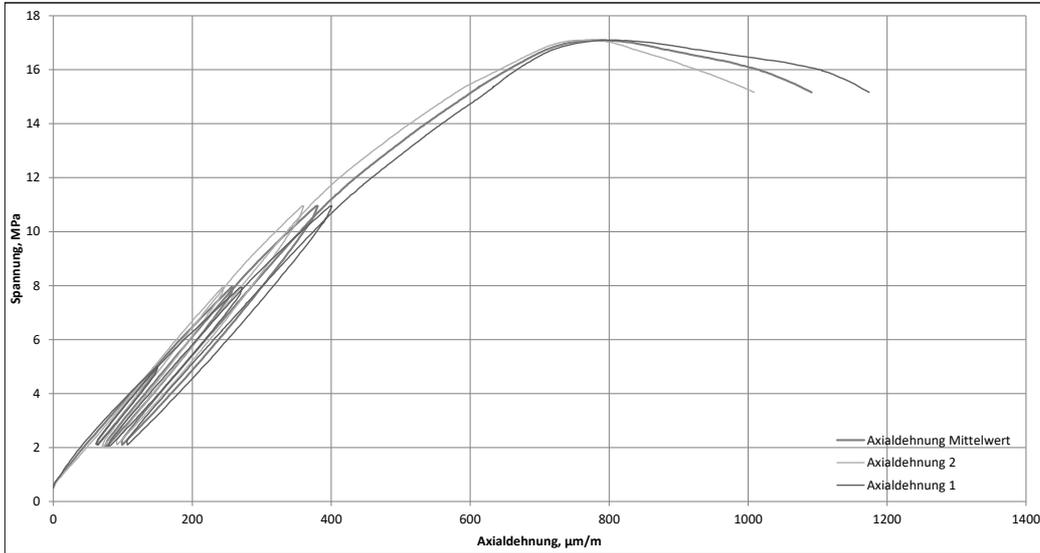
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_13		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.10.2018 12:03:25	UCS:	16,4 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul:	25,1 GPa



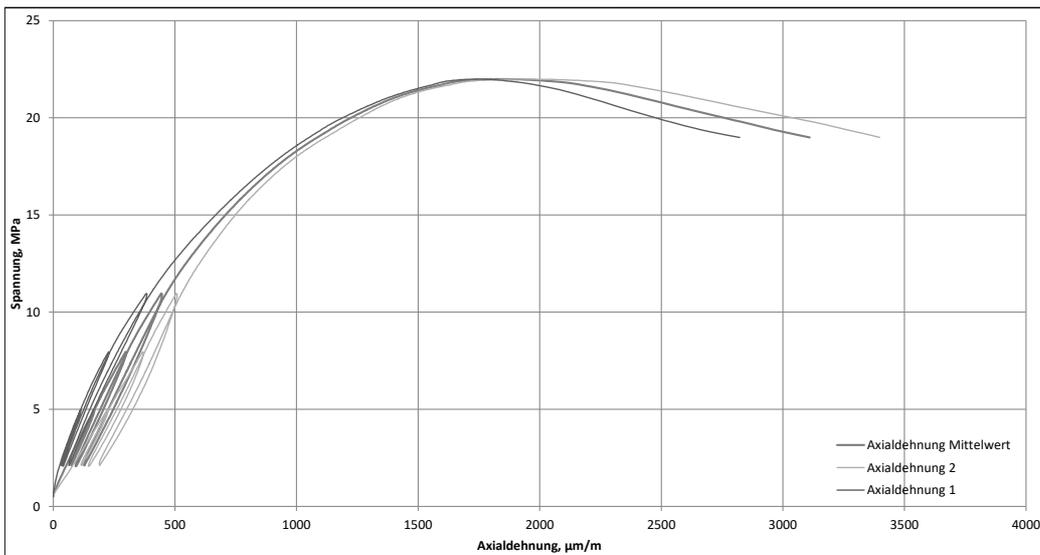
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_14		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	24.10.2018 11:36:39	UCS:	17,1 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul:	33,0 GPa



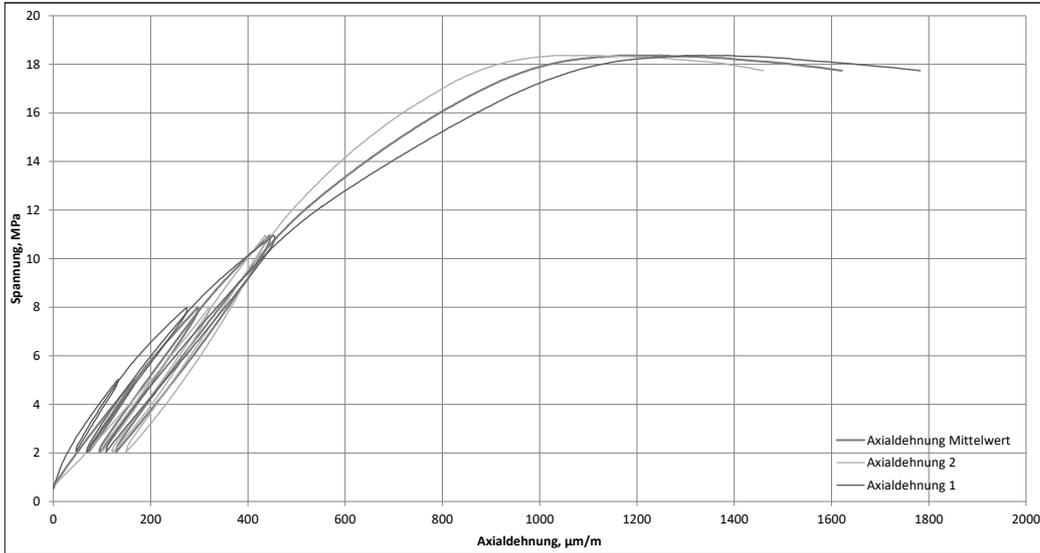
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_1		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.11.2018 16:27:24	UCS:	22,0 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul:	29,3 GPa



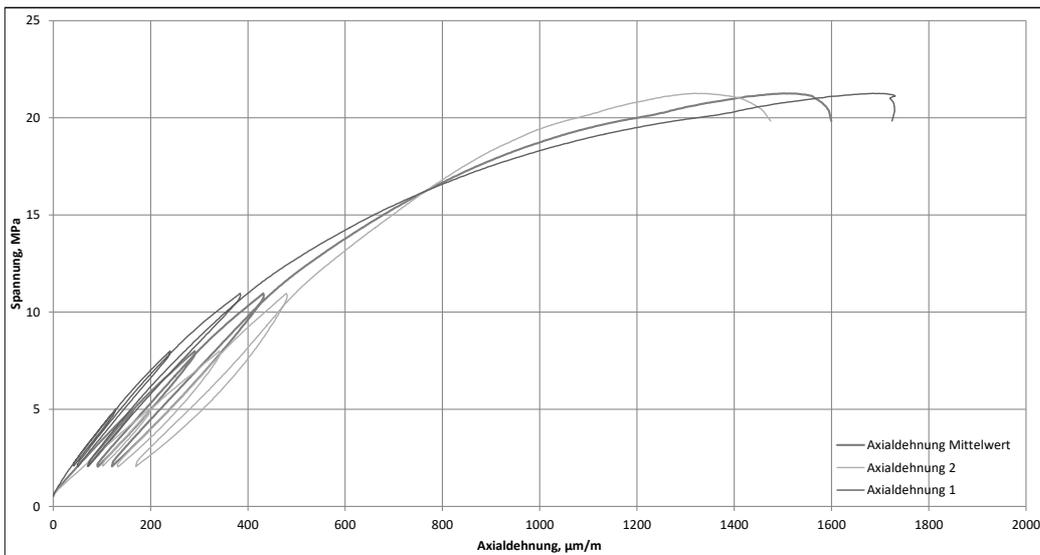
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_2		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.11.2018 16:10:30	UCS	18,4 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	29,8 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

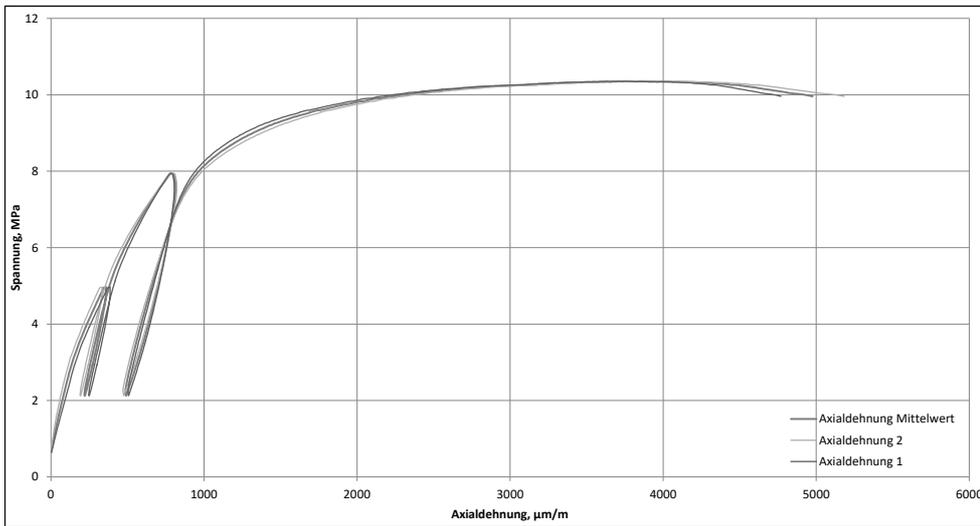
Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_2_3		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.11.2018 16:45:28	UCS	21,3 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	30,2 GPa



# Spannungs-Dehnungsdiagramme der einaxialen Druckversuche für die Probenserie 3 vom SBT

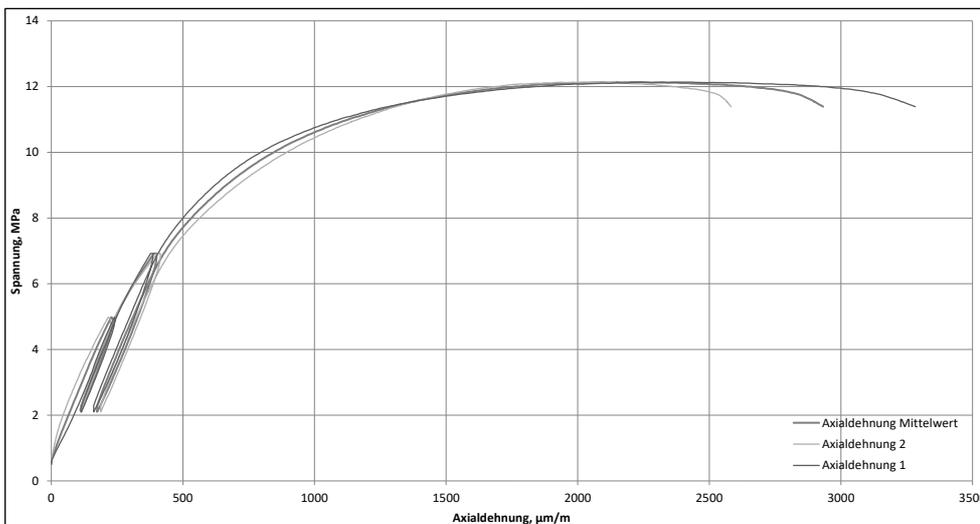
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probennamen:	SpC_Versuch_SBT_31_3_28		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	01.11.2018 09:58:22	UCS	10,4 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	20,3 GPa



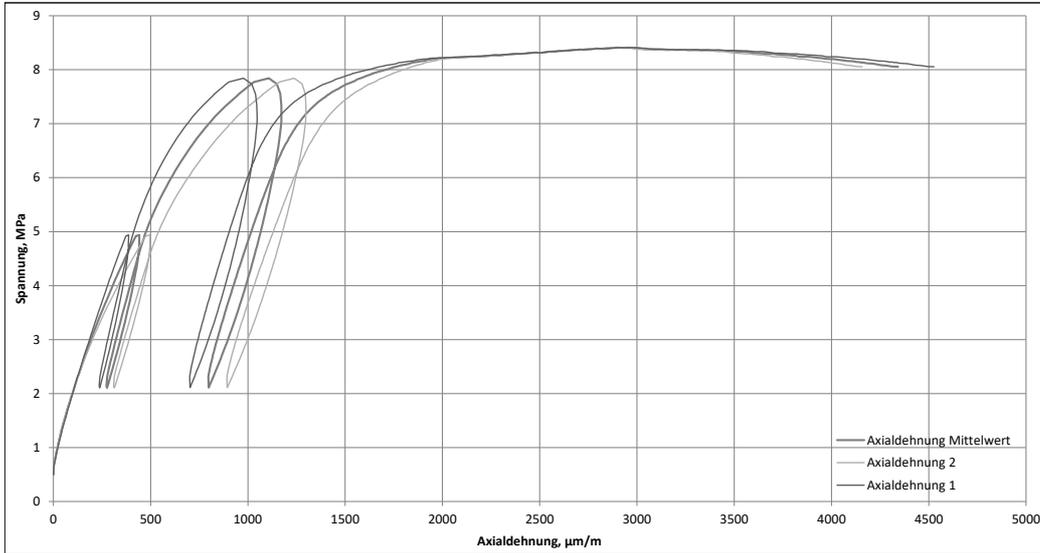
## Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probennamen:	SpC_Versuch_SBT_31_3_29		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	01.11.2018 09:48:12	UCS	12,1 MPa
Probenalter:	24 h	E-Modul	23,2 GPa



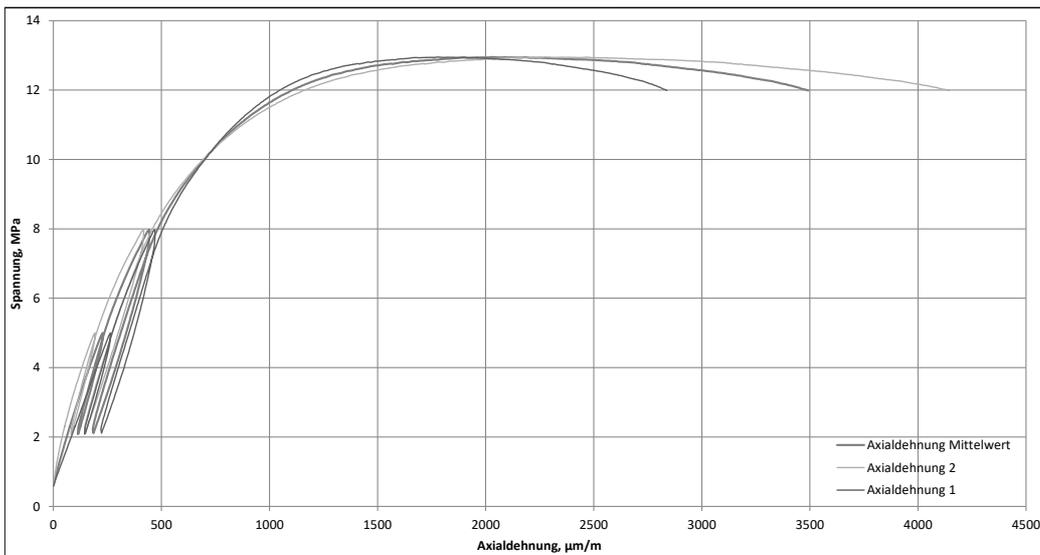
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT_31_3_30		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	01.11.2018 09:38:24	<b>UCS</b>	8,4 MPa
<b>Probenalter:</b>	24 h	<b>E-Modul</b>	17,8 GPa



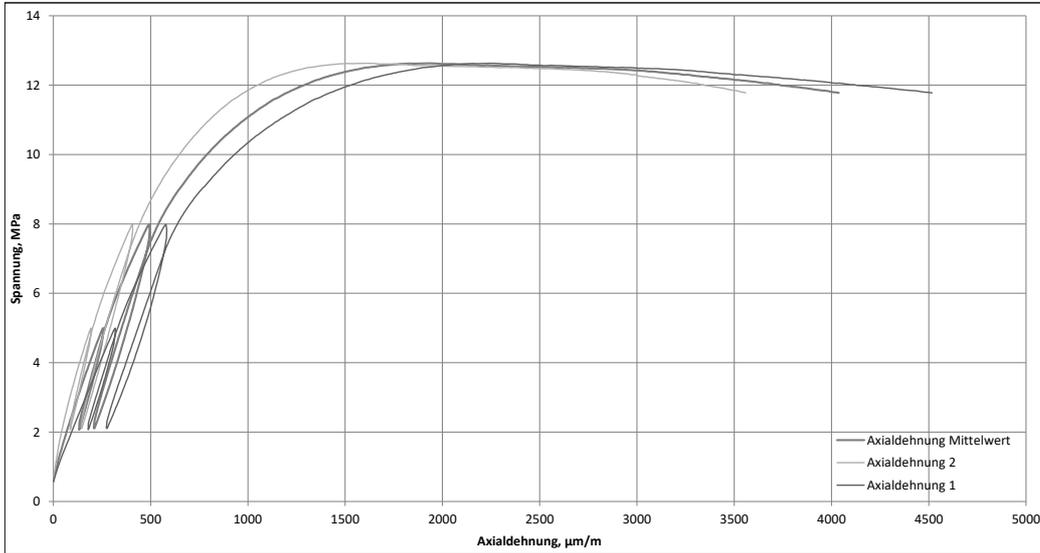
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_3_25		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	02.11.2018 10:36:55	<b>UCS</b>	12,9 MPa
<b>Probenalter:</b>	48 h	<b>E-Modul</b>	24,0 GPa



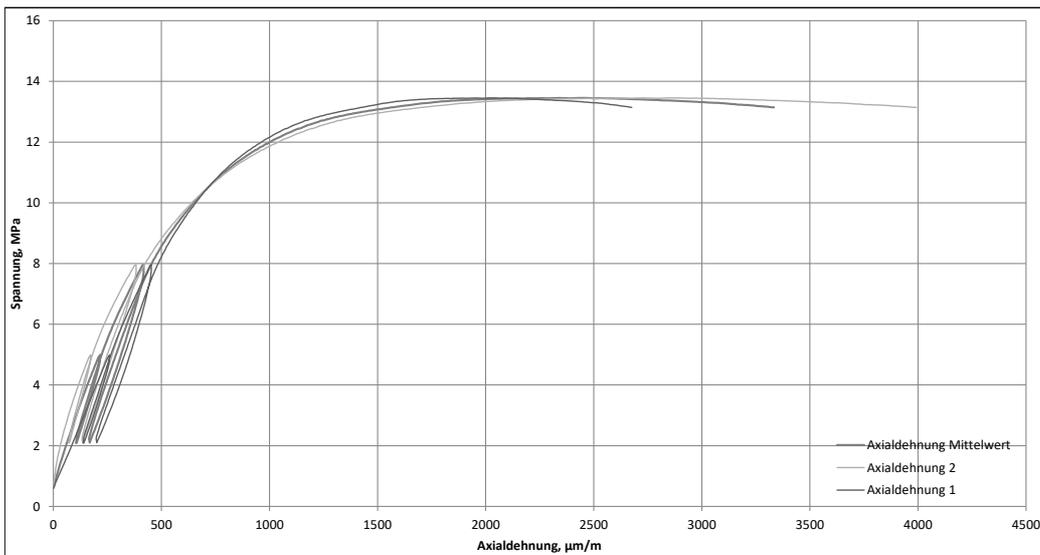
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_3_26		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	02.11.2018 10:58:56	<b>UCS</b>	12,6 MPa
<b>Probenalter:</b>	48 h	<b>E-Modul</b>	22,4 GPa



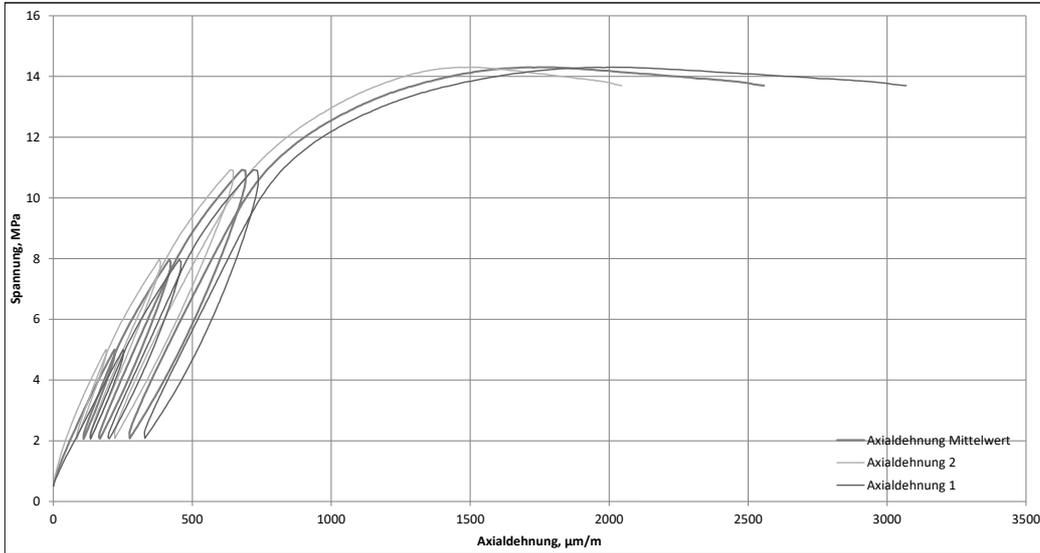
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_3_27		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	02.11.2018 10:20:30	<b>UCS</b>	13,5 MPa
<b>Probenalter:</b>	48 h	<b>E-Modul</b>	24,8 GPa



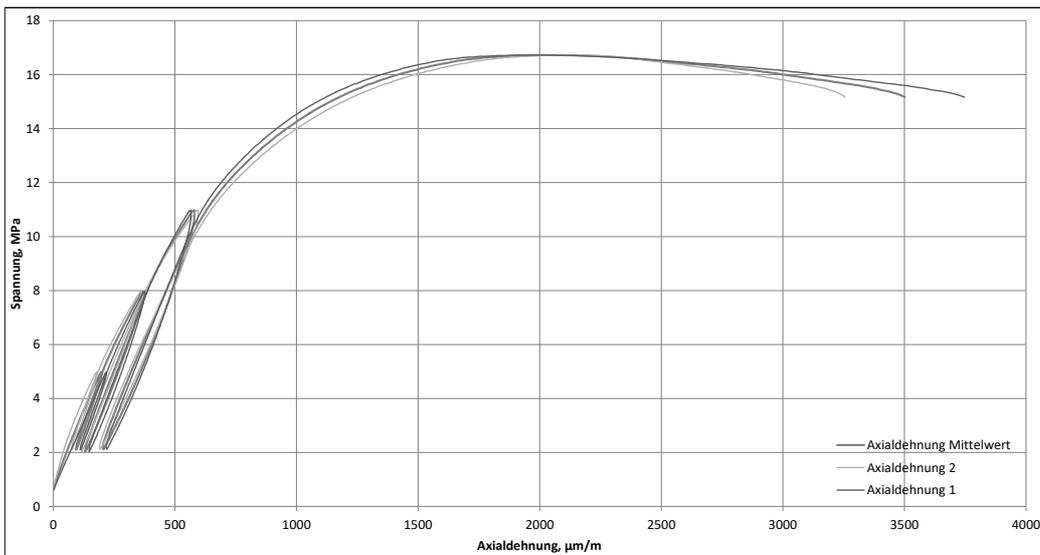
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_SBT31_3_22		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	03.11.2018 10:57:20	UCS	14,3 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	24,0 GPa



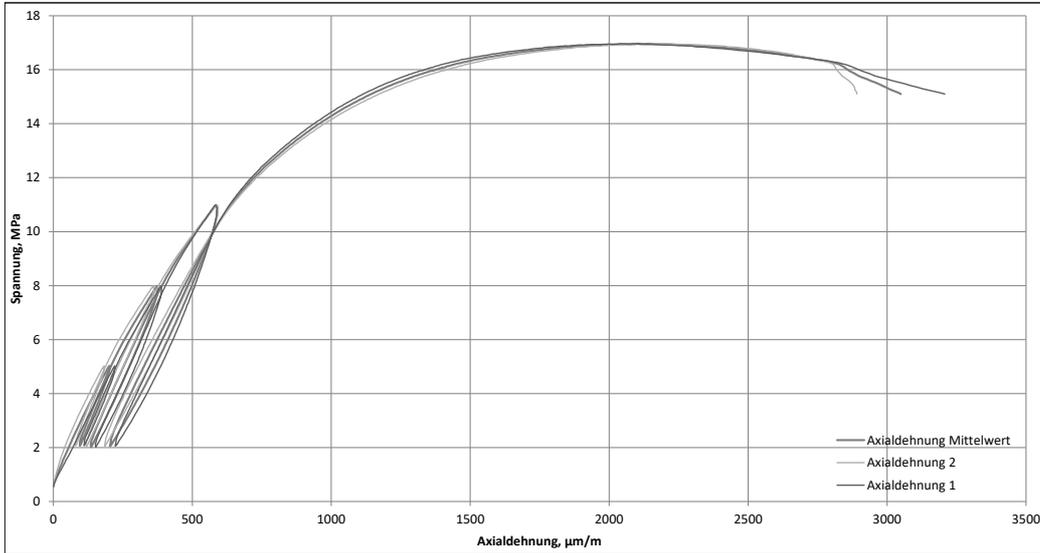
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_SBT31_3_23		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	03.11.2018 10:36:17	UCS	16,7 MPa
Probenalter:	72 h	E-Modul	25,3 GPa



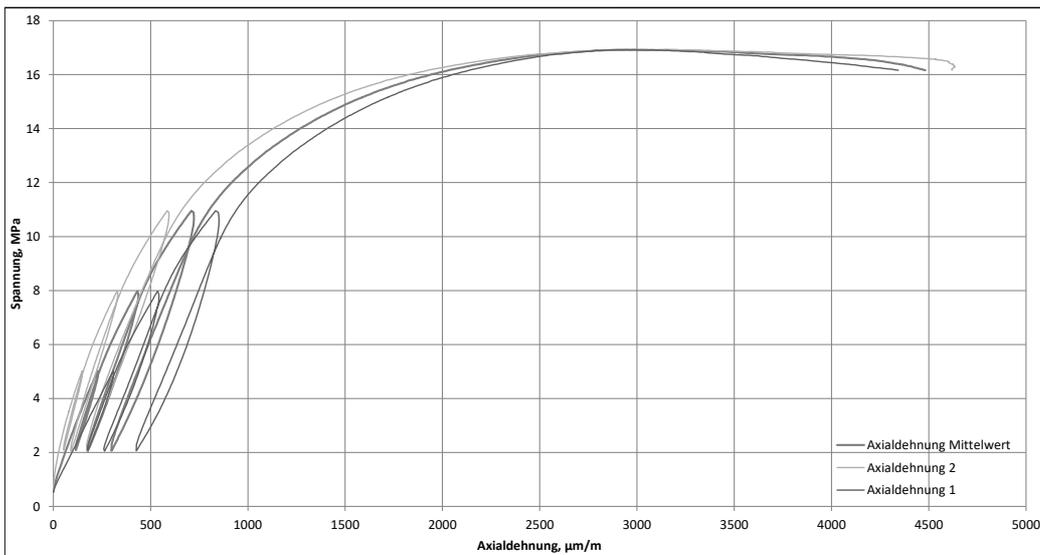
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_3_24		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	03.11.2018 10:13:13	<b>UCS</b>	17,0 MPa
<b>Probenalter:</b>	72 h	<b>E-Modul</b>	25,4 GPa



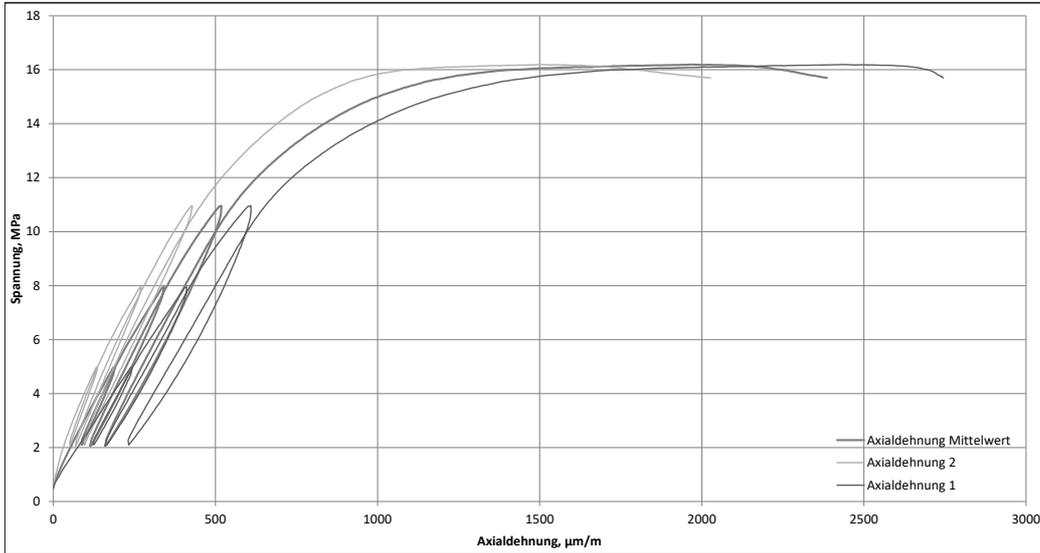
**Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB**

<b>Probenname:</b>	SpC_Versuch_SBT31_3_19		
<b>Versuchsart</b>	einaxialer Druckversuch		
<b>Datum:</b>	05.11.2018 16:05:10	<b>UCS</b>	16,9 MPa
<b>Probenalter:</b>	120 h	<b>E-Modul</b>	23,6 GPa



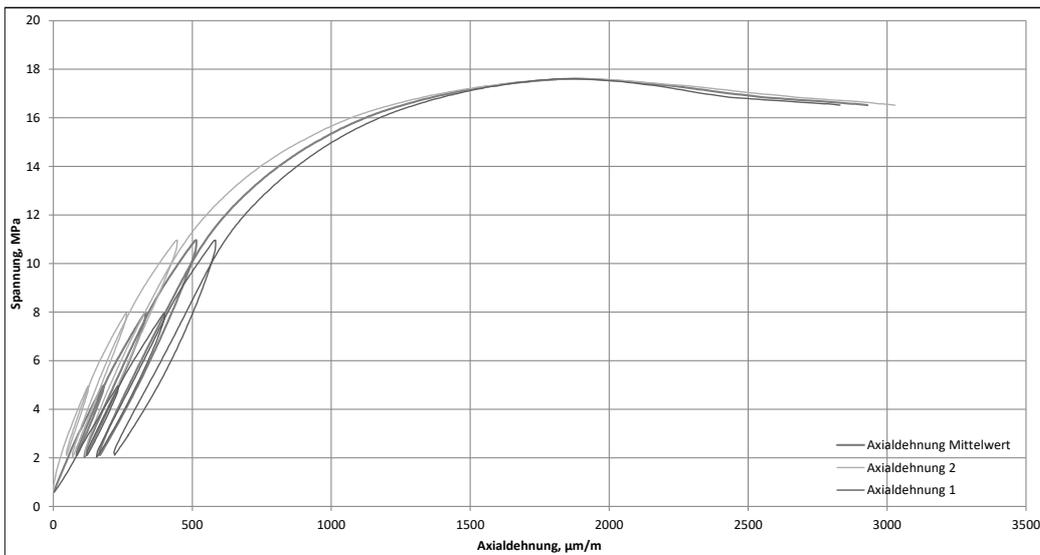
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_3_20		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	05.11.2018 15:29:54	UCS	16,2 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	26,8 GPa



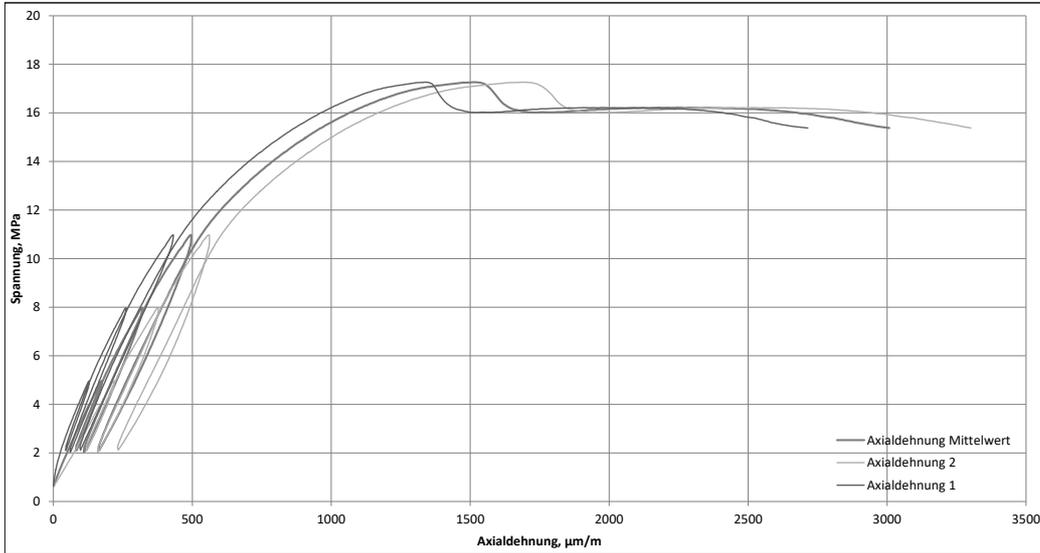
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_3_21		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	05.11.2018 15:48:48	UCS	17,6 MPa
Probenalter:	120 h	E-Modul	27,3 GPa



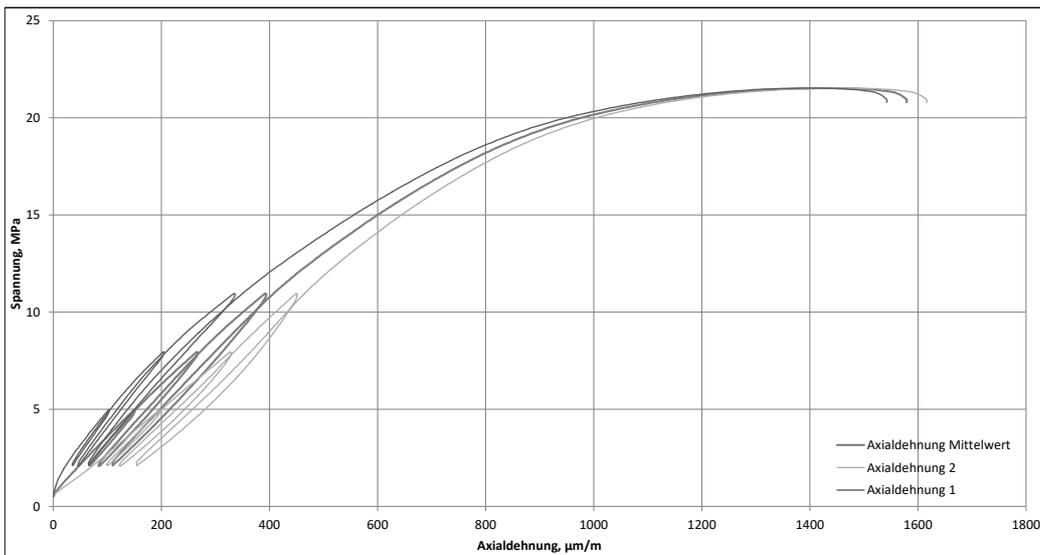
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_3_16		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.11.2018 17:02:03	UCS	17,3 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	28,5 GPa



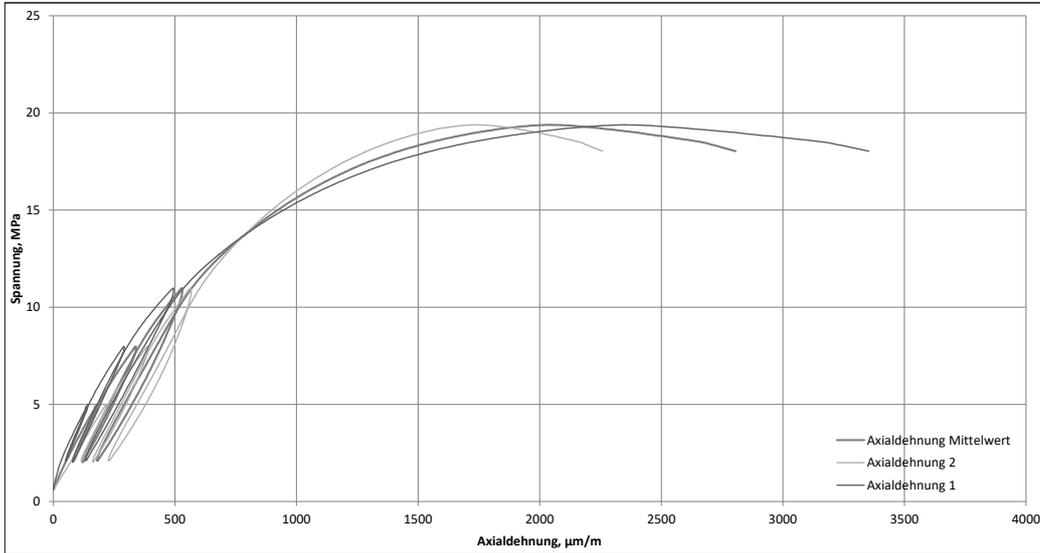
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_3_17		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.11.2018 17:15:05	UCS	21,5 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul	33,1 GPa



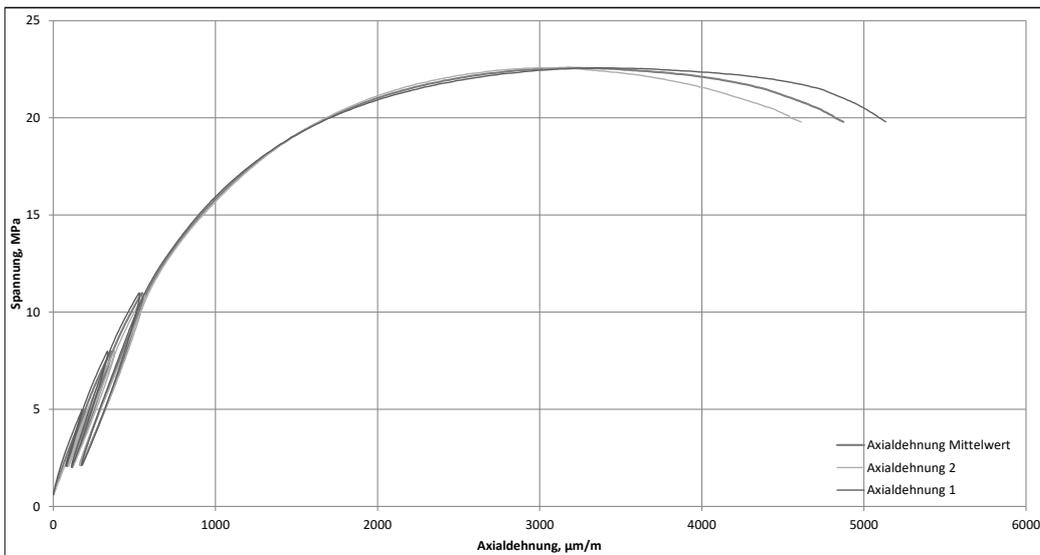
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_3_18		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	07.11.2018 17:27:39	UCS:	19,4 MPa
Probenalter:	168 h	E-Modul:	27,6 GPa



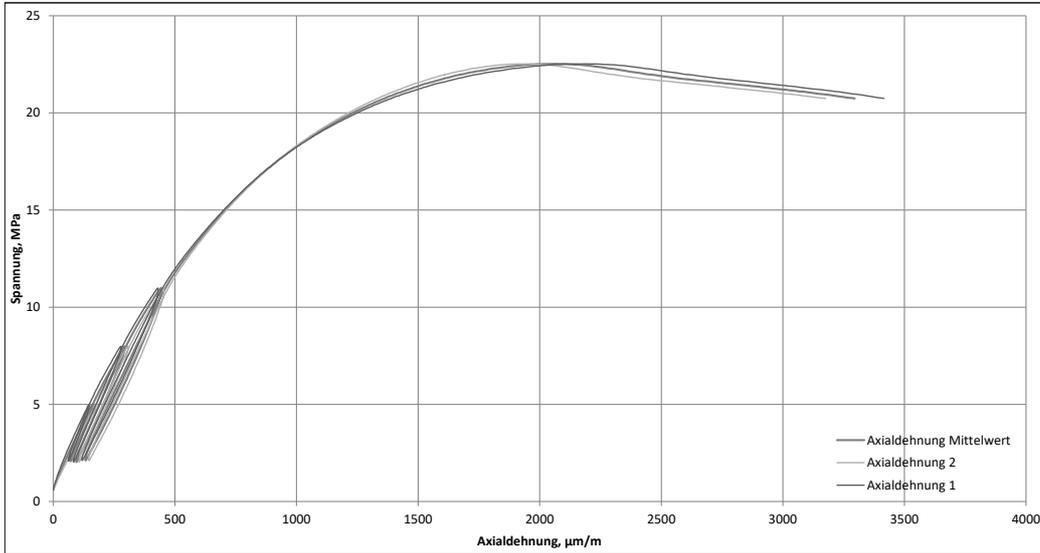
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_S7_13		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	14.11.2018 15:59:30	UCS:	22,6 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul:	25,1 GPa



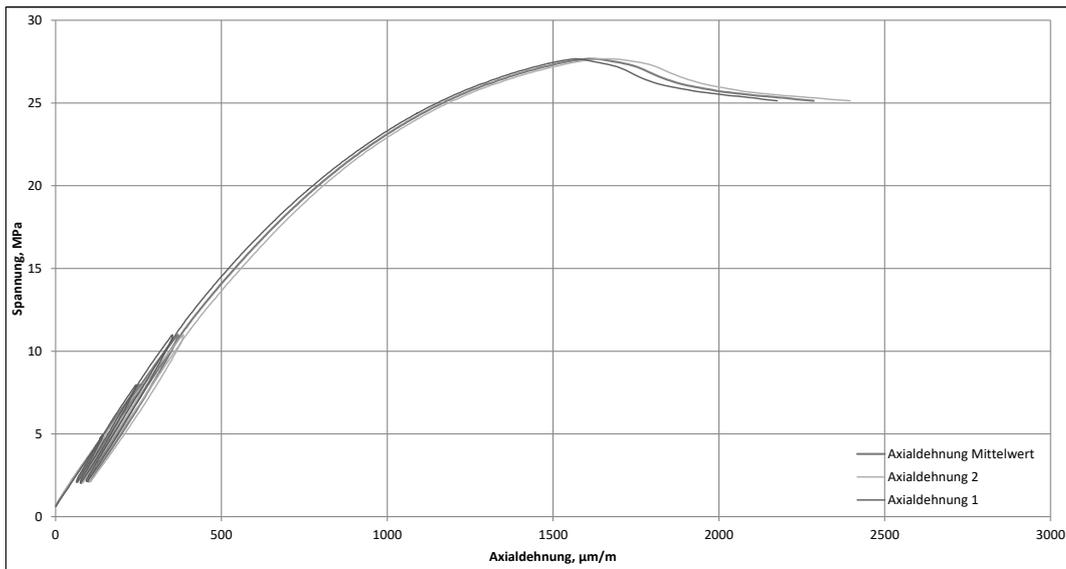
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_SBT31_S7_15		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	14.11.2018 16:16:35	UCS	22,5 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	30,5 GPa



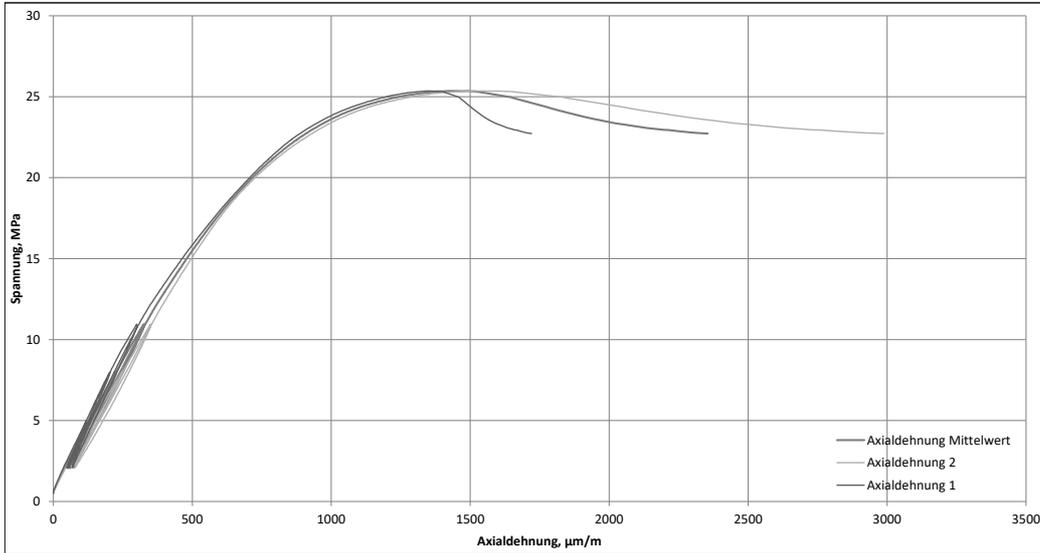
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_SBT31_3_14		
Versuchsart	einaxialer Druckversuch		
Datum:	14.11.2018 15:41:14	UCS	27,7 MPa
Probenalter:	336 h	E-Modul	33,8 GPa



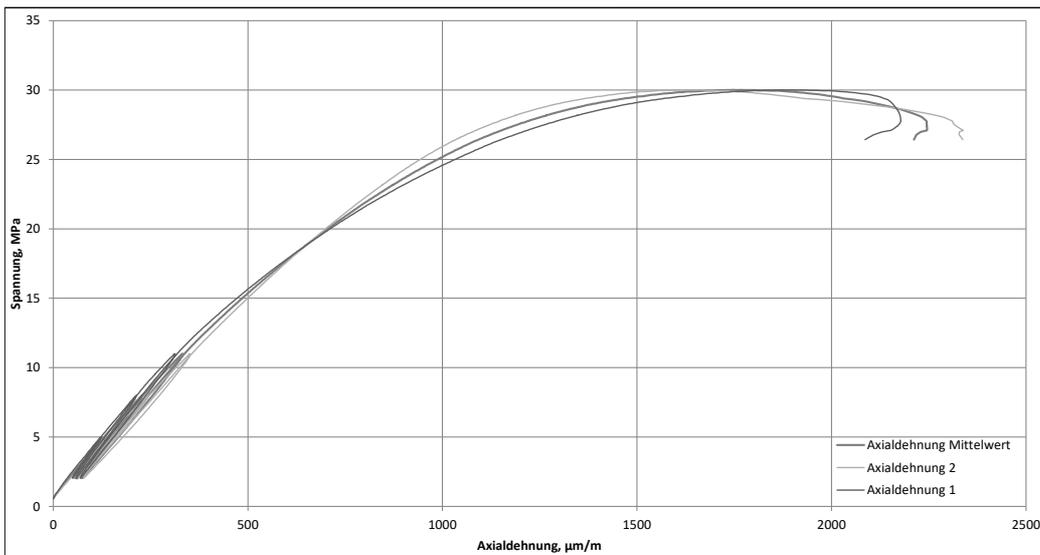
### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_S3_10		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	28.11.2018 14:45:21	UCS:	25,4 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul:	36,5 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probenname:	SpC_Versuch_SBT31_S3_9		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	28.11.2018 14:28:00	UCS:	30,0 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul:	36,0 GPa



### Auswertung Langzeitverhalten Spritzbeton ZaB

Probename:	SpC_Versuch_SBT31_S3_12		
Versuchsart:	einaxialer Druckversuch		
Datum:	28.11.2018 14:59:59	UCS	24,0 MPa
Probenalter:	672 h	E-Modul	27,1 GPa

