

Dauerhaftigkeit von Porenbeton- Plansteinen unter realitätsnahen Bedingungen

T 3293

T 3293

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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

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

© by Fraunhofer IRB Verlag

2013

ISBN 978-3-8167-8943-7

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

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de



Leibniz
Universität
Hannover

Schlussbericht Dauerhaftigkeit von Porenbeton-Plansteinen

Thema	Dauerhaftigkeit von Porenbeton-Plansteinen unter realitätsnahen Bedingungen
Forschungsbericht Nr.	FP 22/22E 25.09.2012
Projektleiter	Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ludger Lohaus
Bearbeiter	Dr.-Ing. Thomas Steinborn Dr.-Ing. Katrin Brummermann M. Sc. Ing. Freddy López Dr. rer. nat. Andrea Hartmann
Auftraggeber/Förderer	Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) Kolonnenstr. 30 L 10829 Berlin
Auftragsdatum	01.01.2006
Aktenzeichen	DIBt-Az.: ZP 52-5- 15.77-1213/06 01.02.2007 DIBt-Az.: ZP 52-5- 15.77.1-1261/07

Dieser Bericht umfasst 48 Seiten und 104 Seiten Anlagen.

Der Schlussbericht darf nur ungekürzt veröffentlicht werden. Auszugsweise Wiedergabe bedarf der schriftlichen Zustimmung des Instituts.



Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
Institut für Baustoffe
Appelstraße 9A und Nienburger Straße 3
D-30167 Hannover

Telefon: +49 511.762-3722
Telefax: +49 511.762-4736

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	2
2	Einleitung.....	3
2.1	Kontext des Forschungsprojekts.....	3
2.1.1	Forschungsprojekt „Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten < 0,4 kg/dm ³ “.....	3
2.1.2	Forschungsprojekt „Auswirkung der Carbonatisierung auf die Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“.....	5
2.2	Ziele des Projekts.....	6
3	Stand der Forschung.....	6
4	Eigene Untersuchungen.....	9
4.1	Ziel der Untersuchungen.....	9
4.2	Proben und Vorlagerungen.....	9
4.2.1	Steinsorten und Abmessungen.....	9
4.2.2	Probengeometrie und Probenbezeichnung.....	9
4.2.3	Vorlagerung der Proben.....	14
4.3	Durchgeführte Untersuchungen.....	16
4.3.1	Mechanische Untersuchungen.....	16
4.3.1.1	Anlieferungszustand.....	16
4.3.1.2	Schnellcarbonatisierung.....	17
4.3.1.3	Außenlagerung.....	17
4.3.2	Carbonatisierungsgrad.....	17
4.3.3	Röntgenphasenanalyse mit Rietveld-Verfeinerung.....	18
4.4	Ergebnisse der Untersuchungen.....	18
4.4.1	Schwinduntersuchungen.....	18
4.4.2	Druckfestigkeit an Prismen.....	20
4.4.3	Druckfestigkeit am ganzen Stein.....	24
4.4.4	Druckfestigkeit am Würfel.....	27
4.4.5	Spaltzugfestigkeit am Würfel.....	31
4.4.6	Resümee der mechanischen Untersuchungen.....	35
4.4.7	Carbonatisierungsgrad aus TG-Analysen.....	36
4.4.7.1	Untersuchungen an Prismen.....	37
4.4.7.2	Untersuchung am Stein.....	38
4.4.8	Vergleich der Ergebnisse aus der TG-Analyse.....	39
4.4.9	XRD-Untersuchungen mit Rietveld-Analysen.....	42
5	Zusammenfassung.....	45
5.1	Fazit.....	45
5.2	Empfehlung.....	46
6	Quellen.....	47
7	Verzeichnis der Anlagen.....	48

2 Einleitung

Der vorliegende Schlussbericht umfasst die Ergebnisse der Forschungsvorhaben „Dauerhaftigkeit von Porenbeton-Plansteinen unter realitätsnahen Bedingungen“ ZP 52-5-15.77-1213/06 und des Ergänzungsvorhabens ZP 52-5-15.77.1-1261/07 (interne Bezeichnung FP 22/22E). Beide Forschungsvorhaben wurden vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) gefördert.

Die durchgeführten Versuche stehen im Kontext der Untersuchungen der Vorgängerprojekte „Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten $< 0,4 \text{ kg/dm}^3$ “ [7] und „Auswirkung der Carbonatisierung auf die Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“ [6], deren wesentlichen Aspekte nachfolgend wiedergegeben sind.

2.1 Kontext des Forschungsprojekts

Den Ausgangspunkt der Untersuchungsreihe bildeten Versuche zum Dauerstandverhalten an Porenbeton-Plansteinen mit geringer Rohdichte, die um das Jahr 2000 durchgeführt wurden. Bei diesen Versuchen traten unverhältnismäßig große Kriechverformungen auf. In den Fachdiskussionen im Sachverständigenausschuss „Wandbauelemente“ des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) wurde die Carbonatisierung als mögliche Einflussgröße auf das Festigkeits- und Verformungsverhalten der Porenbeton-Plansteine diskutiert und in den Untersuchungsprogrammen berücksichtigt.

2.1.1 Forschungsprojekt „Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten $< 0,4 \text{ kg/dm}^3$ “

Um dieses Verhalten zu untersuchen, wurde ab 2002 das Forschungsprojekt „Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten $< 0,4 \text{ kg/dm}^3$ “ (P 22-5-15.46-1023/02, interne Bezeichnung FP 6, [7]) durchgeführt. Das Projekt war in vier Teile untergliedert:

- Teil 1: Eingangskontrolle,
- Teil 2: Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung,
- Teil 3: Mauerwerksdruck- und zugehörige Stein- und Mörtelprüfungen und
- Teil 4: Langzeitversuche und zugehörige Kurzzeitprüfungen.

Es wurden Steine von drei Herstellern untersucht:

- PP 2-0,35 (Hersteller A, B – Steinsorte 1a, 1b),
- PP 4-0,50 (Hersteller C – Steinsorte 2) und
- PP 4-0,60 (Hersteller A – Steinsorte 3).

Die Eingangskontrolle (Teil 1) mit Ermittlung der Maße, Trockenrohddichte, Steindruckfestigkeit und des Feuchtegehalts wurde nach DIN 4165:1996-11 [3] beziehungsweise E DIN 4165:2001-03 [4] durchgeführt. Alle Steine erfüllten dabei die Konformitätskriterien. Auffällig zeigten sich zunächst die Steine PP 2-0,35 (Hersteller B, Steinsorte 1b). Sie entsprachen erst bei Nachlieferung dem Kriterium der Trockenrohddichte. Die Steine PP 4-0,50 (Hersteller C, Steinsorte 2) wiesen starke Inhomogenitäten (Bindemittelknollen) auf.

Abschließend war festzuhalten, dass sich durch die Eingangskontrolle keine Probleme hinsichtlich Dauerhaftigkeit erkennen ließen.

Im zweiten Teil des Programms wurden Untersuchungen zum Einfluss der Vorlagerung und Carbonatisierung durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten an senkrecht zur Treibrichtung entnommenen Prismen (ca. 250 mm x 100 mm x 100 mm). Die Prüfungen erfolgten im Anlieferungs- zu-

stand, nach Ofentrocknung (Feuchte rd. 4–8 M.-%), nach Lagerung unter Normklima (20/65) und nach Lagerung unter erhöhter CO₂-Konzentration.

Nach der Lagerung unter erhöhter CO₂-Konzentration (Schnellcarbonatisierung) zeigten die Steine der Sorte 1a eine starke und die der Sorte 1b eine merkliche Zunahme der Rohdichte bei gleichzeitiger Abnahme der Druckfestigkeit. Bei der Lagerung unter Normklima konnten nur geringe Änderung festgestellt werden.

Die Steine der Sorte 2 zeigten keine signifikante Änderung unter Normklima oder Schnellcarbonatisierung. Es traten jedoch zum Teil starke Streuungen auf, die sich aufgrund der oben genannten Inhomogenitäten erklären ließen.

Die Steine der Sorte 3 zeigten eine signifikante Festigkeitsabnahme bei Schnellcarbonatisierung und eine geringe Änderung bei Lagerung unter Normklima (20 °C/65 % r. F.).

Die Steine des Hersteller A (1a, 3) zeigten unter Normklima zunächst eine starke Austrocknung und Festigkeitszunahme, ab ca. 3 Monaten konnte nur noch eine geringe Feuchtigkeitsabnahme gemessen werden. Dafür war eine merkliche Festigkeitsabnahme festzustellen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen legten die Vermutung nahe, dass ein langsames Austrocknen den Carbonatisierungsprozess begünstigt.

Im dritten Teil des Projekts wurden Stein- und Mauerwerksprüfungen an den Steinen der Sorten 1a und 3 (Hersteller A) durchgeführt.

Stein- und Mauerwerksdruckfestigkeit der Steinsorte 1a nahmen nach Lagerung im überdachten Außenlager signifikant ab. Die experimentell ermittelte Mauerwerksdruckfestigkeit lag unter der empirischen Abschätzung nach SCHUBERT 2005 [10]. Zudem wiesen die Steine sichtbare, mit der Zeit zunehmende, Risse auf. Bei den Steinen der Sorte 3 war die Festigkeitsabnahme tendenziell mit der der Sorte 1a vergleichbar, waren aber relativ gesehen geringer.

Im vierten Teil des Forschungsprojekts wurden Langzeitversuche zum Dauerstandverhalten der Steine sowie Kriech- und Schwindversuche durchgeführt.

Bei den Untersuchungen zum Dauerstandverhalten erreichten die Steine der Sorte 1a trotz niedriger Dauerlastspannung (61 % der Kurzzeitfestigkeit) nur geringe Standzeiten begleitet mit auffällig hohen Verformungen. Bei den Steinen der Sorte 1b kam es bei Belastungen von 90 % der Kurzzeitfestigkeit zum Bruch während oder kurz nach der Belastung. Bei 80 % der Kurzzeitfestigkeit trat innerhalb von ca. 14 Monaten kein Bruch der Probekörper auf. Auch bei den Steinen der Sorte 2 stellten sich Brüche der Versuchskörper bei Belastungen mit 90 % der Kurzzeitfestigkeit während oder kurz nach der Belastung ein. Bei Belastung mit 80 % der mittleren Kurzzeitdruckfestigkeit ergaben sich hingegen extrem unterschiedliche Standzeiten der einzelnen Prismen.

Die Steine der Sorte 3 wiesen bei Belastung mit 64 % der Kurzzeitfestigkeit höhere Standzeiten als die Steine der Sorte 1a (gleicher Hersteller) aber geringer als die der Sorte 1b bei Belastung mit 80 % der Kurzzeitfestigkeit auf. Es stellten sich aber ähnlich hohe Verformungen wie bei der Sorte 1a ein, die in der Versuchszeit keine asymptotische Annäherung an einen Endwert aufwiesen.

Im Rahmen der Langzeitversuche wurden an Proben aus den Steinen der Sorten 1b und 2 Kriech- und Schwindversuche durchgeführt. Die Proben der Sorte 1b wiesen deutlich größere Kriechverformungen und spezifische Kriechmaße als die der Sorte 2 auf. Aufgrund der kleinen Probenzahl war allerdings keine repräsentative Aussage möglich.

Zusammenfassung und Fazit

Alle vier untersuchten Steinsorten erfüllten in der Eingangskontrolle die Anforderungen nach DIN 4165:1996-11 [3], beziehungsweise E DIN 4165:2001-03 [4] hinsichtlich Festigkeit- und Roh-

dichteklasse. Die Steine der Sorte 1b erfüllten die Anforderungen an die Trockenrohddichte erst bei der Nachlieferung.

Die Steine der Sorten 1a und 3 des Herstellers A zeigten eine signifikante Abnahme der Festigkeit bei gleichzeitiger Zunahme der Rohddichte bei Lagerung unter erhöhtem CO₂-Gehalt, längerer Lagerung unter Normklima und bei der Lagerung im Außenlager. Zudem erreichten sie selbst bei rd. 60 % der Kurzzeitdruckfestigkeit nur niedrige Standzeiten im Dauerstandversuch.

Die Proben die aus den Steinen der Sorte 1b und 2 entnommen wurden, wiesen keine auffällige Veränderung durch Schnellcarbonatisierung auf.

Für die Steinsorte 1b ließen die Ergebnisse aus den Dauerstandversuchen auf einen Dauerstandfaktor von 0,8-0,9 schließen.

Die Steine der Sorte 2 wiesen sichtbare Inhomogenitäten (Bindemittelknollen) sowie starke Streuung der Druckfestigkeit und Standzeiten auf. Aufgrund der Ergebnisse aus Versuchen mit ungestörten Proben konnte tendenziell auf einen Dauerstandfaktor von ca. 0,85 geschlossen werden.

Aufgrund der Ergebnisse des Forschungsprojekts „Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten < 0,4 kg/dm³“ ergab sich, dass eine generelle Absenkung der Grundwerte σ_0 der zulässigen Druckspannung dem Problem nicht gerecht wird, da unkritische Porenbetone dadurch benachteiligt würden.

2.1.2 Forschungsprojekt „Auswirkung der Carbonatisierung auf die Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“

Um die Problematik genauer eingrenzen zu können, wurde ab 2004/2005 das Forschungsprojekt „Auswirkung der Carbonatisierung auf die Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“ (ZP 52-5-15.61-1113/04, ZP 52-5-15.61.1-1150/05, interne Bezeichnung FP 14/14E, [6]) durchgeführt. Da keine öffentlich zugänglichen Ergebnisse aus Langzeitversuchen vorlagen, wurden Untersuchungen an Steinen der Festigkeitsklasse 2 und der Rohddichteklasse 0,35 bzw. 0,40 aus allen deutschen Herstellwerken durchgeführt. Planmäßig wurden die Druckfestigkeit, der Feuchtegehalt und die Trockenrohddichte nach unterschiedlichen Vorlagerungen bestimmt. Ergänzend wurde der Carbonatisierungsgrad mittels thermogravimetrischer Analyse (TGA) bestimmt, sowie Röntgendiffraktometeruntersuchung (XRD) und Untersuchungen zum Schwinden durchgeführt.

Für die Reihenuntersuchungen wurden die Proben aller Werke im Anlieferungszustand, nach Ofentrocknung bei 40 °C und nach 90 Tagen Lagerung unter Normklima (20 °C/65 % r. F.) untersucht. Die Proben einiger Werke wurden zudem vor den Prüfungen unter erhöhter CO₂-Konzentration und bis zu 30 Monate unter Normklima beziehungsweise im Außenlager gelagert.

Die Ergebnisse der Prüfungen wiesen eine Abhängigkeit sowohl vom Herstellerwerk als auch von der Art der Vorlagerung auf. Zudem zeigte sich, dass die Probenfeuchte einen Einfluss auf die Carbonatisierung, die Druckfestigkeit und das Verformungsverhalten hatte. Bei Lagerung unter erhöhter CO₂-Belastung in Anlieferungsfeuchte traten die größten Veränderungen auf. Die 90-tägige Lagerung unter Normklima führte zu keiner signifikanten Änderung der normierten Druckfestigkeit.

Zur Bestimmung des Zustands der Ausgleichsfeuchte wurde die Massenkonstanz durch wiederholtes Wiegen der Proben bestimmt. Dieses Kriterium der Massenkonstanz zur Erkennung der Ausgleichsfeuchte erscheint bei den Proben als fraglich, bei denen gleichzeitig die Masse durch Feuchtigkeitsabgabe genauso stark reduziert wurde wie sie durch carbonatisierungsbedingte CO₂-Aufnahme zunahm.

Bei einigen Werken war unter erhöhter CO₂-Beanspruchung eine signifikante Abnahme der auf 30 M.-% Feuchtegehalt normierten Druckfestigkeit zu beobachten.

Die Ergebnisse der Prüfungen zeigten zudem, dass bei Steinen aus Werk 3 (zuvor als Hersteller A bezeichnet, vgl. 2.1.1) die die Carbonatisierung zweifelsohne baupraktische bedeutsam war. Es stellte sich sogar bei Lagerung im Außenlager vergleichsweise schnell eine signifikante Festigkeitsabnahme ein.

Um die in diesem Forschungsprojekt überwiegend unter Laborbedingungen gewonnenen Ergebnisse beurteilen und im Vergleich zu baupraktischen Umgebungsbedingungen einordnen zu können, erschien vergleichende Untersuchungen unter realitätsnahen Lagerungsbedingungen über einen längeren Zeitraum erforderlich.

Zudem konnte nach Abschluss des Projekts noch kein konkretes Prüfverfahren zur Untersuchung und Abschätzung der Auswirkung der Carbonatisierung vorgeschlagen werden

2.2 Ziele des Projekts

Im Rahmen der Vorläuferprojekte „Auswirkungen der Carbonatisierung auf Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“ und „Ergänzungsuntersuchungen zu den Auswirkungen der Carbonatisierung auf Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“ (FP 14/14E) zeigte sich, dass die im Labor an Kleinproben ermittelten Werte durch Ergebnisse von realitätsnah gelagerten ganzen Steinen und kleinformatischen Proben ergänzt werden sollten. Hierfür wurden aufbauend auf den dort gewonnenen Ergebnissen der Literaturrecherche und der Laboruntersuchungen die Untersuchungen für das vorliegende Forschungsprojekt (FP 22/22E) konzipiert.

Ziel dieses Vorhabens war es, durch Außenlagerung ganzer Steine den Bezug zu baupraktisch relevanten Umgebungsbedingungen und mehrjährigen Expositionszeiten herzustellen. Es wurden Steine der Werke ausgewählt, die entweder im Vorgängerprojekt (FP 14/14E [6]) gewisse Auffälligkeiten gezeigt hatten oder die als typische Referenz angesehen werden konnten. Dabei wurden die Festigkeits- und Rohdichteklassen PP2-0,35 und PP4-0,50 untersucht.

3 Stand der Forschung

Im Rahmen der vorangegangenen Forschungsaufträge „Auswirkungen der Carbonatisierung auf Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“ und „Ergänzungsuntersuchungen zu den Auswirkungen der Carbonatisierung auf Druckfestigkeit und Verformung von Porenbeton-Plansteinen“ (FP 14/14E [6]) wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt. Der Schlussbericht [6] gibt den Stand der Literatur, Normung und Forschung wieder, die die Grundlage für die Konzeption der im vorliegenden Bericht dokumentierten Versuchsreihen darstellen. Da es sich bei den Versuchen im vorliegenden Forschungsauftrag um Ergänzungen, beziehungsweise Erweiterungen zu den dort dargestellten Ergebnissen handelt, wird im Folgenden nur auszugsweise auf die für das bessere Verständnis relevanten Punkte eingegangen.

Eine wichtige Kenngröße, die für den Vergleich zwischen den kleinformatischen Proben und den ganzen Steinen herangezogen wird, ist der Carbonatisierungsgrad. Da es keine einheitliche Definition des Carbonatisierungsgrads gibt, wurde im Vorgängerprojekt das Vorgehen nach MATSUSHITA et al. [8] als geeignet identifiziert. Sie definieren den Carbonatisierungsgrad von Porenbeton D_C in % als

$$D_C = \frac{(C - C_0)}{C_{\max} - C_0} \cdot 100.$$

C , C_0 und C_{\max} sind die Masseanteile von CO_2 in der jeweiligen Probe, in der nicht carbonatisierten Referenzprobe und der Anteil an CO_2 , der theoretisch erforderliche ist, um das gesamte Kalziumoxid in CaCO_3 umzuwandeln. MATSUSHITA et al. [8] ermitteln die Masseanteile C und C_0 als Masseverlust zwischen 600 °C und 800 °C in der TG-DTA. Sie sagen, dass in diesem Temperaturbe-

reich ausschließlich und vollständig der CO_2 -Anteil aus CaCO_3 ohne Freikalk und ohne den Anteil aus Magnesiumcarbonat ermittelt wird. Den Gesamtanteil an CaO ermitteln sie mit Hilfe der Ionenchromatographie (ICP). Über das Molmassenverhältnis zwischen CO_2 und CaO von 22 zu 28 kann C_{max} aus CaO errechnet werden.

In den vorangegangenen Untersuchungen (FP 14/ 14E [6]) zeigte sich, dass ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem steigenden Carbonatisierungsgrad und der Druckfestigkeit besteht. Allerdings reagierten die Proben der verschiedenen Werke unterschiedlich auf die Vorlagerungen. Die Proben eines Werks zeigten selbst bei extremer Beanspruchung mit erhöhtem CO_2 -Gehalt keine merklichen Änderungen der Festigkeit. Bei einigen Werken konnte eine Festigkeitsabnahme bei Lagerung mit erhöhtem CO_2 -Gehalt festgestellt werden. Die Proben eines Werks zeigten deutliche Festigkeitsabnahmen.

Die gemessenen Festigkeiten sind stark vom Feuchtegehalt der Proben abhängig. Aus diesem Grund wurde im Vorgängerprojekt in Anlehnung an SCHUBERT und SCHMIDT [9] eine Regressionsfunktion für den Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und Feuchtegehalt ermittelt. Diese Funktion (vgl. Abbildung 1) wird zur näherungsweisen Ermittlung der auf 30 M.-% Feuchtegehalt normierten Festigkeiten genutzt.

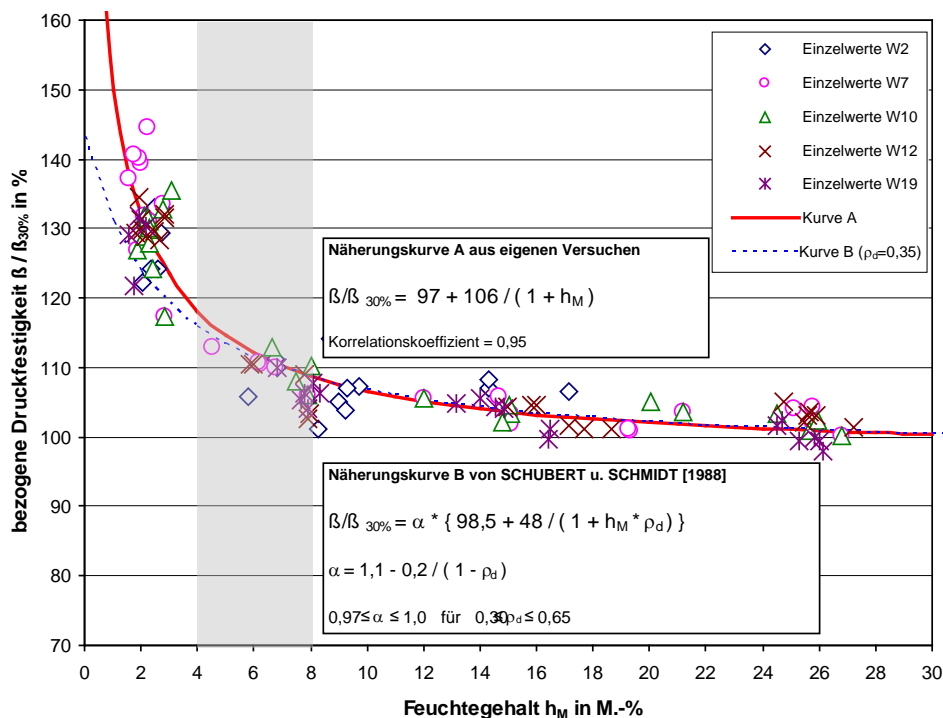


Abbildung 1: Auf 30 M.-% bezogene Prismendruckfestigkeit von Steinen ausgewählter Werke abhängig vom Feuchtegehalt h_M aus [4]

Bei den Schwinduntersuchungen ließen sich die Kurvenverläufe der Schwinddehnungen in Abhängigkeit von der Zeit qualitativ in drei Typen einteilen. Diese drei Typen sind schematisch in Abbildung 2 dargestellt. In den ersten Tagen nehmen die Verformungen am stärksten zu. Danach stellen sich Unterschiede in den Verläufen ein. Bei Typ 1 nehmen die Verformungen in den nächsten Tagen weiter zu und nähern sich asymptotisch einem Maximum an. Bei Typ 2 stellt sich nach wenigen Tagen ein erstes Maximum ein. Danach nehmen die Schwinddehnungen wieder ab und nähern sich ebenfalls asymptotisch einem zweiten Maximum an. Als dritte Ausprägung der Schwinddehnung

wurde der Typ 3 ermittelt. Hierbei konnte während der 28-tägigen Versuchszeit keine Annäherung an einen Grenzwert beobachtet werden. Vielmehr nahm die Schwinddehnung immer weiter zu. Dieses Verhalten zeigten nur die Steine des Werks 3.

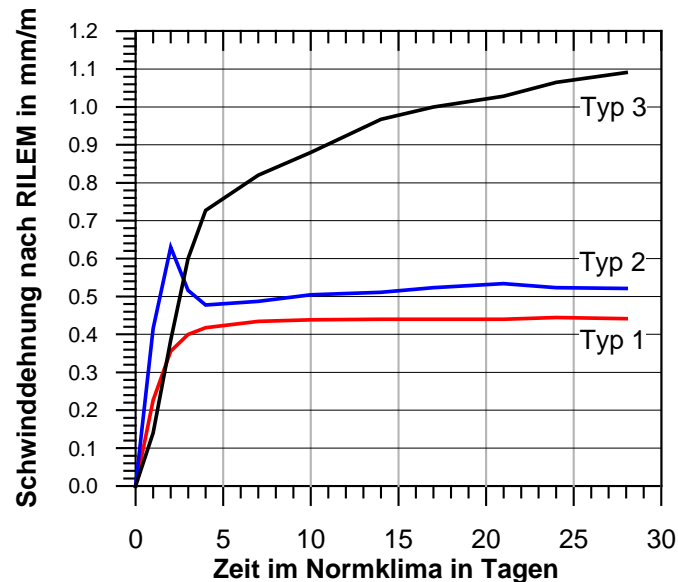


Abbildung 2: Qualitativer Kurvenverlauf der Schwinddehnungen abhängig von der Zeit bei Schwindversuchen nach RILEM [3] aus [4]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Untersuchungsergebnisse aus dem Vorgängerprojekt (FP 14/14E [6]) erwartungsgemäß von der Art der Vorlagerung und den Herstellwerken abhängig waren. Bei Vorlagerung mit 28-tägiger Schnellcarbonatisierung bei 1 Vol.-% CO₂ von Proben in Anlieferungsfeuchte und anschließender Ofentrocknung wurden im Vergleich zu Proben aus den übrigen Vorlagerungen die größten carbonatisierungsbedingten Veränderungen der untersuchten Eigenschaften festgestellt. Bei 90-tägiger Normklimalagerung traten bei Normierung der Druckfestigkeiten auf einen einheitlichen Feuchtegehalt keine signifikanten Veränderungen auf. Der Feuchtegehalt der Proben und die Luftfeuchte der Umgebung beeinflussen die Druckfestigkeit, die Schwindverformungen und den Carbonatisierungsfortschritt von Porenbeton wesentlich. Zur Bewertung des baupraktischen Carbonatisierungsrisikos waren ergänzende Untersuchungen bei realitätsnahen Bedingungen notwendig, die im vorliegenden Bericht dargestellt werden.

4 Eigene Untersuchungen

4.1 Ziel der Untersuchungen

Ziel der Untersuchungen war es, die Erkenntnisse des Vorgängerprojekts, die überwiegend an Kleinproben unter Laborbedingungen gewonnen wurden, durch Versuche nach Außenlagerung unter realitätsnahen Bedingungen zu ergänzen. Hierfür wurden sowohl Kleinproben als auch ganze Steine untersucht.

Die durchgeführten Versuche sind im Folgenden beschrieben. Eine Zusammenstellung der Einzelergebnisse ist nach Werken sortiert im Anhang aufgeführt.

4.2 Proben und Vorlagerungen

4.2.1 Steinsorten und Abmessungen

Nachfolgend sind die Werke und die von ihnen für die Untersuchungen eingelieferten Steine mit der jeweiligen Festigkeitsklasse und den Abmessungen aufgeführt (vgl. Tabelle 1). Die Bezeichnung der Werke erfolgte analog zu der Bezeichnung der Werke im vorangegangenen Forschungsprojekt (FP 14/14E [6]).

Tabelle 1: Eingelieferte Porenbeton-Plansteine für die Untersuchungen

Werk	Steinfestigkeit	Steingeometrie
Werk 3	PP 2-0,35	625 mm oder 500 mm x 365 x 250 mm
Werk 6	PP 2-0,35	625 mm oder 500 mm x 365 x 250 mm
Werk 10	PP 2-0,35	500 mm x 365 x 250 mm
Werk 10a	PP 4-0,50	500 mm x 365 x 250 mm
Werk 12	PP 2-0,35	625 mm x 365 x 250 mm
Werk 22	PP 2-0,35	625 mm oder 500 mm x 365 x 250 mm
Werk 23	PP 2-0,35	625 mm x 365 x 250 mm
Werk 23a	PP 4-0,50	500 mm x 365 x 250 mm

4.2.2 Probengeometrie und Probenbezeichnung

Aus den eingelieferten Porenbeton-Plansteinen wurden die nachfolgenden Probekörper gewonnen:

- Prismen: 100 mm x 100 mm x 250 mm,
- Prismen für Trockenrohdichte nach DIN 771-4: 100 mm x 100 mm x Steinlänge,
- Schwindprismen: 40 mm x 40 mm x 160 mm und
- Würfel: 100 mm x 100 mm x 100 mm.

In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 3 bis Abbildung 13) sind exemplarisch die Schnittpläne für 625 mm breite Steine dargestellt. Der Zuschnitt der Proben und die Probenbezeichnung bei 500 mm breiten Steinen erfolgte analog. Die Steine, die in der fortlaufenden Bezeichnung der folgenden Abbildungen fehlen, wurden als Ganzes geprüft oder zur Bestimmung von Tiefenprofilen des Carbonatisierungsfortschritts verwendet (s. u.).

Die Proben wurden mit einer vierteiligen Bezeichnung versehen, die sich wie folgt zusammensetzt:

Werk / Nr. des Steins / Nr. des Prismas bzw. Würfels / Lage.

Die Nummerierung der Werke erfolgte nach den in Tabelle 1 angegebenen Bezeichnungen. Die Steine wurden fortlaufend bezeichnet. Die Nummer des Prismas bzw. Würfels setzte sich aus dem Buchstaben für die Art der Vorlagerung (vgl. Tabelle 2) und der Nummer für die Achse, in der die Probe aus dem Stein entnommen wurde (vgl. Abbildung 3 bis Abbildung 13) zusammen. Der abschließend aufgeführte Buchstabe bezeichnet den Entnahmeort der Probe entlang einer Achse (o für oben und u für unten bei Würfeln sowie v für vorn und h für hinten für Prismen und Würfel).

Somit ergibt sich beispielweise für einen Würfel der unten, vorne aus der Achse 2 des Steins Nr. 25, aus dem Werk 3 entnommen und im Anlieferungszustand geprüft wurde die folgende Bezeichnung:

3 / 25 / A 2 /vu

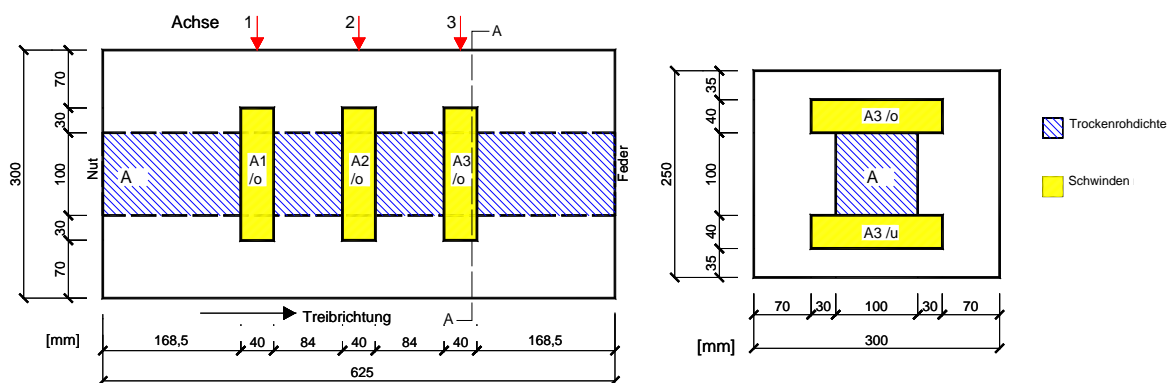


Abbildung 3: Schnittplan für Stein 1 und 2; Prüfung im Anlieferungszustand (A)

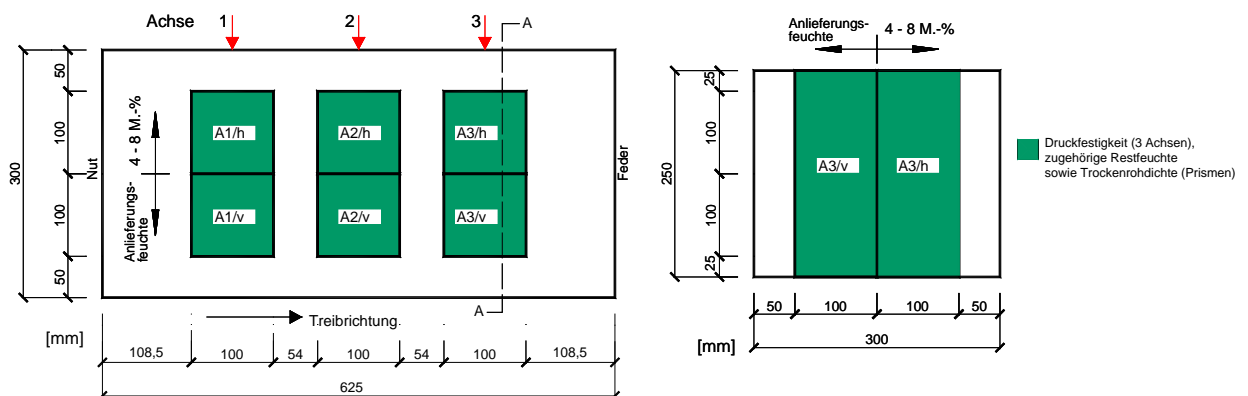


Abbildung 4: Schnittplan für Stein 3; Prüfung im Anlieferungszustand (A)

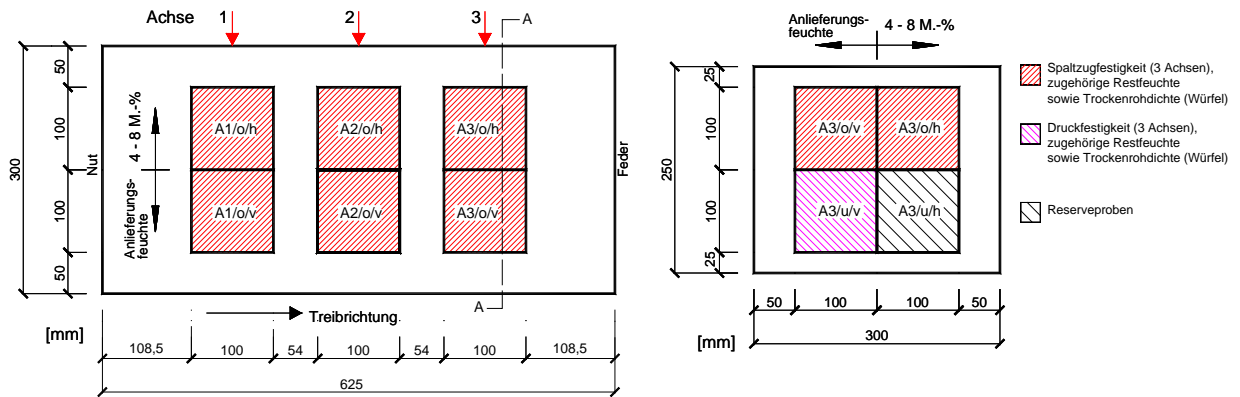


Abbildung 5: Schnittplan für Stein 5 und 6; Prüfung im Anlieferungszustand (A)

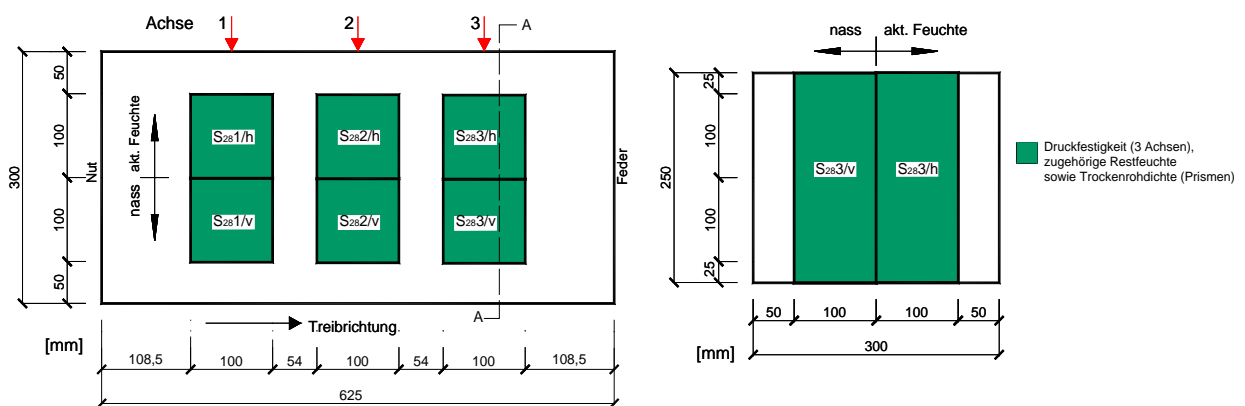


Abbildung 6: Schnittplan für Stein 13; Prüfung nach 28 Tagen Schnellcarbonatisierung (S28)

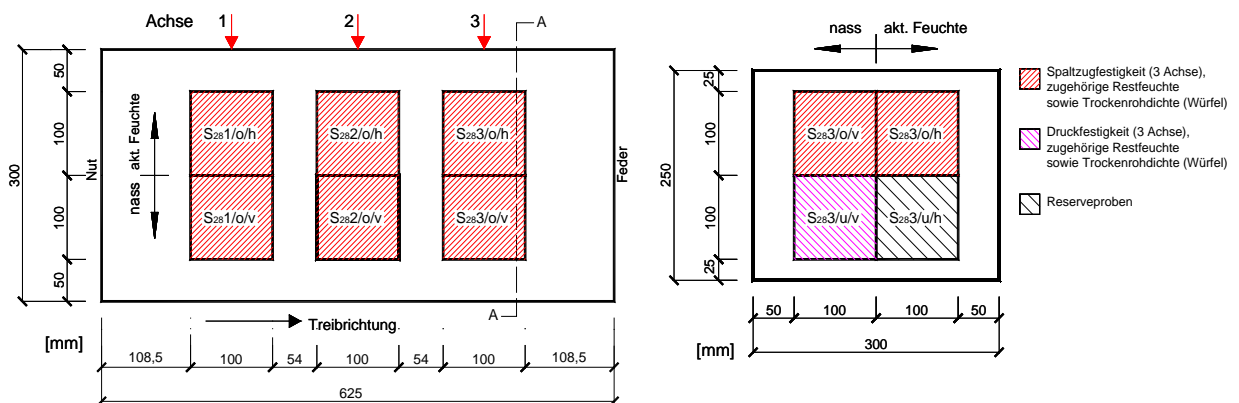


Abbildung 7: Schnittplan für Stein 14; Prüfung nach 28 Tagen Schnellcarbonatisierung (S28)

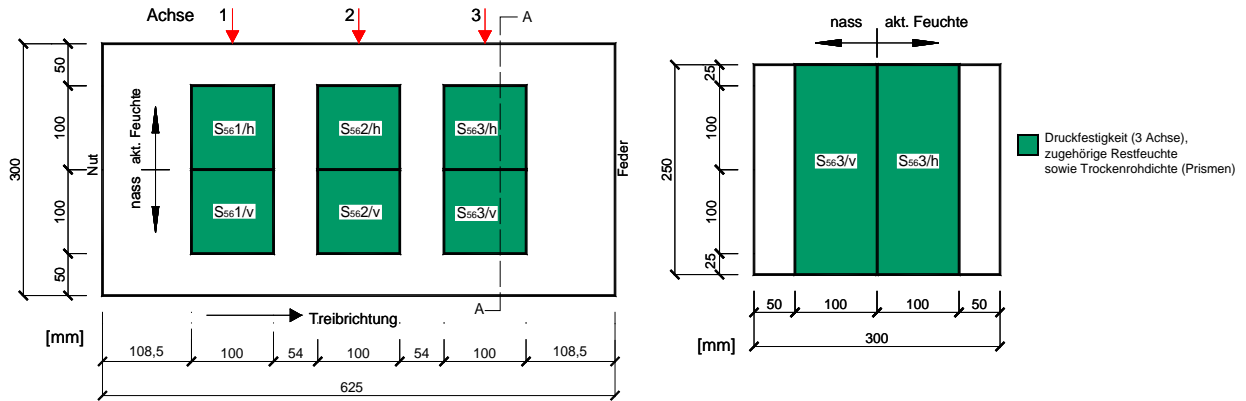


Abbildung 8: Schnittplan für Stein 15; Prüfung nach 56 Tagen Schnellcarbonatisierung (S56)

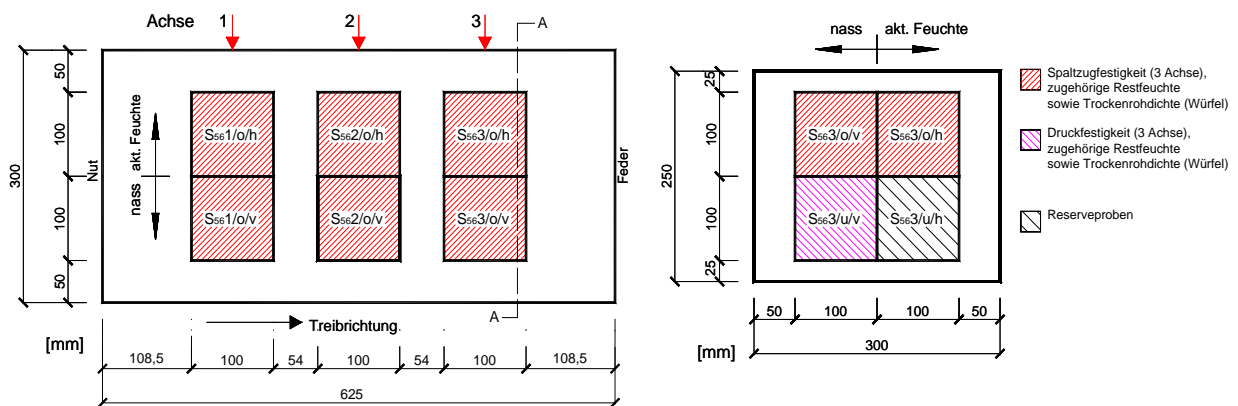


Abbildung 9: Schnittplan für Stein 16, Prüfung nach 56 Tagen Schnellcarbonatisierung (S56)

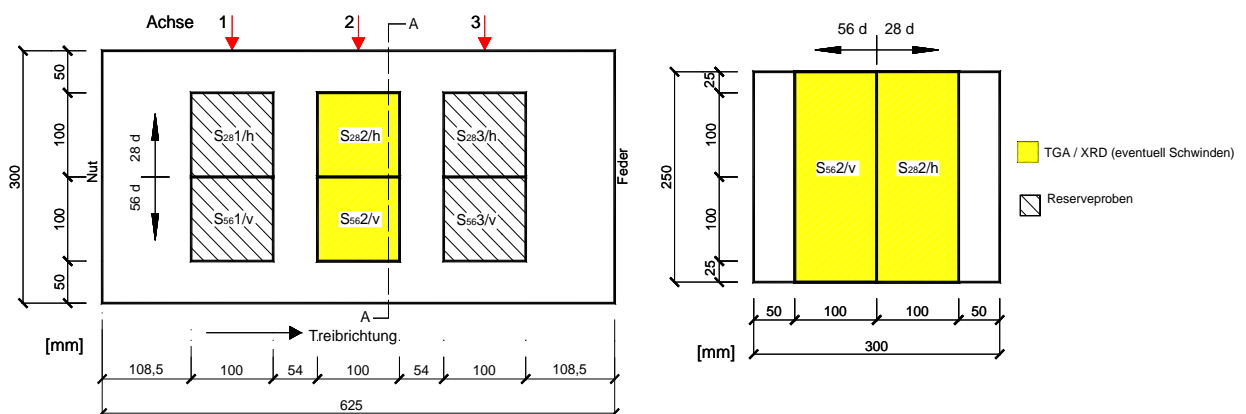


Abbildung 10: Schnittplan für Stein 17; Prüfung nach 28 und 56 Tagen Schnellcarbonatisierung (S28 und S56)

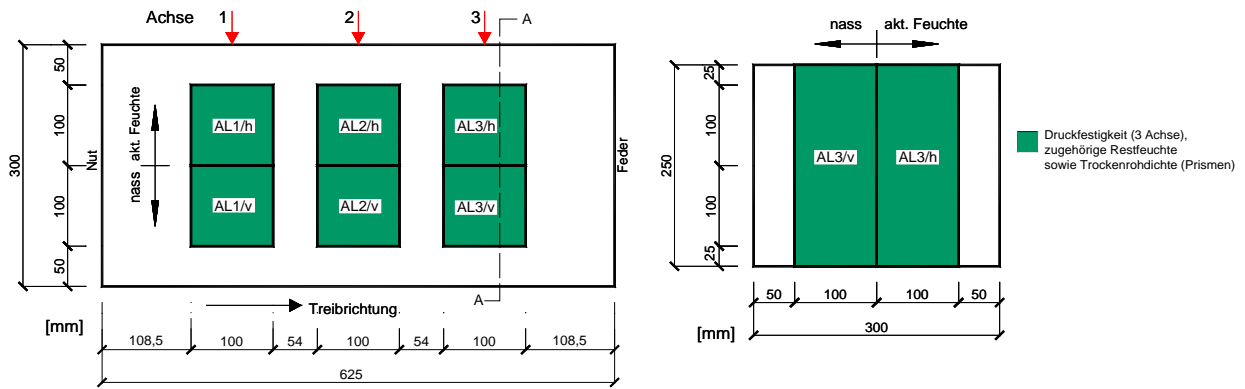


Abbildung 11: Schnittplan für Stein 18, 26, 33, 41; Prüfung nach Außenlagerung (AL)

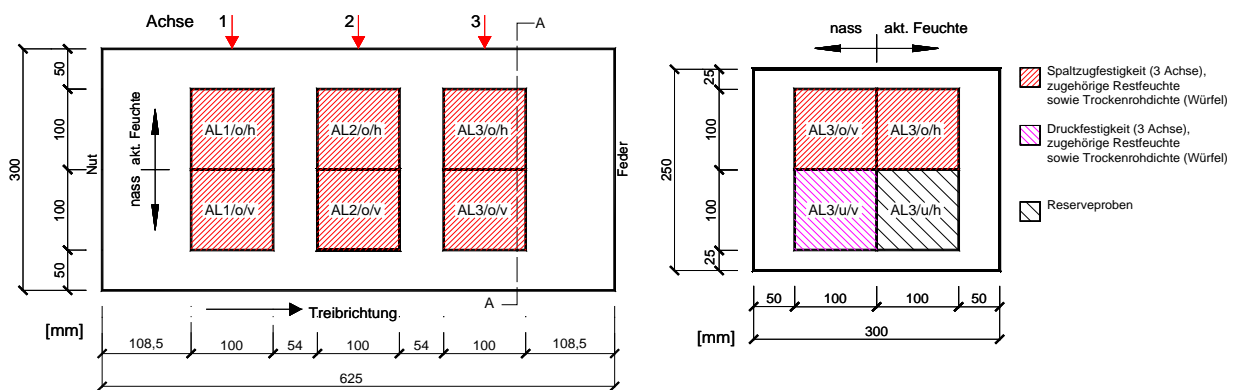


Abbildung 12: Schnittplan für Stein 19, 27, 34, 42; Prüfung nach Außenlagerung (AL)

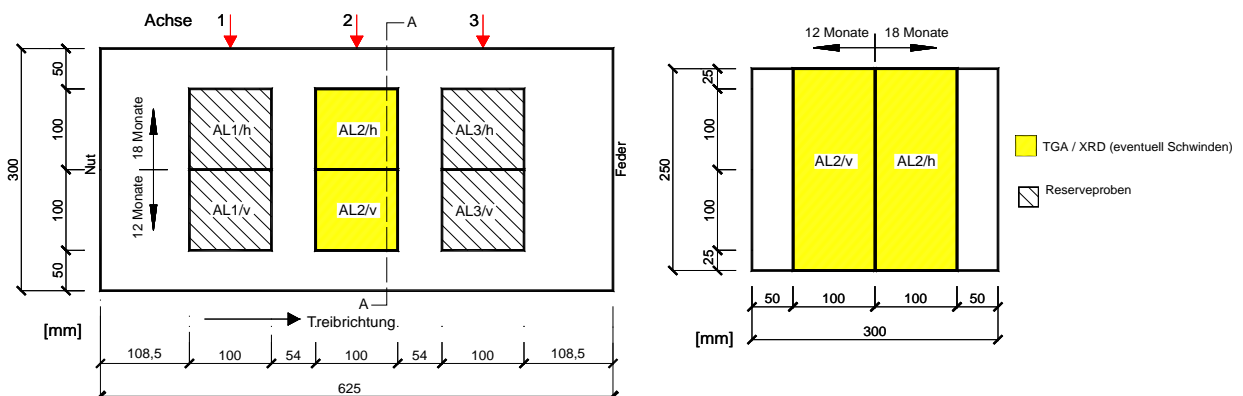


Abbildung 13: Schnittplan für Stein 25, 40; Prüfung nach Außenlagerung (AL)

Die Proben wurden mithilfe einer Bandsäge aus den Steinen geschnitten, anschließend vermessen und gewogen. Die Stirnseiten der Proben wurden für die Festigkeitsuntersuchungen planparallel geschliffen. Anschließend wurden diese Proben erneut vermessen und gewogen.

Die vorbereiteten Proben wurden unter den nachfolgend genannten Vorlagerungsbedingungen (vgl. Tabelle 2) bis zur Prüfung gelagert. Alle überzähligen Reserveproben wurden luftdicht verschweißt.

Für die Erstellung von Tiefenprofilen der Carbonatisierung wurde ein Teil der ganzen Steine für die Außenlagerung entlang der Lager- und Stoßfugen mit Aluminiumfolie ummantelt. Hierdurch sollte das Eindringverhalten von CO₂ in den Stein vergleichbar mit in einer Wand verbauten Steinen simuliert werden (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14: Steine mit Aluminiumfolie ummantelter Stoß- und Lagerfuge in der Außenlagerung (rechts und links im Bild)

4.2.3 Vorlagerung der Proben

Um eine Beziehung der im Labor gewonnenen Ergebnisse aus dem vorangegangenen Forschungsprojekt (FP 14/14E [6]) und Ergebnissen, die unter realitätsnahen Bedingungen gewonnen werden sollten, herstellen zu können, wurden im Rahmen dieses Forschungsprojekts Untersuchungen nach den in Tabelle 2 aufgeführten Vorlagerungsbedingungen durchgeführt.

Tabelle 2: Vorlagerungsbedingungen der Proben

Kurzbezeichnung	Art der Vorlagerung
A	Anlieferungszustand
O	Ofentrocknung bei 40 °C bis 4-8 M.-% Feuchtegehalt im Anlieferungszustand
S28	Schnellcarbonatisierung: 28 Tage 1 % CO ₂
S56	Schnellcarbonatisierung: 56 Tage 1 % CO ₂
AL12	12 Monate in Außenlager
AL18	18 Monate in Außenlager
AL18+9	18 Monate in Außenlager anschließen 9 Monate frei bewittert
AL40	40 Monate in Außenlager

Als Referenz und zur direkten Anknüpfung an die vorhandenen Ergebnisse (FP 14/14E [6]) wurden die zentralen Kenngrößen im Anlieferungszustand (A) bestimmt.

Parallel dazu wurden sowohl Prismen als auch Würfel 28 beziehungsweise 56 Tage einer erhöhten CO₂-Konzentration ausgesetzt (S28 und S56). Hierfür wurden die Proben bei 1 Vol.-% CO₂ in einem speziellen Gasschrank bei Temperaturen von ca. 20 °C gelagert. Zur Aufrechterhaltung der CO₂-Konzentration wurden Kohlendioxid und Druckluft in einem stufenlos regelbaren Gasmischgerät gemischt und dem Gasschrank über ein Nadelventil mit Durchflussmengenmesser in solcher Menge zugeführt, wie es der CO₂-Verbrauch der Proben erforderte. Um eine gleichmäßige Verteilung der CO₂-Konzentration im Schrank zu gewährleisten, wurden durchlässige Regalböden und eine erzwungene Luftumwälzung verwendet.

Die Proben für die Außenlagerung (AL) wurden in einem zweiseitig offenen, überdachten Lager gelagert (vgl. Abbildung 15).



Abbildung 15: Außenlager für die Vorlagerung AL

Die Proben wurden je nach Größe entweder in Regalen oder auf Paletten im Außenlager gelagert. Um eine allseitige Belüftung der Proben sicherzustellen, wurden die einzelnen Lagen durch schmale Holzleisten voneinander getrennt (vgl. Abbildung 16).



Abbildung 16: Lagerung der Proben im Außenlager (AL)

Um den Einfluss der Feuchtigkeit exemplarisch darstellen zu können wurden je Werk jeweils ein Stein und je drei Prismen und Würfel aus dem Außenlager für weitere neun Monate der direkten Bewitterung ausgesetzt (AL 18+9). Hierfür wurden die Oberseiten abgeklebt, um sie vor stehender Feuchtigkeit nach Regenereignissen zu schützen. Die übrigen Flächen waren ungeschützt der Bewitterung ausgesetzt. Die Proben wurden zur Sicherstellung der allseitigen Belüftung ebenfalls auf schmalen Holzleisten gelagert (vgl. Abbildung 17).



Abbildung 17: Zusätzliche Lagerung bei freier Bewitterung einzelner Proben (AL18+9)

4.3 Durchgeführte Untersuchungen

4.3.1 Mechanische Untersuchungen

Die mechanischen Untersuchungen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt, die nachfolgend entsprechend den jeweiligen Vorlagerungen aufgeführt sind.

4.3.1.1 Anlieferungszustand

Im Anlieferungszustand (A) wurden die nachfolgend genannten Untersuchungen durchgeführt:

- Trockenrohdichte nach DIN EN 771-4,
- Schwinden nach DIN EN 680:2005 und RILEM,
- Druckfestigkeit an Prismen nach DIN EN 771-4 im Zustand der Anlieferungsfeuchte und nach Ofentrocknung bei 40 °C bis 4-8 M.-% Feuchtegehalt mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte,
- Spaltzugfestigkeit an Würfeln nach DIN EN 771-4 im Zustand der Anlieferungsfeuchte mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte,
- Druckfestigkeit an Würfeln nach DIN EN 771-4 im Zustand der Anlieferungsfeuchte mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte und
- Druckfestigkeit am ganzen Stein im Zustand der Anlieferungsfeuchte und nach Ofentrocknung bei 40 °C bis 4-8 M.-% Feuchtegehalt mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte.

4.3.1.2 Schnellcarbonatisierung

Nach einer 28-tägigen (S28) beziehungsweise 56-tägigen (S56) Vorlagerung unter erhöhter CO₂-Konzentration (1 Vol.-% CO₂) wurden die nachfolgend genannten Untersuchungen durchgeführt:

- Druckfestigkeit an Prismen nach DIN EN 771-4 mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte,
- Spaltzugfestigkeit an Würfeln nach DIN EN 771-4 mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte und
- Druckfestigkeit an Würfeln nach DIN EN 771-4 mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte.

4.3.1.3 Außenlagerung

Nach einer 12-monatigen (AL12), 18-monatigen (AL18) beziehungsweise 40-monatigen (AL40) Vorlagerung im Außenlager wurden die nachfolgend genannten Untersuchungen durchgeführt:

- Druckfestigkeit an Prismen nach DIN EN 771-4 mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte,
- Spaltzugfestigkeit an Würfeln nach DIN EN 771-4 mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte,
- Druckfestigkeit an Würfeln nach DIN EN 771-4 mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte und
- Druckfestigkeit am ganzen Stein mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte.

Nach 18-monatiger Lagerung im Außenlager und anschließenden 9-monatigen freien Bewitterung (AL18+9) wurden exemplarisch die folgenden Kenngrößen ermittelt:

- Druckfestigkeit an Prismen nach DIN EN 771-4 mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte und
- Druckfestigkeit am ganzen Stein mit anschließender Bestimmung der Trockenrohdichte und der Feuchte.

4.3.2 Carbonatisierungsgrad

Wie im Stand der Forschung beschrieben, wurde zur einheitlichen Ermittlung des Carbonatisierungsgrads der Ansatz nach MATSUSHITA et al. [8] verwendet. Die erforderlichen Kenngrößen wurden mittels thermogravimetrischer Analysen (TG-Analyse) in Verbindung mit komplexometrischer Titration bestimmt.

Der CaO-Gehalt der nicht carbonatisierten Probe im Anlieferungszustand wurde mit komplexometrischer Titration bestimmt. Als Titrier- bzw. Maßlösung kam eine Titriplex VI-Lösung zur Anwendung. Für die Messung wurden zunächst 0,1 g der zu untersuchenden Probe analytisch genau eingewogen, in destilliertem Wasser gelöst, auf ca. 50 ml verdünnt und ausgelaugt. Nach Zugabe von 10 ml Salzsäure (1:1) wurde die Lösung kurz bis zum Sieden erhitzt, abgekühlt und filtriert. Das Filtrat wurde mit Nanopurwasser (deionisiertem Wasser) unter Zusatz von 2 ml Kupfer-EDTA-Lösung (1 %) und 20 ml di-Ammoniumhydrogencitratlösung (500 g/l) aufgefüllt. Durch die Zugabe von konzentrierter Ammoniaklösung wurde der pH-Wert auf 10,3 eingestellt. Danach erfolgten der Anschluss der Elektroden, die vorher gewässert wurden und das Ansetzen der Titriplex VI-Lösung, die aus 38 g Titriplex VI, 200 ml NaOH und Nanopurwasser bestand.

Die Bestimmung der übrigen Kenngrößen erfolgte mithilfe der TG-Analyse. Bei TG-Analysen wird die Masseänderung einer Probe bei definierter Temperatursteigerung mit konstanter Heizrate gemessen. Für die Prüfung wurde eine Probe von etwa 50 mg Masse in einem Platintiegel mit Deckel untersucht. Die Ofentemperatur wurde von 25 °C bis 1000 °C mit einer Heizrate von 25 °C/Min. erhöht und dabei die Masse der Probe gemessen. Durch laminares Umströmen der Probe mit Argon wurde verhindert, dass durch die von der Probe beim Verdampfen oder bei Zersetzungsreaktionen abgegebenen flüchtigen Komponenten keine Rückreaktionen auftreten konnten. Die ermittelten Messkurven der Masse in Abhängigkeit von der Temperatur liefern Informationen über die Temperaturbeständigkeit der Probe und die Temperaturbereiche, in denen Reaktionen ablaufen. Für Porenbeton ist nach MATSUSHITA et al. [8] der Bereich zwischen 600 °C und 800 °C maßgebend.

Für die Erstellung von Carbonatisierungsverläufen und -profilen wurden zu unterschiedlichen Zeiten sowohl aus Prismen als auch aus den mit Aluminiumfolie ummantelten Steinen Proben entnommen und beprobt. Bei den Prismen wurde jeweils eine Probe aus dem Randbereich (Stirnfläche) und aus der Mitte entnommen. Bei den ganzen Steinen wurden in mehreren Achsen ausgehend von der freien Seite mehrere Proben bis zur Mitte des Steins entnommen.

Die Proben wurden mit der Bandsäge entnommen, in einem Mörser zerkleinert und bis zur Prüfung in verschließbaren Probengläsern gelagert. Um die Proben vor Einflüssen aus der Umgebung zu schützen, erfolgte die Lagerung in einem mit Argon gefluteten Exsikkator über Kaliumhydroxid (KOH) und Natriumhydroxid auf Träger gekörnt.

4.3.3 Röntgenphasenanalyse mit Rietveld-Verfeinerung

Im Vorgängerprojekt (FP 14/14E [6]) zeigte sich bei den Proben, die unter erhöhter CO₂-Belastung gelagert wurden, eine Reduzierung des Tobermorit-Gehalts bei gleichzeitigem Anstieg des Calcit- und des Vaterit-Gehalts. Bei den Proben aus Werk 3 wurde der Tobermorit sogar vollständig abgebaut und es war der höchste Anstieg des Vaterit-Gehalts zu beobachten (vgl. [6]).

Im Rahmen dieses Projekts sollte unter anderem geklärt werden, ob sich die beobachtete Erhöhung des Vaterit-Gehalts auch unter realitätsnahen Bedingungen einstellt. Hierfür wurden im Anlieferungszustand und zu Projektende Proben entnommen und untersucht.

Die Analyse der CSH-Phasengehalte wurde mithilfe der Röntgenpulverdiffraktometrie (X-Ray Diffraction kurz XRD) mit Rietveld-Verfeinerung durchgeführt.

Die Proben für die XRD-Untersuchung wurden an den gleichen Stellen wie die für die TG-Analyse entnommen. Es erfolgte ebenfalls eine Zerkleinerung des Probenmaterials im Mörser, das anschließend für 2,5 Stunden bei 105 °C getrocknet und danach in verschließbaren Probengläschen analog zu den TGA-Proben gelagert wurde. Die Herstellung des Röntgenpräparats und die XRD-Untersuchungen wurden am Institut für Mineralogie der Leibniz Universität Hannover durchgeführt.

4.4 Ergebnisse der Untersuchungen

4.4.1 Schwinduntersuchungen

Die im vorangegangenen Forschungsprojekt (FP 14/14E [6]) identifizierten typischen Schwindkurvenverläufe (vgl. Abbildung 2) konnten auch hier bestätigt werden. Die Verformungen wurden dabei über die Zeit dargestellt. Es fanden sich alle drei in Abbildung 2 dargestellten Typen in unterschiedlich starker Ausprägung in den Messwerten wieder. Die Zuordnung kann wie folgt vorgenommen werden:

- Typ 1: Asymptotischen Annäherung an einen Grenzwert
 - Werk 10
 - Werk 10a
 - Werk 23
 - Werk 23a
- Typ 2: Nach einem Zwischenmaximum asymptotische Annäherung an einem Grenzwert
 - Werk 6
 - Werk 12
 - Werk 22
- Typ 3: Keine asymptotische Annäherung an einen Grenzwert
 - Werk 3

Die Einzelwerte der Schwindmessungen sind nach Werken sortiert im Anhang dargestellt. In der nachfolgenden Abbildung 18 sind die maximalen Schwinddehnungen aller Werke im Überblick dargestellt. Die Messwerte von Werk 3 setzen sich deutlich gegen die der übrigen Werke ab. Sie liegen bei etwa 0,7 ‰, während die der übrigen Werke zwischen 0,3 ‰ und 0,35 ‰ liegen.

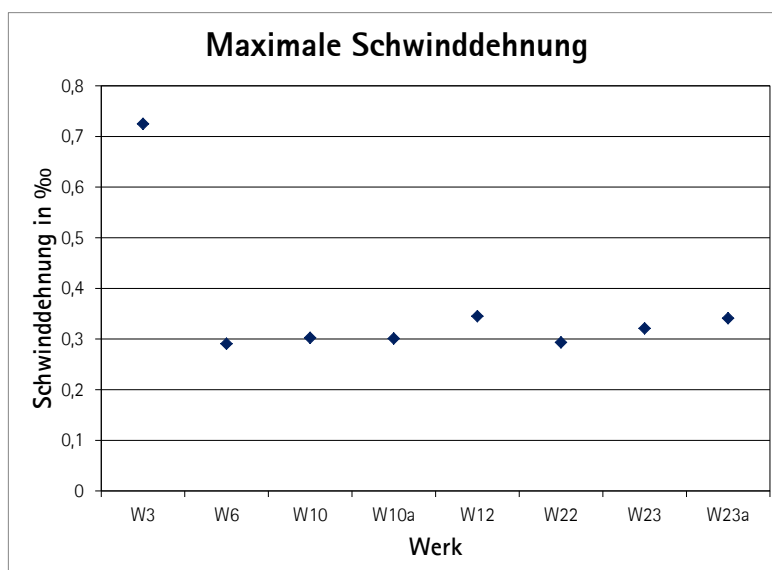


Abbildung 18: Maximale Schwinddehnung

Bei der Darstellung der Schwindverläufe in der Form Probenfeuchte über Verformung analog zu DIN EN 680:2005, Bild 2 [1], wichen die gemessenen Verläufe zum Teil deutlich von dem dort dargestellten idealisierten Schwindverlauf ab (vgl. Abbildung 19). Bei den Abweichungen wiesen die gemessenen Verläufe in dem für die Bestimmung des konventionellen Referenzwerts des Trocknungsschwindens $\epsilon_{cs,ref}$ relevanten Bereich (6-30 M.-% Feuchtegehalt) einen eher bauchigen bis z-förmigen Verlauf auf. Bei einer normgemäßen Auswertung hätte dieses zur Folge, dass der ermittelte Wert für $\epsilon_{cs,ref}$ kleiner als die in dem zugrundeliegenden Bereich aufgetretenen Dehnungen ist und sogar negative Werte annehmen kann.

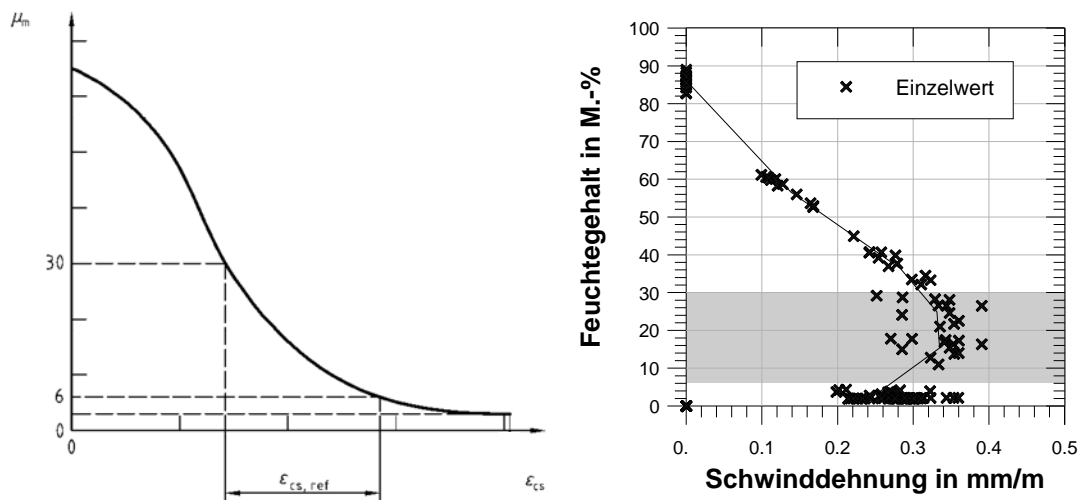


Abbildung 19: Prinzip für die Bestimmung von $\epsilon_{cs,ref}$ aus DIN EN 680:2005, Bild 2 [1] (links), Schwindverlauf Werk 12 (rechts)

4.4.2 Druckfestigkeit an Prismen

Die Prismen mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 250 mm wurden den folgenden Vorlagerungsbedingungen ausgesetzt:

- A – Anlieferungsfeuchte,
- O – Ofentrocknung,
- S28 – 28 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂,
- S56 – 56 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂,
- AL12/AL18/AL40 – 12-/18-/40-monatige Außenlagerung und
- AL18+9 – 18-monatige Außenlagerung, anschließend 9 Monate freie Bewitterung.

Anschließend wurde die Druckfestigkeit an jeweils drei Proben ermittelt. Nach der mechanischen Prüfung wurde die Trockenrohichte ermittelt. Die Mittelwerte der Prüfungen sowie die jeweils auf die Vorlagerung Ofentrocknung (O) beziehungsweise auf die Vorlagerung Anlieferungszustand (A) bezogenen Werte sind in den nachfolgenden Abbildungen (vgl. Abbildung 20 bis Abbildung 45) dargestellt.

Alle Probekörper zeigten eine deutliche Reduzierung der Druckfestigkeit nach Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre (vgl. Abbildung 20) bei gleichzeitiger Zunahme der Trockenrohichte (vgl. Abbildung 23). Die korrigierte Druckfestigkeit β_{30} fiel dabei auf ca. 60-80 % des Werts im Anlieferungszustand ab (vgl. Abbildung 21 und Abbildung 22).

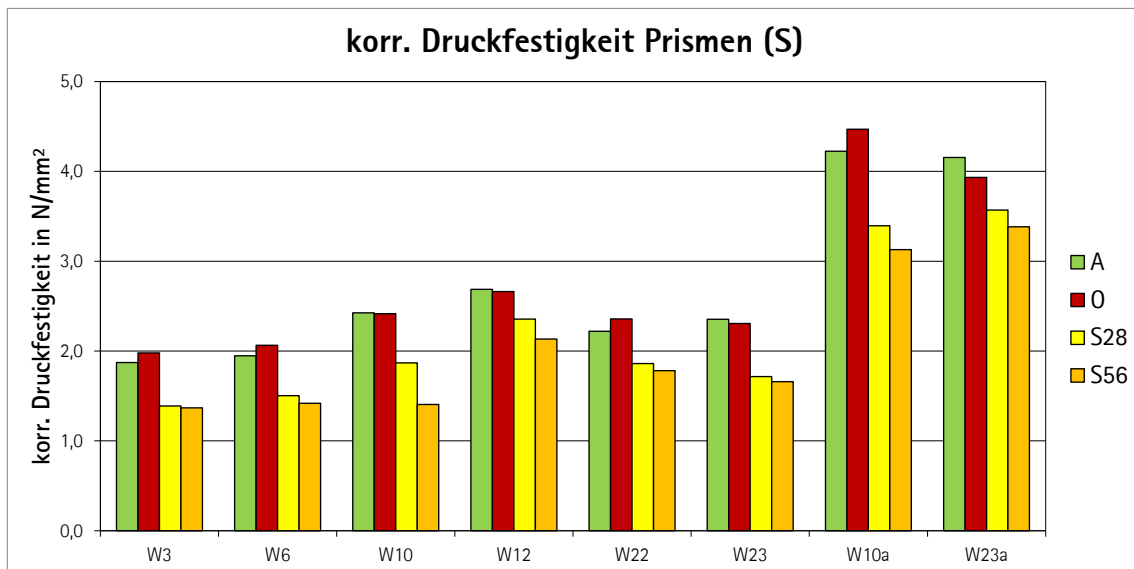


Abbildung 20: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S)

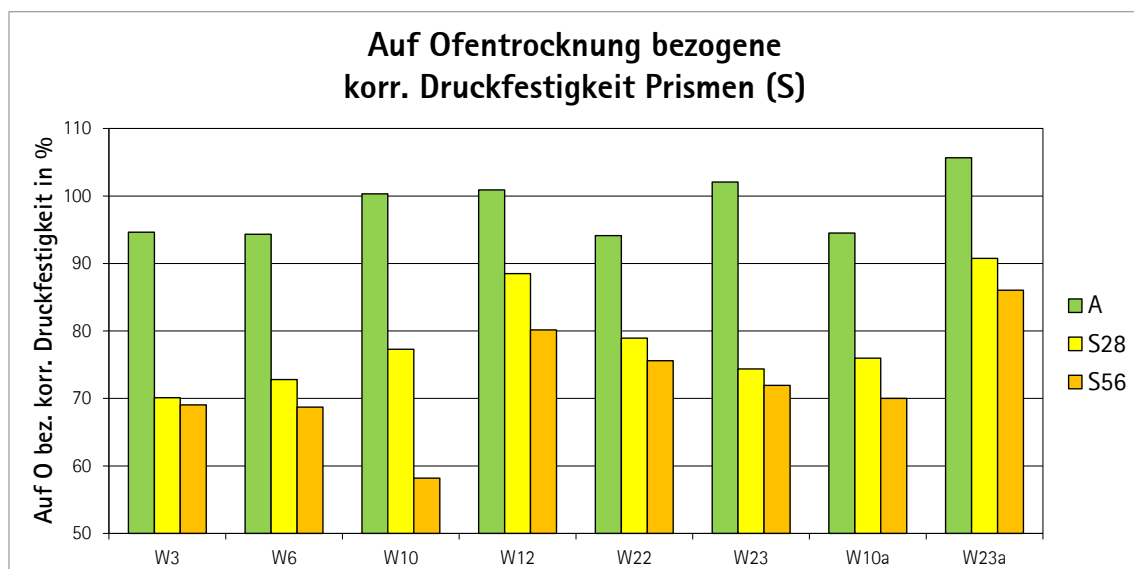


Abbildung 21: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S), bezogen auf die Werte aus Vorlagerung Ofentrocknung (O)

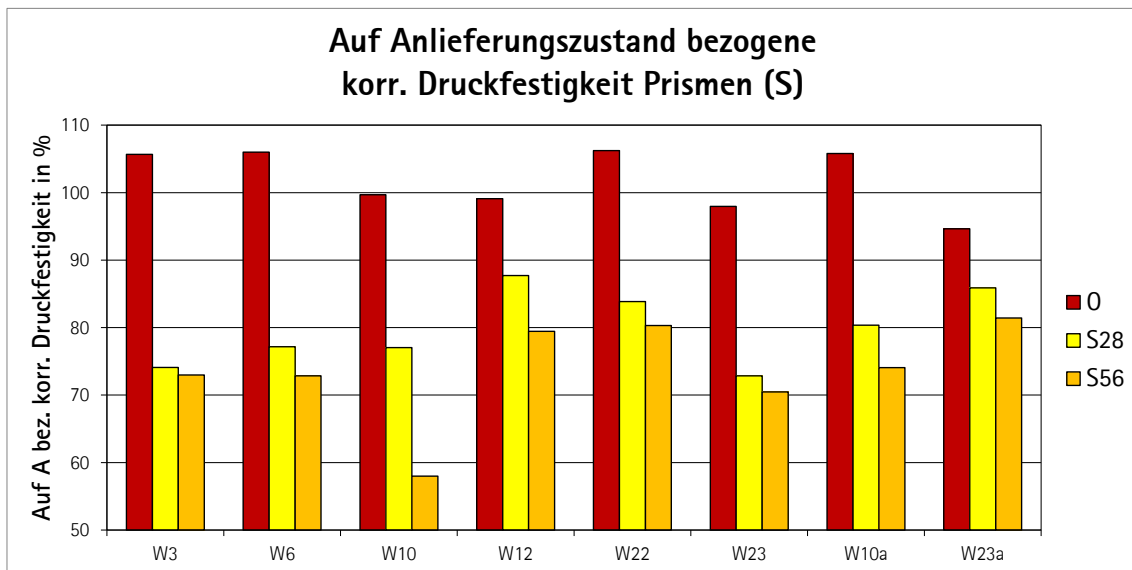


Abbildung 22: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S), bezogen auf den Anlieferungszustand (A)

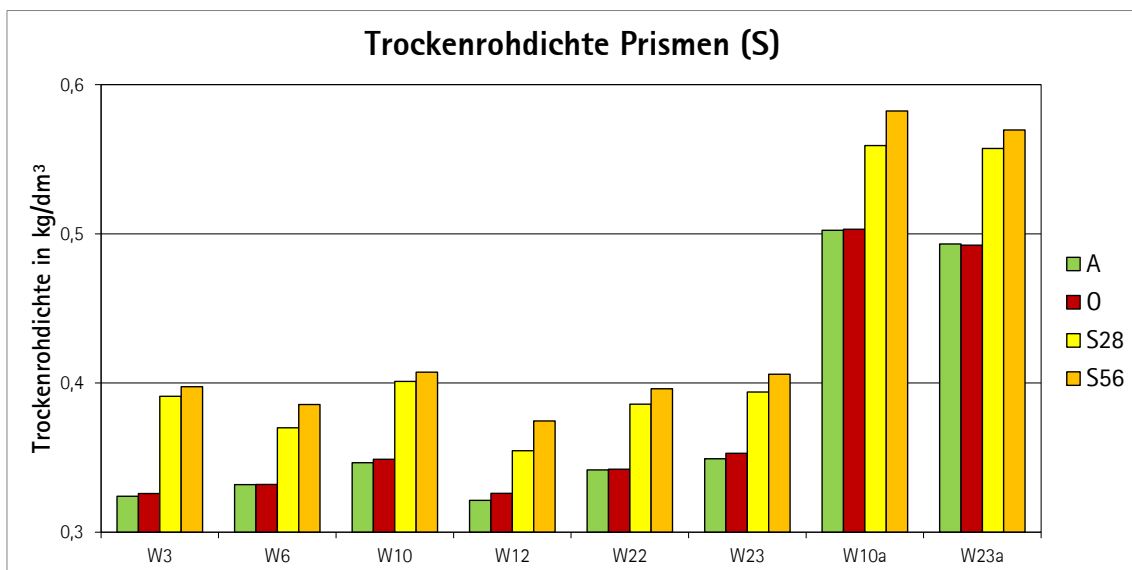


Abbildung 23: Veränderung der Trockenrohdichte, am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S)

Dieser deutliche Verlust an Druckfestigkeit konnte im Rahmen der Versuche nach Außenlagerung bis auf eine Ausnahme nicht bestätigt werden (vgl. Abbildung 24 bis Abbildung 26). Es kam bei den meisten Werken zu einer anfänglichen leichten Reduktion der Druckfestigkeit auf bis zu 90 % bezogen auf den Anlieferungszustand, beziehungsweise auf die Werte aus Ofentrocknung. In der Folge konnte bei den meisten Werken sogar eine Zunahme der Druckfestigkeit beobachtet werden. Bis auf wenige Ausnahmen lagen die Werte der korrigierten Druckfestigkeit über 2 N/mm². Die Werte der korrigierten Druckfestigkeit von Werk 6 lagen leicht und die von Werk 3 deutlich unter 2 N/mm².

Eine Ausnahme bildeten die Proben aus Werk 3. Die gemessenen Werte nach Außenlagerung hatten im Vergleich zum Anlieferungszustand deutlich abgenommen und wiesen nach 40 Monaten nur noch etwa 62 % der ursprünglichen Festigkeit auf. Auch die Trockenrohdichte der Proben hatte im Vergleich zu denen der übrigen Werke schon nach 12 Monaten überdurchschnittlich zugenommen.

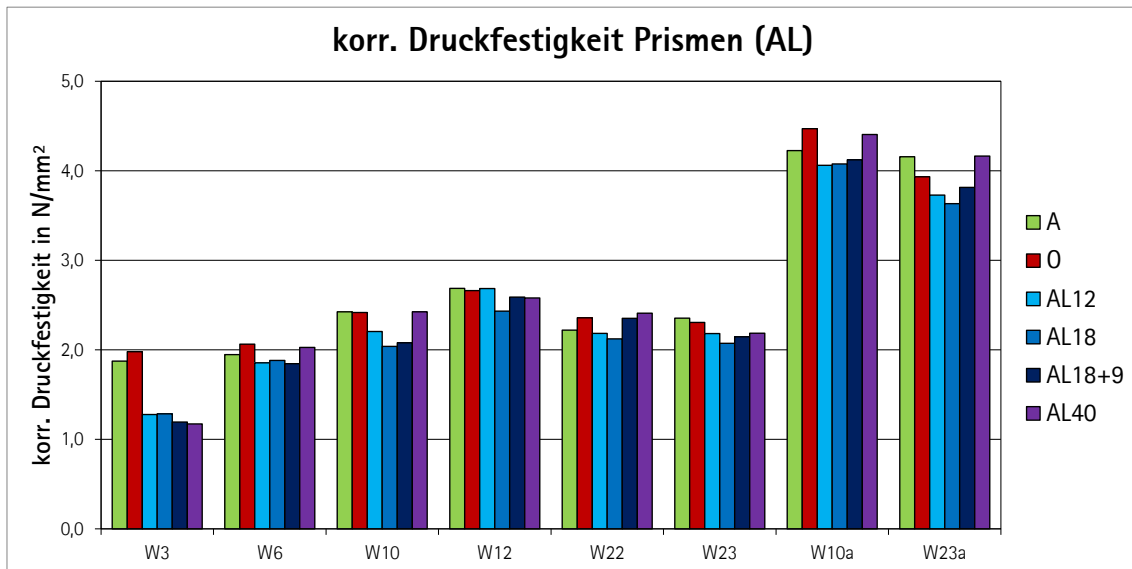


Abbildung 24: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

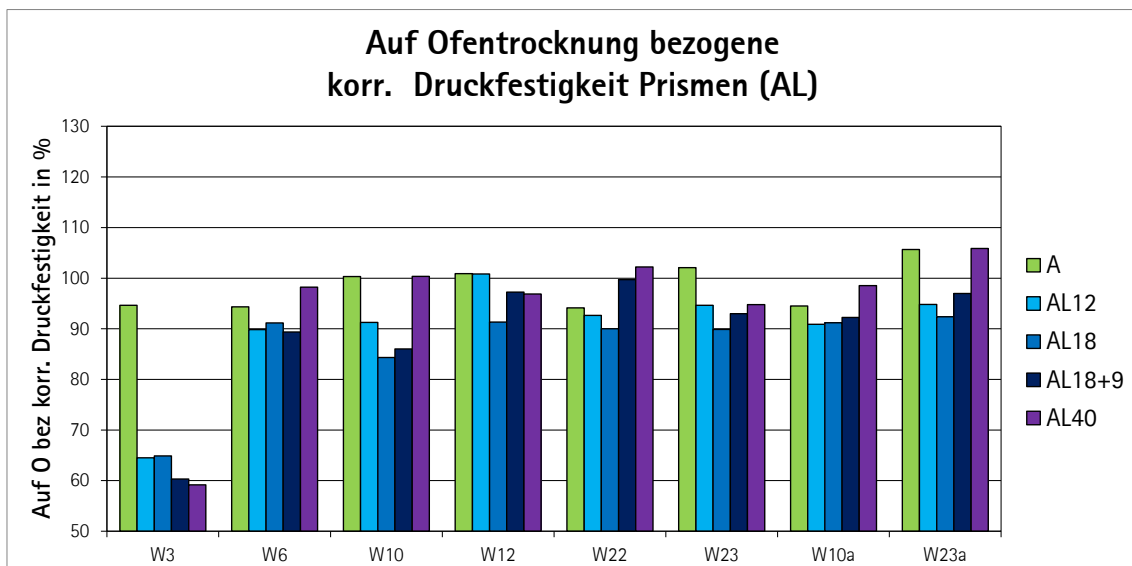


Abbildung 25: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL), bezogen auf die Werte aus Vorlagerung Ofentrocknung (O)

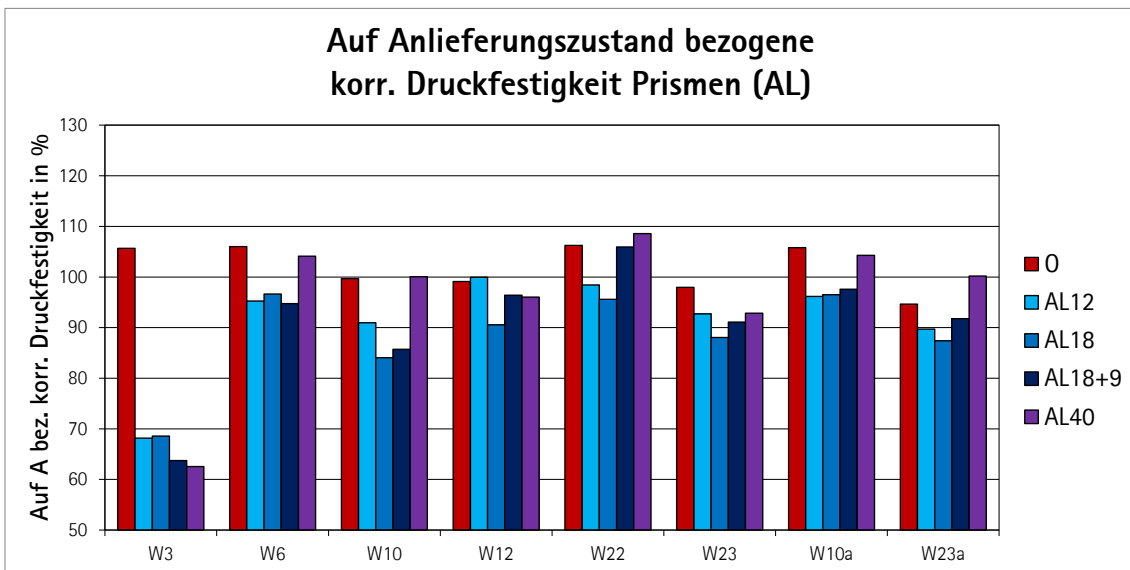


Abbildung 26: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL), bezogen auf den Auslieferungszustand (A)

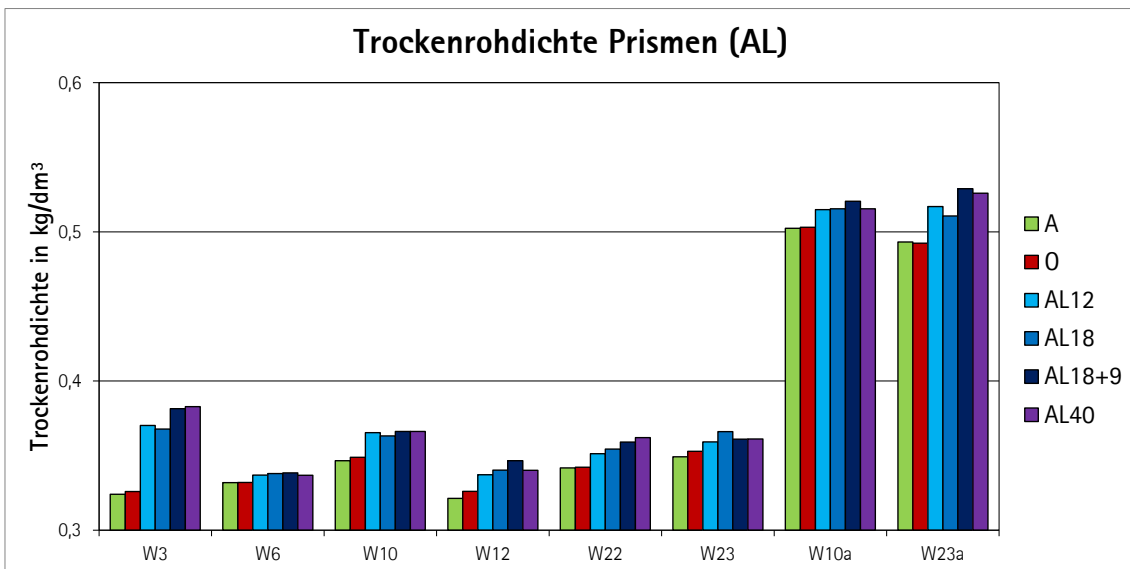


Abbildung 27: Veränderung der Trockenrohddichte, am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

4.4.3 Druckfestigkeit am ganzen Stein

Die Druckfestigkeit am ganzen Stein wurde nach der jeweiligen Vorlagerung an jeweils drei Steinen ermittelt. In den nachfolgenden Abbildungen (vgl. Abbildung 28 bis Abbildung 31) sind die Mittelwerte der Versuche zusammengefasst. Ausnahme bildet die Vorlagerungsart AL18+9. Hier wurde die Druckfestigkeit nur an einem Stein ermittelt.

Die Steine wurden den folgenden Vorlagerungen ausgesetzt:

- A – Anlieferungsfeuchte,
- O – Ofentrocknung,
- AL12/AL18/AL40 – 12-/18-/40-monatige Außenlagerung und
- AL18+9 – 18-monatige Außenlagerung, anschließend 9 Monate freie Bewitterung.

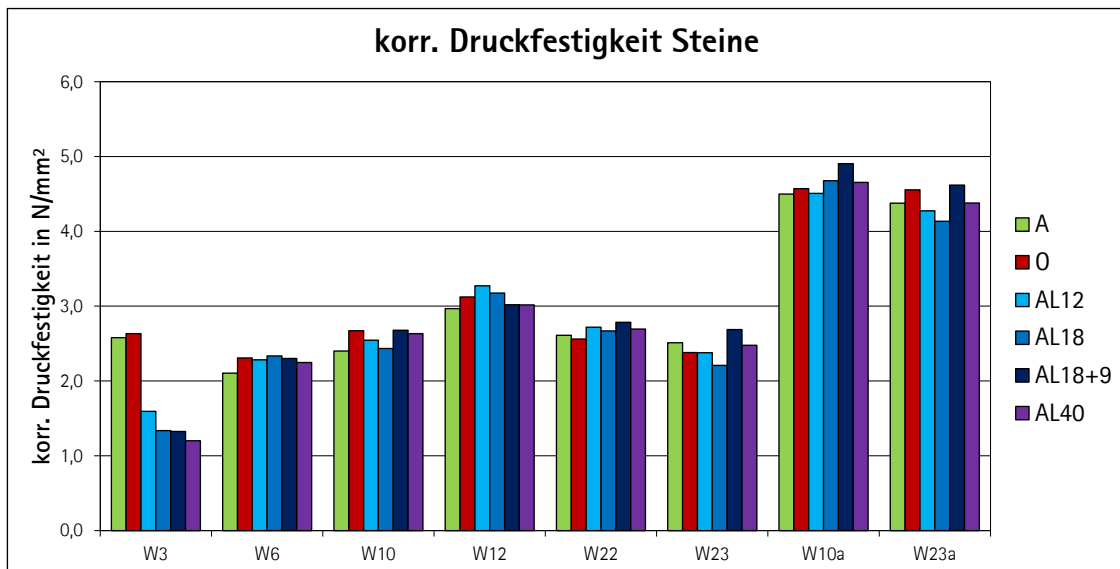


Abbildung 28: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Stein gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

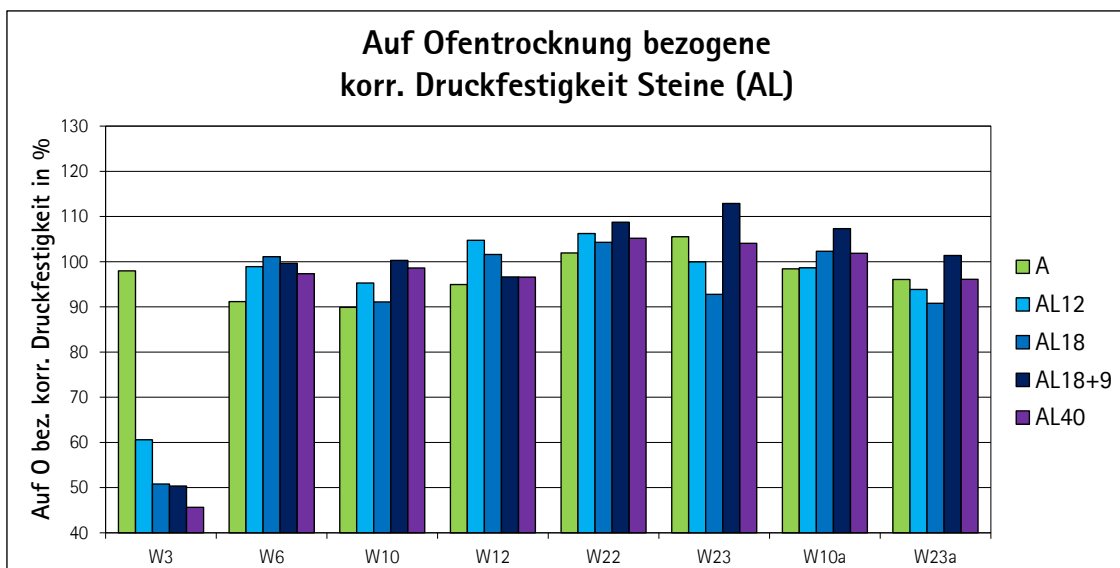


Abbildung 29: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Stein gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL), bezogen auf die Werte aus Vorlagerung Ofentrocknung (O)

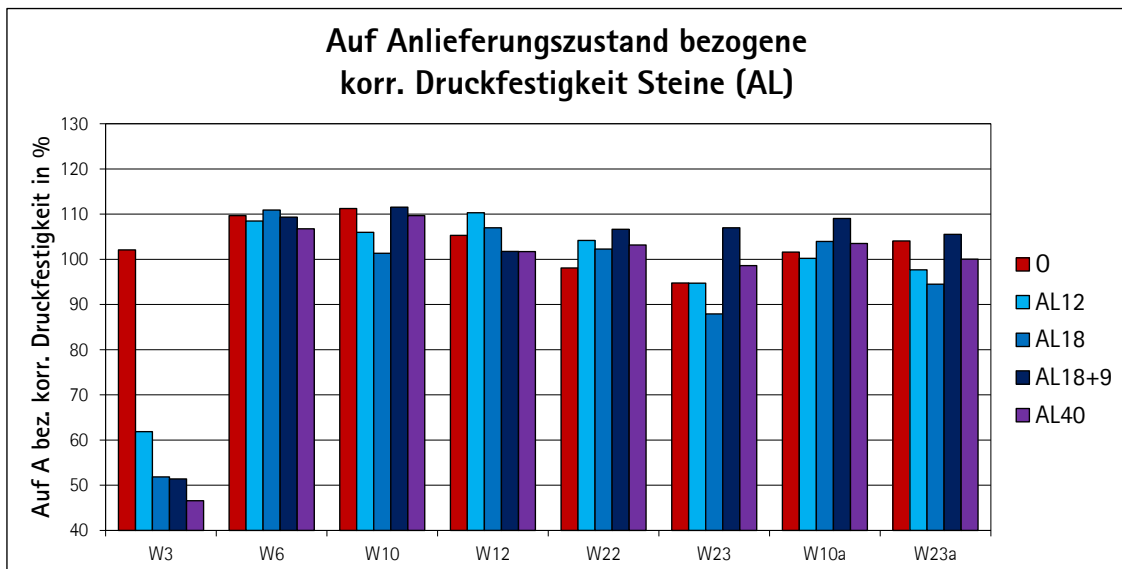


Abbildung 30: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Stein gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL), bezogen auf den Auslieferungszustand (A)

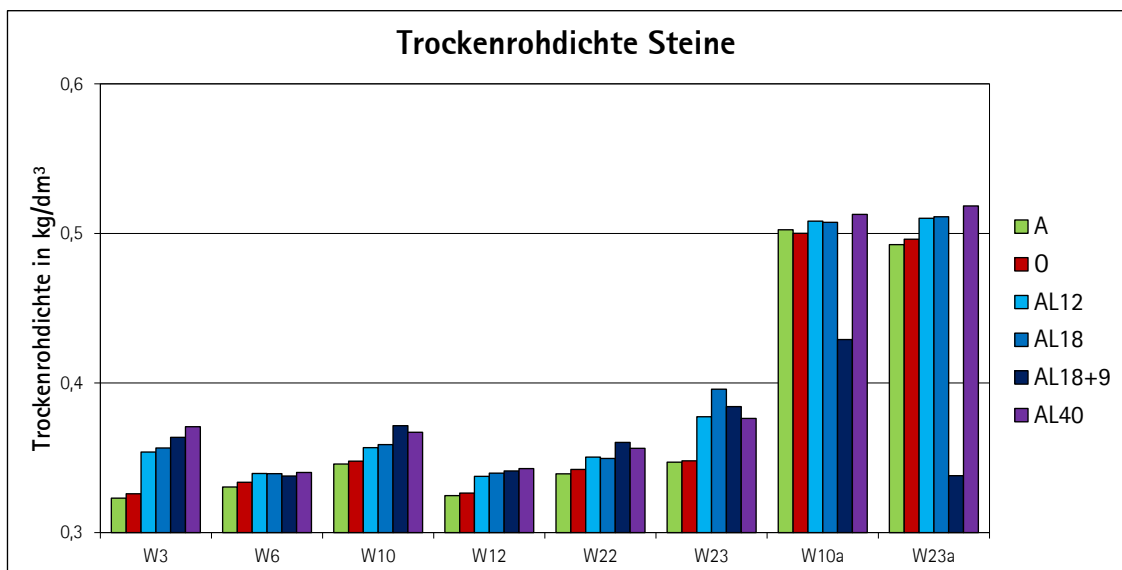


Abbildung 31: Veränderung der Trockenrohdichte (rechts), am Stein gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

Auch bei den Ergebnissen der Druckfestigkeit, die an ganzen Steinen ermittelt wurden, zeigte sich ein ähnliches Verhalten wie bei den Prismen, wenn auch nicht so stark ausgeprägt.

Die Festigkeiten der Steine entwickelten sich im Laufe der Außenlagerung auf Werte zwischen 100 % bis 110 %, bezogen auf die Ausgangsfestigkeit, beziehungsweise 90 % bis 110 %, bezogen auf die Werte aus Ofentrocknung. Die Ausnahme bilden auch hier wieder die Steine aus Werk 3. Hier nahm die Druckfestigkeit kontinuierlich im Laufe der Zeit auf unter 50 % ab.

4.4.4 Druckfestigkeit am Würfel

Die Druckfestigkeit wurde an Würfeln mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 100 mm untersucht. Es wurden jeweils drei Würfel pro Vorlagerungsart untersucht. Die Mittelwerte der Untersuchungen sind in den nachfolgenden Abbildungen (vgl. Abbildung 32 bis Abbildung 36) dargestellt.

Die Würfel wurden den folgenden Vorlagerungsbedingungen vor der Prüfung ausgesetzt:

- A – Anlieferungsfeuchte,
- O – Ofentrocknung,
- S28 – 28 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂,
- S56 – 56 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂ und
- AL12/AL18/AL40 – 12-/18-/40-monatige Außenlagerung.

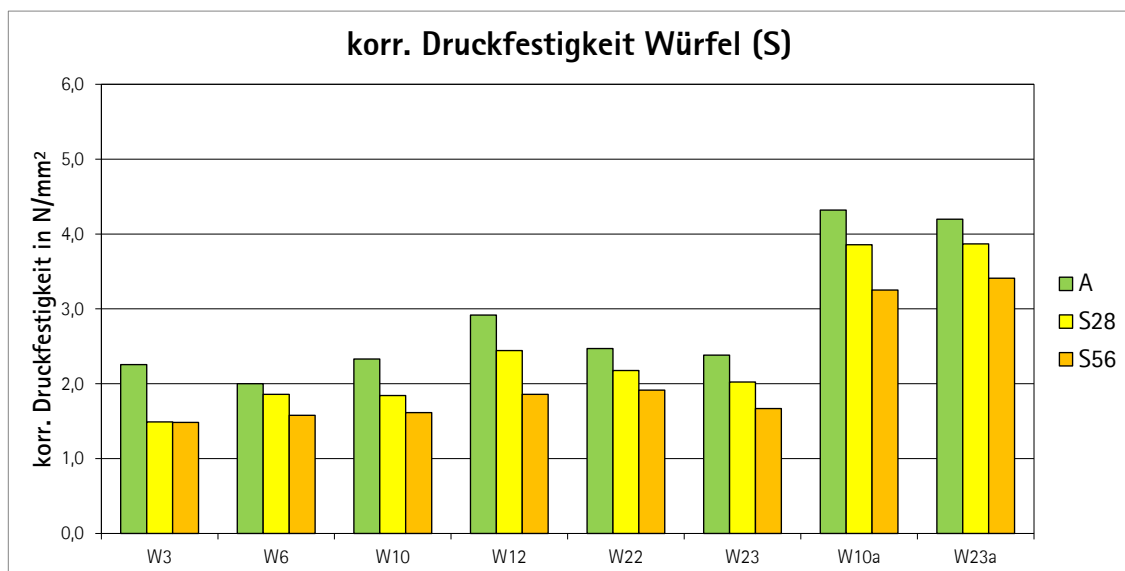


Abbildung 32: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} , am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S)

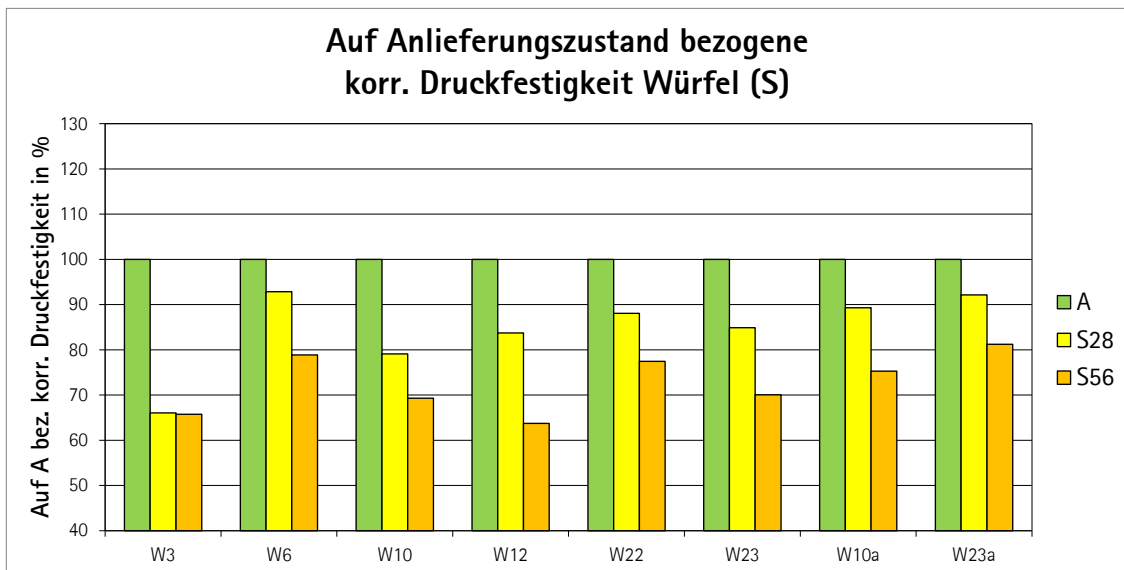


Abbildung 33: Veränderung der korrigierte Druckfestigkeit β_{30} , am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S), bezogen auf den Auslieferungszustand (A)

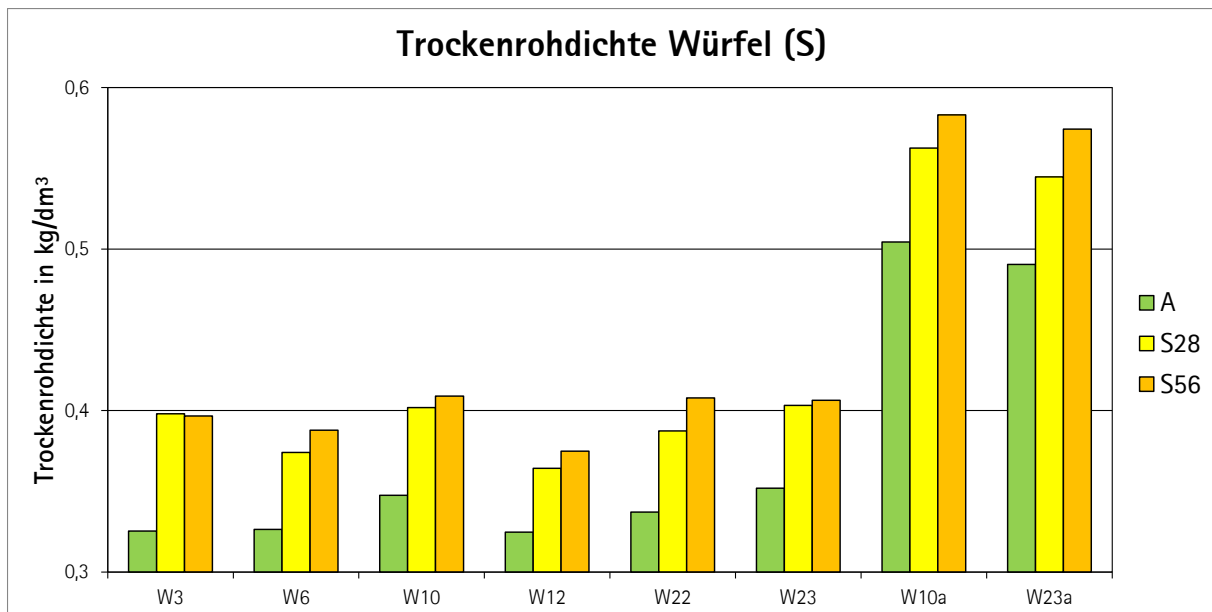


Abbildung 34: Veränderung der Trockenrohdichte (rechts), am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S)

Alle Proben reagierten mit einem Abfall der Druckfestigkeit auf die Lagerung in 1%iger CO₂-Atmosphäre bei gleichzeitigem Anstieg der Trockenrohdichte. Die Festigkeiten verringerten sich auf bis 60 %-80 % der Festigkeit im Anlieferungszustand. Auch hier bildeten die Proben von Werk 3 eine Ausnahme. Die Druckfestigkeit betrug bereits nach 28 Tagen nur noch etwa 68 %, bezogen auf den Anlieferungszustand und blieb bei diesem Wert.

Bei den Proben, die der Außenlagerung ausgesetzt waren, zeigte sich zunächst eine leichte Reduktion der Druckfestigkeit (vgl. Abbildung 36 und Abbildung 40). Im Laufe der Zeit nahm die Druckfestigkeit aber auch hier zu und erreichte nach 40 Monaten Werte zwischen etwa 105 % bis 120 %, bezogen auf den Anlieferungszustand.

Auch hier bildeten die Proben aus Werk 3 wieder die Ausnahme. Die Festigkeit lag nach 12 Monaten Außenlagerung bereits nur noch bei etwa 55 %, bezogen auf den Anlieferungszustand und blieb im Laufe der folgenden Monate ebenfalls bei diesem Wert.

Die Werte der Proben von Werk 10 wiesen ab 18 Monaten unerklärliche Sprünge auf, die sich in den übrigen Prüfungen allerdings so nicht wiederfinden.

Die Prüfung der Würfel nach 40-monatiger Außenlagerung erfolgte versehentlich nach eintägiger Wasserlagerung (gekennzeichnet mit n = Nass).

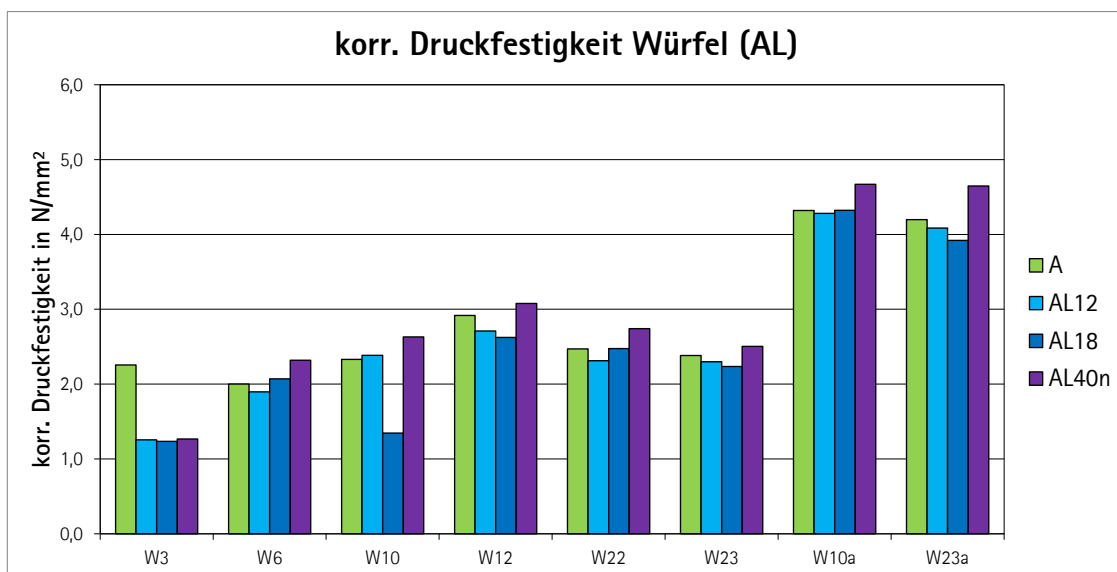


Abbildung 35: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} (links), am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

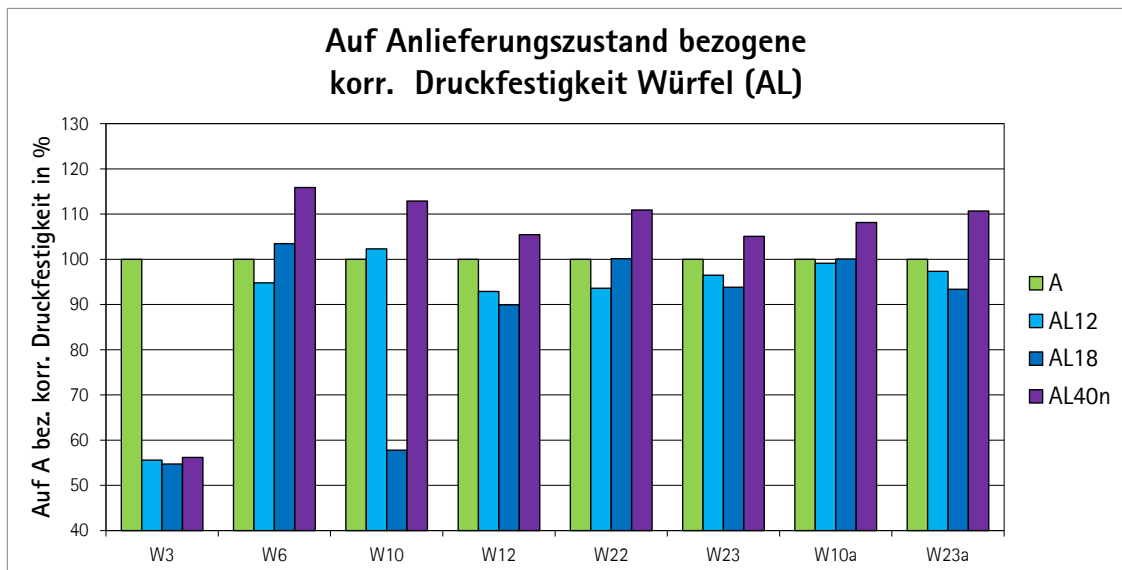


Abbildung 36: Veränderung der korrigierten Druckfestigkeit β_{30} (links), am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL), bezogen auf den Auslieferungszustand (A)

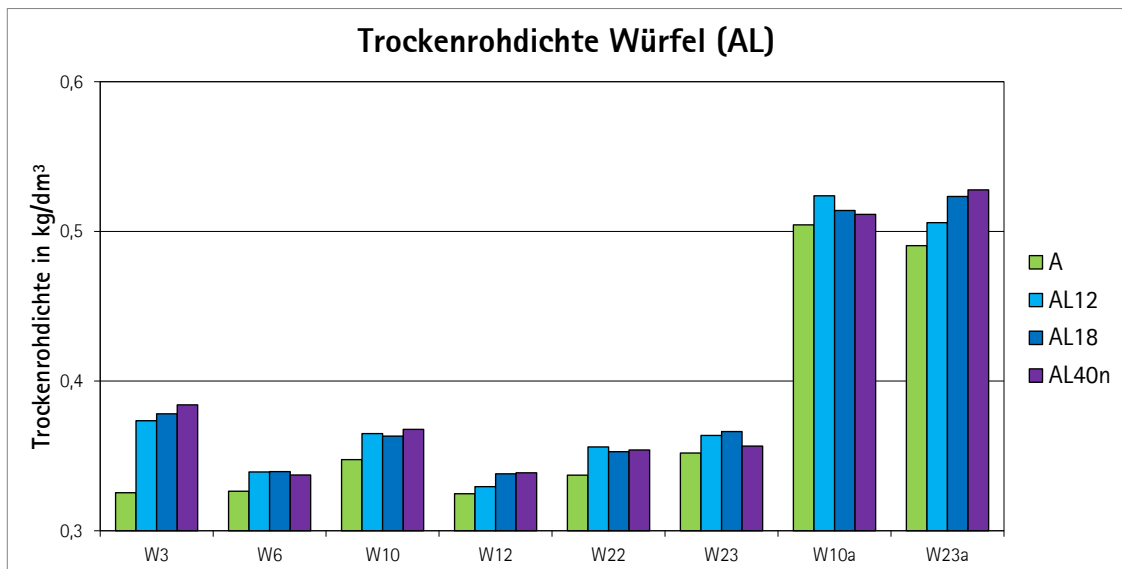


Abbildung 37: Veränderung der Trockenrohdichte, am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

4.4.5 Spaltzugfestigkeit am Würfel

Die Spaltzugfestigkeit wurde an jeweils drei Würfeln mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 100 mm je Vorlagerungsbedingung gemessen. Die Würfel wurden vor den Prüfungen den folgenden Vorlagerungsbedingungen ausgesetzt:

- A – Anlieferungsfeuchte,
- O – Ofentrocknung,
- S28 – 28 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂,
- S56 – 56 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂ und
- AL12/AL18/AL40 – 12-/18-/40-monatige Außenlagerung.

Die Mittelwerte der jeweiligen Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen (vgl. Abbildung 38 bis Abbildung 44) dargestellt.

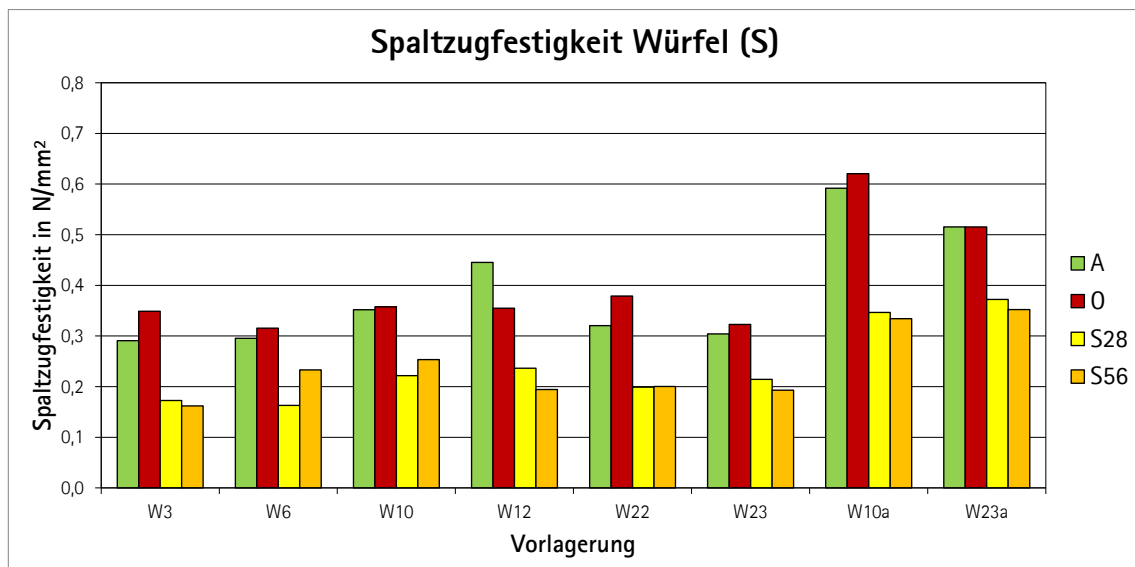


Abbildung 38: Veränderung der Spaltzugfestigkeit, am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S)

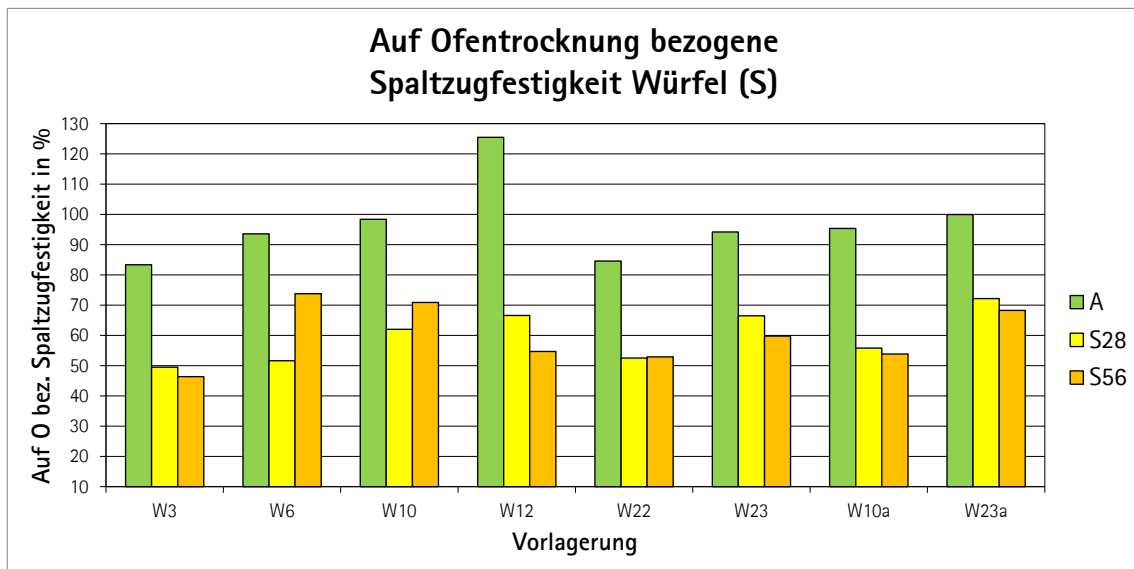


Abbildung 39: Veränderung der Spaltzugfestigkeit, am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S), bezogen auf die Werte aus Vorlagerung Ofentrocknung (O)

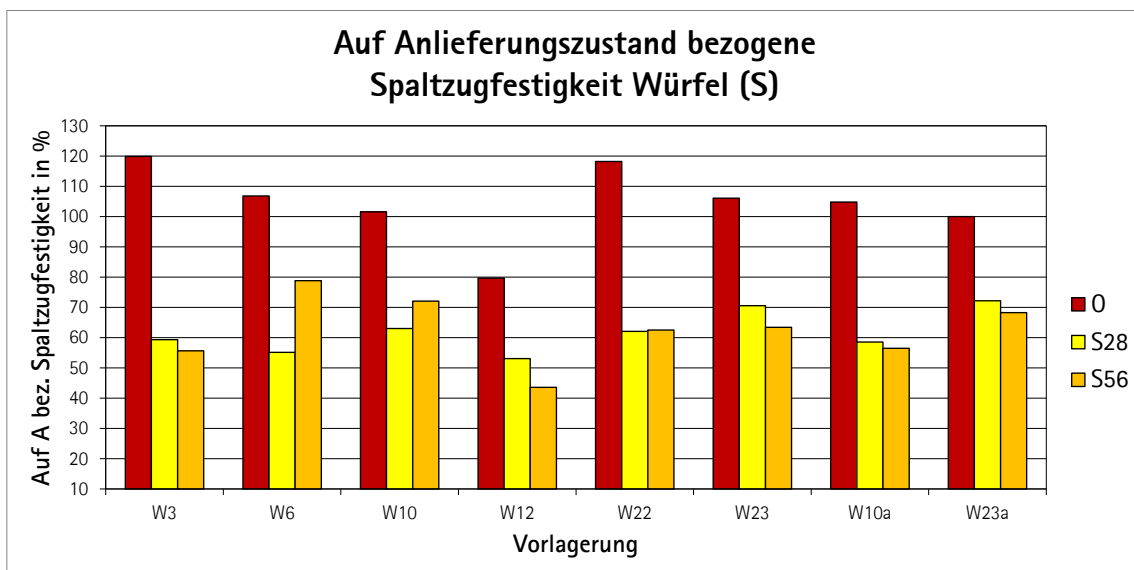


Abbildung 40: Veränderung der Spaltzugfestigkeit, am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S), bezogen auf den Auslieferungszustand (A)

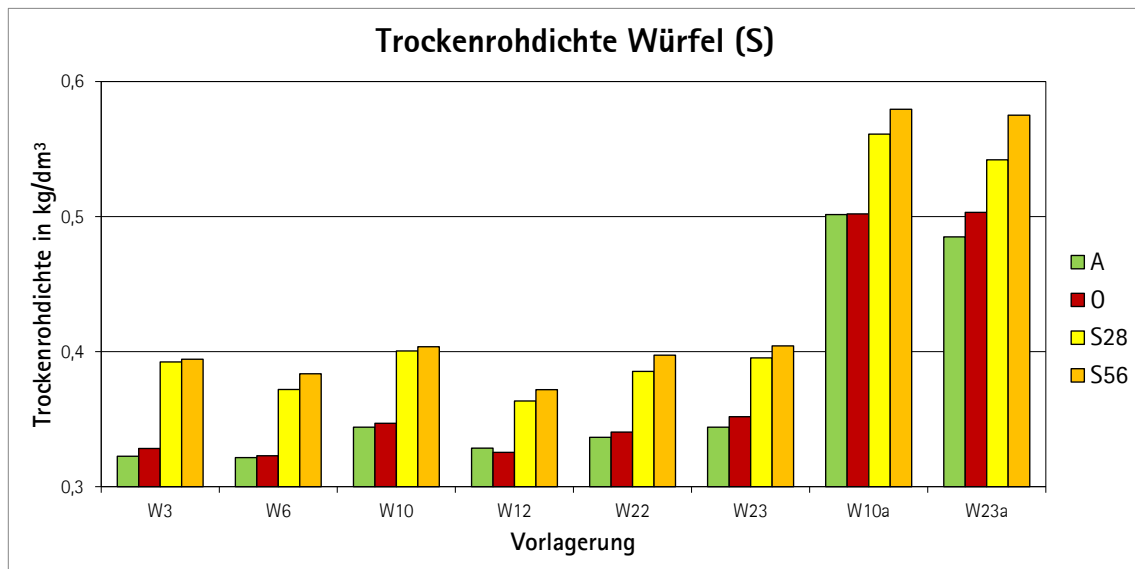


Abbildung 41: Veränderung der Trockenrohichte (rechts), am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S)

Die Prüfwerte der Spaltzugfestigkeit unterlagen bei Lagerung in 1 % CO₂-Atmosphäre einer noch deutlicheren Reduzierung als die der Druckfestigkeit (vgl. Abbildung 38 bis Abbildung 40). Auffallend ist hierbei im Vergleich zu den zuvor vorgestellten Ergebnissen zur Druckfestigkeit, dass die Ergebnisse der Proben aus Werk 3 im Bereich der Ergebnisse der übrigen Werke liegen.

Die Ergebnisse nach Außenlagerung bestätigen überwiegend die zuvor vorgestellten Ergebnisse (vgl. Abbildung 42 bis Abbildung 44). Die Werte der Spaltzugfestigkeit wiesen bei der Hälfte der Werke eine Steigerung im Verlauf der Außenlagerung auf. Bei den Proben der Werke 6, 22 und 23 war nach einer Zunahme nach 12 Monaten eine eher abnehmende Tendenz der Spaltzugfestigkeit über die Zeit festzustellen. Der Wert, der auf den Anlieferungszustand bezogenen Spaltzugfestigkeit, von Werk 3 pendelt im Laufe der Außenlagerungszeit um etwa 70 %, bezogen auf den der Ofentrocknung um etwa 60 %.

Aufgrund der im Vergleich zu den übrigen Messwerten hohen Messwerte im Anlieferungszustand (Werk 12) beziehungsweise nach Ofentrocknung (Werk 22), wiesen die Proben des Werks 12 etwa 95 % der auf den Anlieferungszustand bezogenen Spaltzugfestigkeit auf. Bei den Proben aus Werk 22 lagen die Werte bezogen auf die der Ofentrocknung überwiegend bei etwa 90 %.

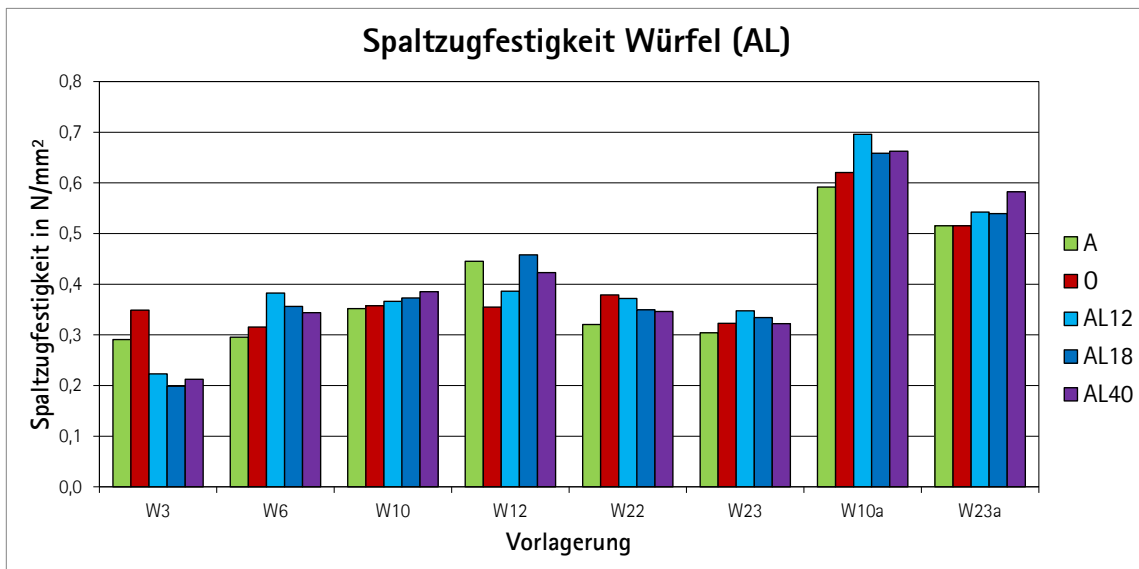


Abbildung 42: Veränderung der Spaltzugfestigkeit, am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

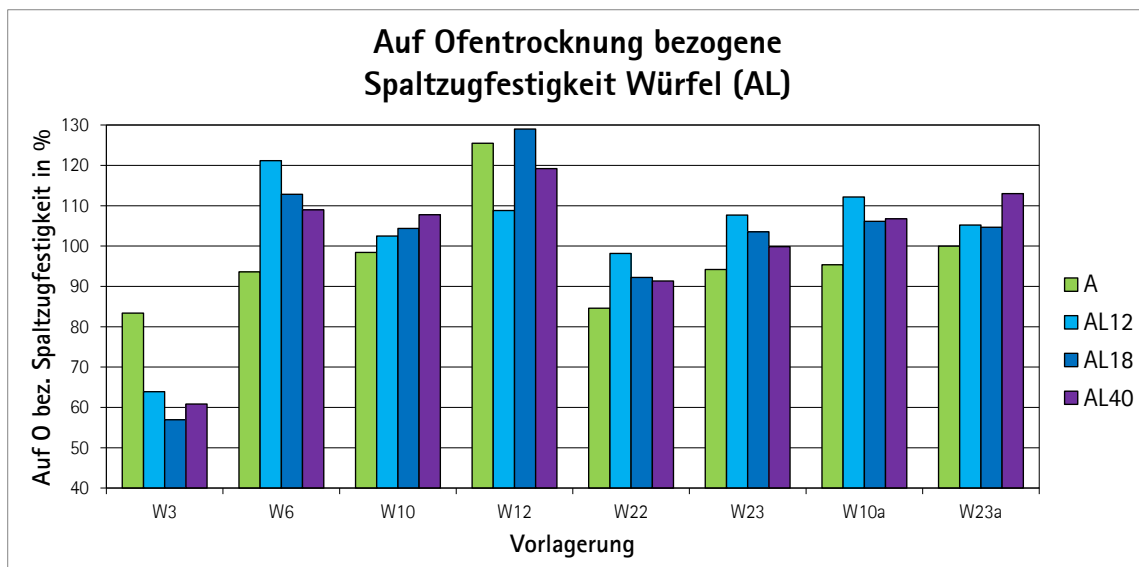


Abbildung 43: Veränderung der Spaltzugfestigkeit, am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL), bezogen auf die Werte aus Vorlagerung Ofentrocknung

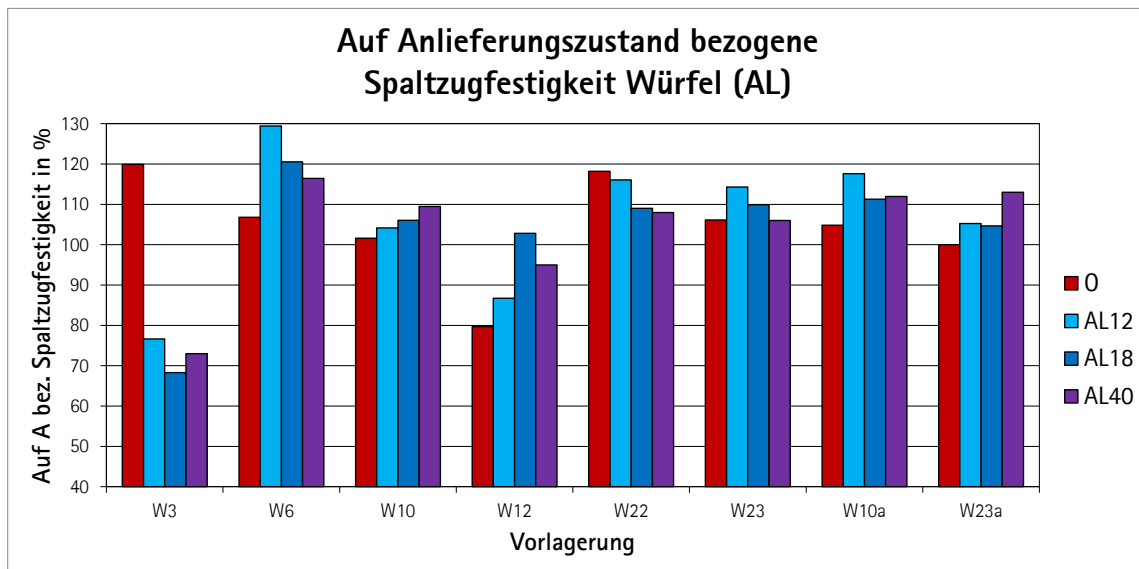


Abbildung 44: Veränderung der Spaltzugfestigkeit, am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL), bezogen auf den Auslieferungszustand

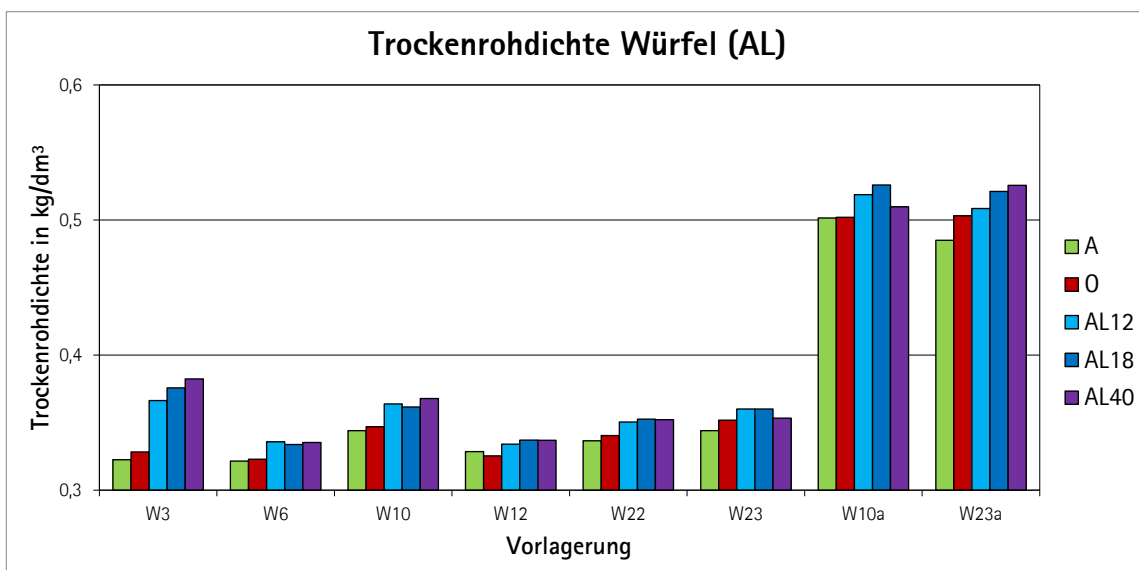


Abbildung 45: Veränderung der Trockenrohdichte (rechts), am Würfel gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

4.4.6 Resümee der mechanischen Untersuchungen

Es wurden Untersuchungen zur Druckfestigkeit an Prismen mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 250 mm, an Würfeln mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 100 mm und an ganzen Steinen durchgeführt. Ebenfalls wurde die Spaltzugfestigkeit an Würfeln mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 100 mm bestimmt. Die Proben waren vor der Prüfung den folgenden Vorlagerungsbedingungen ausgesetzt:

- A – Anlieferungsfeuchte,
- O – Ofentrocknung,
- S28 – 28 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂,
- S56 – 56 Tage Schnellcarbonatisierung bei 1 %-CO₂,
- AL12/AL18/AL40 – 12-/18-/40-monatige Außenlagerung und
- AL18+9 – 18-monatige Außenlagerung, anschließend 9 Monate freie Bewitterung.

Darüber hinaus wurden im Anlieferungszustand Untersuchungen zum Schwindverhalten durchgeführt.

Bei den Untersuchungen zum Schwindverhalten konnten die im Vorgängerprojekt (FP 14/14E [6]) beschriebenen drei Typen des Schwindverhaltens (vgl. Abbildung 2) beobachtet werden. Auffällig stellten sich bei diesen Untersuchungen die Proben aus Werk 3 dar, deren Schwindverformung sich während der Versuchsdauer nicht asymptotisch einem Grenzwert annäherte und deutlich höhere Schwinddehnungen (0,7 ‰) im Vergleich zu den übrigen Proben (0,3-0,35 ‰) aufwies.

Die Untersuchungen zur Entwicklung der Druckfestigkeit und Spaltzugfestigkeit teilten sich in zwei Bereiche auf. Ein Teil der Proben wurde Umgebungsbedingungen mit im Vergleich zur normalen Raumluft erhöhtem Kohlendioxidgehalt ausgesetzt (Schnellcarbonatisierung). Die Prüfungen wurden nach 28 Tagen, beziehungsweise nach 56 Tagen Lagerung durchgeführt. Bei allen Proben war eine Reduktion der Festigkeit bei gleichzeitiger Zunahme der Trockenrohddichte zu beobachten.

Der überwiegende Teil der Proben wurde in einem zweiseitig überdachten Lager den natürlichen Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Die Prüfungen wurden nach 12, 18 und 40 Monaten durchgeführt. Ein kleiner Teil der Proben wurde exemplarisch nach 18 Monaten für weitere 9 Monate der freien Bewitterung ausgesetzt. Dabei war nur die Oberfläche der Proben gegen direkten Regenschlag und Wasseransammlungen geschützt.

Die Ergebnisse der Versuche nach Außenlagerung konnten die Ergebnisse der Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre nicht bestätigen. Hier war bis auf eine Ausnahme keine signifikante Reduzierung der Druckfestigkeit zu beobachten. Vielfach konnte sogar eine geringe Steigerung der Festigkeit gemessen werden.

Die einzige Ausnahme bildeten auch hier die Proben aus Werk 3. Diese zeigten in allen Prüfungen eine deutliche Reduzierung der Druckfestigkeit. Bei den Untersuchungen an ganzen Steinen reduzierte sich die Druckfestigkeit bis auf die Hälfte der Druckfestigkeit im Anlieferungszustand.

Bei den Untersuchungen zur Entwicklung der Spaltzugfestigkeit zeigte sich ein anderes Bild. Bei der Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre bildeten die Versuchsergebnisse ein nahezu einheitliches Feld. Nach mehrmonatiger Außenlagerung stellte sich allerdings wieder ein ähnliches Verhalten wie bei den Versuchen zur Druckfestigkeit ein. Die Messwerte der Proben aus Werk 3 zeigten eine deutliche Reduktion der Spaltzugfestigkeit. Bei den auf den Anlieferungszustand, beziehungsweise auf die Werte nach Ofentrocknung bezogenen Ergebnissen, wiesen die Proben der Werke 12 und 22 ebenfalls eine leichte Reduktion der Spaltzugfestigkeit auf.

4.4.7 Carbonatisierungsgrad aus TG-Analysen

Die Entwicklung der Trockenrohddichte deutet schon darauf hin, dass es im Laufe der Außenlagerung zur Carbonatisierung der Proben kam. Um die Carbonatisierung quantifizieren zu können, wurden Untersuchungen zum einen an Prismen und zum anderen an ganzen Steinen durchgeführt. Die Auswertung erfolgte nach MATSUSHITA et al. [8], wie in Kapitel 3 und 4.3.2 dargestellt.

4.4.7.1 Untersuchungen an Prismen

Begleitend zu den mechanischen Prüfungen wurden die Untersuchungen zum Carbonatisierungsgrad an Prismen durchgeführt. Zu den jeweiligen Zeitpunkten wurde sowohl an der Stirnseite als auch in der Mitte der Prismen eine Probe mit der Bandsäge entnommen und mithilfe der Thermogravimetrie untersucht. Die Einzelergebnisse der Untersuchungen sind nach Werken sortiert im Anhang aufgeführt. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse ist in den nachfolgenden Abbildungen (vgl. Abbildung 46 und Abbildung 47) aufgeführt.

Bei der Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre war nach 28 Tagen ein deutlicher Unterschied zwischen dem Rand- und dem Innenbereich der Proben zu erkennen. Nur die Probe aus Werk 3 wies im Rand- und Innenbereich nahezu den gleichen Carbonatisierungsgrad auf.

Nach 56 Tagen Lagerungsdauer war bei den meisten Proben immer noch ein Unterschied zwischen dem Rand- und dem Kernbereich zu erkennen. Bei den Proben aus den Werken 3, 6 und 10 hatte sich der Carbonatisierungsgrad im Innen- und Randbereich nahezu angenähert. Die Proben aus Werk 12 und der Innenbereich der Probe aus Werk 23a wiesen die geringsten Carbonatisierungsgrade auf.

Die Ergebnisse der Versuche nach Außenlagerung zeigten eine deutliche Zweiteilung beim Carbonatisierungsgrad. Die Proben der Werke 3 wiesen mit Abstand die höchsten Carbonatisierungsgrade auf. Dieser lag zwischen ca. 50 % beziehungsweise 75 %. Der Carbonatisierungsgrad der übrigen Werke lag zwischen 10 % und 35 %. Außerdem war der Unterschied zwischen Rand- und Kernbereich der Proben im Vergleich zu den Ergebnissen der Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre deutlich geringer.

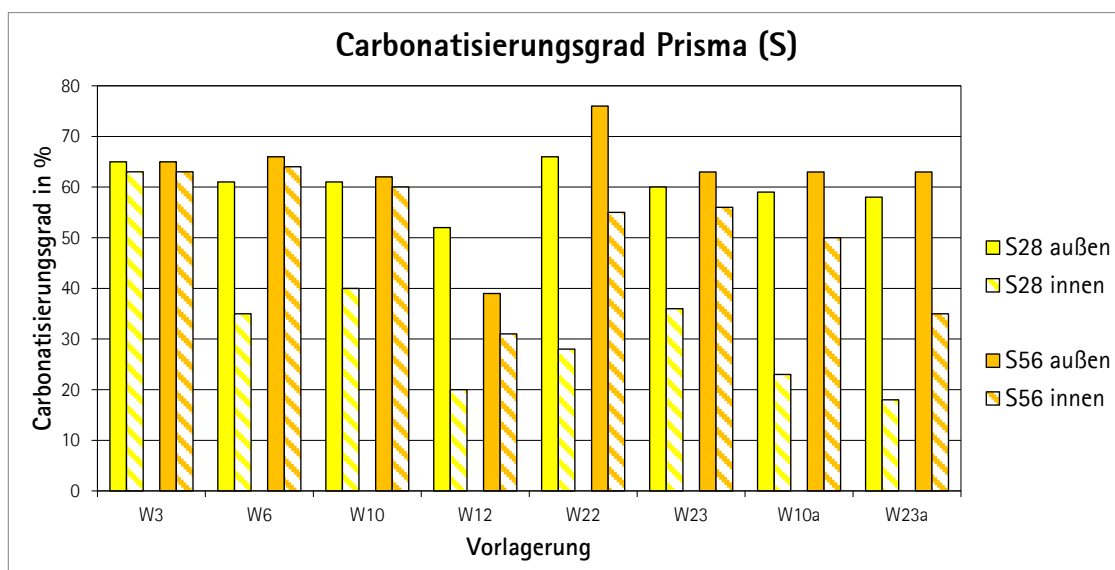


Abbildung 46: Entwicklung der Carbonatisierung, am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Schnellcarbonatisierung (S)

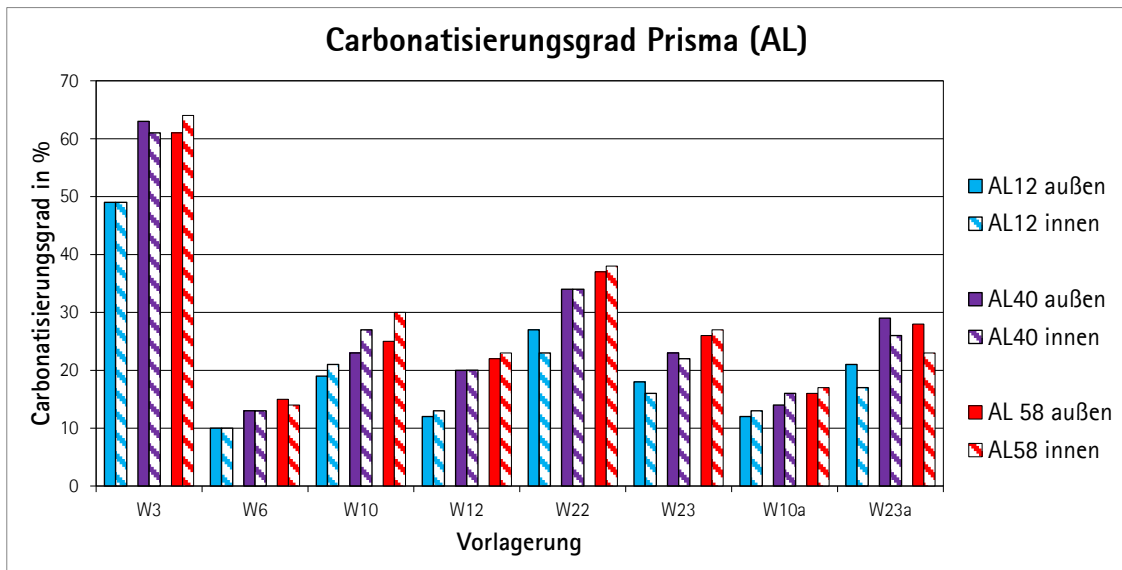


Abbildung 47: Entwicklung der Carbonatisierung, am Prisma gemessen, in Abhängigkeit der Vorlagerungsbedingung Außenlagerung (AL)

4.4.7.2 Untersuchung am Stein

Um den Carbonatisierungsgrad realitätsnah im Versuch abbilden zu können, wurden ganze Steine entlang der Lager- und Stoßfugen mit Aluminiumfolie versiegelt (vgl. Abbildung 14). Somit war der Zutritt von Kohlendioxid während der Außenlagerung nur über die zwei verbleibenden freien Seiten möglich, so wie es in einer aufgemauerten Wand auch der Fall wäre. Die Ergebnisse nach 12 beziehungsweise 40 Monaten zeigen ebenfalls eine deutliche Carbonatisierung der Steine (vgl. Abbildung 48). Der Verlauf ist erwartungsgemäß von außen (Position 1) nach innen (Position 5) abnehmend. Die Proben wurden in der Mitte der freien Fläche entlang einer Achse von der Oberfläche bis zur Mitte des Steins entnommen.

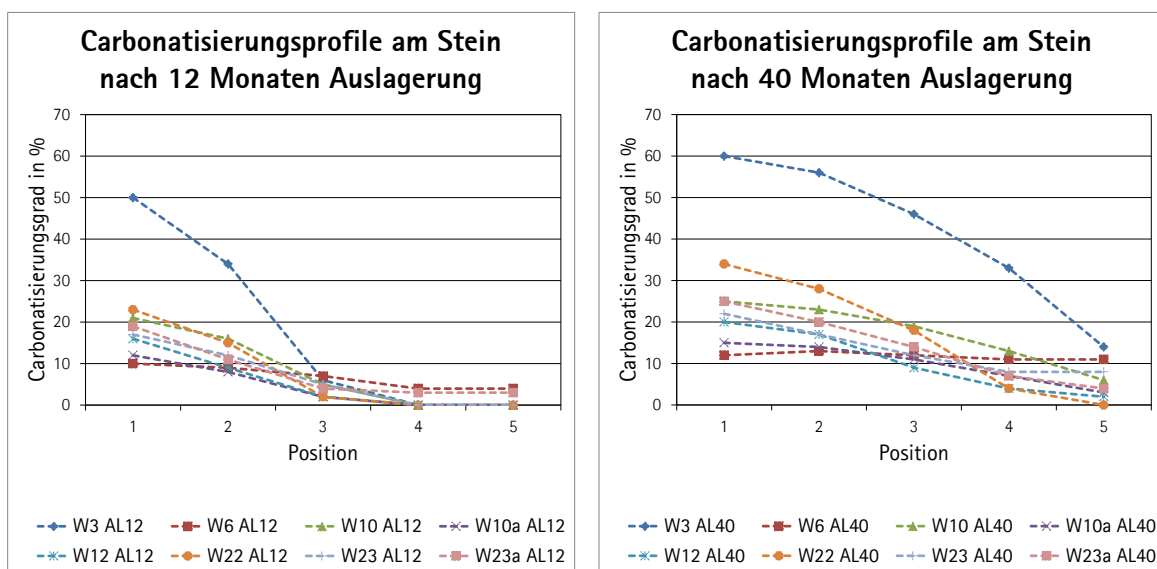


Abbildung 48: Entwicklung der Carbonatisierung, gemessen am ganzen Stein, Position 1 (Oberfläche) bis Position 5 (Steinmitte)

Es ist zu erkennen, dass die Carbonatisierung im Laufe der Zeit zunimmt, vergleiche Abbildung 48, links (12 Monaten) und Abbildung 48, rechts (40 Monaten). Die Maximalwerte des Carbonatisierungsgrads nach 40 Monaten an der Außenseite der Steine (Position 1) sind überwiegend vergleichbar mit den an den Prismen gemessenen Werten. Die am Stein gemessenen Werte zeigen auch, dass nach 40 Monaten bei den meisten Werken im Inneren der Steine nur eine geringe Carbonatisierung stattgefunden hat.

4.4.8 Vergleich der Ergebnisse aus der TG-Analyse

Die Ergebnisse der TG-Analyse werden üblicherweise als Masseverlust über die Temperatur beziehungsweise die erste Ableitung des Masseverlustes über die Temperatur dargestellt. In der zweiten Darstellungsweise lassen sich sehr gut die Temperaturbereiche erkennen in denen es zur Zersetzung der Probe kommt.

Bei Vergleich dieser Auswertung der TG-Analyse zeigt sich, dass sich die Kurvenverläufe im Laufe der Außenlagerung denen der Lagerung unter erhöhter CO₂-Atmosphäre annähern. Dieses Verhalten ist bei den einzelnen Werken unterschiedlich stark ausgeprägt, aber überall zu beobachten. Exemplarisch sind nachfolgend die Profile eines Werks dargestellt (vgl. Abbildung 49 bis Abbildung 54). Die Verläufe der übrigen Werke gleichen sich qualitativ. In den Diagrammen ist die erste Ableitung des Masseverlustes über die Temperatur in 1/°C dargestellt. Interessant sind jeweils zwei Bereiche. Der erste beginnt ab 100 °C und endet bei etwa 300 °C. In diesem Temperaturbereich wird das in der Probe gebundene Wasser ausgetrieben. Der zweite Bereich von Interesse umfasst die Temperaturspanne von etwa 600 bis 800 °C. Hier wird das Kohlendioxid ausgetrieben (vgl. Kapitel 3).

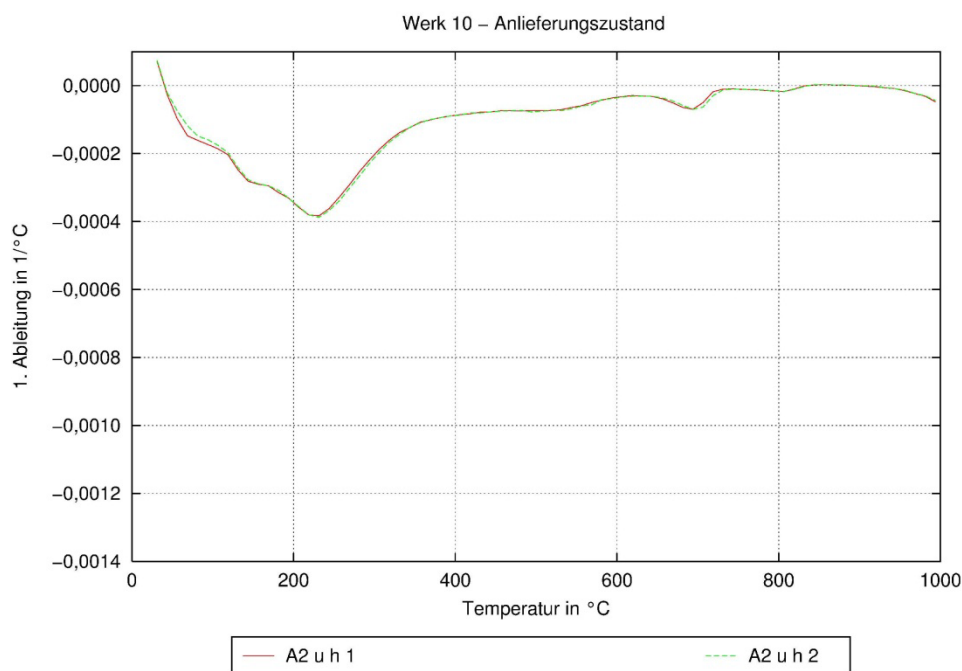


Abbildung 49: TG-Analyse, 1. Ableitung des Massenverlustes über die Temperatur, im Anlieferungszustand (A)

Im Anlieferungszustand zeigten sich deutlich der noch hohe Feuchtegehalt der Probe und der geringe CO₂-Gehalt.

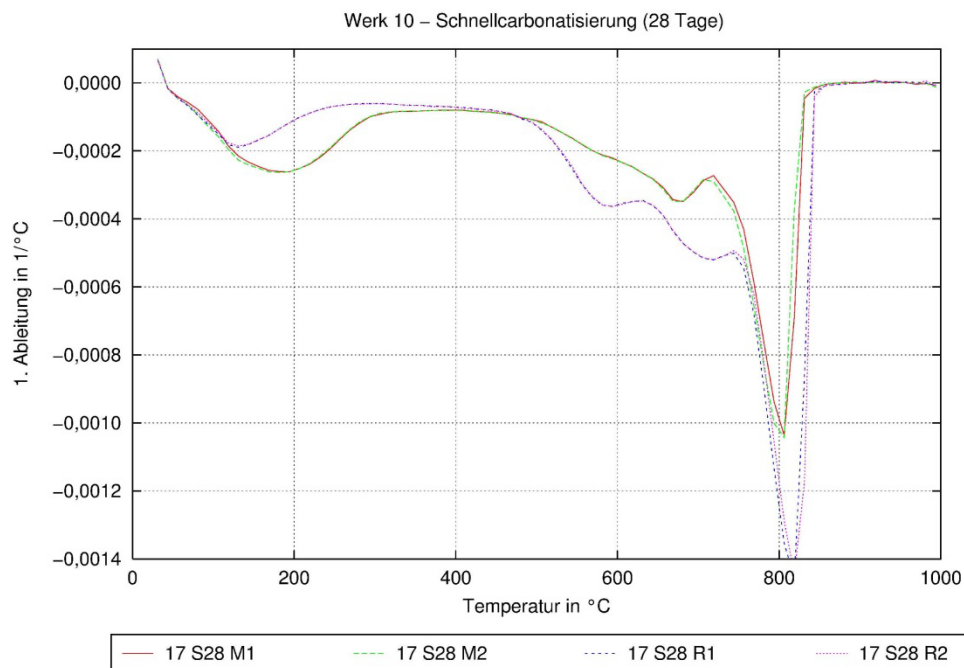


Abbildung 50: TG-Analyse, 1. Ableitung des Massenverlustes über die Temperatur, nach 28 Tagen Vorlagerung in 1 %iger CO₂-Atmosphäre (S28)

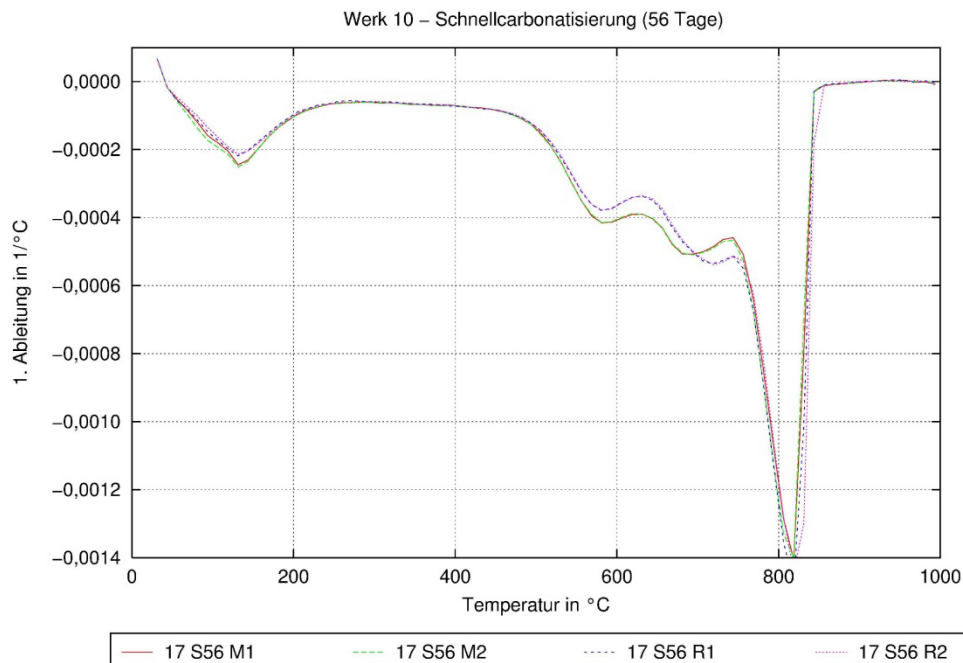


Abbildung 51: TG-Analyse, 1. Ableitung des Massenverlustes über die Temperatur, nach 56 Tagen Vorlagerung in 1 %iger CO₂-Atmosphäre (S56)

Nach 28 beziehungsweise 56 Tagen Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre war eine deutliche Abnahme des Feuchtegehalts und eine Zunahme an aufgenommenem CO₂ zu erkennen (vgl. Abbildung 50 und Abbildung 51). Die sich einstellenden Sättel im zweiten Temperaturbereich lassen auf unterschiedliche Formen von CaCO₃ schließen, da die verschiedenen Formen das CO₂ unterschiedlich stark binden und dadurch bei unterschiedlichen Temperaturen wieder abgeben.

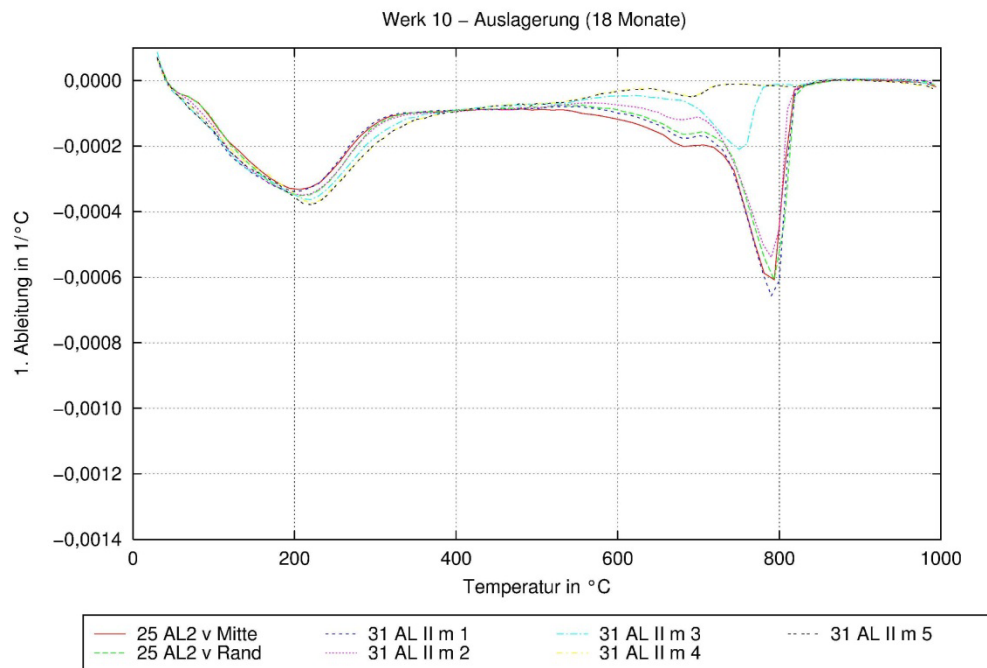


Abbildung 52: TG-Analyse, 1. Ableitung des Massenverlustes über die Temperatur, nach 18-monatiger Außenlagerung (AL18)

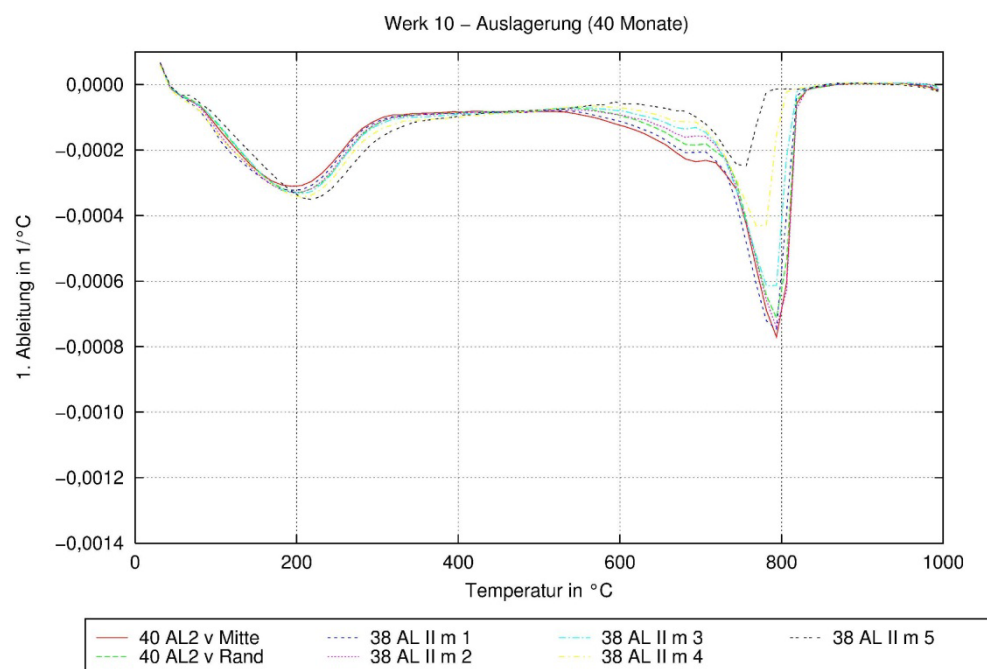


Abbildung 53: TG-Analyse, 1. Ableitung des Massenverlustes über die Temperatur, nach 40-monatiger Außenlagerung (AL40)

Nach der Außenlagerung über 18 beziehungsweise 40 Monate war tendenziell eine ähnliche Entwicklung wie bei der Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre zu beobachten (vgl. Abbildung 52 und Abbildung 53). Speziell bei den Proben aus den Randbereichen bilden sich die ersten Sättel im zweiten Temperaturbereich aus. Dieses Verhalten wird im direkten Vergleich aller Messwerte deutlich (vgl. Abbildung 54).

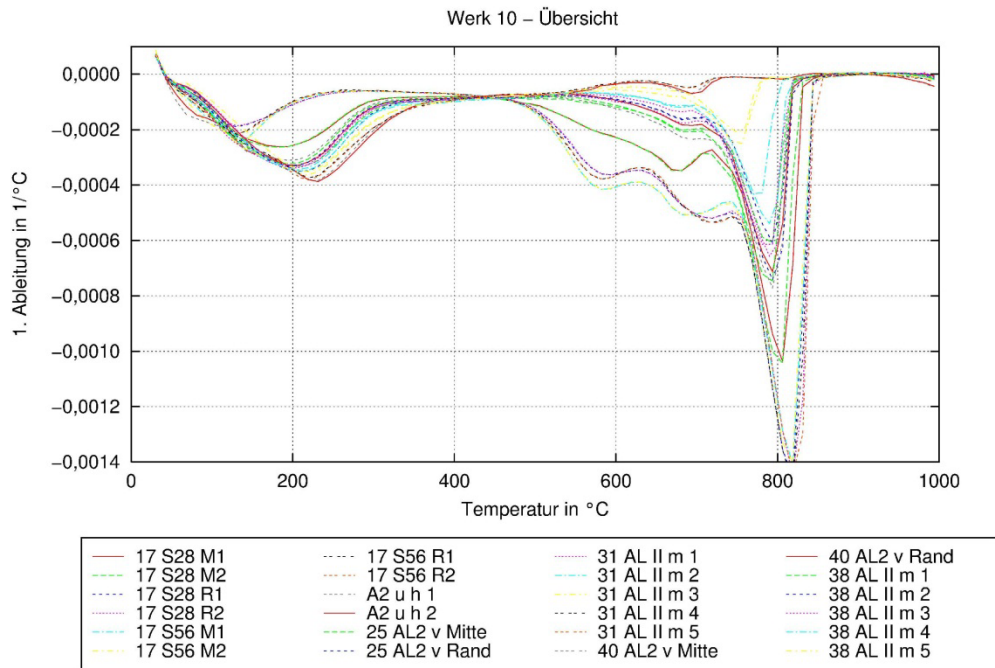


Abbildung 54: TG-Analyse, 1. Ableitung des Massenverlustes über die Temperatur, Übersicht über alle Messwerte

Tendenziell ließ sich somit eine Veränderung der Kristallphasen vom Anlieferungszustand über die Ergebnisse nach Außenlagerung hin zu den Werten aus der Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre beobachten.

4.4.9 XRD-Untersuchungen mit Rietveld-Analysen

Zur genaueren Bestimmung der Kristallphasenzusammensetzung wurden an Porenbetonproben aus allen untersuchten Werken im Anlieferungszustand und nach 58 Monaten XRD-Untersuchungen mit Rietveld-Analysen durchgeführt. Zusätzlich wurden nach unterschiedlichen Vorlagerungen exemplarische Untersuchungen durchgeführt. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der Ergebnisse im Auslieferungszustand und nach 58 Monaten Außenlagerung unter realitätsnahen Bedingungen im Außenlager.

Tabelle 3: Phasenzusammensetzung (in %) der Proben im Anlieferungszustand (A) und nach 58 Monaten Außenlagerung (AL58)

Werk	Quarz		11 Å Tob.		Calcit		Aragonit		Vaterit	
	A	AL58	A	AL58	A	AL58	A	AL58	A	AL58
W3 5 A3 u h	26	32	51	0	15	53	3	0	5	15
W6 5 A2 u h	21	26	68	60	3	12	4	0	4	1
W10 5 A2 u h	11	26	79	48	4	22	3	0	3	5
W10a 5 A2 u h	16	25	75	68	1	3	4	0	5	3
W12 5 A2 u h	22	24	66	51	3	22	4	0	6	3
W22 5 A2 u h	40	32	50	43	4	20	4	0	2	4
W23 5 A2 u h	21	30	64	39	8	31	3	0	4	0
W23a 5 A2 u h	27	29	61	38	5	32	4	0	3	0

Von besonderem Interesse der XRD-Untersuchung sind die ermittelten Anteile der CSH-Phase 11 Å Tobermorit und die Calcit-Anteile der Proben der jeweiligen Werke. Die Anteile dieser beiden Mineralphasen zeigen den Grad einer möglichen Carbonatisierung der Proben an.

Es zeigt sich, dass der Gehalt an 11 Å Tobermorit der Proben im Anlieferungszustand bei den untersuchten Werken zwischen rund 50 % und 80 % variiert. Die Probe des Werks 22 hat hierbei den niedrigsten Wert von 50 % und die des Werks 10a den höchsten Wert mit 79 %. Beide Proben weisen dabei einen Calcit-Anteil von 4 % auf.

Im Vergleich dazu weist die Probe des Werks 3 einen Tobermorit-Anteil von 51 % und mit einem Calcit-Anteil von 15 % den höchsten Calcit-Wert aller untersuchten Proben auf. In dieser Probe liegt somit eine beginnende Carbonatisierung bereits im Anlieferungszustand vor.

In der Probe aus Werk 23 liegt mit einem Anteil von 8 % ein ebenfalls höherer Calcit-Anteil im Vergleich zu den anderen Proben vor. Der Tobermorit-Anteil liegt jedoch bei 64 %, somit liegt nur eine geringe Carbonatisierung vor.

Die Probe des Werks 10 weist den geringsten Carbonatisierungswert im Anlieferungszustand aller Proben auf. Hier liegt der Calcit-Gehalt bei nur 1 %, gegenüber einem Tobermorit-Gehalt von 75 %.

Für die einzelnen Vorlagerungsarten S28, S56, AL18 und AL18+9 wurden exemplarisch XRD-Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse sind nach Werken sortiert im Anhang dargestellt. Die Ergebnisse nach Schnellcarbonatisierung sind in Tabelle 4 nachfolgend zusammengefasst.

Tabelle 4: Ergebnisse der XRD-Analyse nach Vorlagerung S

Werk	Quarz %	11 A Tob. %	Calcit %	Aragonit %	Vaterit %
W22 17 S28 Mitte	19	58	14	4	6
W22 17 S28 Rand	17	18	19	1	45
W22 17 S56 Rand	14	0	23	2	60
W23 17 S28 Mitte	25	40	22	3	9
W23 17 S28 Rand	31	5	48	2	14
W23 17 S56 Rand	25	0	56	3	16
W23a 17 S28 Mitte	28	52	14	2	4
W23a 17 S28 Rand	35	4	41	3	17
W23a 17 S56 Rand	34	0	44	3	19

Der Abbau des Tobermorit-Gehalts und der Anstieg des Calcit- sowie des Vaterit-Gehalts waren bei der Lagerung unter 1 %iger CO₂-Atmosphäre sehr deutlich ausgeprägt (vgl. Tabelle 4). Nach 28 Tagen war ein deutlicher Gradient zwischen dem Rand und dem Kernbereich zu beobachten. Nach 56 Tagen ließ sich in den untersuchten Proben aus dem Randbereich kein Tobermorit mehr nachweisen, dafür aber deutlich gestiegene Calcit- und Vaterit-Gehalte. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen aus dem Vorgängerprojekt (FP 14/14E [6]).

Die exemplarischen Untersuchungen nach 18 Monaten sowie nach weiteren 9 Monaten freier Bewitterung zeigen ebenfalls eine Reduktion des Tobermorit-Gehalts im Vergleich zum Anlieferungszustand. Der Calcit-Gehalt ist parallel dazu angestiegen. Damit bestätigt sich auch hier die Tendenz der Carbonatisierung, die sich durch die TG-Analysen und die Entwicklung der Trockenrohddichte

über die Vorlagerungen schon aufgezeigt hatten. Abweichend zu den Ergebnissen nach Schnellcarbonatisierung ist der Vaterit-Gehalt allerdings nicht angestiegen.

Beim Vergleich der Werte nach 58 Monaten Außenlagerung (vgl. Tabelle 3) zeigt sich deutlich, dass sich der zuvor dargestellte Trend fortsetzt. Einzig die Proben aus Werk 3 stellen auch hier eine Ausnahme dar. Bei diesen Proben ist es auch unter realen Außenbedingungen zum kompletten Abbau des Tobermorits bei gleichzeitigem Anstieg des Calcit- und Vaterit-Gehalts gekommen. Dieses Verhalten zeigten die Proben anderer untersuchter Werke, auch im Vorgängerprojekt, nur nach der Schnellcarbonatisierung.

5 Zusammenfassung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die in den Vorgängerprojekten (FP 14/14E, [6]) im Labor gewonnenen Erkenntnisse in den Kontext unter realitätsnahen Bedingungen gewonnener Ergebnisse zu stellen. Hierfür wurden Proben sowohl einer 1 %igen CO₂-Atmosphäre für 28 Tage beziehungsweise 56 Tage ausgesetzt als auch bis zu 40 Monate teilweise 58 Monate ausgelagert. An den Proben wurden die Druck- und Spaltzugfestigkeit sowie der Carbonatisierungsgrad untersucht. Zudem wurden im Anlieferungszustand Schwinduntersuchungen und zur Bestimmung der Phasenzusammensetzung XRD-Analysen durchgeführt.

Die Lagerung der Proben unter 1 %igen CO₂-Atmosphäre führte bei allen Werken zu einer Reduzierung der Druck- und Spaltzugfestigkeit. In den Untersuchungen konnte eine deutliche Carbonatisierung der Proben nachgewiesen werden. Die Proben wiesen einen reduzierten Tobermorit- und einer erhöhten Calcit- sowie Vaterit-Gehalt auf.

Der wesentliche Teil der Untersuchungen dieses Forschungsprojekts lag auf der Untersuchung der unter realitätsnahen Bedingungen ausgelagerten Proben. Hierfür wurden Prismen, Würfel und ganze Steine für bis zu 40 Monate in einem zweiseitig offenen, überdachten Außenlager ausgelagert. Exemplarisch wurden einige Proben nach 18 Monaten für weitere 9 Monate der freien Bewitterung ausgesetzt. Nach der jeweiligen Vorlagerungsdauer wurden die Druck- und Spaltzugfestigkeit an kleinformatigen Proben und die Druckfestigkeit an ganzen Steinen ermittelt. Hier zeigte sich bis auf eine Ausnahme (Werk 3) keine deutliche Abnahme der Festigkeiten. Vielmehr war zum Teil eine leichte Erhöhung der Werte über die Zeit zu beobachten. Die untersuchten Steine aus Werk 3 wiesen jedoch nach 18-monatiger Außenlagerung eine Halbierung der Druckfestigkeit auf.

Die Untersuchungen zum Carbonatisierungsgrad zeigten eine Carbonatisierung sowohl der kleinformatigen Proben als auch der ganzen Steine. Bei den ganzen Steinen konnte ein Gradient von außen nach innen festgestellt werden. Die Proben aus Werk 3 wiesen nach der Außenlagerung einen kompletten Abbau des Tobermorits bei gestiegenem Vaterit-Gehalt auf. Der Carbonatisierungsgrad stellte sich ähnlich hoch wie bei der Schnellcarbonatisierung ein.

In den Ergebnissen der Schwinduntersuchungen ließen sich die drei im Vorgängerprojekt identifizierten Typen der Schwinddehnungsentwicklung (vgl. Abbildung 2) identifizieren. Mit Ausnahme der Proben des Werks 3 näherten sich die gemessenen Werte der Schwinddehnung asymptotisch einem Grenzwert an. Einige von ihnen durchliefen dabei ein Zwischenmaximum (vgl. Typ 2, Abbildung 2).

5.1 Fazit

Aufgrund der Ergebnisse dieses Forschungsprojekts und seiner Vorgängerprojekte [4, 5] kann das Risiko für carbonatisierungsbedingte Druckfestigkeitsverluste für die untersuchten Steine aus Werk 3 unter allen untersuchten Lagerungsbedingungen als gegeben angenommen werden. Ansonsten wird es als eher gering eingeschätzt. Ein Restrisiko kann jedoch insbesondere bei niedrigen Rohdichteklassen nicht völlig ausgeschlossen werden. Solche Risiken können insbesondere dann gegeben sein, wenn erhöhte CO₂-Belastungen auftreten (z. B. Sektkeltereien, Tiefgaragen u. dgl.) und gegebenenfalls noch weitere Faktoren wie beispielsweise Feuchte oder Dauerbelastung relevant werden können.

Die Schnellcarbonatisierung stellt unter den eingesetzten Randbedingungen keinen sinnvollen Zeitrafferversuch dar. Für eine zielführende Anwendung erhöhter CO₂-Belastungen wären zunächst umfangreiche Anpassungen der Prüfbedingungen (CO₂-Gehalt, Luftfeuchte, Temperatur und Versuchsdauer) erforderlich.

Die XRD-Analysen ergeben gute, relativ untereinander vergleichbare Werte. Vergleiche über unterschiedliche Versuchs- beziehungsweise Prüfstellen hinweg sind derzeit allerdings nur nach vorangegangenen Abgleichversuchen zu empfehlen.

5.2 Empfehlung

Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse erscheinen die Schwinduntersuchungen am ehesten geeignet zu sein, als ein erstes Indiz ein potentielles Carbonatisierungsrisiko anzuzeigen. Sie sind mit vertretbarem Aufwand durch bekannte Versuche analog zu DIN EN 680 [1] zu realisieren. Hier wäre abweichend zu DIN EN 680 [1] die Festlegung eines zulässigen Grenzwerts für die maximale Schwinddehnung im Anlieferungszustand (beispielsweise 0,4 ‰ nach 28 Tagen) denkbar. In die Bewertung sollte zusätzlich der Verlauf der Schwindverformungsentwicklung eingehen (asymptotische Annäherung an einen Grenzwert).

In den Vorgängerprojekten zeigte sich, dass es gerade bei Steinen mit geringer Rohdichteklasse zu Problemen im Dauerstandverhalten kommen konnte, so dass solche Prüfungen zumindest im Zweifelsfall als angeraten erscheinen.

Die vorliegenden Versuche zeigen aber auch, dass es bei einer erhöhten CO₂-Konzentration in der Umgebungsluft bei den Steinen aller Werke zu einer Reduktion der Festigkeiten kam. Daher muss dem Einsatz von Steinen aus Porenbeton in Bauwerken, beziehungsweise Bauteilen, die aufgrund der Nutzung einer erhöhten CO₂-Konzentration ausgesetzt sind, besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Gegebenenfalls sollten hierfür Schutzbeschichtungen festgelegt oder Versuche unter den jeweils zu erwartenden Feuchte- und CO₂-Bedingungen durchgeführt werden, um ein Risiko ausschließen zu können.

6 Quellen

- [1] DIN EN 680 Bestimmung des Schwindens von dampfgehärtetem Porenbeton 3-2005
- [2] DIN EN 771-4 Festlegungen für Mauersteine – Teil 4: Porenbetonsteine 8-2000
- [3] DIN 4165 Porenbeton-Blocksteine und Porenbeton-Plansteine 11-1996
- [4] E DIN 4165 Porenbetonsteine – Plansteine, Planelemente und Formsteine, Entwurf 03-2001
- [5] RILEM AAC5.1 Determination of drying shrinkage of AAC, 1992. In: RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials, 1994

- [6] Lohaus, L. ; Brummermann, K. ; López, F. ; Trautmann, J.: Auswirkungen der Carbonatisierung auf Druckfestigkeit und Verformungen von Porenbeton-Plansteinen, Abschlussberichts zu den Forschungsvorhaben ZP 52-5-15.61-1113/04 und Forschungsvorhaben ZP 52-5-15.61.1-1150/05 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik, Institut für Baustoffe, Leibniz Universität Hannover, 2008
- [7] Lohaus, L. ; Brummermann, K.: Dauerstandverhalten von Mauerwerk aus Porenbeton-Plansteinen mit Rohdichten $< 0,4 \text{ kg/dm}^3$, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben P 32-5-15.46-1023/02 im Auftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik, Institut für Baustoffe, Leibniz Universität Hannover, 2006

- [8] Matsushita, F. ; Aono, Y. ; Shibata, S.: Carbonation degree of autoclaved aerated concrete. In: Cement and Concrete Research (2000) 30, S. 1741-1745
- [9] Schubert, P. ; Schmidt, S.: Zum Einfluß des Feuchtegehaltes von Mauersteinen auf deren Druckfestigkeit, Mauerwerk-Kalender 1990, S. 499-505
- [10] Schubert, P.: Eigenschaftswerte von Mauerwerk, Mauersteinen und Mauermörtel, Mauerwerk-Kalender 2005, S. 127-148

Weitere Literatur siehe [6].

7 Verzeichnis der Anlagen

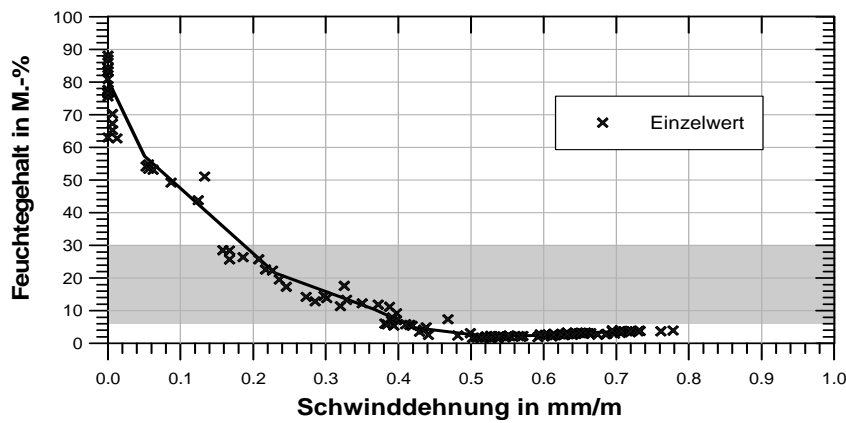
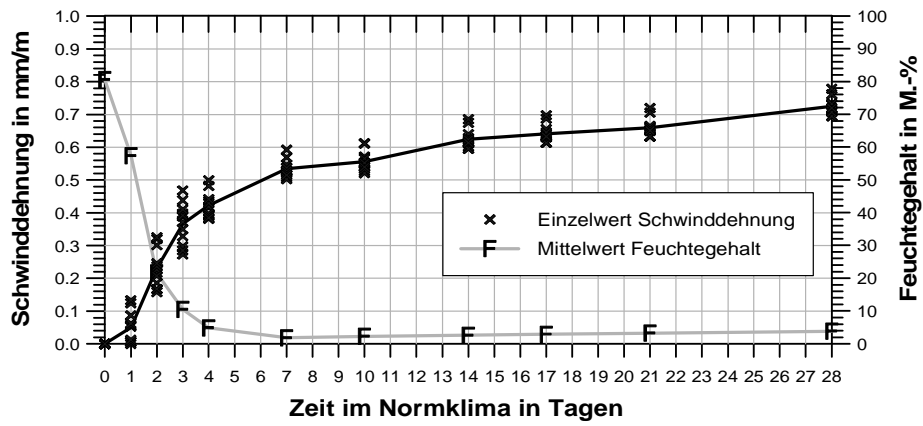
In den Anlagen sind die Einzelergebnisse nach Werken sortiert aufgeführt. Eine Übersicht über alle Anlagen und deren Nummerierung ist in der nachfolgenden Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Anlagenverzeichnis

Untersuchung	Anlage									
	Werk 3	Werk 6	Werk 10	Werk 10a	Werk 12	Werk 22	Werk 23	Werk23a		
Schwindmessungen an Prismen	W3.1.1-	W6.1.1-	W10.1.1-	W10a.1.1-	W12.1.1-	W22.1.1-	W23.1.1-	W23a.1.1-		
	W3.1.2	W6.1.2	W10.1.2	W10a.1.2	W12.1.2	W22.1.2	W23.1.2	W23a.1.2		
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte an Prismen gemessen	W3.2.1-	W6.2.1-	W10.2.1-	W10a.2.1-	W12.2.1-	W22.2.1-	W23.2.1-	W23a.2.1-		
	W3.2.2	W6.2.2	W10.2.2	W10a.2.2	W12.2.2	W22.2.2	W23.2.2	W23a.2.2		
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte an Steinen gemessen	W3.3.1-	W6.3.1-	W10.3.1-	W10a.3.1-	W12.3.1-	W22.3.1-	W23.3.1-	W23a.3.1-		
	W3.3.2	W6.3.2	W10.3.2	W10a.3.2	W12.3.2	W22.3.2	W23.3.2	W23a.3.2		
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte an Würfeln gemessen	W3.4.1-	W6.4.1-	W10.4.1-	W10a.4.1-	W12.4.1-	W22.4.1-	W23.4.1-	W23a.4.1-		
	W3.4.2	W6.4.2	W10.4.2	W10a.4.2	W12.4.2	W22.4.2	W23.4.2	W23a.4.2		
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte an Würfeln gemessen	W3.5.1-	W6.5.1-	W10.5.1-	W10a.5.1-	W12.5.1-	W22.5.1-	W23.5.1-	W23a.5.1-		
	W3.5.2	W6.5.2	W10.5.2	W10a.5.2	W12.5.2	W22.5.2	W23.5.2	W23a.5.2		
Carbonatisierungsgrad und CO ₂ -Aufnahme für die Carbonatisierung am Prismen gemessen	W3.6.1	W6.6.1	W10.6.1	W10a.6.1	W12.6.1	W22.6.1	W23.6.1	W23a.6.1		
Carbonatisierungsgrad und CO ₂ -Aufnahme für die Carbonatisierung Profil am Stein gemessen	W3.6.2	W6.6.2	W10.6.2	W10a.6.2	W12.6.2	W22.6.2	W23.6.2	W23a.6.2		
Phasenzusammensetzung	W3.7.1	W6.7.1	W10.7.1	W10a.7.1	W12.7.1	W22.7.1	W23.7.1	W23a.7.1		

**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W3
Schwindmessungen**

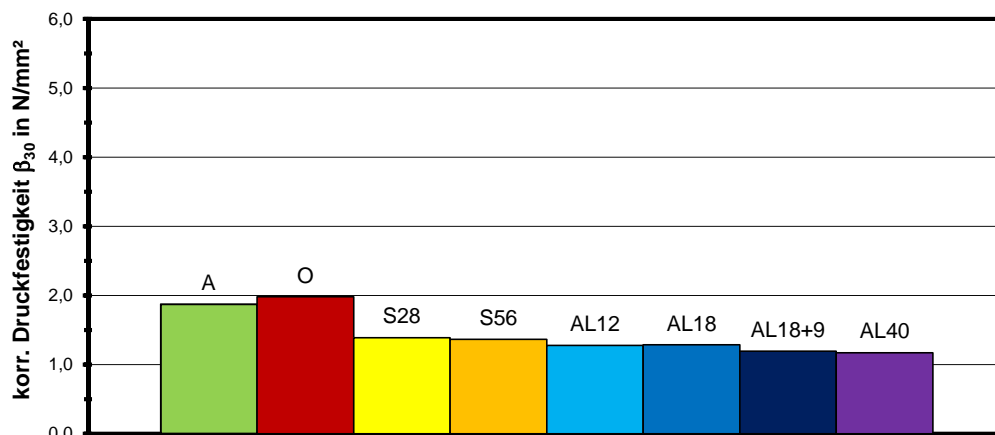
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W3 / 1 / A Mittelwert	0	84,4	0,000	0,000	0,000
	1	63,3	0,027	0,003	0,027
	2	25,4	0,202	0,020	0,201
	3	12,5	0,334	0,033	0,333
	4	5,7	0,408	0,041	0,406
	7	1,8	0,528	0,053	0,526
	10	2,3	0,547	0,055	0,545
	14	2,7	0,621	0,062	0,619
	17	3,0	0,639	0,064	0,637
	21	3,3	0,657	0,066	0,655
28	3,9	0,725	0,072	0,722	
W3 / 2 / A Mittelwert	0	76,7	0,000	0,000	0,000
	1	51,4	0,073	0,007	0,073
	2	17,8	0,258	0,026	0,257
	3	8,5	0,400	0,040	0,398
	4	4,0	0,437	0,044	0,435
	7	1,8	0,541	0,054	0,539
	10	2,3	0,565	0,057	0,563
	14	2,5	0,628	0,063	0,626
	17	2,8	0,643	0,064	0,641
	21	3,2	0,661	0,066	0,658
28	3,8	0,724	0,072	0,721	
W3 / A Mittelwert	0	80,6	0,000	0,000	0,000
	1	57,3	0,050	0,005	0,050
	2	21,6	0,230	0,023	0,229
	3	10,5	0,367	0,037	0,365
	4	4,9	0,422	0,042	0,421
	7	1,8	0,534	0,053	0,532
	10	2,3	0,556	0,056	0,554
	14	2,6	0,625	0,062	0,622
	17	2,9	0,641	0,064	0,639
	21	3,2	0,659	0,066	0,657
28	3,8	0,725	0,072	0,722	



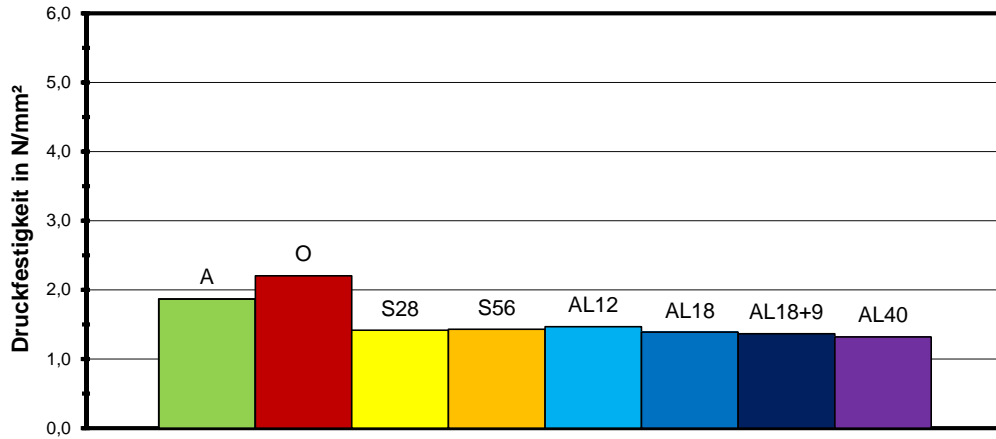
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W3
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit N/mm ²	Feuchtegehalt M.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	korr. Druckfestigkeit β_{30} N/mm ²
-	-				
W3/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	2,04	35,1	0,329	2,04
W3/3/A2/v		1,92	37,6	0,325	1,93
W3/3/A3/v		1,57	35,1	0,319	1,57
Mittelwert		1,84	35,9	0,324	1,84
W3/4/A1/v		1,94	33,8	0,324	1,94
W3/4/A2/v		2,00	35,0	0,325	2,00
W3/4/A3/v		1,77	36,3	0,322	1,77
Mittelwert		1,90	35,0	0,324	1,90
W3 / A / Mittel		1,87	35,5	0,324	1,87
W3/3/A1/h		O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,37	5,8	0,330
W3/3/A2/h	2,47		6,8	0,326	2,23
W3/3/A3/h	2,09		6,9	0,320	1,89
Mittelwert	2,31		6,5	0,326	2,08
W3/4/A1/h	2,22		5,8	0,327	1,97
W3/4/A2/h	2,01		6,6	0,326	1,81
W3/4/A3/h	2,08		6,2	0,325	1,86
Mittelwert	2,10		6,2	0,326	1,88
W3 / O / Mittel	2,21		6,4	0,326	1,98
W3/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂		1,43	22,5	0,394
W3/13/S2/v		1,45	18,1	0,390	1,41
W3/13/S3/v		1,36	19,6	0,389	1,34
W3 / S28 / Mittel		1,42	20,1	0,391	1,39
W3/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,40	12,7	0,399	1,34
W3/15/S2/v		1,41	12,8	0,398	1,34
W3/15/S3/v		1,48	12,8	0,396	1,42
W3 / S56 / Mittel		1,43	12,8	0,398	1,37
W3/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	1,54	4,8	0,375	1,34
W3/18/AL2/h		1,43	4,8	0,369	1,24
W3/18/AL3/h		1,44	4,9	0,367	1,25
W3 / AL12 / Mittel		1,47	4,9	0,370	1,28
W3/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	1,35	8,7	0,373	1,25
W3/26/AL2/h		1,40	8,2	0,369	1,29
W3/26/AL3/h		1,41	8,9	0,361	1,31
W3 / AL18 / Mittel		1,39	8,6	0,368	1,28
W3/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	1,41	5,1	0,386	1,23
W3/41/AL3/h		1,32	5,0	0,377	1,15
W3 / AL18+9 / Mittel		1,37	5,0	0,381	1,19
W3/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	1,35	5,8	0,385	1,20
W3/33/AL2/h		1,29	5,7	0,383	1,14
W3/33/AL3/h		1,33	5,7	0,381	1,18
W3 / AL40 / Mittel		1,32	5,7	0,383	1,17

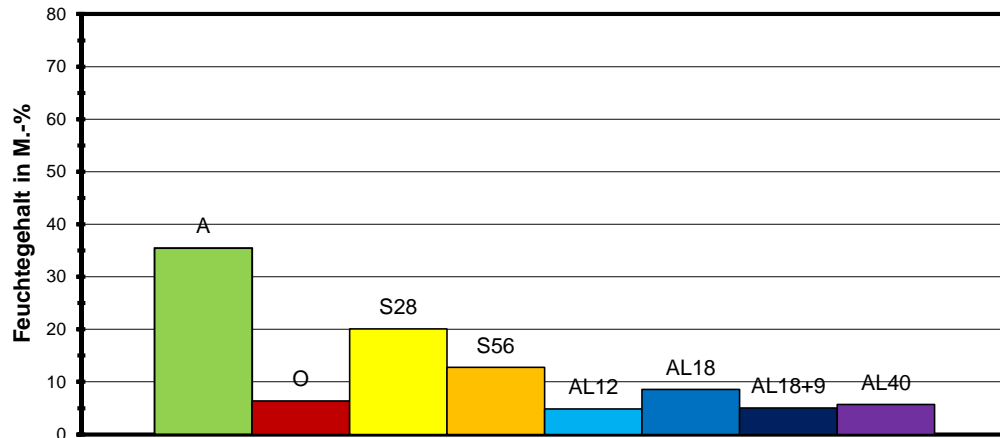
Werk W3



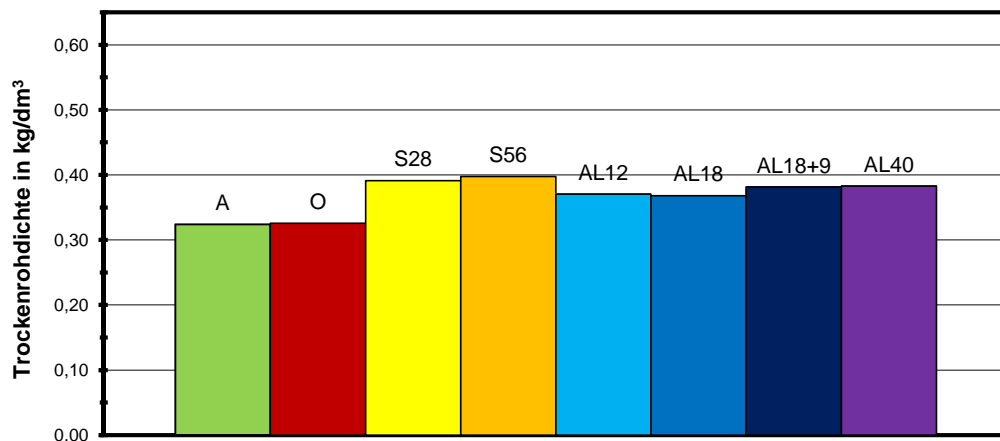
Werk W3



Werk W3



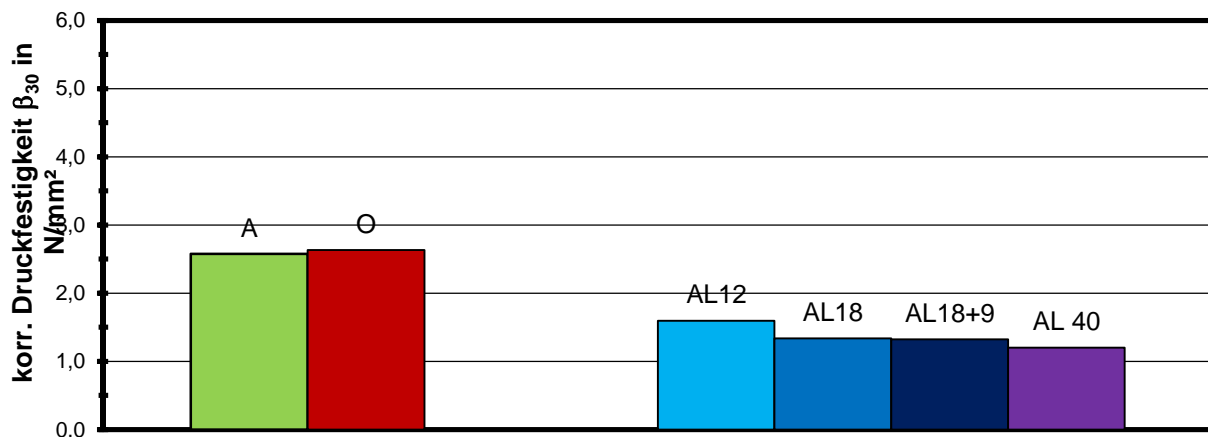
Werk W3



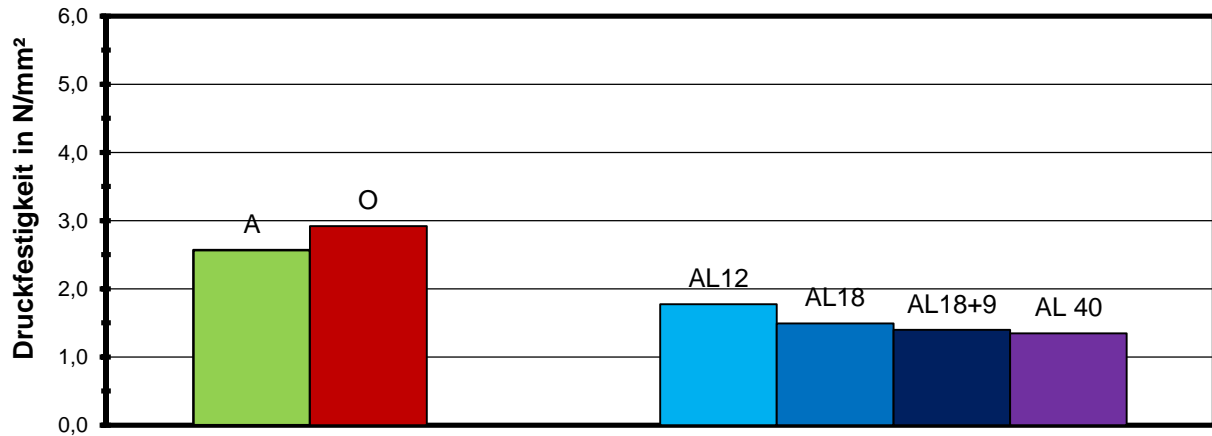
**Steine PP 2-0,35 aus Werk W3
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W3/10/A	A Anlieferungsfeuchte	2,60	36,8	0,323	2,60
W3/11/A		2,64	40,3	0,324	2,65
W3/12/A		2,46	41,0	0,322	2,48
W3 / A / Mittel		2,57	39,4	0,323	2,58
W3/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,90	6,3	0,325	2,60
W3/8/A		2,93	6,9	0,326	2,66
W3/9/A		2,92	6,8	0,327	2,64
W3 / O / Mittel		2,92	6,7	0,326	2,63
W3/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	1,71	6,4	0,352	1,54
W3/21/A		1,72	6,4	0,354	1,55
W3/22/A		1,88	6,6	0,356	1,69
W3 / AL12 / Mittel		1,77	6,5	0,354	1,59
W3/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	1,49	4,2	0,355	1,27
W3/29/A		1,45	7,8	0,356	1,33
W3/30/A		1,54	7,9	0,359	1,41
W3 / AL18 / Mittel		1,49	6,6	0,356	1,34
W3/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	1,40	11,6	0,364	1,33
W3 / AL18+9 / Mittel		1,40	11,6	0,364	1,33
W3/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	1,33	5,9	0,372	1,19
W3/36/A		1,35	5,9	0,370	1,20
W3/37/A		1,36	5,9	0,371	1,21
W3 / AL40 / Mittel		1,35	5,9	0,371	1,20

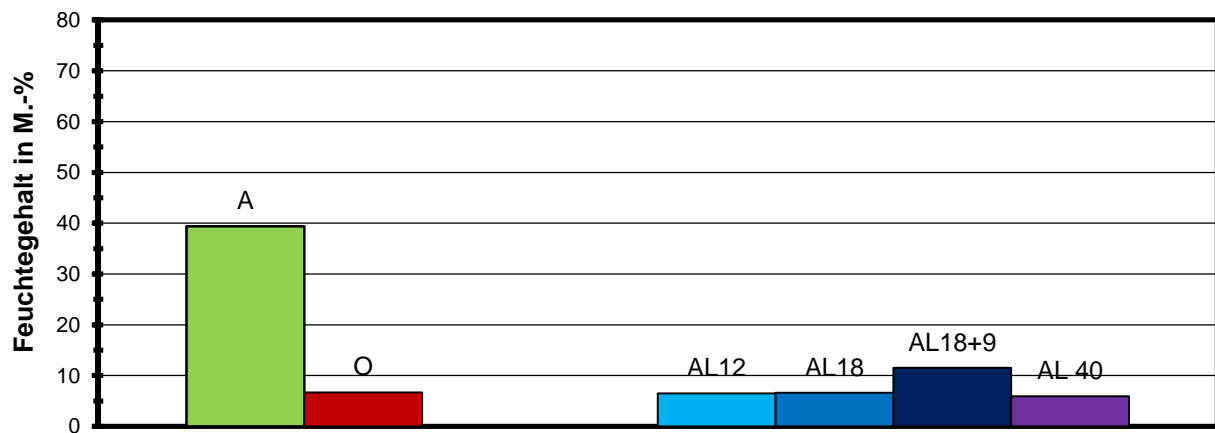
Werk W3



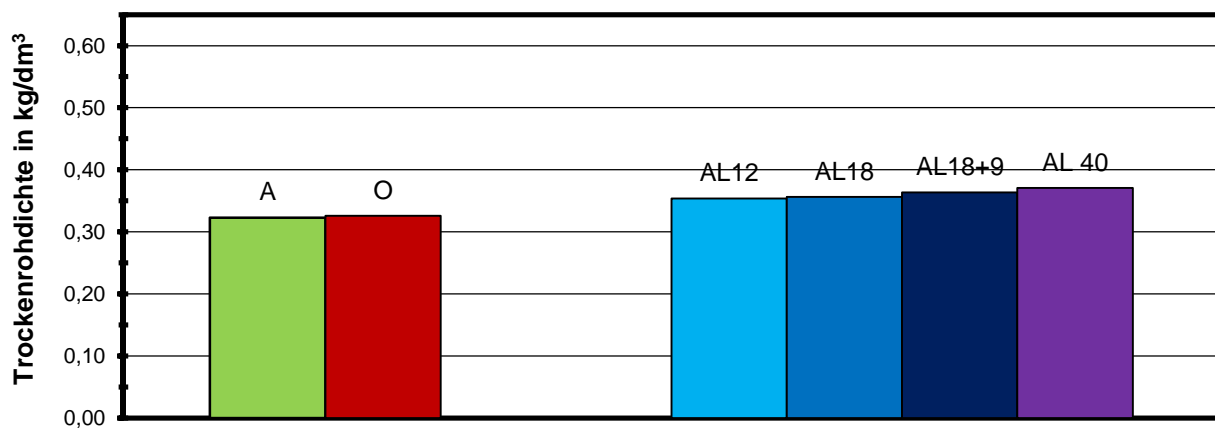
Werk W3



Werk W3



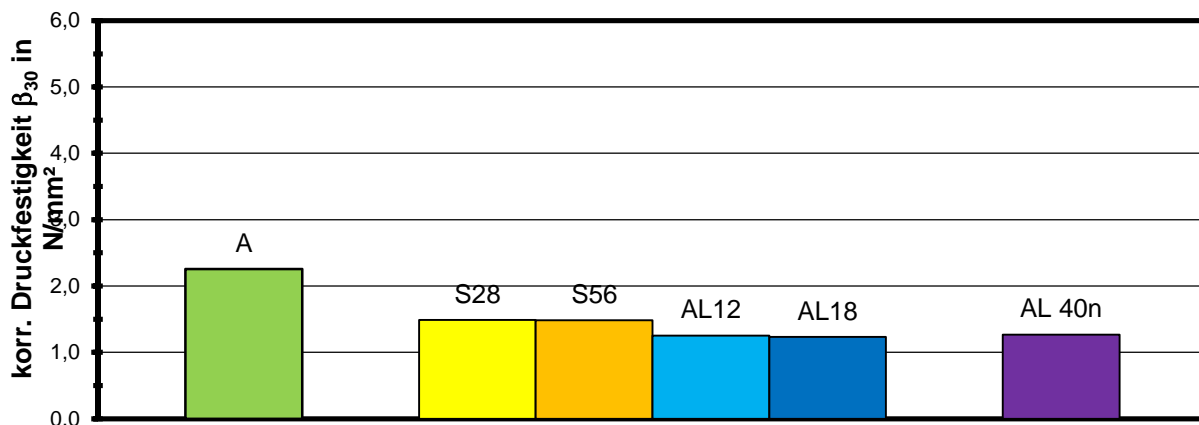
Werk W3



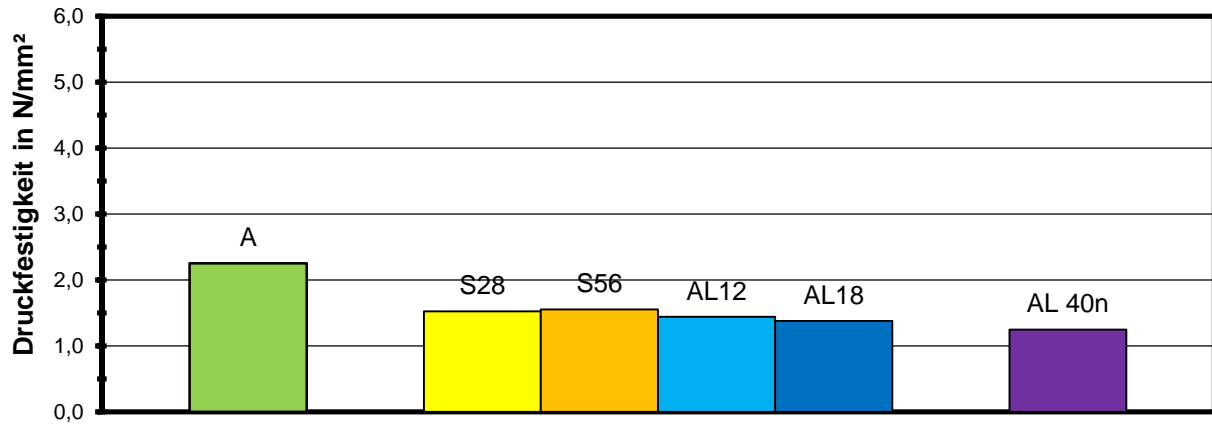
Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W3
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W3/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	2,32	36,3	0,332	2,32
W3/5/A2/u/v		2,23	38,5	0,322	2,24
W3/5/A3/u/v		2,22	36,8	0,319	2,22
Mittelwert		2,26	37,2	0,324	2,26
W3/6/A1/u/v		2,35	36,1	0,333	2,35
W3/6/A2/u/v		2,21	34,7	0,326	2,21
W3/6/A3/u/v		2,19	34,3	0,321	2,19
Mittelwert		2,25	35,0	0,326	2,25
W3 / A / Mittel			2,25	36,1	0,325
W3/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	1,59	18,7	0,400	1,55
W3/14/S2/u/v		1,51	19,5	0,396	1,47
W3/14/S3/u/v		1,48	17,7	0,398	1,44
W3 / S28 / Mittel		1,53	18,6	0,398	1,49
W3/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,59	11,5	0,402	1,50
W3/16/S2/u/v		1,57	13,6	0,399	1,51
W3/16/S3/u/v		1,50	13,4	0,389	1,44
W3 / S56 / Mittel		1,55	12,8	0,397	1,48
W3/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	1,47	5,0	0,378	1,28
W3/19/AL2/u/v		1,43	4,8	0,372	1,25
W3/19/AL3/u/v		1,42	4,9	0,370	1,23
W3 / AL12 / Mittel		1,44	4,9	0,373	1,25
W3/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	1,42	6,1	0,383	1,27
W3/27/AL2/u/v		1,37	6,3	0,378	1,23
W3/27/AL3/u/v		1,36	6,1	0,373	1,21
W3 / AL18 / Mittel		1,38	6,2	0,378	1,23
W3/34/AL1/u/v	AL40 (nass) 40 Monate Außenlagerung 1 Tag unter Wasser	1,27	65,3	0,386	1,29
W3/34/AL2/u/v		1,23	65,8	0,383	1,25
W3/34/AL3/u/v		1,25	66,5	0,383	1,26
W3 / AL40(nass) / Mittel		1,25	65,9	0,384	1,27

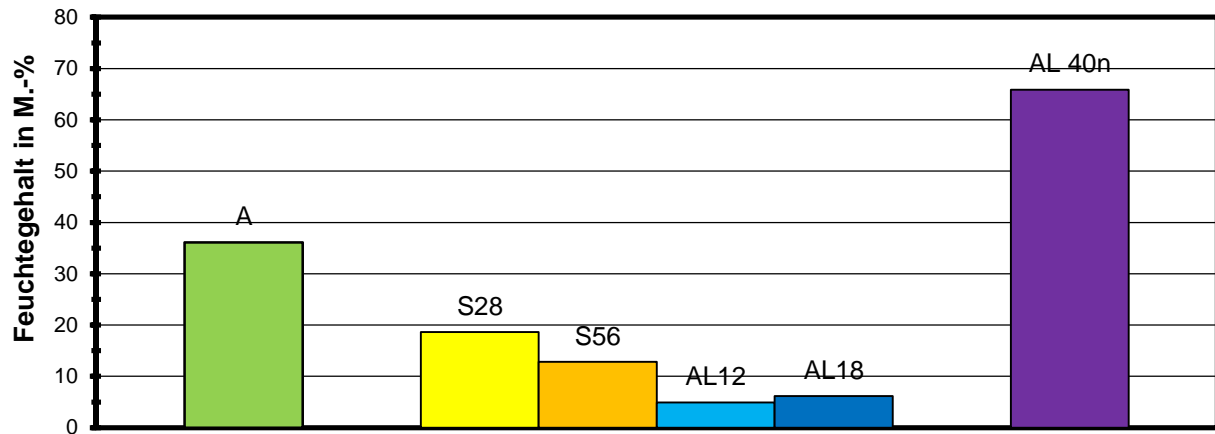
Werk W3



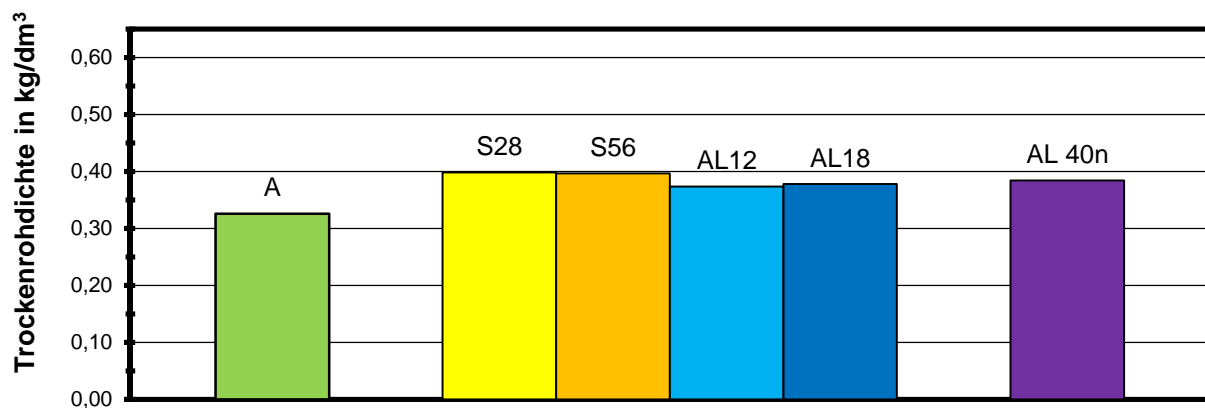
Werk W3



Werk W3



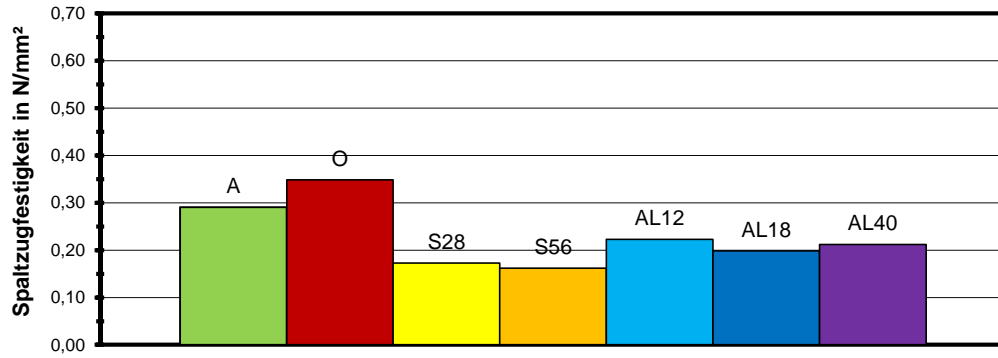
Werk W3



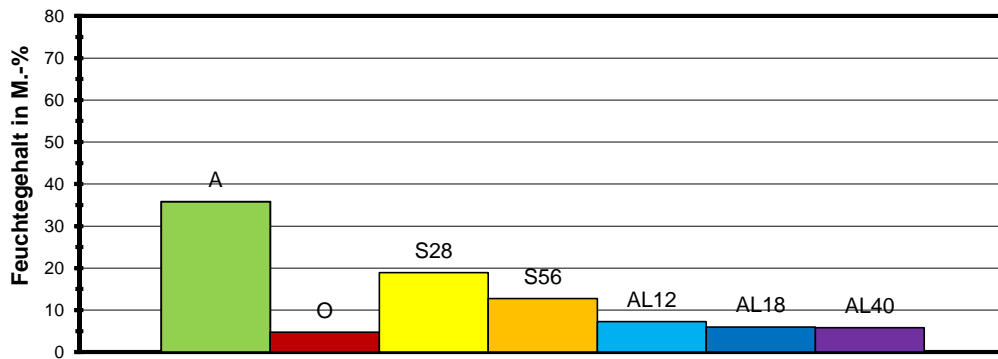
**Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W3
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzugfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenroh-dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W3/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,27	34,8	0,328
W3/5/A2/o/v		0,25	33,3	0,320
W3/5/A3/o/v		0,30	34,5	0,314
Mittelwert		0,27	34,2	0,321
W3/6/A1/o/v		0,33	37,0	0,330
W3/6/A2/o/v		0,29	38,8	0,325
W3/6/A3/o/v		0,30	36,2	0,318
Mittelwert		0,31	37,3	0,324
W3 / A / Mittel		0,29	35,8	0,323
W3/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	0,37	5,0	0,331
W3/5/A2/o/h		0,32	4,7	0,328
W3/5/A3/o/h		0,30	4,4	0,325
Mittelwert		0,33	4,7	0,328
W3/6/A1/o/h		0,38	4,8	0,335
W3/6/A2/o/h		0,37	4,9	0,327
W3/6/A3/o/h		0,36	4,5	0,324
Mittelwert		0,37	4,7	0,328
W3 / O / Mittel		0,35	4,7	0,328
W3/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,19	18,8	0,397
W3/14/S2/o/v		0,15	20,3	0,391
W3/14/S3/o/v		0,18	17,8	0,389
W3 / S28 / Mittel		0,17	18,9	0,392
W3/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,18	11,7	0,402
W3/16/S2/o/v		0,19	13,5	0,395
W3/16/S3/o/v		0,12	13,0	0,387
W3 / S56 / Mittel		0,16	12,7	0,394
W3/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,23	4,9	0,378
W3/19/AL2/o/h		0,24	8,4	0,361
W3/19/AL3/o/h		0,20	8,4	0,360
W3 / AL12 / Mittel		0,22	7,3	0,366
W3/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,21	5,6	0,377
W3/27/AL2/o/h		0,18	6,2	0,379
W3/27/AL3/o/h		0,21	6,1	0,371
W3 / AL18 / Mittel		0,20	6,0	0,376
W3/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,19	5,9	0,377
W3/34/AL2/o/h		0,23	5,5	0,385
W3/34/AL3/o/h		0,22	5,9	0,385
W3 / AL40 / Mittel		0,21	5,8	0,382

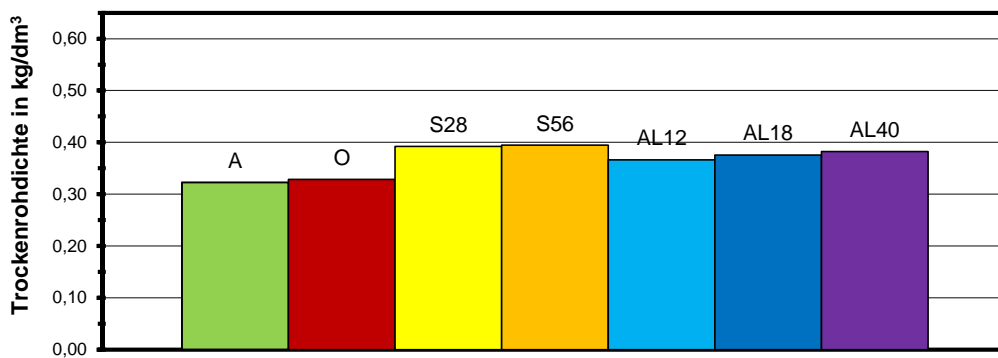
Werk W3



Werk W3

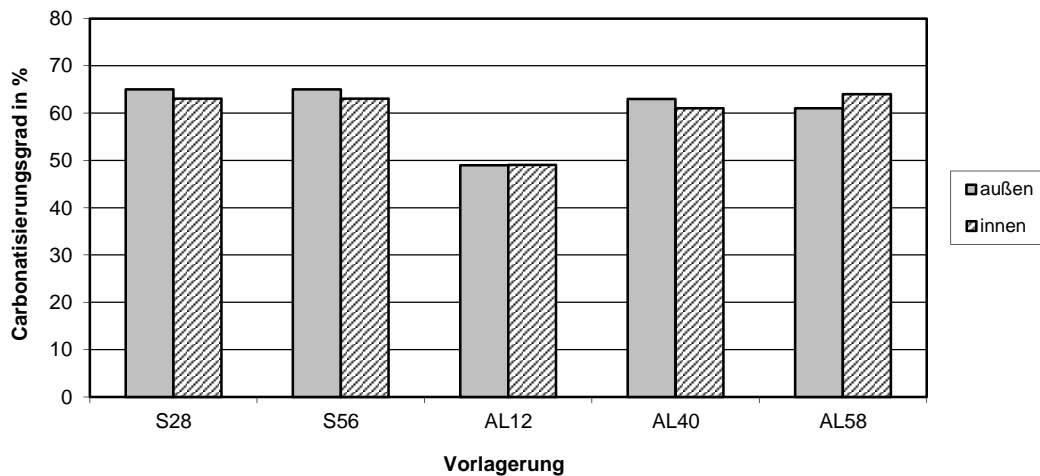
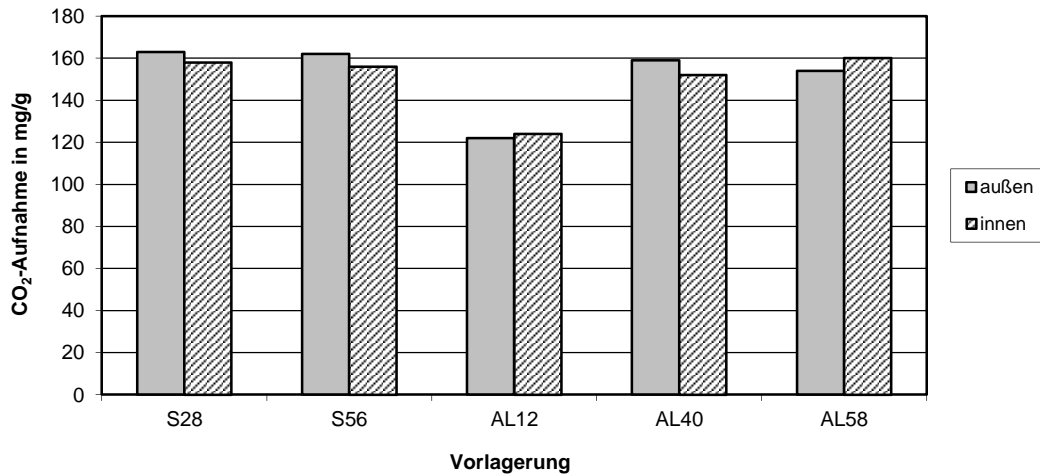


Werk W3



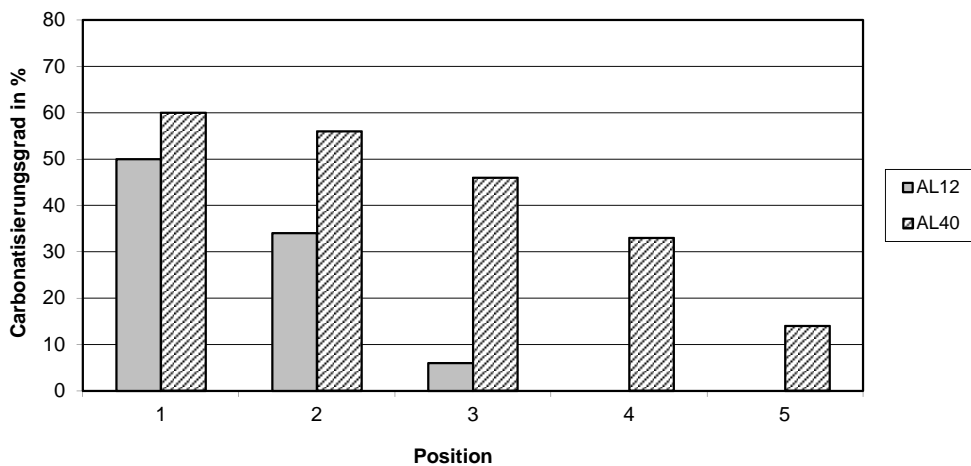
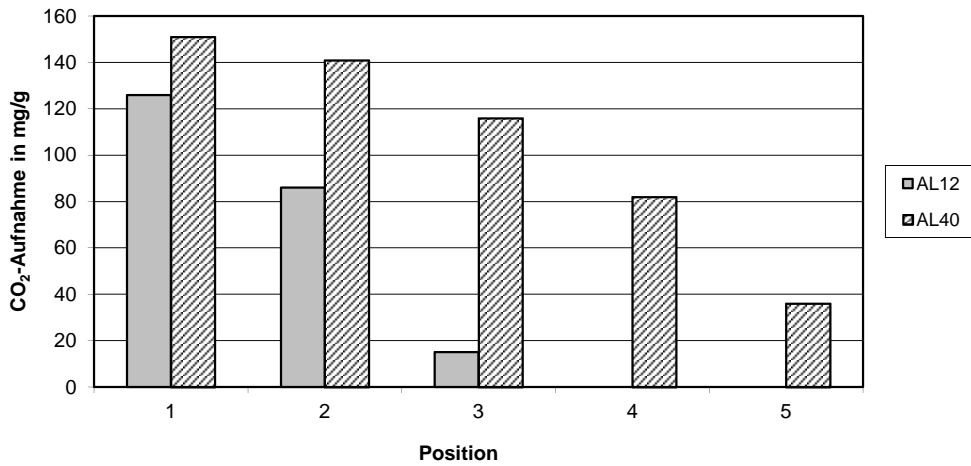
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W3
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W3 / S ₂₈ / 1	28 Tage 1 % CO ₂	162	157	65	63
W3 / S ₂₈ / 2		163	158	65	63
W3 / S₂₈ / Mittel		163	158	65	63
W3 / S ₅₆ / 1	56 Tage 1 % CO ₂	161	152	64	61
W3 / S ₅₆ / 2		163	160	65	64
W3 / S₅₆ / Mittel		162	156	65	63
W3 / AL ₁₂ / 1	Außenlager über 12 Monate	122	124	49	49
W3 / AL ₁₂ / 2		122	124	49	49
W3 / AL₁₂ / Mittel		122	124	49	49
W3 / AL ₄₀ / 1	Außenlager über 40 Monate	159	152	63	61
W3 / AL ₄₀ / 2		159	152	63	61
W3 / AL₄₀ / Mittel		159	152	63	61
W3 / AL ₅₈ / 1	Außenlager über 58 Monate	154	160	61	64
W3 / AL ₅₈ / 2		154	160	61	64
W3 / AL₅₈ / Mittel		154	160	61	64
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				33,19 M.-%	



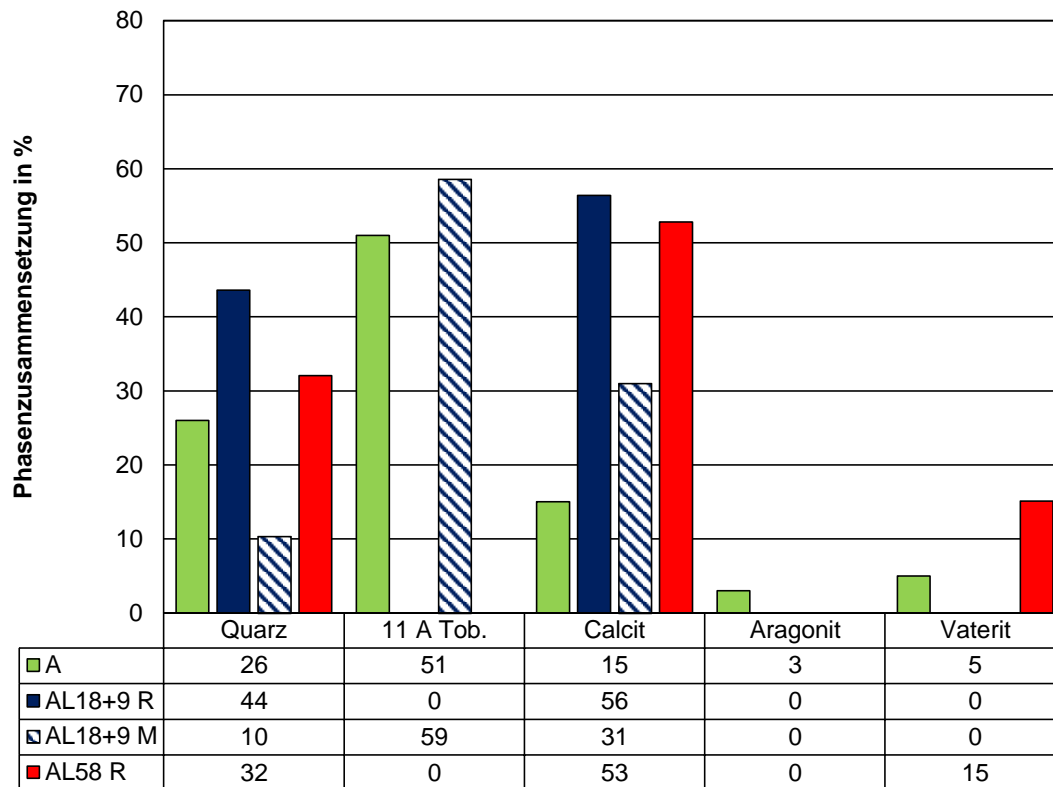
**Profil der Steine PP 2-0,35 aus Werk W3
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W3 / AL ₁₂ / 1	Außenlager über 12 Monate	126	50
W3 / AL ₁₂ / 2		86	34
W3 / AL ₁₂ / 3		15	6
W3 / AL ₁₂ / 4		0	0
W3 / AL ₁₂ / 5		0	0
W3 / AL ₄₀ / 1	Außenlager über 40 Monate	151	60
W3 / AL ₄₀ / 2		141	56
W3 / AL ₄₀ / 3		116	46
W3 / AL ₄₀ / 4		82	33
W3 / AL ₄₀ / 5		36	14
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			33,19 M.-%



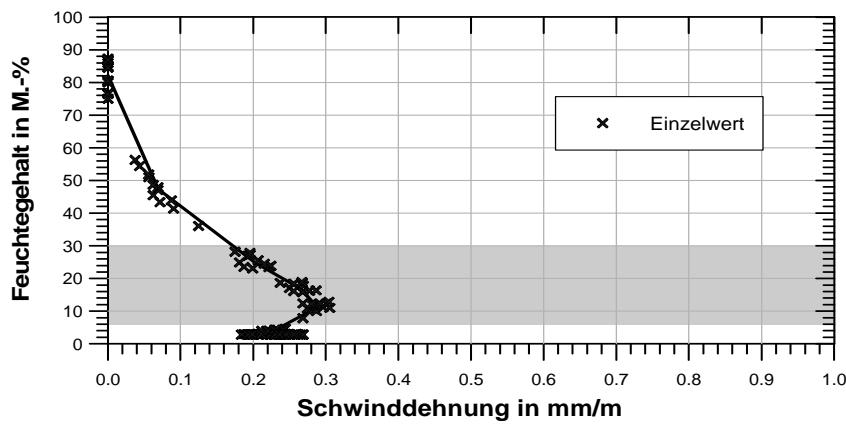
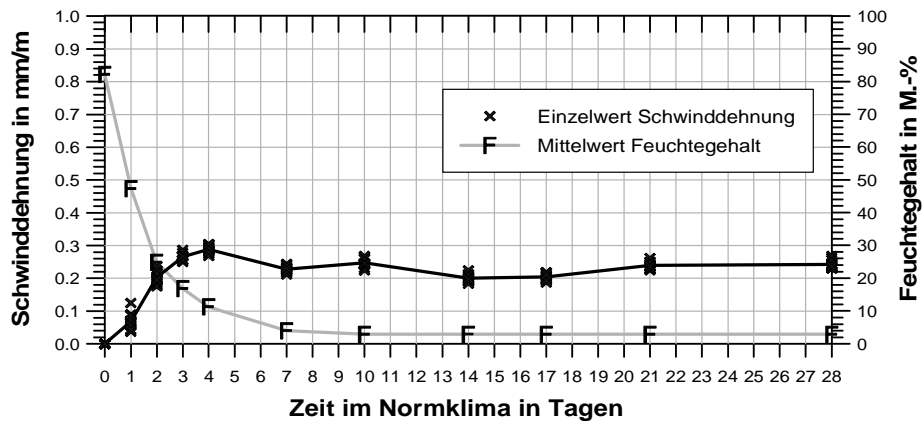
Phasenzusammensetzung der Steine PP 2-0,35 aus Werk W3

W3 - Außenlagerung



**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W6
Schwindmessungen**

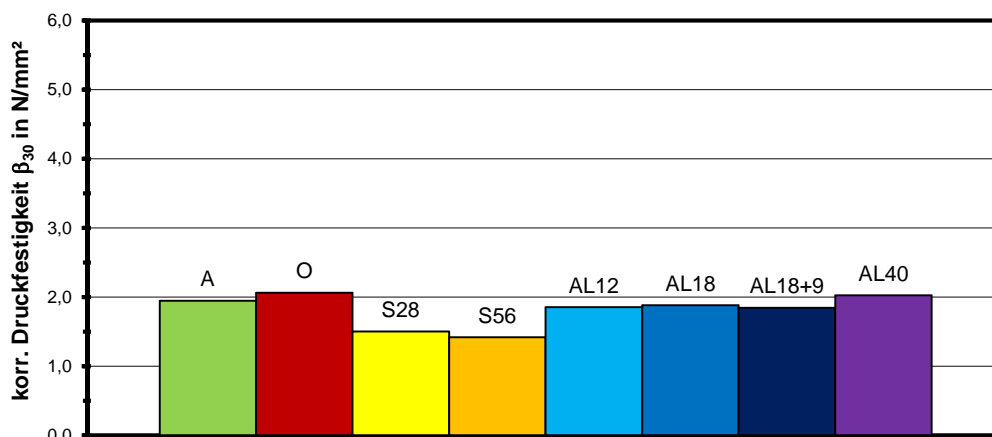
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W6 / 1 / A Mittelwert	0	82,5	0,000	0,000	0,000
	1	49,7	0,063	0,006	0,063
	2	25,6	0,202	0,020	0,201
	3	17,1	0,264	0,026	0,263
	4	11,2	0,287	0,029	0,286
	7	3,7	0,223	0,022	0,222
	10	2,9	0,251	0,025	0,250
	14	2,9	0,206	0,021	0,205
	17	2,8	0,210	0,021	0,209
	21	2,9	0,244	0,024	0,243
28	2,9	0,247	0,025	0,247	
W6 / 2 / A Mittelwert	0	81,7	0,000	0,000	0,000
	1	44,9	0,075	0,007	0,075
	2	24,1	0,203	0,020	0,203
	3	16,6	0,268	0,027	0,267
	4	11,3	0,291	0,029	0,290
	7	4,2	0,233	0,023	0,232
	10	2,9	0,244	0,024	0,243
	14	2,9	0,196	0,020	0,195
	17	2,9	0,199	0,020	0,198
	21	2,9	0,235	0,023	0,234
28	2,9	0,239	0,024	0,238	
W6 / A Mittelwert	0	82,1	0,000	0,000	0,000
	1	47,3	0,069	0,007	0,069
	2	24,8	0,203	0,020	0,202
	3	16,8	0,266	0,027	0,265
	4	11,2	0,289	0,029	0,288
	7	4,0	0,228	0,023	0,227
	10	2,9	0,247	0,025	0,247
	14	2,9	0,201	0,020	0,200
	17	2,9	0,204	0,020	0,204
	21	2,9	0,239	0,024	0,239
28	2,9	0,243	0,024	0,242	



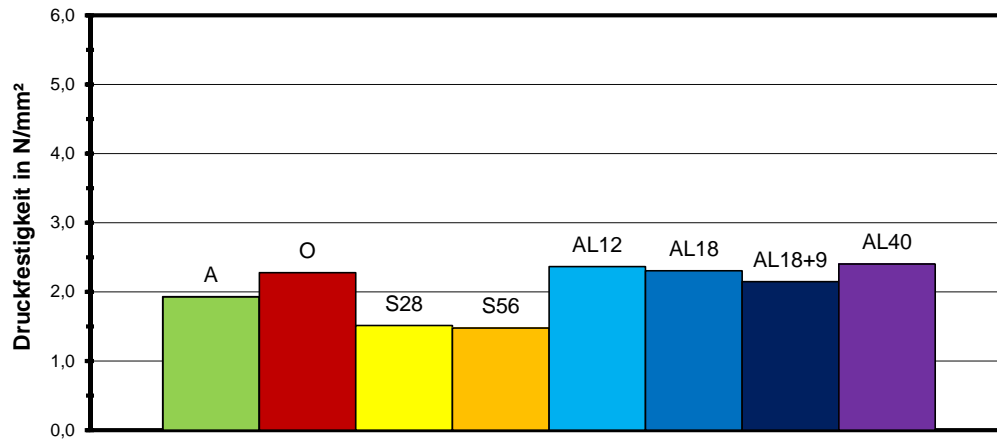
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W6
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit N/mm ²	Feuchtegehalt M.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	kor. Druckfestigkeit β_{30} N/mm ²
-	-				
W6/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	2,02	58,1	0,340	2,04
W6/3/A2/v		1,97	55,6	0,332	1,99
W6/3/A3/v		1,76	52,0	0,320	1,78
Mittelwert		1,92	55,2	0,331	1,94
W6/4/A1/v		2,09	52,6	0,335	2,11
W6/4/A2/v		1,89	52,9	0,328	1,91
W6/4/A3/v		1,82	46,9	0,335	1,84
Mittelwert		1,94	50,8	0,333	1,95
W6 / A / Mittel		1,93	53,0	0,332	1,95
W6/3/A1/h		O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,36	7,6	0,342
W6/3/A2/h	2,35		7,6	0,333	2,15
W6/3/A3/h	2,28		7,3	0,330	2,08
Mittelwert	2,33		7,5	0,335	2,13
W6/4/A1/h	2,29		6,5	0,334	2,06
W6/4/A2/h	2,32		6,4	0,329	2,08
W6/4/A3/h	2,09		6,0	0,323	1,86
Mittelwert	2,23		6,3	0,329	2,00
W6 / O / Mittel	2,28		6,9	0,332	2,06
W6/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂		1,57	27,1	0,378
W6/13/S2/v		1,61	26,8	0,371	1,59
W6/13/S3/v		1,36	29,6	0,361	1,35
W6 / S28 / Mittel		1,51	27,9	0,370	1,50
W6/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,57	13,8	0,395	1,51
W6/15/S2/v		1,47	13,1	0,385	1,41
W6/15/S3/v		1,39	14,6	0,376	1,33
W6 / S56 / Mittel		1,48	13,8	0,386	1,42
W6/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,44	2,5	0,343	1,91
W6/18/AL2/h		2,36	2,5	0,338	1,85
W6/18/AL3/h		2,30	2,5	0,329	1,80
W6 / AL12 / Mittel		2,37	2,5	0,337	1,85
W6/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,37	3,1	0,346	1,93
W6/26/AL2/h		2,32	3,2	0,336	1,89
W6/26/AL3/h		2,23	3,1	0,332	1,82
W6 / AL18 / Mittel		2,31	3,1	0,338	1,88
W6/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,29	4,3	0,343	1,96
W6/41/AL3/h		2,01	4,6	0,333	1,73
W6 / AL18+9 / Mittel		2,15	4,4	0,338	1,84
W6/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	2,47	3,9	0,342	2,08
W6/33/AL2/h		2,52	3,9	0,336	2,12
W6/33/AL3/h		2,23	3,9	0,332	1,88
W6 / AL40 / Mittel		2,41	3,9	0,337	2,03

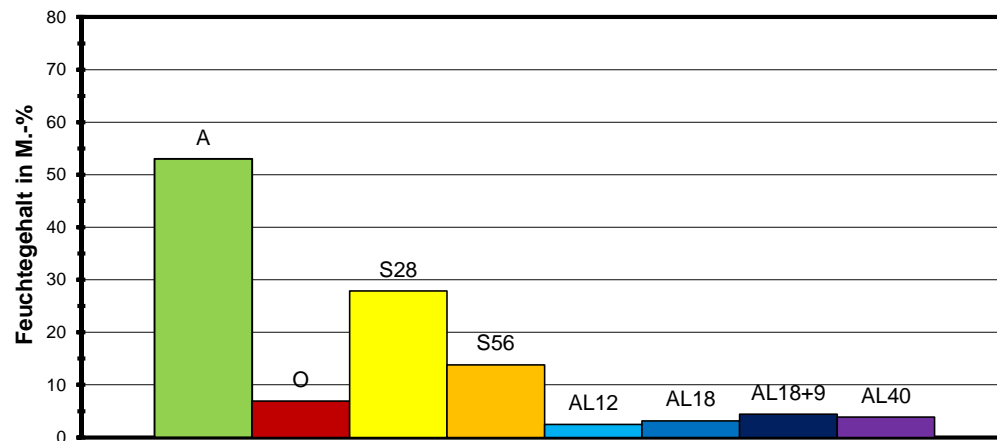
Werk W6



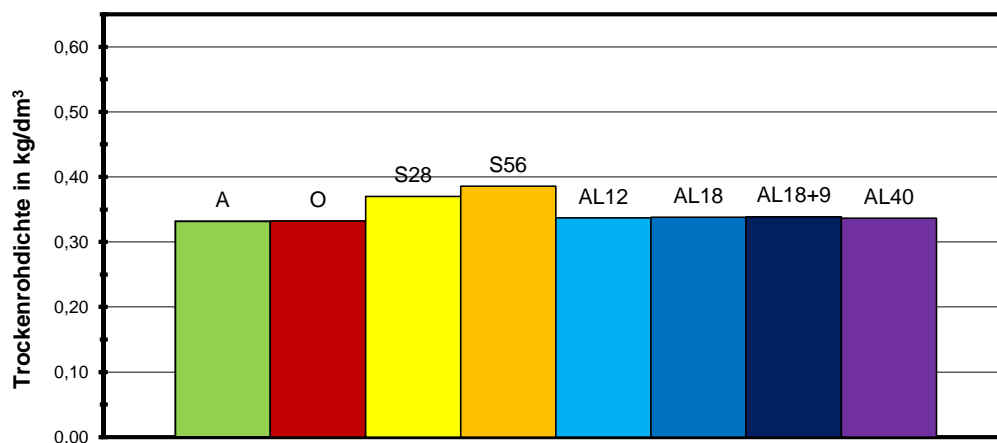
Werk W6



Werk W6



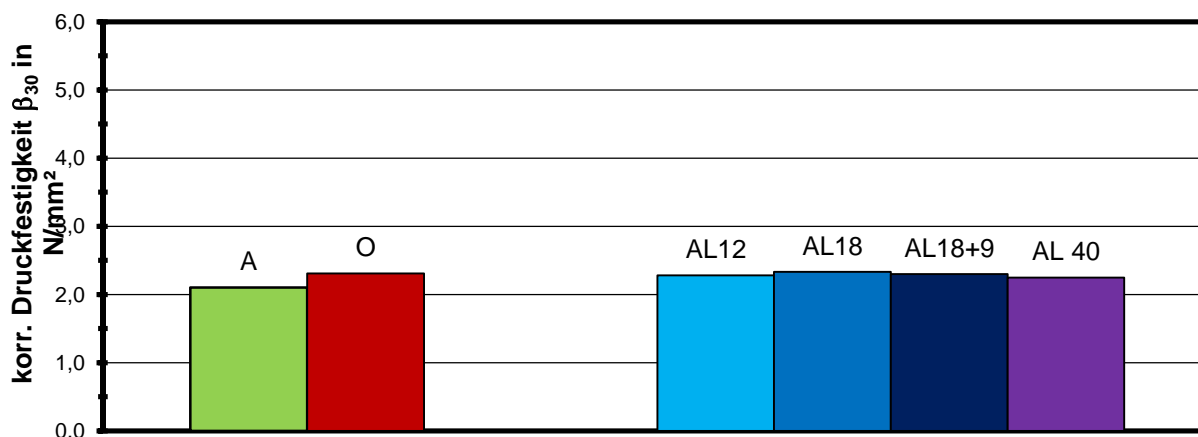
Werk W6



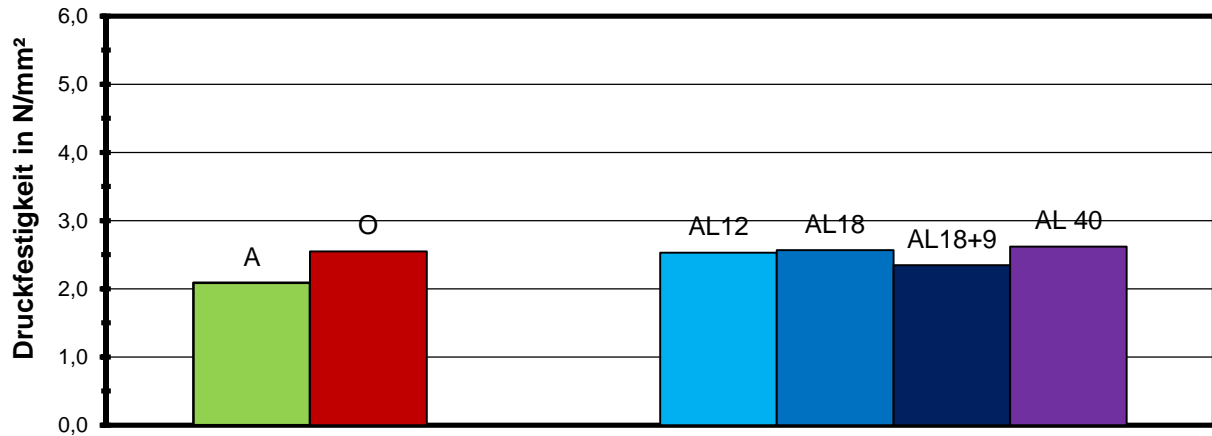
Steine PP 2-0,35 aus Werk W6
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W6/10/A	A Anlieferungsfeuchte	2,16	42,5	0,332	2,17
W6/11/A		2,19	46,1	0,333	2,20
W6/12/A		1,92	49,0	0,326	1,94
W6 / A / Mittel		2,09	45,8	0,330	2,10
W6/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,59	6,8	0,334	2,34
W6/8/A		2,59	6,9	0,333	2,34
W6/9/A		2,48	6,8	0,334	2,24
W6 / O / Mittel		2,55	6,9	0,334	2,31
W6/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,63	6,8	0,340	2,38
W6/21/A		2,47	6,4	0,339	2,22
W6/22/A		2,49	6,9	0,340	2,26
W6 / AL12 / Mittel		2,53	6,7	0,339	2,28
W6/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,57	6,2	0,339	2,30
W6/29/A		2,50	7,9	0,339	2,29
W6/30/A		2,63	7,6	0,339	2,41
W6 / AL18 / Mittel		2,57	7,2	0,339	2,33
W6/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,35	20,3	0,338	2,30
W6/44/A					
W6/45/A					
W6 / AL18+9 / Mittel		2,35	20,3	0,338	2,30
W6/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	2,72	3,8	0,342	2,28
W6/36/A		2,59	4,3	0,342	2,21
W6/37/A		2,54	5,6	0,337	2,25
W6 / AL40 / Mittel		2,62	4,6	0,340	2,25

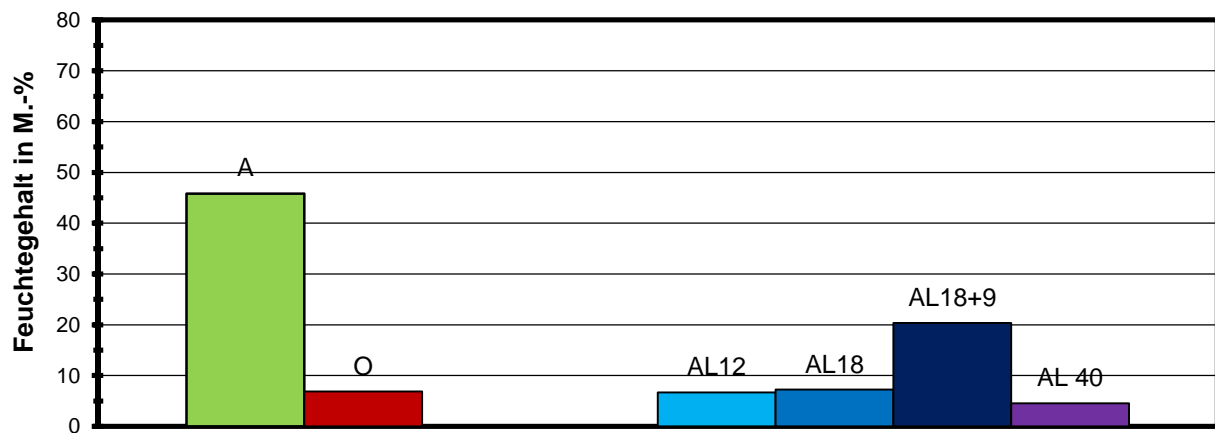
Werk W6



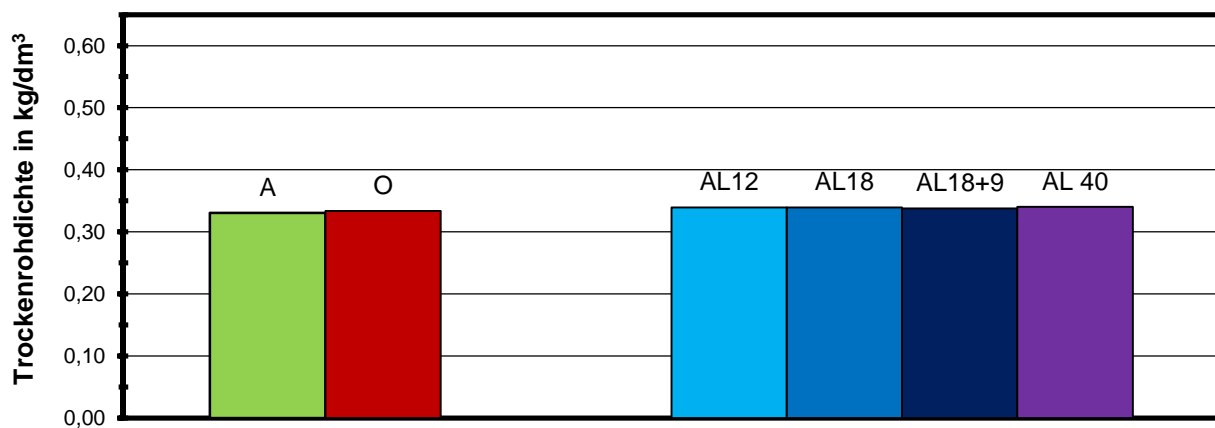
Werk W6



Werk W6



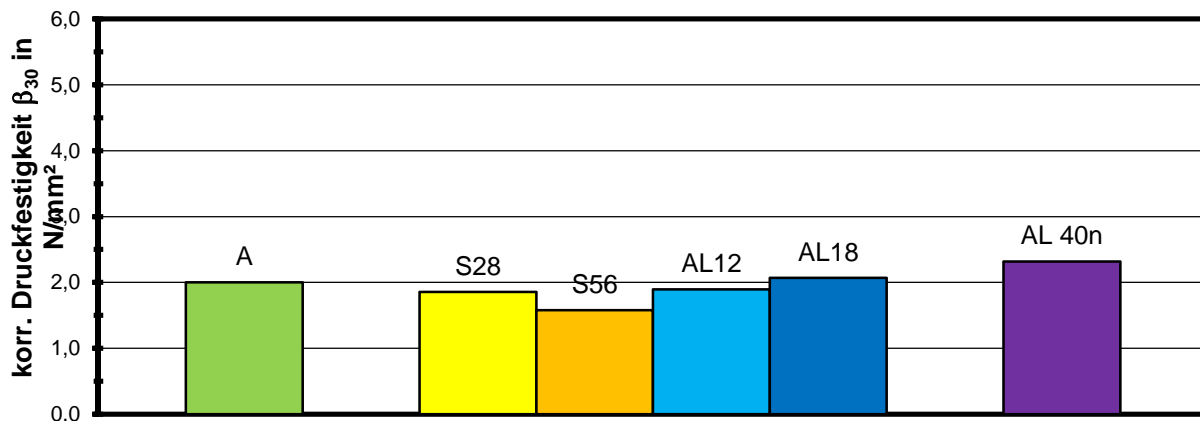
Werk W6



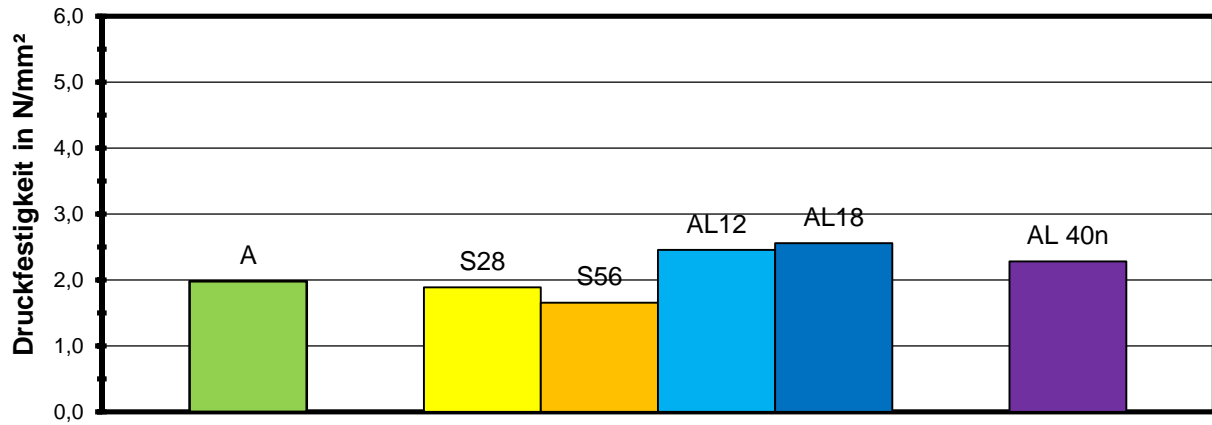
**Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W6
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W6/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	2,09	58,2	0,332	2,11
W6/5/A2/u/v		1,94	57,3	0,323	1,97
W6/5/A3/u/v		1,87	55,3	0,319	1,89
Mittelwert		1,97	56,9	0,325	1,99
W6/6/A1/u/v		2,05	55,4	0,335	2,07
W6/6/A2/u/v		2,03	50,5	0,328	2,05
W6/6/A3/u/v		1,88	52,8	0,321	1,90
Mittelwert		1,99	52,9	0,328	2,01
W6 / A / Mittel			1,98	54,9	0,326
W6/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	1,98	21,9	0,381	1,95
W6/14/S2/u/v		1,89	22,8	0,376	1,86
W6/14/S3/u/v		1,80	19,6	0,365	1,76
W6 / S28 / Mittel		1,89	21,4	0,374	1,86
W6/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,74	13,3	0,397	1,66
W6/16/S2/u/v		1,66	12,6	0,388	1,58
W6/16/S3/u/v		1,57	11,7	0,379	1,49
W6 / S56 / Mittel		1,65	12,5	0,388	1,58
W6/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,23	2,2	0,331	1,72
W6/19/AL2/u/v		2,46	2,3	0,339	1,90
W6/19/AL3/u/v		2,68	2,3	0,347	2,07
W6 / AL12 / Mittel		2,46	2,3	0,339	1,90
W6/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,47	3,1	0,331	2,00
W6/27/AL2/u/v		2,68	3,0	0,348	2,17
W6/27/AL3/u/v		2,52	2,9	0,339	2,03
W6 / AL18 / Mittel		2,56	3,0	0,339	2,07
W6/34/AL1/u/v	AL40 (nass) 40 Monate Außenlagerung, 1 Tag unter Wasser	2,41	71,0	0,343	2,45
W6/34/AL2/u/v		2,24	73,2	0,337	2,27
W6/34/AL3/u/v		2,20	77,3	0,332	2,23
W6 / AL40(nass) / Mittel		2,28	73,9	0,337	2,32

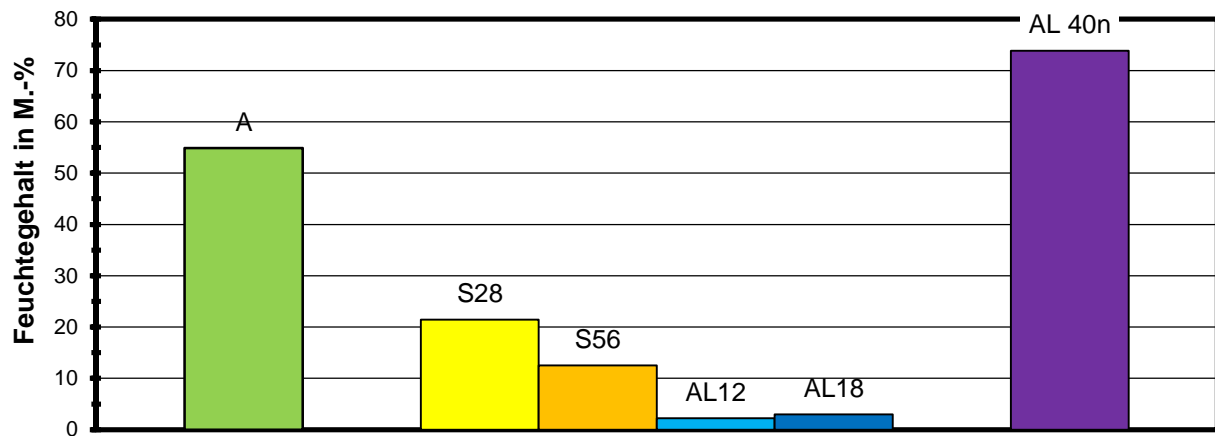
Werk W6



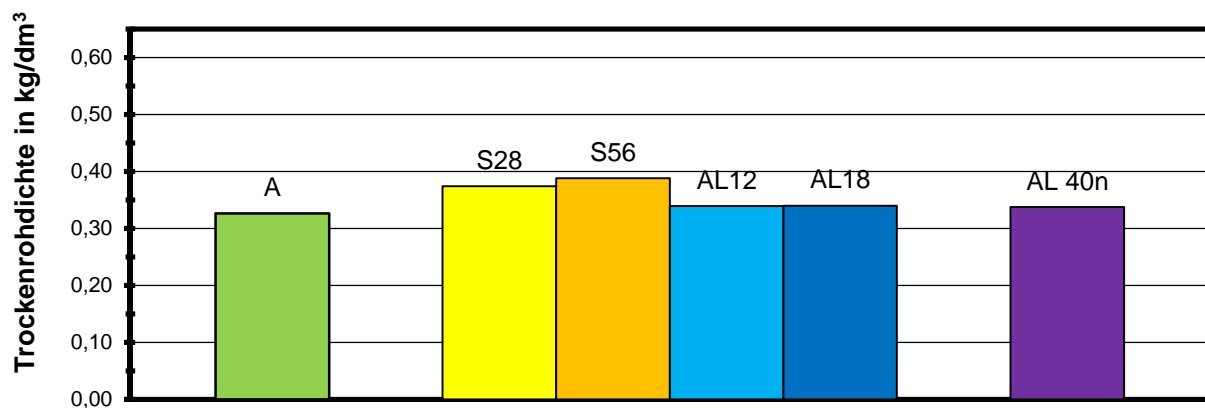
Werk W6



Werk W6



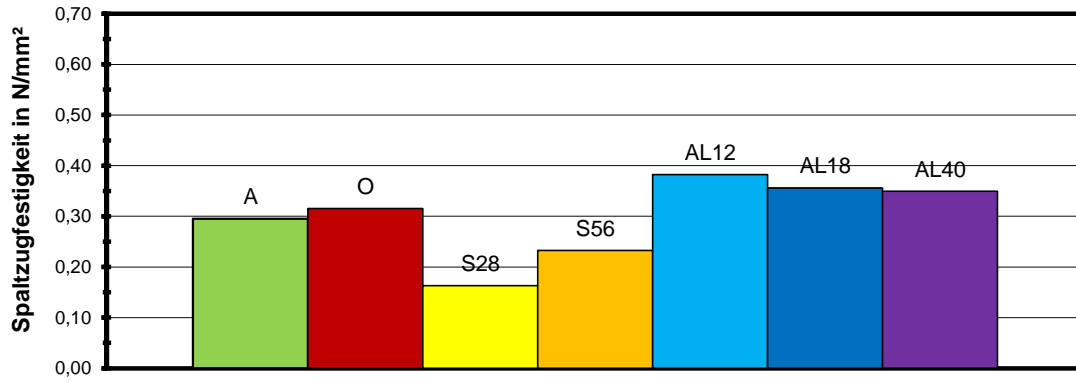
Werk W6



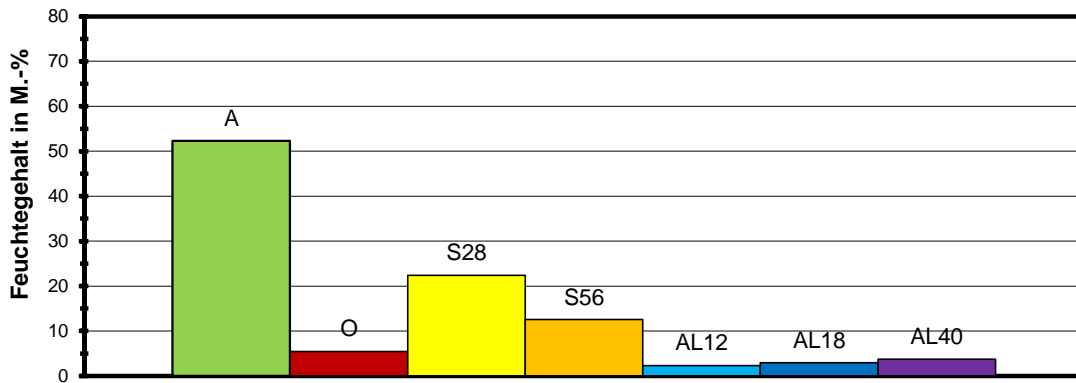
**Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W6
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzugfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenroh-dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W6/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,31	56,6	0,329
W6/5/A2/o/v		0,29	53,5	0,322
W6/5/A3/o/v		0,27	50,3	0,312
Mittelwert		0,29	53,5	0,321
W6/6/A1/o/v		0,32	53,4	0,329
W6/6/A2/o/v		0,30	50,3	0,323
W6/6/A3/o/v		0,29	49,7	0,314
Mittelwert		0,30	51,1	0,322
W6 / A / Mittel		0,30	52,3	0,322
W6/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8M-%)	0,32	4,3	0,333
W6/5/A2/o/h		0,29	4,5	0,323
W6/5/A3/o/h		0,33	6,9	0,307
Mittelwert		0,31	5,2	0,321
W6/6/A1/o/h		0,33	5,0	0,335
W6/6/A2/o/h		0,30	4,8	0,325
W6/6/A3/o/h		0,32	7,3	0,315
Mittelwert		0,32	5,7	0,325
W6 / O / Mittel		0,32	5,5	0,323
W6/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,16	23,2	0,381
W6/14/S2/o/v			21,7	0,369
W6/14/S3/o/v		0,17	22,2	0,366
W6 / S28 / Mittel		0,16	22,4	0,372
W6/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,24	14,1	0,386
W6/16/S2/o/v		0,23	12,0	0,388
W6/16/S3/o/v		0,23	11,5	0,377
W6 / S56 / Mittel		0,23	12,5	0,384
W6/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,38	2,4	0,344
W6/19/AL2/o/h		0,38	2,3	0,336
W6/19/AL3/o/h		0,38	2,3	0,328
W6 / AL12 / Mittel		0,38	2,3	0,336
W6/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,37	2,9	0,345
W6/27/AL2/o/h		0,36	2,9	0,328
W6/27/AL3/o/h		0,34	3,1	0,328
W6 / AL18 / Mittel		0,36	3,0	0,334
W6/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,35	3,6	0,338
W6/34/AL2/o/h		0,36	3,8	0,333
W6/34/AL3/o/h		0,34	3,7	0,328
W6 / AL40 / Mittel		0,35	3,7	0,333

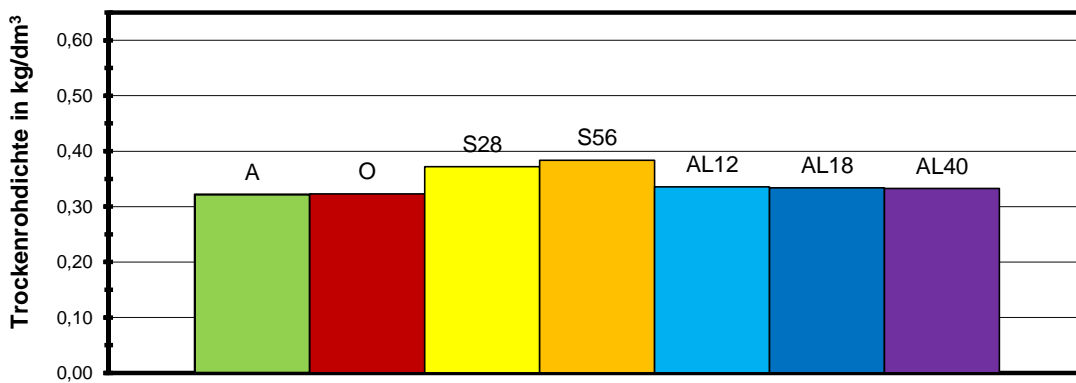
Werk W6



Werk W6

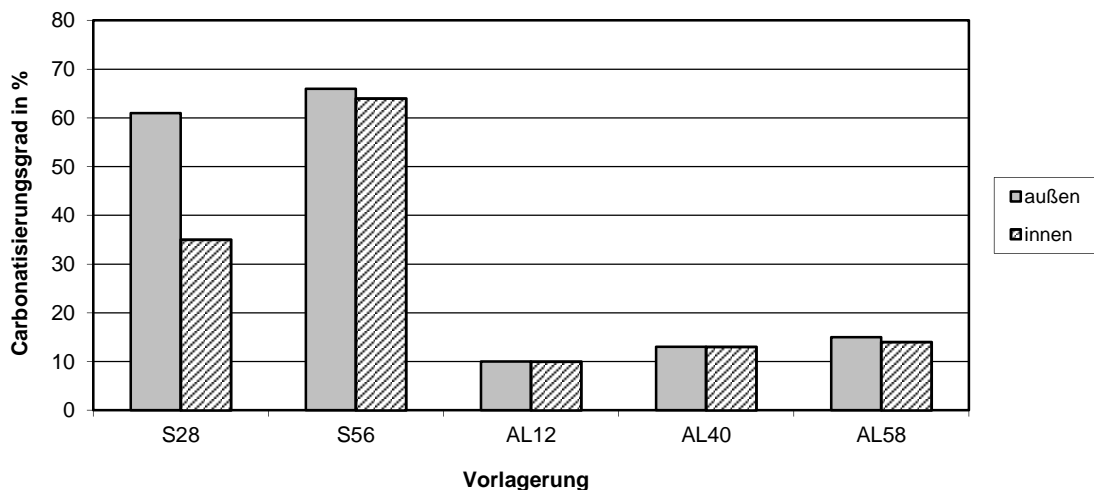
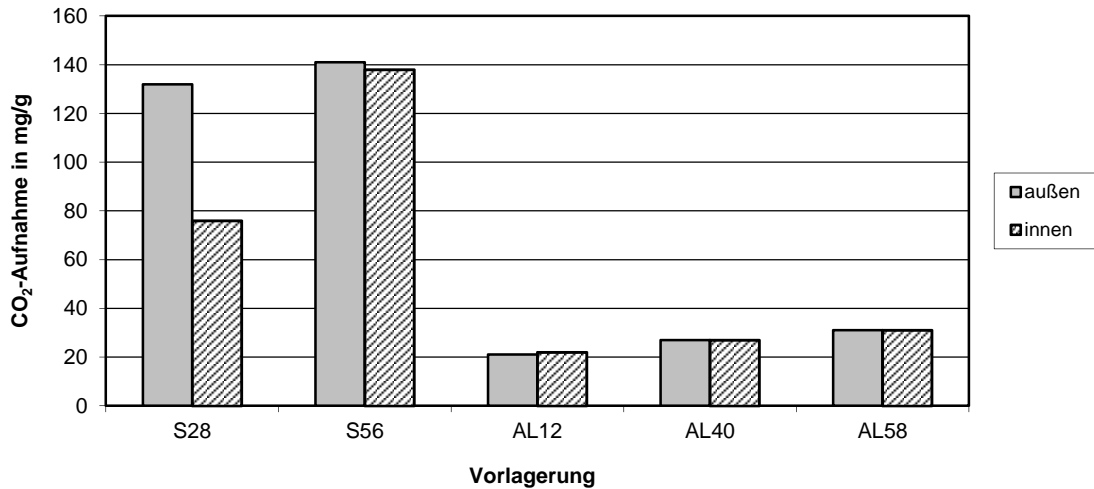


Werk W6



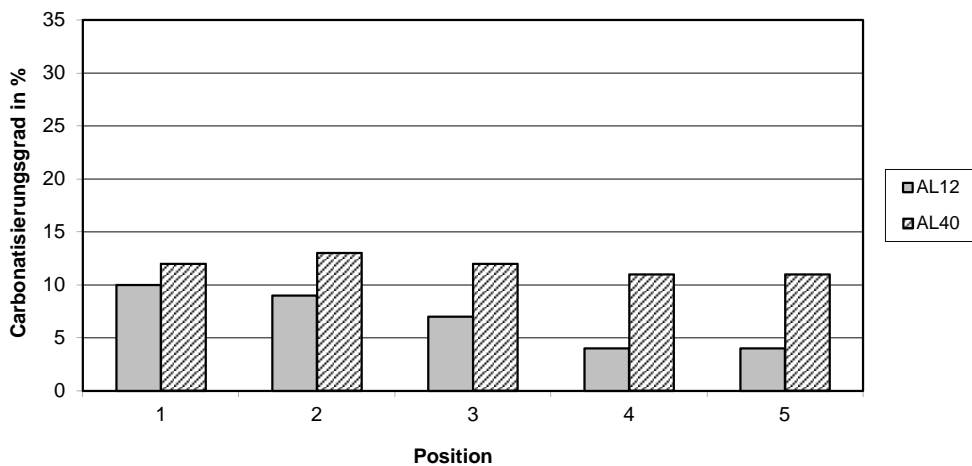
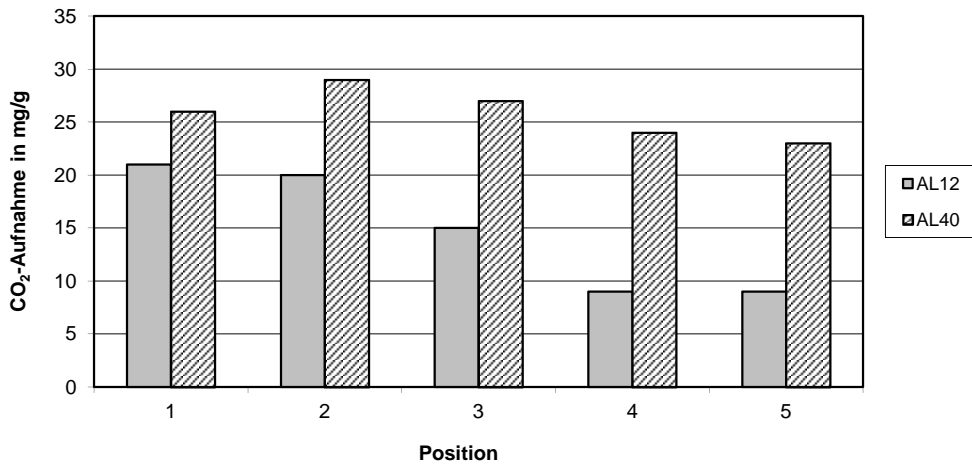
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W6
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W6 / S28 / 1	28 Tage 1 % CO ₂	132	76	61	35
W6 / S28 / 2		132	76	61	35
W6 / S28 / Mittel		132	76	61	35
W6 / S56 / 1	56 Tage 1 % CO ₂	142	138	66	64
W6 / S56 / 2		140	137	65	64
W6 / S56 / Mittel		141	138	66	64
W6 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	21	22	10	10
W6 / AL12 / 2		21	22	10	10
W6 / AL12 / Mittel		21	22	10	10
W6 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	27	27	13	13
W6 / AL40 / 2		27	27	13	13
W6 / AL40 / Mittel		27	27	13	13
W6 / AL58 / 1	Außenlager über 58 Monate	31	31	15	14
W6 / AL58 / 2		31	31	15	14
W6 / AL58 / Mittel		31	31	15	14
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				28,39 M.-%	



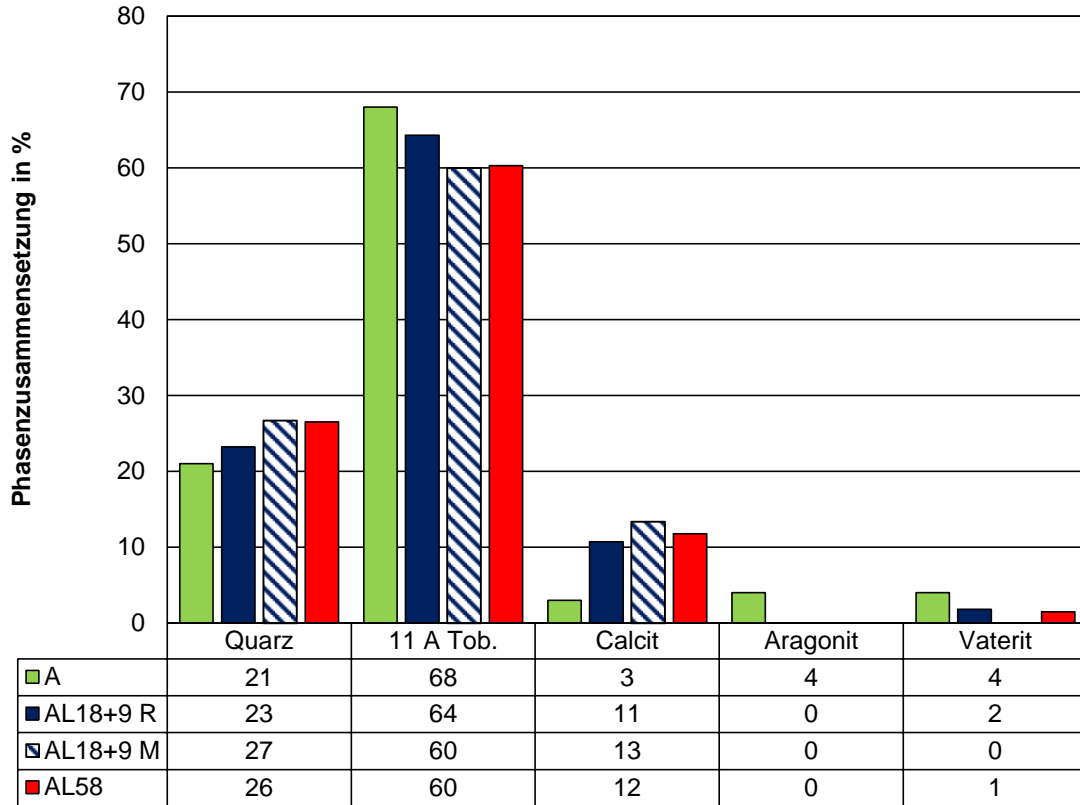
**Profil der Steine PP 2-0,35 aus Werk W6
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W6 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	21	10
W6 / AL12 / 2		20	9
W6 / AL12 / 3		15	7
W6 / AL12 / 4		9	4
W6 / AL12 / 5		9	4
W6 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	26	12
W6 / AL40 / 2		29	13
W6 / AL40 / 3		27	12
W6 / AL40 / 4		24	11
W6 / AL40 / 5		23	11
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			28,39 M.-%



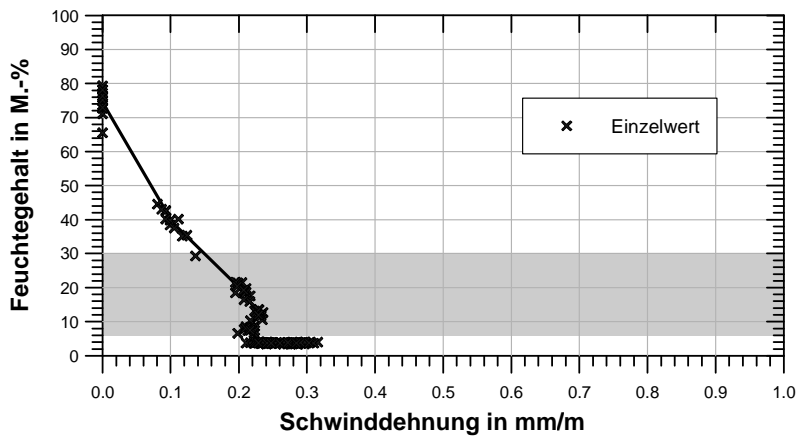
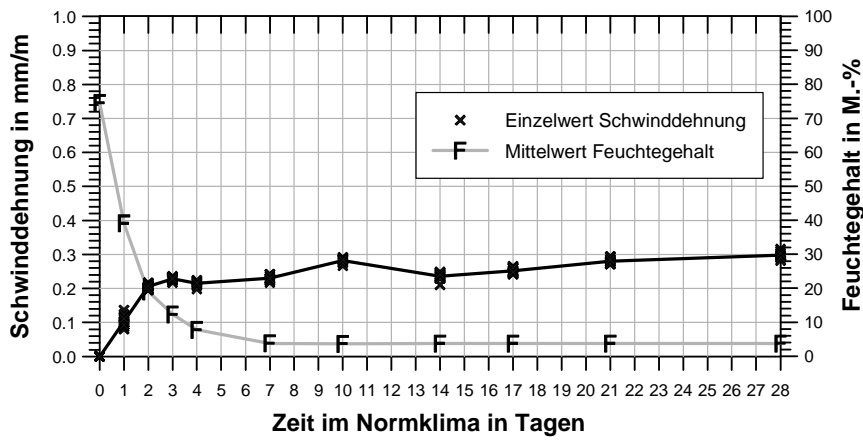
Phasenzusammensetzung der Steine PP 2-0,35 aus Werk W6

W6 - Außenlagerung



**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W10
Schwindmessungen**

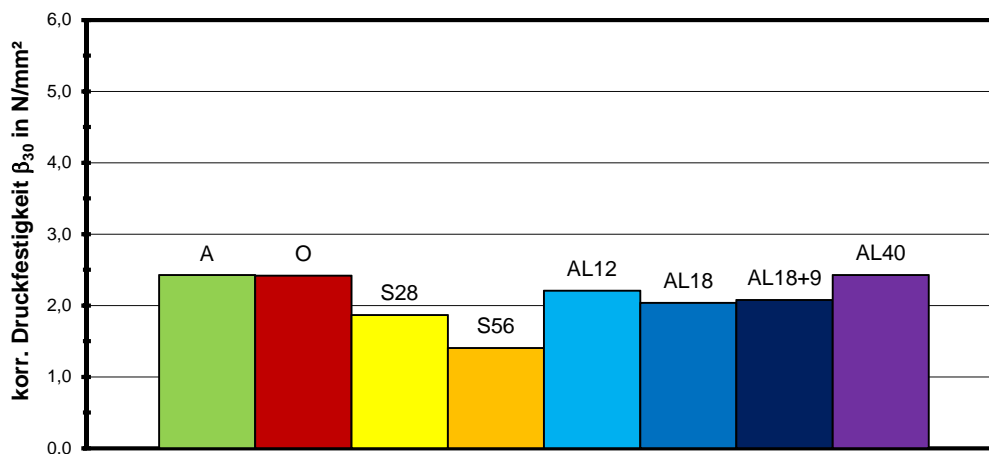
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W10 / 1 / A Mittelwert	0	73,7	0,000	0,000	0,000
	1	38,4	0,107	0,011	0,107
	2	19,1	0,202	0,020	0,201
	3	12,2	0,226	0,023	0,225
	4	7,7	0,213	0,021	0,212
	7	3,9	0,232	0,023	0,231
	10	3,8	0,280	0,028	0,279
	14	3,8	0,238	0,024	0,237
	17	3,9	0,250	0,025	0,249
	21	3,9	0,282	0,028	0,281
28	3,9	0,302	0,030	0,301	
W10 / 2 / A Mittelwert	0	75,3	0,000	0,000	0,000
	1	39,7	0,099	0,010	0,099
	2	19,1	0,209	0,021	0,209
	3	12,3	0,232	0,023	0,231
	4	7,8	0,217	0,022	0,217
	7	3,7	0,229	0,023	0,228
	10	3,6	0,284	0,028	0,283
	14	3,6	0,234	0,023	0,233
	17	3,6	0,254	0,025	0,254
	21	3,7	0,278	0,028	0,277
28	3,7	0,294	0,029	0,293	
W10 / A Mittelwert	0	74,5	0,000	0,000	0,000
	1	39,1	0,103	0,010	0,103
	2	19,1	0,206	0,021	0,205
	3	12,3	0,229	0,023	0,228
	4	7,8	0,215	0,021	0,214
	7	3,8	0,230	0,023	0,230
	10	3,7	0,282	0,028	0,281
	14	3,7	0,236	0,024	0,235
	17	3,7	0,252	0,025	0,251
	21	3,8	0,280	0,028	0,279
28	3,8	0,298	0,030	0,297	



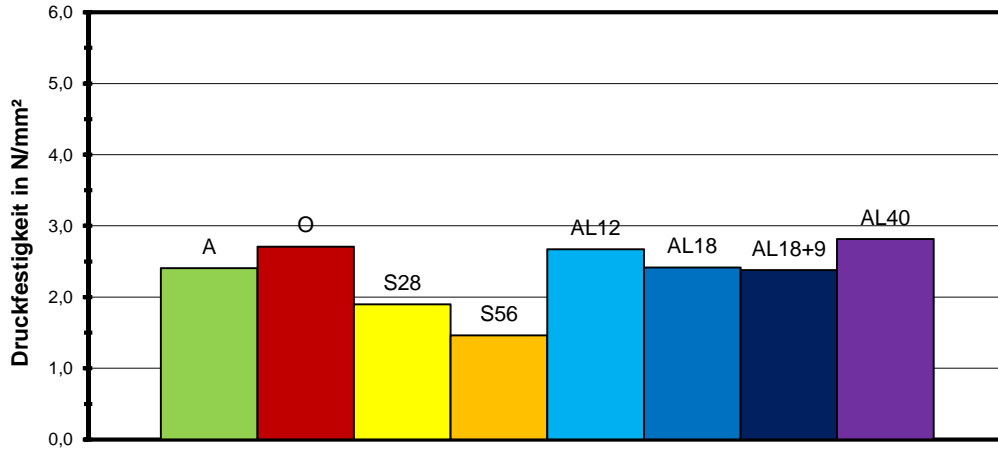
Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W10
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit N/mm ²	Feuchtegehalt M.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	kor. Druckfestigkeit β_{30} N/mm ²
-	-				
W10/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	2,58	45,0	0,351	2,60
W10/3/A2/v		2,35	46,8	0,345	2,37
W10/3/A3/v		2,22	59,3	0,342	2,25
Mittelwert		2,39	50,4	0,346	2,41
W10/4/A1/v		2,55	45,4	0,353	2,57
W10/4/A2/v		2,44	44,0	0,347	2,46
W10/4/A3/v		2,28	45,7	0,340	2,30
Mittelwert		2,42	45,1	0,347	2,44
W10 / A / Mittel		2,41	47,7	0,347	2,42
W10/3/A1/h		O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,97	6,2	0,354
W10/3/A2/h	2,73		6,1	0,349	2,44
W10/3/A3/h	2,44		6,6	0,344	2,19
Mittelwert	2,71		6,3	0,349	2,43
W10/4/A1/h	2,95		5,4	0,356	2,60
W10/4/A2/h	2,86		5,8	0,348	2,54
W10/4/A3/h	2,31		6,2	0,342	2,07
Mittelwert	2,70		5,8	0,349	2,40
W10 / O / Mittel	2,71		6,1	0,349	2,42
W10/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂		1,96	23,0	0,407
W10/13/S2/v		1,85	21,9	0,398	1,82
W10/13/S3/v		1,88	20,7	0,398	1,85
W10 / S28 / Mittel		1,90	21,9	0,401	1,87
W10/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,64	13,7	0,415	1,57
W10/15/S2/v		1,52	13,7	0,408	1,46
W10/15/S3/v		1,23	14,6	0,398	1,19
W10 / S56 / Mittel		1,46	14,0	0,407	1,41
W10/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,80	3,5	0,372	2,32
W10/18/AL2/h		2,75	3,5	0,368	2,28
W10/18/AL3/h		2,46	3,2	0,357	2,01
W10 / AL12 / Mittel		2,67	3,4	0,365	2,21
W10/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,61	4,1	0,372	2,22
W10/26/AL2/h		2,58	3,9	0,368	2,18
W10/26/AL3/h		2,05	3,7	0,350	1,71
W10 / AL18 / Mittel		2,41	3,9	0,363	2,04
W10/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,68	5,1	0,375	2,34
W10/41/AL2/h		2,08	5,1	0,358	1,81
W3 / AL18+9 /Mittel		2,38	5,1	0,366	2,08
W10/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	2,71	4,4	0,362	2,33
W10/33/AL2/h		2,83	4,7	0,365	2,45
W10/33/AL3/h		2,90	4,6	0,372	2,50
W3 / AL40 / Mittel		2,81	4,6	0,366	2,43

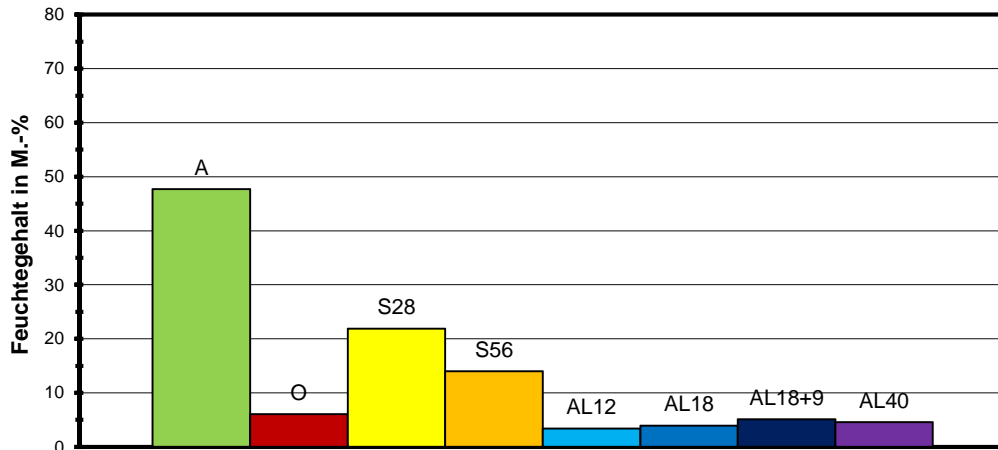
Werk W10



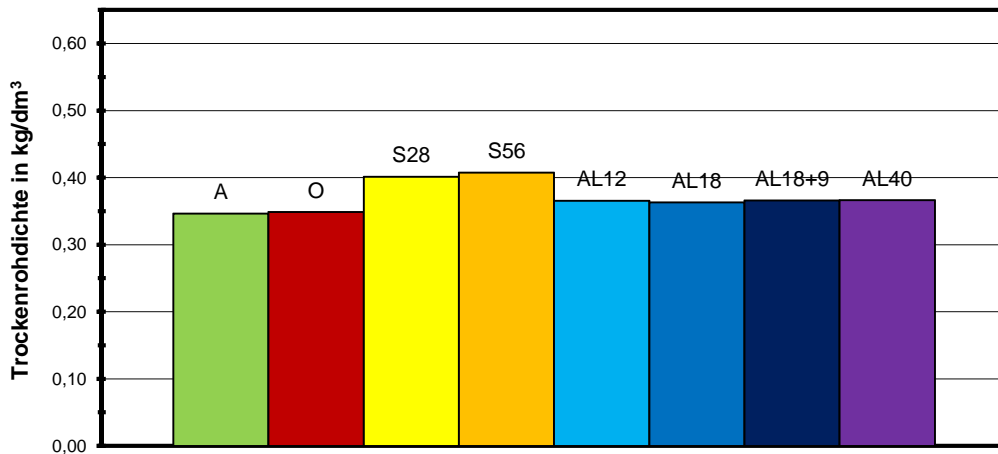
Werk W10



Werk W10



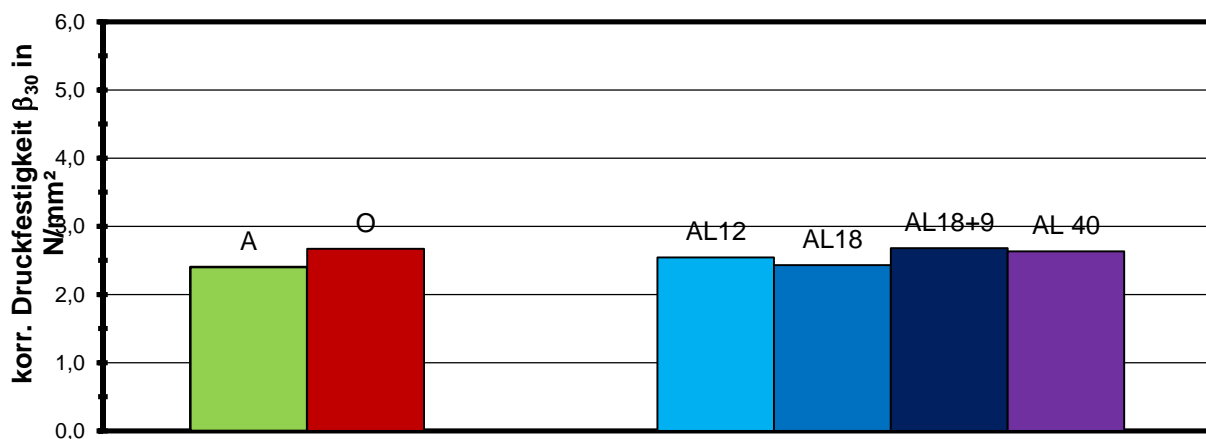
Werk W10



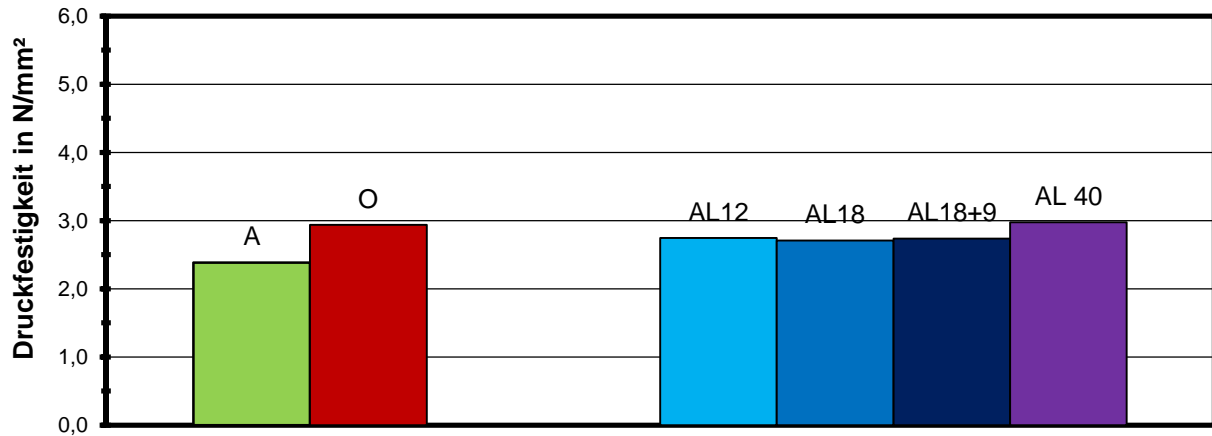
Steine PP 2-0,35 aus Werk W10
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W10/10/A	A Anlieferungsfeuchte	2,50	45,5	0,344	2,52
W10/11/A		2,24	45,4	0,345	2,25
W10/12/A		2,41	44,7	0,348	2,43
W10 / A / Mittel		2,38	45,2	0,346	2,40
W10/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,87	6,2	0,350	2,57
W10/8/A		2,97	7,7	0,346	2,72
W10/9/A		2,97	7,7	0,347	2,72
W10 / O / Mittel		2,94	7,2	0,348	2,67
W10/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,68	8,5	0,357	2,48
W10/21/A		2,87	9,4	0,357	2,68
W10/22/A		2,68	8,5	0,356	2,48
W10 / AL12 / Mittel		2,74	8,8	0,357	2,54
W10/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,56	6,2	0,359	2,30
W10/29/A		2,71	6,2	0,359	2,43
W10/30/A		2,86	6,6	0,358	2,58
W10 / AL18 / Mittel		2,71	6,4	0,359	2,43
W10/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,74	19,4	0,371	2,68
W10/44/A					
W10/45/A					
W10 / AL18+9 / Mittel		2,74	19,4	0,371	2,68
W10/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	3,02	6,1	0,365	2,70
W10/36/A		3,06	5,7	0,368	2,72
W10/37/A		2,84	5,1	0,368	2,48
W10 / AL40 / Mittel		2,97	5,7	0,367	2,63

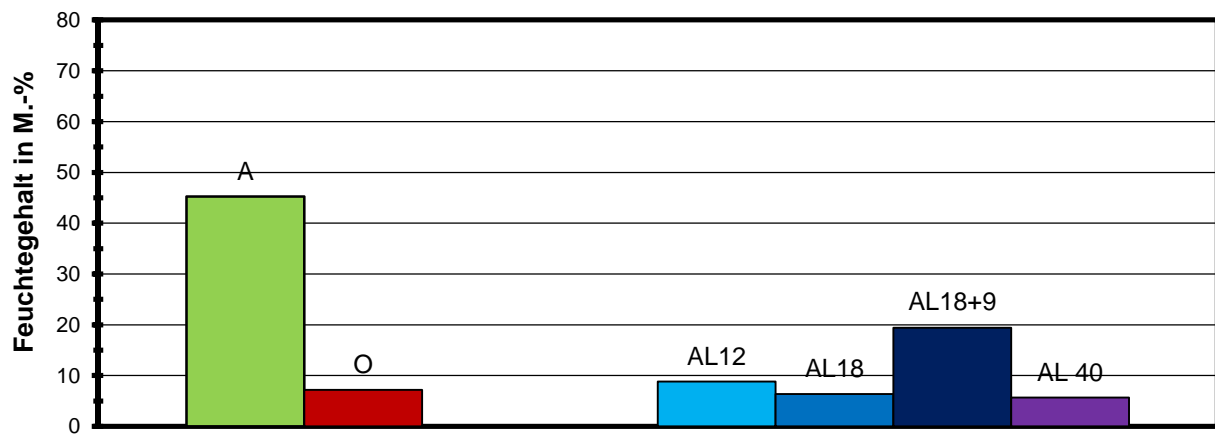
Werk W10



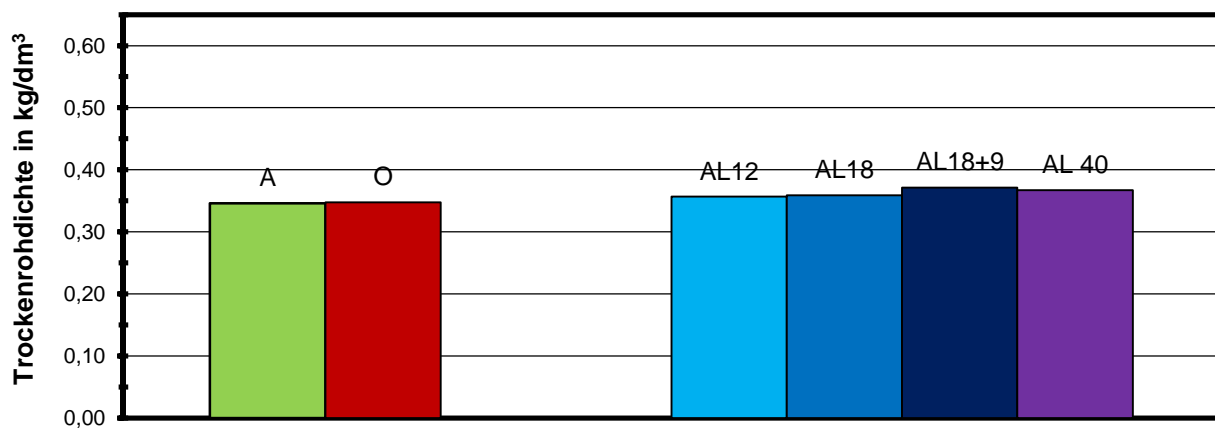
Werk W10



Werk W10



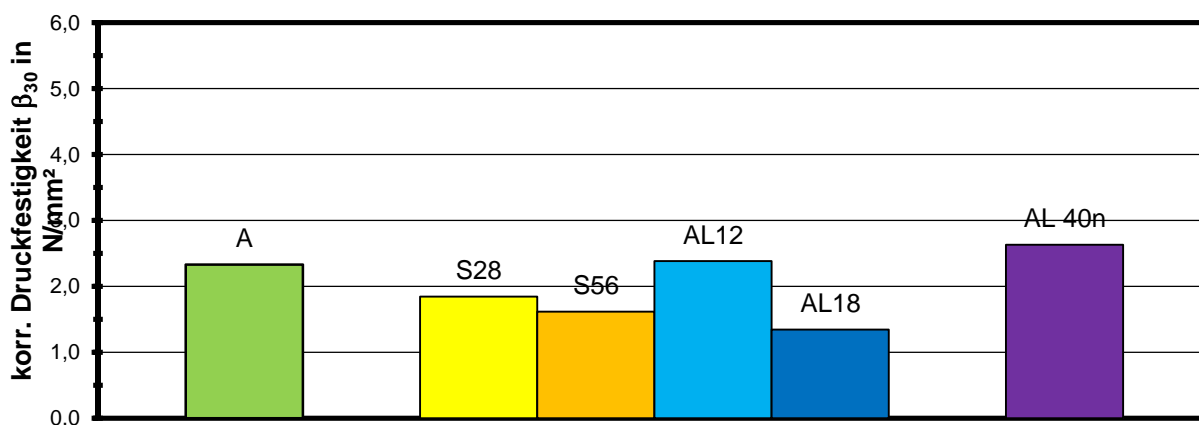
Werk W10



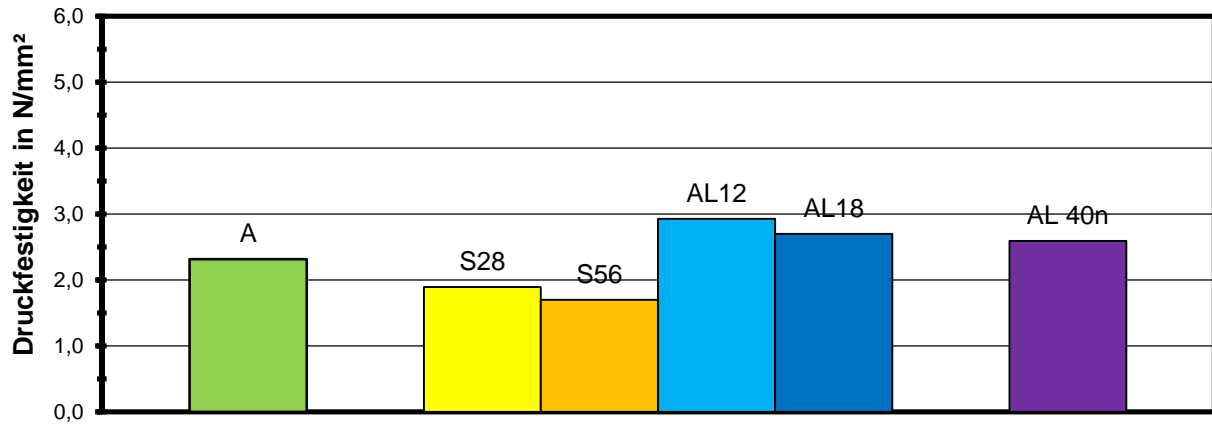
Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W10
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W10/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	2,52	42,4	0,353	2,54
W10/5/A2/u/v		2,36	46,5	0,345	2,38
W10/5/A3/u/v		1,75	42,9	0,335	1,76
Mittelwert		2,21	43,9	0,344	2,23
W10/6/A1/u/v		2,54	42,4	0,355	2,55
W10/6/A2/u/v		2,45	42,5	0,348	2,46
W10/6/A3/u/v		2,27	41,0	0,349	2,28
Mittelwert		2,42	42,0	0,351	2,43
W10 / A / Mittel		2,32	43,0	0,347	2,33
W10/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	1,99	16,6	0,410	1,93
W10/14/S2/u/v		1,90	18,4	0,403	1,85
W10/14/S3/u/v		1,79	18,6	0,393	1,75
W10 / S28 / Mittel		1,89	17,8	0,402	1,84
W10/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,84	11,4	0,419	1,75
W10/16/S2/u/v		1,66	12,1	0,408	1,58
W10/16/S3/u/v		1,60	12,1	0,400	1,52
W10 / S56 / Mittel		1,70	11,9	0,409	1,61
W10/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	3,12	2,9	0,373	2,51
W10/19/AL2/u/v		2,90	3,3	0,364	2,38
W10/19/AL3/u/v		2,77	3,1	0,357	2,25
W10 / AL12 / Mittel		2,93	3,1	0,365	2,38
W10/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	3,05	0,0	0,370	1,50
W10/27/AL2/u/v		2,86	0,0	0,364	1,42
W10/27/AL3/u/v		2,19	0,1	0,355	1,11
W10 / AL18 / Mittel		2,70	0,0	0,363	1,35
=AL40(nass)!A\$15	AL40 (nass) 40 Monate Außenlagerung, 1 Tag unter Wasser	2,82	68,0	0,375	2,86
=AL40(nass)!A\$17		2,54	73,0	0,367	2,58
=AL40(nass)!A\$19		2,41	75,0	0,361	2,45
W10 / AL40(nass) / Mittel		2,59	72,0	0,368	2,63

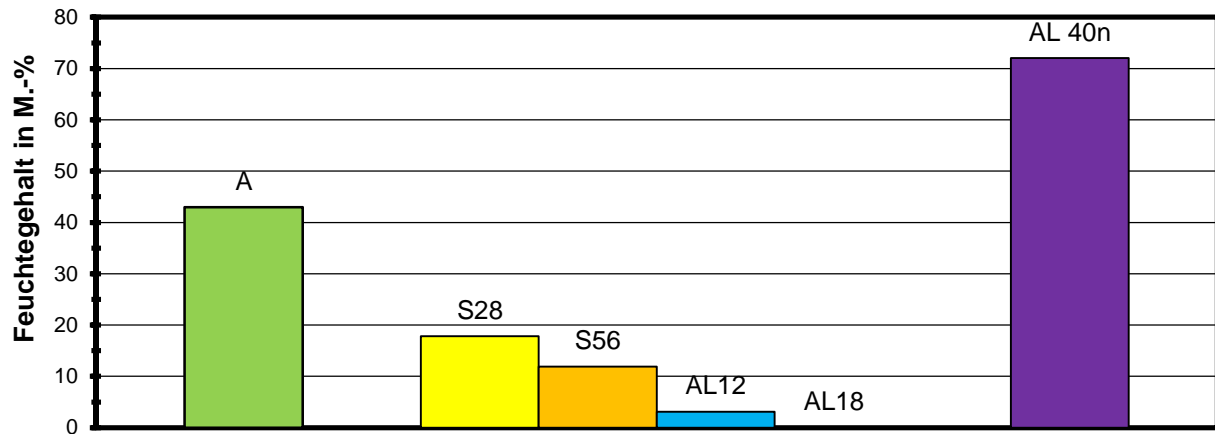
Werk W10



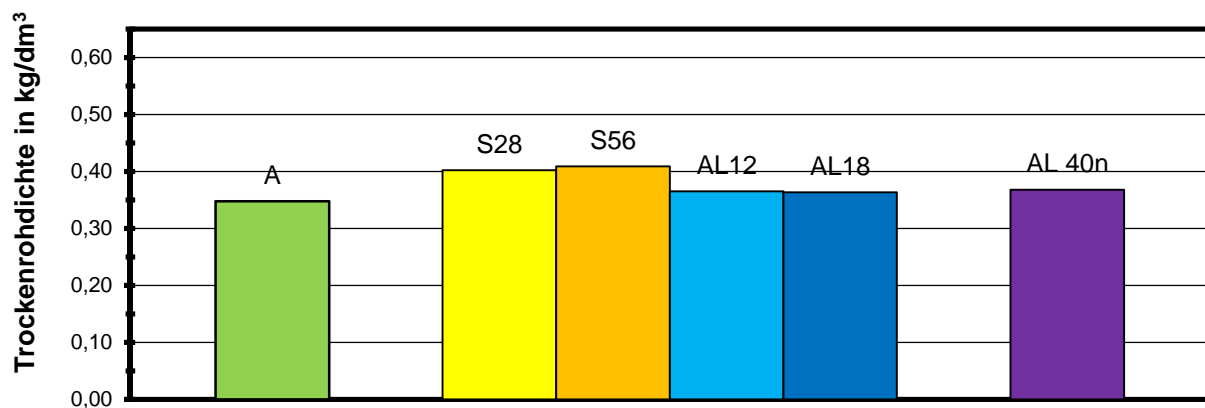
Werk W10



Werk W10



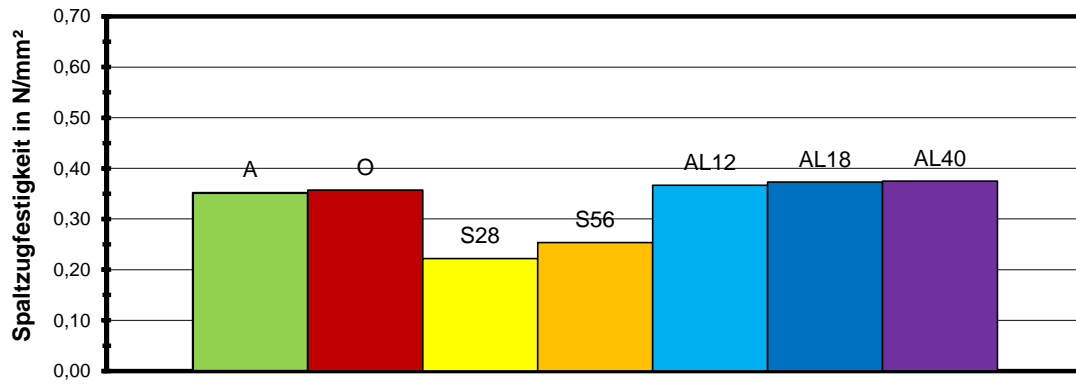
Werk W10



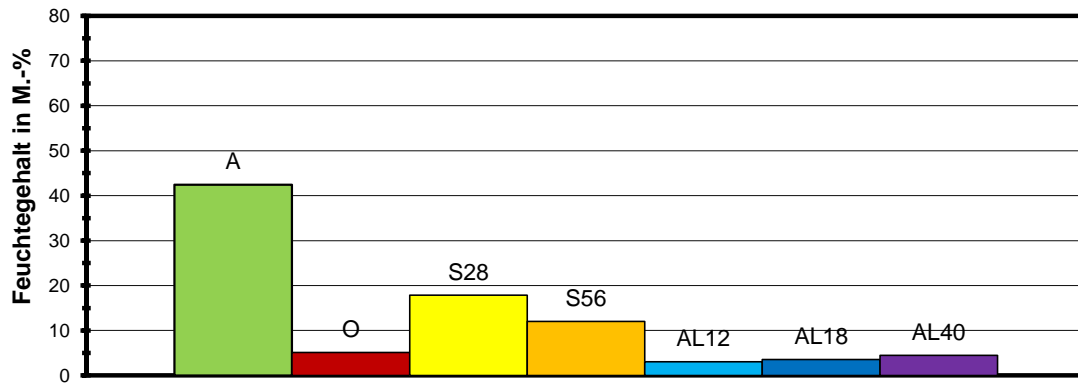
Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W10
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzugfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenroh-dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W10/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,35	39,5	0,350
W10/5/A2/o/v		0,36	41,6	0,346
W10/5/A3/o/v		0,32	43,1	0,331
Mittelwert		0,35	41,4	0,342
W10/6/A1/o/v		0,36	41,7	0,352
W10/6/A2/o/v		0,36	43,8	0,343
W10/6/A3/o/v		0,35	45,0	0,343
Mittelwert		0,36	43,5	0,346
W10 / A / Mittel		0,35	42,4	0,344
W10/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	0,33	9,6	0,337
W10/5/A2/o/h		0,36	4,3	0,351
W10/5/A3/o/h		0,37	4,1	0,350
Mittelwert		0,36	6,0	0,346
W10/6/A1/o/h		0,40	3,9	0,356
W10/6/A2/o/h		0,33	5,1	0,344
W10/6/A3/o/h		0,35	3,7	0,345
Mittelwert		0,36	4,2	0,348
W10 / O / Mittel		0,36	5,1	0,347
W10/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,23	18,4	0,410
W10/14/S2/o/v		0,24	18,2	0,402
W10/14/S3/o/v		0,20	17,1	0,390
W10 / S28 / Mittel		0,22	17,9	0,401
W10/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,28	12,1	0,412
W10/16/S2/o/v		0,26	12,2	0,403
W10/16/S3/o/v		0,23	11,8	0,396
W10 / S56 / Mittel		0,25	12,0	0,404
W10/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,38	2,9	0,373
W10/19/AL2/o/h		0,37	3,1	0,364
W10/19/AL3/o/h		0,35	3,1	0,355
W10 / AL12 / Mittel		0,37	3,1	0,364
W10/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,39	3,6	0,370
W10/27/AL2/o/h		0,36	3,6	0,363
W10/27/AL3/o/h		0,37	3,3	0,352
W10 / AL18 / Mittel		0,37	3,5	0,362
W10/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,37	4,5	0,372
W10/34/AL2/o/h		0,37	4,6	0,361
W10/34/AL3/o/h		0,38	4,3	0,352
W10 / AL40 / Mittel		0,37	4,4	0,362

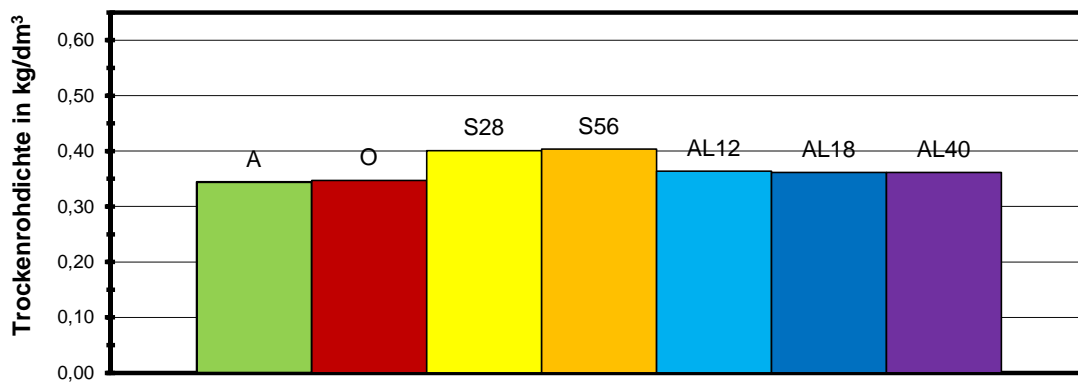
Werk W10



Werk W10

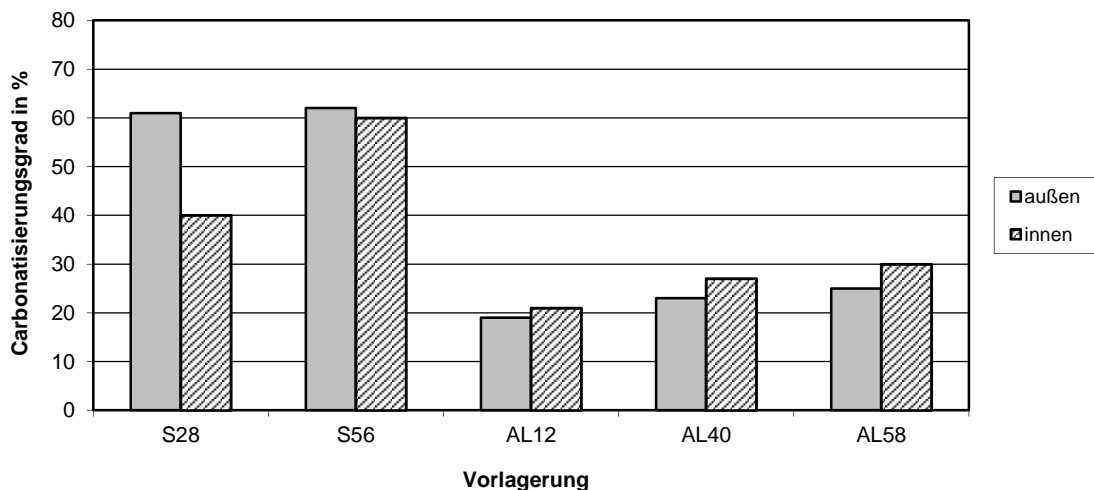
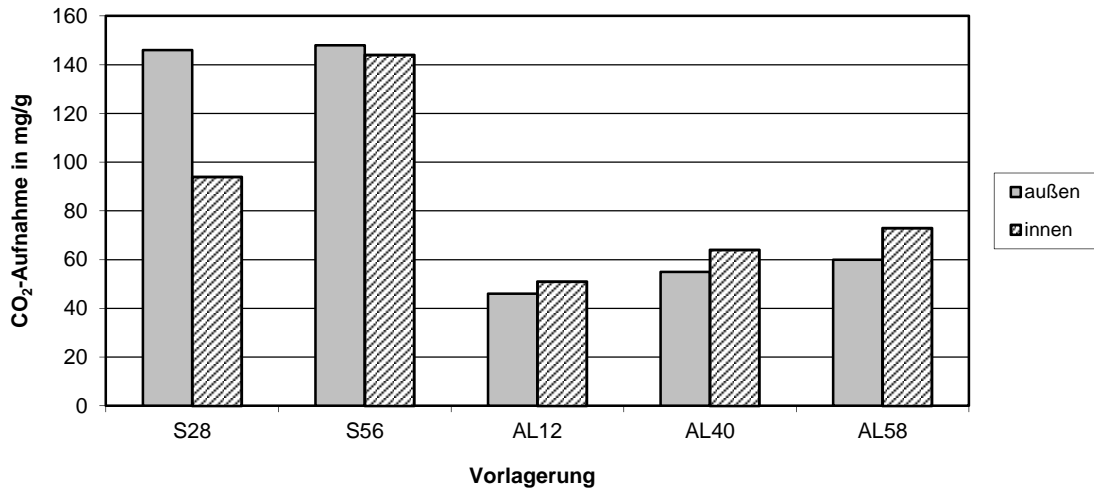


Werk W10



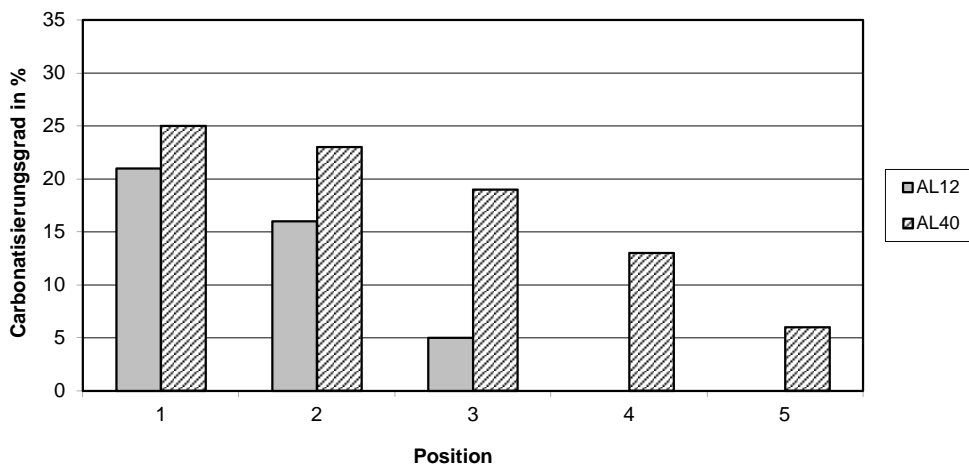
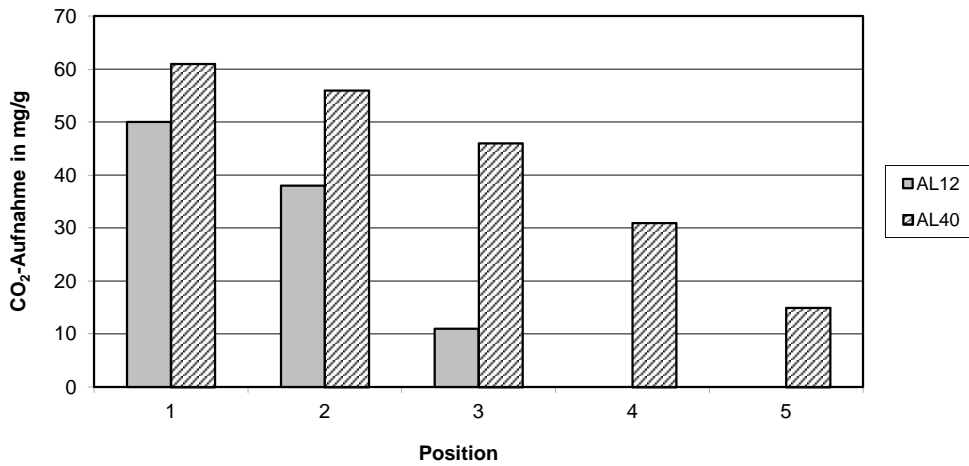
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W10
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W10 / S28 / 1	28 Tage 1 % CO ₂	146	94	61	40
W10 / S28 / 2		146	94	61	40
W10 / S28 / Mittel		146	94	61	40
W10 / S56 / 1	56 Tage 1 % CO ₂	148	143	62	60
W10 / S56 / 2		147	144	62	60
W10 / S56 / Mittel		148	144	62	60
W10 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	46	51	19	21
W10 / AL12 / 2		46	51	19	21
W10 / AL12 / Mittel		46	51	19	21
W10 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	55	64	23	27
W10 / AL40 / 2		55	64	23	27
W10 / AL40 / Mittel		55	64	23	27
W10 / AL58 / 1	Außenlager über 58 Monate	60	73	25	30
W10 / AL58 / 2		60	73	25	30
W10 / AL58 / Mittel		60	73	25	30
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				31,19 M.-%	



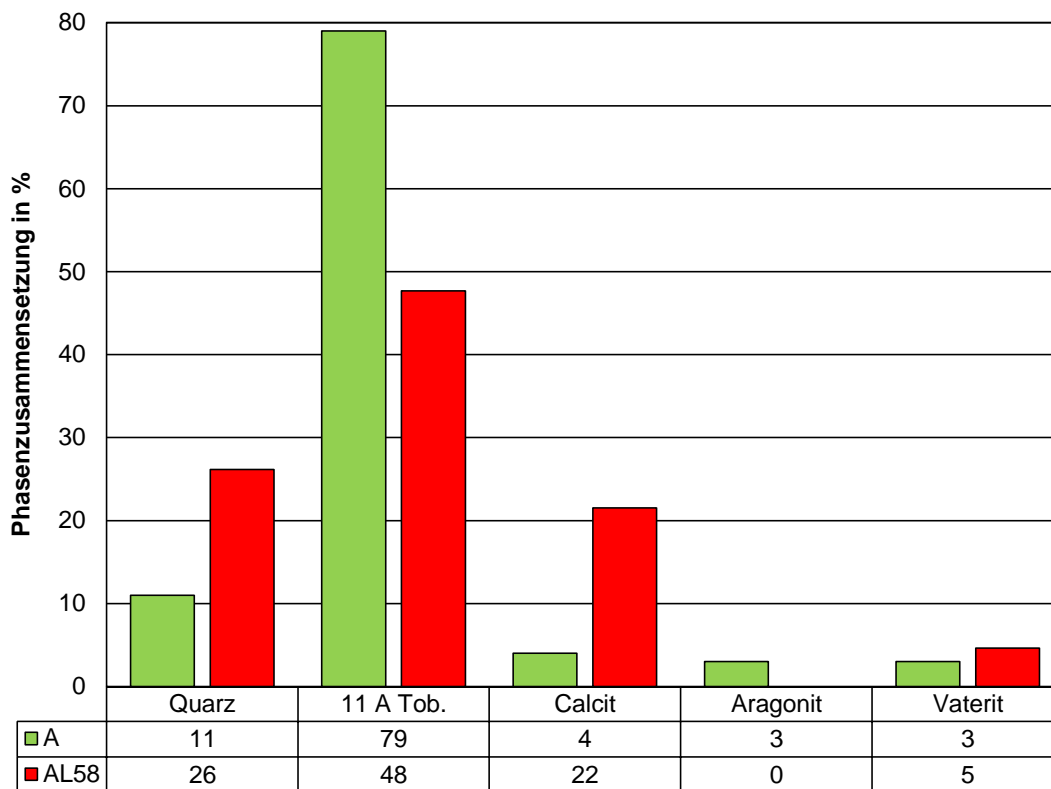
**Profil der Steine PP 2-0,35 aus Werk W10
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W10 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	50	21
W10 / AL12 / 2		38	16
W10 / AL12 / 3		11	5
W10 / AL12 / 4		0	0
W10 / AL12 / 5		0	0
W10 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	61	25
W10 / AL40 / 2		56	23
W10 / AL40 / 3		46	19
W10 / AL40 / 4		31	13
W10 / AL40 / 5		15	6
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			31,19 M.-%



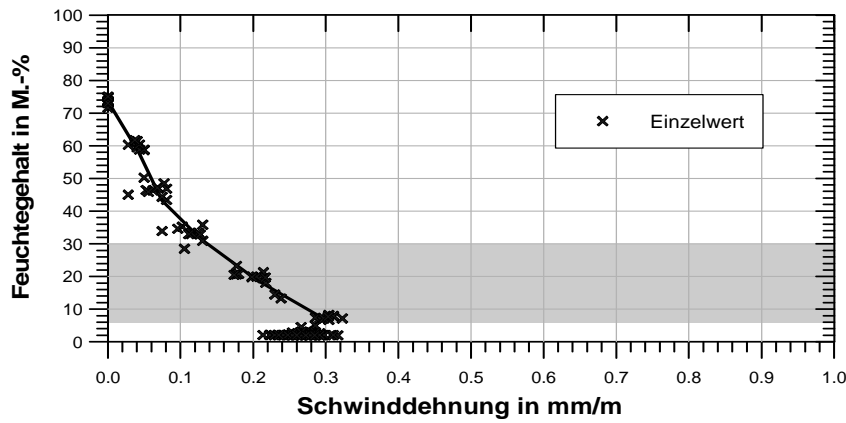
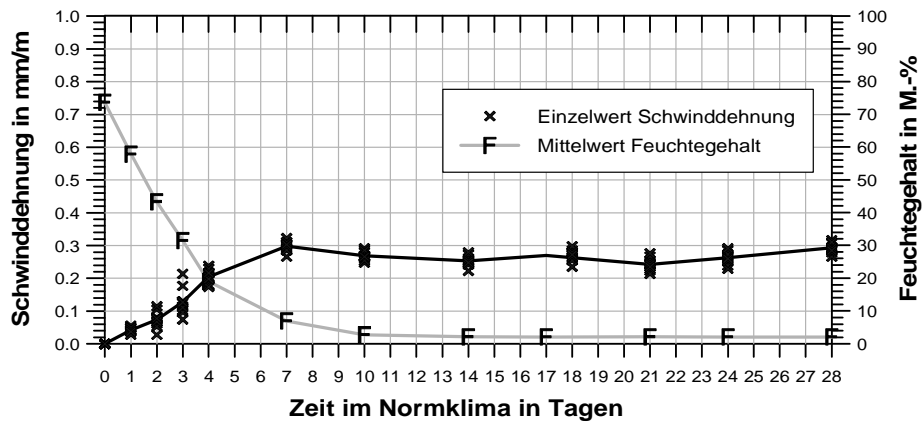
Phasenzusammensetzung der Steine PP 2-0,35 aus Werk W10

W10 - Außenlagerung



Prismen der Steine PP 4-0,50 aus Werk W10a
Schwindmessungen

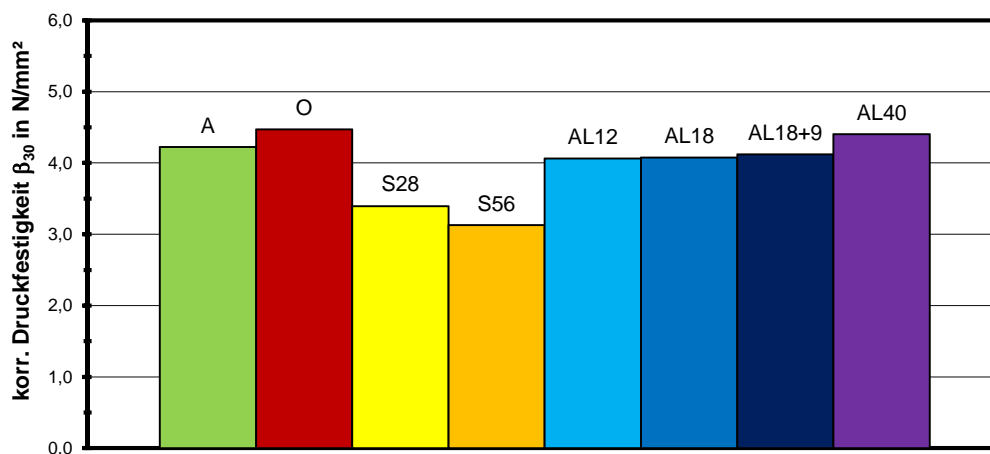
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W10a / 1 / A Mittelwert	0	73,7	0,000	0,000	0,000
	1	58,1	0,045	0,005	0,045
	2	43,6	0,074	0,007	0,074
	3	31,2	0,123	0,012	0,122
	4	18,8	0,207	0,021	0,207
	7	7,1	0,301	0,030	0,300
	10	2,8	0,268	0,027	0,267
	14	2,1	0,255	0,026	0,255
	18	2,1	0,279	0,028	0,279
	21	2,1	0,246	0,025	0,245
	24	2,1	0,267	0,027	0,266
28	2,1	0,291	0,029	0,290	
W10a / 2 / A Mittelwert	0	73,6	0,000	0,000	0,000
	1	57,6	0,040	0,004	0,040
	2	43,1	0,074	0,007	0,074
	3	31,7	0,133	0,013	0,133
	4	19,2	0,202	0,020	0,201
	7	6,8	0,295	0,030	0,295
	10	2,7	0,269	0,027	0,269
	14	2,1	0,251	0,025	0,250
	17	2,1	0,262	0,026	0,262
	21	2,1	0,240	0,024	0,240
	24	2,1	0,259	0,026	0,258
28	2,1	0,295	0,030	0,295	
W10a / A Mittelwert	0	73,6	0,000	0,000	0,000
	1	57,9	0,043	0,004	0,043
	2	43,3	0,074	0,007	0,074
	3	31,5	0,128	0,013	0,128
	4	19,0	0,204	0,020	0,204
	7	7,0	0,298	0,030	0,298
	10	2,7	0,269	0,027	0,268
	14	2,1	0,253	0,025	0,253
	17	2,1	0,271	0,027	0,270
	21	2,1	0,243	0,024	0,243
	24	2,1	0,263	0,026	0,262
28	2,1	0,293	0,029	0,293	



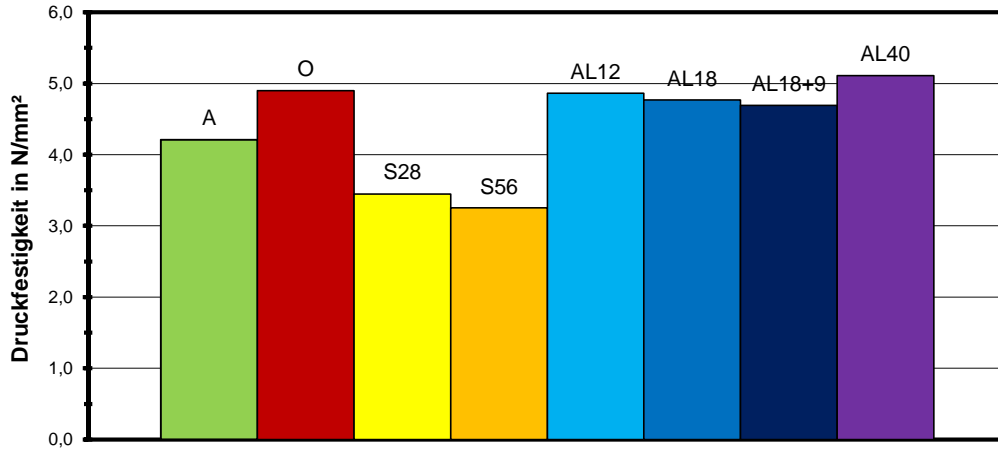
**Prismen der Steine PP 4-0,50 aus Werk W10a
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	kor. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W10a/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	4,38	37,1	0,508	4,39
W10a/3/A2/v		4,18	38,7	0,500	4,20
W10a/3/A3/v		4,02	40,7	0,506	4,04
Mittelwert		4,19	38,8	0,505	4,21
W10a/4/A1/v		4,30	39,7	0,509	4,32
W10a/4/A2/v		4,22	40,4	0,501	4,24
W10a/4/A3/v		4,15	41,7	0,490	4,17
Mittelwert		4,22	40,6	0,500	4,24
W10a / A / Mittel		4,21	39,7	0,502	4,22
W10a/3/A1/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	5,01	7,6	0,508	4,59
W10a/3/A2/h		5,05	7,4	0,504	4,61
W10a/3/A3/h		4,84	5,7	0,507	4,29
Mittelwert		4,97	6,9	0,506	4,49
W10a/4/A1/h		5,08	7,8	0,508	4,66
W10a/4/A2/h		4,59	8,0	0,498	4,22
W10a/4/A3/h		4,81	8,8	0,493	4,46
Mittelwert		4,83	8,2	0,500	4,45
W10a / O / Mittel		4,90	7,5	0,503	4,47
W10a/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	3,44	23,0	0,564	3,39
W10a/13/S2/v		3,86	21,9	0,561	3,80
W10a/13/S3/v		3,04	22,6	0,553	3,00
W10a / S28 / Mittel		3,45	22,5	0,559	3,40
W10a/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	3,41	14,1	0,584	3,28
W10a/15/S2/v		3,07	13,6	0,588	2,95
W10a/15/S3/v		3,27	15,1	0,574	3,16
W10a / S56 / Mittel		3,25	14,3	0,582	3,13
W10a/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	4,92	3,6	0,522	4,10
W10a/18/AL2/h		4,82	3,6	0,514	4,01
W10a/18/AL3/h		4,85	3,8	0,508	4,07
W10a / AL12 / Mittel		4,86	3,7	0,515	4,06
W10a/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	5,04	4,4	0,523	4,32
W10a/26/AL2/h		4,83	4,3	0,515	4,13
W10a/26/AL3/h		4,43	4,3	0,508	3,78
W10a / AL18 / Mittel		4,77	4,3	0,515	4,08
W10a/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	4,52	5,3	0,528	3,97
W10a/41/AL2/h		4,52	5,3	0,528	3,97
W10a/41/AL3/h		4,87	5,2	0,513	4,27
W3 / AL18+9 / Mittel		4,69	5,3	0,520	4,12
W10a/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	5,26	4,6	0,521	4,54
W10a/33/AL2/h		5,12	4,6	0,516	4,41
W10a/33/AL3/h		4,95	4,6	0,510	4,26
W3 / AL40 / Mittel			5,11	4,6	0,515

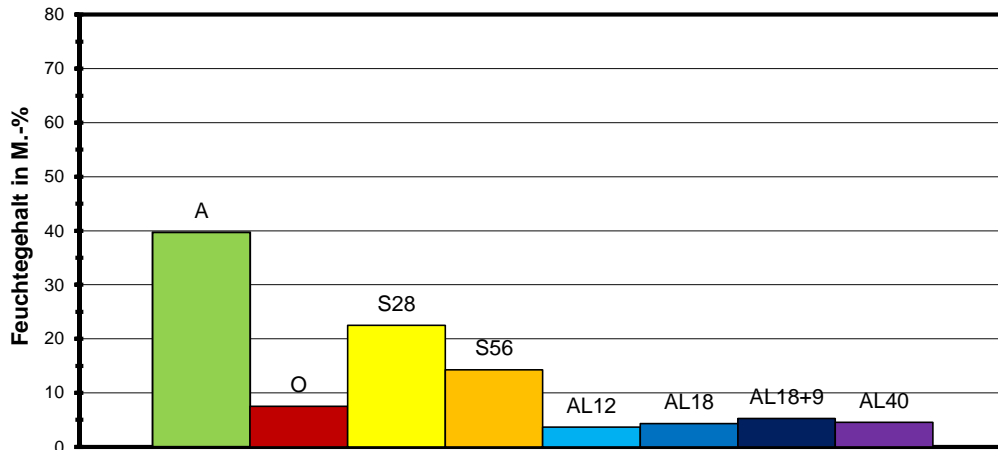
Werk W10a



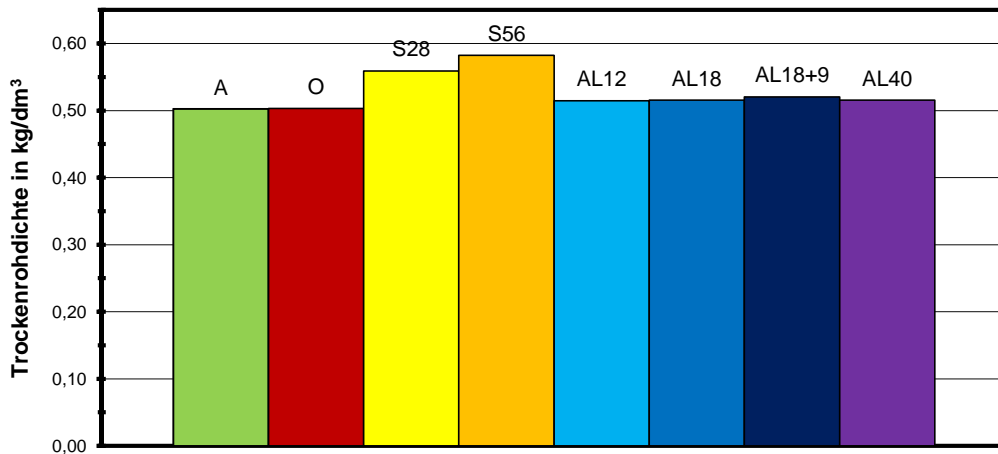
Werk W10a



Werk W10a



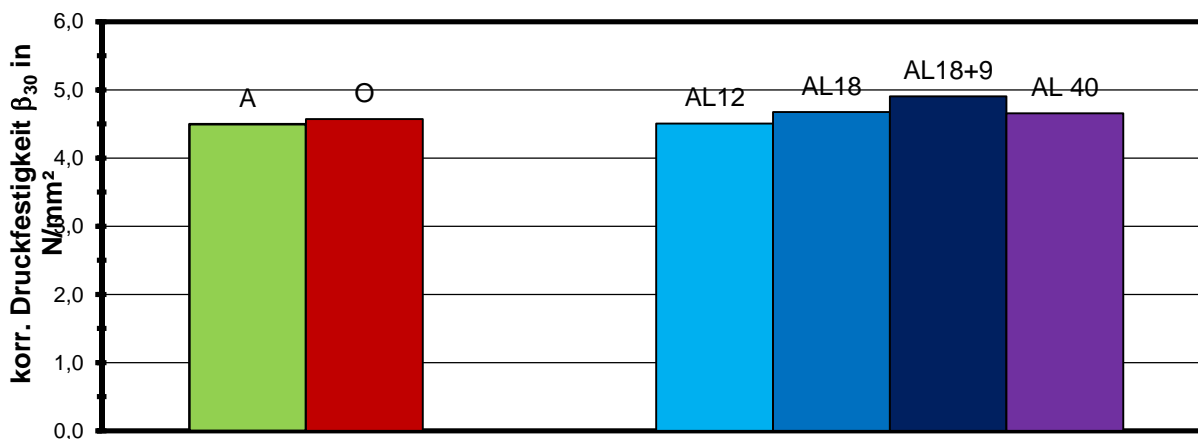
Werk W10a



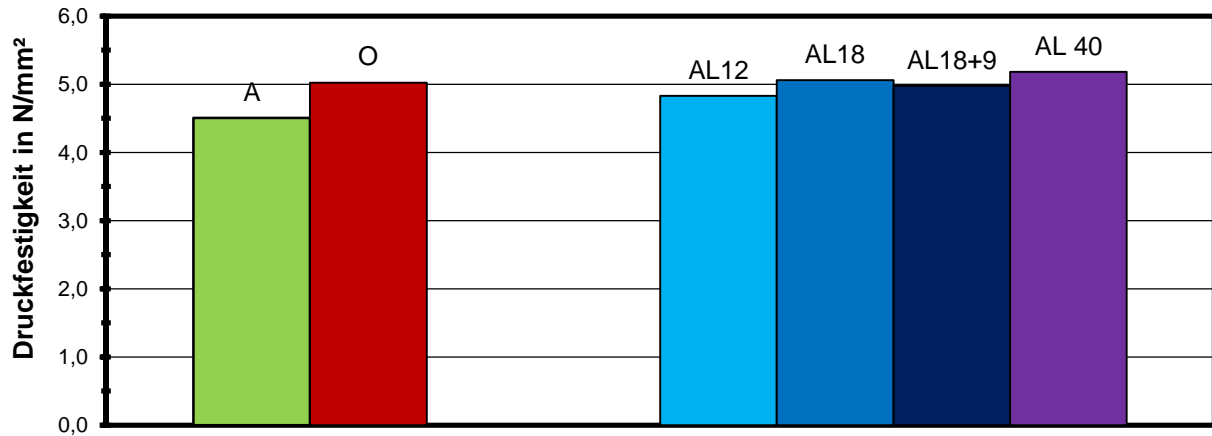
Steine PP 4-0,50 aus Werk W10a
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W10a/10/A	A Anlieferungsfeuchte	4,55	31,0	0,504	4,54
W10a/11/A		4,50	32,7	0,501	4,49
W10a/12/A		4,47	32,9	0,502	4,46
W10a / A / Mittel		4,51	32,2	0,502	4,50
W10a/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	5,01	8,6	0,500	4,64
W10a/8/A		5,08	7,7	0,500	4,66
W10a/9/A		4,98	5,7	0,500	4,41
W10a / O / Mittel		5,02	7,4	0,500	4,57
W10a/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	4,85	9,7	0,511	4,53
W10a/21/A		4,86	9,8	0,507	4,55
W10a/22/A		4,78	9,0	0,507	4,44
W10a / AL12 / Mittel		4,83	9,5	0,508	4,51
W10a/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	5,25	8,4	0,507	4,85
W10a/29/A		5,01	8,3	0,508	4,62
W10a/30/A		4,91	8,7	0,507	4,55
W10a / AL18 / Mittel		5,06	8,5	0,507	4,68
W10a/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	4,97	23,1	0,429	4,91
W10a / AL18+9 / Mittel		4,97	23,1	0,429	4,91
W10a/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	5,00	6,3	0,513	4,49
W10a/36/A		5,33	6,7	0,513	4,81
W10a/37/A		5,21	6,3	0,512	4,67
W10a / AL40 / Mittel		5,18	6,4	0,513	4,66

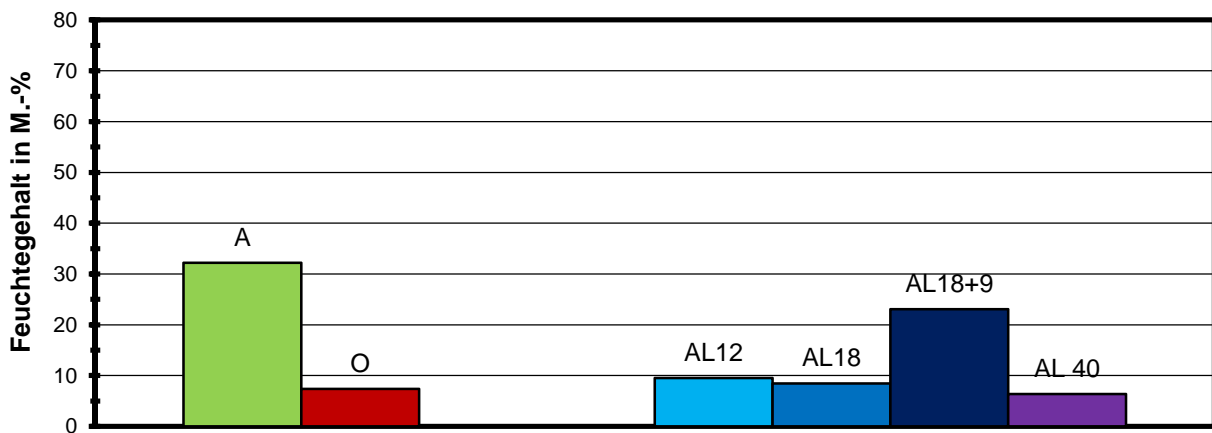
Werk W10a



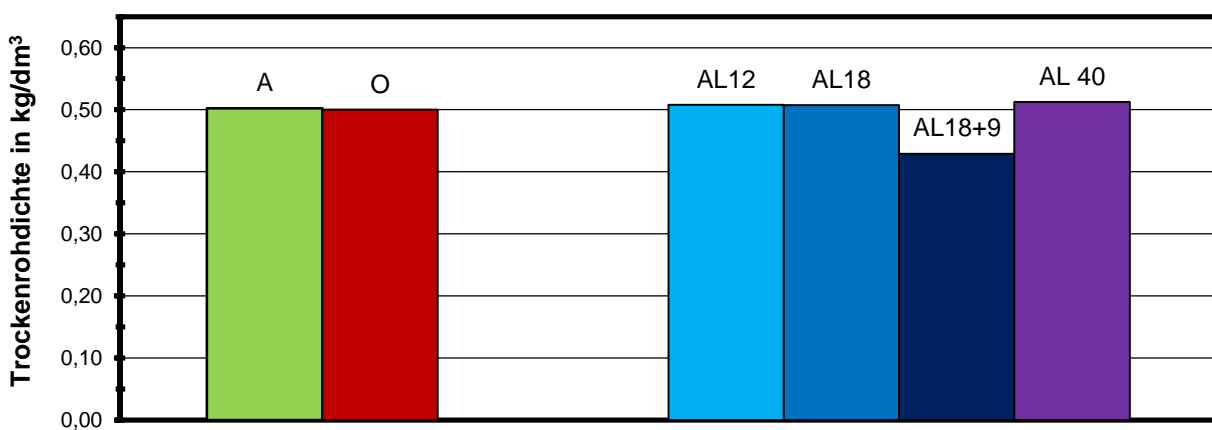
Werk W10a



Werk W10a



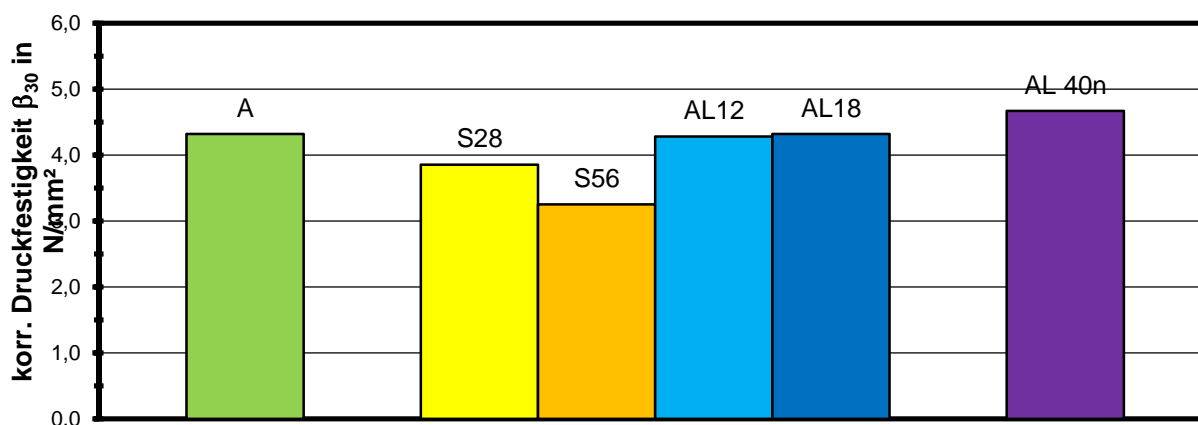
Werk W10a



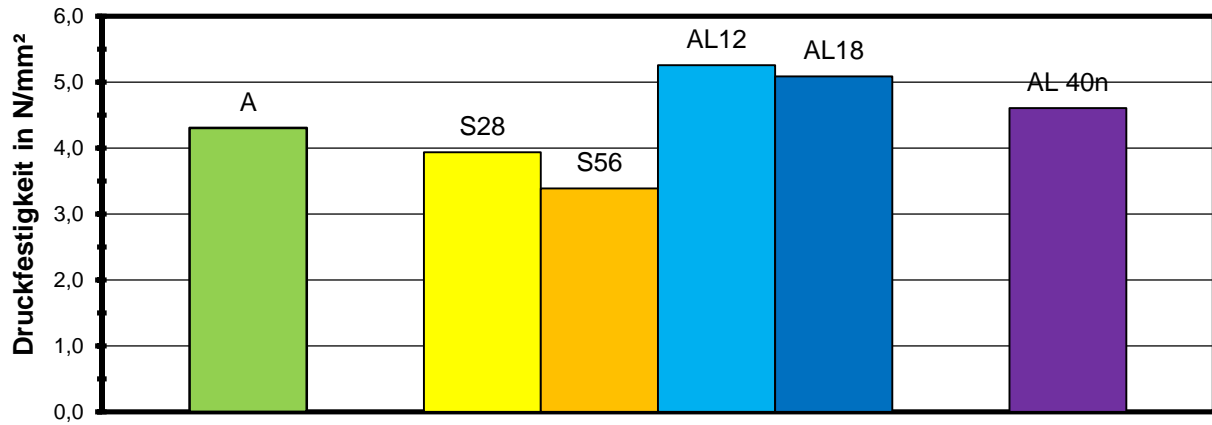
**Würfel der Steine PP 4-0,05 aus Werk W10a
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W10a/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	4,51	40,2	0,513	4,53
W10a/5/A2/u/v		4,34	40,4	0,505	4,36
W10a/5/A3/u/v		4,24	40,6	0,497	4,25
Mittelwert		4,36	40,4	0,505	4,38
W10a/6/A1/u/v		4,43	37,6	0,513	4,44
W10a/6/A2/u/v		4,15	37,4	0,503	4,16
W10a/6/A3/u/v		4,15	38,1	0,495	4,16
Mittelwert		4,24	37,7	0,504	4,26
W10a / A / Mittel			4,30	39,1	0,504
W10a/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	4,23	19,7	0,569	4,14
W10a/14/S2/u/v		3,96	20,2	0,564	3,88
W10a/14/S3/u/v		3,61	20,1	0,555	3,54
W10a / S28 / Mittel		3,94	20,0	0,563	3,86
W10a/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	3,49	13,2	0,592	3,34
W10a/16/S2/u/v		3,34	13,8	0,584	3,20
W10a/16/S3/u/v		3,34	14,0	0,573	3,21
W10a / S56 / Mittel		3,39	13,6	0,583	3,25
W10a/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	5,22	3,2	0,526	4,26
W10a/19/AL2/u/v		5,27	3,2	0,521	4,31
W10a/19/AL3/u/v		5,28	3,0	0,525	4,28
W10a / AL12 / Mittel		5,25	3,1	0,524	4,28
W10a/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	5,40	4,1	0,499	4,59
W10a/27/AL2/u/v		5,00	4,1	0,523	4,24
W10a/27/AL3/u/v		4,85	4,2	0,519	4,13
W10a / AL18 / Mittel		5,09	4,1	0,514	4,32
W10a/34/AL1/u/v	AL40(nass) 18 Monate Außenlagerung, 1 Tag unter Wasser	4,94	60,4	0,519	5,01
W10a/34/AL2/u/v		4,42	63,4	0,510	4,48
W10a/34/AL3/u/v		4,46	64,2	0,505	4,52
W10a / AL40(nass) / Mittel		4,61	62,6	0,511	4,67

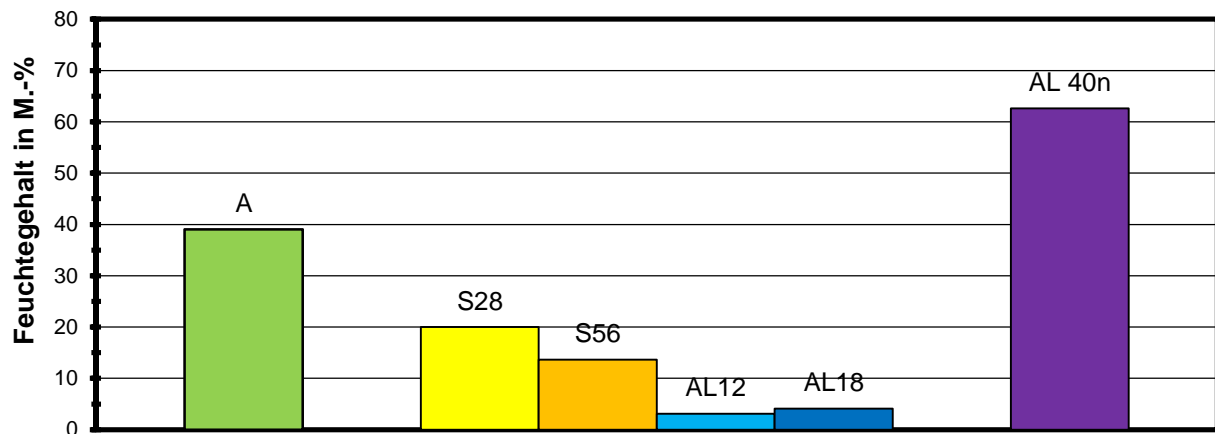
Werk W10a



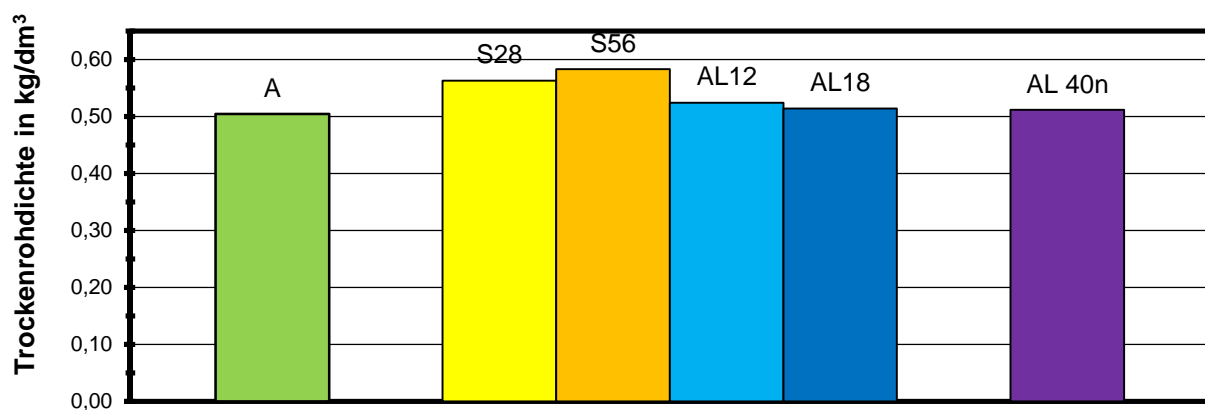
Werk W10a



Werk W10a

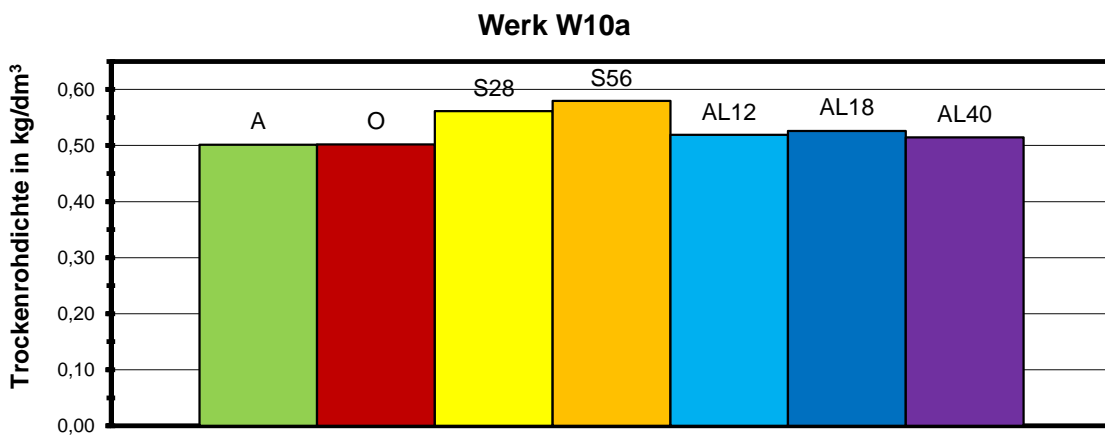
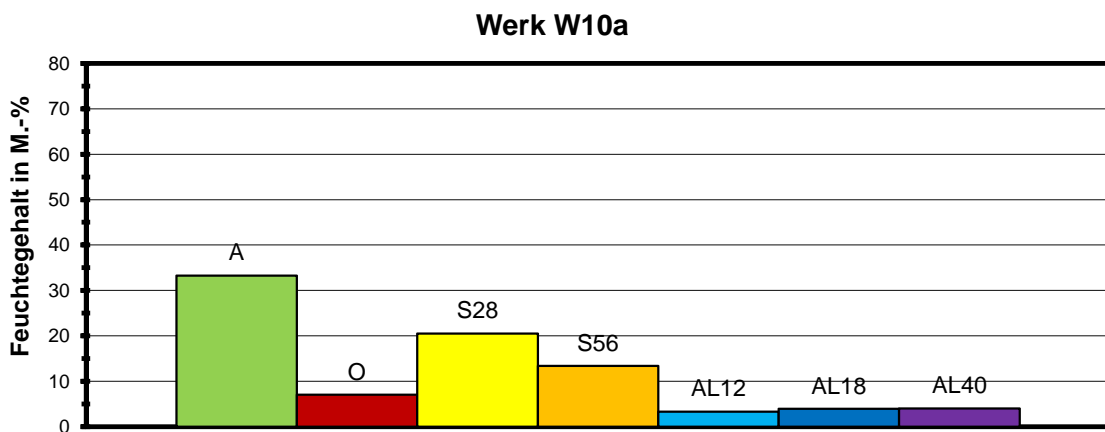
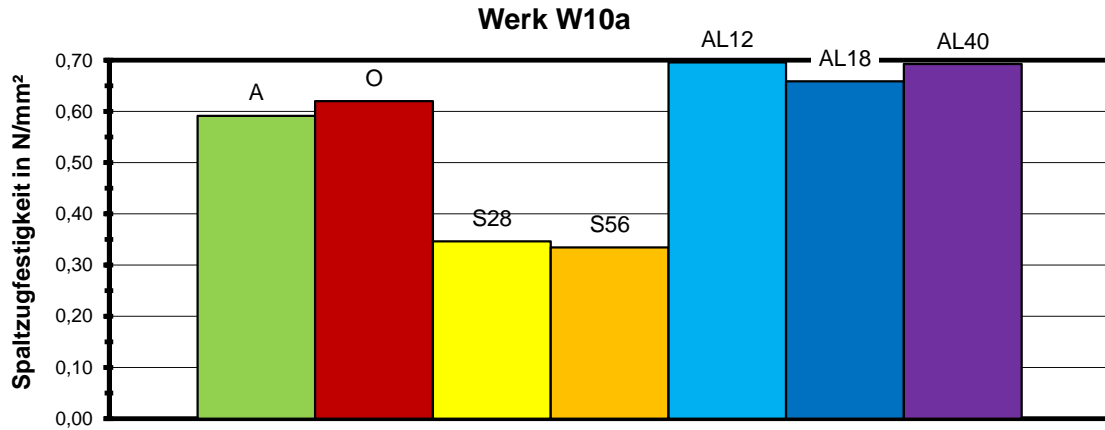


Werk W10a



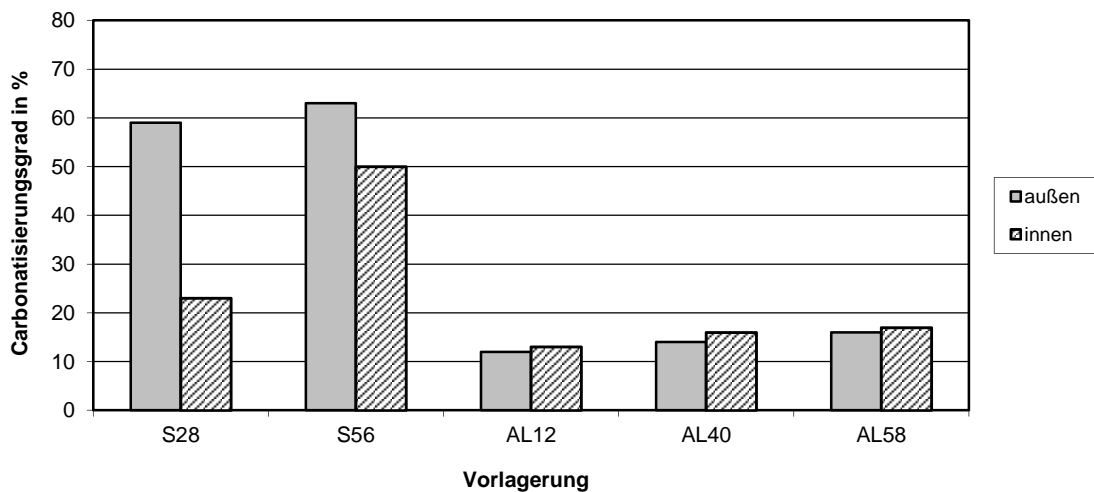
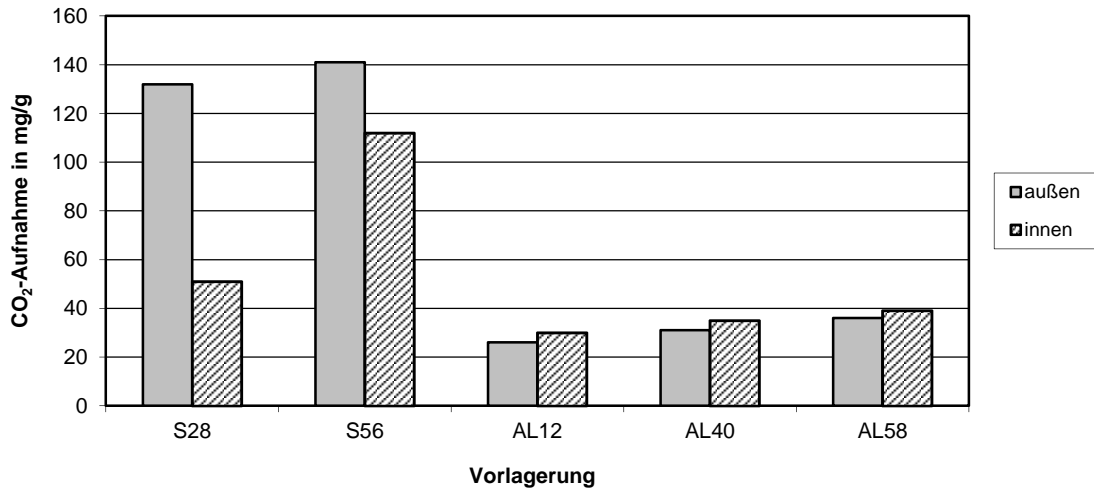
Würfel der Steine PP 4-0,50 aus Werk W10a
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzugfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenroh-dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W10a/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,62	35,6	0,509
W10a/5/A2/o/v		0,61	33,6	0,502
W10a/5/A3/o/v		0,60	35,7	0,494
Mittelwert		0,61	35,0	0,501
W10a/6/A1/o/v		0,60	32,3	0,507
W10a/6/A2/o/v		0,59	30,1	0,503
W10a/6/A3/o/v		0,53	32,3	0,494
Mittelwert		0,57	31,5	0,501
W10a / A / Mittel		0,59	33,2	0,501
W10a/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	0,64	6,1	0,509
W10a/5/A2/o/h		0,67	5,5	0,501
W10a/5/A3/o/h		0,68	5,9	0,495
Mittelwert		0,66	5,8	0,502
W10a/6/A1/o/h		0,66	4,7	0,513
W10a/6/A2/o/h		0,53	10,8	0,504
W10a/6/A3/o/h		0,55	9,4	0,491
Mittelwert		0,58	8,3	0,503
W10a / O / Mittel		0,62	7,1	0,502
W10a/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,37	21,1	0,570
W10a/14/S2/o/v		0,34	19,6	0,564
W10a/14/S3/o/v		0,33	20,9	0,550
W10a / S28 / Mittel		0,35	20,5	0,561
W10a/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,32	12,7	0,587
W10a/16/S2/o/v		0,43	13,5	0,584
W10a/16/S3/o/v		0,25	14,0	0,567
W10a / S56 / Mittel		0,33	13,4	0,579
W10a/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,73	3,4	0,524
W10a/19/AL2/o/h		0,69	4,5	0,512
W10a/19/AL3/o/h		0,66	2,0	0,520
W10a / AL12 / Mittel		0,70	3,3	0,519
W10a/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,70	3,8	0,527
W10a/27/AL2/o/h		0,67	3,9	0,520
W10a/27/AL3/o/h		0,60	4,0	0,530
W10a / AL18 / Mittel		0,66	3,9	0,526
W10a/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,68	3,9	0,524
W10a/34/AL2/o/h		0,67	4,1	0,512
W10a/34/AL3/o/h		0,72	4,0	0,508
W10a / AL40 / Mittel		0,69	4,0	0,514



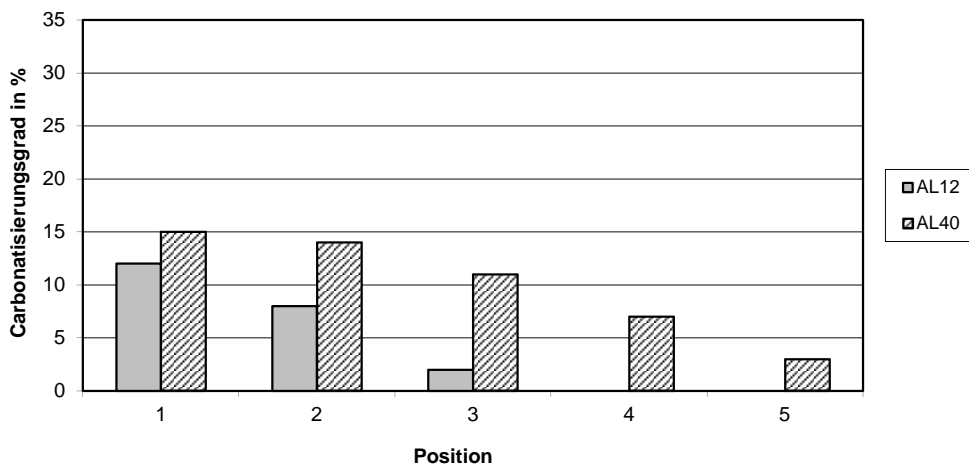
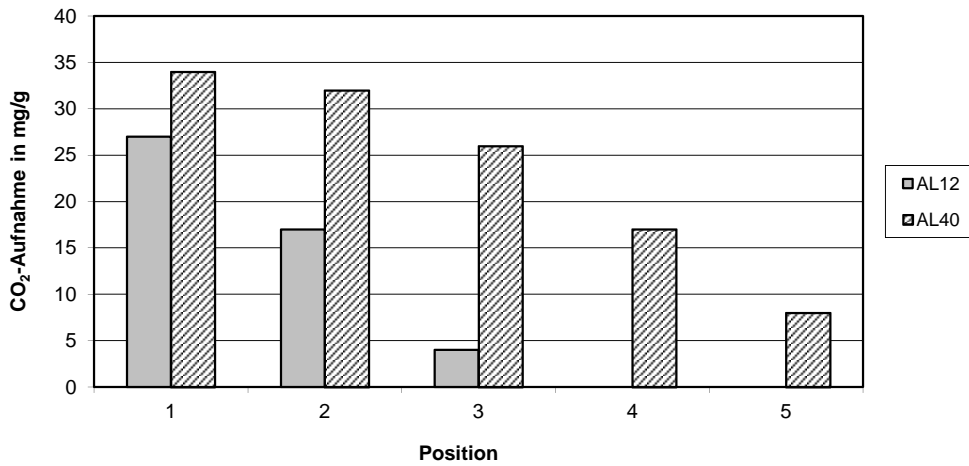
**Prismen der Steine PP 4-0,5 aus Werk W10a
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W10a / S28 / 1	28 Tage 1 % CO ₂	131	51	58	23
W10a / S28 / 2		132	50	59	22
W10a / S28 / Mittel		132	51	59	23
W10a / S56 / 1	56 Tage 1 % CO ₂	141	112	63	50
W10a / S56 / 2		140	111	62	50
W10a / S56 / Mittel		141	112	63	50
W10a / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	26	30	12	13
W10a / AL12 / 2		26	30	12	13
W10a / AL12 / Mittel		26	30	12	13
W10a / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	31	35	14	16
W10a / AL40 / 2		31	35	14	16
W10a / AL40 / Mittel		31	35	14	16
W10a / AL58 / 1	Außenlager über 58 Monate	36	39	16	17
W10a / AL58 / 2		36	39	16	17
W10a / AL58 / Mittel		36	39	16	17
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				29,47 M.-%	



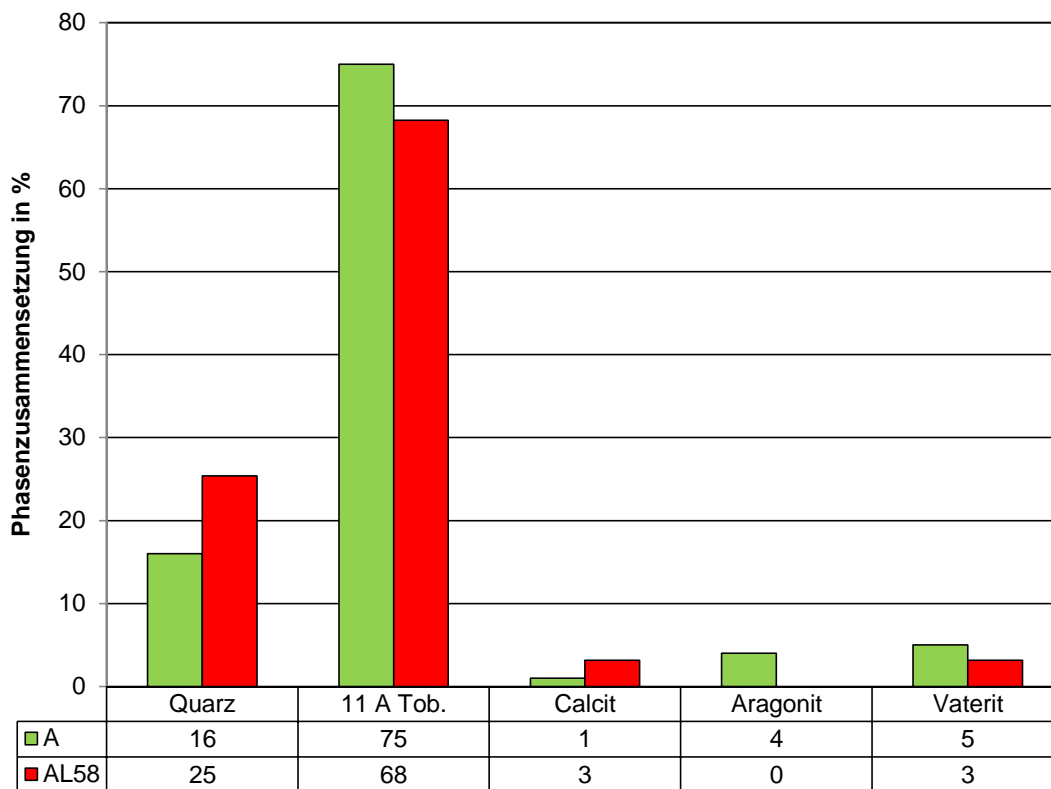
**Profil der Steine PP 4-0,5 aus Werk W10a
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W10a / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	27	12
W10a / AL12 / 2		17	8
W10a / AL12 / 3		4	2
W10a / AL12 / 4		0	0
W10a / AL12 / 5		0	0
W10a / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	34	15
W10a / AL40 / 2		32	14
W10a / AL40 / 3		26	11
W10a / AL40 / 4		17	7
W10a / AL40 / 5		8	3
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			29,47 M.-%



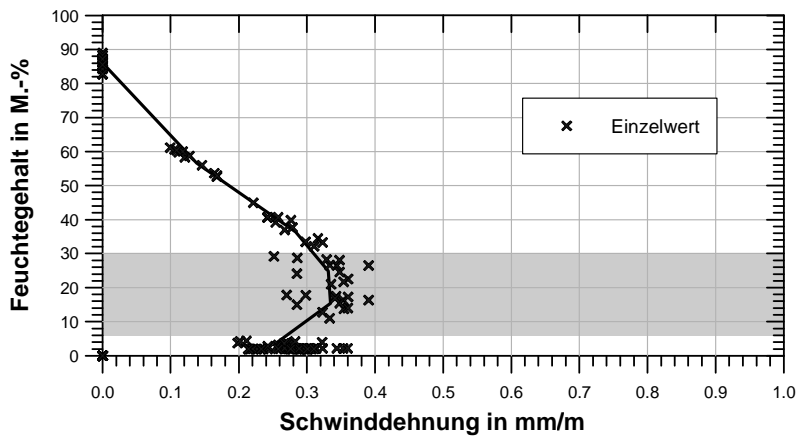
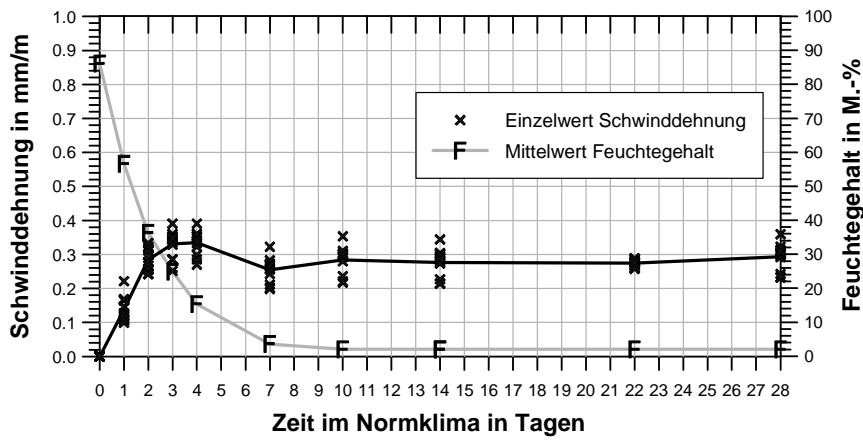
Phasenzusammensetzung der Steine PP 4-0,5 aus Werk W10a

W10a - Außenlagerung



**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W12
Schwindmessungen**

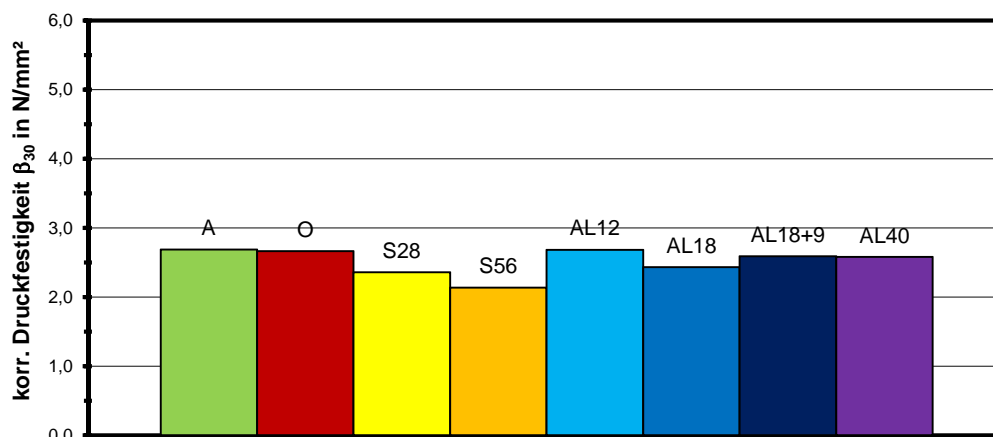
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W12 / 1 / A Mittelwert	0	87,4	0,000	0,000	0,000
	1	59,5	0,117	0,012	0,117
	2	38,6	0,260	0,026	0,260
	3	26,4	0,337	0,034	0,336
	4	16,3	0,345	0,035	0,344
	7	3,9	0,270	0,027	0,269
	10	2,1	0,297	0,030	0,297
	14	2,1	0,291	0,029	0,291
	14	2,1	0,291	0,029	0,291
	22	2,1	0,276	0,028	0,275
28	2,1	0,307	0,031	0,307	
W12 / 2 / A Mittelwert	0	84,8	0,000	0,000	0,000
	1	53,7	0,159	0,016	0,159
	2	34,0	0,306	0,031	0,306
	3	23,4	0,326	0,033	0,325
	4	14,4	0,325	0,032	0,324
	7	3,4	0,239	0,024	0,239
	10	2,0	0,270	0,027	0,270
	14	2,0	0,262	0,026	0,261
	14	2,0	0,262	0,026	0,261
	22	2,0	0,273	0,027	0,273
28	2,0	0,279	0,028	0,278	
W12 / A Mittelwert	0	86,1	0,000	0,000	0,000
	1	56,6	0,138	0,014	0,138
	2	36,3	0,283	0,028	0,283
	3	24,9	0,331	0,033	0,331
	4	15,4	0,335	0,033	0,334
	7	3,6	0,254	0,025	0,254
	10	2,0	0,284	0,028	0,283
	14	2,0	0,277	0,028	0,276
	14	2,0	0,277	0,028	0,276
	22	2,1	0,275	0,027	0,274
28	2,0	0,293	0,029	0,293	



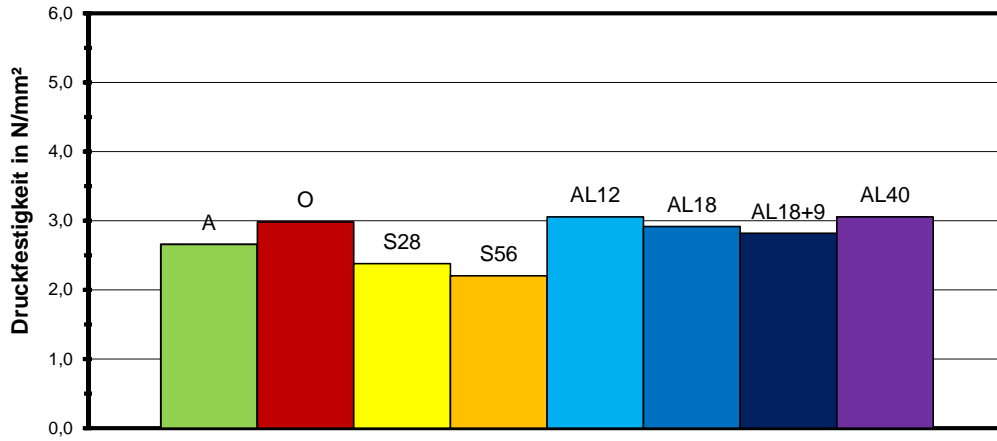
Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W12
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit N/mm ²	Feuchtegehalt M.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	korr. Druckfestigkeit β_{30} N/mm ²
-	-				
W12/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	2,47	47,4	0,314	2,49
W12/3/A2/v		2,67	45,8	0,323	2,69
W12/3/A3/v		2,78	45,5	0,330	2,80
Mittelwert		2,64	46,3	0,322	2,66
W12/4/A1/v		2,68	55,0	0,314	2,71
W12/4/A2/v		2,61	50,0	0,320	2,63
W12/4/A3/v		2,76	50,4	0,327	2,78
Mittelwert		2,68	51,8	0,320	2,71
W12 / A / Mittel		2,66	49,0	0,321	2,69
W12/3/A1/h		O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,95	6,4	0,326
W12/3/A2/h	3,09		4,8	0,330	2,68
W12/3/A3/h	3,15		5,3	0,333	2,77
Mittelwert	3,06		5,5	0,330	2,70
W12/4/A1/h	2,69		6,9	0,315	2,44
W12/4/A2/h	2,92		7,5	0,321	2,67
W12/4/A3/h	3,08		6,4	0,330	2,77
Mittelwert	2,90		6,9	0,322	2,63
W12 / O / Mittel	2,98		6,2	0,326	2,66
W12/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂		2,06	26,9	0,342
W12/13/S2/v		2,44	25,1	0,356	2,42
W12/13/S3/v		2,64	25,3	0,366	2,61
W12 / S28 / Mittel		2,38	25,8	0,355	2,36
W12/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	2,03	16,6	0,365	1,97
W12/15/S2/v		2,15	17,4	0,377	2,10
W12/15/S3/v		2,42	14,5	0,382	2,33
W12 / S56 / Mittel		2,20	16,1	0,375	2,13
W12/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,87	5,2	0,328	2,52
W12/18/AL2/h		3,01	5,3	0,338	2,65
W12/18/AL3/h		3,28	5,4	0,346	2,89
W12 / AL12 / Mittel		3,05	5,3	0,337	2,68
W12/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,63	3,6	0,329	2,20
W12/26/AL2/h		2,97	3,6	0,341	2,47
W12/26/AL3/h		3,15	3,6	0,351	2,62
W12 / AL18 / Mittel		2,92	3,6	0,340	2,43
W12/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,72	4,0	0,338	2,31
W12/41/AL2/h		2,92	22,4	0,355	2,87
W3 / AL18+9 / Mittel		2,82	13,2	0,347	2,59
W12/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	3,02	3,9	0,334	2,55
W12/33/AL2/h		3,07	4,0	0,336	2,59
W12/33/AL3/h		3,08	3,9	0,350	2,60
W3 / AL40 / Mittel		3,06	3,9	0,340	2,58

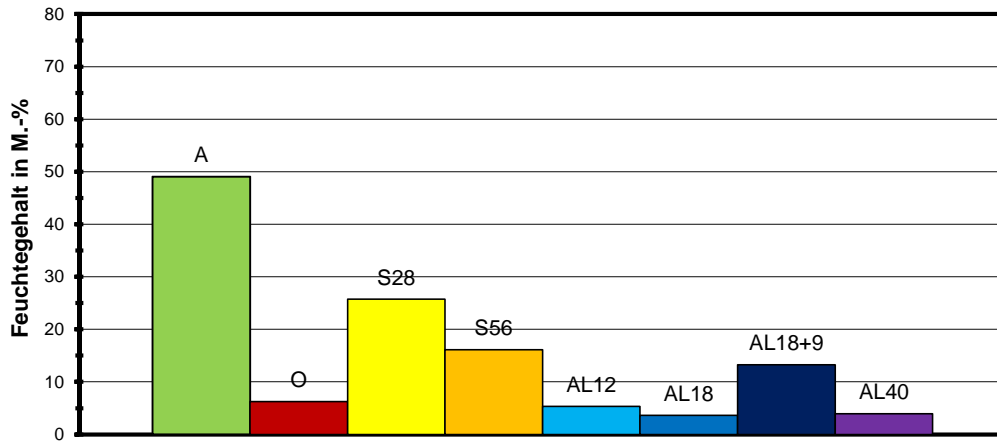
Werk W12



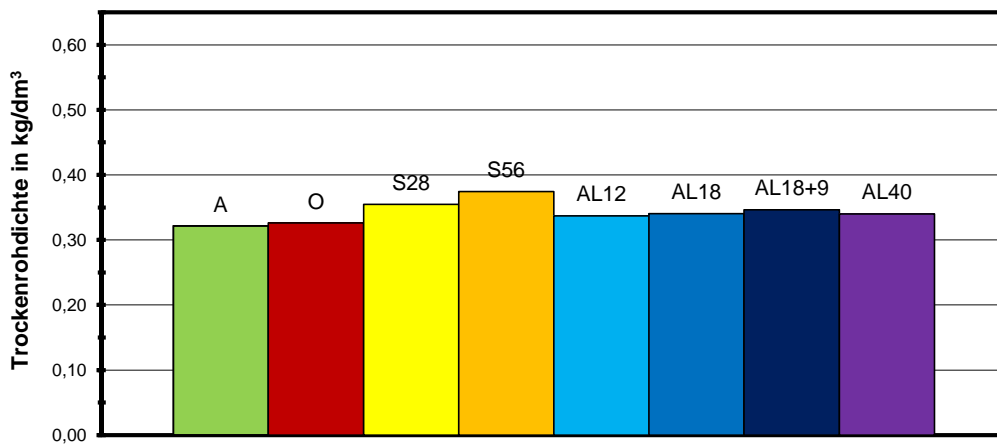
Werk W12



Werk W12



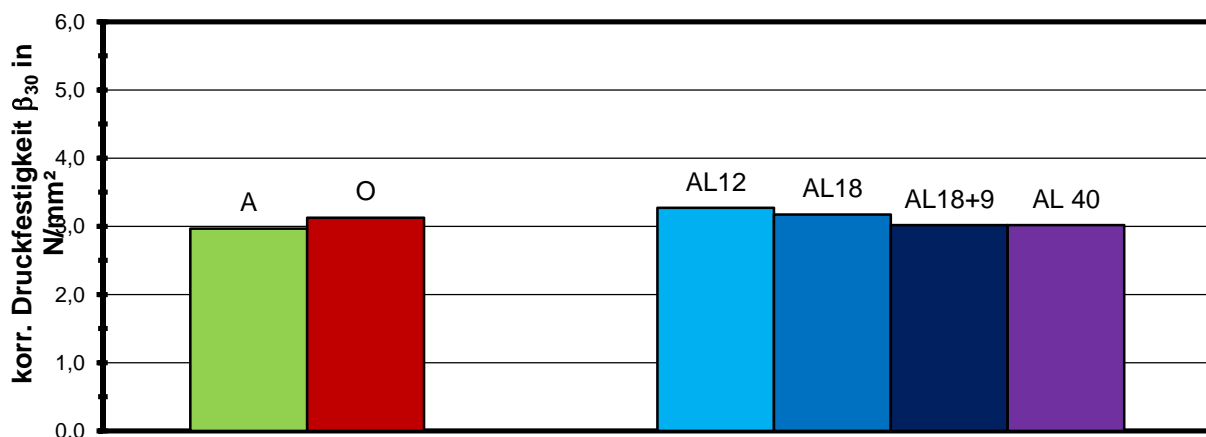
Werk W12



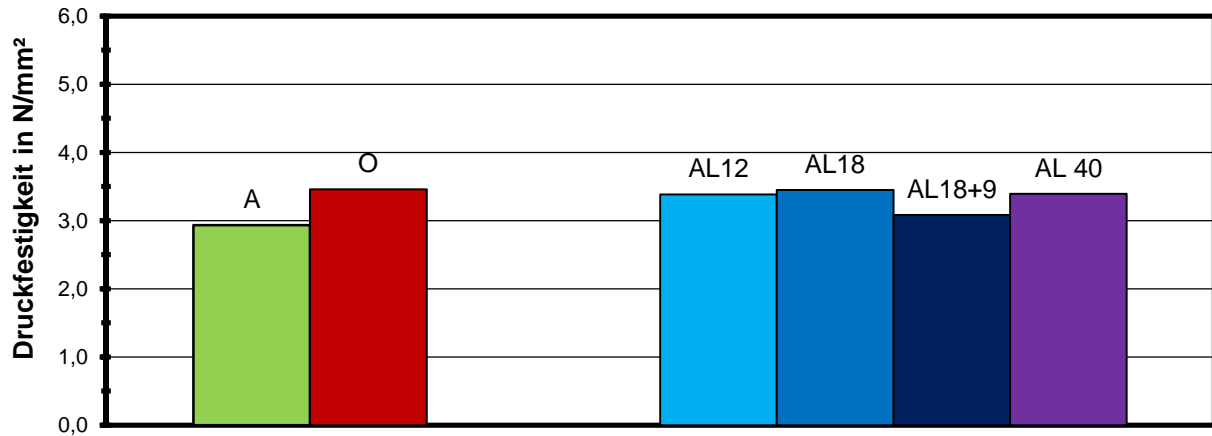
Steine PP 2-0,35 aus Werk W12
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W12/10/A	A Anlieferungsfeuchte	3,08	50,4	0,325	3,11
W12/11/A		2,90	53,5	0,325	2,93
W12/12/A		2,82	56,4	0,324	2,85
W12 / A / Mittel		2,94	53,4	0,325	2,97
W12/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	3,46	7,7	0,325	3,17
W12/8/A		3,45	6,5	0,327	3,11
W12/9/A		3,46	6,1	0,327	3,09
W12 / O / Mittel		3,46	6,8	0,326	3,12
W12/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	3,46	15,8	0,338	3,35
W12/21/A		3,35	14,9	0,338	3,23
W12/22/A		3,35	15,4	0,337	3,23
W12 / AL12 / Mittel		3,39	15,4	0,338	3,27
W12/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	3,51	6,8	0,339	3,18
W12/29/A		3,40	8,9	0,340	3,15
W12/30/A		3,44	8,9	0,340	3,19
W12 / AL18 / Mittel		3,45	8,2	0,340	3,17
W12/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	3,08	19,8	0,341	3,02
W12 / AL18+9 / Mittel		3,08	19,8	0,341	3,02
W12/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	3,52	5,9	0,344	3,14
W12/36/A		3,19	4,7	0,344	2,76
W12/37/A		3,47	7,0	0,341	3,15
W12 / AL40 / Mittel		3,40	5,9	0,343	3,02

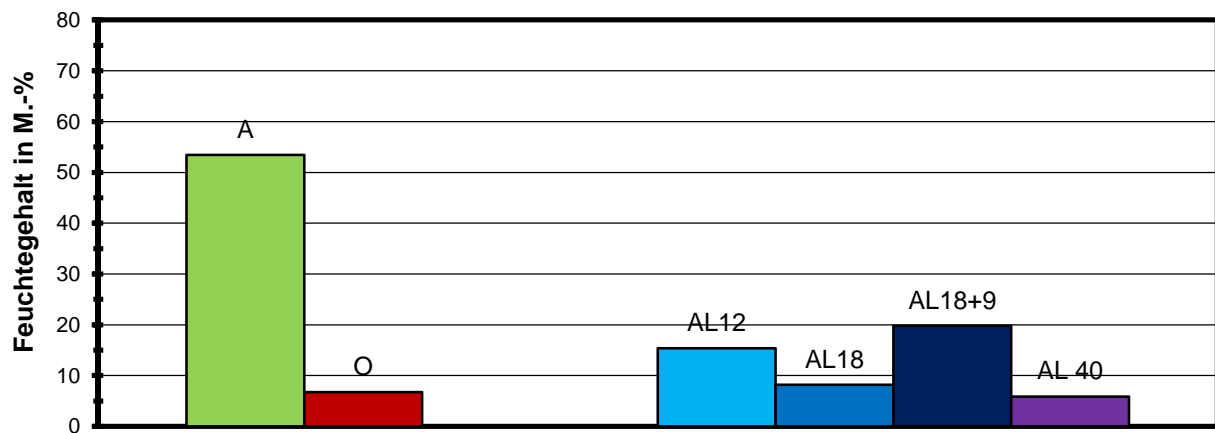
Werk W12



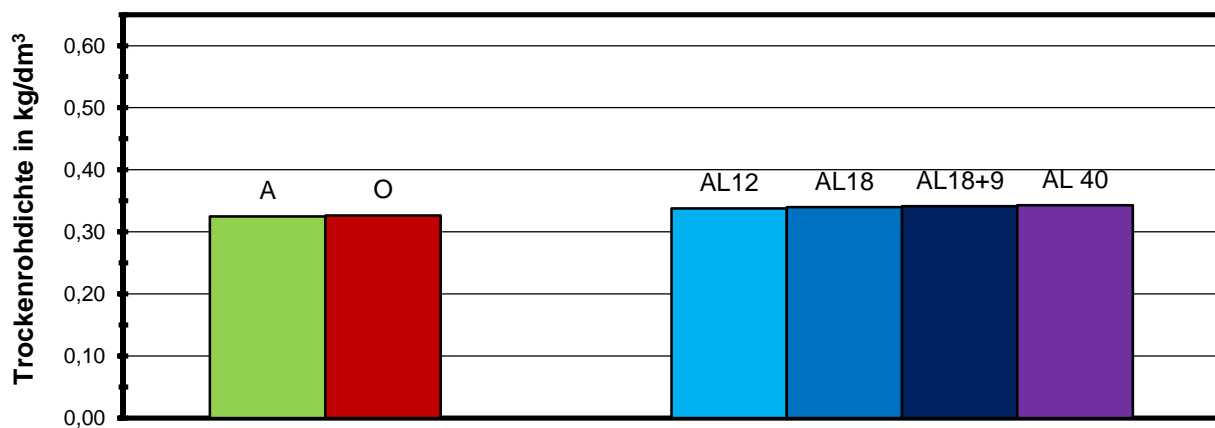
Werk W12



Werk W12



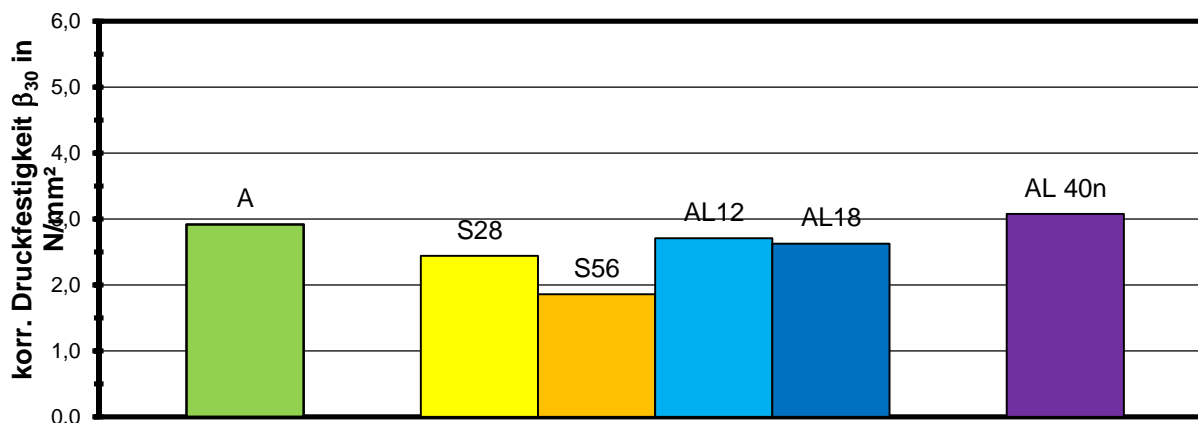
Werk W12



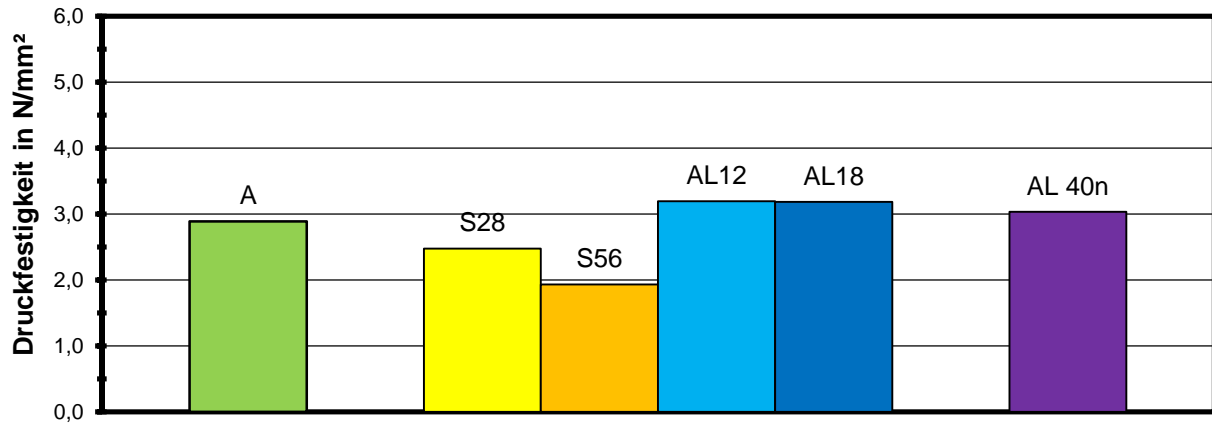
**Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W12
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W12/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	2,87	53,2	0,321	2,90
W12/5/A2/u/v		2,94	50,0	0,325	2,96
W12/5/A3/u/v		3,06	45,6	0,332	3,08
Mittelwert		2,95	49,6	0,326	2,98
W12/6/A1/u/v		2,63	53,5	0,313	2,65
W12/6/A2/u/v		2,86	53,9	0,324	2,89
W12/6/A3/u/v		3,00	51,7	0,332	3,03
Mittelwert		2,83	53,0	0,323	2,86
W12 / A / Mittel			2,89	51,3	0,325
W12/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	2,41	24,0	0,359	2,38
W12/14/S2/u/v		2,44	24,4	0,364	2,41
W12/14/S3/u/v		2,57	23,6	0,369	2,54
W12 / S28 / Mittel		2,47	24,0	0,364	2,44
W12/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,71	13,4	0,362	1,63
W12/16/S2/u/v		1,98	14,7	0,377	1,91
W12/16/S3/u/v		2,11	14,6	0,385	2,03
W12 / S56 / Mittel		1,93	14,3	0,375	1,86
W12/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	3,05	3,9	0,321	2,57
W12/19/AL2/u/v		3,29	4,1	0,331	2,80
W12/19/AL3/u/v		3,24	4,2	0,336	2,76
W12 / AL12 / Mittel		3,19	4,1	0,329	2,71
W12/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	3,03	3,4	0,330	2,50
W12/27/AL2/u/v		3,21	3,3	0,338	2,64
W12/27/AL3/u/v		3,32	3,3	0,346	2,73
W12 / AL18 / Mittel		3,18	3,4	0,338	2,62
W12/34/AL1/u/v	AL40(nass) 18 Monate Außenlagerung, 1 Tag unter Wasser	3,07	68,4	0,334	3,11
W12/34/AL2/u/v		2,85	66,2	0,337	2,89
W12/34/AL3/u/v		3,19	62,5	0,345	3,23
W12 / AL40(nass) / Mittel		3,03	65,7	0,339	3,08

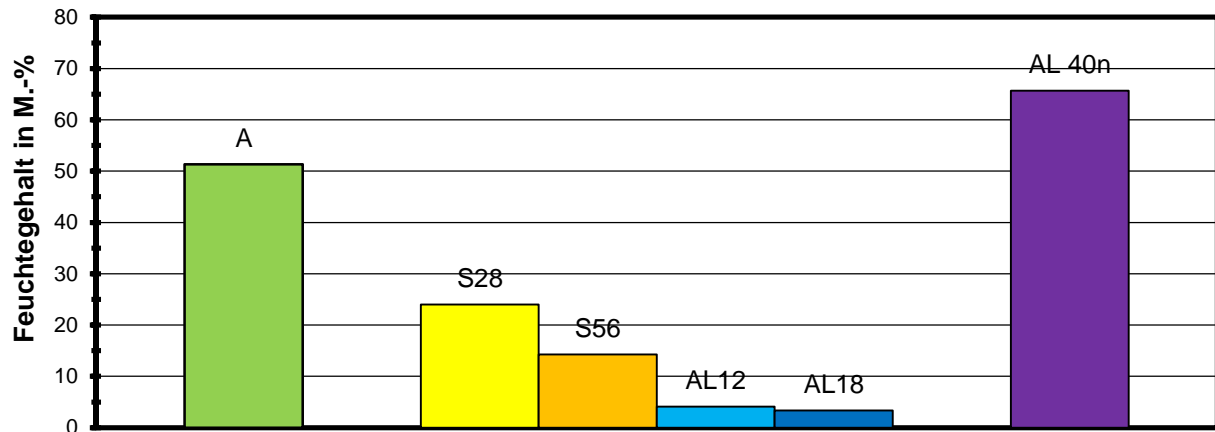
Werk W12



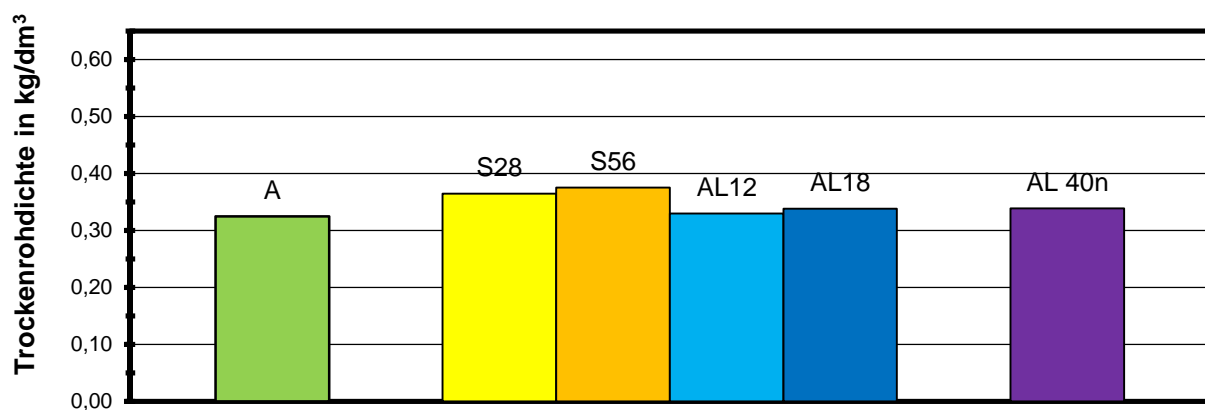
Werk W12



Werk W12



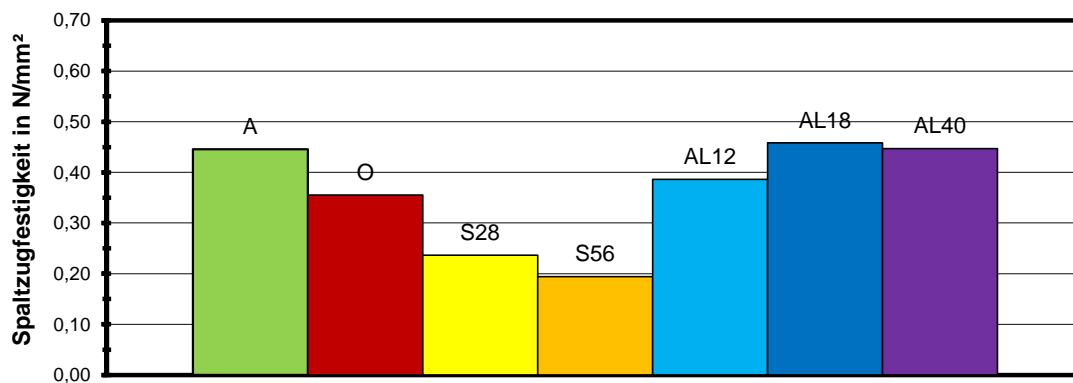
Werk W12



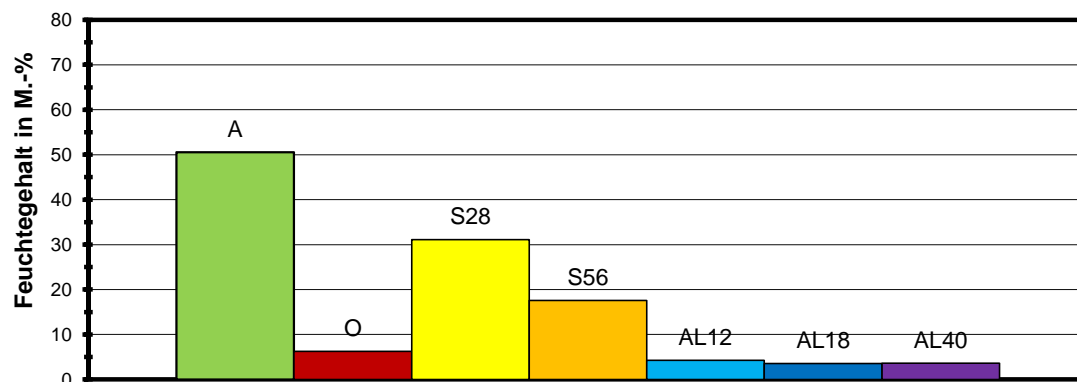
Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W12
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzugfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenroh-dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W12/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,45	52,2	0,327
W12/5/A2/o/v		0,45	48,1	0,331
W12/5/A3/o/v		0,45	50,7	0,333
Mittelwert		0,45	50,3	0,330
W12/6/A1/o/v		0,44	52,3	0,320
W12/6/A2/o/v		0,45	48,9	0,329
W12/6/A3/o/v		0,43	51,1	0,332
Mittelwert		0,44	50,8	0,327
W12 / A / Mittel		0,45	50,6	0,329
W12/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	0,35	6,0	0,320
W12/5/A2/o/h		0,34	7,3	0,323
W12/5/A3/o/h		0,37	7,2	0,329
Mittelwert		0,35	6,8	0,324
W12/6/A1/o/h		0,29	6,9	0,318
W12/6/A2/o/h		0,37	5,1	0,329
W12/6/A3/o/h		0,42	5,3	0,334
Mittelwert		0,36	5,7	0,327
W12 / O / Mittel		0,35	6,3	0,325
W12/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,27	27,4	0,358
W12/14/S2/o/v		0,21	32,7	0,364
W12/14/S3/o/v		0,24	33,2	0,368
W12 / S28 / Mittel		0,24	31,1	0,363
W12/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,19	16,7	0,360
W12/16/S2/o/v		0,22	17,9	0,372
W12/16/S3/o/v		0,17	18,0	0,383
W12 / S56 / Mittel		0,19	17,6	0,372
W12/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,37	4,2	0,327
W12/19/AL2/o/h		0,37	4,3	0,335
W12/19/AL3/o/h		0,42	4,3	0,340
W12 / AL12 / Mittel		0,39	4,3	0,334
W12/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,44	3,7	0,330
W12/27/AL2/o/h		0,46	3,5	0,337
W12/27/AL3/o/h		0,48	3,5	0,345
W12 / AL18 / Mittel		0,46	3,6	0,337
W12/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,44	3,7	0,334
W12/34/AL2/o/h		0,43	3,6	0,338
W12/34/AL3/o/h		0,47	3,6	0,343
W12 / AL40 / Mittel		0,45	3,6	0,338

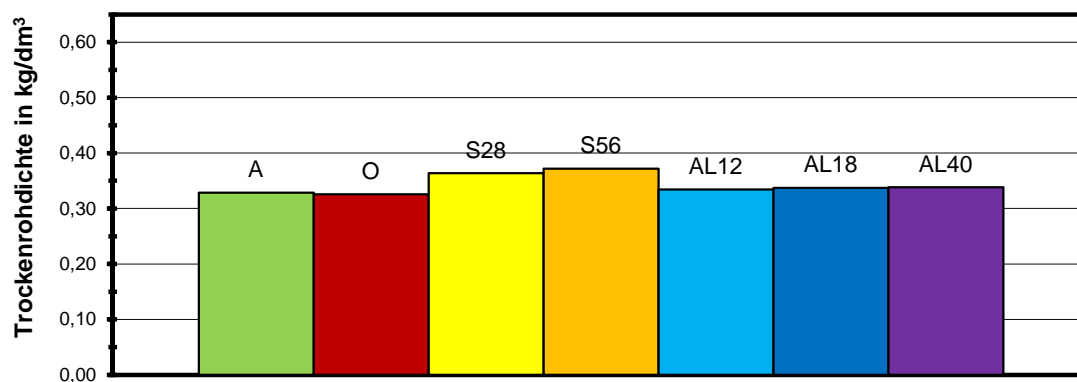
Werk W12



Werk W12

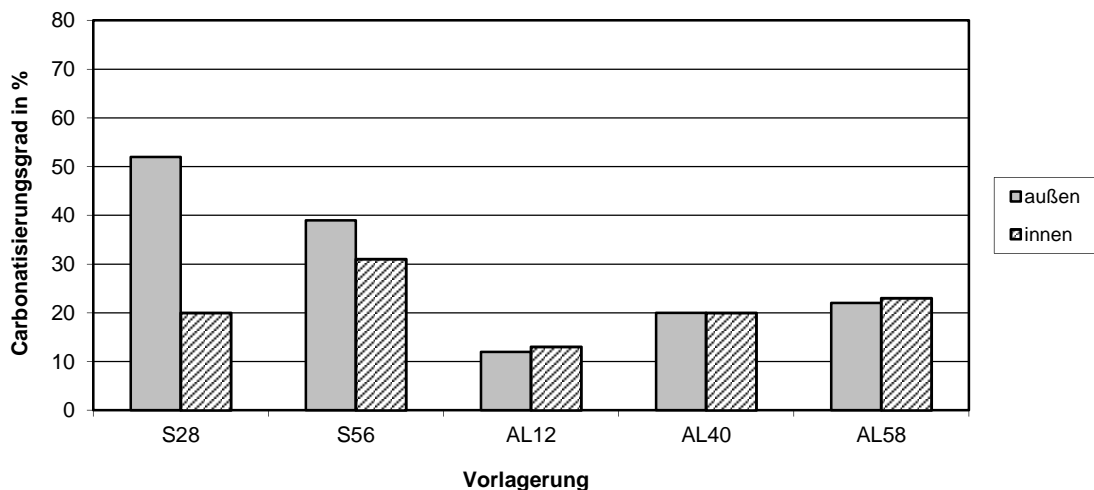
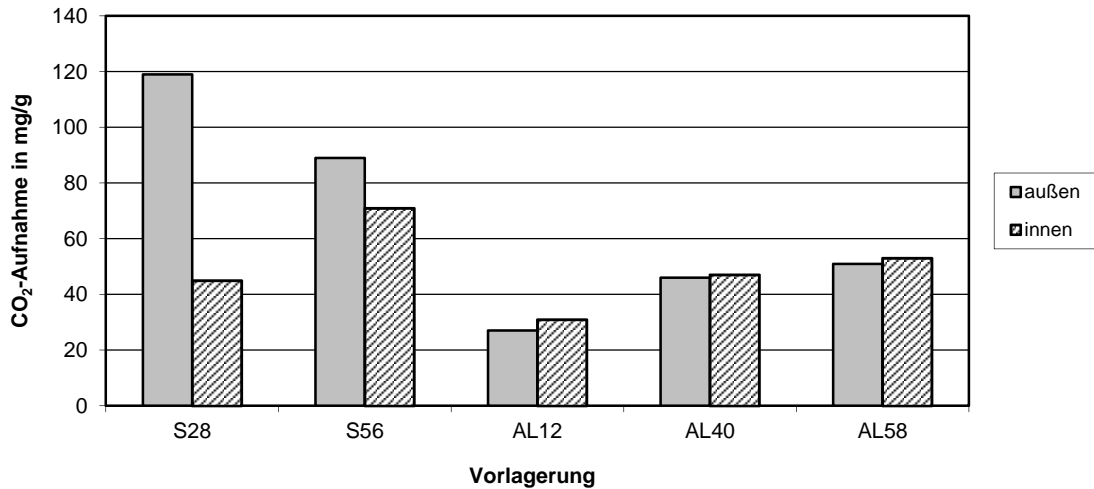


Werk W12



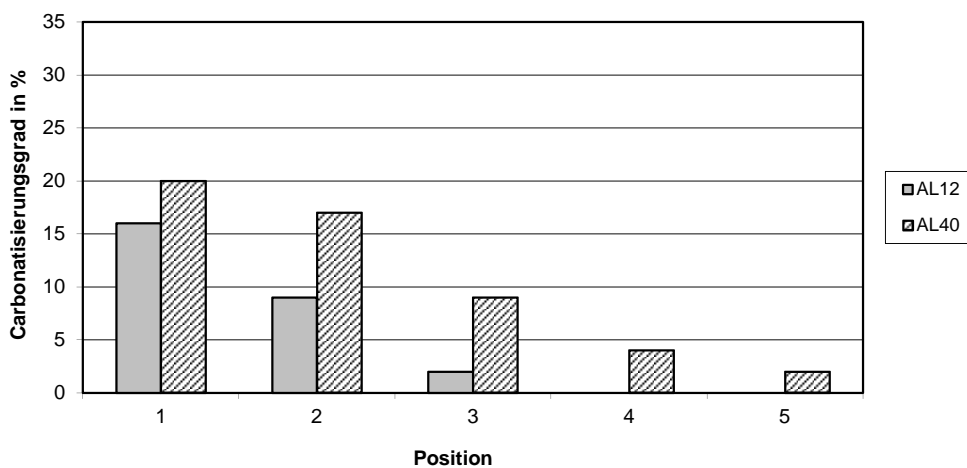
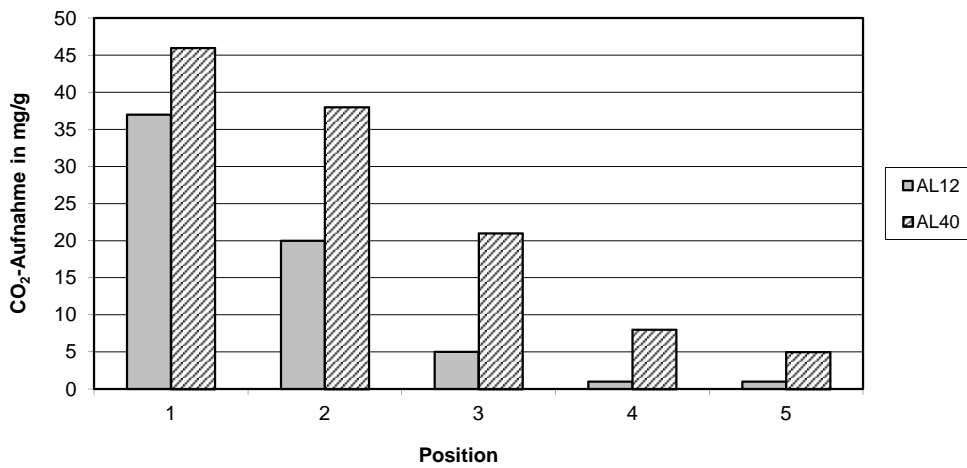
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W12
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W12 / S28 / 1	28 Tage 1 % CO ₂	119	45	52	20
W12 / S28 / 2		119	45	52	20
W12 / S28 / Mittel		119	45	52	20
W12 / S56 / 1	56 Tage 1 % CO ₂	89	70	39	31
W12 / S56 / 2		89	72	39	31
W12 / S56 / Mittel		89	71	39	31
W12 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	27	31	12	13
W12 / AL12 / 2		27	31	12	13
W12 / AL12 / Mittel		27	31	12	13
W12 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	46	47	20	20
W12 / AL40 / 2		46	47	20	20
W12 / AL40 / Mittel		46	47	20	20
W12 / AL58 / 1	Außenlager über 58 Monate	51	53	22	23
W12 / AL58 / 2		51	53	22	23
W12 / AL58 / Mittel		51	53	22	23
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				30,30 M.-%	



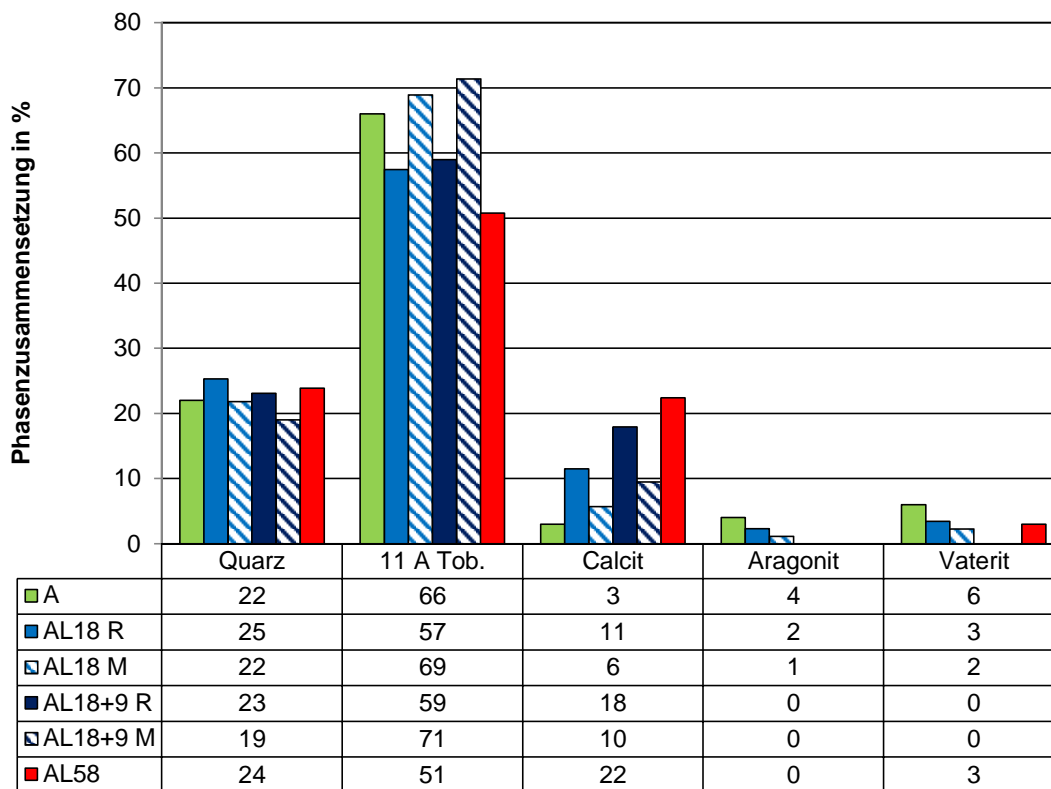
**Profil der Steine PP 2-0,35 aus Werk W12
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W12 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	37	16
W12 / AL12 / 2		20	9
W12 / AL12 / 3		5	2
W12 / AL12 / 4		1	0
W12 / AL12 / 5		1	0
W12 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	46	20
W12 / AL40 / 2		38	17
W12 / AL40 / 3		21	9
W12 / AL40 / 4		8	4
W12 / AL40 / 5		5	2
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			30,30 M.-%



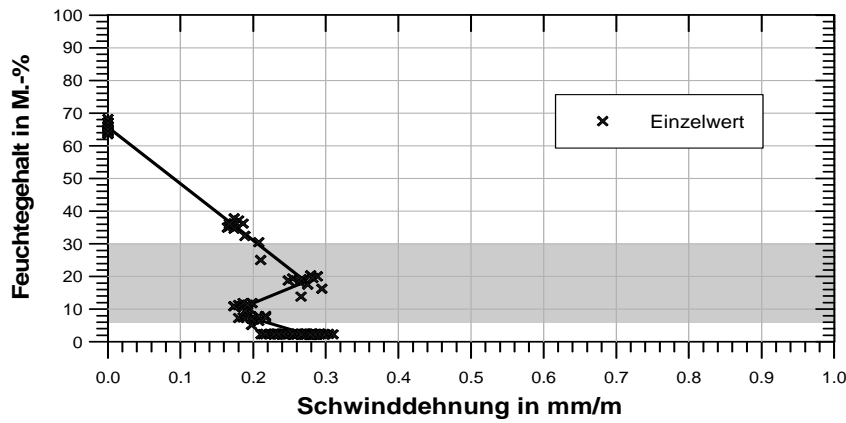
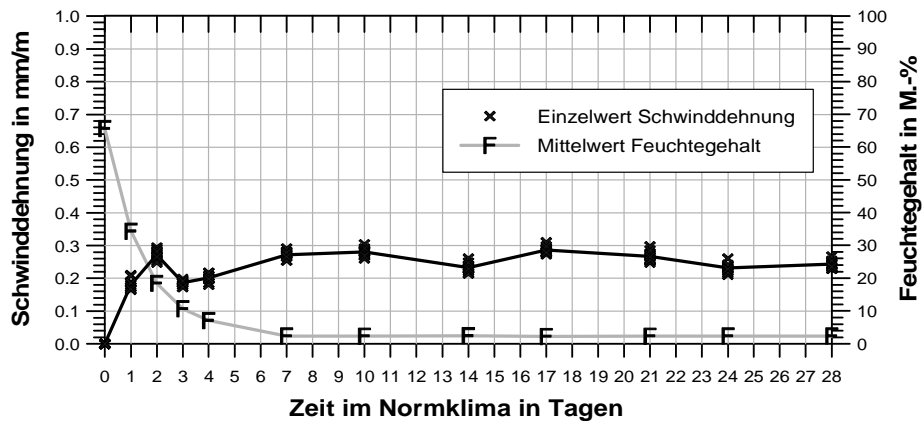
Phasenzusammensetzung der Steine PP 2-0,35 aus Werk W12

W12 - Außenlagerung



**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W22
Schwindmessungen**

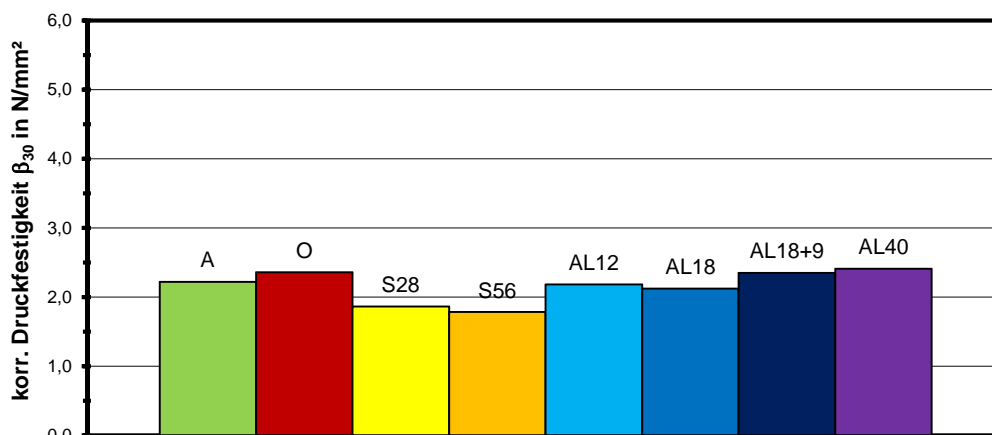
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W22 / 1 / A Mittelwert	0	65,3	0,000	0,000	0,000
	1	35,5	0,183	0,018	0,183
	2	19,1	0,282	0,028	0,282
	3	11,1	0,188	0,019	0,188
	4	7,4	0,210	0,021	0,209
	7	2,4	0,278	0,028	0,278
	10	2,4	0,286	0,029	0,286
	14	2,4	0,242	0,024	0,242
	17	2,3	0,293	0,029	0,293
	21	2,4	0,278	0,028	0,278
	24	2,4	0,241	0,024	0,241
28	2,4	0,249	0,025	0,248	
W22 / 2 / A Mittelwert	0	66,0	0,000	0,000	0,000
	1	33,1	0,180	0,018	0,179
	2	17,8	0,263	0,026	0,262
	3	10,3	0,185	0,019	0,185
	4	6,8	0,194	0,019	0,193
	7	2,4	0,267	0,027	0,266
	10	2,3	0,275	0,028	0,275
	14	2,4	0,224	0,022	0,224
	17	2,2	0,280	0,028	0,280
	21	2,3	0,255	0,025	0,255
	24	2,4	0,222	0,022	0,222
28	2,4	0,238	0,024	0,238	
W22 / A Mittelwert	0	65,7	0,000	0,000	0,000
	1	34,3	0,181	0,018	0,181
	2	18,4	0,272	0,027	0,272
	3	10,7	0,187	0,019	0,186
	4	7,1	0,202	0,020	0,201
	7	2,4	0,273	0,027	0,272
	10	2,4	0,280	0,028	0,280
	14	2,4	0,233	0,023	0,233
	17	2,2	0,287	0,029	0,286
	21	2,4	0,267	0,027	0,266
	24	2,4	0,232	0,023	0,232
28	2,4	0,244	0,024	0,243	



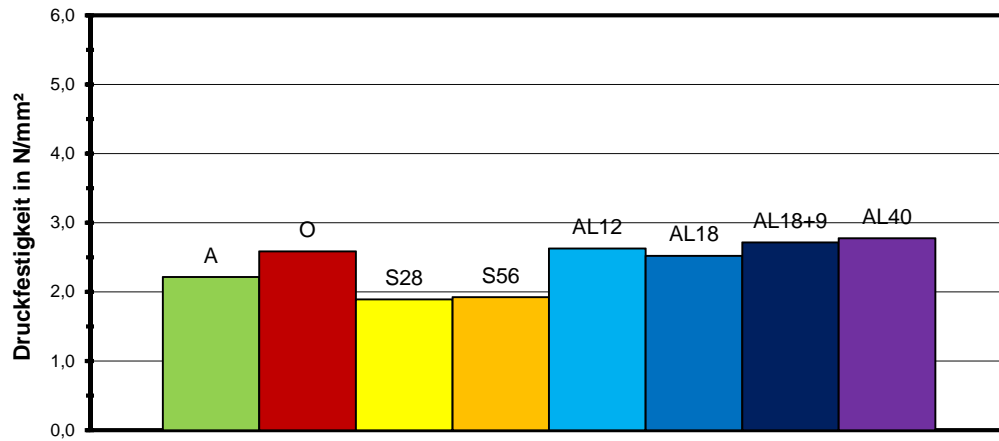
Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W22
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit N/mm ²	Feuchtegehalt M.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	korr. Druckfestigkeit β_{30} N/mm ²
-	-				
W22/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	2,42	36,1	0,341	2,42
W22/3/A2/v		2,36	39,6	0,336	2,37
W22/3/A3/v		2,28	39,0	0,334	2,29
Mittelwert		2,35	38,2	0,337	2,36
W22/4/A1/v		2,21	38,2	0,355	2,21
W22/4/A2/v		2,08	38,6	0,344	2,09
W22/4/A3/v		1,94	33,8	0,341	1,93
Mittelwert		2,07	36,9	0,346	2,08
W22 / A / Mittel		2,21	37,6	0,342	2,22
W22/3/A1/h		O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,83	7,3	0,346
W22/3/A2/h	2,71		7,6	0,339	2,48
W22/3/A3/h	2,46		8,4	0,336	2,27
Mittelwert	2,67		7,8	0,340	2,44
W22/4/A1/h	2,82		6,7	0,349	2,55
W22/4/A2/h	2,76		6,7	0,345	2,49
W22/4/A3/h	1,94		7,6	0,338	1,77
Mittelwert	2,51		7,0	0,344	2,27
W22 / O / Mittel	2,59		7,4	0,342	2,36
W22/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂		1,95	21,4	0,394
W22/13/S2/v		1,89	21,8	0,385	1,86
W22/13/S3/v		1,83	23,9	0,379	1,81
W22 / S28 / Mittel		1,89	22,4	0,386	1,86
W22/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	2,04	8,7	0,401	1,89
W22/15/S2/v		1,88	8,8	0,395	1,75
W22/15/S3/v		1,84	8,8	0,391	1,71
W22 / S56 / Mittel		1,92	8,8	0,396	1,78
W22/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,69	3,7	0,356	2,25
W22/18/AL2/h		2,65	3,5	0,353	2,20
W22/18/AL3/h		2,54	3,4	0,345	2,10
W22 / AL12 / Mittel		2,63	3,5	0,351	2,18
W22/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,42	3,8	0,356	2,03
W22/26/AL2/h		2,54	3,9	0,354	2,14
W22/26/AL3/h		2,61	3,8	0,353	2,19
W22 / AL18 / Mittel		2,52	3,8	0,354	2,12
W22/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,64	4,6	0,359	2,28
W22/41/AL2/h		2,80	4,8	0,359	2,42
W3 / AL18+9 / Mittel		2,72	4,7	0,359	2,35
W22/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	2,68	4,9	0,364	2,33
W22/33/AL2/h		2,87	4,8	0,361	2,49
W22/33/AL3/h		2,78	4,8	0,361	2,41
W3 / AL40 / Mittel		2,78	4,8	0,362	2,41

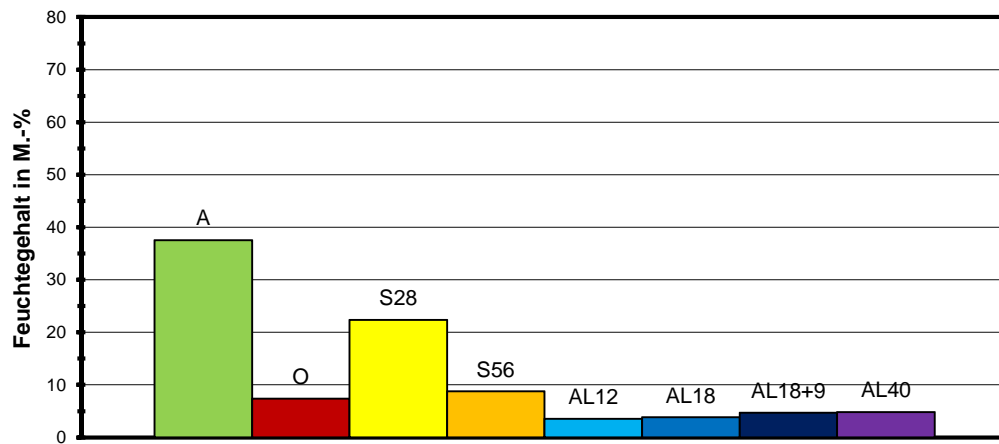
Werk W22



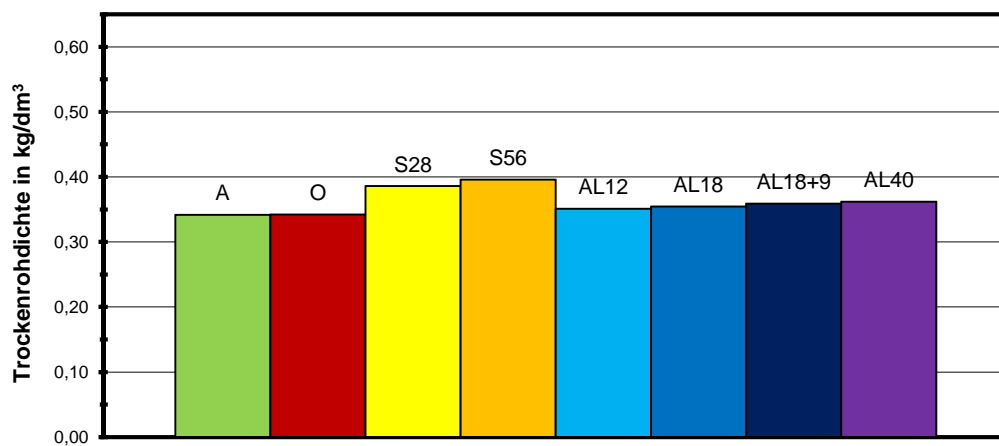
Werk W22



Werk W22



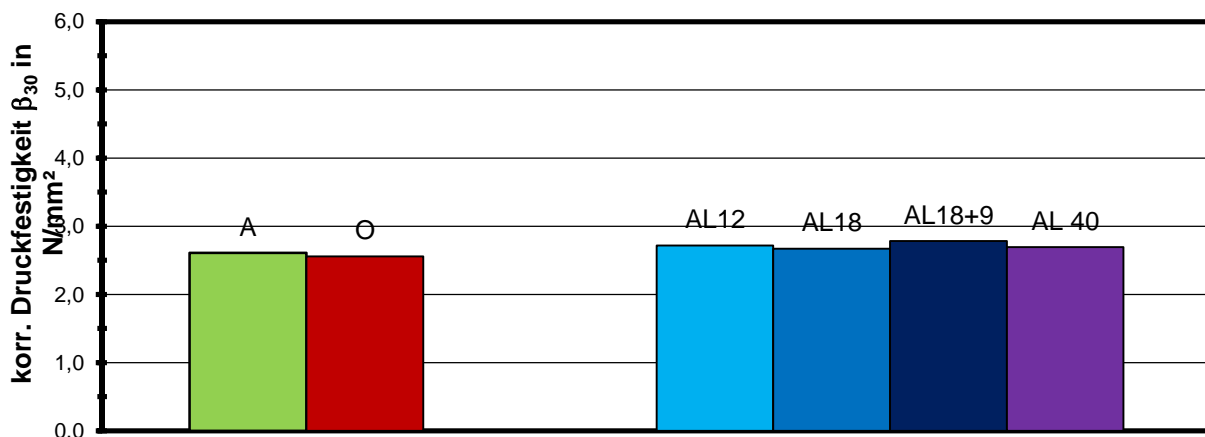
Werk W22



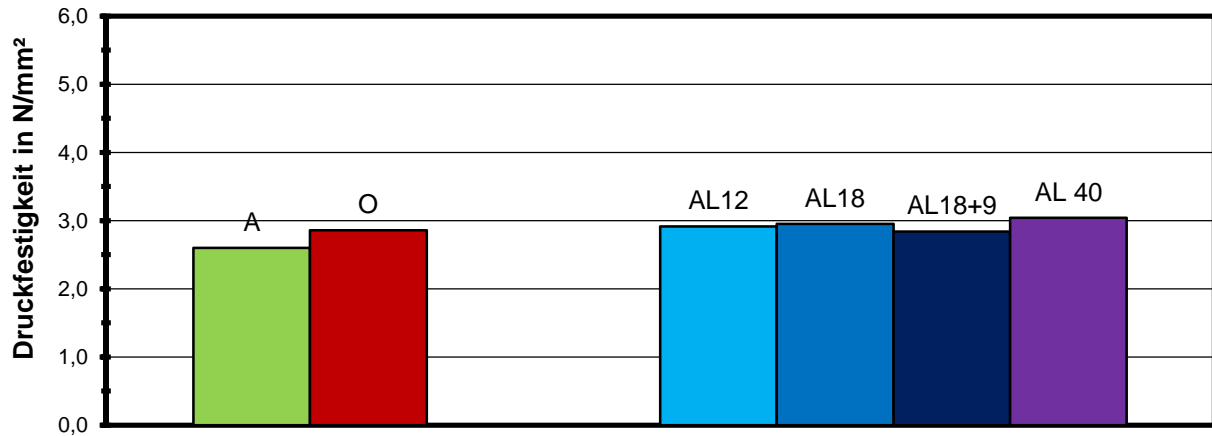
Steine PP 2-0,35 aus Werk W22
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W22/10/A	A Anlieferungsfeuchte	2,69	40,2	0,337	2,70
W22/11/A		2,54	39,7	0,340	2,55
W22/12/A		2,57	39,6	0,341	2,58
W22 / A / Mittel		2,60	39,8	0,339	2,61
W22/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,91	6,4	0,343	2,61
W22/8/A		2,80	6,2	0,341	2,51
W22/9/A		2,86	6,0	0,343	2,55
W22 / O / Mittel		2,86	6,2	0,342	2,56
W22/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,96	9,0	0,350	2,75
W22/21/A		2,80	9,9	0,351	2,62
W22/22/A		2,99	9,2	0,350	2,78
W22 / AL12 / Mittel		2,92	9,4	0,350	2,72
W22/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	3,04	6,9	0,349	2,75
W22/29/A		2,91	7,4	0,347	2,65
W22/30/A		2,90	6,3	0,352	2,60
W22 / AL18 / Mittel		2,95	6,9	0,349	2,67
W22/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,84	20,0	0,360	2,78
W22 / AL18+9 / Mittel		2,84	20,0	0,360	2,78
W22/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	3,10	5,9	0,356	2,76
W22/36/A		3,06	5,7	0,358	2,71
W22/37/A		2,96	5,3	0,355	2,61
W22 / AL40 / Mittel		3,04	5,6	0,356	2,69

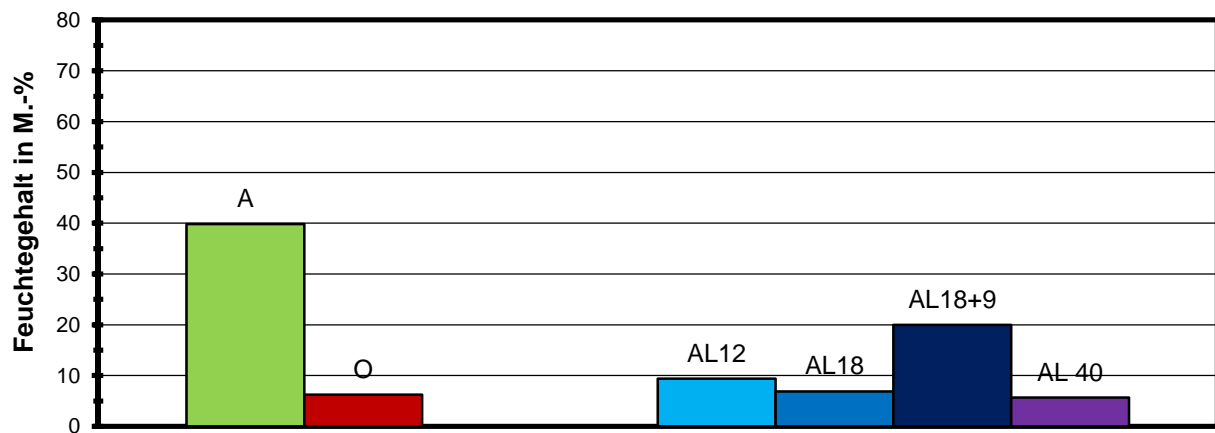
Werk W22



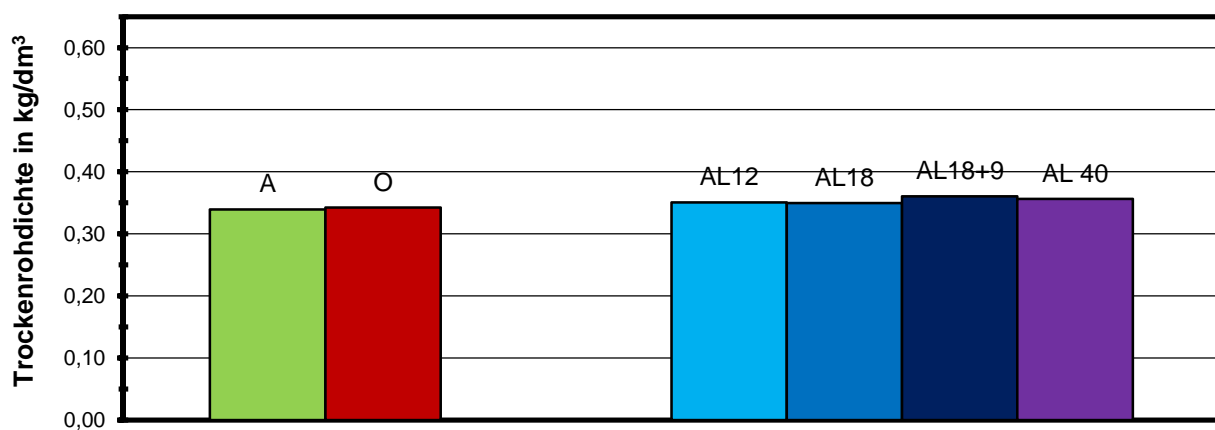
Werk W22



Werk W22



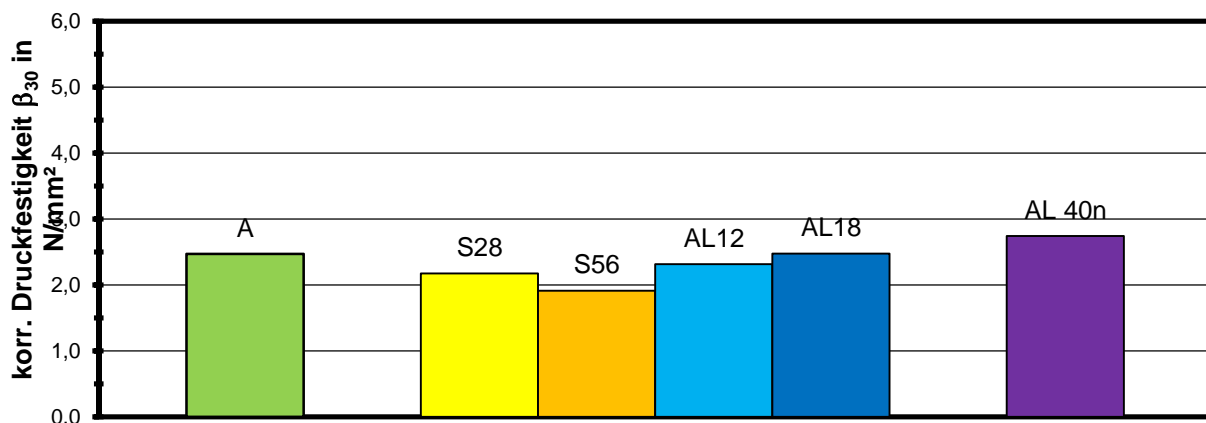
Werk W22



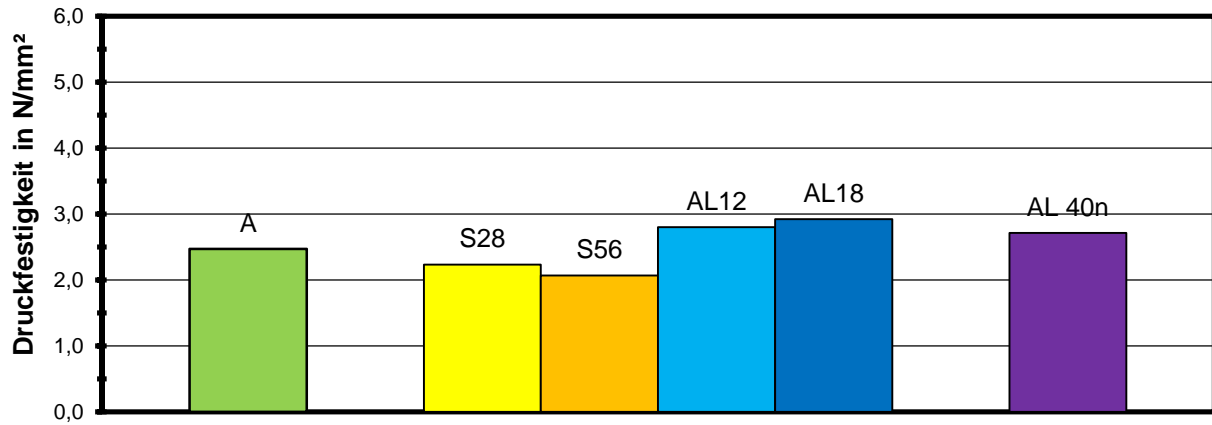
**Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W22
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W22/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	2,50	33,8	0,340	2,50
W22/5/A2/u/v		2,51	35,8	0,338	2,51
W22/5/A3/u/v		2,44	36,9	0,333	2,44
Mittelwert		2,48	35,5	0,337	2,48
W22/6/A1/u/v		2,51	33,3	0,342	2,51
W22/6/A2/u/v		2,47	35,2	0,337	2,47
W22/6/A3/u/v		2,40	37,6	0,334	2,40
Mittelwert		2,46	35,4	0,337	2,46
W22 / A / Mittel			2,47	35,4	0,337
W22/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	2,28	16,5	0,393	2,21
W22/14/S2/u/v		2,25	18,8	0,386	2,19
W22/14/S3/u/v		2,18	18,3	0,383	2,12
W22 / S28 / Mittel		2,23	17,9	0,387	2,18
W22/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,87	8,7	0,425	1,73
W22/16/S2/u/v		2,21	8,8	0,404	2,05
W22/16/S3/u/v		2,12	8,6	0,395	1,96
W22 / S56 / Mittel		2,07	8,7	0,408	1,91
W22/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,84	3,4	0,352	2,35
W22/19/AL2/u/v		2,94	3,3	0,348	2,42
W22/19/AL3/u/v		2,63	3,4	0,367	2,17
W22 / AL12 / Mittel		2,80	3,4	0,356	2,31
W22/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,94	4,0	0,358	2,48
W22/27/AL2/u/v		2,93	4,0	0,352	2,48
W22/27/AL3/u/v		2,90	4,1	0,349	2,46
W22 / AL18 / Mittel		2,92	4,0	0,353	2,47
W22/34/AL1/u/v	AL40(nass) 40 Monate Außenlagerung, 1 Tag unter Wasser	2,84	53,4	0,358	2,87
W22/34/AL2/u/v		2,69	54,6	0,354	2,72
W22/34/AL3/u/v		2,61	56,4	0,349	2,64
W22 / AL40(nass) / Mittel		2,71	54,8	0,354	2,74

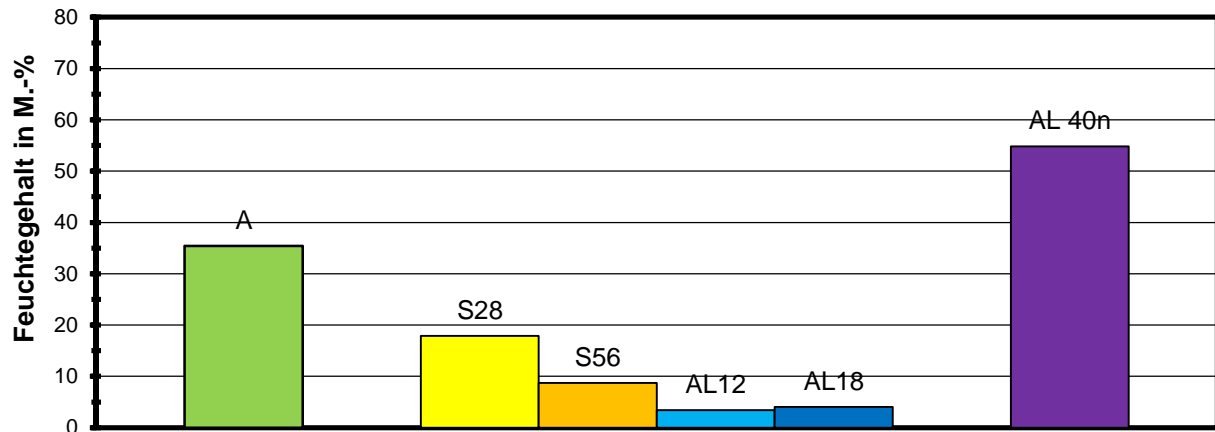
Werk W22



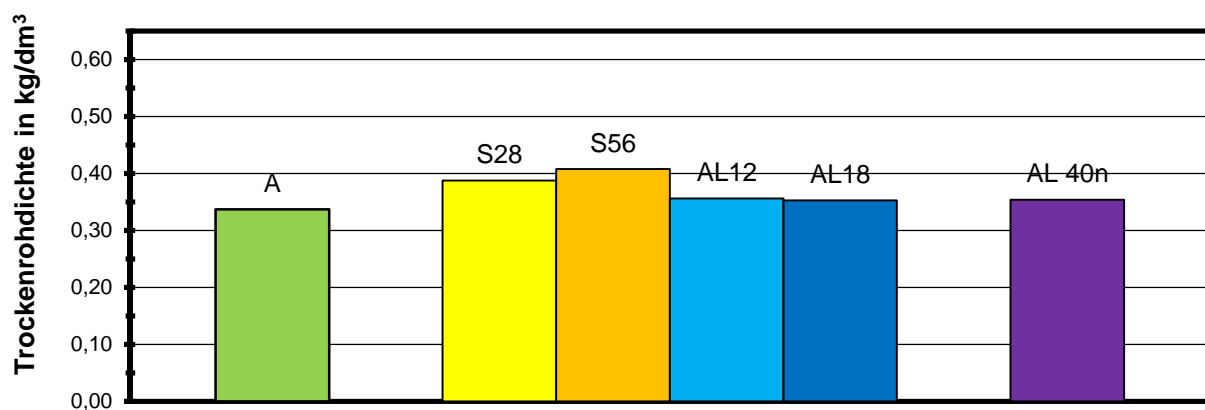
Werk W22



Werk W22



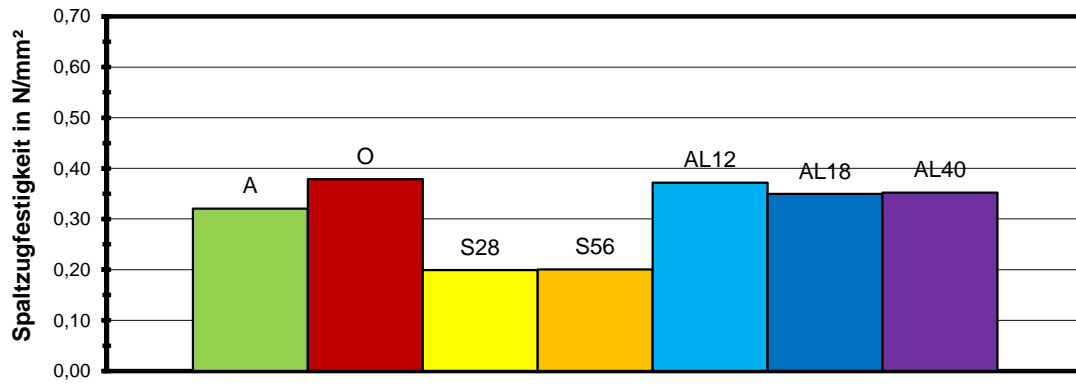
Werk W22



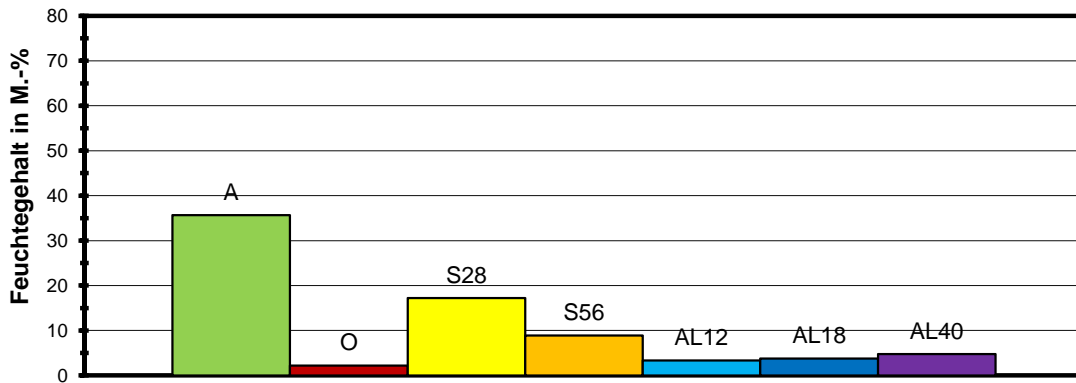
Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W22
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzugfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenroh-dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W22/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,32	36,0	0,342
W22/5/A2/o/v		0,33	37,7	0,335
W22/5/A3/o/v		0,31	36,9	0,334
Mittelwert		0,32	36,8	0,337
W22/6/A1/o/v		0,34	35,2	0,345
W22/6/A2/o/v		0,31	31,9	0,331
W22/6/A3/o/v		0,32	36,5	0,333
Mittelwert		0,32	34,5	0,336
W22 / A / Mittel		0,32	35,7	0,337
W22/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	0,41	2,0	0,341
W22/5/A2/o/h		0,38	2,2	0,342
W22/5/A3/o/h		0,35	2,2	0,338
Mittelwert		0,38	2,2	0,341
W22/6/A1/o/h		0,40	2,1	0,342
W22/6/A2/o/h		0,38	2,1	0,340
W22/6/A3/o/h		0,36	2,2	0,339
Mittelwert		0,38	2,2	0,340
W22 / O / Mittel		0,38	2,2	0,340
W22/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,25	16,6	0,386
W22/14/S2/o/v		0,17	17,7	0,387
W22/14/S3/o/v		0,18	17,2	0,383
W22 / S28 / Mittel		0,20	17,2	0,385
W22/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,16	8,7	0,402
W22/16/S2/o/v		0,23	9,0	0,400
W22/16/S3/o/v		0,22	9,0	0,391
W22 / S56 / Mittel		0,20	8,9	0,397
W22/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,39	3,3	0,348
W22/19/AL2/o/h		0,36	3,3	0,350
W22/19/AL3/o/h		0,36	3,4	0,353
W22 / AL12 / Mittel		0,37	3,4	0,351
W22/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,35	3,7	0,355
W22/27/AL2/o/h		0,35	3,8	0,352
W22/27/AL3/o/h		0,35	3,8	0,351
W22 / AL18 / Mittel		0,35	3,8	0,353
W22/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,32	4,8	0,354
W22/34/AL2/o/h		0,39	4,8	0,349
W22/34/AL3/o/h		0,34	4,7	0,348
W22 / AL40 / Mittel		0,35	4,8	0,350

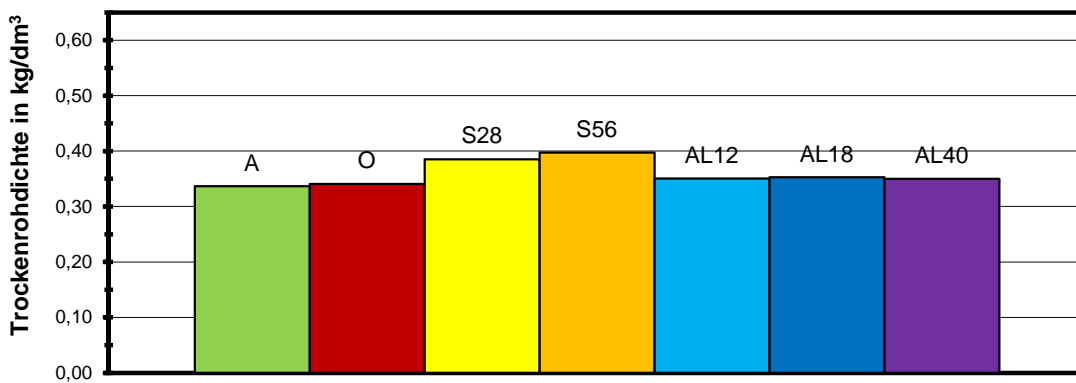
Werk W22



Werk W22

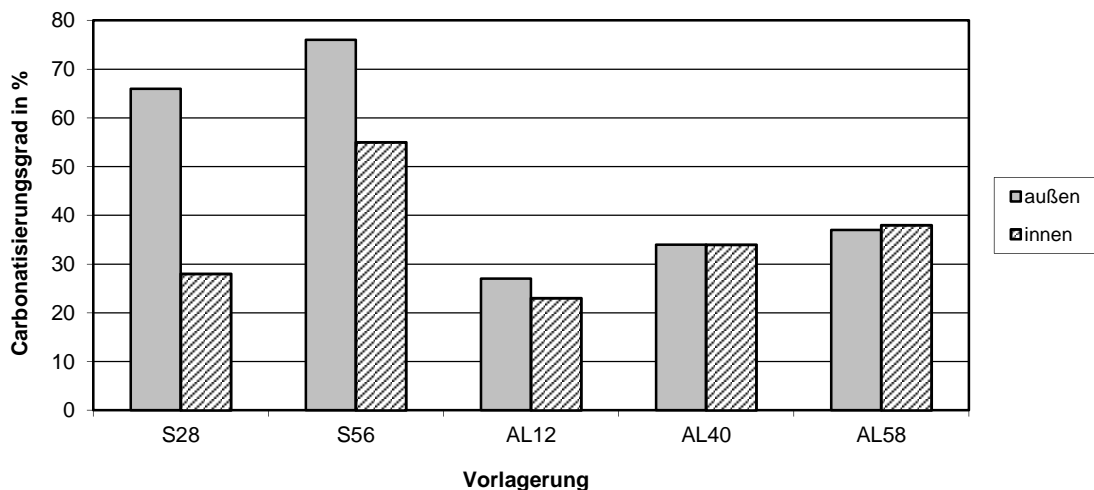
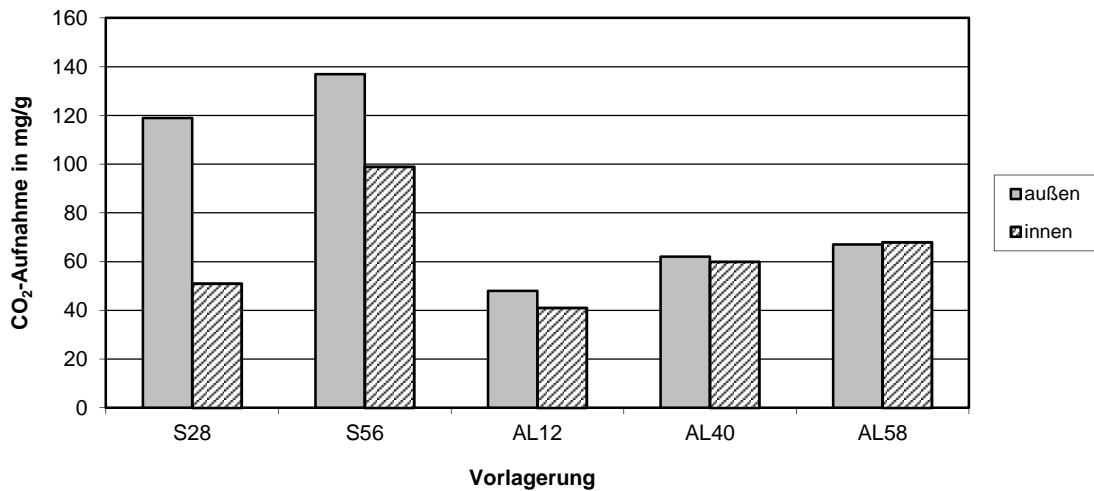


Werk W22



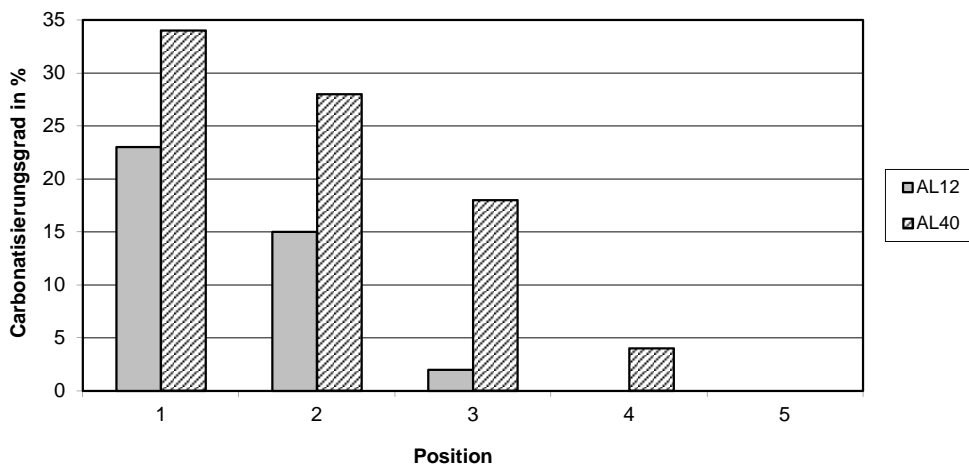
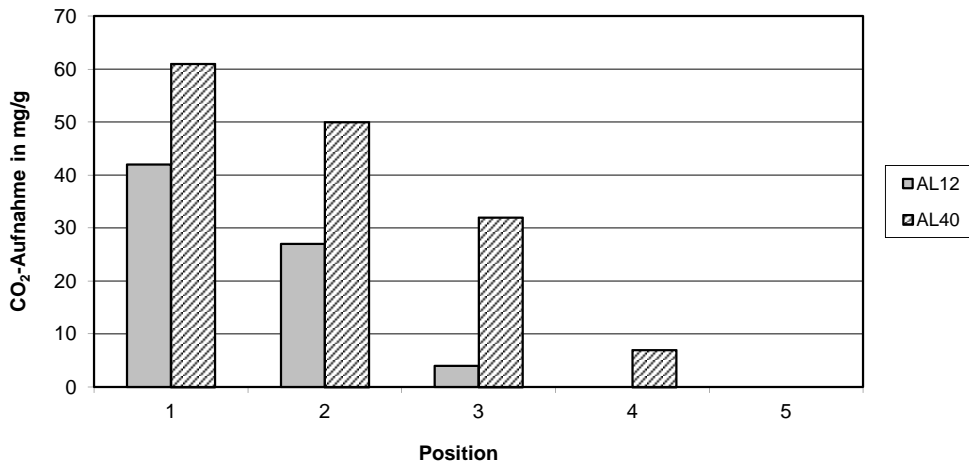
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W22
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W22 / S28 / 1	28 Tage 1 % CO ₂	118	50	66	28
W22 / S28 / 2		119	51	66	28
W22 / S28 / Mittel		119	51	66	28
W22 / S56 / 1	56 Tage 1 % CO ₂	137	99	76	55
W22 / S56 / 2		136	98	76	55
W22 / S56 / Mittel		137	99	76	55
W22 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	48	41	27	23
W22 / AL12 / 2		48	41	27	23
W22 / AL12 / Mittel		48	41	27	23
W22 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	62	60	34	34
W22 / AL40 / 2		62	60	34	34
W22 / AL40 / Mittel		62	60	34	34
W22 / AL58 / 1	Außenlager über 58 Monate	67	68	37	38
W22 / AL58 / 2		67	68	37	38
W22 / AL58 / Mittel		67	68	37	38
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				24,04 M.-%	



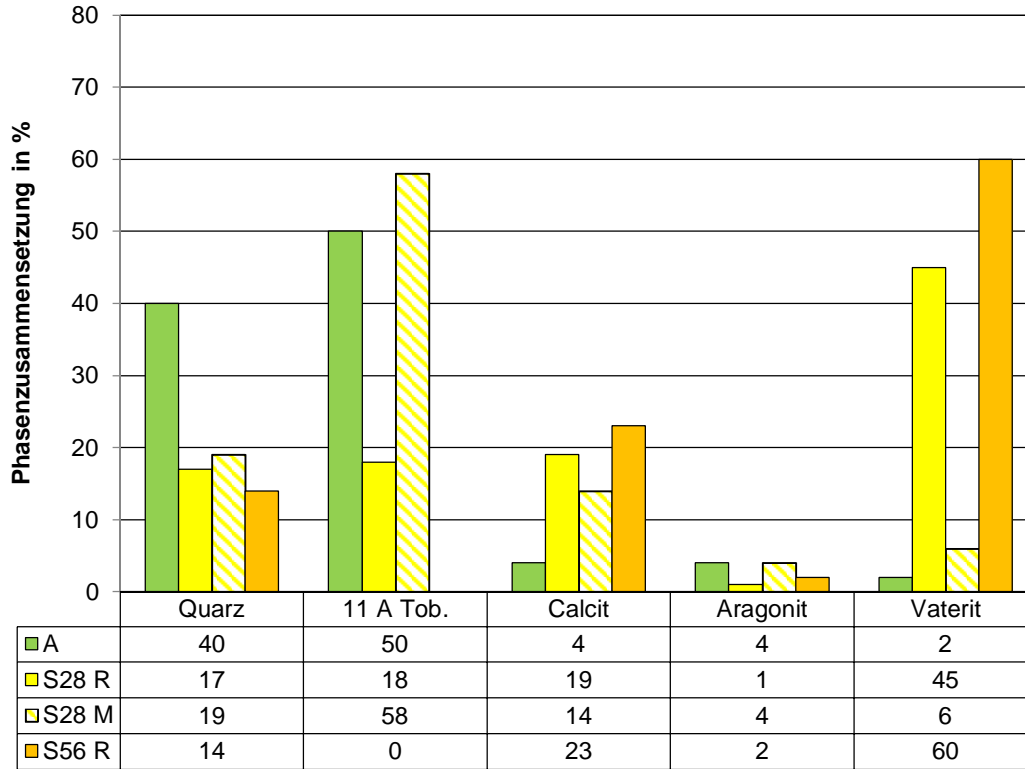
**Profil der Steine PP 2-0,35 aus Werk W22
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W22 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	42	23
W22 / AL12 / 2		27	15
W22 / AL12 / 3		4	2
W22 / AL12 / 4		0	0
W22 / AL12 / 5		0	0
W22 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	61	34
W22 / AL40 / 2		50	28
W22 / AL40 / 3		32	18
W22 / AL40 / 4		7	4
W22 / AL40 / 5		0	0
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			24,04 M.-%

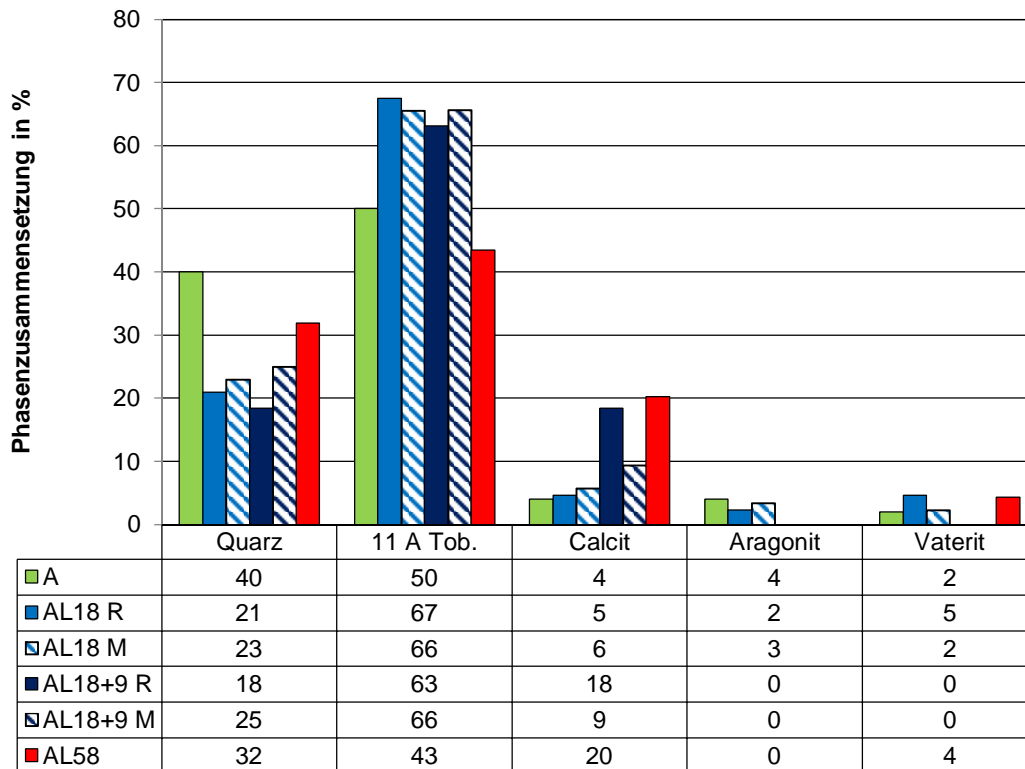


Phasenzusammensetzung der Steine PP 2-0,35 aus Werk W22

W22 - Schnellcarbonatisierung

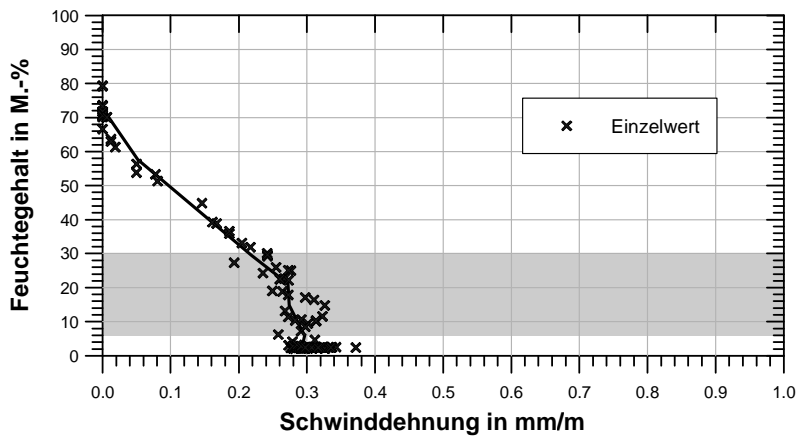
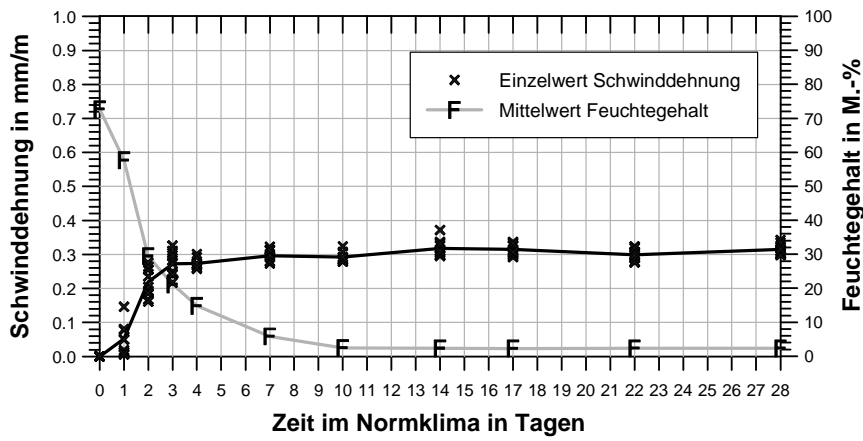


W22 - Außenlagerung



**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W23
Schwindmessungen**

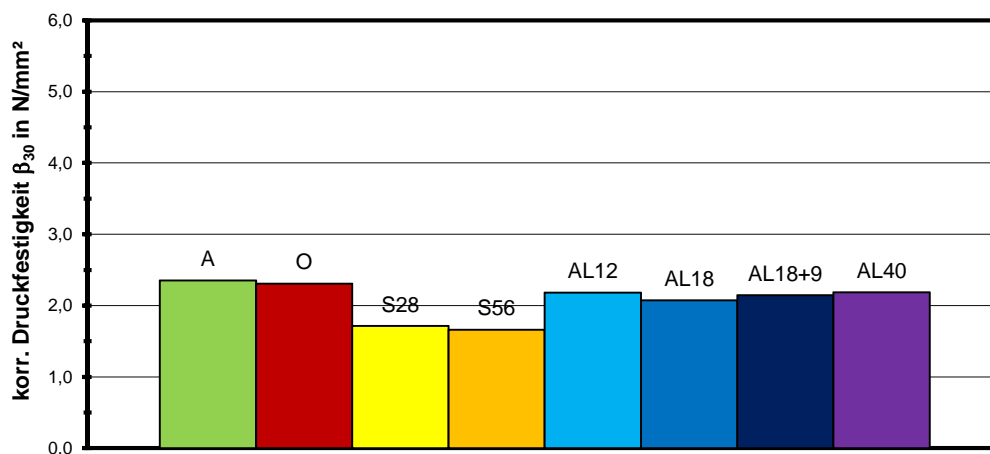
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W23 / 1 / A Mittelwert	0	72,8	0,000	0,000	0,000
	1	63,2	0,023	0,002	0,023
	2	34,7	0,190	0,019	0,190
	3	27,2	0,252	0,025	0,252
	4	19,8	0,268	0,027	0,267
	7	8,6	0,303	0,030	0,302
	10	2,7	0,284	0,028	0,284
	14	2,4	0,321	0,032	0,320
	17	2,4	0,309	0,031	0,308
	22	2,4	0,295	0,029	0,294
28	2,4	0,312	0,031	0,312	
W23 / 2 / A Mittelwert	0	72,6	0,000	0,000	0,000
	1	52,1	0,081	0,008	0,081
	2	24,3	0,247	0,025	0,246
	3	15,1	0,292	0,029	0,291
	4	9,8	0,280	0,028	0,279
	7	3,1	0,290	0,029	0,289
	10	2,2	0,302	0,030	0,301
	14	2,2	0,314	0,031	0,313
	17	2,2	0,320	0,032	0,319
	22	2,3	0,304	0,030	0,303
28	2,2	0,318	0,032	0,317	
W23 / A Mittelwert	0	72,7	0,000	0,000	0,000
	1	57,6	0,052	0,005	0,052
	2	29,5	0,219	0,022	0,218
	3	21,2	0,272	0,027	0,272
	4	14,8	0,274	0,027	0,273
	7	5,9	0,296	0,030	0,296
	10	2,5	0,293	0,029	0,292
	14	2,3	0,317	0,032	0,317
	17	2,3	0,314	0,031	0,314
	22	2,4	0,299	0,030	0,299
28	2,3	0,315	0,031	0,314	



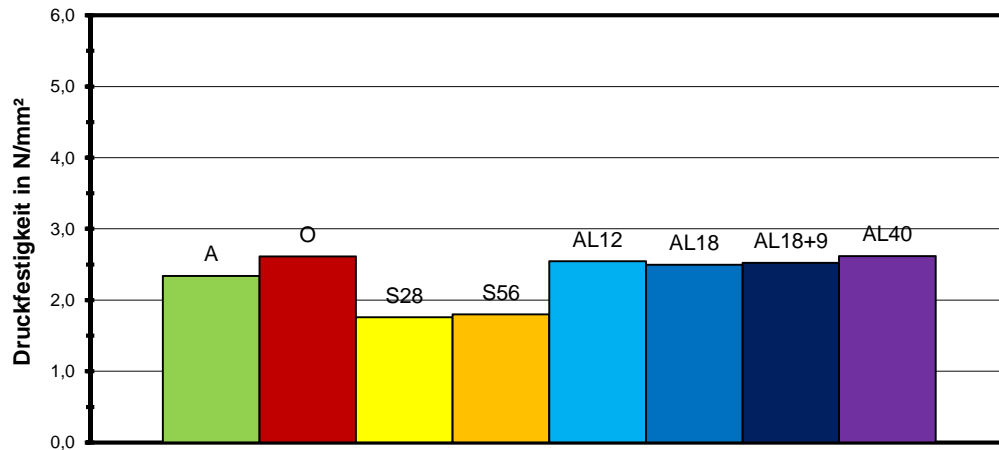
Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W23
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit N/mm ²	Feuchtegehalt M.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	korr. Druckfestigkeit β_{30} N/mm ²
-	-				
W23/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	2,32	42,5	0,351	2,33
W23/3/A2/v		2,36	43,6	0,358	2,37
W23/3/A3/v		2,39	40,4	0,339	2,40
Mittelwert		2,36	42,2	0,349	2,37
W23/4/A1/v		2,33	44,7	0,350	2,34
W23/4/A2/v		2,31	38,7	0,349	2,32
W23/4/A3/v		2,33	43,6	0,349	2,35
Mittelwert		2,33	42,3	0,349	2,34
W23 / A / Mittel		2,34	42,3	0,349	2,35
W23/3/A1/h		O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,68	6,2	0,352
W23/3/A2/h	2,72		3,9	0,363	2,29
W23/3/A3/h	2,50		5,4	0,352	2,20
Mittelwert	2,63		5,2	0,356	2,29
W23/4/A1/h	2,64		6,2	0,349	2,36
W23/4/A2/h	2,70		4,7	0,356	2,34
W23/4/A3/h	2,45		8,0	0,345	2,25
Mittelwert	2,60		6,3	0,350	2,32
W23 / O / Mittel	2,61		5,7	0,353	2,31
W23/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂		1,78	16,5	0,397
W23/13/S2/v		1,80	17,5	0,396	1,75
W23/13/S3/v		1,70	20,9	0,390	1,67
W23 / S28 / Mittel		1,76	18,3	0,394	1,71
W23/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,89	8,3	0,405	1,75
W23/15/S2/v		1,78	8,0	0,414	1,63
W23/15/S3/v		1,73	8,2	0,399	1,60
W23 / S56 / Mittel		1,80	8,1	0,406	1,66
W23/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,54	4,3	0,365	2,17
W23/18/AL2/h		2,61	4,5	0,361	2,24
W23/18/AL3/h		2,49	4,4	0,352	2,13
W23 / AL12 / Mittel		2,55	4,4	0,359	2,18
W23/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,35	3,7	0,366	1,96
W23/26/AL2/h		2,57	3,2	0,367	2,10
W23/26/AL3/h		2,57	3,8	0,365	2,15
W23 / AL18 / Mittel		2,49	3,6	0,366	2,07
W23/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,68	4,3	0,366	2,29
W23/41/AL2/h		2,36	4,0	0,356	2,00
W3 / AL18+9 / Mittel		2,52	4,1	0,361	2,14
W23/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	2,66	3,6	0,365	2,22
W23/33/AL2/h		2,69	3,6	0,362	2,24
W23/33/AL3/h		2,52	3,6	0,356	2,10
W3 / AL40 / Mittel		2,62	3,6	0,361	2,19

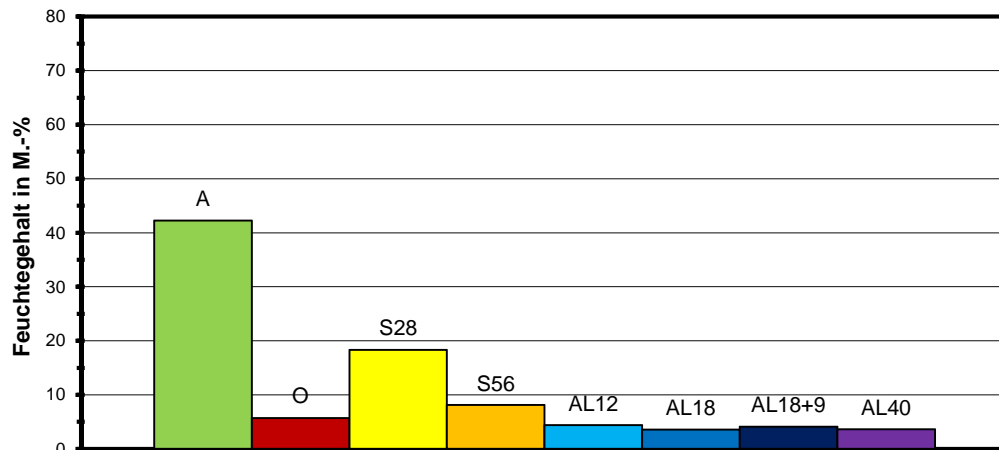
Werk W23



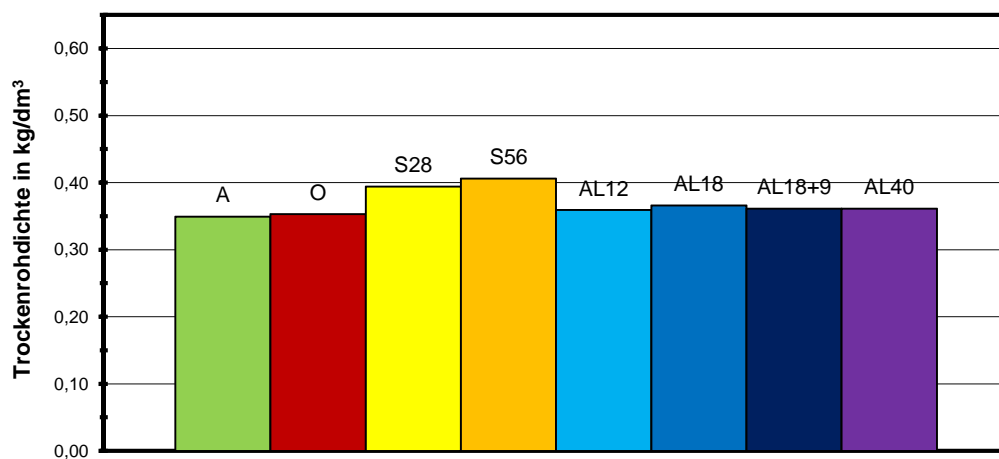
Werk W23



Werk W23



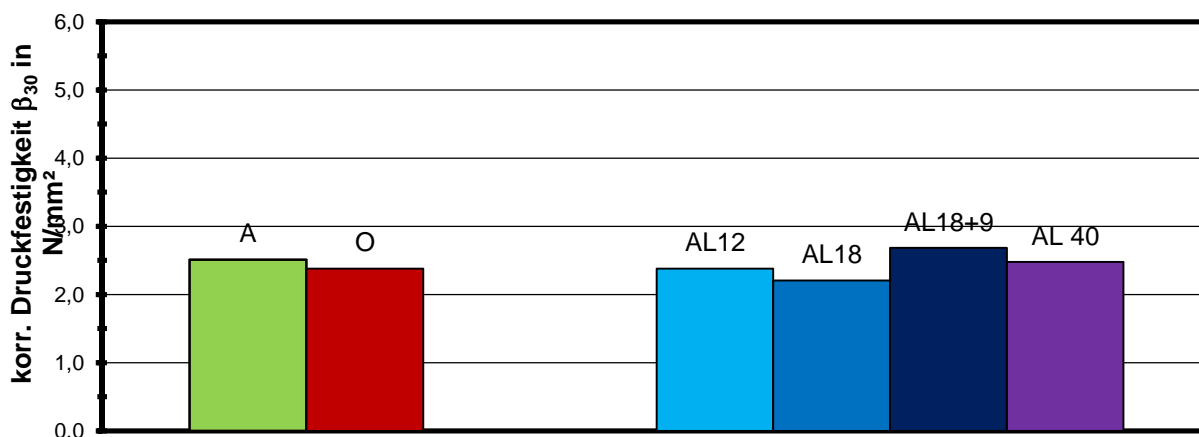
Werk W23



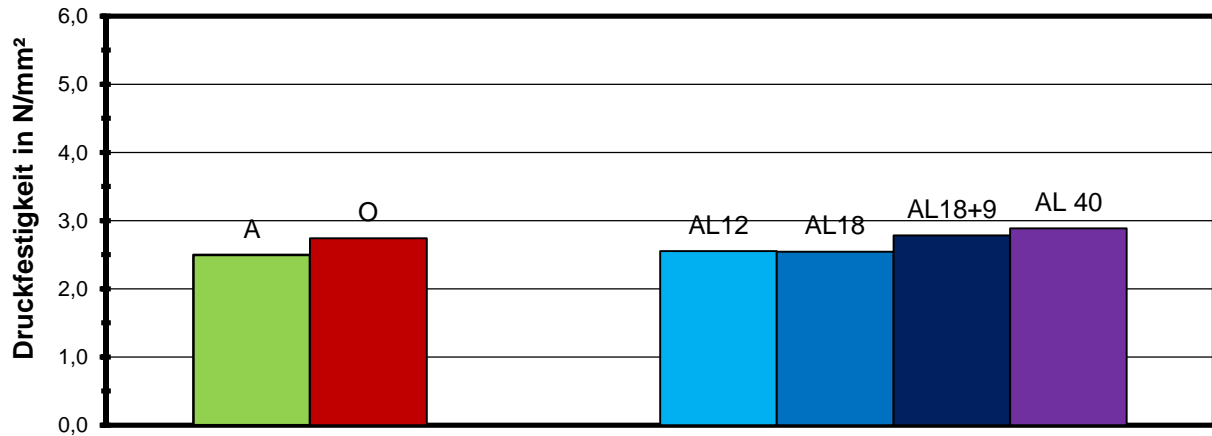
Steine PP 2-0,35 aus Werk W23
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W23/10/A	A Anlieferungsfeuchte	2,44	43,2	0,346	2,46
W23/11/A		2,47	43,9	0,344	2,49
W23/12/A		2,57	43,4	0,351	2,59
W23 / A / Mittel		2,50	43,5	0,347	2,51
W23/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	2,75	4,9	0,347	2,39
W23/8/A		2,70	4,8	0,351	2,35
W23/9/A		2,77	4,8	0,345	2,40
W23 / O / Mittel		2,74	4,8	0,348	2,38
W23/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,71	8,6	0,376	2,51
W23/21/A		2,75	9,4	0,361	2,56
W23/22/A		2,20	9,8	0,395	2,06
W23 / AL12 / Mittel		2,55	9,3	0,377	2,38
W23/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,60	4,9	0,396	2,26
W23/29/A		2,64	4,6	0,403	2,27
W23/30/A		2,40	5,0	0,389	2,09
W23 / AL18 / Mittel		2,54	4,8	0,396	2,21
W23/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	2,78	15,0	0,384	2,69
W23 / AL18+9 / Mittel		2,78	15,0	0,384	2,69
W23/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	2,79	4,4	0,373	2,40
W23/36/A		2,94	4,5	0,378	2,53
W23/37/A		2,92	4,4	0,378	2,50
W23 / AL40 / Mittel		2,89	4,4	0,376	2,48

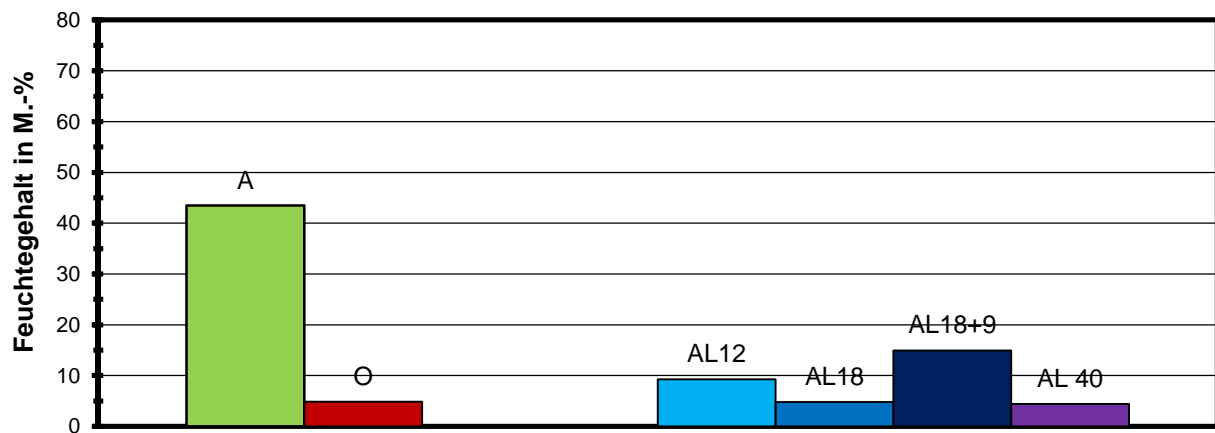
Werk W23



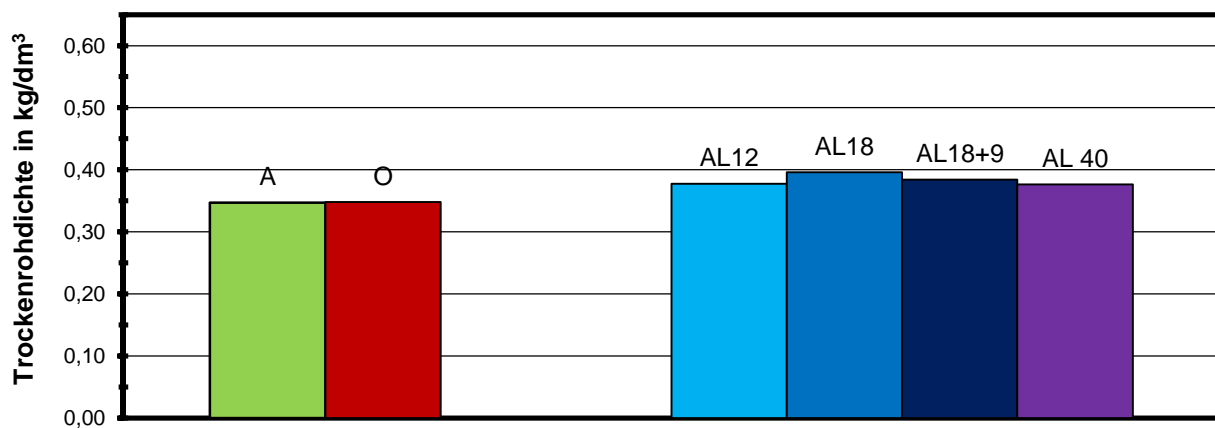
Werk W23



Werk W23



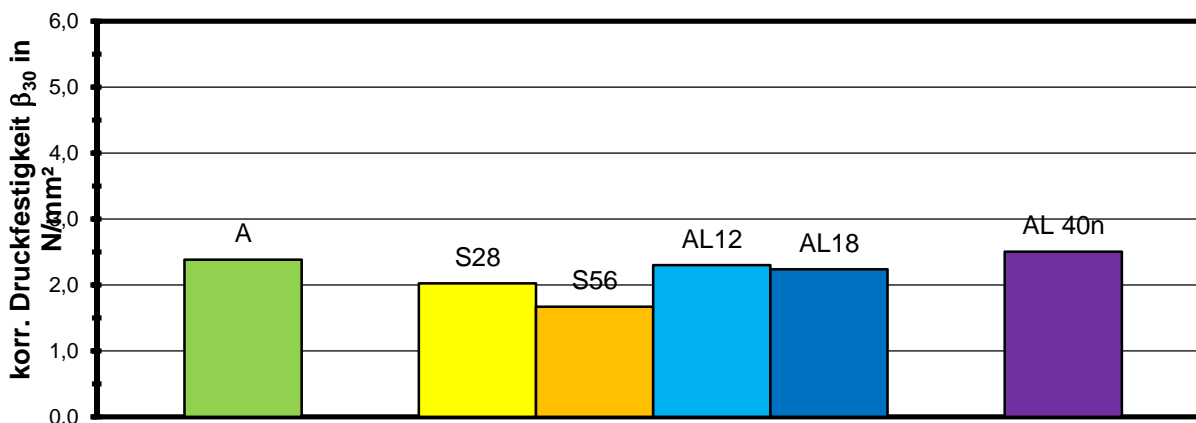
Werk W23



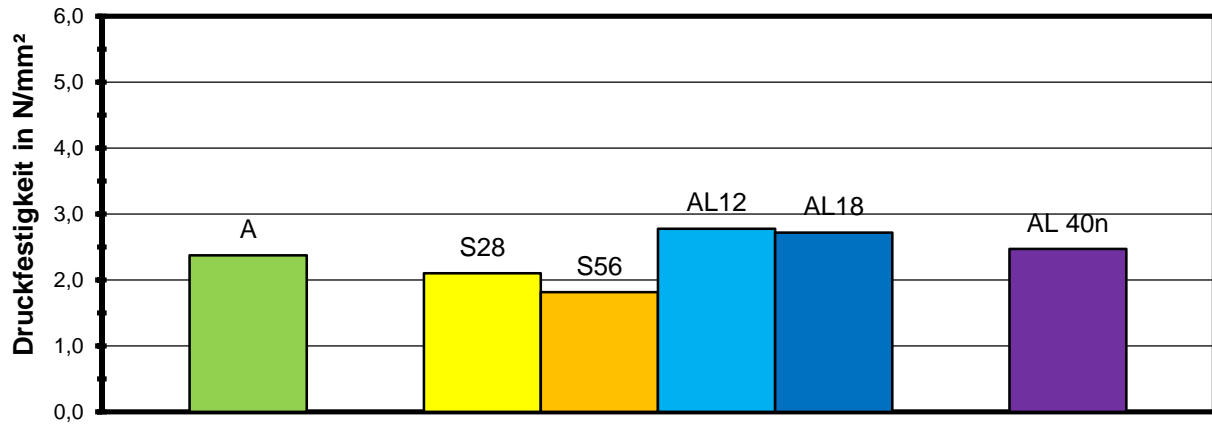
**Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W23
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W23/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	2,35	38,6	0,351	2,36
W23/5/A2/u/v		2,36	40,8	0,354	2,38
W23/5/A3/u/v		2,33	39,2	0,351	2,33
Mittelwert		2,35	39,5	0,352	2,36
W23/6/A1/u/v		2,43	40,9	0,350	2,44
W23/6/A2/u/v		2,37	43,8	0,356	2,39
W23/6/A3/u/v		2,38	42,6	0,349	2,39
Mittelwert		2,39	42,5	0,352	2,41
W23 / A / Mittel		2,37	41,0	0,352	2,38
W23/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	2,17	13,0	0,398	2,07
W23/14/S2/u/v		2,14	15,8	0,409	2,07
W23/14/S3/u/v		1,99	15,3	0,403	1,92
W23 / S28 / Mittel		2,10	14,7	0,403	2,02
W23/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	1,90	8,1	0,406	1,75
W23/16/S2/u/v		1,80	8,0	0,409	1,65
W23/16/S3/u/v		1,74	8,1	0,404	1,60
W23 / S56 / Mittel		1,81	8,1	0,406	1,67
W23/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	2,75	3,4	0,362	2,26
W23/19/AL2/u/v		2,93	3,5	0,371	2,43
W23/19/AL3/u/v		2,66	3,5	0,358	2,20
W23 / AL12 / Mittel		2,78	3,4	0,364	2,30
W23/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	2,73	3,0	0,367	2,22
W23/27/AL2/u/v		2,80	3,4	0,366	2,31
W23/27/AL3/u/v		2,62	3,5	0,366	2,18
W23 / AL18 / Mittel		2,72	3,3	0,366	2,24
W23/34/AL1/u/v	AL40(nass) 40 Monate Außenlagerung, 1 Tag unter Wasser	2,53	56,0	0,363	2,56
W23/34/AL2/u/v		2,46	58,8	0,354	2,49
W23/34/AL3/u/v		2,42	64,0	0,352	2,46
W23 / AL40(nass) / Mittel		2,47	59,6	0,357	2,50

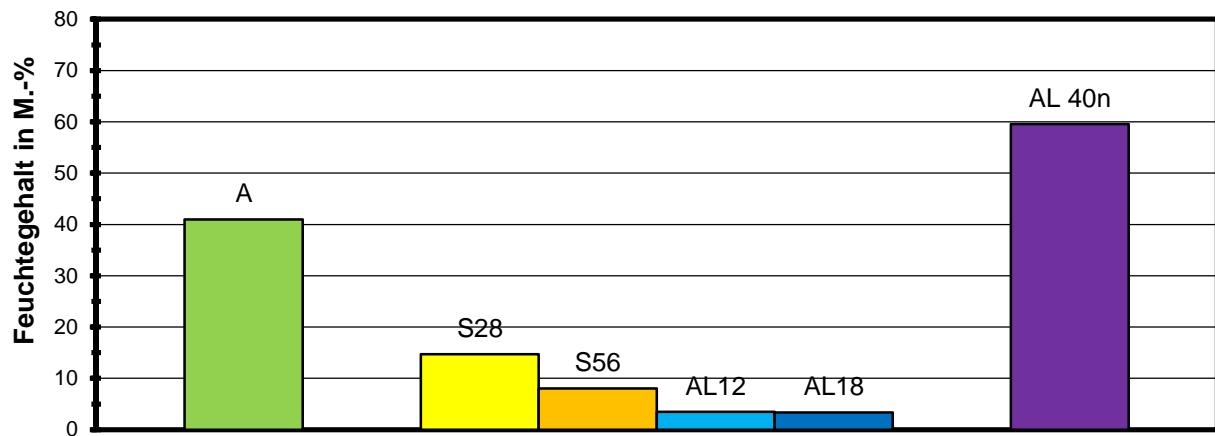
Werk W23



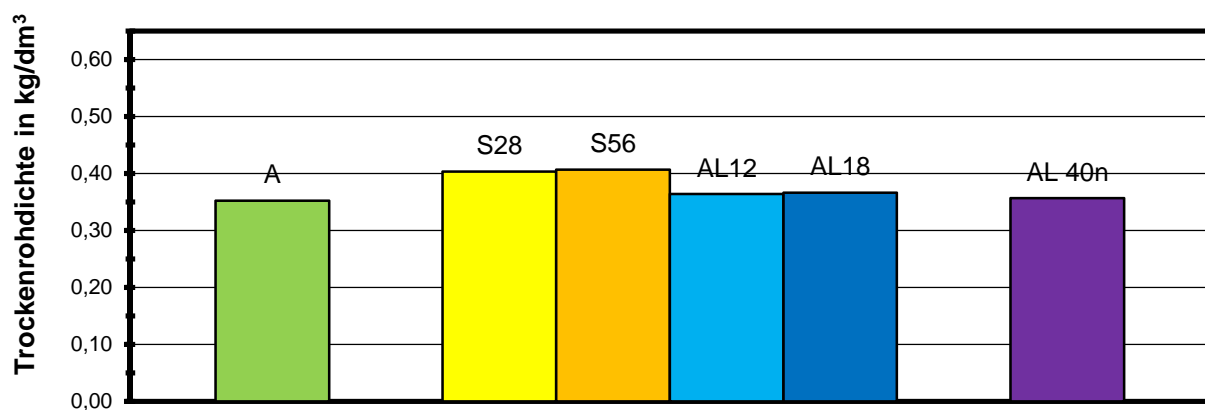
Werk W23



Werk W23



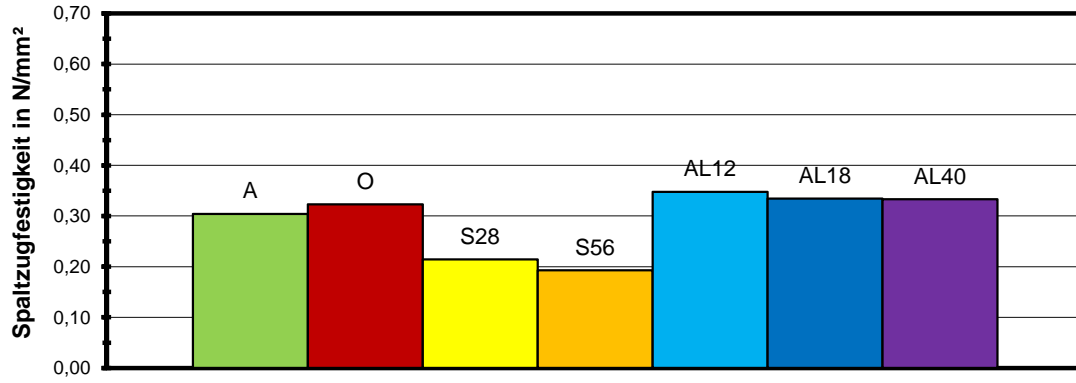
Werk W23



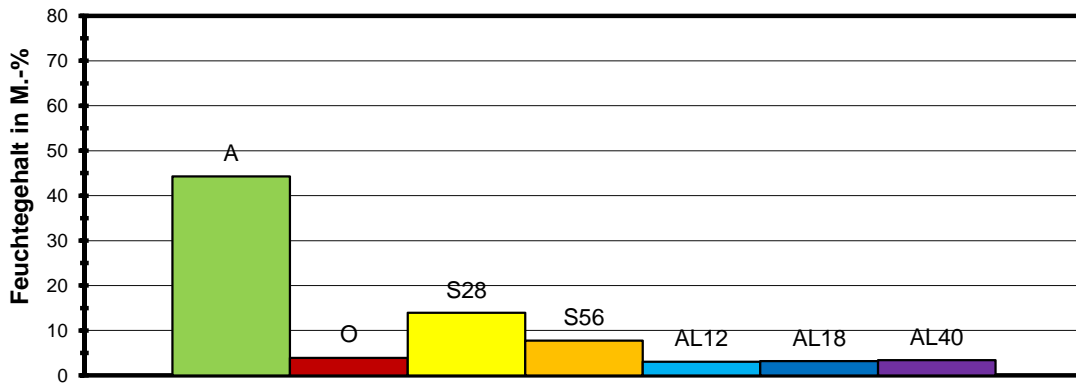
Würfel der Steine PP 2-0,35 aus Werk W23
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzugfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenroh-dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W23/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,29	43,1	0,340
W23/5/A2/o/v		0,29	45,4	0,339
W23/5/A3/o/v		0,29	43,1	0,336
Mittelwert		0,29	43,9	0,338
W23/6/A1/o/v		0,30	45,4	0,347
W23/6/A2/o/v		0,33	45,5	0,354
W23/6/A3/o/v		0,32	43,3	0,348
Mittelwert		0,32	44,7	0,350
W23 / A / Mittel		0,30	44,3	0,344
W23/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	0,32	4,8	0,345
W23/5/A2/o/h		0,34	4,7	0,352
W23/5/A3/o/h		0,30	2,6	0,353
Mittelwert		0,32	4,1	0,350
W23/6/A1/o/h		0,32	4,7	0,348
W23/6/A2/o/h		0,29	2,6	0,359
W23/6/A3/o/h		0,37	4,0	0,354
Mittelwert		0,33	3,8	0,354
W23 / O / Mittel		0,32	3,9	0,352
W23/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,20	14,3	0,394
W23/14/S2/o/v		0,21	15,1	0,396
W23/14/S3/o/v		0,23	12,5	0,396
W23 / S28 / Mittel		0,21	13,9	0,395
W23/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,18	7,7	0,406
W23/16/S2/o/v		0,19	7,8	0,406
W23/16/S3/o/v		0,21	7,8	0,401
W23 / S56 / Mittel		0,19	7,7	0,404
W23/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,34	3,0	0,361
W23/19/AL2/o/h		0,34	3,1	0,363
W23/19/AL3/o/h		0,36	3,0	0,356
W23 / AL12 / Mittel		0,35	3,1	0,360
W23/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,32	3,6	0,359
W23/27/AL2/o/h		0,33	3,2	0,362
W23/27/AL3/o/h		0,35	2,9	0,360
W23 / AL18 / Mittel		0,33	3,2	0,360
W23/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,32	3,4	0,359
W23/34/AL2/o/h		0,33	3,4	0,364
W23/34/AL3/o/h		0,35	3,5	0,353
W23 / AL40 / Mittel		0,33	3,4	0,359

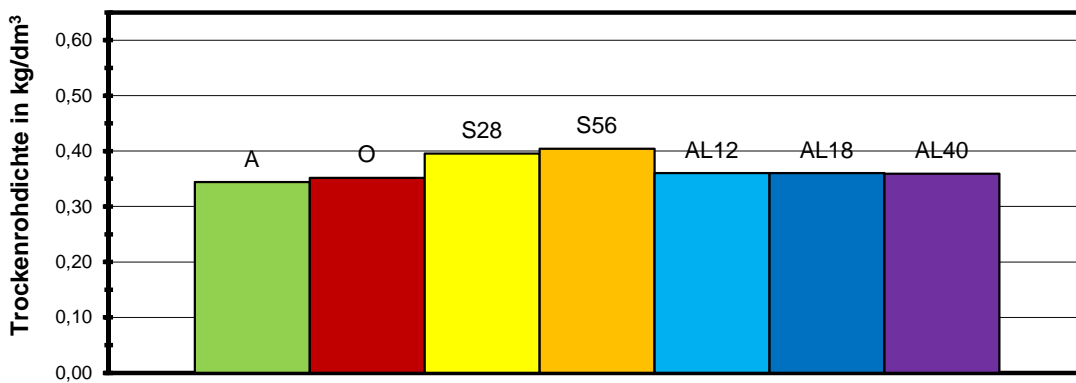
Werk W23



Werk W23

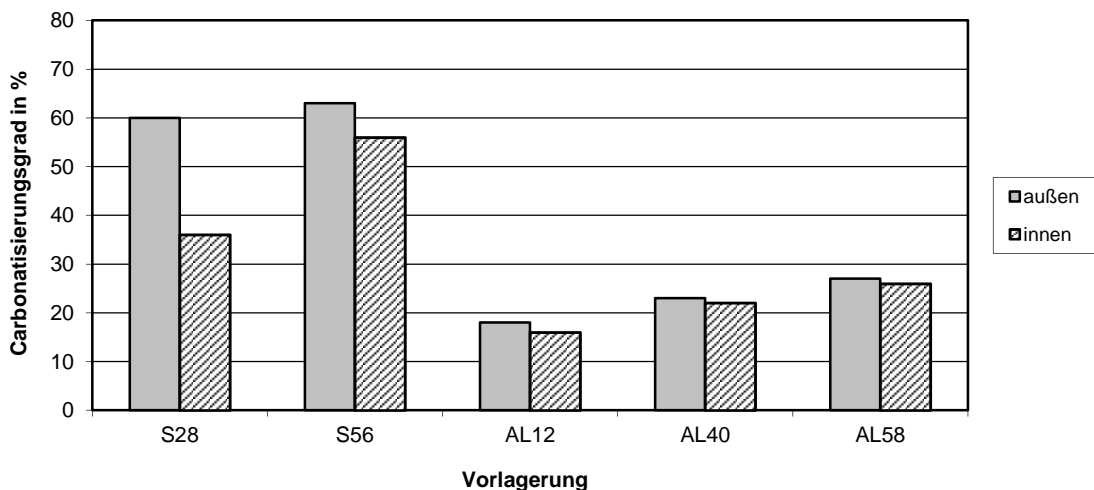
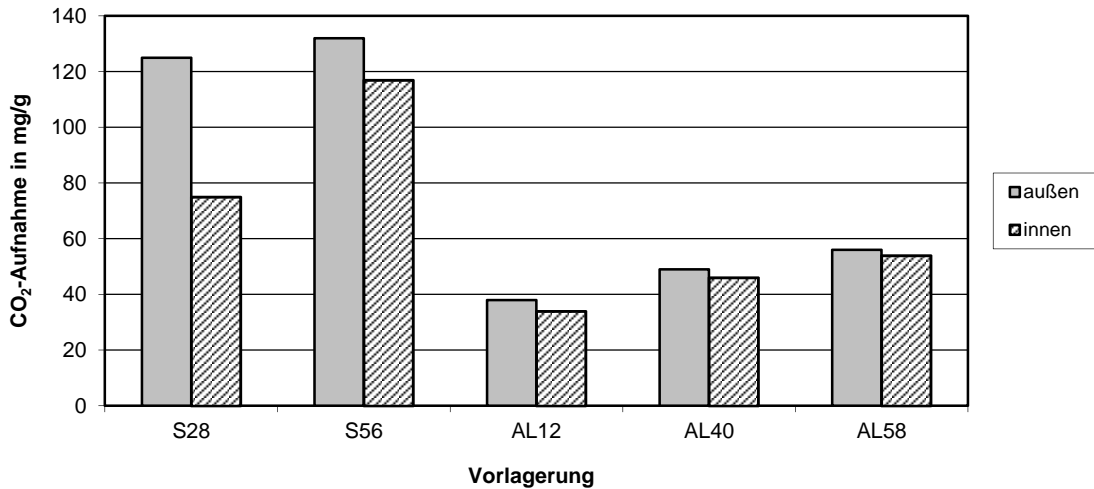


Werk W23



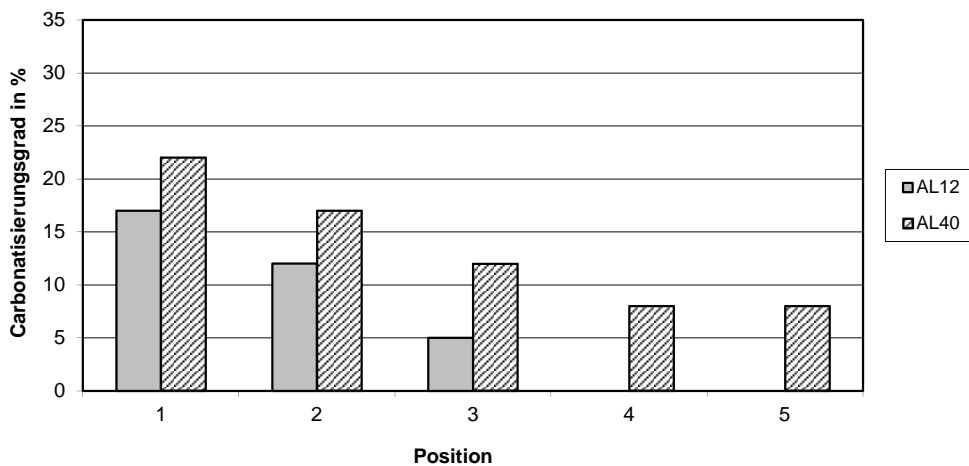
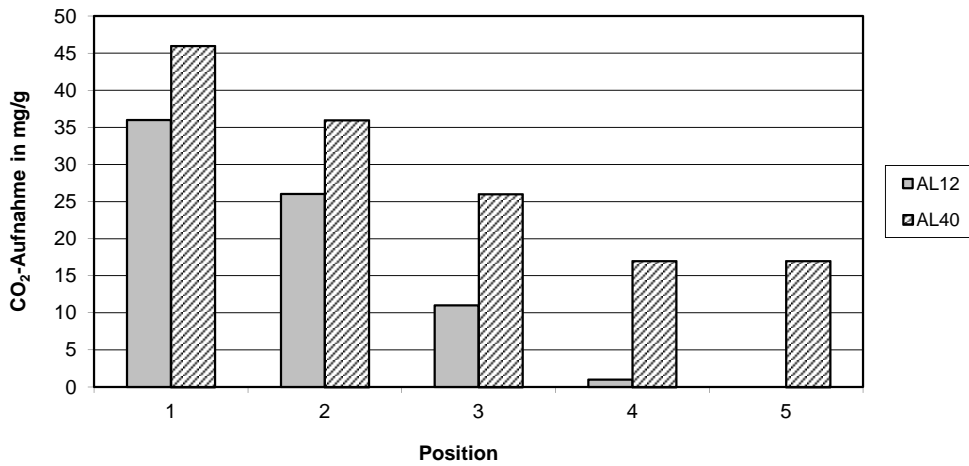
**Prismen der Steine PP 2-0,35 aus Werk W23
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W23 / S28 / 1	28 Tage 1 % CO ₂	125	74	60	35
W23 / S28 / 2		125	75	60	36
W23 / S28 / Mittel		125	75	60	36
W23 / S56 / 1	56 Tage 1 % CO ₂	132	117	63	56
W23 / S56 / 2		132	116	63	56
W23 / S56 / Mittel		132	117	63	56
W23 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	38	34	18	16
W23 / AL12 / 2		38	34	18	16
W23 / AL12 / Mittel		38	34	18	16
W23 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	49	46	23	22
W23 / AL40 / 2		49	46	23	22
W23 / AL40 / Mittel		49	46	23	22
W23 / AL58 / 1	Außenlager über 58 Monate	56	54	27	26
W23 / AL58 / 2		56	54	27	26
W23 / AL58 / Mittel		56	54	27	26
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				29,06 M.-%	



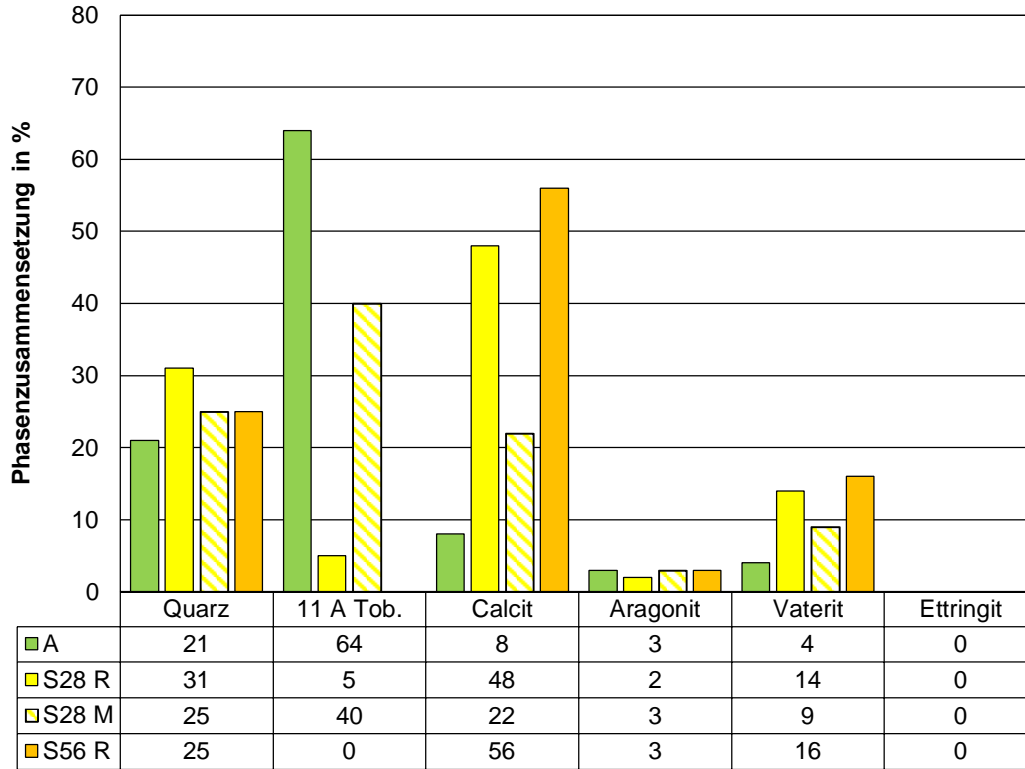
**Profil der Steine PP 2-0,35 aus Werk W23
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W23 / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	36	17
W23 / AL12 / 2		26	12
W23 / AL12 / 3		11	5
W23 / AL12 / 4		1	0
W23 / AL12 / 5		0	0
W23 / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	46	22
W23 / AL40 / 2		36	17
W23 / AL40 / 3		26	12
W23 / AL40 / 4		17	8
W23 / AL40 / 5		17	8
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			29,06 M.-%

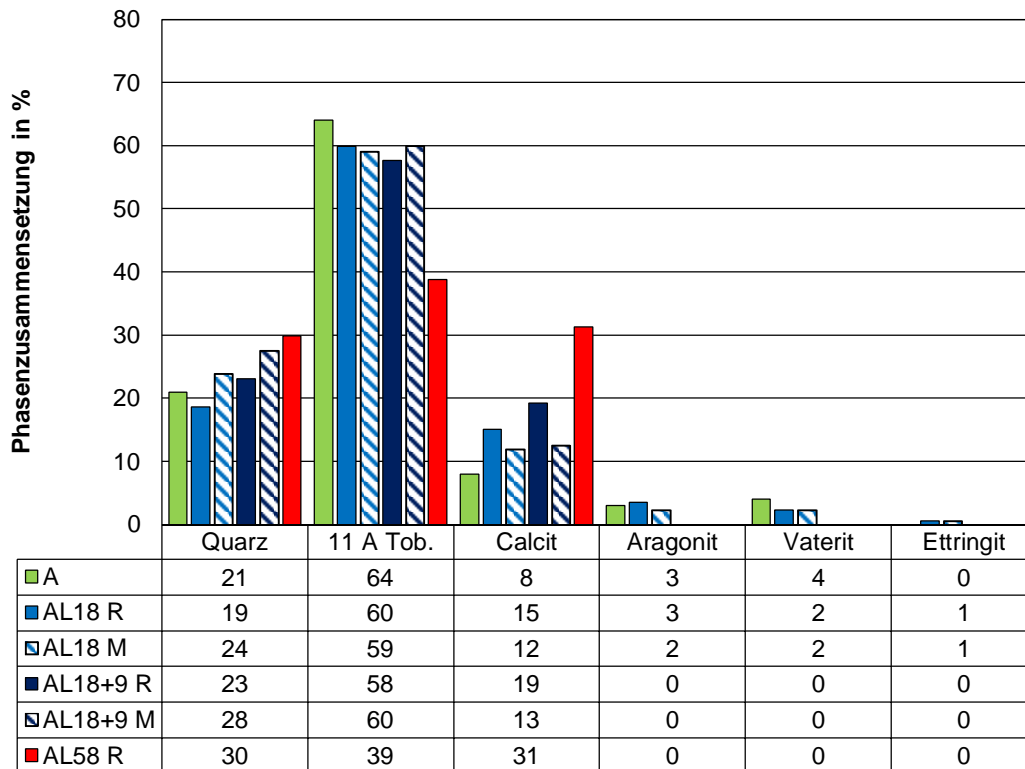


Phasenzusammensetzung der Steine PP 2-0,35 aus Werk W23

W23 - Schnellcarbonatisierung

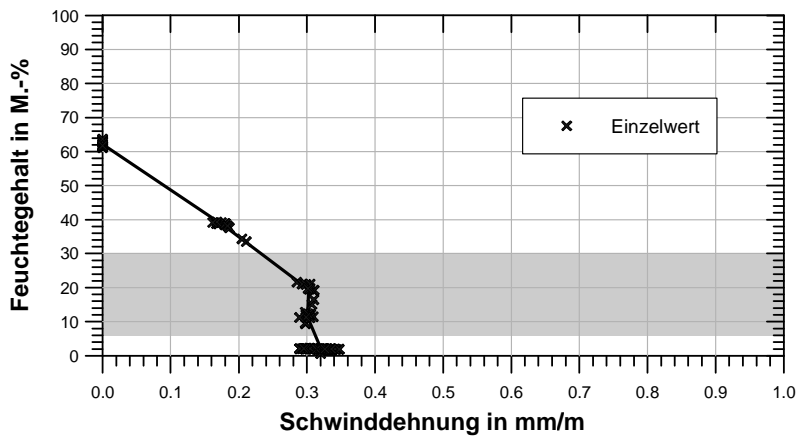
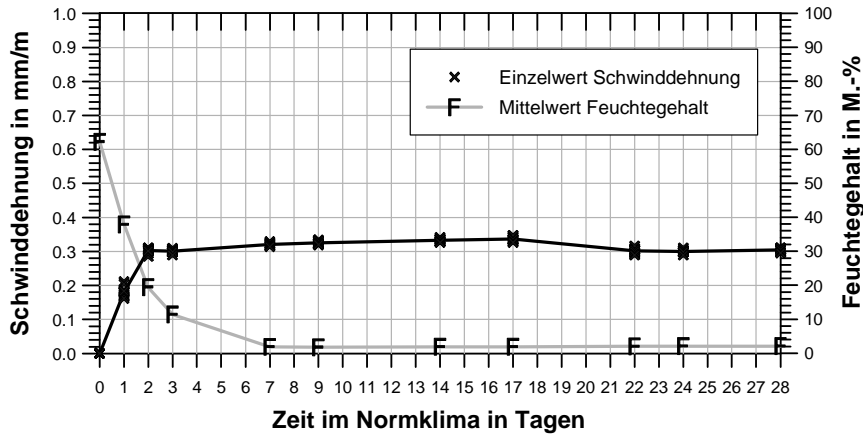


W23 - Außenlagerung



Prismen der Steine PP 4-0,50 aus Werk W23a
Schwindmessungen

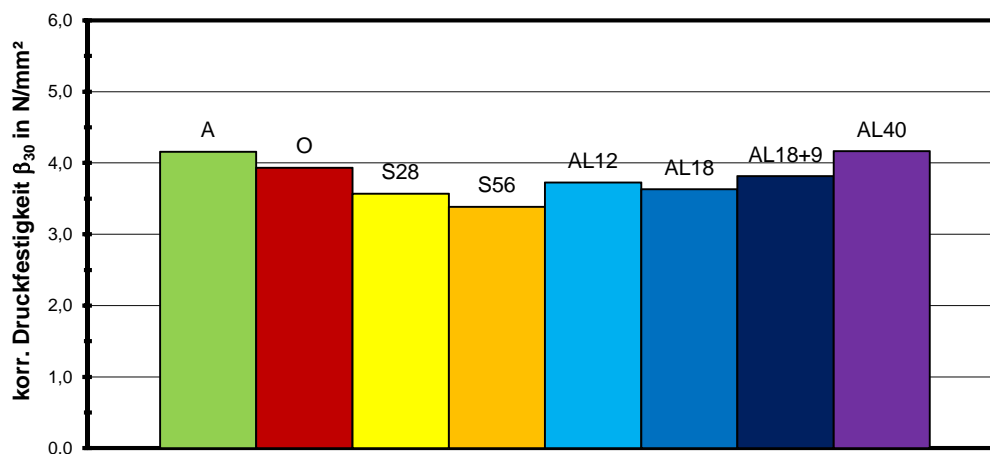
Probe Nr.	Mess-zeitpunkt	Feuchte-gehalt	relative Längenänderung		
			RILEM	RILEM	Entwurf DIN EN 680
-	Tag	M.-%	mm/m	%	mm/m
W23a / 1 / A Mittelwert	0	61,8	0,000	0,000	0,000
	1	37,9	0,181	0,018	0,181
	2	19,5	0,305	0,031	0,305
	3	11,3	0,298	0,030	0,298
	7	1,9	0,319	0,032	0,319
	9	1,7	0,324	0,032	0,324
	14	1,9	0,331	0,033	0,331
	17	2,0	0,332	0,033	0,332
	22	2,1	0,297	0,030	0,297
	24	2,1	0,299	0,030	0,298
28	2,1	0,304	0,030	0,304	
W23a / 2 / A Mittelwert	0	62,5	0,000	0,000	0,000
	1	37,9	0,180	0,018	0,180
	2	19,3	0,300	0,030	0,300
	3	11,6	0,303	0,030	0,302
	7	1,9	0,323	0,032	0,322
	9	1,8	0,327	0,033	0,326
	14	1,9	0,334	0,033	0,334
	17	1,9	0,341	0,034	0,341
	22	2,0	0,306	0,031	0,305
	24	2,0	0,301	0,030	0,300
28	2,1	0,306	0,031	0,305	
W23a / A Mittelwert	0	62,2	0,000	0,000	0,000
	1	37,9	0,181	0,018	0,180
	2	19,4	0,303	0,030	0,302
	3	11,4	0,301	0,030	0,300
	7	1,9	0,321	0,032	0,320
	9	1,8	0,325	0,033	0,325
	14	1,9	0,333	0,033	0,332
	17	1,9	0,337	0,034	0,336
	22	2,1	0,302	0,030	0,301
	24	2,1	0,300	0,030	0,299
28	2,1	0,305	0,030	0,304	



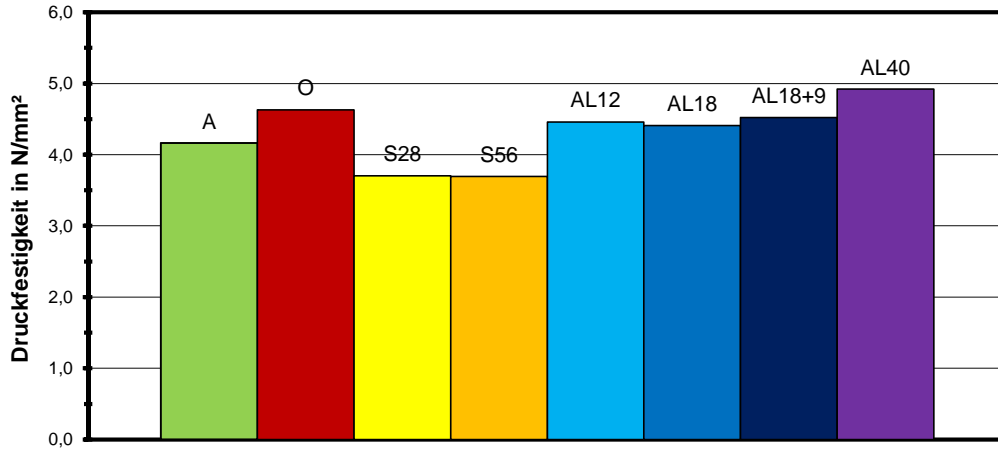
**Prismen der Steine PP 4-0,50 aus Werk W23a
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit N/mm ²	Feuchtegehalt M.-%	Trockenrohichte kg/dm ³	korrr. Druckfestigkeit β_{30} N/mm ²
-	-				
W23a/3/A1/v	A Anlieferungsfeuchte	4,42	31,0	0,509	4,40
W23a/3/A2/v		4,30	33,9	0,500	4,30
W23a/3/A3/v		4,00	32,0	0,494	3,99
Mittelwert		4,24	32,3	0,501	4,23
W23a/4/A1/v		4,29	31,1	0,492	4,28
W23a/4/A2/v		4,09	32,7	0,484	4,08
W23a/4/A3/v		3,90	30,4	0,478	3,88
Mittelwert		4,09	31,4	0,485	4,08
W23a / A / Mittel			4,17	31,8	0,493
W23a/3/A1/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	4,38	3,1	0,511	3,57
W23a/3/A2/h		5,08	3,0	0,506	4,11
W23a/3/A3/h		4,86	2,7	0,499	3,87
Mittelwert		4,77	2,9	0,505	3,85
W23a/4/A1/h		4,63	9,4	0,475	4,32
W23a/4/A2/h		4,49	5,2	0,484	3,94
W23a/4/A3/h		4,34	5,1	0,479	3,80
Mittelwert		4,49	6,6	0,480	4,02
W23a / O / Mittel			4,63	4,8	0,492
W23a/13/S1/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	4,03	13,7	0,567	3,87
W23a/13/S2/v		3,65	15,0	0,557	3,53
W23a/13/S3/v		3,43	15,6	0,548	3,31
W23a / S28 / Mittel			3,70	14,8	0,557
W23a/15/S1/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	3,93	7,5	0,582	3,59
W23a/15/S2/v		3,70	7,8	0,572	3,39
W23a/15/S3/v		3,46	7,8	0,555	3,17
W23a / S56 / Mittel			3,70	7,7	0,570
W23a/18/AL1/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	4,74	3,6	0,526	3,96
W23a/18/AL2/h		4,48	3,7	0,518	3,75
W23a/18/AL3/h		4,16	3,7	0,506	3,47
W23a / AL12 / Mittel			4,46	3,7	0,517
W23a/26/AL1/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	4,49	3,6	0,517	3,74
W23a/26/AL2/h		4,45	3,3	0,511	3,66
W23a/26/AL3/h		4,29	3,1	0,505	3,49
W23a / AL18 / Mittel			4,41	3,4	0,511
W23a/41/AL1/h	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	4,41	4,1	0,538	3,74
W23a/41/AL2/h		4,63	3,8	0,520	3,89
W3 / AL18+9 / Mittel			4,52	3,9	0,529
W23a/33/AL1/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	5,21	4,0	0,534	4,41
W23a/33/AL2/h		4,91	4,0	0,525	4,15
W23a/33/AL3/h		4,64	4,0	0,518	3,93
W3 / AL40 / Mittel			4,92	4,0	0,526

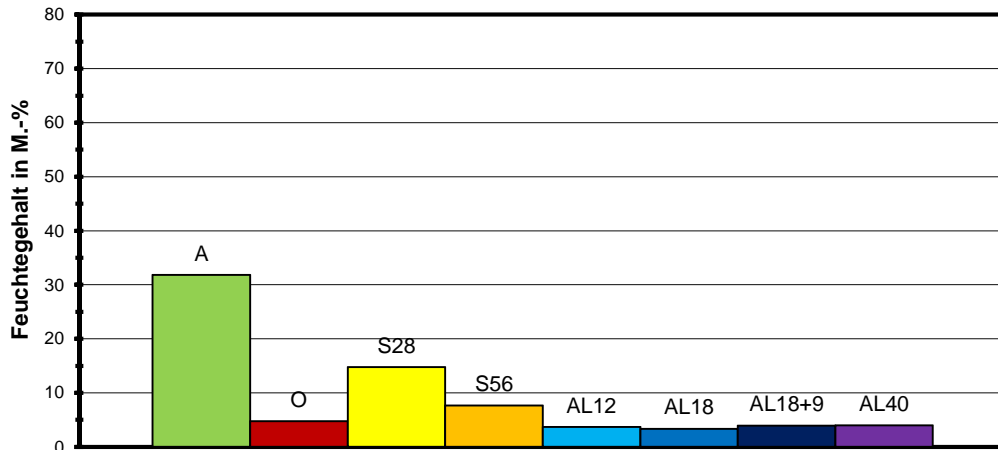
Werk W23a



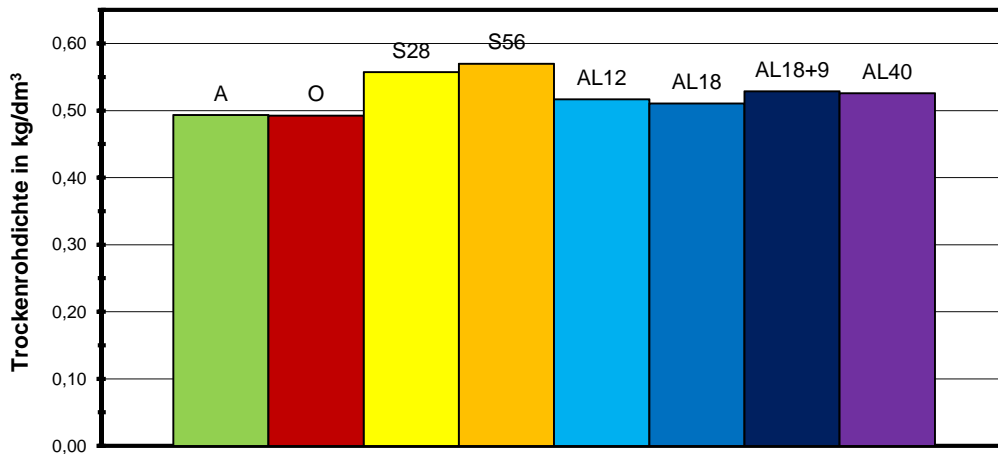
Werk W23a



Werk W23a



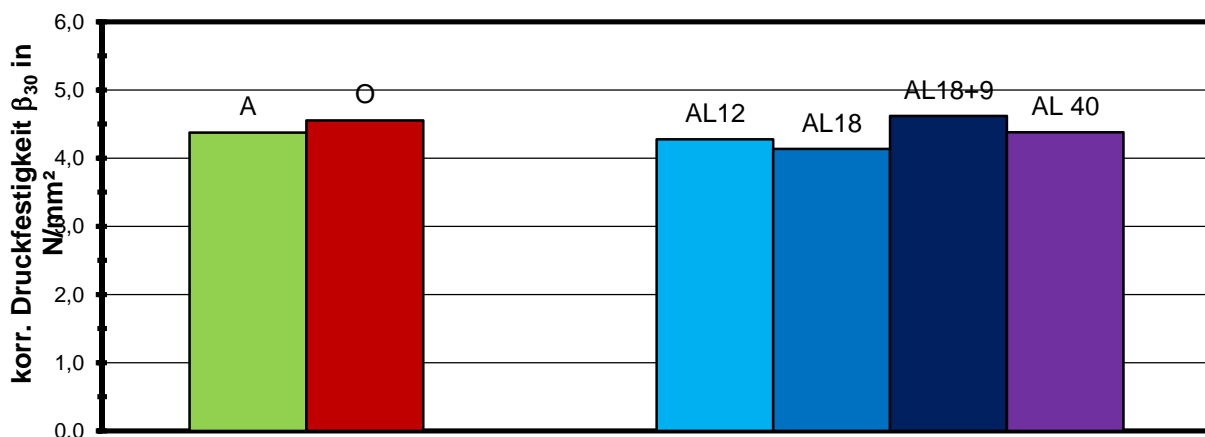
Werk W23a



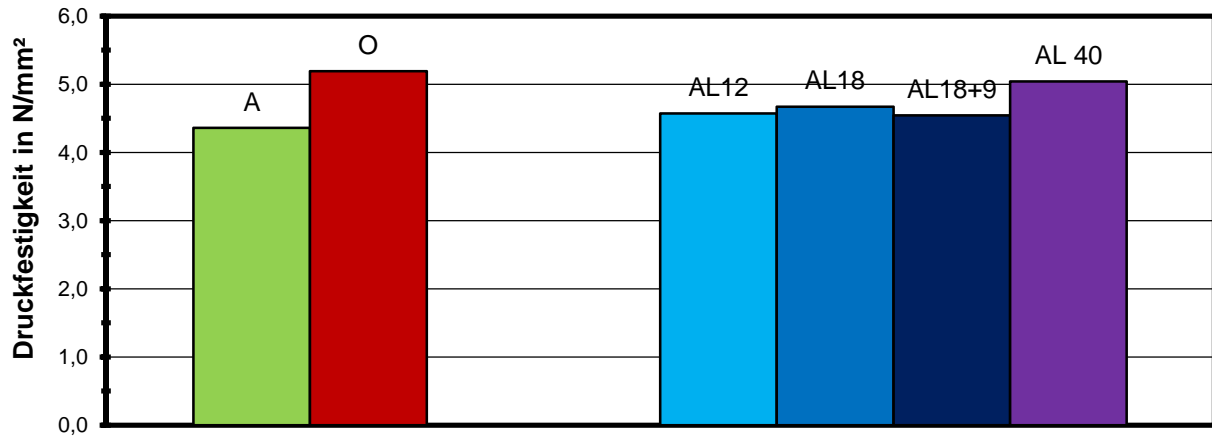
**Steine PP 4-0,50 aus Werk W23a
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W23a/10/A	A Anlieferungsfeuchte	4,14	38,5	0,488	4,15
W23a/11/A		4,35	38,9	0,490	4,37
W23a/12/A		4,59	38,3	0,499	4,61
W23a / A / Mittel		4,36	38,6	0,493	4,38
W23a/7/A	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	5,14	5,5	0,498	4,54
W23a/8/A		5,26	4,9	0,498	4,57
W23a/9/A		5,17	5,4	0,492	4,56
W23a / O / Mittel		5,19	5,3	0,496	4,55
W23a/20/A	AL12 12 Monate Außenlagerung	4,27	9,1	0,513	3,97
W23a/21/A		4,93	10,0	0,516	4,63
W23a/22/A		4,50	10,0	0,502	4,22
W23a / AL12 / Mittel		4,57	9,7	0,510	4,27
W23a/28/A	AL18 18 Monate Außenlagerung	4,77	5,6	0,512	4,22
W23a/29/A		4,77	5,7	0,504	4,23
W23a/30/A		4,47	5,6	0,518	3,95
W23a / AL18 / Mittel		4,67	5,6	0,511	4,14
W23a/43/A	AL18+9 18+9 Monate Außenlagerung	4,54	74,5	0,338	4,62
W23a / AL18+9 / Mittel		4,54	74,5	0,338	4,62
W23a/35/A	AL40 40 Monate Außenlagerung	4,97	4,8	0,522	4,32
W23a/36/A		4,84	4,9	0,513	4,21
W23a/37/A		5,30	4,8	0,520	4,60
W23a / AL40 / Mittel		5,04	4,9	0,518	4,38

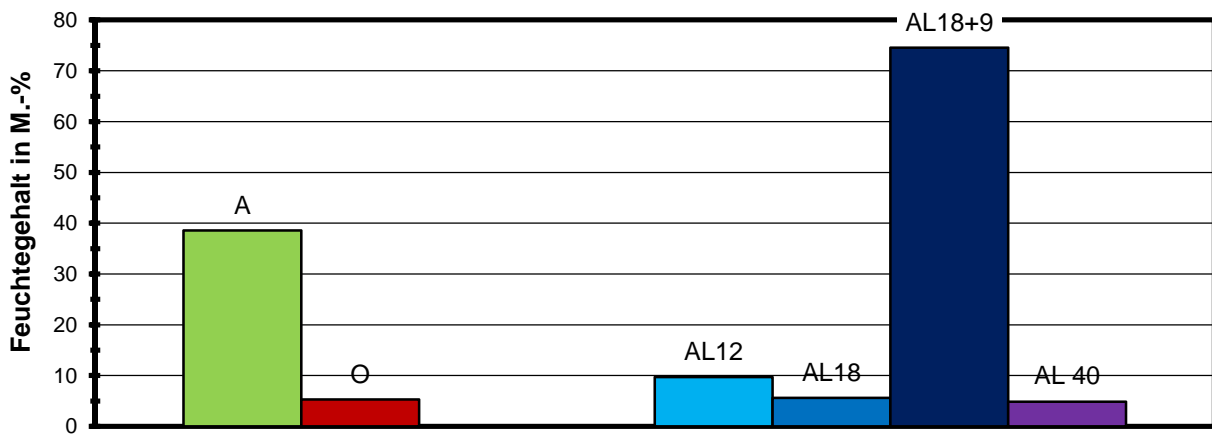
Werk W23a



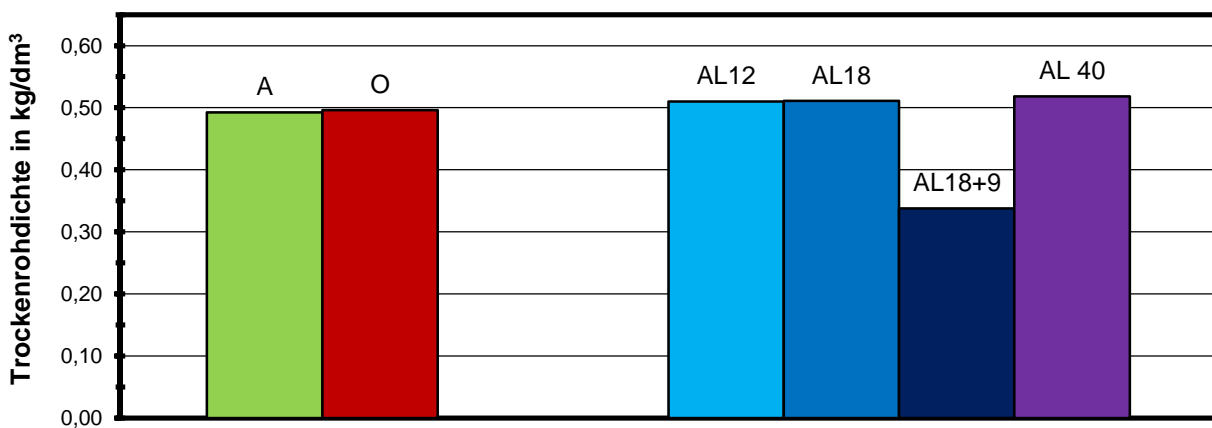
Werk W23a



Werk W23a



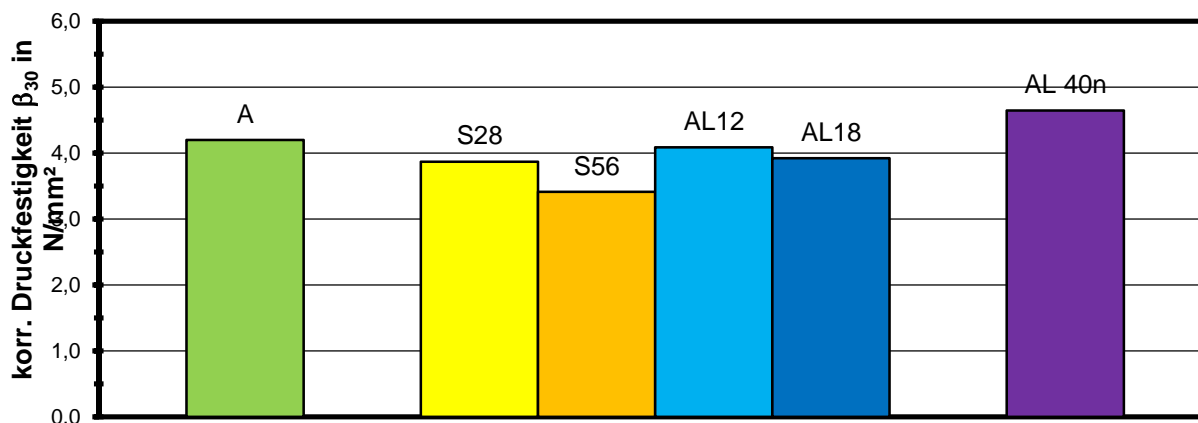
Werk W23a



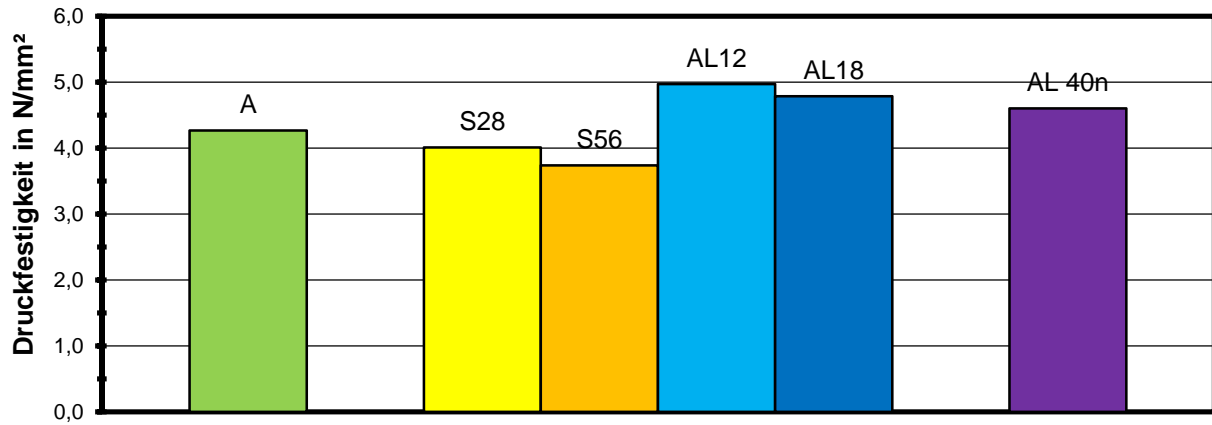
**Würfel der Steine PP 4-0,05 aus Werk W23a
Druckfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenrohichte**

Probe Nr.	Vorlagerung	Druckfestigkeit	Feuchtegehalt	Trockenrohichte	korr. Druckfestigkeit β_{30}
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³	N/mm ²
W23a/5/A1/u/v	A Anlieferungsfeuchte	4,45	24,0	0,491	4,40
W23a/5/A2/u/v		4,31	24,6	0,493	4,27
W23a/5/A3/u/v		4,16	24,3	0,487	4,11
Mittelwert		4,31	24,3	0,490	4,26
W23a/6/A1/u/v		4,27	18,1	0,498	4,16
W23a/6/A2/u/v		4,25	21,9	0,490	4,18
W23a/6/A3/u/v		4,14	20,9	0,484	4,06
Mittelwert		4,22	20,3	0,491	4,14
W23a / A / Mittel			4,26	22,3	0,490
W23a/14/S1/u/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	4,28	13,8	0,553	4,10
W23a/14/S2/u/v		3,86	16,3	0,544	3,75
W23a/14/S3/u/v		3,88	15,3	0,537	3,75
W23a / S28 / Mittel		4,01	15,1	0,545	3,87
W23a/16/S1/u/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	3,79	7,2	0,584	3,45
W23a/16/S2/u/v		3,82	7,5	0,573	3,49
W23a/16/S3/u/v		3,62	7,3	0,566	3,30
W23a / S56 / Mittel		3,74	7,4	0,574	3,41
W23a/19/AL1/u/v	AL12 12 Monate Außenlagerung	5,16	3,4	0,513	4,26
W23a/19/AL2/u/v		4,97	3,3	0,506	4,09
W23a/19/AL3/u/v		4,78	3,2	0,499	3,91
W23a / AL12 / Mittel		4,97	3,3	0,506	4,09
W23a/27/AL1/u/v	AL18 18 Monate Außenlagerung	4,95	3,3	0,532	4,08
W23a/27/AL2/u/v		4,80	3,3	0,524	3,95
W23a/27/AL3/u/v		4,61	3,0	0,514	3,73
W23a / AL18 / Mittel		4,79	3,2	0,523	3,92
W23a/34/AL1/u/v	AL40(nass) 40 Monate Außenlagerung, 1 Tag unter Wasser	4,96	49,1	0,537	5,00
W23a/34/AL2/u/v		4,53	51,5	0,527	4,58
W23a/34/AL3/u/v		4,32	51,6	0,519	4,36
W23a / AL40(nass) / Mittel		4,60	50,7	0,528	4,65

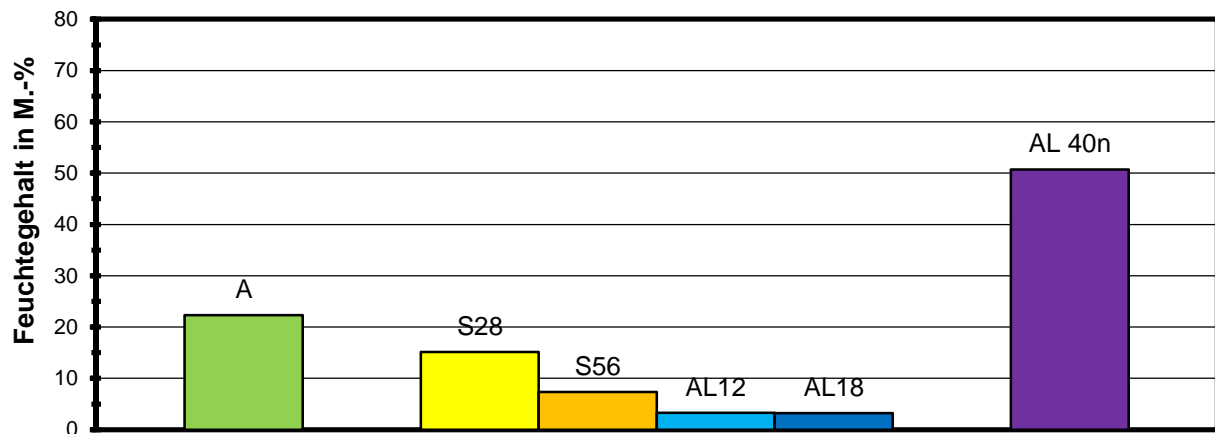
Werk W23a



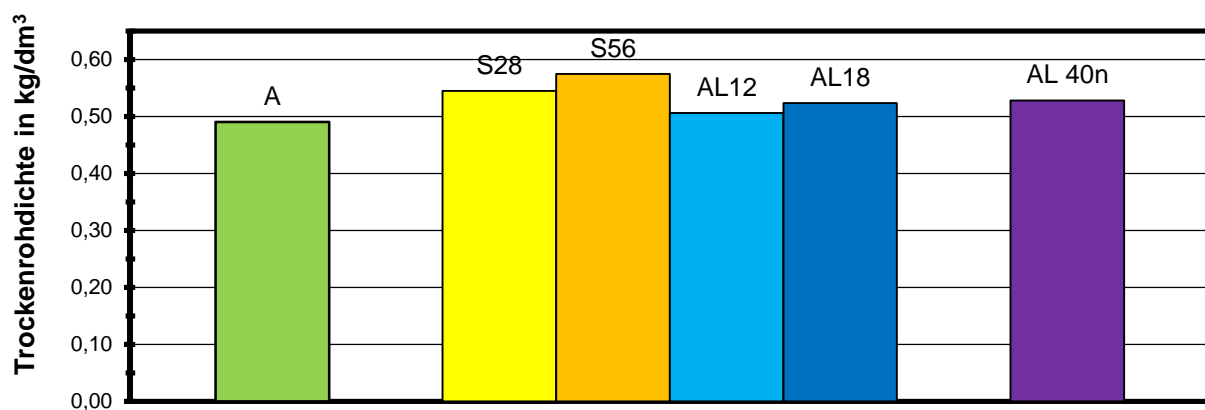
Werk W23a



Werk W23a



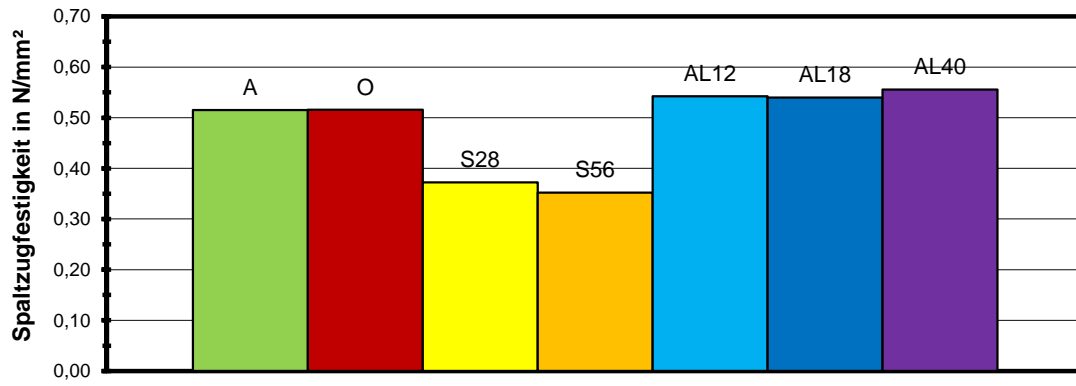
Werk W23a



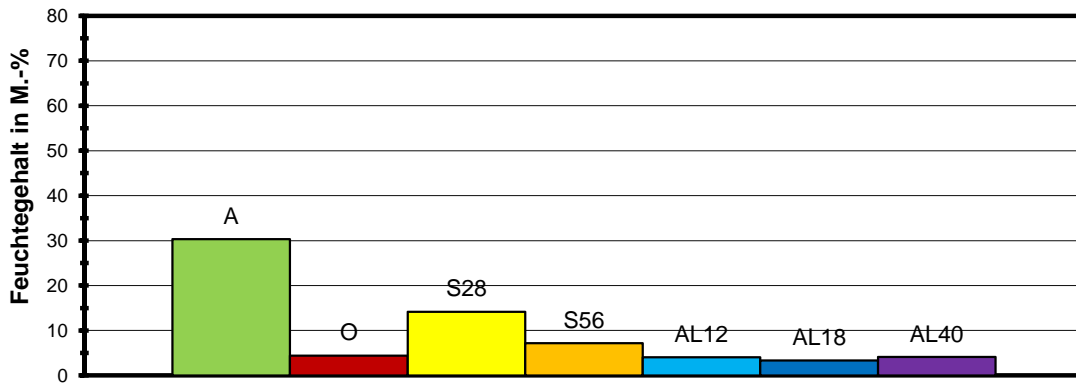
Würfel der Steine PP 4-0,50 aus Werk W23a
Spaltzugfestigkeit und zugehörige Restfeuchte sowie Trockenroh-dichte

Probe Nr.	Vorlagerung	Spaltzug- festigkeit	Feuchte- gehalt	Trockenroh- dichte
-	-	N/mm ²	M.-%	kg/dm ³
W23a/5/A1/o/v	A Anlieferungsfeuchte	0,54	30,4	0,492
W23a/5/A2/o/v		0,51	31,2	0,487
W23a/5/A3/o/v		0,52	26,3	0,482
Mittelwert		0,52	29,3	0,487
W23a/6/A1/o/v		0,50	31,5	0,485
W23a/6/A2/o/v		0,52	33,1	0,485
W23a/6/A3/o/v		0,50	29,3	0,479
Mittelwert		0,51	31,3	0,483
W23a / A / Mittel		0,52	30,3	0,485
W23a/5/A1/o/h	O A + Ofen 40°C (4-8 M.-%)	0,50	3,9	0,511
W23a/5/A2/o/h		0,51	4,0	0,504
W23a/5/A3/o/h		0,53	4,5	0,496
Mittelwert		0,51	4,1	0,504
W23a/6/A1/o/h		0,53	4,3	0,509
W23a/6/A2/o/h		0,54	4,7	0,505
W23a/6/A3/o/h		0,49	5,1	0,494
Mittelwert		0,52	4,7	0,503
W23a / O / Mittel		0,52	4,4	0,503
W23a/14/S1/o/v	S28 28 Tage 1 % CO ₂	0,35	13,3	0,550
W23a/14/S2/o/v		0,44	14,8	0,542
W23a/14/S3/o/v		0,33	14,4	0,534
W23a / S28 / Mittel		0,37	14,2	0,542
W23a/16/S1/o/v	S56 56 Tage 1 % CO ₂	0,36	7,1	0,579
W23a/16/S2/o/v		0,34	7,2	0,571
W23a/16/S3/o/v				
W23a / S56 / Mittel		0,35	7,2	0,575
W23a/19/AL1/o/h	AL12 12 Monate Außenlagerung	0,50	3,7	0,499
W23a/19/AL2/o/h		0,57	4,1	0,509
W23a/19/AL3/o/h		0,56	4,3	0,518
W23a / AL12 / Mittel		0,54	4,1	0,508
W23a/27/AL1/o/h	AL18 18 Monate Außenlagerung	0,55	3,1	0,529
W23a/27/AL2/o/h		0,56	3,4	0,523
W23a/27/AL3/o/h		0,51	3,5	0,512
W23a / AL18 / Mittel		0,54	3,3	0,521
W23a/34/AL1/o/h	AL40 40 Monate Außenlagerung	0,60	4,1	0,541
W23a/34/AL2/o/h		0,53	4,1	0,530
W23a/34/AL3/o/h		0,54	4,2	0,526
W23a / AL40 / Mittel		0,56	4,1	0,532

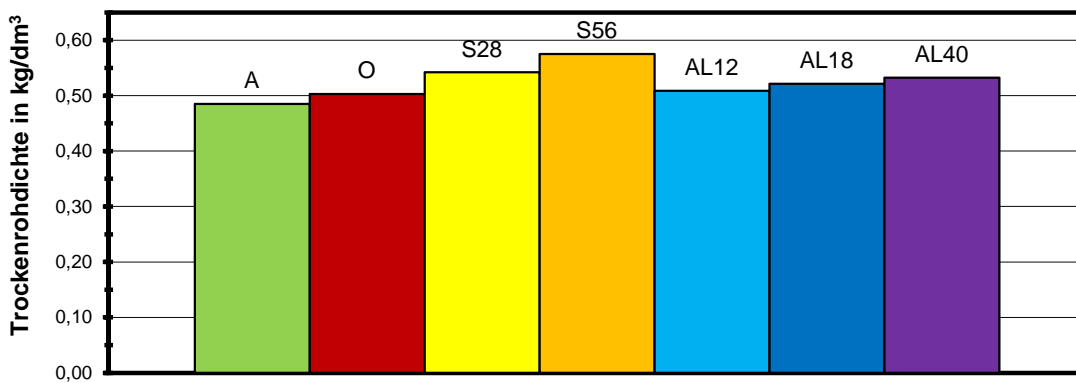
Werk W23a



Werk W23a

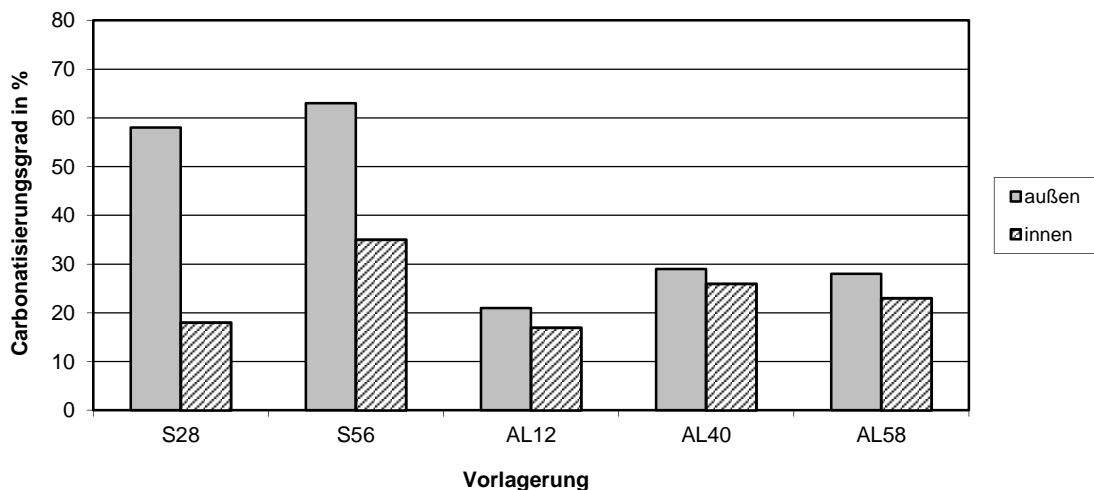
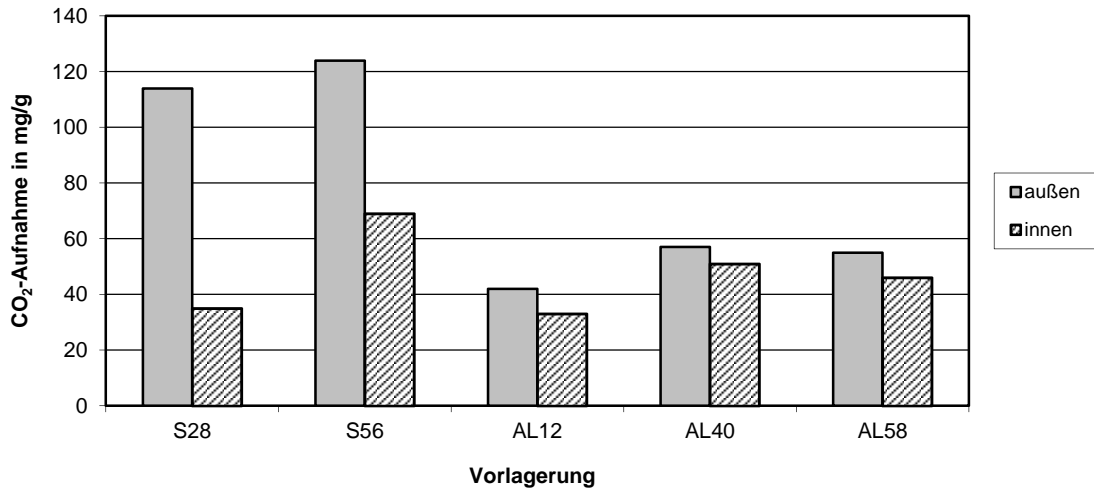


Werk W23a



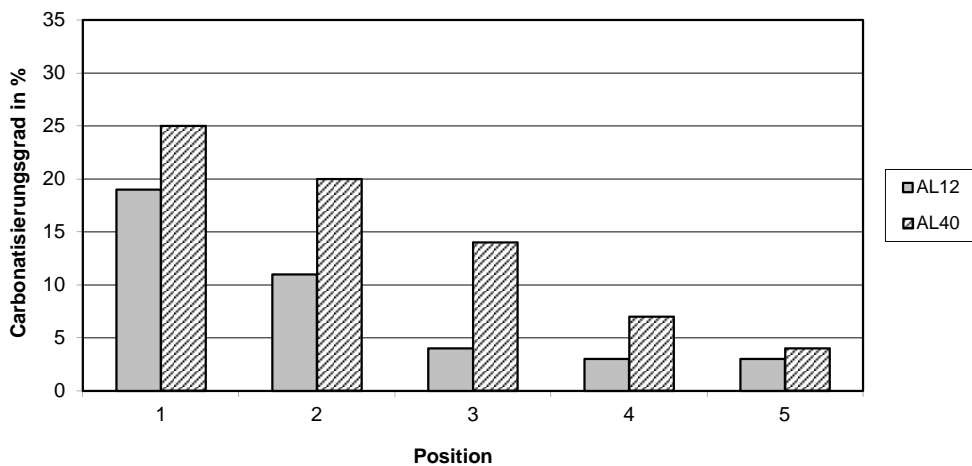
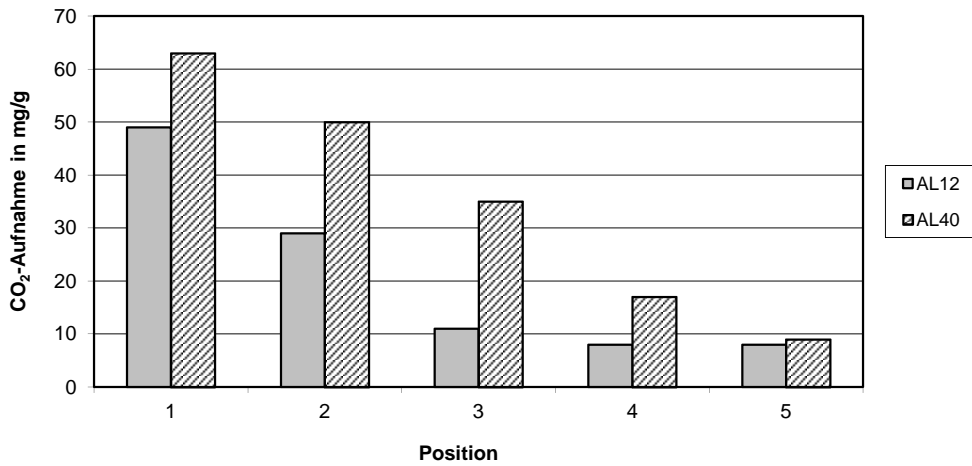
**Prismen der Steine PP 4-0,5 aus Werk W23a
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung		Carbonatisierungsgrad	
		Rand mg/g	Mitte mg/g	Rand %	Mitte %
-	-	mg/g	mg/g	%	%
W23a / S28 / 1	28 Tage 1 % CO ₂	114	35	58	18
W23a / S28 / 2		113	35	57	18
W23a / S28 / Mittel		114	35	58	18
W23a / S56 / 1	56 Tage 1 % CO ₂	123	69	62	35
W23a / S56 / 2		125	69	63	35
W23a / S56 / Mittel		124	69	63	35
W23a / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	42	33	21	17
W23a / AL12 / 2		42	33	21	17
W23a / AL12 / Mittel		42	33	21	17
W23a / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	57	51	29	26
W23a / AL40 / 2		57	51	29	26
W23a / AL40 / Mittel		57	51	29	26
W23a / AL58 / 1	Außenlager über 58 Monate	55	46	28	23
W23a / AL58 / 2		55	46	28	23
W23a / AL58 / Mittel		55	46	28	23
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:				27,79 M.-%	



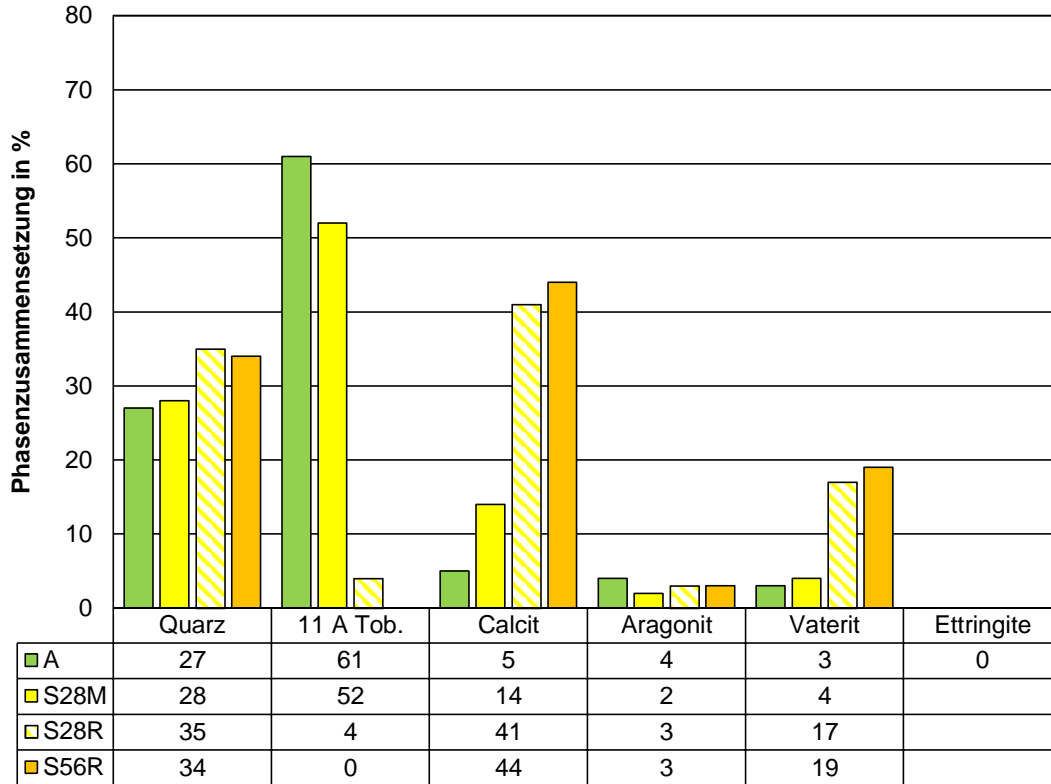
**Profil der Steine PP 4-0,5 aus Werk W23a
Carbonatisierungsgrad und CO₂-Aufnahme für die Carbonatisierung**

Probe Nr.	Vorlagerung	CO ₂ -Aufnahme für Carbonatisierung mg/g	Carbonatisierungsgrad %
-	-		%
W23a / AL12 / 1	Außenlager über 12 Monate	49	19
W23a / AL12 / 2		29	11
W23a / AL12 / 3		11	4
W23a / AL12 / 4		8	3
W23a / AL12 / 5		8	3
W23a / AL40 / 1	Außenlager über 40 Monate	63	25
W23a / AL40 / 2		50	20
W23a / AL40 / 3		35	14
W23a / AL40 / 4		17	7
W23a / AL40 / 5		9	4
Anfangs-CaO-Menge des nicht carbonatisierten Zustandes:			33,19 M.-%



Phasenzusammensetzung der Steine PP 4-0,5 aus Werk W23a

W23a - Schnellcarbonatisierung



W23a - Außenlagerung

