



DIPLOMARBEIT

(Master`s thesis)

Beschichtungssysteme auf Natursteinoberflächen, gestern – heute - morgen, im Hinblick auf ihre physikalischen Eigenschaften und Auswirkungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades einer
Diplom-Ingenieurin unter der Leitung von

a. o. Univ. Prof. Mag. Dr. Andreas Rohatsch

Institut für Ingenieurgeologie E 203

eingereicht an der

Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Daniela Trauninger

Matrikelnummer: 0026430

Grundmannstr. 10

A - 3130 Herzogenburg

Wien, im Jänner 2007

Ich versichere:

dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift

Vorwort

Ich möchte mich bei meinem Betreuer, a. o. Univ. Prof. Mag. Dr. Andreas Rohatsch, für die Möglichkeit zur Bearbeitung dieses Themas, für die hilfreiche Unterstützung, sowie die gute Zusammenarbeit bedanken. Ich danke auch allen anderen Mitarbeitern des Instituts für Ingenieurgeologie, einerseits für das angenehme Arbeitsklima, und andererseits für die tatkräftige Hilfe beim Erstellen dieser Arbeit. Besonderen Dank möchte ich hiermit Yvonne Kögl aussprechen, die mich bei meinen Laborversuchen erheblich unterstützt hat, und ebenso Frau Christine Cerny, deren Engagement und Hilfsbereitschaft für Studenten einzigartig ist.

Weiters möchte ich mich beim österreichischen Bundesdenkmalamt für die Bereitstellung wichtiger Unterlagen und Gerätschaften bedanken.

Diese Arbeit soll all den Menschen gewidmet sein, ohne deren Unterstützung ich diese Arbeit niemals geschrieben hätte. Dazu zählen vor allem meine Eltern, die mich immer gefördert haben und durch deren Liebe ich diesen Lebensweg einschlagen konnte.

Auch meinem Freund Johann Walter möchte ich auf diesem Weg danken, dafür dass er mir immer Mut zugesprochen hat und mich stets bestärkt hat.

Ebenso möchte ich mich bei all meinen Freunden bedanken, denn ohne Freunde würde das Leben keine Freude bereiten, und ohne Freude hätte ich keine gute Diplomarbeit verfassen können.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	3
2	Abstract	5
3	Verwitterung von Naturstein	7
3.1	Verwitterungsrelevante Einwirkungen auf das Bauwerk	7
3.1.1	Wasser.....	7
3.1.2	Salze	10
3.1.3	thermische Einwirkungen	11
3.1.4	biologische Einwirkungen.....	12
3.1.5	sonstige Einwirkungen	12
3.2	Verwitterungsformen	13
3.2.1	physikalische Verwitterung.....	13
3.2.2	chemische Verwitterung.....	18
3.2.3	biologische Verwitterung	20
4	Steinfassungen.....	22
4.1	kurzer historischer Überblick	22
4.2	Aufgabe von Steinfassungen	23
4.3	Aufbau von Fassungen	25
4.3.1	Bindemittel	25
4.3.2	Pigmente und Farbstoffe.....	25
4.3.3	Füllstoffe	25
4.3.4	Hilfsstoffe	26
4.3.5	Lösungsmittel.....	26
4.4	Unterscheidung der Anstriche nach ihren Bindemitteln.....	26
4.4.1	Anstriche mit anorganische Bindemitteln	26
4.4.2	Anstriche mit organischen Bindemittel	26
4.5	Drei ausgewählte Anstrichsysteme	27
4.5.1	Sumpfkalkanstrich.....	27
4.5.2	Siliconfarbe	31
4.5.3	„moderne“ Systeme am Beispiel der Nanotechnologie	31
5	Versuche im Labor	35
5.1	verwendete Gesteinsmaterialien	35

5.1.1	Ersatzmaterialien für Wiener Museen	35
5.1.2	Savonnières	36
5.1.3	Pietra di Vicenza	38
5.2	verwendete Beschichtungssysteme	40
5.2.1	Sumpfkalk	40
5.2.2	Siliconfarbe	40
5.2.3	Nanotechnologie	41
5.3	Versuchsanordnung und Probenpräparation.....	42
5.3.1	Zuschnitt und Beschichtung der Probekörper	42
5.3.2	Probenvorbereitung für die anschließenden Versuche	44
5.3.3	Probenbezeichnung (ausgenommen Voruntersuchungen)	48
5.4	Versuchsdurchführung	49
5.4.1	Voruntersuchungen.....	49
5.4.2	Austrocknungsverhalten der beschichteten Probekörper....	59
5.4.3	Wassereindringverhalten	88
5.4.4	Frost-Tauwechselversuche	93
5.4.5	Widerstand gegen Kristallisation von Salzen	107
5.5	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse.....	114
5.5.1	Sumpfkalkanstrich.....	114
5.5.2	Siliconanstrich.....	115
5.5.3	Anstriche basierend auf Nanotechnologie.....	116
6	Schlussfolgerung.....	118
7	Ausblick.....	120
8	Literaturverzeichnis	121
8.1	Literatur	121
8.2	verwendete Normen und Richtlinien	124
8.3	Internetquellen	124
9	Anhang.....	126

1 Zusammenfassung

Aufgabe dieser Diplomarbeit war es, verschiedene Beschichtungssysteme auf Natursteinoberflächen miteinander zu vergleichen und zu beurteilen. Genauer gesagt, sollte der historische Sumpfkalk mit derzeitig verwendeten bzw. in Forschung befindlichen Produkten gegenübergestellt werden.

Die Idee entstand vor allem daraus, dass immer wieder Diskussionen über die Problematik gegenwärtiger Anstrichsysteme geführt werden. Diese stellen oft keinen Schutz für den Stein dar, sondern ganz im Gegenteil, sie führen oft zur Zerstörung der Steinsubstanz innerhalb kürzester Zeit. Das widerspricht aber der Tatsache, dass uns sehr viele altertümliche Steinbauwerke, die seinerzeit mit einer Kalkschlämme überzogen wurden, in einem sehr gutem Zustand erhalten geblieben sind. Es stellt sich also die Frage, warum der Zerfall der Steinsubstanzen gerade in den letzten Jahren so rapide stattfindet. Liegt es an den veränderten Umwelteinflüssen, oder hat eine traditionelle Kalkschlämme einfach besseren Schutz vor Verwitterungseinflüssen geboten als ein Anstrichsystem der heutigen Zeit? Und wenn ja, warum wird er dann nicht mehr verwendet? Vielleicht ist der Kalk nicht fähig, schädliche Stoffe, wie zum Beispiel erhöhte Schwefelkonzentrationen durch Industrieabgase, abzuhalten und den Stein davor zu schützen. Andererseits zeigen Laborbefunde des Bundesdenkmalamtes, dass schon im 18. Jahrhundert eine erhöhte Schwefelbelastung in der Atmosphäre existierte¹, und zu dieser Zeit Kalk sehr wohl als Anstrichsystem verwendet wurde. Weiters stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage inwieweit ein heutiges Produkt imstande ist, diese Schadstoffe vom Stein fernzuhalten.

Oder kann es vielleicht sein, dass man mit einem simplen Sumpfkalk nicht so viel Geld verdienen kann wie mit „modernen“ Systemen, und er deshalb für den Markt uninteressant ist? Oder bietet die Industrie wirklich bessere Produkte durch jahrelange Forschung an?

¹ vgl. Koller, 1989, S.50

Und da stellt sich schon die nächste Frage: Inwieweit darf man Produkten vertrauen, die sich erst seit kurzem auf dem Markt befinden, aber mit Schlagwörtern neuester Forschungen wie zum Beispiel Nanotechnologie werben? Offenbar ist das Vertrauen in diese Produkte groß, da sie doch immer wieder verwendet werden, obwohl sie nicht einmal der von der Charta von Venedig geforderten Reversibilität entsprechen. Welche großen Vorteile erwarten wir uns von solchen Produkten gegenüber dem Sumpfkalk? Oder liegt es einfach nur an einer falschen Geschichtsübermittlung des 19. Jahrhunderts, wonach uns glaubhaft gemacht wurde, dass Steinbauwerke steinsichtig sein müssen? Diese Forderung kann natürlich ein Kalkanstrich nicht erfüllen. Aber muss diesem Anspruch überhaupt Rechnung getragen werden? Wie authentisch sind denn im übrigen steinsichtige mittelalterliche Bauwerke? Viele dieser Fragen galt es in vorliegender Arbeit zu behandeln und es wurde versucht, so viele Antworten wie möglich zu finden.

2 Abstract

The task of this thesis was to compare and evaluate different kinds of coating systems for natural stone surfaces. To be more precise, historic lime had to be compared with modern products as well as products which are currently in research.

Continuous discussions about the problem of modern coating systems have been an inspiration for this idea.

Very often coatings do not protect the stone, in fact, they often lead to the destruction of the substance of the stone in a very short time.

This however contradicts the fact that many ancient buildings, which had been coated with lime at the time, were preserved in a very good condition until today.

But why has the process of disintegration of the stone substance in recent years been that rapid? Can it be explained by the changing environmental influences or did the traditional lime offer a better protection than modern coatings, and if so, why isn't it used anymore today? Perhaps lime isn't able to protect the stone from damaging exposures, such as industrial fumes which have a high concentration of sulphur. On the other hand, there are many reports, which show that a higher concentration of sulphur in the air already existed in the 18th century.² At that time, lime was a very common coating for facades.

It has to be questioned whether modern products are able to protect the stone from these aggressive substances in the first place. Or is it possible that there is, quite simply, not enough money to be made with common lime, therefore making it not appealing for the market.

Or does the industry really produce better products after years of research? This leads us to the next question. How far can you trust products which have only been on the market for a short time but advertise with latest research-catchphrases such as nano-technology?

² cp. Koller, 1998, p.50

Apparently the confidence in these products is high, as they are frequently used, although they don't even comply with the Charta of Venice which demands a reversibility of each intervention to an historical building.

What are the main advantages we expect of these products compared to traditional lime? Or is it just a historical misdeliverance of the 19th century, which makes us believe that every building made of stone should have a visible stone facade? This demand can of course not be met by a lime coating. But is it really necessary to comply with this requirement?

How authentic are historical stone buildings without any coating? In this thesis many of these questions had to be addressed and I tried to find as many answers as possible.

3 Verwitterung von Naturstein

Das Bauwerk ist verschiedenen Witterungseinflüssen wie Niederschlag, Hitze, Frost, etc. ausgesetzt die zu einer Verwitterung des Steins führen.

Prinzipiell ist zu sagen, dass die Gesteinsverwitterung einen natürlichen Prozess darstellt, der zwar unaufhaltbar ist, aber durch geeignete Schutzmaßnahmen verzögert werden kann.

Das Ausmaß der Verwitterung hängt stark von den klimatischen Bedingungen ab. Österreich befindet sich grundsätzlich in der gemäßigten feuchten Klimazone. Aus diesem Grund ist hierzulande vor allem Feuchtigkeit ein großer Schadensfaktor. Ein Stein in einer exponierten Lage am Bauwerk kann jedoch auch völlig anderen klimatischen Bedingungen ausgesetzt sein als ein anderer Stein desselben Bauwerks. Man spricht dabei vom sogenannten Mikroklima. Diese weitgeschichteten „Klimazonen“ entstehen aufgrund der unterschiedlichen Einbausituationen der Steine am Objekt, wie Himmelsrichtung, Neigung, Lage etc.

Durch die verschiedenen Einflüsse werden unterschiedliche Verwitterungsformen ausgelöst. Allgemein unterscheidet man drei verschieden Formen der Verwitterung:³

1. physikalische Verwitterung
2. chemische Verwitterung
3. biologische Verwitterung

Diese Verwitterungsformen kommen meist nicht als einzelner Mechanismus vor, sondern in Kombination miteinander. Man kann also nur von einer vorwiegenden Zerstörung durch eine der drei Verwitterungsarten sprechen.

3.1 Verwitterungsrelevante Einwirkungen auf das Bauwerk

3.1.1 Wasser

Wasser kann über mehrere Wege in den Stein an einem Bauwerk gelangen. Die wichtigsten Ursachen können sein:

³ vgl. Dreyer, 2004a, S.4

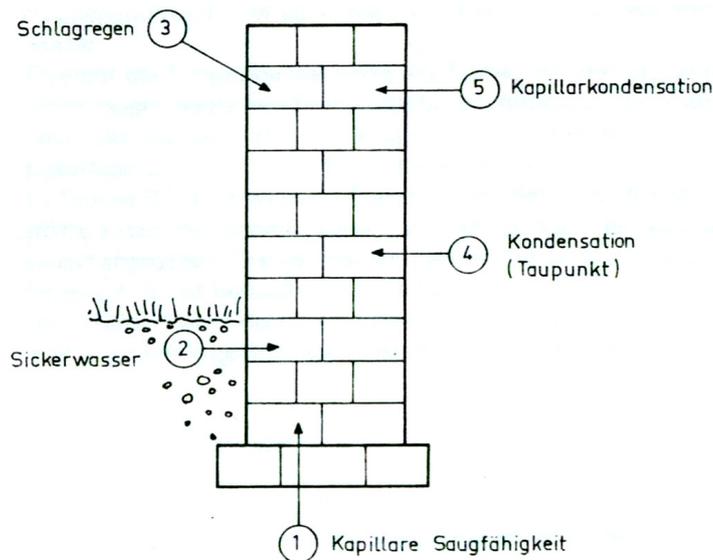


Abbildung 1: schematische Zusammenstellung einiger wichtiger Mechanismen der Wasseraufnahme von Mauerwerk aus seiner Umgebung⁴

- Kapillarwasser

Da die kapillare Wasseraufnahme in dieser Arbeit einer wichtigen Rolle zukommt, soll sie etwas genauer erläutert werden:

Unter Kapillarität versteht man die Wasseraufnahme durch Poren entgegen der Schwerkraft. Die Kapillarkraft hängt einerseits von dem Durchmesser und andererseits von der Oberflächenbeschaffenheit der Pore ab.⁵ Die Oberflächenbeschaffenheit bestimmt den Randwinkel zwischen Porenwand und Flüssigkeit. Bei einem Randwinkel zwischen 0° und 90° wirken Adhäsionskräfte, darüber Kohäsionskräfte, was bedeutet dass die Oberfläche hydrophob ist.⁶ Entgegen der Kapillarkraft wirkt die Schwerkraft. Wenn beide Kräfte gleich groß sind, entsteht ein Kräftegleichgewicht, die kapillare Steighöhe des Wassers ist erreicht. Diese Beziehung kann folgendermaßen angegeben werden:⁷

$$h_{\text{kapillar}} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \vartheta}{r \cdot \rho \cdot g}$$

ϑ ... Randwinkel

⁴ aus: Weber, 1994, S.70

⁵ vgl. Rohatsch, 2004, S.34

⁶ vgl. Dreyer, 2004a, S.12

⁷ Dreyer, 2004a, S.13

r....	Porenradius
ρ	Dichte der Flüssigkeit (Wasser: $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$)
g....	Erdbeschleunigung ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$)
σ	Oberflächenspannung

Anhand der Formel erkennt man, dass bei einem Benetzungswinkel $> 90^\circ$ die Steighöhe negativ wird, man spricht von einer so genannten Kapillardepression. Man sieht auch, dass mit steigendem Porenradius die Steighöhe abnimmt, deshalb kann das Wasser rascher verdunsten und die Steighöhe nimmt somit wieder ab. Die Zone in der das Wasser nach außen verdunstet wird Verdunstungszone genannt.

Dieser Weg der Wasseraufnahme ist sehr bedeutend, da in historischen Bauwerken in den meisten Fällen nur unzureichende bis gar keine Horizontalsperren eingebaut wurden, und somit eigentlich immer von einem kapillaren Feuchtigkeitstransport bei solchen Objekten ausgegangen werden kann. Zusätzlich werden durch die kapillare Feuchtigkeit meistens auch Salze mittransportiert.

- Sicker- und Hangwasser
- Niederschlag und Schlagregen

Jedes Gebäude ist dem Niederschlag in Form von Regen, Schnee und Nebel ausgesetzt. Um die Einwirkung auf den Baustoff möglichst gering zu halten, sind einerseits konstruktive Maßnahmen wie Gebäudevorsprünge, Überdachungen, etc. und andererseits geeignete Entwässerungen unverzichtbar.⁸ Eine weitere Belastung kann durch Regen in Zusammenhang mit Wind entstehen, dabei handelt es sich um den so genannten Schlagregen. Diese Belastung kann laut Wittmann⁹ bis zu $8 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ betragen, zusätzlich wird durch den Winddruck das Wasser in Fugen und Ritzen gepresst, was eine weitere Feuchtebelastung hervorruft.⁹

- Luftfeuchtigkeit und Kondensation

Die Luftfeuchtigkeit im Raum bzw. an der Luft, spielt eine wichtige Rolle für den Feuchtigkeitshaushalt des Baustoffes Stein. Einerseits können

⁸ vgl. Nimmrichter, 2006, S.4

⁹ vgl. Wittmann, 1994, S.73-74

die Poren durch Adhäsionskräfte Wasserdampfteilchen binden (→ Kapillarkondensation)¹⁰ und andererseits kann es an kalten Stellen zu Kondensationsbildung kommen (→ Oberflächenkondensation bzw. Kernkondensation)¹¹.

3.1.2 Salze

Salze können entweder durch baustoffeigene Salze oder durch Fremdsalze, die von außen in den Stein gelangen, belastet werden. Einige Beispiele für von außen eindringende Salze sind:¹²

- Streusalze
- Spurenelemente aus dem Boden
- Salze im Grundwasser
- Düngemittel
- saurer Regen
- historische Nutzungen (z.B. Stallungen → Harnstoff)
- falsche Sanierungen mit denen Salze in den Baustoff gelangen
-

Prinzipiell stellen Salzes nur dort ein Problem dar, wo auch Feuchtigkeit vorhanden ist, da Salze nur mit dieser in gelöster Form transportiert werden können und im Bereich der Verdunstungszone kristallisieren können.

Die wichtigsten bauschädlichen Salze und ihre Vorkommen werden nachfolgend tabellarisch aufgelistet:

¹⁰ vgl. Dreyer, 2004a, S.9-12

¹¹ vgl. Dreyer, 2004a, S.30-45

¹² vgl. Schmidt, 1998, Kap. Bauschädliche Salze

	chemische Formel	Name	Vorkommen
Sulfate	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Magnesiumsulfat Bittersalz	Naturstein, Putze, Ziegelmauerwerk
	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Calciumsulfat Gips	Beton, Putz, Ziegel- und Natursteinmauerwerk
	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	Natriumsulfat Glaubersalz	Ziegel- und Natursteinmauerwerk
	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$	Trisulfat Ettringit	Beton
Nitrate	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Magnesiumnitrat	Toilettenanlagen und Stallungen
	$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	Calciumnitrat	
	$5Ca(NO_3)_2 \cdot 4NH_4NO_3 \cdot 10H_2O$	Kalksalpeter, Mauersalpeter	Viehstallungen
Chloride	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	Calciumchlorid	Tausalze
	NaCl	Natriumchlorid Kochsalz	
Carbonate	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Natriumcarbonat Soda	Natursteinflächen die mit Wasserglas behandelt wurden
	K_2CO_3	Kaliumcarbonat Pottasche	

Tabelle 1: Die wichtigsten bauschädlichen Salze und ihre häufigsten Vorkommen¹³

3.1.3 thermische Einwirkungen

Einwirkungen wie Hitze und Kälte bewirken eine thermische Beanspruchung der Objekte. Im Sommer können vor allem an sonnenzugewandten Seiten hohe Oberflächentemperaturen entstehen. Die Aufheizung hängt von den absorbierenden und reflektierenden Eigenschaften, also der Farbgebung des Materials, ab. Ein schwarzer Körper absorbiert alle einfallenden Strahlen und wandelt diese in Wärme um.¹⁴ Er heizt sich somit sehr stark auf. Schmutz und Ruß können hierbei eine wichtige Rolle spielen, da dadurch ein annähernd schwarzer Körper entsteht und somit starke Aufheizungen stattfinden können.¹⁵ Im Winter wiederum kann einerseits die Kälte zu Bewegungen im Bauteil führen, indem dieser eine Längenverkürzung erfährt. Andererseits kann es in unseren Breitengraden oft zu Temperaturen unter Null kommen. Bekanntlich liegt der Gefrierpunkt von Wasser bei 0°C, Eisbildungen mit ihren verheerenden Frostschäden können stattfinden.

¹³ vgl. Weber, 1977 (verändert nach: Knoblauch/Schneider, 1995, S.259)

¹⁴ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Absorptionsgrad> [21.12.2006]

¹⁵ vgl. Rohatsch, 2004, S.34

3.1.4 biologische Einwirkungen

Dabei handelt es sich um schädigende Einwirkungen von Mikroorganismen wie Flechten, Pilze, Algen und Bakterien. Diese können einerseits zu einem Schadstoffeintrag durch pflanzliche und tierische Ausscheidungen führen, als auch zu einer Stoffzersetzung bzw. –umwandlung führen. Mikrobieller Bewuchs kann allerdings nur bei bestimmten Bedingungen entstehen.

Algen brauchen sowohl Wasser als auch Sonne und Luft zur Photosynthese. Pilze und gewisse Bakterien benötigen zusätzlich organische Substanzen, dafür aber kein Licht. Es gibt auch spezielle Bakterien, die unter anaeroben Bedingungen leben können, diese findet man dann aber nur in tieferen Schichten vor.¹⁶

Algen sind meistens als erstes anzutreffen, da sie ja noch keine organischen Substanzen zum Überleben benötigen. Erst später siedeln sich auch Pilze und andere Bakterien an, die sich dann von den Ausscheidungen der Erstbesiedler ernähren können.¹⁷

3.1.5 sonstige Einwirkungen

Zusätzlich zu den Einflüssen, die aus der Natur kommen, gibt es auch noch statische Einwirkungen sowie Einflüsse aus dem Gebrauch auf das Bauwerk. Zu den statischen Einwirkungen können Eigengewicht und Nutzlasten sowie außergewöhnliche Belastungen wie Erdbebeneinwirkungen gezählt werden. Einflüsse die aus dem Gebrauch entstehen sind Heizungswärme, Reinigung, Beschädigungen, etc.¹⁸ Angesichts der Tatsache, dass diese Bereiche in der vorliegenden Arbeit nicht behandelt werden, da sie für die Wahl der Beschichtung auf die Natursteinoberfläche eher irrelevant sind, wird nicht näher auf sie eingegangen.

¹⁶ vgl. Wittmann, 1993, S.230

¹⁷ vgl. Wittmann, 1993, S.228

¹⁸ vgl. Dreyer, 2004a, S.5

3.2 Verwitterungsformen

3.2.1 physikalische Verwitterung

Die physikalische Verwitterung ist eine sprengende Belastung, die durch Ausdehnungen und Verformungen der Bauteile entsteht. Vor allem durch Feuchtigkeitseinwirkungen wird dieser Prozess angekurbelt. Durch die Feuchtigkeit kann es einerseits zu Quell- und Schwinderscheinungen, als auch zu Sprengungen infolge Frost kommen. Auch die Kristallisation von Salzen spielt eine wichtige Rolle bei diesem Zerstörungsprozess.¹⁹

Thermische Dehnungen durch Hitzeeinwirkung spielen vor allem in sonnenexponierten Lagen am Bauwerk eine wichtige Rolle.

3.2.1.1 Frostsprengung und Eislinsenbildung

Frostsprengung

Diese Schadensprozess stellt vor allem in unserer Klimazone einen großen Beitrag zur Gesteinserwitterung dar. Der Übergang zwischen der flüssigen zur festen Form von Wasser erfolgt beim Gefrierpunkt mit einer Volumszunahme von 10 Massenprozent. Wenn die Poren nahezu gefüllt sind (mehr als 90%), dann steht nicht genügend Platz für diese Volumszunahme zur Verfügung, es kommt zu einer starken mechanischen Belastung der Porenwände. Diese Druckbelastung kann etwa 200N/mm² betragen.²⁰ Ab wann das Wasser vom flüssigen in den festen Zustand übertritt, und somit zu einer Volumsvergrößerung führt, hängt aber nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Druck ab. Die Porenwände können einem bestimmten Druck standhalten, erst wenn der Druck des gefrierenden Wassers diesen überschreitet, kann sich das Wasser ungehindert ausbreiten, die Porenwand wird durch Überbelastung zerstört. Je niedriger die Temperatur wird, desto stärker wird der Druck des Wassers, bei -5°C beträgt dieser bereits ca. 610 bar.²¹ Durch die Volumszunahme beim Gefrieren wird eine Zugbeanspruchung auf das

¹⁹ vgl. Dreyer, 2004a, S.4

²⁰ vgl. Dreyer, 2004a, S.22

²¹ vgl. Rohatsch, 2004, S.33

Korngefüge des Steines ausgeübt. Die Problematik dieser Beanspruchung liegt darin, dass die Zugfestigkeit der Gesteine wesentlich geringer ist als die Druckfestigkeit und deshalb oft als maßgebende Schadensursache anzusehen ist.²²

Eine weitere Problematik stellt sich bei einer zusätzlichen Salzbelastung des Baustoffes ein, da eine erhöhte Salzbelastung eine Erniedrigung des Gefrierpunktes bewirkt. Die Salkonzentration im Bauteil ist jedoch nicht überall gleich, vor allem in der Verdunstungszone findet man eine erhöhte Konzentration im Vergleich zu den anderen Bereichen vor. Folglich kann es vorkommen, dass die innere Schicht bereits friert, während die äußere Schicht, durch die hohe Salzbelastung noch keiner Frostbelastung ausgesetzt ist. Dieser Mechanismus kann somit zu sehr hohen Spannungen innerhalb des Baustoffes und dadurch zu schweren Schadensbildern führen.²³

Eislinsenbildung

Eindringendes Wasser in Rissen und Spalten kann, wenn es zum Gefrieren kommt, eine starke Volumsvergrößerung zur Folge haben. Dadurch entstehen starke Drücke auf den umliegenden Stein, vergleichbar mit einer Keilwirkung. Auch diese Beanspruchung führt meist zu starken Zerstörungen der Steinsubstanz.

3.2.1.2 hygrisch induzierte Dehnung

Dehnung durch Wasseraufnahme

Gesteine dehnen sich durch Wasseraufnahme aus. Je nach Gesteinstyp betragen die Längenänderungen zwischen 1/1000 – 1/10 mm/m.²⁴ Wenn dies Steine im eingebauten Zustand nun keine ausreichende Bewegungsfreiheit haben, kann es zu Zwängsspannungen kommen, welche im schlimmsten Fall zur Zerstörung der Gesteinssubstanz führen. Dieser Schadensmechanismus stellt einen wesentlichen Faktor für die

²² vgl. Rohatsch, 2004, S.35

²³ vgl. Schmidt, 1998, Kap. Bauschädliche Salze

²⁴ vgl. Rohatsch, 2004, S.34

Zerstörung von Naturstein dar, allerdings wird dieser aber oft unterschätzt.²⁴

Dehnung durch quellende Tonminerale

Eine besondere Problematik stellen Sedimentgesteine wie Kalksteine, Sandsteine etc. dar. Diese können Tonminerale enthalten. Bestimmte Tonminerale wie beispielsweise der Montmorillonit besitzen die Fähigkeit Wassermoleküle einzulagern und dadurch aufzuquellen. Dadurch kommt es zu einer starken Volumszunahme.²⁵

3.2.1.3 thermisch induzierte Dehnungen

Der Stein ist ständigen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Dadurch entstehen Volumsänderungen in Abhängigkeit von der Temperatur und der Gesteinseigenschaften.

Die Längenänderung eines Bauteils lässt sich folgendermaßen ausdrücken:²⁶

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta t$$

Δl ... Längenänderung

α ... linearer Ausdehnungskoeffizient (vgl. Sandstein $\alpha \approx 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)

l_0 ... ursprüngliche Länge

Δt ... Temperaturdifferenz

Betrachtet man eine Sandsteinplatte mit einer Länge von 50cm und einer Temperaturdifferenz von 30K ergibt sich damit:

$$\Delta l = 0,000012 \cdot 50 \cdot 30 = 0,018\text{cm} = 0,18\text{mm}$$

Eine Längenänderung in dieser Größenordnung kann bei Behinderung der Ausdehnung durchaus problematisch werden. Zu bemerken ist allerdings, dass für Sandsteine kein absoluter Wert für die Ausdehnung angegeben werden kann, da diese je nach Gestein sehr unterschiedlich sein kann!

Bei instationären Zuständen wird die Situation noch heikler. Instationär bedeutet, dass der Bauteil starken Temperaturschwankungen ausgesetzt ist. Dies kann zum Beispiel bei starker Erwärmung durch

²⁵ vgl. Rohatsch, 2004, S.35

²⁶ Dreyer, 2004a, S.60

Sonneneinstrahlung bzw. rascher Abkühlung der Fall sein. Durch solche Bedingungen ist die Außenseite einer völlig anderen thermischen Belastung ausgesetzt als die Innenseite, es kommt zu Verwölbungen des Bauteils.²⁷

Trotzdem kann gesagt werden, dass dieser Schadensmechanismus bei massiven Steinbauwerken vermutlich eine eher untergeordnete Rolle spielt. Wichtig wird diese Belastung vor allem bei vorgehängten Steinfassaden, vor allem bei Marmorplatten, die zusätzlich auch noch ein anisotropes Ausdehnungsverhalten besitzen.^{28 29}

3.2.1.4 Salzkristallisationsdruck

In der Verdunstungszone verdunstet das Wasser und lässt dabei die Salze in den Poren zurück. Durch den ständigen Nachschub der Salze, aufgrund des Feuchtetransports, kommt es bald zu einem Anwachsen der Salzkonzentration im Verdunstungsbereich.³⁰ Es bildet sich eine übersättigte Lösung, folglich kristallisieren die Salze in den Poren aus. Es kommt zu einer starken Volumszunahme und somit zu sehr großen Drücken in den Poren. Je mehr die Lösung übersättigt ist, und je höher die Außentemperatur, desto größer ist dieser Kristallisationsdruck.²⁸

²⁷ vgl. Dreyer, 2004a, S.62

²⁸ vgl. Rohatsch, 2004, S.35-36

²⁹ vgl. Teschegg/Widhalm/Eppensteiner, 1999

³⁰ vgl. Schmidt, 1998, Kap. Bauschädliche Salze

DAS KRISTALLWACHSTUM BEGINNT IN DEN GROBPOREN, DIE FEINPOREN DIENEN DEM LÖSUNGSNACHSCHUB

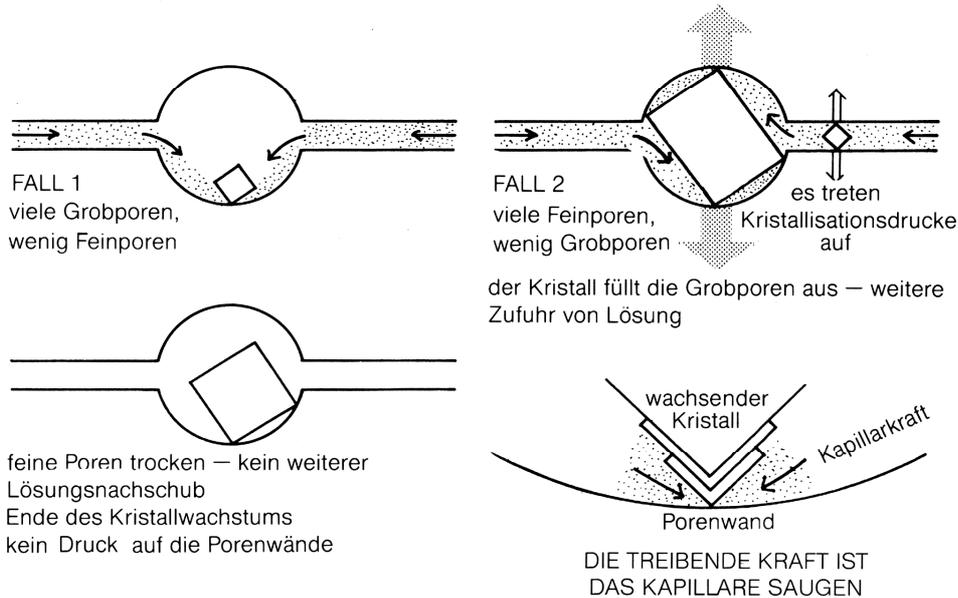


Abbildung 2: Auskristallisation der Salze in den Poren³¹

Der Verwitterungsgrad durch Salzkristallisation ist um eine Größenordnung höher als durch die Frost-Tauwechselbelastung. Die Erklärung dafür liegt einerseits darin, dass sich der Schadensmechanismus bei Salzkristallisation auch schon bei geringen Feuchtigkeitsgehalten einstellt und andererseits, im Gegensatz zur Frostbelastung, nur punktuell stattfindet.³²

Folglich stellt dieser Verwitterungsmechanismus einen sehr großen Schadensfaktor dar und wurde deshalb in den nachfolgenden Laborversuchen als besonders wichtig eingestuft.

3.2.1.5 Hydratationsdruck

Die meisten bauschädlichen Salze können Wasser in ihre Kristallstruktur einlagern, was als hygroskopische Wasseraufnahme bezeichnet wird. Dieser Vorgang kann ebenfalls zu einer Volumszunahme und damit zu großen Drücken führt. Bei steigender Luftfeuchtigkeit und fallender Temperatur können sich immer mehr Wassermoleküle in das Kristallgitter

³¹ aus: Torraca/Weber, 1986

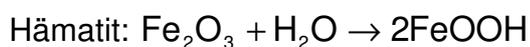
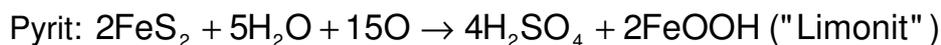
³² vgl. Dreyer, 2004a, S.22-23

einlagern. Die Anzahl der Wassermoleküle die eingelagert werden können, findet man in der chemischen Formel als Kristallwasser dargestellt.³³

3.2.1.6 metallische Korrosion, „Rosten“³⁴

Unter „rosten“ versteht man die Korrosion von Metallen und Erzen. In fast allen Natursteinen sind Erze wie Pyrit, Hämatit, etc. vorhanden.

Folgende Gleichungen können für die Rostbildung in Naturstein angegeben werden:



Durch das Rosten entsteht zum einen eine starke rötliche Verfärbung, die allerdings nur optisch ein Problem darstellt. Andererseits kann es zu Volumsvergrößerungen kommen, die wiederum zu einer sprengenden Belastungen führen kann. Außerdem entsteht bei der Verwitterung Schwefelsäure, die den Stein zusätzlich schädigen kann.

Die Metalle könne nicht nur im Stein selbst enthalten sein. Es kann auch durch Befestigungsmittel oder Bewehrungsstahl, die unzureichend geschützt sind, zu Rostsprengungen kommen.

3.2.2 chemische Verwitterung

Bei der chemischen Verwitterung handelt es sich um einen lösenden Angriff auf das Gestein. Vorhandene Schadstoffe werden durch Feuchtigkeit im Baustoff gelöst und dadurch chemische Prozesse in Gang gesetzt. Da auch hier Feuchtigkeit als Hauptverursacher genannt werden kann, ist dieser Schadensprozess meist eng mit einer physikalischen Verwitterung verbunden.

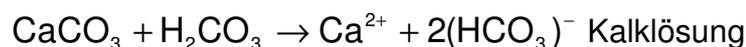
³³ vgl. Dreyer, 2004a, S.23

³⁴ vgl. Rohatsch, 2004, S.34

3.2.2.1 Kalklösung, Mikrokarst³⁵

Durch Kohlensäure, dass durch Regen auf das Bauwerk gelangt, wird Kalk im Stein gelöst, es kommt vorerst zu einem Politurverlust der Oberfläche. Diese wird laut Kieslinger (1949) als Mattscheibenwirkung bezeichnet. Nach einiger Zeit wird immer mehr Kalk gelöst, es kommt zu karstähnlichen Oberflächenbildungen, dem sogenannten Mikrokarst.

Die Reaktionsgleichung sieht folgendermaßen aus:

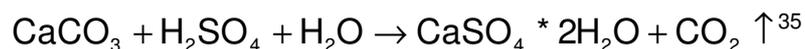


Die Kalklösung ist somit abhängig von der Menge der im Wasser gelösten Kohlensäure und von der Wassertemperatur.

Die Verwitterungsrate kann bei dichten Kalksteinen 1mm pro Jahr betragen.

3.2.2.2 Krustenbildung

Eine Krustenbildung findet ebenfalls aufgrund chemischer Umwandlungen durch säurehaltiges Wasser an der Steinoberfläche statt. Meistens handelt es sich dabei um Schwefelsäure die den Kalk nach folgender Reaktionsgleichung in Gips umwandelt:



Der Kalk ist entweder bereits im Gestein enthalten (z.B. Kalkstein), oder kann selbst als bauschädliches Salz in der Luft vorhanden sein. So kann es sein, dass auch Gesteine die keinen Kalk enthalten mit einer Gipskruste überzogen sind.³⁵

Die Aggressivität der Schwefelsäure steigt mit wachsender Luftfeuchtigkeit, außerdem begünstigt Wasser die Oxidation des Schwefeldioxids zum Schwefeltrioxid.³⁶

Wenn anstatt der Schwefelsäure kohlenensäurehaltiges Regenwasser an den Stein gelangt, entsteht keine Gips- sondern eine Kalkkruste.³⁷ Die

³⁵ vgl. Rohatsch, 2004, S.33

³⁶ vgl. Weber, 1994, S.628

³⁷ vgl. Rohatsch, 2004, S.34

Krusten sind meistens wegen Staub- und Rußbelastungen schwarz gefärbt.

Das hauptsächliche Problem solcher Krusten besteht darin, dass sie eine sehr abdichtende Wirkung besitzen. Der Stein kann sozusagen nicht mehr „atmen“, dadurch wird seine Diffusionsoffenheit stark beeinträchtigt. Es kommt zu einem Bereich hinter der Kruste, wo sich die anfallende Feuchtigkeit samt den mittransportierten Salzen anstaut und nicht mehr austrocknen kann. Dadurch kommt es zu einer vermehrten Steinerzsetzung in diesem Bereich durch Bindemittelverlust. Das Festigkeitsprofil sieht folgendermaßen aus:

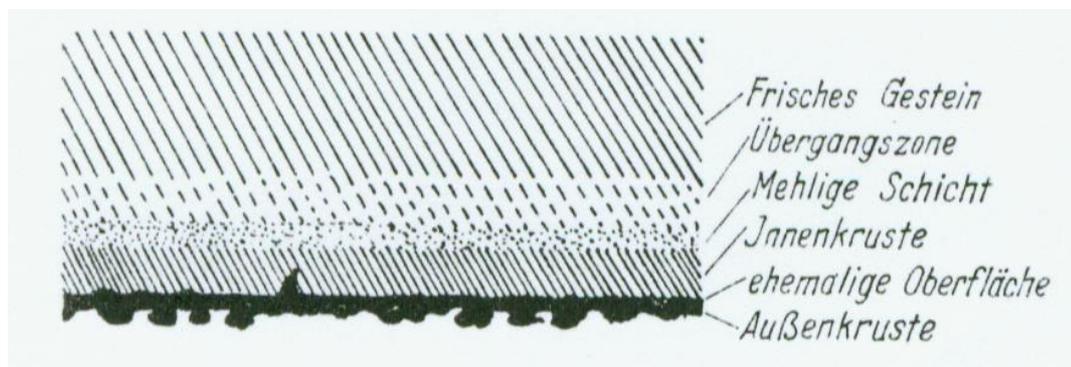


Abbildung 3: Festigkeitsprofil eines verwitterten Gesteins³⁸

In vielen Fällen hält nur mehr die Kruste an der Oberfläche den Stein zusammen, darunter ist der Stein bereits vollkommen zersetzt. Dieses Schadensbild ist auch deshalb äußerst problematisch, da man am ersten Blick keine so gravierende Zerstörung vermuten würde.

3.2.3 biologische Verwitterung

Wie bereits in Kap. 3.1.4 beschrieben, handelt es sich bei den biologischen Einwirkungen um Pflanzen, Pilze, Algen, Mikroorganismen, etc.

Pflanzen üben einerseits einen starken Wurzeldruck auf den Baustoff aus, der zu einer mechanischen Schädigung dessen führen kann. Andererseits beeinflussen sie den Feuchtigkeitshaushalt signifikant, da sie Wasser in jeder Art und Weise aufnehmen müssen um zu überleben. Dieser

³⁸ aus: Kieslinger, 1932, S.56

Mechanismus kann zu sehr hohen schädlichen Feuchtigkeitskonzentrationen führen.³⁹ Man muss dazu aber auch sagen, dass erstens ein Bewuchs auf dem Mauerwerk, dieses vor Witterungseinflüssen schützen kann³⁹ und zweitens die Pflanzen den Feuchtigkeitshaushalt eventuelle auch im positiven Sinne beeinflussen können, indem sie einen feuchtigkeitsregulierenden Einfluss auf den Stein ausüben.⁴⁰

Mikroorganismen können den Stein durch ihre Stoffwechselprodukte zerstören. Wie stark diese Zerstörungen ablaufen, wird derzeit an vielen Forschungsprojekten untersucht. Man weiß jedoch schon seit langem, dass die mikrobielle Besiedelung einen starken Einfluss auf die Verwitterung ausübt.⁴⁰ Zusätzlich dazu, stellen manche Organismen, wie Pilzsporen, auch eine Gefahr für den menschlichen Organismus dar. Derzeit werden allerdings auch einige Forschungsarbeiten durchgeführt, wo eine positive Beeinflussung der Mikroorganismen auf den Naturstein festgestellt werden soll. Die Ausscheidung der Mikroorganismen, in Form von Kalk, kann den Stein unter Umständen auch festigen.⁴¹

³⁹ vgl. Dreyer, 2004a, S.28

⁴⁰ vgl. Wittmann, 1993, S.228-235

⁴¹ vgl. Kerner, 2005

4 Steinfassungen

4.1 kurzer historischer Überblick

Steinoberflächen wurden bis ins 19. Jahrhundert mit Anstrichen vor Verwitterung geschützt. In Österreich sind ab der Romanik Anstriche auf Steinoberflächen als Farbgestaltungs- und Schutzmittel bekannt. Ein berühmtes Beispiel stellt das Westportal zu St. Stephan mit einer damaligen weißen Kalkung mit roter Fugenmalerei dar. Für ältere Objekte kann aufgrund fehlender Befundungen leider keine Aussage gemacht werden.⁴²

Als Beschichtungsmittel wurden vorwiegend Kalk- als auch Ölanstriche verwendet.⁴³ Nur harte, polierfähige Steine wie beispielsweise Marmor wurden auch teilweise steinsichtig ausgeführt.⁴⁴

Ab der Mitte des 19. Jahrhundert wurden die Anstriche kontinuierlich abgetragen, und die Gebäude dem neuen Trend nach „Steinsichtigkeit“ ausgeführt. In Österreich trat vor allem der Kunstgeschichtsprofessor Rudolf von Eitelberger für die Steinfreilegung ein. Im Zuge der Entfernung der Anstriche des Stephansdomes betont er: „....allen Grundsätzen eines gesunden Geschmackes, jeder besseren Übung der Gothik entgegen, (sind) selbst im Innern des Domes Pfeiler mit einem Anstriche überzogen worden“⁴⁵

Mit dem Verlust dieser Farbschichten, ging jedoch ein wichtiger Schutz für den Stein verloren. Nimmrichter und Koller schreiben dazu: „Geboren aus einer romantisierenden Liebe zur Materialsichtigkeit des Steines wurde eine Purifizierung der Steinoberfläche betrieben, die es in diesem Ausmaß niemals zuvor gegeben hat. Mit mechanischen Werkzeugen sowie aggressiven chemischen Reinigungsmittel wurden Steinoberflächen „frei“ gelegt und damit einer aggressiven Atmosphäre und zerstörerischen

⁴² vgl. Nimmrichter/Koller, 2001, S.121

⁴³ genaue historische Beschreibung vgl. Koller, 2003a, S.32-S38 und 2003b, S.123-129

⁴⁴ vgl. Koller, 1989, S.49

⁴⁵ aus: Koller, 2004, S.121

Umgebung preisgegeben.“⁴⁶ Bald erkannte man das zerstörerische Ausmaß dieser Freilegungen und ab der Mitte des 20. Jahrhunderts wurden die Steinoberflächen mit „modernen“ Anstrichen auf Silicon- oder Silikatbasis wieder „geschützt“, was jedoch verheerende Folgen hatte. Denn leider hatten diese vermeintlichen Schutzanstriche aufgrund ihrer Zusammensetzung oft eine neuerliche und weitreichendere Zerstörung der Steinsubstanz zur Folge als wenn man sie gar nicht gestrichen hätte. Seit ungefähr 30 Jahren versucht man nun wieder vermehrt auf traditionelle Anstrichsysteme in der Denkmalpflege zurückzugreifen⁴⁷ um damit die historische Bausubstanz so gut wie möglich vor Verwitterung zu schützen.

4.2 Aufgabe von Steinfassungen

Eine Steinfassung hat prinzipiell die Aufgabe, den Stein darunter, vor den Verwitterungseinflüssen wie in Kap. 3 beschrieben zu schützen. Zusätzlich dient sie natürlich auch ästhetischen Ansprüchen.

Es gibt viele Meinungen dazu, wie der Anstrich den Stein am besten schützen kann und welche Eigenschaften er dafür besitzen muss. Grochal schreibt beispielsweise: „Neben der Wetterbeständigkeit, den mechanischen Eigenschaften, der Abtönbarkeit und der Farbtonstabilität, der Kreidung sowie der Neigung zu Ausblühungen ist es vor allem die Wasserdampfdiffusion und die Wasserdurchlässigkeit einer Fassadenbeschichtung, die besondere Beachtung finden.“⁴⁸ Auch Hammer schreibt: „Man stellt die Dampfdurchlässigkeit mit entsprechenden Kennzahlen als wichtigstes Kriterium in den Vordergrund und klammert dabei den für mineralische Systeme wesentlichen physikalischen Parameter aus, nämlich die hydrophile Eigenschaft, also die Durchlässigkeit für Wasser in flüssiger Form.“⁴⁹ In beiden Fällen erkennt man, dass vor allem das Wasser im Baustoff selbst, in welcher

⁴⁶ Nimmrichter/Koller, 2001, S.121

⁴⁷ vgl. Hammer, 2002, S.414

⁴⁸ Grochal, 1994, S.324

⁴⁹ Hammer, 2002, S.423

Form auch immer, eine wichtige Rolle spielt. Der Anstrich soll also nicht nur vor Verwitterung von außen schützen, sondern auch ein Austreten des Wassers aus dem Stein ermöglichen.

Eine wichtige Funktion eines Anstriches sollte also, wie es auch historisch der Fall war, neben der ästhetischen Präsentation, auch die einer Opferschicht sein. Bei Opferschichten handelt es sich laut Nimmrichter/Koller/Paschinger/Richard um „...reversible und periodisch wiederholbare Überzüge, die im Laufe ihrer eigenen Abwitterung die darunter liegende Stein- oder Mörtelsubstanz schützen.“⁵⁰

Die Aufgaben einer Opferschlämme sind folgende:⁵¹

1. erneuerbarer (reversibler) Schutzüberzug für den Stein gegen Verwitterung. Der Stein wird solange geschützt, bis die Opferschicht abgewittert ist.
2. SO₂-Puffer: die Opferschicht nimmt den sauren Regen auf, es erfolgt eine Vergipsung dieser. Würde die Schlämme nicht vorhanden sein, dann wäre der Stein die Angriffsfläche für die Schwefelsäure und würde vergipsen.
3. Verkleinerung der Gesteinsoberfläche: die Poren des Gesteines werden durch die Schlämme verschlossen, dadurch kommt es zu einer Verkleinerung der Oberfläche. Dadurch können nicht mehr so viele Schadstoffe und Wasser aufgenommen werden. Die Wasserdampfdiffusion bleibt bei der Wahl der richtigen Schlämme in der Regel erhalten.
4. Verstärkung der kalzitischen Bindung von Kalksandstein bei Verwendung von Kalkschlämmen.
5. thermischer Schutz bei Verwendung von hellen Schlämmen, da dadurch die Wärmeabsorption reduziert wird.
6. optische Vereinheitlichung der Oberfläche

Vorab soll erwähnt werden, dass eigentlich nur Kalkschlämmen und Siliconfärbelungen zu den Opferschichten gezählt werden können.⁵²

⁵⁰ Nimmrichter/Koller/Paschinger/Richard, 2000, S.903-913

⁵¹ Nimmrichter/Koller/Paschinger/Richard, 1996, S.146-147

⁵² vgl. Nimmrichter/Koller, 2001, S.123

4.3 Aufbau von Fassungen

Laut Sauder/Schloenbach⁵³ beinhaltet ein Anstrich folgende Komponenten:

- Bindemittel
- Pigmente und Farbstoffe
- Füllstoffe
- Hilfsstoffe
- Lösungsmittel

4.3.1 Bindemittel

Bindemittel haben die Aufgabe den Anstrich auf dem Untergrund zu benetzen und zu halten.⁵⁴ Prinzipiell unterscheidet man in anorganische und organische Bindemittel.

4.3.2 Pigmente und Farbstoffe

Pigmente und Farbstoffe sind wie die Bindemittel entweder anorganisch oder organisch. Beispiele für Pigmente sind Bleiweiß, Zinkweiß, Zinkgelb, Ocker, Ultramarin, Ruß, ...⁵⁵

4.3.3 Füllstoffe

Füllstoffe sollen einerseits die Streichfähigkeit erhöhen und andererseits den Widerstand gegen mechanische Beschädigungen erhöhen. Außerdem sollen sie Schrumpfen und Quellen vermindern.⁵⁶

Beispiel für Füllstoffe sind Kreide und Quarzmehl.⁵³

⁵³ vgl. Sauder/Schloenbach, 1995, S.119

⁵⁴ vgl. Knoblauch/Schneider, 1995, S.219

⁵⁵ vgl. Schmidt, 1998, Kap. Historische Fassungen

⁵⁶ vgl. Knoblauch/Schneider, 1995, S.219

4.3.4 Hilfsstoffe

Diesen dienen zur Verbesserung und zum Ergänzen einzelner Eigenschaften. Das können beispielsweise Netzmittel, Viskositätsmittel, Beschleuniger oder hydrophobierende Mittel sein.

4.3.5 Lösungsmittel

Als Lösungsmittel kommt entweder Wasser oder niedermolekulare Kohlenwasserstoffe in Frage.⁵³

4.4 Unterscheidung der Anstriche nach ihren Bindemitteln

4.4.1 Anstriche mit anorganische Bindemitteln

Anorganische Bindemittel kommen vorwiegend aus der Natur. Sie erhärten entweder durch die Kohlendioxidaufnahme aus der Luft oder durch Wasser.⁵⁷ Prinzipiell sind beschäftigt sich die Anorganik in der Chemie, mit allen Elementen und Verbindungen die keine Kohlenwasserstoffverbindungen enthalten.⁵⁸

Die wichtigsten anorganischen Bindemittel für Anstriche sind⁵⁹:

- Kalk (→ Kalkanstrich)
- Zement (→ Zementanstrich)
- Wasserglas (→ Silikatfarben, Dispersionssilikatfarben)

4.4.2 Anstriche mit organischen Bindemittel

Bei organischen Bindemitteln handelt es sich um Kohlenstoffverbindungen.⁶⁰

⁵⁷ URL: <http://enius.de/wohnen/farben.html> [18.12.2006]

⁵⁸ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Organisch> [18.12.2006]

⁵⁹ vgl. Schmidt, 1998, Kap. Historische Fassungen

⁶⁰ vgl. Knoblauch/Schneider, 1995, S.106

Die wichtigsten organischen Bindemittel für Anstriche sind⁶¹:

- Leim (→ Leimfarben)
- Harz (→ Dispersionsfarben, Siliconharzfarben)
- Öl (→ Ölfarben)

4.5 Drei ausgewählte Anstrichsysteme

Im folgenden werden nur die drei Anstrichsysteme genauer erläutert, die auch für die anschließenden Versuche verwendet wurden.

Dabei handelt es sich um einen Sumpfkalkanstrich um eine Siliconfarbe und um einen Steinschutz der auf Nanotechnologie basiert. Der grundsätzliche Unterschied dieser drei Beschichtungssysteme, besteht einerseits in deren Gebrauch in verschiedenen Zeitaltern und andererseits in ihrer chemischen Zusammensetzung. Die Idee war, eine historische, eine dem heutigen Stand der Technik entsprechende, und eine möglicherweise für die Zukunft interessante Oberflächenbeschichtung zu verwenden.

4.5.1 Sumpfkalkanstrich

Der Kalkanstrich soll das Beschichtungssystem der Vergangenheit vertreten. Es handelt sich um einen Anstrich der heute nur mehr relativ selten Anwendung findet, vor allem im Außenbereich wird er wegen der schlechten Witterungsbeständigkeit nur mehr bei heiklen Restaurierungs- und Konservierungsmaßnahmen verwendet, wo die historische Authentizität des Gebäudes von besonderer Bedeutung ist. Für viele Experten stellt er trotzdem, vor allem wegen seiner hohen Dampfdurchlässigkeit und seinem schnellen Austrocknungsverhalten, ein gutes Anstrichsystem dar, das leider in den letzten Jahren zunehmend durch „moderne“ Produkte auf Silicon- oder Silikatbasis verdrängt worden ist. Ein großer Vorteil gegenüber Anstrichsystemen die heute in Verwendung sind, besteht jedoch in der Reversibilität der Kalkbeschichtung.

⁶¹ vgl. Sauder/Schloenbach, 1995, S.119

4.5.1.1 Herstellung von Kalk

Prinzipiell wird zwischen Luftkalken und hydraulischen Kalken unterschieden. Luftkalke erhärten vorwiegend unter der Aufnahme von CO_2 , während hydraulische Kalke mit Wasser an der Luft und unter Wasser erhärten.⁶²

Herstellung von Luftkalken⁶²

1. Abbau von Kalkstein (CaCO_3)

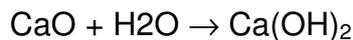
2. Brennen

Kalkstein wird bei über $900\text{ }^\circ\text{C}$ gebrannt. Dabei entsteht gebrannter Kalk (Brantkalk⁶³):



3. Löschen

Gebrannter Kalk und Wasser reagieren zu gelöschten Kalk (Kalkhydrat⁶³).



Man unterscheidet zwei verschiedene Lösungsverfahren

1. Nasslöschen: Wasser wird im Überschuss zugegeben

2. Trockenlöschen: es wird nur soviel Wasser zugesetzt wie benötigt wird, als Endprodukt entsteht ein trockenes Pulver (als Weißkalkhydrat im Handel)

4. Erhärten (Carbonatisierung)

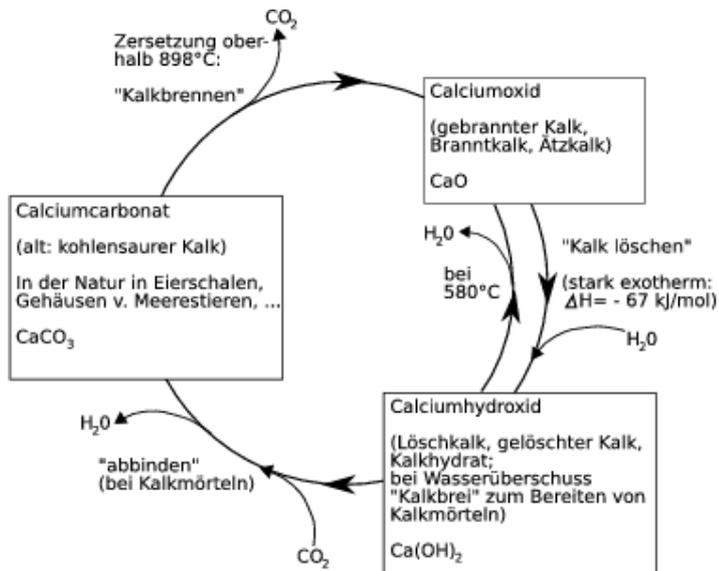


Die Aufnahme von Kohlensäure ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$), die schlussendlich zur Karbonatisierung führt, benötigt also ebenfalls eine gewisse Menge an Feuchtigkeit. Dies ist bei der Verarbeitung von Kalkanstrichen besonders zu berücksichtigen.

Nachfolgend wird der Kalkkreislauf schematisch dargestellt:

⁶² vgl. Knoblauch/Schneider, 1995, S.141-143

⁶³ vgl. Winnefeld/Böttger/Knöfel, 2001, S.41

Abbildung 4: Kalkkreislauf⁶⁴Herstellung von hydraulischen Kalcken⁶²

1. Abbau von Kalkmergel, welcher SiO_2 (Kieselsäure), Al_2O_3 (Tonerde), etc. enthält.

Für hochhydraulische Kalke wird gebrannter Kalkstein mit Kalksteinmergel vermischt und hydraulische Stoffe zugesetzt (z.B. Zement, Trass, ...)

2. Brennen

$> 600^\circ\text{C}$: Entsäuern des Kalksteins: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$

ab 900°C : $2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (=Dicalciumsilicat)

3. Löschen

Das CaO wird mittels Wasserdampf abgelöscht.

4. Erhärten

Beim Erhärten laufen drei verschiedene chemische Reaktionen ab:

1. Carbonatisierung wie beim Luftkalk

2. Reaktion mit Anmachwasser (im Überschuss)



es entsteht Calciumsilicathydrat

aq....Kristallwasser (Menge unterschiedlich)

⁶⁴ aus: http://de.wikipedia.org/wiki/Technischer_Kalkkreislauf#Gel.C3.B6schter_Kalk
[18.12.2006]

3. teilweise Umwandlung der Aluminiumsilicate mit Kalkhydrat zu kristallwasserhaltigen Verbindungen

Der wesentliche Vorteil bei den hydraulischen Kalken liegt in deren Wasserunlöslichkeit.

4.5.1.2 Herstellung von Sumpfkalk

Für Anstriche wird vorwiegend Sumpfkalk verwendet.⁶⁵ Beim Sumpfkalk handelt es sich um einen Luftkalk der nass gelöscht wird, und danach in so genannten Kalkgruben gelagert wird. Je länger der Kalk gelagert wird, desto besser werden die Kalkpartikel abgelöscht, da die Kristallisationsvorgänge sehr langsam stattfinden. Durch diese lange Lagerung, entsteht ein sehr feines Kalkhydrat, dass für Anstriche besonders gut geeignet ist.⁶⁶

4.5.1.3 richtige Verarbeitung von Sumpfkalk

Das Bundesdenkmalamt gibt eine grundlegende Verarbeitungsweise für Kalkanstriche in Form von Mitteilungsblätter vor.⁶⁷

Die wesentlichsten Aussagen dieser Mitteilungsblätter werden nachfolgend zusammengefasst:

Prinzipiell ist es wichtig, dass immer eine genügend hohe Luftfeuchtigkeit vorhanden sein soll. Die ideale Temperatur sollte zwischen 10 und 20°C liegen. Für Anstriche darf nur ein mindestens 2-jährig eingesumpfter Kalk verwendet werden. Die Kalkmilch muss gründlich in den Stein einmassiert werden, auf Vornässen sollte dabei, wegen Salzverschleppungen verzichtet werden.

Für die Wirksamkeit der Kalkbeschichtung ist es besonders wichtig, dass der Kalk gut karbonatisiert ist.⁶⁸ Um dieses zu gewährleisten muss die Fläche in der ersten Woche täglich mit Wasser besprüht werden.⁶⁷

Auch die Schichtdicke spielt dabei eine wichtige Rolle.

⁶⁵ vgl. Hammer, 2002, S.421

⁶⁶ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sumpfkalk>, http://www.kalk.de/ueber/lexikon_r-u.html [18.12.2006]

⁶⁷ vgl. Bundesdenkmalamt, 2000 und 2001

⁶⁸ vgl. Koller/Nimmrichter/Paschinger/Richard, 1996, S.144

4.5.2 Siliconfarbe

Siliconfarben beinhalten als Bindemittel Siliconharz. Der Abbindevorgang erfolgt selbstständig mit der Luft.⁶⁹

Der große Vorteil einer Siliconfarbe gegenüber der Kalkbeschichtung liegt in seinem hohen Wassereindringkoeffizienten. Das heißt, das Eindringen von Wasser wird stärker behindert als beim Kalk. Die meisten Hersteller solcher Farben versichern allerdings auch eine sehr gute Wasserdampfdurchlässigkeit dieser Anstriche. Wie gut diese Wasserdampfdurchlässigkeit im Vergleich zu einem Kalkanstrich nun wirklich ist, wurde in dieser Arbeit mitunter untersucht.

Laut Bundesdenkmalamt⁶⁷ sollte bei Vorhandensein von größeren Ölfarbesten auf den Stein oder bei einer vorhandenen Hydrophobierung, eine reine Siliconfarbe als Anstrich verwendet werden. Es wird darin allerdings auch betont, dass diese bei durchfeuchteten oder salzbelasteten Objekten nicht eingesetzt werden darf. Es stellt sich allerdings hierbei die Frage, ob diese Voraussetzung bei historischen Gebäuden überhaupt gewährleistet werden kann.

4.5.3 „moderne“ Systeme am Beispiel der Nanotechnologie

Die Beschichtung von Naturstein mit Nanotechnologie ist ein Verfahren, das derzeit noch in den Kinderschuhen steckt, aber für die Zukunft eine interessante Alternative darstellen könnte.

4.5.3.1 Erklärung Nanotechnologie

Nano lässt sich von dem griechischen Wort Zwerg (nános) herleiten. Der Präfix Nano gibt immer Auskunft über eine gewisse Größenordnung, ein Nanometer entspricht einem Milliardstel Meter (10^{-9} m). Dadurch werden die Oberflächeneigenschaften im Vergleich mit den Volumeneigenschaften immer wichtiger. Quantenphysikalische Effekte müssen dabei immer mehr berücksichtigt werden.⁷⁰

⁶⁹ URL: <http://www.schadis.de/dokument.jsp?id=lenze56.htm> [18.12.2006]

⁷⁰ URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie#Heutige_nanotechnologische_Produkte [18.12.2006]

Die Nanotechnologie selbst beschäftigt sich mit Größenordnungen die mindestens eine Dimension kleiner ist, als 100 Nanometer.⁷¹

4.5.3.2 Nanotechnologie für Beschichtungen

Die Idee der Nanotechnologie für Beschichtungen leitet sich vom sogenannten Lotusblüteneffekt ab. Dabei handelt es sich um eine sehr geringe Benetzbarkeit und hohe Selbstreinigungskraft von bestimmten biologischen Oberflächen wie beispielsweise der Lotusblüte. Die Ursache für diese Eigenschaften liegt in der natürlichen Oberflächenbeschichtung der Pflanzen die sich im Mikrometerbereich befindet. Durch diese Beschichtung wird ein sehr großer Kontaktwinkel bei Wasserkontakt hergestellt, die Oberfläche ist also stark hydrophob. Aufgrund der geringen Adhäsion können die Wassertropfen, die auf das Blatt gelangen, den Schmutz, der ebenfalls eine geringe Adhäsion zur Oberfläche besitzt, sozusagen wegspülen. Durch die Nanotechnologie soll diese natürliche, dünne Beschichtung, wie sie bei Pflanzen vorzufinden ist, nachimitiert werden.⁷²

Solch eine nachgebildete Nanobeschichtung besteht mindestens aus zwei Lagen. Die erste Lage ist für die Verbindung der darauffolgenden Lagen mit der Oberfläche verantwortlich.⁷³ Es handelt sich dabei also um eine physikalische Verbindung.

„Bei porösen Oberflächen wie Naturstein gelingt durch Auftragen dieser dünnen Beschichtung ein vollkommenes Umschließen der Oberflächenstruktur. Ein Eindringen von Wasser, Schmutz und Bakterien in den Stein und dessen Poren soll somit verhindert werden.“⁷⁴

Bei den Beschichtungen von Steinoberflächen mit Nanotechnologie kann eigentlich nicht mehr von einer Schlammigkeit gesprochen werden, da sie viele Aufgaben dieser, wie zum Beispiel die Verkleinerung der Oberfläche,

⁷¹ URL: http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/chemikalien/chem_kennzeichnung/nanotechnologie/ [27.12.2006]

⁷² URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lotuseffekt> [18.12.2006]

⁷³ URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Glas_mit_selbstreinigenden_Eigenschaften [18.12.2006]

⁷⁴ mündliche Mitteilung des Herstellers

nicht erfüllt. Vielmehr handelt es sich dabei eigentlich um eine Hydrophobierung, von der allerdings erwartet wird dass sie trotzdem eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit besitzt. Ob dieses System einer semipermeablen Beschichtung wirklich erreicht werden kann, wurde in dieser Arbeit geprüft.

4.5.3.3 mögliche Risiken

Seit einiger Zeit wird auch über mögliche Risiken dieser neuen Technologie diskutiert. Die Problematik besteht hauptsächlich in der kleinen Dimension dieser Stoffe, da man eigentlich nicht weiß, inwieweit der menschliche Organismus sich gegen solche kleine Partikel schützen kann und ob die toxikologische Bewertung von Stoffen sich auch auf die Größen im Nanometerbereich übertragen lässt.⁷⁵

2004 erschien ein Bericht der Swiss Re, einer Rückversicherungsanstalt mit dem Titel: "Nanotechnologie, Kleine Teile - grosse Zukunft?"⁷⁶ wo vor allem dargelegt wurde wie und in welchem Ausmaß die Nanopartikelchen in den Körper gelangen können. Es wurde bewiesen dass sich die Nanopartikel über die Blutbahn weiter zu anderen Organen wie Herz, Muskel, Eierstöcke, etc. ausbreiten kann. Teilweise konnten die Nanopartikel sogar im Gehirn nachgewiesen werden, was insofern bedenklich ist, da dieses Organ eigentlich das bestgeschützte im menschlichen Organismus ist. Aufgrund der Tatsache dass man derzeit nicht abschätzen kann, wie sich diese Nanopartikel auf die Gesundheit auswirken, warnte Swiss Re vor allem im Hinblick auf unbegrenzten Versicherungsschutz solcher Produkte.

Aufgrund vieler solcher Berichte fand 2006 ein Symposium des Umweltbundesamtes statt, wo die notwendige Schaffung von gesetzlichen Grundlagen im Bezug auf die Nanotechnologie diskutiert wurde.⁷⁵ Dies betrifft einerseits Gesetze zur Beschreibung von Stoffen im

⁷⁵ URL: http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/chemikalien/chem_kennzeichnung/nanotechnologie/.html [01.12.2006]

⁷⁶ URL: [http://www.swissre.com/INTERNET/pwsfilpr.nsf/vwFilebyIDKEYLu/ULUR-5YNGCZ/\\$FILE/Publ04_Nanotech_de.pdf](http://www.swissre.com/INTERNET/pwsfilpr.nsf/vwFilebyIDKEYLu/ULUR-5YNGCZ/$FILE/Publ04_Nanotech_de.pdf) [18.12.2006]

Nanometerbereich als auch Gesetze die den Arbeitnehmerschutz beschreiben.

Die Erkenntnisse im Bereich der kritischen Hinterfragung zur Nanotechnologie sind insofern bedenklich, da bei sehr vielen Produkten, die wir tagtäglich verwenden (Kosmetika, Lebensmittel,) bereits Nanotechnologie eingesetzt wird, es aber noch keinerlei Langzeitstudien zu den Auswirkungen auf Mensch und Umwelt mit diesen Stoffen gibt.

5 Versuche im Labor

Im Labor wurden die physikalischen Eigenschaften der drei in Kap. 4.5 beschriebenen Beschichtungssysteme untersucht und verglichen.

Um so viele Eigenschaften wie möglich bewerten zu können, wurde eine Reihe von Schadenseinwirkungen durch Umwelteinflüsse (Wasser, Salz, Frost-Tauwechsel, ...) simuliert. Damit sollte auch eine möglichst naturnahe Darstellung der Beanspruchungssituationen am Bauwerk erreicht werden.

5.1 verwendete Gesteinsmaterialien

5.1.1 Ersatzmaterialien für Wiener Museen

Für die Laboruntersuchungen wurden die beiden bei der Restaurierung verwendeten Gesteine für Auswechslungen am kunst- und naturhistorischen Museum in Wien untersucht. Es handelt sich dabei um einen beigen oolithischen Kalkstein aus Frankreich, den so genannten Savonnières, sowie einen Kalkstein aus Italien, benannt nach der Provinz Vicenza, wo er auch abgebaut wird.

Als ursprüngliches Gesteinsmaterial befindet sich der Zogelsdorfer Kalkstein an der Fassade der Museen. Da dieser an einigen Stellen schon sehr geschädigt ist und heute nicht mehr abgebaut wird, mussten Ersatzmaterialien für diesen gefunden werden. Der Zogelsdorfer Stein ist ein Kalkstein, der aus zerriebenen Kalkskeletten von Bryozoen (Moostierchen) und anderen Fossilien besteht. Das Abbaugelände befand sich in Zogelsdorf bei Eggenburg in Niederösterreich, der Steinbruch wurde allerdings kurz nach dem zweiten Weltkrieg stillgelegt.⁷⁷

⁷⁷ vgl. Gaspar, 1991 sowie Steininger&Roetzel, 2005

5.1.2 Savonnières

5.1.2.1 Allgemeine Beschreibung

Bei diesem Gestein handelt es sich um einen eher gelbbraunen Kalkstein (Kalkoolith) des Jura mit einem Calcitanteil von 99%. Laut Börner/Hill⁷⁸ beträgt die Rohdichte des Savonnières 1,6 – 2,1 kg/dm³ und die Druckfestigkeit 6,9 – 27,5 N/mm². Die Gewinnung erfolgt untertage, unter anderem nahe der Stadt Savonnières in Ost-Frankreich. Im Handel können verschiedene Sorten bezogen werden, die Bezeichnung bezieht sich auf den Feinheitsgrad der Korngröße: Savonnières Demi-Fine, Savonnières Demi-Fine Choix, Savonnières Fine. In unserem Fall handelt es sich wahrscheinlich entweder um einen Savonnières Demi-Fine oder um einen Savonnières Demi-Fine Choix. Demi-Fine heißt übersetzt halbfine, Choix bedeutet erlesen, d.h. es werden nur Steine mit einer besonderen Qualität verwendet.⁷⁸

Der Savonnières wurde bei vielen berühmten Objekten als Baustein bzw. als Restaurierungsmaterial verwendet. Beispiele dafür sind der Dom von Köln (Deutschland), das Schloss Zürich (Schweiz) oder die alte Oper in Frankfurt (Deutschland).⁷⁸ Auch für figurale Darstellungen und Bildhauerarbeiten gelangte dieses Gestein zur Anwendung. Als Verwendungsbeispiel in Wien kann unter anderem die Plastik der Kaiserin Elisabeth am Nordturm von St. Stephan (um 1860), sowie die zentralen Attikafiguren auf dem ehemaligen K&K Kriegsarchiv am Minoritenplatz genannt werden.⁷⁹

⁷⁸ vgl. URL: <http://www.naturstein-datenbank.de> [05.10.06]

⁷⁹ mündliche Mitteilung Rohatsch



Abbildung 5: Savonnières Kalksandstein (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

5.1.2.2 Dünnschliff

Die Dünnschliffe wurden von der Firma Geopräp (Eggenburg) im Auftrag des Instituts für Ingenieurgeologie hergestellt.

Für die Herstellung eines solchen Dünnschliffs wird mittels einer Diamantsäge ein kleines Steinplättchen herausgesägt und anschließend mittels Kunstharz auf eine Glasplatte geklebt um geschliffen und poliert zu werden. Die endgültigen Dünnschliffplättchen sind nur wenige hundertstel Millimeter dick.

Im Dünnschliff erkennt man vor allem die Porenverteilung, sowie Art und Umfang der gesteinsbildenden Komponenten.

Beim Dünnschliff des Savonnières Kalksandsteines ist deutlich zu erkennen, dass es sich um eine sehr regelmäßige Porenverteilung handelt. Überwiegend wird dieses Gestein aus Ooiden, also kugelähnlichen Komponenten mit konzentrischen Schalenbau aufgebaut. Die Kerne der Ooide wurden vermutlich größtenteils im Zuge der Diagenese herausgelöst.⁸⁰

⁸⁰ zu den Entstehungsbedingungen und mikrofazielle Details siehe Tucker/Wright, 1990

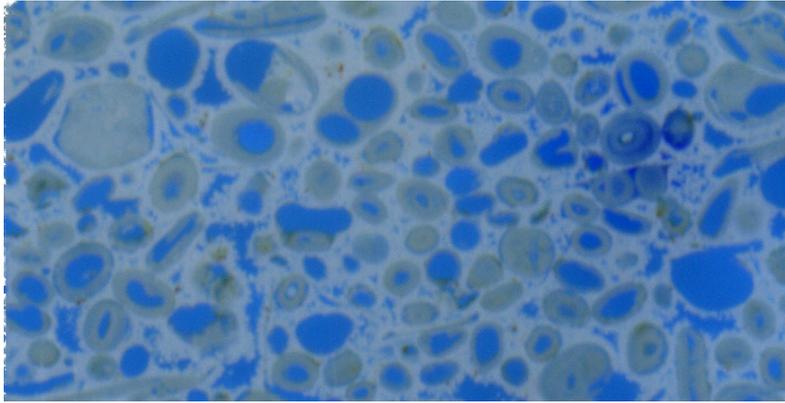


Abbildung 6: Dünnschliff Savonnières Kalksandstein
(Länge des Bildausschnittes ca. 10mm)

5.1.2.3 Porenradienverteilung

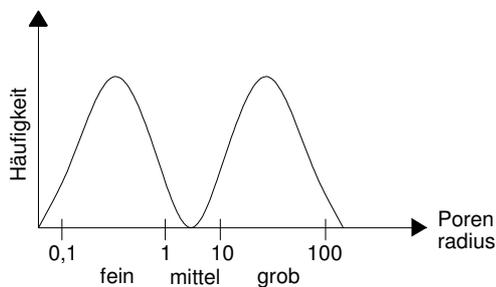


Abbildung 7: Schemazeichnung Porenradienverteilung, Savonnières

An obenstehender Abbildung lässt sich erkennen, dass sowohl sehr feine als auch sehr grobe Poren vorhanden sind. Porenradien im mittleren Bereich findet man dagegen eher selten bis gar nicht.

5.1.3 Pietra di Vicenza

5.1.3.1 Allgemeine Beschreibung

Beim italienischen Pietra di Vicenza handelt es sich laut Börner/Hill um einen weißen, grauen, gelblichen oder bräunlichen Kalkstein des Oligozän aus Karbonatsand mit Fossilresten. Die durchschnittliche Rohdichte beträgt $1,92\text{kg/dm}^3$, die Druckfestigkeit liegt zwischen $22,7 - 26,9\text{ N/mm}^2$. Im Handel findet man vier verschiedene Sorten: Bianco Avorio, Giallo Dorato, Giallo Dorato Scioso sowie Grigio Argento.⁸¹

⁸¹ vgl. URL: <http://www.naturstein-datenbank.de> [05.10.06]

In unserem Fall handelt es mit höchster Wahrscheinlichkeit um einen Bianco Avorio, „bianco avorio“ bedeutet übersetzt elfenbeinweiß. Abgebaut wird dieser Stein in Italien in der Provinz Vicenza/Veneto. Aus diesem Grund wurde der Pietra di Vicenza auch als Baustein in Padua, Venedig und Vicenza verwendet.⁸¹



Abbildung 8: Vicenza Kalkstein (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

5.1.3.2 Dünnschliff

Am Dünnschliff sind die Fossilreste im Stein deutlich erkennbar. Durch die abgestufte Korngrößenverteilung der Komponenten entsteht allerdings eine eher unregelmäßige Porenverteilung. An der gesteinskundlichen Zusammensetzung sind vorwiegend die Kalkskelette von Kalkrotalgen und Foraminiferen beteiligt.

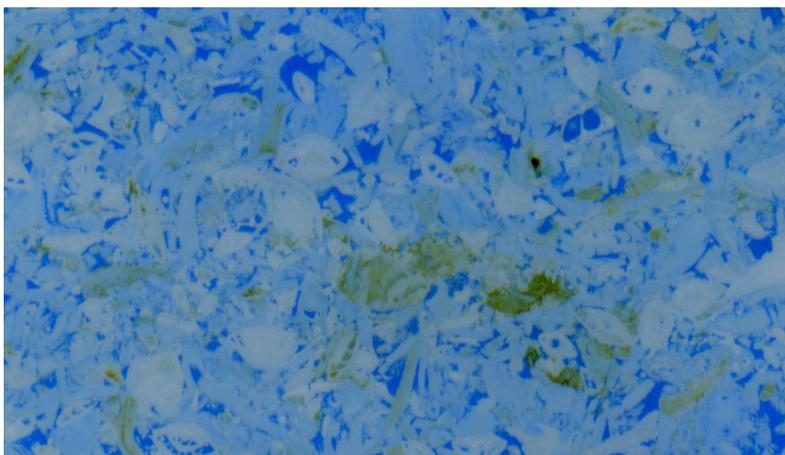


Abbildung 9: Dünnschliff Vicenza Kalkstein (Länge des Bildausschnittes ca. 10mm)

5.1.3.3 Porenradienverteilung

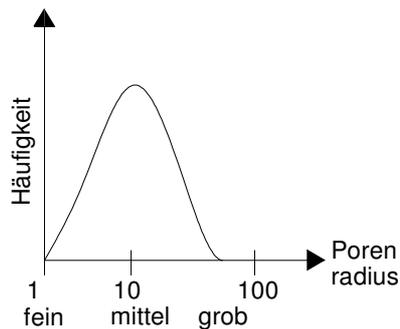


Abbildung 10: Schemazeichnung Porenradienverteilung, Vicenza

An obiger Abbildung erkennt man, dass sich die Porenradien, im Gegensatz zum Savonnières, im mittleren Bereich befinden. Feine und grobe Poren sind weniger vorzufinden.

5.2 verwendete Beschichtungssysteme

Aus datenschutzrechtlichen Gründen werden keine Angaben zu den Produktherstellern und –namen angeführt.

5.2.1 Sumpfkalk

Für die Untersuchungen wurde ein drei Jahre eingelagerter Sumpfkalk verwendet. Laut Hersteller wurde dieser in speziellen frostsicheren Kalkgruben eingesumpft. Die Kalkmilch wird aus feinstgemahlenem Branntkalk mit Zugabe von genau dosiertem Löschwasser, in Großlöschtrommeln, hergestellt.

5.2.2 Siliconfarbe

Der in dieser Arbeit verwendete Siliconanstrich wird derzeit relativ häufig bei Restaurierungsarbeiten verwendet, er ist sozusagen ein repräsentativer Stellvertreter für Produkte die dem heutigen Stand der Technik entsprechen sollen.

Bei der hier verwendeten Siliconfarbe handelt es sich um eine niedermolekulare Siliconharzemulsion, die laut Hersteller eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit, aber trotzdem eine hohe Dichtigkeit gegen

Schlagregen und Spritzwasser besitzt. Auch ein geringer Verschmutzungsgrad, sowie eine hohe Beständigkeit gegen UV-Strahlen, Mikroorganismen sowie Industrieabgasen werden vom Anbieter angegeben. Laut Produktdatenblatt findet diese Siliconfarbe speziell bei Natursteinbeschichtungen im Denkmalschutzbereich Anwendung.

5.2.3 Nanotechnologie

In dieser Arbeit wurden drei verschiedene Oberflächenbeschichtungssysteme mit Nanotechnologie geprüft.

Um mehrere Tests im Rahmen dieser Arbeit durchführen und vergleichen zu können wurde in diesem Fall nur der Vicenza Kalkstein und nicht auch, wie bei den anderen Beschichtungssystemen, der Savonnières Kalkstein mit den drei verschiedenen Nanotechnologieprodukten beschichtet.

Es handelt sich dabei um folgende drei Beschichtungssysteme:

1. Nanotechnologie stone protect
2. Nanotechnologie Finish A
3. Nanotechnologie Finish A+B

Der prinzipielle Unterschied der drei Beschichtungssysteme liegt laut Hersteller in deren Schichtanzahl. Nanotechnologie stone protect besteht aus 12-13 Lagen, Finish A aus 3-4 Lagen und Finish A+B aus 14-15 Lagen.⁸²

Alle drei Beschichtungen wurden von einem Techniker der Vertreiberfirma am Institut für Ingenieurgeologie auf jeweils vier Probekörper aufgetragen.

Nachfolgend eine kurze Beschreibung der Produkte:

Nanotechnologie stone protect

Laut Hersteller handelt es sich um eine unsichtbare, imprägnierende, schmutzabweisende, UV-stabile Beschichtung mit einer hohen Dampfdurchlässigkeit. Eine besondere Eigenschaft besteht darin, dass die Beschichtung bis sechzig bar hochdruckreinigerfest sein soll. Das Produkt besteht aus einer Siliziumlösung die mit Oxiden, Hydroxy- und

⁸² ob es sich um eine physikalische oder chemische Bindung handelt, konnte bis jetzt nicht eruiert werden

Carboxyfunktionen der Oberfläche eine chemische Bindung eingehen. Eine genauere Zusammensetzung des Produktes ist nicht bekannt.

Nanotechnologie Finish A und Finish A+B

Gemäß Produktdatenblatt ist diese Beschichtung graffitiabweisend und ebenfalls bis sechzig bar hochdruckreinigerfest. Dadurch können Oberflächen, die beispielsweise mit Graffiti besprüht wurden wieder gereinigt werden, ohne die Beschichtung oder den Stein darunter zu beschädigen.

Laut Hersteller soll die Oberfläche außerdem absolut frost- und verwitterungsbeständig sein.

Die Beschichtung besteht aus zwei Komponenten A und B, die hintereinander aufgetragen werden sollen. In unserem Fall wurde eine Testreihe nur mit der Komponente A besprüht, eine zweite Testreihe mit beiden Komponenten.

5.3 Versuchsanordnung und Probenpräparation

5.3.1 Zuschnitt und Beschichtung der Probekörper

Die Proben wurden mittels einer Gesteinssäge auf die Fläche von ca. 88x88mm und einer Höhe von 25mm zugeschnitten.

Für den nachfolgenden Auftrag der Beschichtung mit Sumpfkalk und mit Siliconfarbe, wurden die Probekörper solange im Wasser gelagert bis keine aufsteigenden Bläschen mehr sichtbar waren. Danach wurden sie sorgfältig mit einer Küchenrolle abgetupft und der jeweilige Anstrich im noch nassen Zustand aufgetragen. Die Nanotechnologiebeschichtung wurde im trockenen Zustand der Probekörper aufgetragen.

5.3.1.1 Beschichtung mit Sumpfkalk

Dieser erfolgte lasierend in sehr dünner Konsistenz (ca. 1 Teil Sumpfkalk und 10 Teile Sinterwasser) in insgesamt sieben Schichten. Zwischen den ersten drei Schichten war jeweils eine halbe Stunde Pause, der vierte Anstrich erfolgte einen Tag nach dem Dritten, der Fünfte vier Tage nach dem vierten Anstrich und die letzten beiden Schichten erfolgten jeweils im

Abstand von zwei Stunden zum vorigen Anstrich. Die Proben wurden nach einigen Tagen auf Karbonatisierung mit Phenolphthalein geprüft. Um ausreichende Feuchtigkeit zum Abbinden zu gewährleisten wurden die Probekörper regelmäßig mit Wasser besprüht. Am Schluss wurden Sie, um eine härtere, wischfeste Oberfläche zu erhalten, mit Sinterwasser besprüht. Nach ca. zwei Wochen war eine vollständige Karbonatisierung der Oberfläche erreicht.

Diese Vorgehensweise wurde aufgrund zweier vorher eigens durchgeführter Testreihen gewählt. Einerseits wurde geprüft, ob die Probekörper beim Anstrich besser nass oder trocken sein sollten. Folgende Varianten wurden untersucht:

1. trockene Probekörper (Lufttemperatur 25°C, rel. Luftfeuchtigkeit 50%)
2. die Probekörper waren vollkommen wassersatt, und wurden auch während des Beschichtens und Abbindens in Wasser gelagert.
3. die Probekörper wurden solange in Wasser gelagert bis keine Luftblasen mehr aufstiegen, danach wurden sie aus dem Wasser genommen, mit einer Küchenrolle abgetupft und sofort bestrichen.

Die Ergebnisse zeigten, dass ein vollkommen trockener Untergrund nicht geeignet war, da eine Karbonatisierung des Kalkanstriches aufgrund mangelnder Feuchtigkeit nicht möglich war, da das Wasser in der Beschichtung sofort vom trockenen Stein abgesaugt wurde. Auch im wassersatten Zustand konnten keine guten Ergebnisse erzielt werden. Das beste Resultat erreichte man mit der dritten Variante, indem man die Probekörper nach der Lagerung in Wasser sofort mit Kalk beschichtete.

Zusätzlich wurde das Abbindeverhalten unter verschiedenen Klimaverhältnissen getestet. Es wurden vier unterschiedliche Varianten geprüft:

1. besprühen der Oberfläche mit Sinterwasser
2. besprühen der Oberfläche mit Leitungswasser
3. wie (1) unter erhöhter Luftfeuchtigkeit
4. wie (2) unter erhöhter Luftfeuchtigkeit

Um die erhöhte Luftfeuchtigkeit zu erreichen, wurde ein Plastikgefäß, mit Löchern zur CO₂-Aufnahme, über den Probekörper gestülpt. Diese Variante bewirkte jedoch ein schlechtes Abbindeverhalten, der

Kalkanstrich war auch nach einigen Schichten immer noch durchscheinend. Das beste Ergebnis wurde durch regelmäßiges Besprühen sowohl mit Leitungswasser als auch mit Sinterwasser erreicht. (Variante 1 und 2). Die schnellste Karbonatisierung erreichte man, wenn die Oberfläche mit Leitungswasser behandelt wurde, der Anstrich bei der mit Sinterwasser besprühten Probe war allerdings etwas abriebfester. Um beide Vorteile zu vereinen, wurden aus diesem Grund die Probekörper bei den nachfolgenden Versuchen am Beginn mit reinem Leitungswasser (→ schnelle Karbonatisierung) erst nach zwei Tagen mit Sinterwasser besprüht (→ Härtung der Oberfläche).

5.3.1.2 Beschichtung mit Siliconanstrich

Der Anstrich erfolgte dreimal hintereinander, in einem Abstand von etwa einer halben Stunde. Danach wurden die Proben unter Raumtemperatur eine Woche getrocknet.

5.3.1.3 Beschichtung mit Nanotechnologie

Die Probekörper wurden vom Produkthersteller beschichtet. Es wurden folgende Beschichtungssysteme aufgetragen:

5. Finish A+B (14-15 Lagen)
6. Stone Protect (12-13 Lagen)
7. Finish A (3-4 Lagen)

5.3.2 Probenvorbereitung für die anschließenden Versuche

5.3.2.1 misslungener erster Versuchsaufbau

In einer vorangegangenen Versuchsreihe wurden die Probekörper auf einen Schwamm in ein Kunststoffgefäß gegeben und seitlich mit Siliconmasse abgedichtet. Danach wurde das Wasser mit einer Spritze in den Behälter injiziert und zwar solange bis sich der Probekörper vollständig mit Wasser kapillar angesaugt hatte. Danach wurde der Behälter bis ca. einen Millimeter unterhalb des Probekörpers befüllt und auf 0,1g genau gewogen. Am Anfang wurden die Messungen alle fünf bis zehn Minuten wiederholt, danach wurden die Proben nur mehr alle

Stunden abgewogen. Auf diese Weise sollte die Wasserpermeabilität durch die Oberflächenbeschichtung dargestellt werden.



Abbildung 11: Versuchsaufbau mit Kunststoffbehälter

Leider traten bei diesem Versuchsaufbau einige Komplikationen auf. Erstens war das verwendete Silicon nicht für den Kontakt mit Steinen in Verbindung mit Wasser geeignet. Die im Silicon enthaltene Essigsäure gelangte in den Stein, dort kam es in Verbindung mit dem Wasser zu einer chemischen Reaktion, die Salzausblühungen in Form von Acetatkristallen an der Oberfläche zur Folge hatte.



Abbildung 12: Salzausblühungen an der Oberfläche (Zogelsdorfer Kalksandstein mit Kalk- bzw. Siliconbeschichtung)

Vor allem bei den anschließenden Permeabilitätsversuchen mit einer 14%igen Magnesiumsulfatlösung in Verbindung mit dem Kalkanstrich war das Ergebnis unbrauchbar, da die Essigsäure mit den Salzen eine Verbindung einging die sich gallertartig über die Beschichtung zog und somit ein Verdunsten an der Oberfläche praktisch unmöglich wurde.



Abbildung 13: Salzausblühungen an der Oberfläche (Savonnières Kalkanstrich)

Zusätzlich konnte die Permeabilität nicht absolut quantifiziert werden, da die Randbedingungen nicht konstant gehalten werden konnten. Jeder Stein saugte unterschiedlich viel Wasser, bis er vollständig kapillar gesättigt war, außerdem wurden die Steine an der Seite nicht versiegelt, deshalb war das Verhältnis der eintretenden Fläche zur austretenden Fläche immer unterschiedlich. Außerdem wird durch den Schwamm, im Bereich von diesem durch Kapillarwirkung mehr Wasser aufgenommen als an den seitlichen Bereichen.

Als Resümee dieser misslungenen Versuche kann man schließen, dass ein Versuchsaufbau in dieser Art und Weise nur sinnvoll sein kann, wenn ein spezielles Silicon für Natursteine verwendet wird (im Handel als MarmorSilicon erhältlich) oder die Proben vor dem Einbau seitlich mit Epoxydharz, Acryllack oder ähnlichem versiegelt werden. Diese Versiegelung ist ohnedies nötig, um die eintretende Fläche mit der austretenden Fläche gleichzusetzen. Um das Problem mit dem Schwamm zu verhindern, kann entweder ein Schwamm mit der gleichen Größe der Probenfläche verwendet werden, oder der Probekörper muss anderwärtig aufgeständert werden. Da diese Problematik mit geringem Aufwand nicht wirklich in den Griff zu kriegen war, wurde folgender Versuchsaufbau gewählt:

5.3.2.2 zweiter Versuchsaufbau (endgültige Version)

Nach dem Auftragen und anschließendem Trocknen der Beschichtung wurden die seitlichen Flächen dreimal mit einem Acryllack, im Abstand von einigen Stunden beschichtet. Um die beiden Gesteinsarten auch nach dem Auftragen der Beschichtungen noch unterscheiden zu können, wurden sie mit verschiedenen Farben bestrichen:

Vicenza → blau

Savonnières → braun

Vicenza mit Nanotechnologie → schwarz

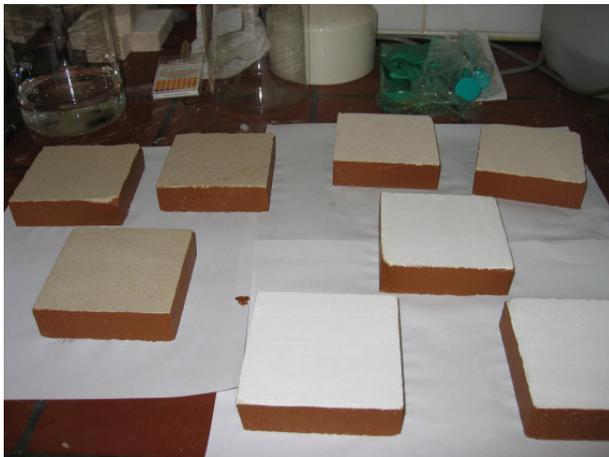


Abbildung 14: fertig versiegelte Proben (Savonnières)

Danach wurden die Probekörper auf einen Kunststoffdeckel gesetzt und seitlich mit einer Modelliermasse abgedichtet. Dadurch sollte erreicht werden, dass das Wasser nur über die beschichtete Oberfläche verdunsten kann (Versuchsaufbau maßgebend für die Permeabilitätsversuche, vgl. Kap. 5.4.2)

Durch diesen Versuchsaufbau konnte jedoch nicht mehr die Wasserpermeabilität sondern nur mehr das Austrocknungsverhalten beurteilt werden. Da für die Beurteilung des Austrocknungsverhaltens jedoch beide Parameter eine hohe Aussagekraft liefern, wurde der wesentlich einfachere und weniger fehleranfällige Aufbau gewählt.

5.3.3 Probenbezeichnung (ausgenommen Voruntersuchungen)

5.3.3.1 Kalk- und Siliconbeschichtete Proben

1. Stelle: Steinart

S ... Savonnières

V ... Vicenza

2. Stelle: Beschichtungssystem

O ... ohne Beschichtung

K ... Kalkbeschichtung

R ... Siliconfarbe

3. Stelle: Schadenseinwirkung

W ... Wasser

S ... Salz

4. Stelle: Probenzahl

1-3 ... 1. – 3. Probe (pro Versuch wurden 3 Proben verwendet)

Beispiel: S-O-W-1: Savonnières Kalksandstein ohne Beschichtung, mit Wasser geprüft (sowohl Austrocknungsverhalten als auch Frost-Tauwechsel), 1. Probe

5.3.3.2 Nanotechnologie

1. Stelle: Kennzeichnung der Beschichtung mit Nanotechnologie

NA... Nanotechnologie

2. Stelle Anstrichsystem

FA ... Finish A

FA+B ... Finish A+B

SP ... Stone Protect

3. Stelle: Probenzahl

1-4 ... 1. – 4. Probe

Beispiel: NP-FA-1: Vicenza Kalkstein mit Beschichtung auf Basis der Nanotechnologie Finish A, 1. Probe

Für die Versuche des Wasserabgabeverhaltens wurden alle vier Proben verwendet, für die nachfolgenden Frost-Tauwechselversuche nur mehr die Probennummer 1 und 2 und für das Salzlösungsabgabeverhalten sowie den Klimaschrank die Proben mit der Nummer 3 und 4.

5.4 Versuchsdurchführung

5.4.1 Voruntersuchungen

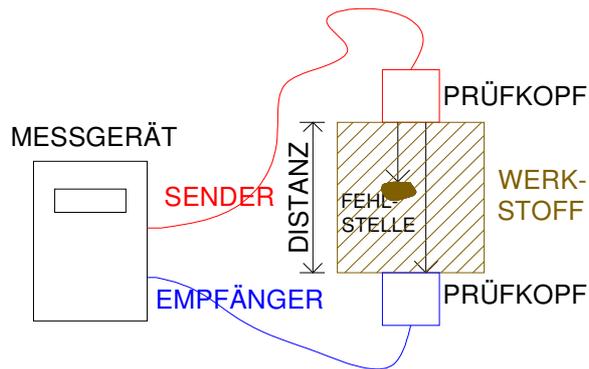
5.4.1.1 Messung der Ultraschallgeschwindigkeit in Anlehnung an ÖNORM EN B14579

Als Ultraschall bezeichnet man Schall mit Frequenzen zwischen 20kHz und 1 GHz⁸³, und liegt somit über der menschlichen Hörschwelle. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Schallwellen einen Körper durchfluten, gibt Auskunft über die Werkstoffstruktur. Zusätzlich kann der dynamische E-Modul und unter Voraussetzung einer für den jeweiligen Gesteinstyp durchgeführten Kalibrierung können auch Kennwerte wie Dichte und Festigkeit bestimmt werden.

Es gibt verschiedene Versuchsanordnungen für die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit, in unserem Fall wurde das Laufzeitverfahren in Durchschallung gewählt. Dabei wird ein Sende- sowie ein Empfängerkopf gegenüberliegend auf dem Probekörper aufgebracht. Vom Sender werden Schallwellen durch den Werkstoff zum Empfänger geleitet, die dafür benötigte Zeit wird in μs gemessen. Kennt man nun den Abstand zwischen Sender und Empfänger, kann dadurch die Geschwindigkeit ermittelt werden. Leider kann es bei diesem Verfahren allerdings zu Ungenauigkeiten, aufgrund von Fehlstellen im Werkstoff kommen. Solche Fehlstellen können Unregelmäßigkeiten in der Porenstruktur als auch in der Korngrößenverteilung sein. Sie führen dazu, dass die Ultraschallwellen reflektiert oder geschwächt werden, und somit zu einem falschen Ergebnis führen.⁸⁴ Aus diesem Grund ist es wichtig, immer an mehreren Stellen des Probekörpers Messungen durchzuführen, und dadurch ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis über den Zustand des Werkstoffes zu erhalten.

⁸³ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Ultraschall> [06.10.06]

⁸⁴ vgl. Krautkrämer, 1986



Figur 1: Prinzipskizze des Laufzeitverfahrens mit Durchschallung

Laut Fleischer besteht zudem die Gefahr dass wichtige Einflussfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit, etc. bei der Messung außer Acht gelassen werden, und dadurch die Vergleichbarkeit einzelner Proben zueinander nicht mehr gegeben ist.⁸⁵ Um auch diese Fehlerquelle ausschalten zu können, wurde bei den Versuchen auf einheitliche Rahmenbedingungen geachtet.

Von beiden Steinarten wurden je drei quadratische Probekörper mit den Abmessungen von $b_1 \times b_2 \times h = 88 \times 88 \times 25 \text{ mm}$ angefertigt. Diese Maße resultieren aus der Tatsache, dass bei allen nachfolgenden Versuchen ebenfalls diese Abmessungen gewählt wurden, und somit eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben ist.

Die Bezeichnung der Probekörper erfolgte folgendermaßen:

1. Stelle: Steinart

S ... Savonnières

V ... Vicenza

2. Stelle: Art der Untersuchung

VO ... Voruntersuchung

3. Stelle: Probenzahl

1-3 ... 1. – 3. Probe

Es wurden jeweils neun Messpunkte auf dem Probekörper aufgezeichnet (pro Messdistanz zwei sich gegenüberliegende Messpunkte), acht davon befinden sich auf den seitlichen Flächen (jeweils zwei pro Seite), und einer in der Mitte der Probe.

⁸⁵ vgl. Fleischer, 2002, S.55

Danach wurden die Probekörper in ein Stativ mit konstantem Anpressdruck von 7 bar eingespannt und mit Hilfe eines Ultraschallmessgerätes der Firma ATH⁸⁶ die Durchgangszeit für alle neun Messpunkte abgelesen.

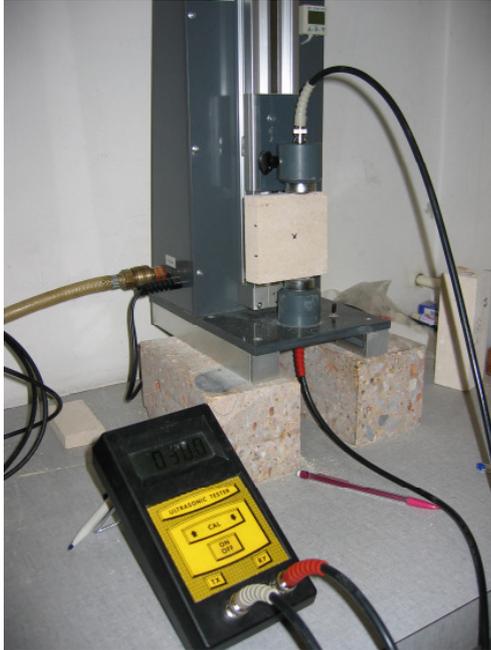


Abbildung 15: Ultraschallmessung

Zusätzlich wurde die Distanz der einzelnen Messpunkte mit einem Meßschieber auf 0,05 mm genau abgemessen um somit die Distanz zwischen Sender und Empfänger zu erhalten.

Nachfolgend werden die ermittelten Werte aufgelistet:

	Abmessungen [mm]					Durchschallzeit [μ s]								
	1-6	2-5	3-8	4-7	Mitte	1	2	3	4	5	6	7	8	Mitte
S-VO-1	88,0	88,0	88,3	88,5	25,6	27,3	27,6	29,1	29,5	27,8	27,4	29,6	29,1	7,9
S-VO-2	88,5	88,4	88,5	88,6	25,6	30,6	30,5	28,3	28,8	30,5	30,6	28,7	28,3	8,1
S-VO-3	87,8	87,9	88,0	88,0	24,4	30,0	29,7	27,5	28,3	30,0	29,9	28,5	27,8	7,6
V-VO-1	88,7	88,5	88,2	88,3	24,5	24,5	25,0	27,3	26,2	24,9	24,7	26,5	27,0	7,0
V-VO-2	88,2	88,4	87,5	87,4	24,6	27,4	26,4	25,6	25,5	26,7	27,4	25,5	25,5	6,9
V-VO-3	88,5	88,4	89,0	88,7	24,6	26,0	26,7	25,3	25,0	26,8	25,8	25,1	25,2	7,1

Tabelle 2: gemessene Werte für Abmessungen und Durchschallzeit

Aus diesen Werten kann nun durch Division der Zeit mit der Distanz, die Durchschallgeschwindigkeit ermittelt werden:

⁸⁶ AUSTRO TEST HRDINA GmbH, Georg Högn Gasse 17, A-2381 Laab im Walde

Savonnières

	Durchschallgeschwindigkeit [km/s]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	Mitte	Ø
S-VO-1	3,2	3,2	3,0	3,0	3,2	3,2	3,0	3,0	3,2	3,1
S-VO-2	2,9	2,9	3,1	3,1	2,9	2,9	3,1	3,1	3,2	3,0
S-VO-3	2,9	3,0	3,2	3,1	2,9	2,9	3,1	3,2	3,2	3,1
									Ø	3,1

Tabelle 3: Berechnung der Durchschallgeschwindigkeit Savonnières

Maximalwert: 3,2 km/s

Minimalwert: 2,9 km/s

Vicenza

	Durchschallgeschwindigkeit [km/s]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	Mitte	Ø
V-VO-1	3,6	3,5	3,2	3,4	3,6	3,6	3,3	3,3	3,5	3,4
V-VO-2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,3	3,2	3,4	3,4	3,6	3,4
V-VO-3	3,4	3,3	3,5	3,5	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5	3,4
									Ø	3,4

Tabelle 4: Berechnung der Durchschallgeschwindigkeit Vicenza

Maximalwert: 3,6 km/s

Minimalwert: 3,2 km/s

Man erkennt, dass die beiden Gesteinsarten etwa gleiche Werte aufweisen. Bei beiden handelt es sich um Gesteine mit einem sehr homogenen Gefüge, die Streuung der einzelnen Werte beträgt immerhin nur 0,2 km/s.

Bei den ermittelten Ultraschalldurchgangsgeschwindigkeiten handelt es sich um Relativwerte, diese dienen lediglich dem Vergleich mit den Werten nachfolgender Versuche von Probekörpern gleicher Größe. Um einen Absolutwert der Durchgangsgeschwindigkeit zu erhalten sind Probekörper mit größeren Abmessungen zu verwenden.⁸⁷

⁸⁷ vgl. Fleischer, 2002, Kap.3.3.3.4

5.4.1.2 Wasseraufnahmeverhalten

Versuchsbeschreibung

Das Wasseraufnahmeverhalten wurde in Anlehnung an die ÖNORM EN 13755: „Prüfverfahren für Naturstein, Bestimmung der Wasseraufnahme unter atmosphärischen Druck“ ermittelt.

Dabei wurden die gleichen Probekörper wie für die Rohdichtermittlung verwendet. Die Proben wurden bis zur Massenkonstanz getrocknet. In Abweichung von der Norm jedoch nicht bei einer Temperatur von 70°C, sondern bei einer wesentlich niedrigeren Temperatur von 40°C. Dieses Vorgehen wurde deshalb gewählt, da die nachfolgenden Prüfungen mit den Oberflächenbeschichtungen einer so hohen Temperatur nicht standhalten hätten können. Es war jedoch wichtig von Anfang an eine einheitliche Vorgehensweise einzuhalten, und aus diesem Grund wurde die Trocknungstemperatur bereits bei den Vorversuchen herabgesetzt. Nach der Trocknung wurden die Probekörper, zum Abkühlen auf Raumtemperatur, in einen Exsikkator gegeben um anschließend auf 0,001g genau abgewogen zu werden (m_t). Anschließend wurden die Probekörper vollständig in Leitungswasser mit einer Temperatur von etwa 20°C gelagert. In regelmäßigen Abständen wurden die Proben aus dem Wasser genommen, sorgfältig mit Küchenrolle abgetupft und anschließend auf 0,001g genau gewogen und bis zur nächsten Wägung wieder in Wasser gelagert. In Abweichung von der Norm wurden die Proben jedoch nicht nur alle 24 Stunden gewogen, sondern auch am Beginn der ersten zwanzig Minuten Wasserlagerung in Abständen von nur wenigen Minuten. Diese Vorgehensweise erschien als sinnvoll, da die Wasseraufnahme in den ersten Minuten von besonderer Relevanz für die nachfolgenden Versuche war.

Ergebnisse

Eine genaue Auflistung der Ergebnisse befindet sich im Anhang. Nachfolgend werden die Resultate in Diagrammen dargestellt:

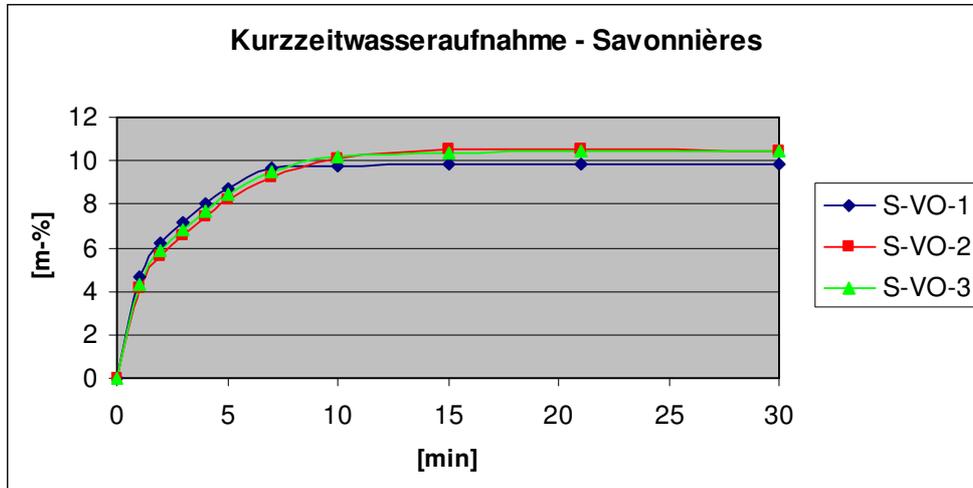


Abbildung 16: Wasseraufnahmeverhalten Savonnières – Kurzzeit

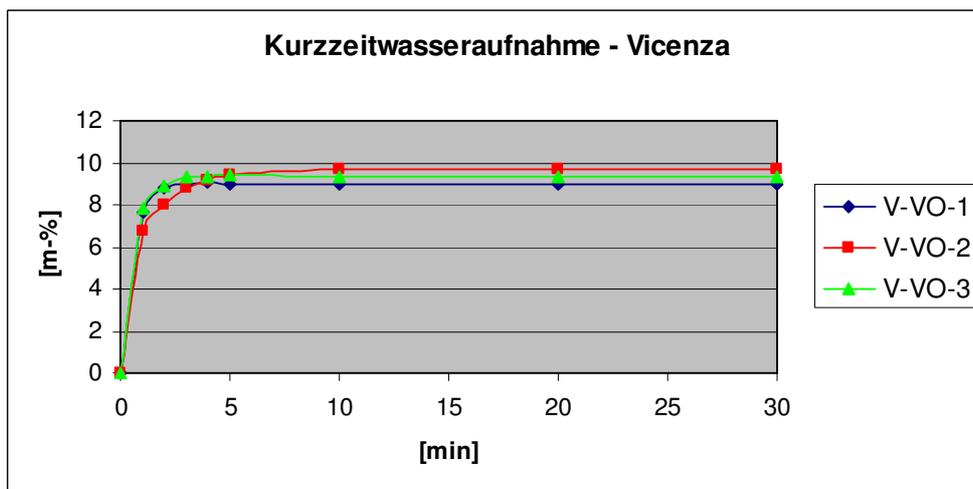


Abbildung 17: Wasseraufnahmeverhalten Vicenza - Kurzzeit

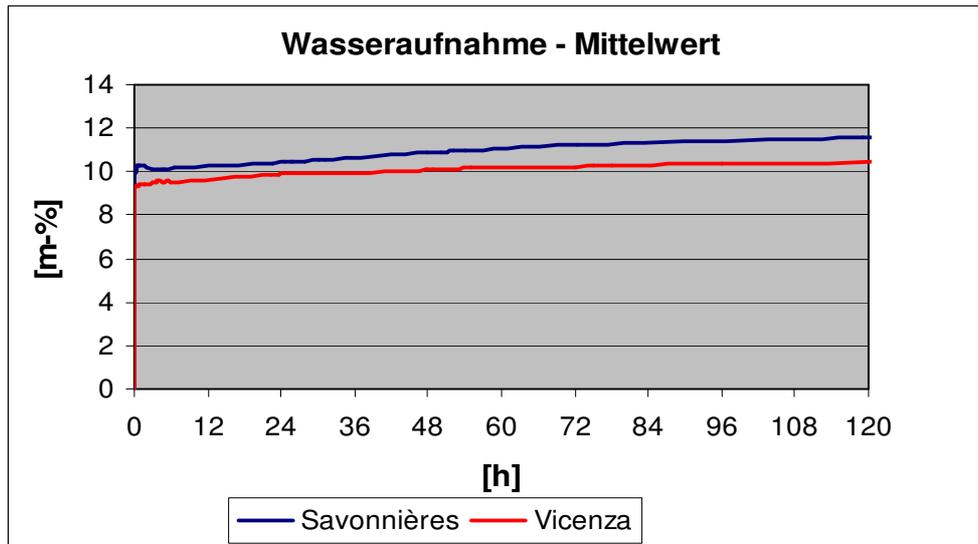


Abbildung 18: Wasseraufnahmeverhalten Savonnières und Vicenza – Langzeit

Man erkennt, dass beide Gesteinsarten das Wasser am Beginn sehr schnell aufnehmen. Bereits nach zehn Minuten ist ein Großteil der Poren mit Wasser gefüllt. In der darauf folgenden Zeit nehmen beiden Gesteine nur mehr wenig Wasser auf, erst nach ca. 120 Stunden ist eine vollkommene Wassersättigung laut Norm (Differenz zwischen zwei aufeinander folgenden Wägungen, im Abstand von 24 Stunden, beträgt nicht mehr als 0,1% der Masse) die Wassersättigung erreicht.

5.4.1.3 Wasserabgabeverhalten

Versuchsbeschreibung

Das Wasserabgabeverhalten erfolgte im Anschluss an das Wasseraufnahmeverhalten mit denselben Probekörpern. Die wassergesättigten Proben wurden sorgfältig abgetupft und danach in regelmäßigen Abständen abgewogen. Die Austrocknung erfolgte bei einer Temperatur von ca. 25° C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 48%.

Ergebnisse

Eine genaue Auflistung der Ergebnisse befindet sich im Anhang. Nachfolgend werden die Ergebnisse in Diagrammen dargestellt:

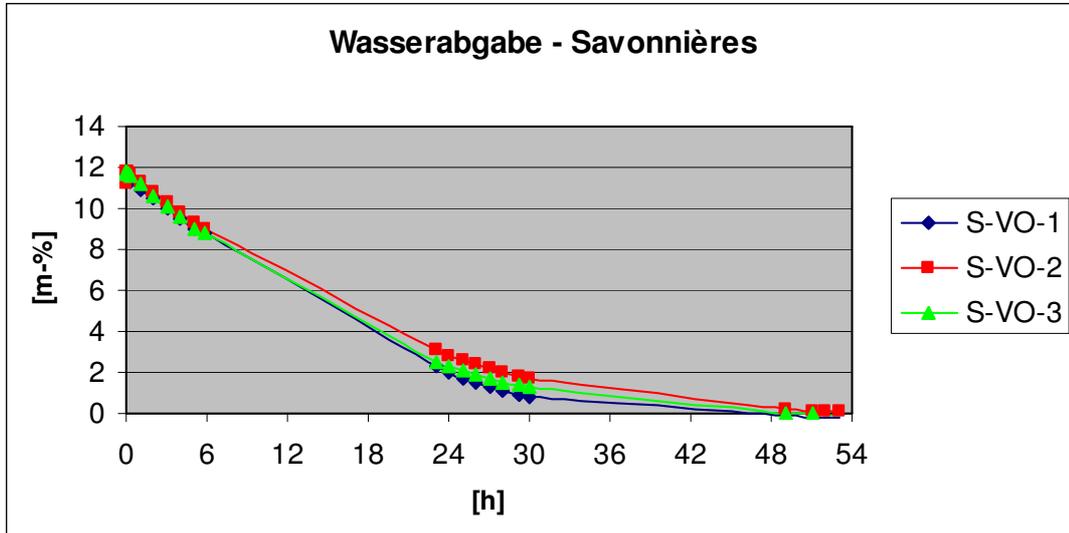


Abbildung 19: Wasserabgabeverhalten Savonnières

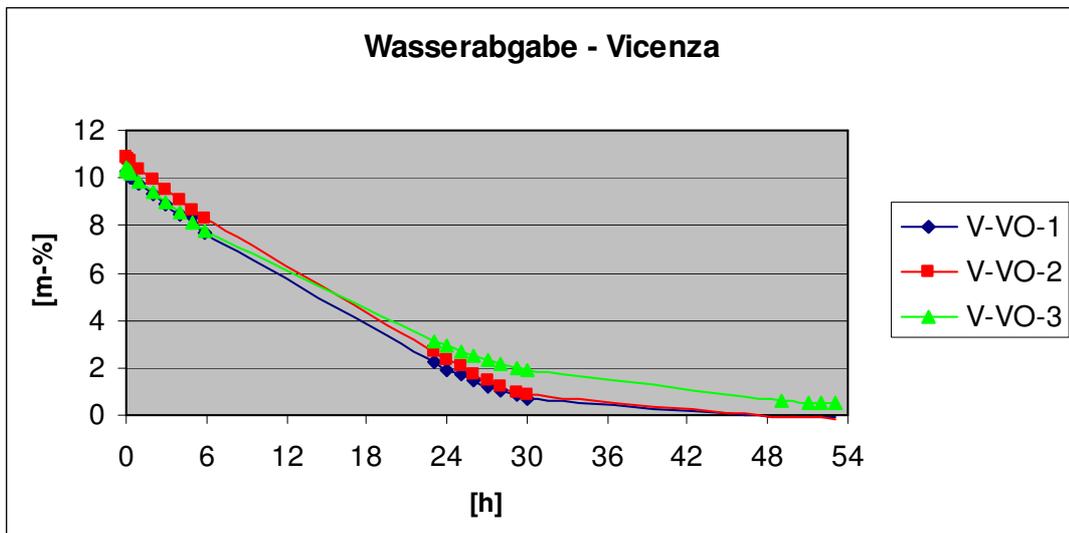


Abbildung 20: Wasserabgabeverhalten Vicenza

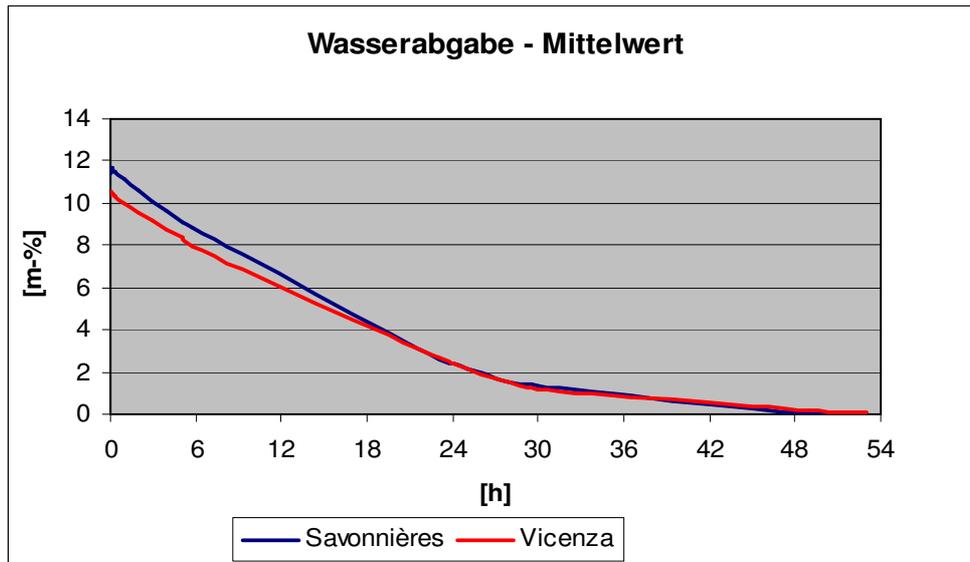


Abbildung 21: Wasserabgabeverhalten Savonnières und Vicenza

Man erkennt dass die Abgabe exponentiell verläuft. Beide Gesteinsarten haben ungefähr die gleichen Austrocknungseigenschaften. Nach ca. 50 Stunden ist das gesamte Wasser abgegeben.

5.4.1.4 Bestimmung der Rohdichte

Die Bestimmung der Rohdichte erfolgte nicht nach der aktuellen ÖNORM EN 1936 sondern laut ÖNORM B 3121: „Prüfung von Naturstein“ mit Hilfe des Auftriebsverfahrens. Die Vorgehensweise wurde deshalb in Anlehnung an die alte Norm gewählt, da die neuere Norm ein sehr kompliziertes Verfahren für die Rohdichteermittlung angibt (Messung unter Vakuum erforderlich) mit deren Methodik eine Genauigkeit vorgetäuscht wird, die keinerlei praktische Relevanz besitzt.

Es wurden die gleichen Probekörper wie für die vorangegangenen Versuche verwendet. Die Werte für die Trockenmasse (m_t) und für die wassergesättigte Masse (m_f) wurden direkt vom Versuch für die Wasseraufnahme übernommen.

Anschließend wurde die Masse der gesättigten Probekörper, mittels einer speziellen Vorrichtung an der Waage (Waage mit Durchhang), in der es möglich war die Proben unter Wasser abzuwägen, bestimmt. Dadurch konnte die Masse unter Auftrieb festgelegt werden. (m_a).

Die Rohdichte kann somit aus den oben ermittelten Werten mit folgender

$$\text{Formel errechnet werden: } \rho_R = \frac{m_t}{V_R} \text{ mit } V_R = \frac{m_f - m_a}{\rho_F}$$

Nachfolgend sind die Messergebnisse sowie die daraus ermittelte Rohdichte separat für beide Gesteinsarten aufgelistet:

Savonnières

	m_t [g]	m_f [g]	m_a [g]	V_R [cm ³]	ρ_R [g/cm ³]
S-VO-1	340,72	379,10	184,80	194,30	1,75
S-VO-2	335,76	374,80	179,20	195,60	1,72
S-VO-3	317,36	354,30	170,40	183,90	1,73
				Ø	1,73

Tabelle 5: Ermittlung der Rohdichte, Savonnières

Vicenza

	m_t [g]	m_f [g]	m_a [g]	V_R [cm ³]	ρ_R [g/cm ³]
V-VO-1	374,08	412,10	224,80	187,30	2,00
V-VO-2	353,87	392,00	212,30	179,70	1,97
V-VO-3	375,36	413,80	226,00	187,80	2,00
				Ø	1,99

Tabelle 6: Ermittlung der Rohdichte, Vicenza

5.4.2 Austrocknungsverhalten der beschichteten Probekörper

5.4.2.1 Austrocknungsverhalten mit reinem Wasser

Für die Ermittlung des Austrocknungsverhaltens war es wichtig, dass die Austrocknung wirklich nur über die beschichtete Oberfläche stattfinden konnte. Aus diesem Grund wurden die Proben seitlich mit Acryllack versiegelt (vgl. Kap. 5.3.2.2). Ab Beginn der Austrocknungsmessungen wurden die Proben auf einen Kunststoffdeckel gesetzt und rundherum mit Modelliermasse abgedichtet. Die Probekörper konnten, um die Beschichtung nicht zu beschädigen, zur Flüssigkeitsaufnahme nicht ständig in Wasser gelagert werden. Deshalb wurden sie in einen Behälter aufgeständert und dieser nur knapp bis unter die Probenoberfläche mit Wasser aufgefüllt. Dadurch konnten die Proben das Wasser von unten kapillar aufsaugen. Die Proben wurden so lange im Wasser belassen, bis die Oberfläche vollständig nass war. Dies dauerte zwischen ein und zwei Stunden (Savonnières ca. 1 Stunde, Vicenza ca. 1,5 Stunden). Danach wurden die Proben wie oben beschrieben auf den Kunststoffdeckel gesetzt und mit Modelliermasse versiegelt und es wurde sofort mit dem Abwägen der fertig präparierten Probekörper begonnen. Die ersten fünf Minuten wurden die Proben alle Minuten auf 0,01g genau gewogen, danach im Abstand von fünf bis zehn Minuten und ab der ersten bis zur fünften Stunde nur jede halbe Stunde. Zur Beobachtung des Langzeitaustrocknungsverhaltens wurden die Proben eine Woche lang beobachtet und ca. zwei- bis dreimal am Tag abgewogen. Zur Wägung der Proben wurden zwei unterschiedliche Waagen des Instituts für Ingenieurgeologie verwendet. Es soll hierbei angemerkt werden, dass die einzelnen Waagen vorher exakt aufeinander abgestimmt wurden.



Abbildung 22: Lagerung der Proben zur kapillaren Wasseraufnahme



Abbildung 23: Abwägen der Proben auf unterschiedlichen Waagen

Nachfolgend werden die Ergebnisse der einzelnen Beschichtungssysteme dargestellt und erläutert:

ohne Beschichtung

Um die Ergebnisse besser beurteilen und vergleichen zu können wurde die erste Probenreihe ohne Beschichtung durchgeführt.

Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Um einen quantifizierbaren Wert des Kurzzeitaustrocknungsverhaltens zu erhalten wurde die Masse der Proben nach fünf Stunden mit dem Anfangswert verglichen um dadurch einen Wert für die Wasserabgabe pro Zeit und Fläche ermittelt:

Savonnières – Mittelwert: 130,76 g/h/m²

Savonnières – Minimum: 120,46 g/h/m²

Savonnières – Maximum: 136,01 g/h/m²

Vicenza – Mittelwert: 145,27 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 135,68 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 160,79 g/h/m²

Es ist deutlich zu erkennen, dass der Vicenza schneller austrocknet als der Savonnières. Die Streuung der Ergebnisse ist bei beiden ungefähr gleich groß.

Langzeitaustrocknungsverhalten

Durch Messung der Langzeitaustrocknung sollte ermittelt werden, wie lange der Stein benötigt um das Wasser vollständig wieder abzugeben.

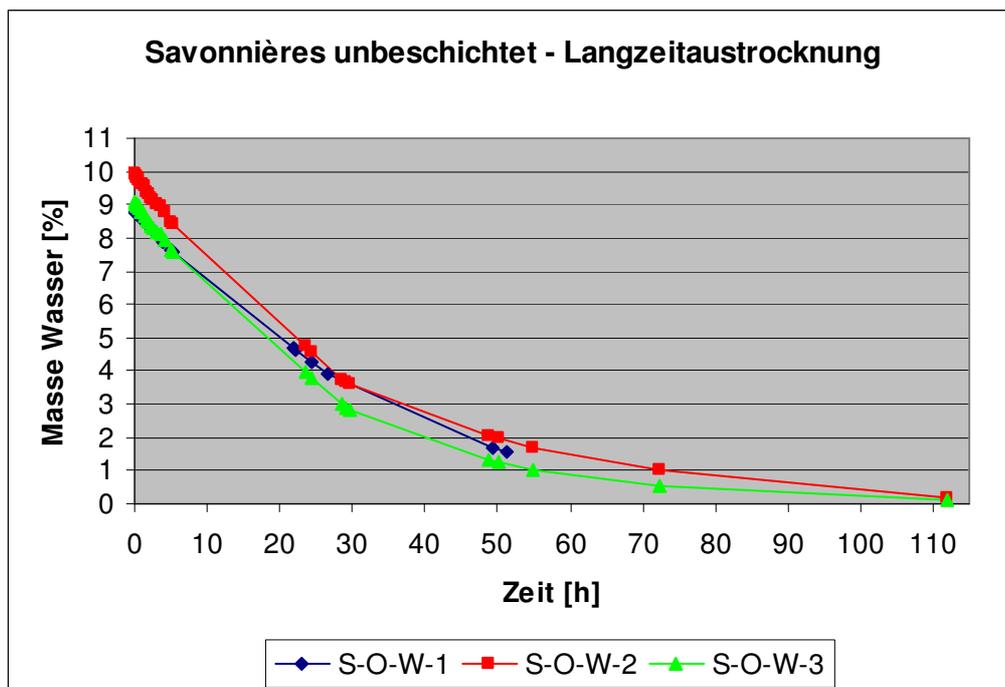


Abbildung 24: Langzeitaustrocknung Savonnières, unbeschichtet

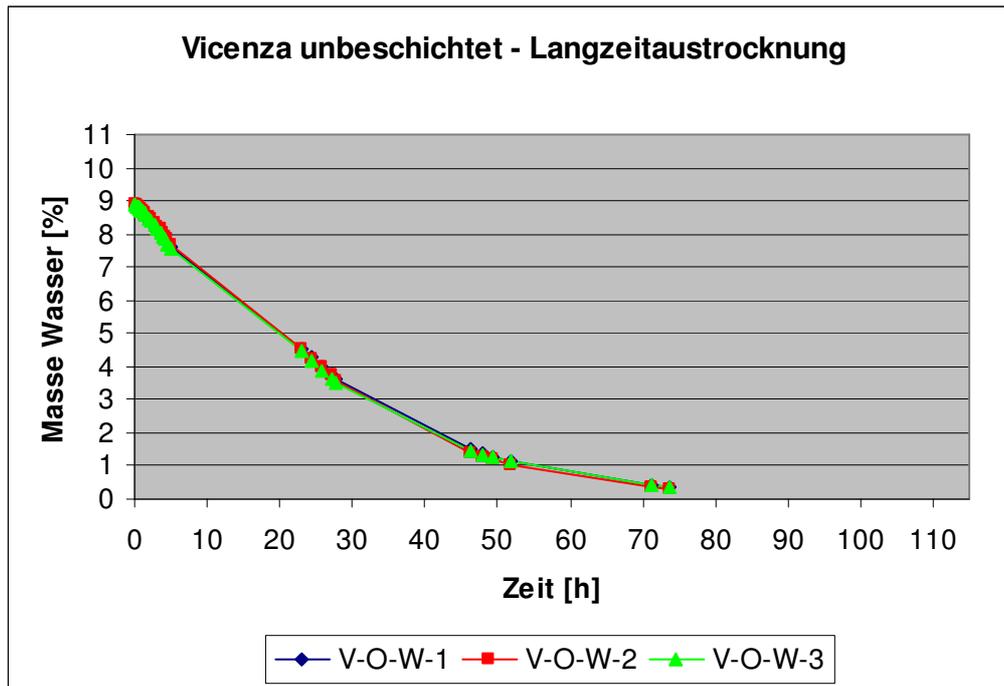


Abbildung 25: Langzeitaustrocknung Vicenza, unbeschichtet

Anhand der beiden Abbildungen ist deutlich zu erkennen, dass das Austrocknungsverhalten eines unbeschichteten Steines annähernd einen exponentiellen Verlauf aufweist. Der Vicenza ist etwas homogener als der Savonnières, doch auch dessen Streubreite in den Ergebnissen ist minimal. Gut erkennbar ist auch, dass der Vicenza schneller austrocknet als der Savonnières. Ist der Vicenza bereits nach knappen 80 Stunden ausgetrocknet, braucht der Savonnières im Gegensatz dazu über 110 Stunden.

Beschichtung mit Kalk

Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Savonnières – Mittelwert: 108,92 g/h/m²

Savonnières – Minimum: 107,69 g/h/m²

Savonnières – Maximum: 109,57 g/h/m²

Vicenza – Mittelwert: 124,34 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 119,20 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 128,36 g/h/m²

Im Vergleich zu den unbeschichteten Steinen findet die Austrocknung am Beginn etwas langsamer statt. Der Vicenza trocknet hier ebenfalls rascher aus als der Savonnières. Die Differenz zum unbeschichteten Stein ist jedoch bei beiden ungefähr gleich. (ca. 10 g/h/m²). Auffallend ist auch, dass die Streuungsbreite der einzelnen Proben wesentlich geringer ist als beim unbeschichteten Stein.

Langzeitaustrocknungsverhalten

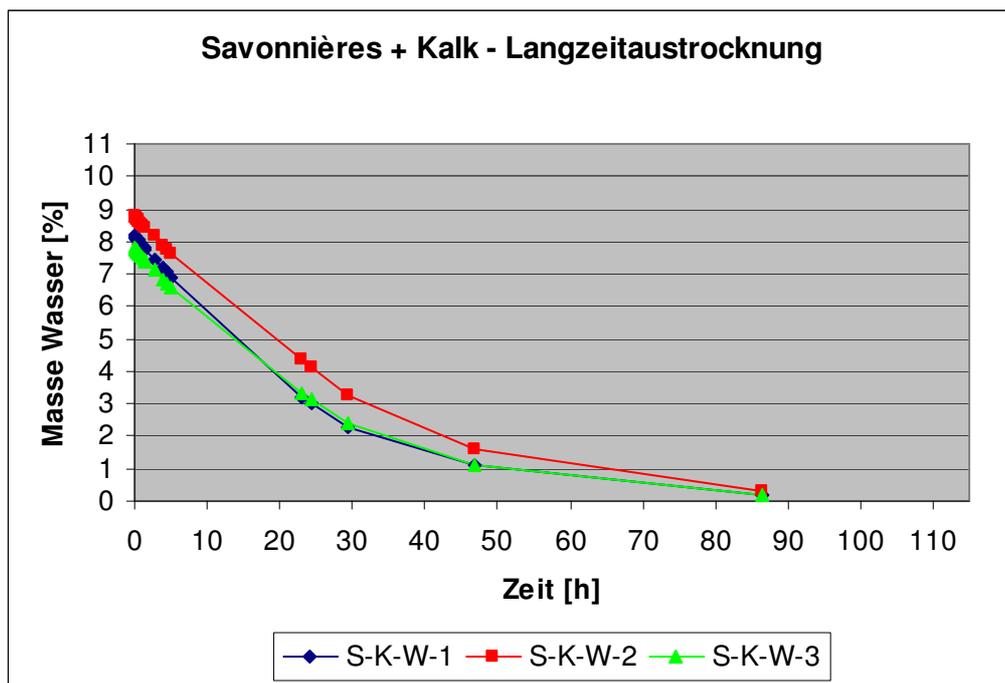


Abbildung 26: Langzeitaustrocknung Savonnières, Kalkbeschichtung

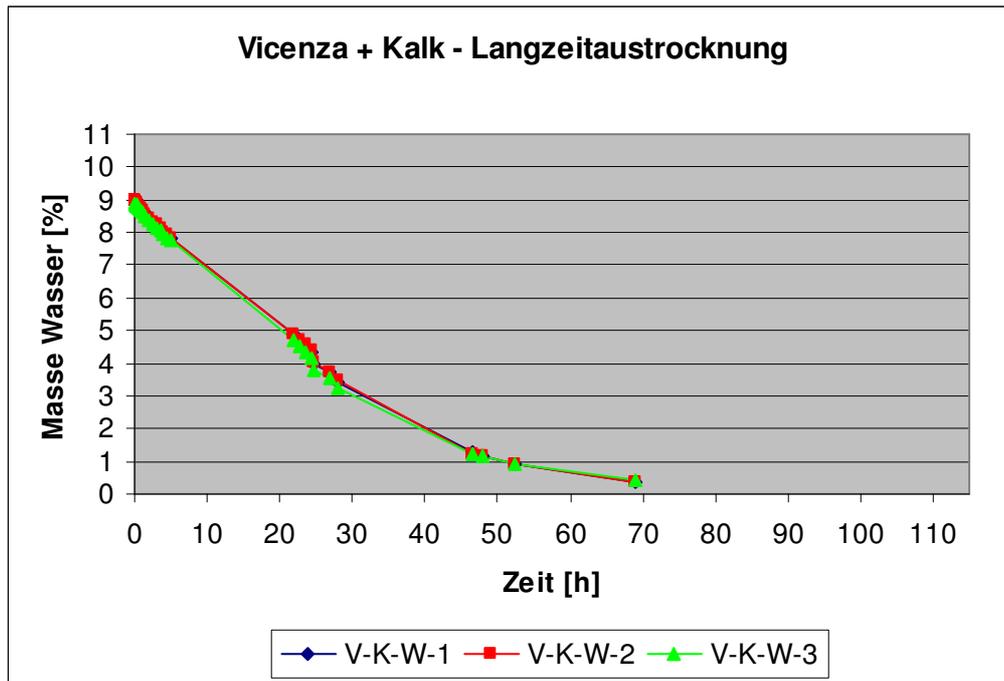


Abbildung 27: Langzeitaustrocknung Vicenza, Kalkbeschichtung

Es ist deutlich erkennbar, dass das Austrocknungsverhalten des kalkbeschichteten Steines sehr ähnlich zum unbeschichteten Stein ist. Die Kurve verläuft ebenfalls exponentiell und interessanterweise hat die Kalkbeschichtung keine Verzögerung in der Langzeitaustrocknung zur Folge. Ganz im Gegenteil, es beschleunigt sich diese sogar. Braucht der unbeschichtete Stein beim Savonnières über 110 Stunden zum Austrocknen, ist der kalkbeschichtete Stein schon nach knappen 90 Stunden ausgetrocknet, also 20 Stunden früher! Auch beim Vicenza ist die schnellere Austrocknung der Kalkbeschichtung zu beobachten, allerdings nicht so deutlich, die Differenz beträgt nur ca. 5 Stunden.

Beschichtung mit Siliconanstrich

Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Savonnières – Mittelwert: 37,48 g/h/m²

Savonnières – Minimum: 29,84 g/h/m²

Savonnières – Maximum: 42,14 g/h/m²

Vicenza – Mittelwert: 79,25 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 67,53 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 86,52 g/h/m²

Es ist also eine deutliche Verminderung der Austrocknung im Vergleich zum unbeschichteten Stein zu erkennen.

Beim Vicenza um fast das Doppelte, beim Savonnières sogar um das Dreieinhalbfache. Der Grund warum sich die Austrocknung beim Vicenza nicht so stark verzögert, könnte an der unterschiedlichen Porenradienverteilung der beiden Gesteinsarten liegen (vgl. Kap. 5.1.2.3 sowie Kap. 5.1.3.3).

Die Streuungsbreite der einzelnen Proben ist etwas geringer als beim unbeschichteten Stein liegt aber trotzdem über den kalkbeschichteten Gesteinsproben.

Langzeitaustrocknungsverhalten

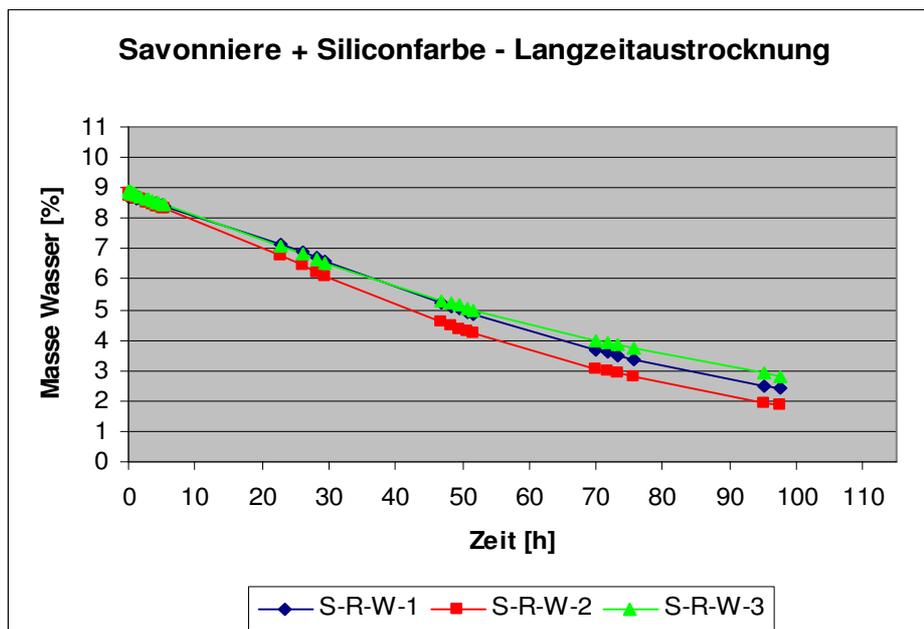


Abbildung 28: Langzeitaustrocknung Savonnières, Siliconbeschichtung

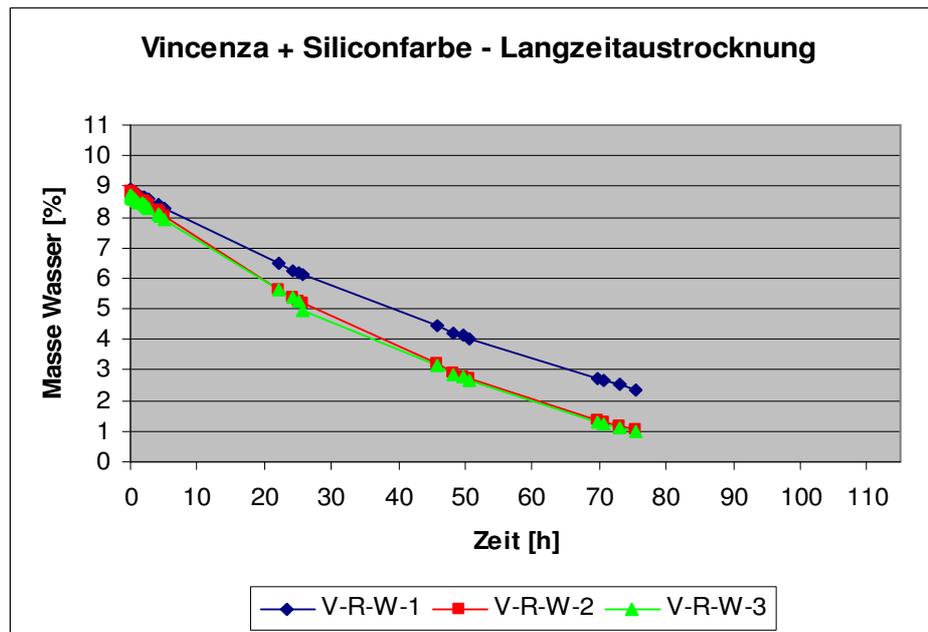


Abbildung 29: Langzeitaustrocknung Vicenza, Siliconbeschichtung

In den beiden obigen Abbildungen lässt sich erkennen, dass der Verlauf der Austrocknung nicht exponentiell wie beim unbeschichteten und kalkbeschichteten Stein verläuft, sondern nahezu linear. Das hat zur Folge dass sich die Austrocknung am Beginn zwar sehr verzögert, aber mit der Zeit die Differenz zu einem unbeschichteten Stein immer geringer wird. Trotzdem braucht der Stein wesentlich länger zum vollständigen Austrocknen. Zum Zeitpunkt wo der kalk- bzw. unbeschichtete Stein schon vollständig ausgetrocknet ist, haben die Proben mit Siliconanstrich noch immer 1,5-2 Massenprozent Wasser eingelagert.

Beschichtung mit Nanotechnologie Finish A

Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Vicenza - Mittelwert: 95,37 g/h/m²

Vicenza - Minimum: 85,52 g/h/m²

Vicenza - Maximum: 114,17 g/h/m²

Die Werte für das Wasserabgabeverhalten in den ersten fünf Stunden liegen zwischen den kalk- und den siliconbeschichteten Proben.

Die Streubreiten liegen etwas höher als beim unbeschichteten Stein, das kann aber auch daran liegen dass die Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten stattfand und deshalb die Werte teilweise interpoliert wurden.

Langzeitaustrocknungsverhalten

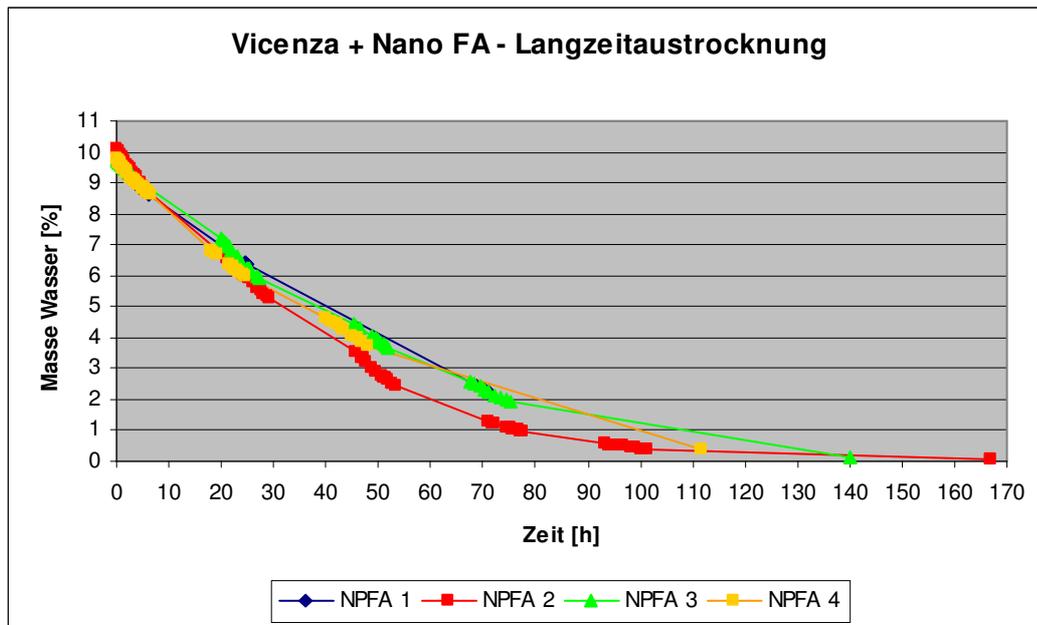


Abbildung 30: Langzeitaustrocknung Vicenza, Nano Finish A

Es ist deutlich zu erkennen, dass das vollständige Austrocknen der Gesteinsproben wesentlich länger dauert als beim unbeschichteten Stein, nämlich etwa die doppelte Zeit. Die Streuung zwischen den einzelnen Probekörpern ist relativ hoch, daran kann man erkennen dass bei der Nanotechnologie schon das Verhältnis der Oberfläche zum Volumen eine sehr große Rolle spielt, und somit schon kleine Unregelmäßigkeiten in der Beschichtung zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können.

In obiger Abbildung ist auch gut zu erkennen, dass die Abnahme des Wassergehalts wie beim unbeschichteten sowie beim kalkbeschichteten Stein exponentiell verläuft.

Beschichtung mit Nanotechnologie Finish A+B

Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Vicenza – Mittelwert: 70,75 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 58,21 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 80,82 g/h/m²

Die Wasserabgabe in den ersten fünf Stunden erfolgt sehr langsam und liegt sogar noch unter dem siliconbeschichteten Stein.

Die Streubreite zwischen den Proben ist wesentlich geringer als beim Finish A und ist ungefähr mit einem unbeschichteten Stein zu vergleichen.

Langzeitaustrocknungsverhalten

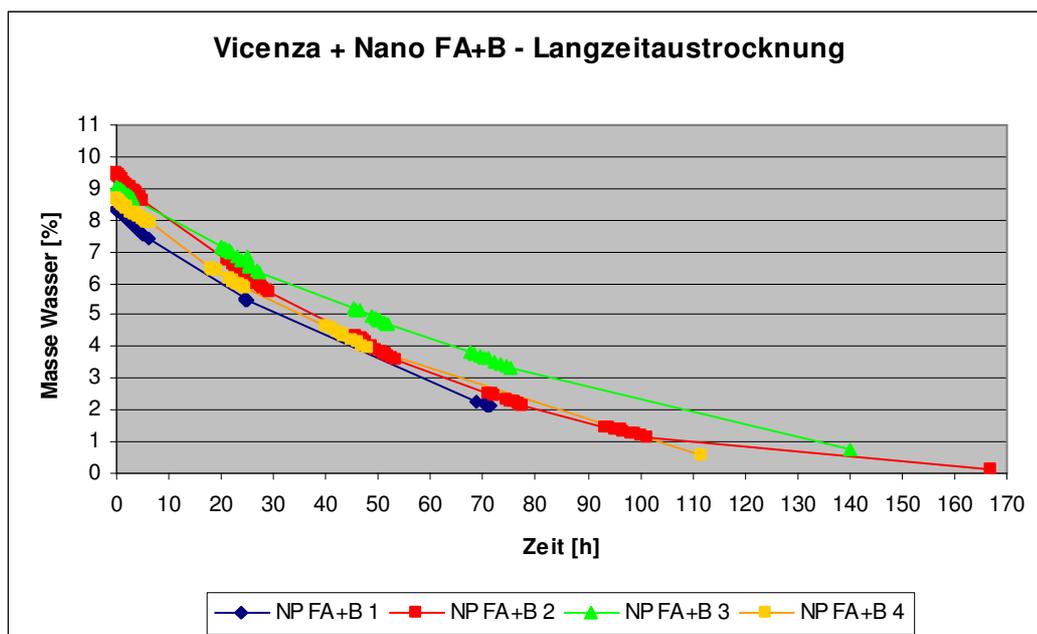


Abbildung 31: Langzeitaustrocknung Vicenza, Nano Finish A+B

Wie bei der Beschichtung mit Finish A wird die Wasserabgabe stark verzögert. Im Gegensatz zum unbeschichteten Stein dauerte es doppelt so lange bis das Wasser vollkommen abgegeben wurde. Starke Streuungen zwischen den einzelnen Probekörper sind auch hier bemerkbar.

Beschichtung mit Nanotechnologie Stone Protect

Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Vicenza – Mittelwert: 94,76 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 80,21 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 110,02 g/h/m²

Sowohl der Mittelwert als auch die Streuung sind am Beginn der Austrocknung ist sehr ähnlich zur Beschichtung mit Finish A.

Langzeitaustrocknungsverhalten

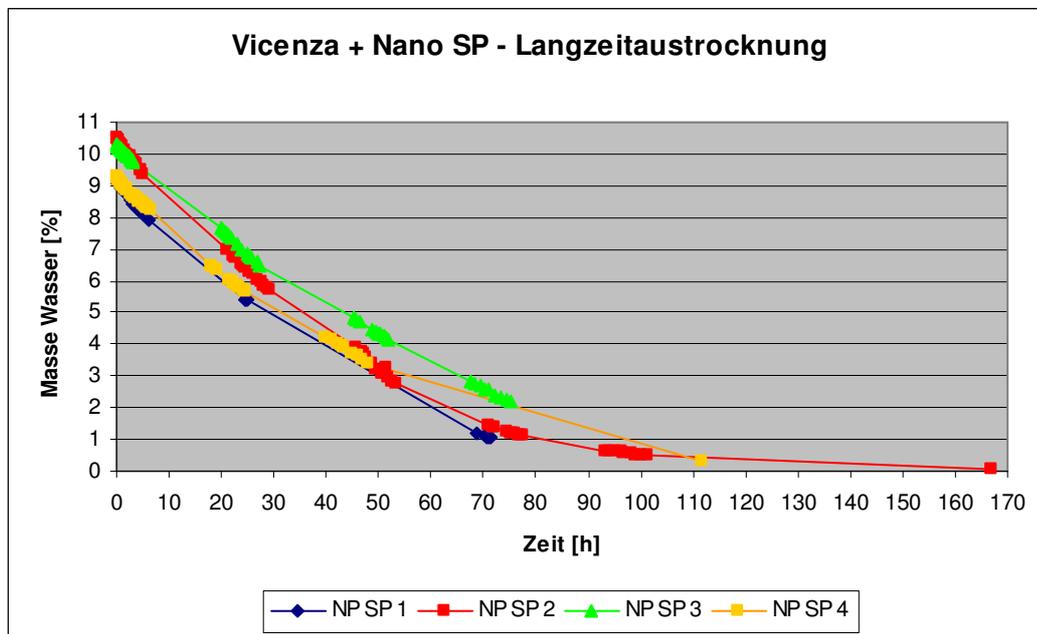


Abbildung 32: Langzeitaustrocknung Vicenza, Nano Stone Protect

In dieser Abbildung erkennt man, dass das Austrocknungsverhalten wie bei den anderen beiden Nanotechnologieprodukten sehr lange dauert.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Kurzzeitaustrocknungsverhalten:

[g/h/m ²]	Mittelwert	Minimum	Maximum	Streuung
Savonniere unbeschichtet	130,76	120,46	136,01	10,30
Savonnières+Kalk	108,92	107,69	109,57	1,23
Savonnières+Siliconfarbe	37,48	29,84	42,14	7,64
Vicenza unbeschichtet	145,27	135,68	160,97	15,71
Vicenza+Kalk	124,34	119,20	128,36	5,14
Vicenza+Siliconfarbe	79,25	67,53	86,52	11,72
Vicenza+Nano FA	95,37	85,52	114,17	18,80
Vicenza+Nano FA+B	70,75	58,21	80,82	12,54
Vicenza+Nano SP	94,76	80,21	110,02	15,26

Tabelle 7: Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Aus Tabelle 7 erkennt man die geringsten Streuungsbreiten bei der Kalkbeschichtung, die Größten bei den Beschichtungen mit Nanotechnologie.

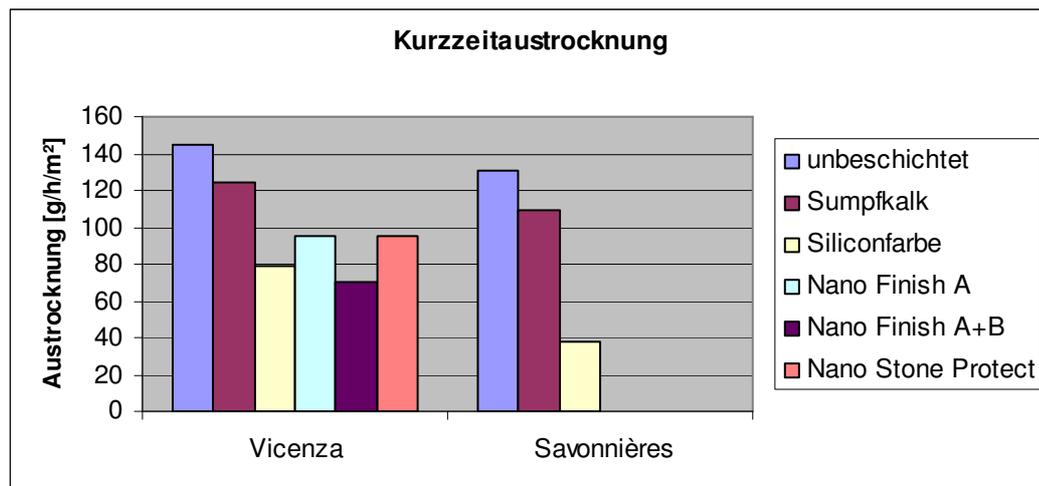


Abbildung 33: Kurzzeitaustrocknungsverhalten (bis 5 Stunden)

Aus Abbildung 33 wird ersichtlich, dass der Vicenza schneller austrocknet als der Savonnières, vor allem beim siliconbeschichteten Stein ist dies deutlich erkennbar. Vergleicht man die Beschichtungssysteme miteinander, erkennt man, dass die Kalkbeschichtung im Gegensatz zu den anderen Beschichtungen einen geringen Einfluss auf das Austrocknungsverhalten ausübt, und alle anderen Systeme dieses stärker beeinträchtigen. Vor allem Finish A+B sowie die Siliconbeschichtung verzögern die Austrocknung des Steines sehr.

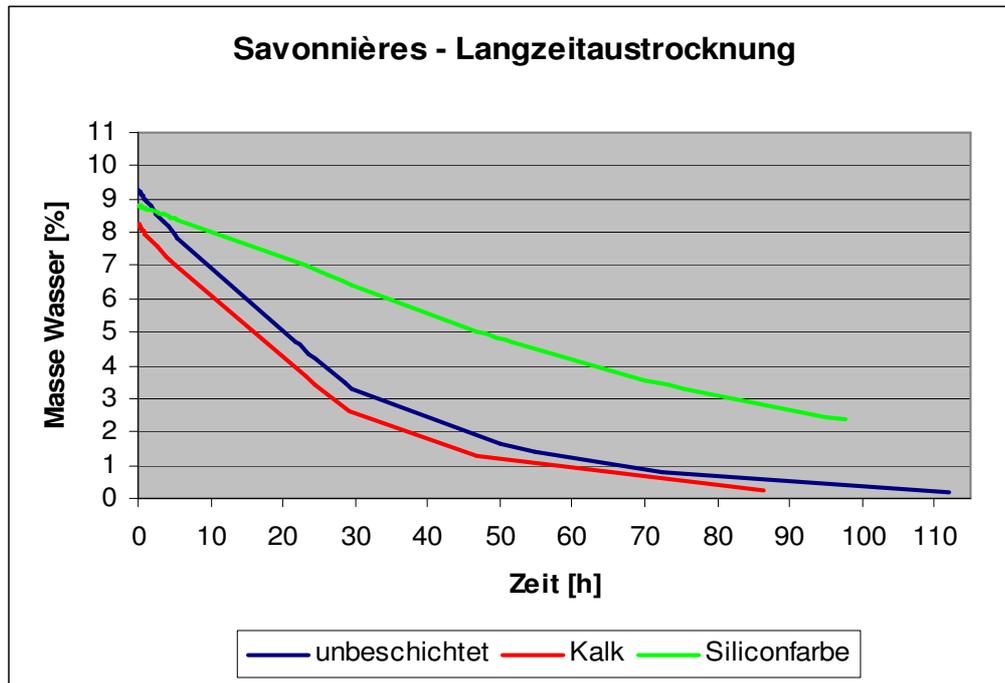
Langzeitaustrocknungsverhalten:

Abbildung 34: Langzeitaustrocknungsverhalten mit Wasser Savonnières

Aus Abbildung 34 erkennt man deutlich, dass der kalkbeschichtete Stein ein sehr ähnliches Austrocknungsverhalten wie der unbeschichtete Stein aufweist. Er hat sogar ein besseres Langzeitaustrocknungsverhalten wie dieser. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Kalkbeschichtung das Wasser kapillar ansaugt und dieses somit schneller an die Oberfläche transportiert, wo es dann verdunsten kann.

Die Siliconbeschichtung behindert die Austrocknung wesentlich stärker als die Beschichtung mit Kalk.

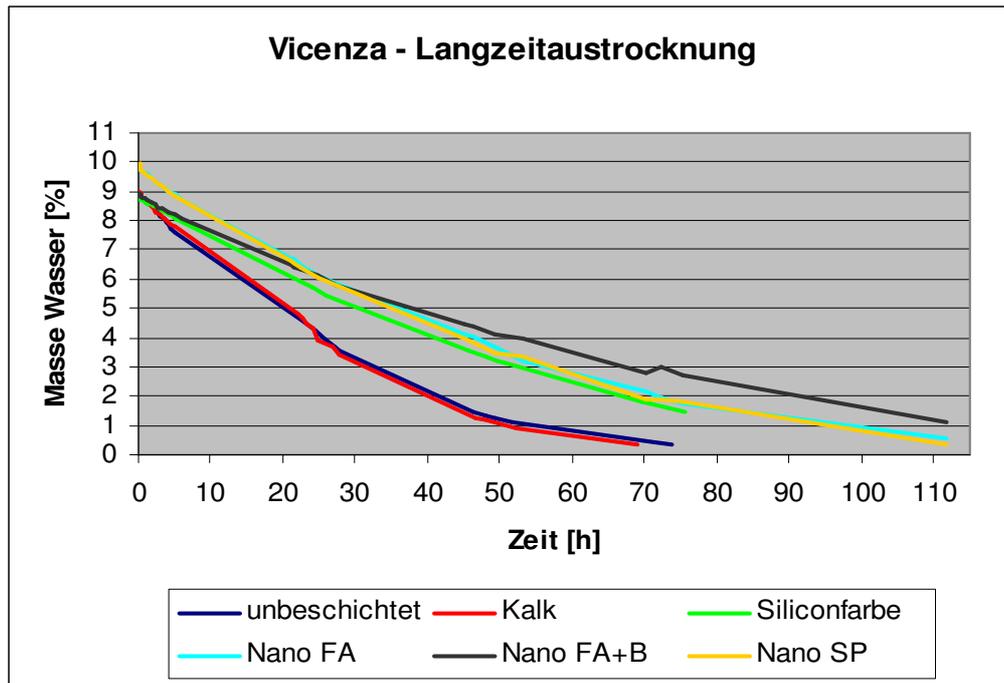


Abbildung 35: Langzeitaustrocknungsverhalten mit Wasser Vicenza

Der Vicenza verhält sich im wesentlichen ähnlich wie der Savonnières. Die Austrocknung erfolgte lediglich etwas rascher. Auch hier ist deutlich erkennbar, dass die Kalkbeschichtung die Wasserabgabe in keiner Weise behindert. Die Beschichtungssysteme mit Nanotechnologie Finish A und Stone Protect verhalten sich in ihrem Austrocknungsverhalten sehr ähnlich. Die Austrocknung geschieht exponentiell, jedoch sehr langsam, in derselben Größenordnung wie die Siliconbeschichtung. Beim Finish A+B verzögert sich die Austrocknung noch etwas stärker.

5.4.2.2 Austrocknungsverhalten mit Salzlösung

Der Versuchsaufbau war derselbe wie beim Austrocknungsverhalten mit reinem Wasser. Allerdings wurden die Probekörper nicht in Wasser gelagert, sondern in einer 14-prozentigen Magnesiumsulfatlösung.

Die Mischungsverhältnis der Lösung wurde folgendermaßen ermittelt:

Magnesiumsulfat 14% → auf 86g Wasser 14g Salz

$$m_w = 86\% \cdot m_{ges} \rightarrow m_{ges} = m_w / 86\%$$

$$m_s = 14\% \cdot m_{ges}$$

$$m_s = 14 \cdot \frac{m_w}{86} = 14 \cdot \frac{V_w \cdot \rho_w}{86} = 14 \cdot \frac{V_w \cdot 0,9982 \text{ g/cm}^3}{86}$$

Das bedeutet auf 3l Wasser werden 487,49 g Magnesiumsulfat beigemischt.

Magnesiumsulfat wurde deshalb gewählt, da dieses bauschädliche Salz sehr weit verbreitet ist und auch für zahlreiche Schadensbilder bei den Museen verantwortlich zu machen ist.

ohne Beschichtung

Kurzzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Savonnières – Mittelwert: 92,00 g/h/m²

Savonnières – Minimum: 91,54 g/h/m²

Savonnières – Maximum: 92,64 g/h/m²

Vicenza – Mittelwert: 103,49 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 102,72 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 104,15 g/h/m²

Die Abgabe der Salzlösung erfolgt wesentlich langsamer als die von reinem Wasser. Die Streubreite ist jedoch wesentlich geringer.

Langzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

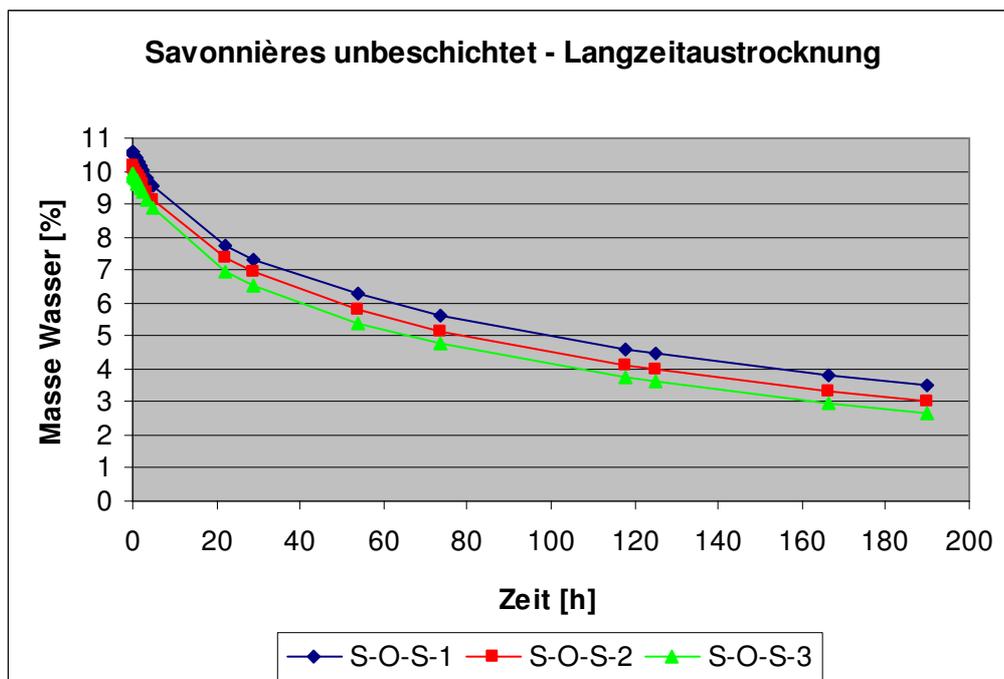


Abbildung 36: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Savonnières, unbeschichtet

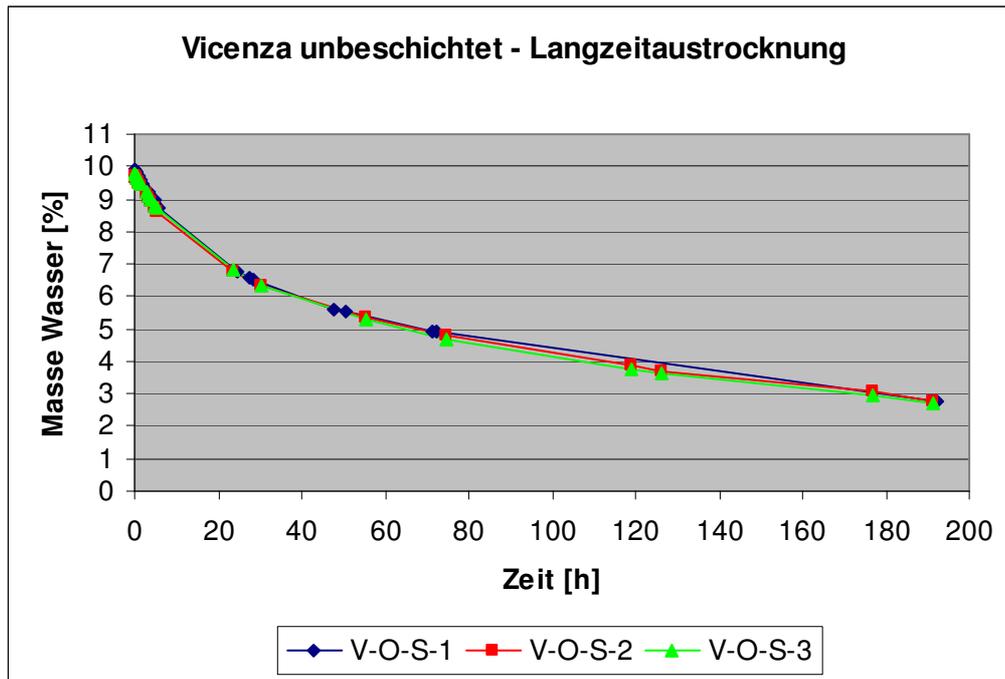


Abbildung 37: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Vicenza, unbeschichtet

Es ist deutlich erkennbar dass die Austrocknung sehr langsam stattfindet. Nach 190 Stunden wurde die Messung abgebrochen, da ein vollständiges Austrocknen nicht möglich war. Erstens haben die Salze selbst eine bestimmte Masse und zweitens sind sie hygroskopisch, das bedeutet, dass sie Feuchtigkeit aus der Umgebung aufnehmen. Somit ist eine Austrocknung bis zur Trockenmasse ausgeschlossen.

Nach einem Tag sind bei beiden Steinarten Salzausblühungen sichtbar. Diese bilden eine Kruste an der Oberfläche und lassen sich beim Savonnières nicht entfernen, beim Vicenza ist ein Ablösen der Kruste teilweise möglich.



Abbildung 38: Salzausblühungen an der Oberfläche, li: Savonnières, re: Vicenza (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

Beschichtung mit Kalk

Kurzzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Savonnières – Mittelwert: 82,10 g/h/m²

Savonnières – Minimum: 81,08 g/h/m²

Savonnières – Maximum: 83,39 g/h/m²

Vicenza – Mittelwert: 78,36 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 75,31 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 80,34 g/h/m²

Die Kurzzeitaustrocknung wird durch die Kalkbeschichtung nur wenig behindert. Auch hier erkennt man eine sehr geringe Streubreite der einzelnen Probekörper.

Langzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

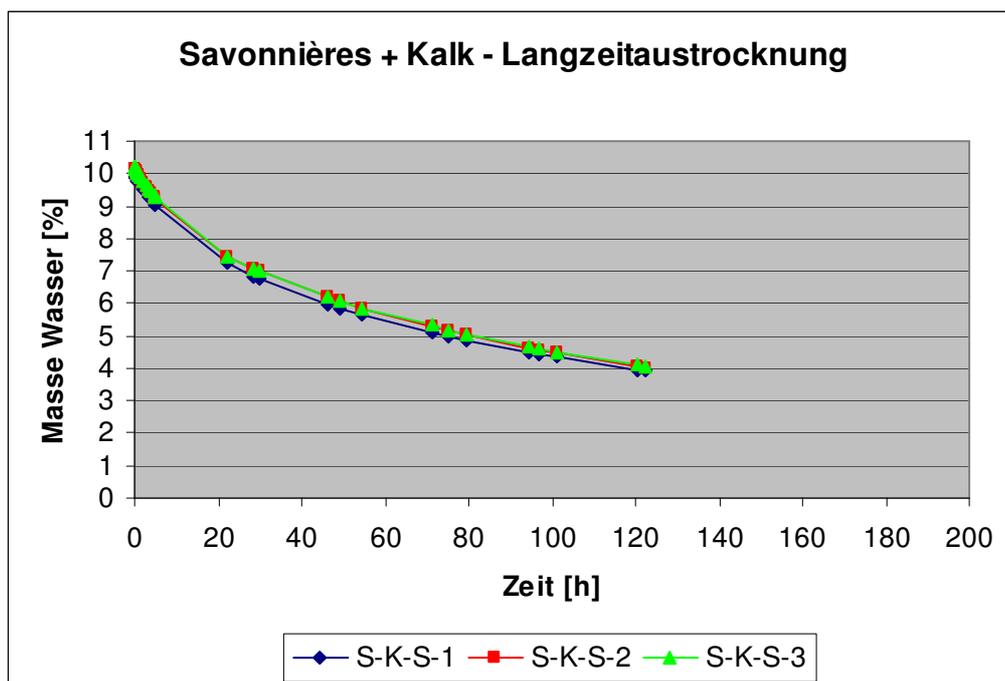


Abbildung 39: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Savonnières, Kalkbeschichtung

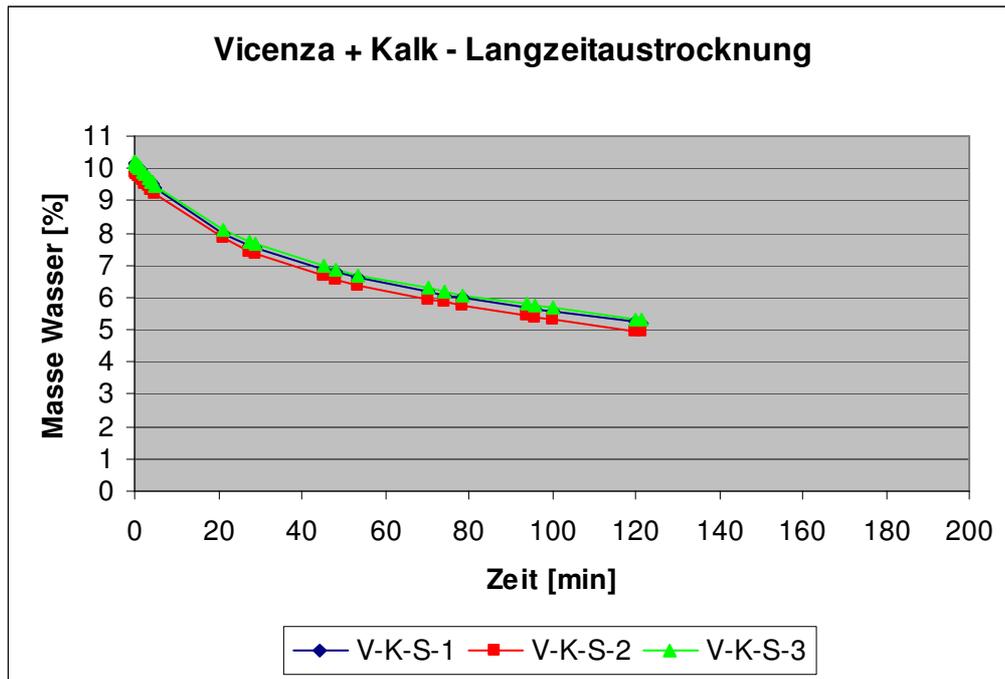


Abbildung 40: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Vicenza, Kalkbeschichtung

Beim Savonnières erkennt man kaum einen Unterschied zum unbeschichteten Stein, beim Vicenza ist ein deutlicher Rückgang der Austrocknung zu beobachten.

Nach ungefähr einem Tag sind bei beiden Gesteinsarten leichte Ausblühungen an der Oberfläche sichtbar. Zusätzlich dazu vergilbt die Sumpfkalkbeschichtung beim Savonnières stark, im Gegensatz zum Vicenza, wo sie ihre weiße Farbe beibehält. Nach einigen Wochen kommen Blasenbildungen zum Vorschein. Diese Erscheinungsform könnte ein Indiz dafür sein, dass sich die Salze in die Sumpfkalkschlämme einlagern. Bei einer genaueren Untersuchung der Beschichtung konnte diese Annahme auch bestätigt werden. Dabei wurde ein kleiner Teil der Beschichtung vom Untergrund abgelöst und einem Sulfatetest unterzogen. Es konnte eine hohe Sulfatkonzentration in der Beschichtung festgestellt werden, was darauf zurückzuführen ist, dass sich die Sulfate in der Beschichtung einlagern.



Abbildung 41: Ausblühungen an der Kalkbeschichtung nach drei Tagen, links: Savonnières (starke Vergilbung), rechts: Vicenza (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)



Abbildung 42: Blasenbildung der Kalkbeschichtung nach einigen Wochen, links: Savonnières, rechts: Vicenza (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

Beschichtung mit Siliconanstrich

Kurzzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Savonnières – Mittelwert: 66,61 g/h/m²

Savonnières – Minimum: 56,78 g/h/m²

Savonnières – Maximum: 74,17 g/h/m²

Vicenza – Mittelwert: 55,49 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 50,79 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 60,44 g/h/m²

Beim Savonnières liegen die Werte etwas unter dem kalkbeschichteten Stein, beim Vicenza ungefähr im gleichen Bereich. Im Gegensatz zum unbeschichteten und kalkbeschichteten Stein sind jedoch größere Streuungen zu beobachten.

Langzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

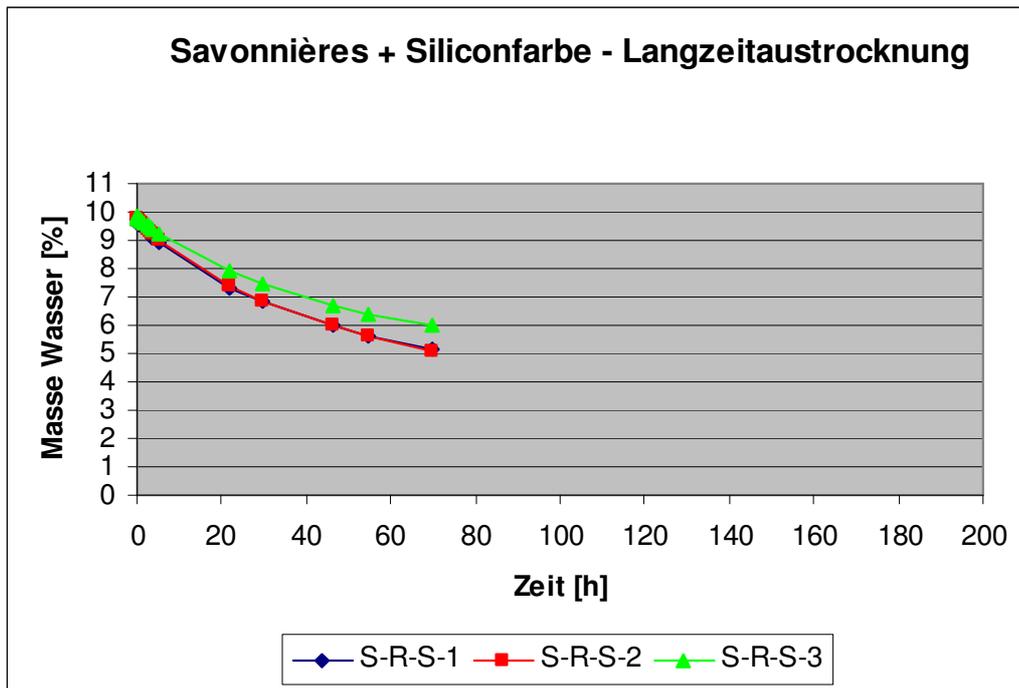


Abbildung 43: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Savonnières, Siliconbeschichtung

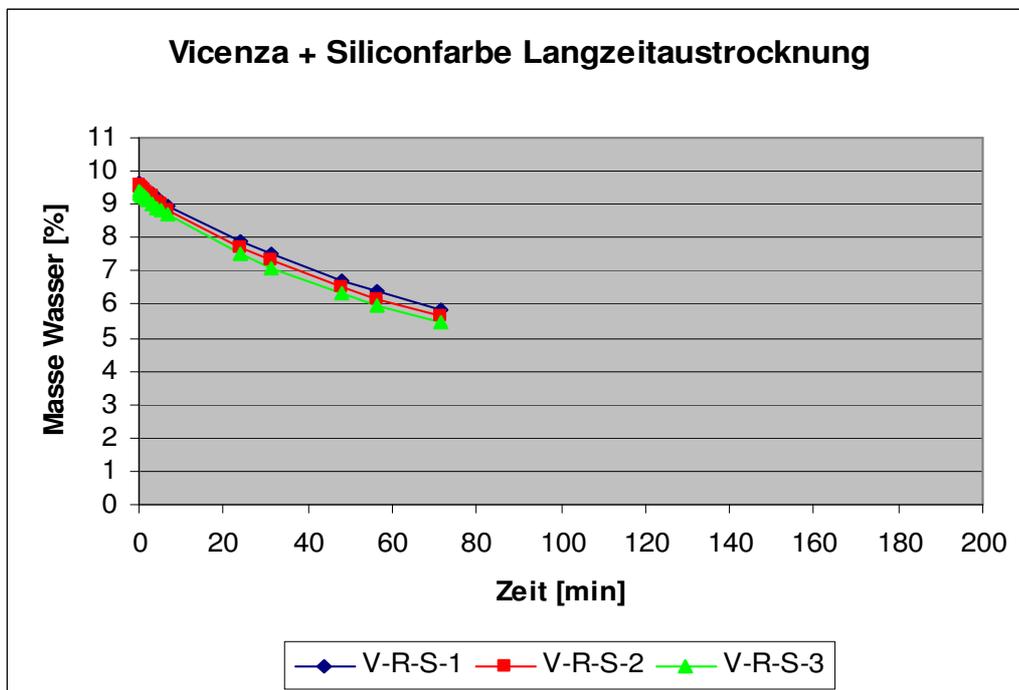


Abbildung 44: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Vicenza, Siliconbeschichtung

Interessanterweise verhält sich der Siliconanstrich sehr ähnlich wie die Kalkbeschichtung. Beim Vicenza ist sogar ein besseres Austrocknungsverhalten zu beobachten.

Am Beginn der Austrocknung sind keine Salzausblühungen sichtbar, erst nach einigen Tagen kommen diese in Form von Oberflächenverkrustungen zum Vorschein. Die Verkrustungen sind denen des unbeschichteten Steins sehr ähnlich, bei diesem treten diese sogar etwas stärker auf als beim Siliconbeschichteten Stein.



Abbildung 45: Salzausblühungen an der Oberfläche (in Form von Verkrustungen), link: Savonnières, rechts: Vicenza (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

Beschichtung mit Nanotechnologie Finish A

Kurzzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Vicenza – Mittelwert: 63,13 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 62,98 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 63,28 g/h/m²

Die Kurzzeitaustrocknung der Salzlösung erfolgt wie bei der Wasserabgabe schneller als beim Siliconanstrich und langsamer als beim kalkbeschichteten Stein. Im Gegensatz zur Abgabe mit reinem Wasser ist hier die Streubreite der einzelnen Probekörper allerdings sehr gering.

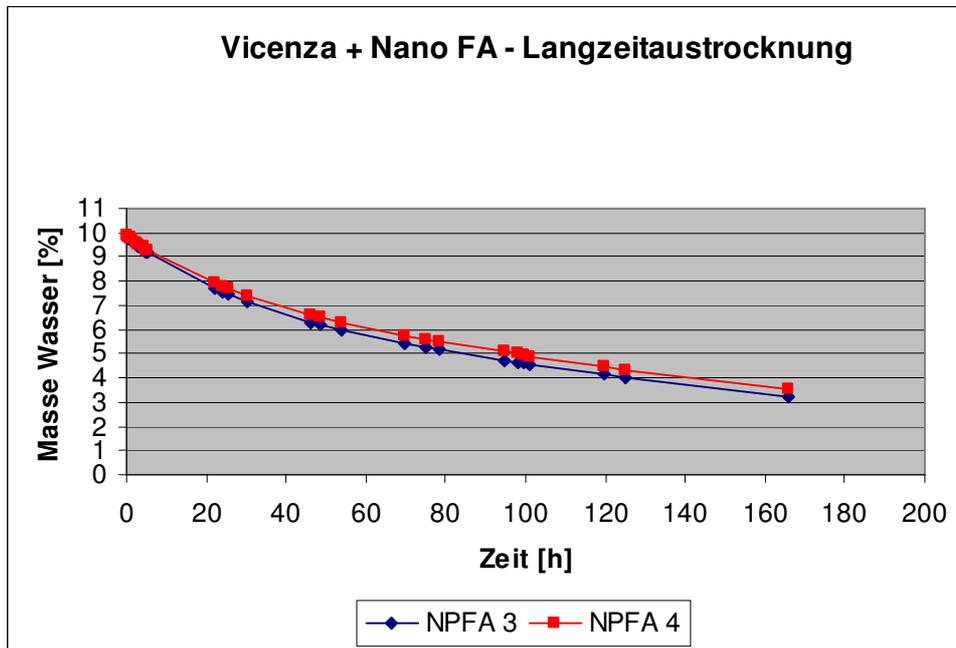
Langzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

Abbildung 46: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Vicenza, Nano Finish A

Das Langzeitaustrocknungsverhalten ist dem unbeschichteten Stein sehr ähnlich.

Zu Beginn des Versuchs sind keine Ausblühungen an der Oberfläche sichtbar. Erst nach einigen Tagen kommen diese zum Vorschein. Jedoch nicht in Form von Krusten, sondern als pulverförmige Kristalle, die mit der Hand leicht abzustreifen sind. Vergleicht man die Proben mit den unbeschichteten Steinen, erkennt man auch, dass erheblich mehr Salzausblühungen zum Vorschein kommen. Dies könnte darauf hinweisen, dass im Produkt selbst Salze enthalten sind, oder durch chemische Reaktionen mit dem Gestein produziert werden.



Abbildung 47: Salzausblühungen an der Oberfläche, Nano Finish A
(Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

Beschichtung mit Nanotechnologie Finish A+B

Kurzzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Vicenza – Mittelwert: 36,81 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 33,83 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 39,79 g/h/m²

Die Kurzzeitwasserabgabe bei diesem Produkt erfolgt sogar noch langsamer als bei den siliconbeschichteten Steinen. Diese Beobachtung konnte auch bei der Abgabe mit reinem Wasser gemacht werden. (vgl. Kap. 5.4.2.1).

Die Streubreite ist auch hier als sehr gering einzustufen.

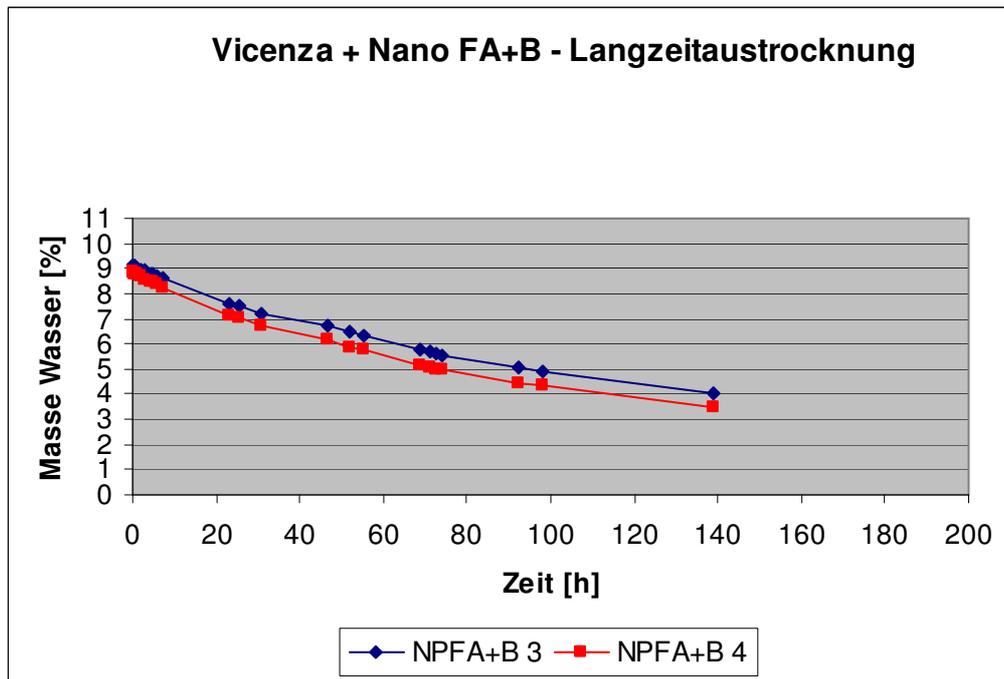
Langzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung:

Abbildung 48: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Vicenza, Nano Finish A+B

Das Langzeitaustrocknungsverhalten ist der Beschichtung mit Finish A sehr ähnlich. Auch hier waren am Anfang keine Salzausblühungen sichtbar, wie beim Finish A kamen sie erst nach ein paar Tagen zum Vorschein. Die Art der Ausblühungen entspricht ebenfalls jenen der Beschichtung Finish A, allerdings sind sie etwas geringer und kommen nur vereinzelt zum Vorschein. Des Weiteren lassen sie sich sehr leicht mit der Hand entfernen.



Abbildung 49: Salzausblühungen an der Oberfläche, Nano Finish A+B (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

Beschichtung mit Nanotechnologie Stone Protect

Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Wasserabgabe bei Kurzzeitaustrocknung:

Vicenza – Mittelwert: 56,94 g/h/m²

Vicenza – Minimum: 55,54 g/h/m²

Vicenza – Maximum: 58,33 g/h/m²

Die Ergebnisse der Kurzzeitaustrocknung mit dem Produkt Stone Protect liegen etwa im gleichen Bereich wie die Siliconbeschichtung. Im Vergleich dazu ist die Streubreite jedoch geringer.

Langzeitaustrocknungsverfahren mit Salzlösung

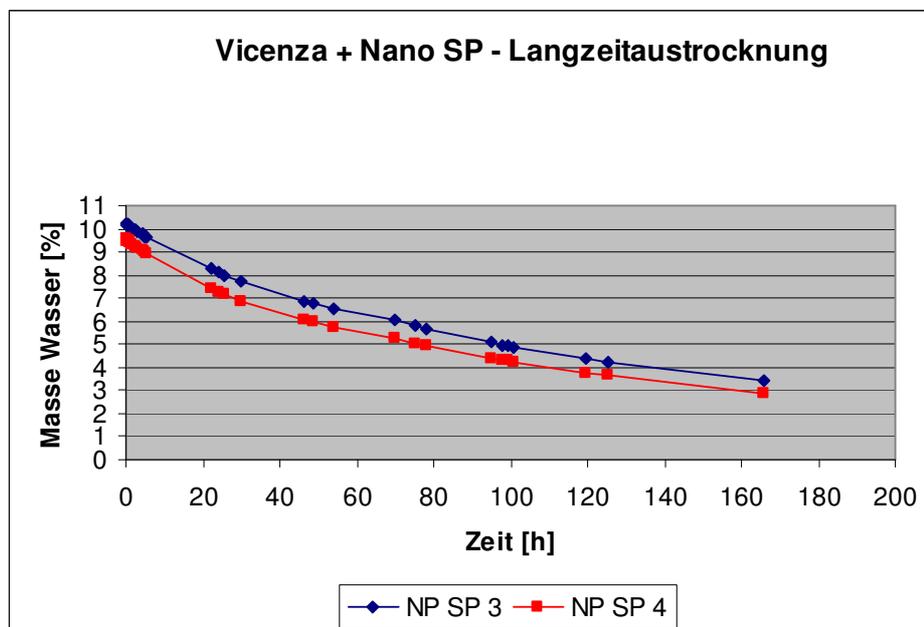


Abbildung 50: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung Vicenza, Nano Stone Protect

Die Austrocknung, über längere Zeit gesehen, ist den anderen Nanotechnologie Produkten sehr ähnlich. Auch die Erscheinungsform der Salzausblühungen ist gleich wie bei den anderen beiden Produkten. Bei dieser Beschichtung sind die Ausblühungen jedoch am ausgeprägtesten.



Abbildung 51: Salzausblühungen an der Oberfläche, Nano Stone Protect (Länge des Bildausschnittes ca. 5cm)

Zusammenfassung der Ergebnisse für das Austrocknungsverhalten mit Salzlösung

Kurzzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung:

	[g/h/m ²]	Mittelwert	Minimum	Maximum	Streuung
Savonniere unbeschichtet		92,00	91,54	92,64	0,64
Savonnières+Kalk		82,10	81,08	83,39	1,28
Savonnières+Siliconfarbe		66,61	56,78	74,17	9,83
Vicenza unbeschichtet		103,49	102,72	104,15	0,77
Vicenza+Kalk		78,36	75,31	80,34	3,05
Vicenza+Siliconfarbe		55,49	50,79	60,44	4,95
Vicenza+Nano FA		63,13	62,98	63,28	0,15
Vicenza+Nano FA+B		36,81	33,83	39,79	2,98
Vicenza+Nano SP		56,94	55,54	58,33	1,40

Tabelle 8: Kurzzeitaustrocknungsverhalten

Wie aus obenstehender Tabelle abzulesen ist, erzielt man die geringsten Streuungsbreiten beim unbeschichteten Stein und bei den Proben mit der Beschichtung Finish A, die größten beim Siliconanstrich. Die Werte der Streuungsbreiten bei der Nanotechnologie sind wesentlich geringer als diejenigen, die bei den Versuchen mit reinem Wasser abzulesen waren.

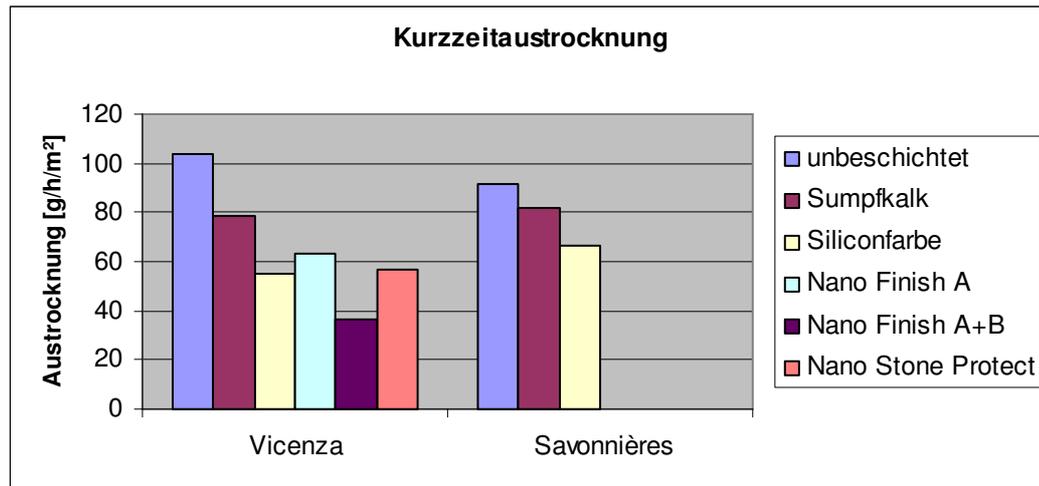


Abbildung 52: Kurzzeitaustrocknung mit Salzlösung (bis 5 Stunden)

Aus Abbildung 52 wird deutlich, dass nur mehr beim unbeschichteten Stein der Vicenza schneller austrocknet als der Savonnières, bei allen beschichteten Varianten trocknet der Vicenza interessanterweise langsamer aus. Diese Ergebnisse sind somit konträr zu denen der Austrocknung mit reinem Wasser, denn dort trocknete der Vicenza bei allen Beschichtungssystemen wesentlich schneller aus als der Savonnières. Auch der Kalkanstrich behindert die Austrocknung der Salzlösung stärker als es bei der Wasserabgabe der Fall war. Trotzdem übt er, im Vergleich zu den anderen Beschichtungen, den geringsten Einfluss auf die Kurzzeitwasserabgabe aus. Die größte Austrocknungsbehinderung erreicht man, wie bei der Abgabe mit reinem Wasser, wieder durch Finish A+B, die Austrocknung erfolgt fast um zwei Drittel langsamer als beim unbeschichteten Stein.

Interessanterweise wird beim Savonnières die Austrocknung durch den Siliconanstrich noch so stark behindert wie beim Vicenza. Dieses Ergebnis ist ebenfalls völlig widersprüchlich zu den Ergebnissen der Austrocknung mit Wasser, wo beim Savonnières eine viel stärkere Beeinträchtigung der Permeabilität durch den Siliconanstrich zu beobachten war.

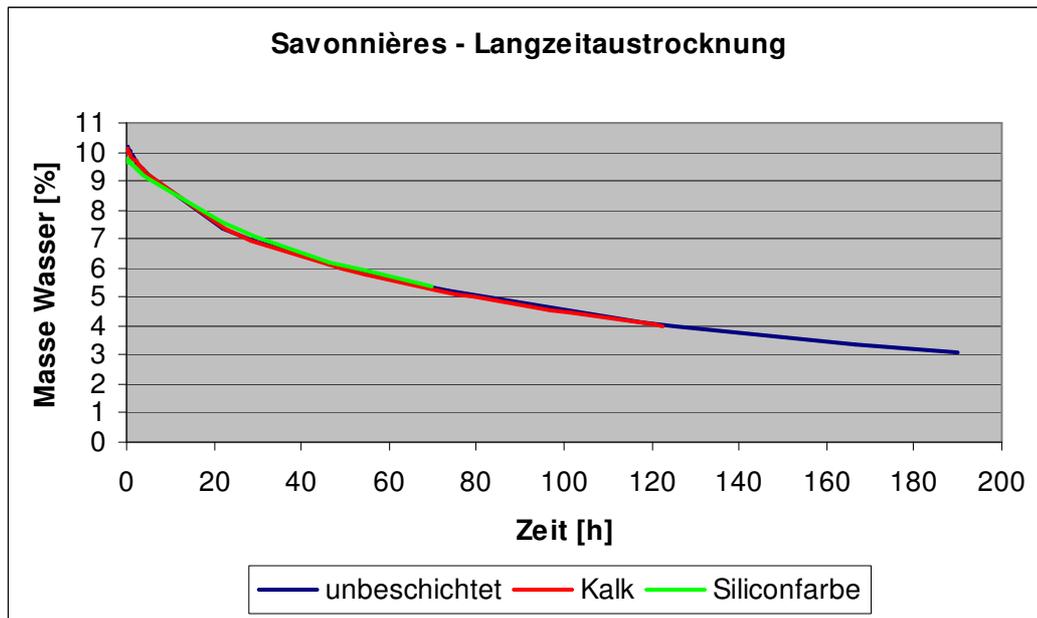
Langzeitaustrocknungsverhalten mit Salzlösung:

Abbildung 53: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung, Savonnières

Es ist deutlich erkennbar, dass das Austrocknungsverhalten aller Beschichtungen dem unbeschichteten Stein sehr ähnlich sind. Interessanterweise verläuft in diesem Fall auch die Austrocknung der Siliconbeschichtung exponentiell und nicht linear wie bei der reinen Wasserabgabe. Ein Unterschied ist nur optisch in den Erscheinungsformen der Salzausblühungen zu erkennen. Diese sehen sowohl beim unbeschichteten als auch beim siliconbeschichteten Stein fast gleich aus. Bei beiden findet eine starke Krustenbildung statt, die sich nur sehr schwer bis gar nicht vom Stein lösen lässt. Die Salzausblühungen der kalkbeschichteten Steine finden zum größten Teil unter der Oberfläche statt, dies lässt sich aus der Blasenbildung der Beschichtung schlussfolgern. Beim Savonnières findet zusätzlich noch eine Vergilbung der Oberfläche statt.

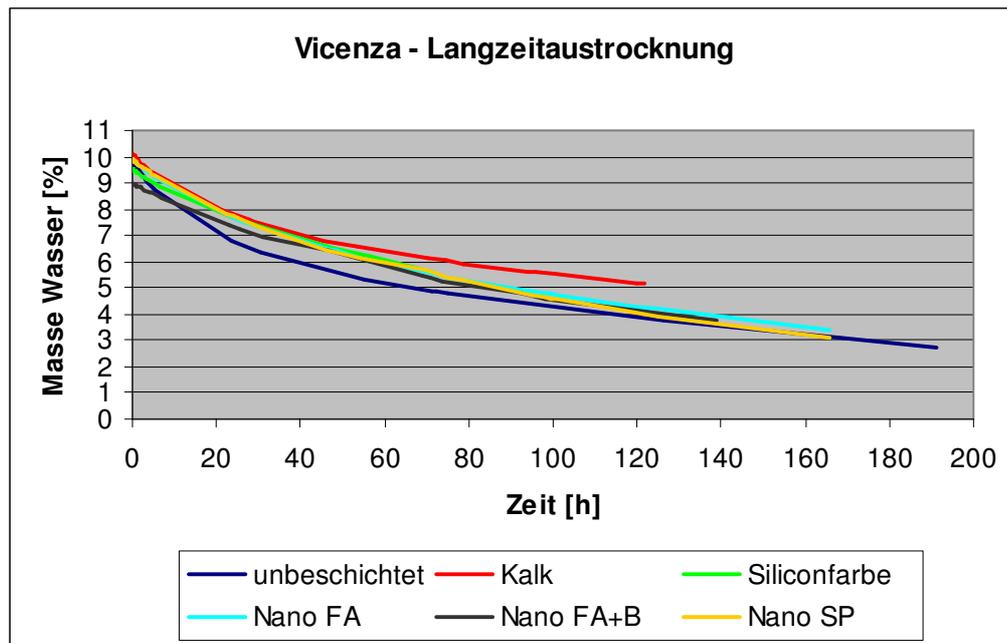


Abbildung 54: Langzeitaustrocknung mit Salzlösung, Vicenza

Im Gegensatz zum Savonnières wird beim Vicenza die Langzeitaustrocknung der Salzlösung durch alle Beschichtungen leicht behindert. Interessanterweise wird durch den Kalkanstrich die Abgabe am stärksten beeinträchtigt. Alle anderen Produkte verhalten sich sehr ähnlich. Wie beim Savonnières unterscheiden sie sich nur durch die verschiedenen Salzausblühungsformen. Bei der Siliconbeschichtung haben diese die gleiche Erscheinungsform wie beim Savonnières. Die kalkbeschichteten Steine unterscheiden sich vor allem in der Farbe. Findet beim Savonnières eine Vergilbung statt, behält die Beschichtung auf dem Vicenza ihre ursprünglich weiße Farbe. Die oben genannten Blasenbildungen sind bei beiden Steinarten im gleichen Ausmaß festzustellen.

Die schlimmsten Ausblühungen sind an den Beschichtungen mit Nanotechnologie sichtbar. Hier findet zwar keine Krustenbildung statt, sondern pulverförmige Auskristallisation die sich leicht entfernen lassen, allerdings sind die Ausblühungen viel stärker als beim unbeschichteten Stein. Das deutet mit größter Wahrscheinlichkeit darauf hin, dass zusätzliche Salze, eventuell aus der Beschichtung, auskristallisiert sind. Die meisten dieser Ausblühungen findet man bei der Beschichtung mit dem Produkt Nanotechnologie Stone Protect vor.

5.4.3 Wassereindringverhalten

5.4.3.1 Versuchsbeschreibung

Das Wassereindringverhalten wurde mit dem Karsten'schen Prüfröhrchen⁸⁸ getestet. Das Prüfgerät besteht aus einer Glocke mit einer Prüffläche von ca. 5,5 cm², auf der ein ca. 10cm langes Glasrohr mit einer Messskala sitzt. Die Maßeinteilung ist in ml aufgetragen und kann auf 0,1ml genau abgelesen werden (auf 0,01ml wird abgeschätzt).

Für den Wassereindringversuch wird das Prüfröhrchen mittels einer Dichtmasse auf den Probekörper aufgebracht. und anschließend mit Leitungswasser bis zur Nullmarke der Rohrskala aufgefüllt. Dadurch wirkt auf die Prüffläche eine Druck von ca. 10cm Wassersäule, womit eine Schlagregenbelastung mit einer Geschwindigkeit von ca. 100km/h simuliert wird.⁸⁹ In regelmäßigen Zeitabständen (in unserem Fall alle 30 Sekunden) wird das Absinken des Wasserspiegels abgelesen und notiert. Es ist wichtig den Druck auf die Prüffläche annähernd konstant zu halten, um dies zu erreichen, wird nach der Aufnahme von 1ml Wasser das Röhrchen wieder bis zu Nullmarke aufgefüllt.⁸⁸

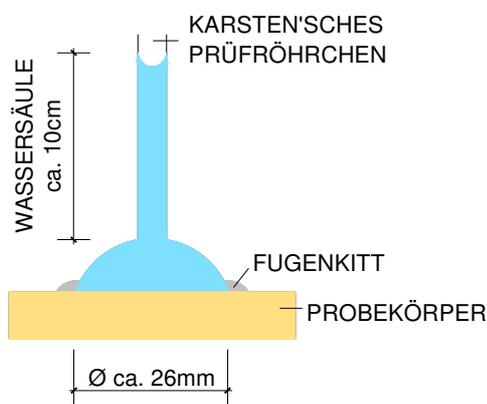


Abbildung 55: Schemazeichnung

Abbildung 56: Versuchsaufbau

Ein großes Problem bei diesem Versuch stellte das Herstellen des dichten Anschlusses mit der Dichtmasse dar. Laut Karsten sollte man dafür einen Siliconkautschuk verwenden. Leider konnte jedoch mit diesem keine

⁸⁸ vgl. Karsten, 1960, S.381

⁸⁹ URL: http://www.hankammer.de/Instrumentarium_/Karsten/karsten.html [28.11.2006]

ausreichende Abdichtung hergestellt werden, immer wieder trat das Wasser an undichten Stellen, zwischen Glas und Siliconkautschuk, aus. Deshalb wurden verschiedene andere Abdichtungsmaterialien wie Knetmasse, Kittstoffe etc. ausprobiert. Schlussendlich wurde ein Fugenkitt auf Polyesterbasis verwendet. Dieser verursachte, meist bei zu kurzer Abbindezeit, zwar immer noch einige Fehlversuche, trotzdem stellte er die beste Alternative dar. Es kann jedenfalls davon ausgegangen werden, dass die Abdichtung Ungenauigkeiten in den Messergebnissen hervorruft. Aus den Messungen kann man nun den Wasseraufnahmekoeffizient w , der die vom Baustoff aufgenommene Wassermenge pro Flächeneinheit in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit beschreibt, mit folgender Formel ermitteln.

$$w = \frac{m_w}{A \cdot \sqrt{t}}$$

w Wasseraufnahmekoeffizient in $\text{kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$

m_w aufgenommene Wassermenge in kg

A Grundfläche in m^2

t Zeit in h

Bei Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten, ist darauf acht zu legen, dass der absolute Wert für diesen, nur in dem Bereich des linearen Anstiegs mit der Wurzel aus der Zeit gültig ist.⁹⁰ Dieser Bereich liegt im Anfangsabschnitt der Kurve.⁹¹

Da diese Bedingung im vorliegenden Fall nicht möglich war (kein klar definierter linearer Anfangsabschnitt erkennbar), kann nur von einem relativen Wert des Wasseraufnahmekoeffizienten ausgegangen werden. Dieser wurde in der ersten Minute ermittelt und dient lediglich als Vergleichsparameter für die einzelnen Beschichtungssysteme.

⁹⁰ vgl. Dreyer, 2004b, S.34

⁹¹ zur Berechnung des Wasseraufnahmekoeffizienten vgl. ÖNORM EN 1925, 1999

Prinzipiell dient der Wasseraufnahmekoeffizient als Beschreibung des Wasseraufnahmevermögens von Baustoffen und Beschichtungen. Im modernen Hochbau findet man folgende weitverbreitete Einteilung (Originalzitat leider nicht auffindbar):

$w > 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$	→	saugend
$w \leq 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$	→	wasserhemmend
$w \leq 0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$	→	wasserabweisend
$w \leq 0,001 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$	→	wasserdicht

Für fassadentaugliche Beschichtungen sollte ein Wasseraufnahmekoeffizient w von $0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ und einen s_d -Wert (diffusionsäquivalente Luftschichtstärke, Maß für die Dampfdurchlässigkeit eines Stoffes) von $2,0\text{m}$ nicht überschreiten.⁹²

Inwieweit diese Einteilung auch bei historischen Bausubstanzen anwendbar ist, bleibt allerdings fragwürdig. Immerhin sind uns viele Gebäude über Jahrhunderte hinweg erhalten geblieben, die mit Anstrichsystemen mit weit höheren Wasseraufnahmekoeffizienten als $0,5 \text{ kg}/(\text{m}^2\sqrt{\text{h}})$ behandelt und geschützt wurden (Beispiel Kalkanstriche). Außerdem stellt sich die Frage, ob ein wasserabweisender Anstrich, die vorhandene Feuchtigkeit und die damit in Verbindung stehenden Salze im Stein, ausdiffundieren lässt. Da in den meisten historischen Gebäuden die kapillare Feuchtigkeitsbelastung eine wesentliche Rolle spielt, kann eine Fassadenbeschichtung mit einem hohen s_d -Wert durchaus problematischere Auswirkungen auf die Steinsubstanz haben, als ein hoher Wasseraufnahmekoeffizient.

⁹² vgl. Dreyer, 2004b, S.36

5.4.3.2 Versuchsergebnisse

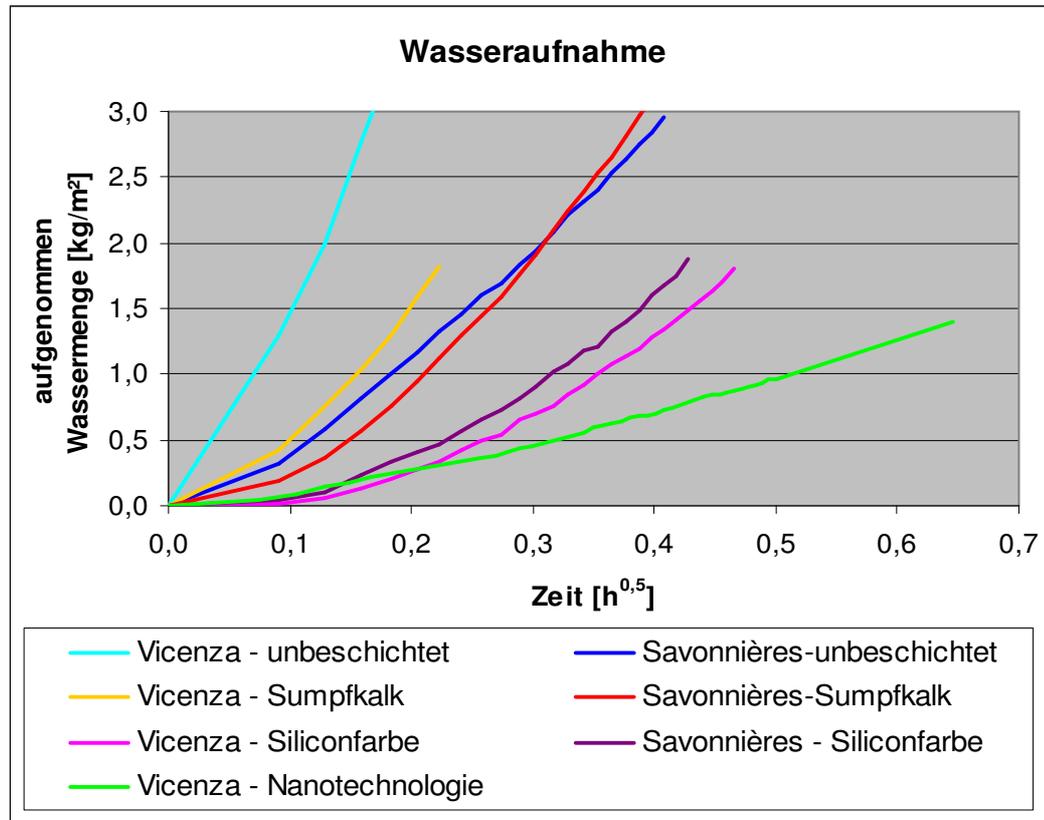


Abbildung 57: Wasseraufnahme in Abhängigkeit von der Zeit

In Abbildung 57 erkennt man, dass kein lineares Verhältnis zwischen der aufgenommenen Wassermenge und der Wurzel der Zeit besteht. Die Kurve verläuft eher exponentiell.

Vergleicht man die einzelnen Beschichtungen miteinander, erkennt man, dass wie vermutet die Nanotechnologie das Wasser am ehesten abhält, trotzdem ist die Beschichtung nicht vollkommen wasserdicht.

Der Sumpfkalk hemmt im Vergleich mit dem unbeschichteten Stein die Wasseraufnahme etwas, allerdings erkennt man beim Savonnières, dass diese Behinderung nur in den ersten Minuten stattfindet.

Prinzipiell kann man an der Abbildung sehen, dass der Savonnières das Wasser langsamer aufnimmt als der Vicenza, was wiederum mit der Porenradienverteilung zusammenhängen kann. Interessanterweise kehrt sich das beim Siliconbeschichteten Stein um, wo der Vicenza den Wassereintritt mehr verzögert als der Savonnières. Das kann aber auch

mit den zuvor beschriebenen Messungenauigkeiten, aufgrund der Abdichtungsschwierigkeiten zusammenhängen.

Wasseraufnahmekoeffizient

Wasseraufnahmekoeffizient in der ersten Minute

kg/(m ² h ^{0.5})	Savonnières	Vicenza	Einteilung im Hochbau
unbeschichtet	4,51	15,49	saugend
Sumpfkalk	2,82	5,92	saugend
Siliconfarbe	0,85	0,42	wasserabweisend
Nanotechnologie		1,13	wasserhemmend

Tabelle 9: Wasseraufnahmekoeffizient in der ersten Minute

Beim Wasseraufnahmekoeffizienten in der ersten Minute erkennt man, dass die Kalkbeschichtung sehr wohl ein starke Verzögerung bietet. Da Schlagregenbelastungen meist sehr kurz sind, kann der Sumpfkalk als wirksame Schutzschicht gegen eintretendes Wasser gewertet werden. Die Siliconfarbe bietet einen sehr guten Schutz gegen Wassereindringen, auch hier erkennt man, dass die Wirksamkeit beim Vicenza größer ist als beim Savonnières. Interessanterweise bietet die Nanotechnologie in der ersten Minute weniger Schutz vor eindringendem Wasser als die Siliconbeschichtung. Erst nach einiger Zeit verzögert die Beschichtung mit Nanotechnologie das Eindringen stärker als die Siliconbeschichtung.

5.4.4 Frost-Tauwechselversuche

5.4.4.1 Versuchsbeschreibung

Die Frost-Tauwechselversuche erfolgten in Anlehnung an die ÖNORM EN 12371: „Prüfverfahren für Naturstein, Bestimmung des Frostwiderstandes“. Allerdings wurden die Proben nicht, wie in der Norm beschrieben, vollständig in Wasser gelagert, sondern nur bis zur halben Höhe der Probekörper, so dass diese das Wasser kapillar von unten ansaugen konnten. Dieser Aufbau wurde deshalb gewählt, da sich bei vollständiger Wasserlagerung die Beschichtung vom Untergrund lösen hätte können (vor allem bei der Kalkbeschichtung problematisch). Aus demselben Grund wurden bei längeren Messunterbrechungen die Proben nicht in Wasser zwischengelagert, sondern im Gefrierschrank.



Abbildung 58: Lagerung der Proben im Becken zur kapillaren Wasseraufnahme

Jeder Zyklus besteht aus einer sechsständigen Tauperiode in Wasser (+20°C) gefolgt von einer mindestens sechsständigen Gefrierperiode (-20°C). Am Beginn wurden die Probekörper nur drei Stunden in Wasser gelagert, da sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht gefroren waren, und die Lagerung lediglich der Wasseraufnahme diente.

Zur Quantifizierbarkeit des Frost-Tau-Widerstandes wurden drei verschiedene Prüfungen durchgeführt:

1. Sichtprüfung
2. Massenvergleich
3. Vergleich der Ultraschalldurchgangszeit

Sichtprüfung

nach der Lagerung im Gefrierschrank wurden die Probekörper untersucht und getrennt nach Gesteinsbeschaffenheit und dem Zustand der Oberflächenbeschichtung folgendermaßen beurteilt:

Gesteinsbeschaffenheit (in Anlehnung an die ÖNORM EN 12371:2002):

- 0 Probekörper intakt
- 1 sehr geringe Beschädigung (geringe Abrundung der Ecken und Kanten, leichtes Abbröseln an der Oberfläche), die die Unversehrtheit der Probekörper nicht beeinträchtigt
- 2 Ein oder mehrere kleinere Risse ($\leq 0,1$ mm Breite) oder Ablösung kleinerer Fragmente (≤ 10 mm² je Fragment)
- 3 Ein oder mehrere Risse, Löcher oder Ablösung von Fragmenten, die größer sind, als in 2 definiert, oder Neigung zur Materialveränderung
- 4 Probekörper in zwei Teile zerbrochen oder mit großen Rissen
- 5 Probekörper in Stücken zerfallen

Beschaffenheit der Kalkbeschichtung:

- 0 keine Beschädigung
- 1 Ein oder mehrere Risse ($\leq 0,1$ mm Breite) oder Abplatzungen (≤ 10 mm² je Fragment)
- 2 Ein oder mehrere Risse oder Abplatzungen, die größer sind, als in „2“ definiert
- 3 schichtenweises Ablösen der Beschichtung
- 4 Abplatzungen am Gestein, und Ablösen der Beschichtung die bis zur Steinoberfläche reichen.

Beschaffenheit der Siliconbeschichtung:

- 0 keine Beschädigung
- 1 leichtes Ablösen der Beschichtung in Form von hautähnlichen Abschälungen

Beschaffenheit der Nanotechnologie – Beschichtungen

- 0 keine Beschädigung
- 1 Ausblühungen an der Oberfläche
- 2 Ablösen der Beschichtung in Form von hautähnlichen Abschälungen

Vergleich im Mikroskop

Zusätzlich zur Sichtprüfung, wie sie in der Norm gefordert wird, wurde auch eine mikroskopische Aufnahme der Oberflächen nach Beendigung des letzten Frost-Tau-Zyklus durchgeführt. Dadurch sollten Oberflächenzerstörungen ausfindig gemacht werden, die mit freiem Auge nicht erkennbar waren.

Die mikroskopischen Aufnahmen wurden im Bundesdenkmalamt in der Kartause Mauerbach durchgeführt. Vom Bundesdenkmalamt wurden auch alle Gerätschaften, die für diese Untersuchung notwendig waren, zur Verfügung gestellt, wofür ich mich an dieser Stelle herzlich bedanken möchte.

Massenvergleich

Die Bestimmung der Masse nach jedem Zyklus ermöglicht es, den Materialverlust zu ermitteln, den der Probekörper durch die Frost-Tauwechselbelastung erfahren hat. Die Wägung erfolgte nach jeder Lagerung in Wasser und somit vor dem neuerlichen Beginn der Lagerung im Gefrierschrank. Laut ÖNORM EN 12371 sollte auch die scheinbare Masse in Wasser ermittelt werden, um damit das scheinbare Volumen bestimmen zu können. Aus versuchstechnischen Gründen konnte diese Messung jedoch nicht durchgeführt werden, da die Beschichtungen bei voller Wasserlagerung eine Zerstörung erfahren hätten. Deshalb wurde lediglich die Masse an Luft gemessen, und zwar die Masse der kapillargesättigten Probe nach jedem Zyklus.

Vergleich der Ultraschalldurchgangszeit

Von den Probekörpern wurde nach dem letzten Frost-Tau-Zyklus die Ultraschalldurchgangszeit ermittelt und mit dem Ausgangswert verglichen. Dadurch konnte beurteilt werden, in welchem Ausmaß sich der Stein unter den unterschiedlichen Beschichtungssysteme zersetzt hatte.

Im Anhang befinden sich die genauen Messergebnisse nach den oben beschriebenen Kriterien. Nachfolgend werden diese für jede Beschichtungsart zusammengefasst:

5.4.4.2 Versuchsergebnisse

Allgemeine Bemerkungen

Die Frost-Tau-Zyklen wurden so lange fortgeführt bis entweder die Oberflächenbeschichtung zerstört war oder keine weitere Schädigung mehr stattfand. Die Kalkbeschichtung war bereits nach 7 Frost-Tau-Zyklen zerstört, das bedeutet dass sie bis zur Gesteinsoberfläche abgelöst war. Die Probekörper wurden deshalb aussortiert und beiseite gelegt. Durch einen labortechnischen Unfall wurde jedoch die noch verbliebene Kalkbeschichtung von der Gesteinsoberfläche abgelöst. Aus diesem Grund konnten die Probekörper nicht mehr für alle Untersuchungen hinreichend verwendet werden. Im Massenvergleich und in den mikroskopischen Untersuchungen werden sie deshalb gar nicht oder nur um Teil angeführt. Die Ultraschallmessungen sowie die Sichtprüfung konnten jedoch ohne Probleme durchgeführt werden.

Alle anderen Probekörper wurden 25 Frost-Tau-Zyklen unterzogen. Danach wurde die Messung abgebrochen, da sich keine wesentliche Änderung in der Probenbeschaffenheit mehr einstellte.

Sichtprüfung

ohne Beschichtung

Nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Sichtprüfung nach 7 und nach 25 Zyklen.

	Probennummer	nach 7 Zyklen		nach 25 Zyklen		Bild
		Stein		Stein		
ohne Beschichtung	S-O-W-1	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	
	S-O-W-2	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	
	S-O-W-3	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	
	V-O-W-1	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	
	V-O-W-2	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	
	V-O-W-3	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	1	leichtes Abbröseln der Oberfläche	

Tabelle 10: Sichtprüfung ohne Beschichtung

Nach dem siebten Frost-Tau-Zyklus erkennt man ein leichtes Abbröseln der Steinoberfläche. Interessanterweise findet bei den folgenden Zyklen keine weitere sichtbare Zerstörung der Gesteinsoberfläche statt. Eine Erklärung für diesen Zustand könnte sein, dass sich ab einer gewissen Zeit ein Gleichgewichtszustand einstellt, indem gewisse Kapillarporen bereits zerstört sind, und eine weitere Zerstörung nicht mehr stattfinden kann, da das Wasser nur kapillar aufgenommen wird und somit die Poren nicht mehr vollständig mit Wasser gefüllt werden können.

Kalkbeschichtung

Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Sichtprüfung nach 4 und nach 7 Zyklen:

	Proben- nummer	nach 4 Zyklen		nach 7 Zyklen		Bild
		Stein	Beschichtung	Stein	Beschichtung	
Kalkbeschichtung	S-K-W-1	0	1 (kleinere Risse und Abplatzungen)	0	4 (Abbröckeln bis zum Stein)	
	S-K-W-2	0	1 (kleinere Risse und Abplatzungen)	0	4 (Abbröckeln bis zum Stein)	
	S-K-W-3	0	1 (kleinere Risse und Abplatzungen)	0	4 (Abbröckeln bis zum Stein)	
	V-K-W-1	0	3 (Abbröckeln der obersten Schicht)	0	3 (Abbröckeln der obersten Schicht)	
	V-K-W-2	0	3 (Abbröckeln der obersten Schicht)	0	3 (Abbröckeln der obersten Schicht)	
	V-K-W-3	0	3 (Abbröckeln der obersten Schicht)	0	3 (Abbröckeln der obersten Schicht)	

Tabelle 11: Sichtprüfung Kalkbeschichtung

Bereits nach einem Zyklus sind beim Vicenza kleine Risse an der Kalkoberfläche sichtbar, beim Savonnières erst einen Zyklus später. Zu diesem Zeitpunkt sind beim Vicenza bei allen Proben schon größere Risse und Abplatzungen sichtbar.

Nach vier Zyklen löst sich der Anstrich beim Vicenza bereits schichtenweise ab. Beim Savonnières sind nach wie vor nur kleinere Risse sichtbar.

Erst nach dem vierten Zyklus beginnen diese größer zu werden.

Zwar ist die anfängliche Zerstörung der Kalkbeschichtung beim Vicenza größer als beim Savonnières, trotzdem löst sich bei diesem die Oberflächenbeschichtung nach sieben Zyklen in Form von Fragmenten, die bis zur Steinoberfläche reichen ab (zumindest teilweise). Beim Vicenza löst sich der Anstrich eher schichtenweise ab.

Da die Kalkbeschichtungen nach dem 7. Zyklus bereits bis zur Oberfläche abgetragen wurde, wird der Versuch hier abgebrochen, da die Beschichtung nun keinen Schutz mehr für den darunterliegenden Stein bietet und dieser somit als unbeschichtet anzusehen ist.

Siliconbeschichtung

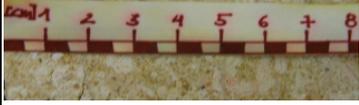
Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Sichtprüfung nach 7 und nach 25 Zyklen:

	Probennummer	nach 7 Zyklen		nach 25 Zyklen		Bild
		Stein	Beschichtung	Stein	Beschichtung	
Siliconbeschichtung	S-R-W-1	0	0	0	1 (starke Blasenbildung)	
	S-R-W-2	0	0	0	1 (leichte Blasenbildung)	
	S-R-W-3	0	0	0	1 (leichte Blasenbildung)	
	V-R-W-1	0	1 (in Form von hautähnlichen Abschälungen)	0	1 (in Form von hautähnlichen Abschälungen)	
	V-R-W-2	0	1 (in Form von hautähnlichen Abschälungen)	0	1 (in Form von hautähnlichen Abschälungen)	
	V-R-W-3	0	1 (in Form von hautähnlichen Abschälungen)	0	1 (in Form von hautähnlichen Abschälungen)	

Die Oberflächenbeschaffenheit der Steine, ist soweit ersichtlich nicht beschädigt. Nach dem 3. Zyklus löst sich beim Vicenza die Beschichtung in hautähnlichen Abschälungen ab. Dieser Zustand bleibt bis zum Schluss erhalten. Die Siliconbeschichtung beim Savonnières bleibt sehr lange unbeschädigt, erst nach dem 13. Zyklus sind leichte Blasenbildungen an der Beschichtung erkennbar. Diese treten jedoch bei den drei Probekörpern in unterschiedlichen Ausmaß auf, was auf einen eventuellen verarbeitungstechnischen Fehler beim Auftragen der Beschichtung zurückzuführen ist. Zu bemerken ist allerdings, dass sich vor allem beim Savonnières die Beschichtung milchig verfärbt, was aber nur eine ästhetische Beeinträchtigung der Schutzschicht zur Folge hat.

Nanotechnologie

Nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Sichtprüfung nach 7 und nach 25 Zyklen:

	Probennummer	nach 7 Zyklen		nach 25 Zyklen		Bild
		Stein + Beschichtung	Stein + Beschichtung	Stein + Beschichtung	Stein + Beschichtung	
Beschichtung mit Nanotechnologie	NP FA-1	2	leichtes Abbröckeln der Oberfläche	5	Probekörper in Stücke zerfallen	
	NP FA-2	2	leichtes Abbröckeln der Oberfläche	3	Abbröckeln der Oberfläche	
	NP SP-1	1	Salzausblühungen sowie leichtes Abbröckeln der Oberfläche	4	teilweiser Zerfall des Probekörpers (im Randbereich)	
	NP SP-2	1	Salzausblühungen sowie leichtes Abbröckeln der Oberfläche	4	teilweiser Zerfall des Probekörpers (im Randbereich)	
	NP FA+B-1	0	keine Zerstörung feststellbar	0	kein Zerstörung feststellbar	
	NP FA+B-2	0	keine Zerstörung feststellbar	0	kein Zerstörung feststellbar	

Bei den Beschichtungen mit Nanotechnologie konnten einige interessante Beobachtungen gemacht werden.

Finish A (3-4Lagen):

Bei der Beschichtung mit Finish A, löst sich diese nach drei Zyklen, in Form von kleinen hautähnlichen Abschuppungen von der Oberfläche ab. Nach fünf Zyklen beginnt sich die Steinoberfläche zu zersetzen, dieser Zerfall wird nach jedem Wechsel stärker, bis nach 25 Zyklen einer der beiden Probekörper vollkommen in Stücke zerfällt. Der zweite Probekörper dieser Serie wird nicht so stark zerstört, es lösen sich lediglich kleine Steinfragmente von der Oberfläche ab.

Stone Protect(13-14Lagen):

Nach drei Frost-Tau-Zyklen sind bei der Beschichtung mit Nanotechnologie Stone Protect Ausblühungen an der Oberfläche sichtbar. Diese kommen in Form eines leichten Flausches zum Vorschein. Zusätzlich bröseln die Steinoberflächen leicht ab. Das ist ein Hinweis dafür, dass die Beschichtung so fest am Untergrund haftet, dass es diesen beim Ablösen richtiggehend mitreißt. Nach 25 Frost-Tau-Zyklen ist der Stein vor allem in den Randbereichen so stark zerstört, dass Teile davon abbrechen.

Finish A+B (14-15Lagen):

Die Beschichtung mit Nanotechnologie Finish A+B zeigt auch nach 25 Zyklen keine sichtbaren Schädigungen auf, sowohl die Beschichtung als auch der Stein scheinen in einwandfreiem Zustand zu sein.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Beschichtung mit den wenigsten Lagen (Finish A) die stärksten optischen Zerstörungen an den Probekörpern nach 25 Zyklen verursacht. Die geringsten sichtbaren Schäden weisen hingegen die Probekörper mit der 14-15lagigen Beschichtung auf.

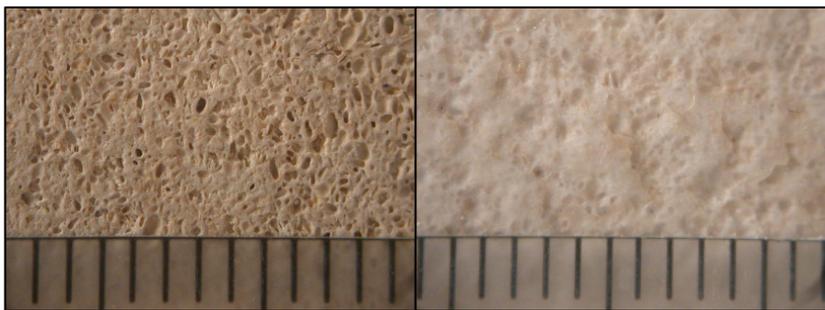
Vergleich im MikroskopSiliconfarbe

Abbildung 59: Savonnières unbeschichtet - Beschichtung mit Siliconfarbe
(1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)



Abbildung 60: Vicenza unbeschichtet - Beschichtung mit Siliconfarbe
(1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

Im Mikroskop erkennt man, dass kein Unterschied in der Oberflächenbeschaffenheit der Gesteine zwischen unbeschichteten und Siliconbeschichteten Stein besteht.

Nanotechnologie



Abbildung 61: Vicenza unbeschichtet - Beschichtung mit Nano Finish A
(1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

Hier ist eine deutliche Zerstörung der Oberfläche bei der Beschichtung mit Nanotechnologie Finish A im Gegensatz zum unbeschichteten Stein erkennbar.



Abbildung 62: Vicenza unbeschichtet - Beschichtung mit Nano Stone Protect
(1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

Auch im Fall der Beschichtung mit Nanotechnologie Stone Protect erkennt man eine deutlich Gefügeflockerung an der Oberfläche im Mikroskop.



Abbildung 63: Vicenza unbeschichtet - Beschichtung mit Nano Finish A+B (1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

Bei der Beschichtung mit Finish A+B ist keine Zerstörung der Oberfläche unter dem Mikroskop erkennbar.

Massenvergleich

Die Masse der Probekörper wurde nach jeder Lagerung in Wasser ermittelt. Dadurch sollte die, durch die Frost-Tauwechsel verursachte, Massenzunahme bzw. -abnahme ermittelt werden. In nachfolgender Abbildung wird das Ergebnis graphisch dargestellt:

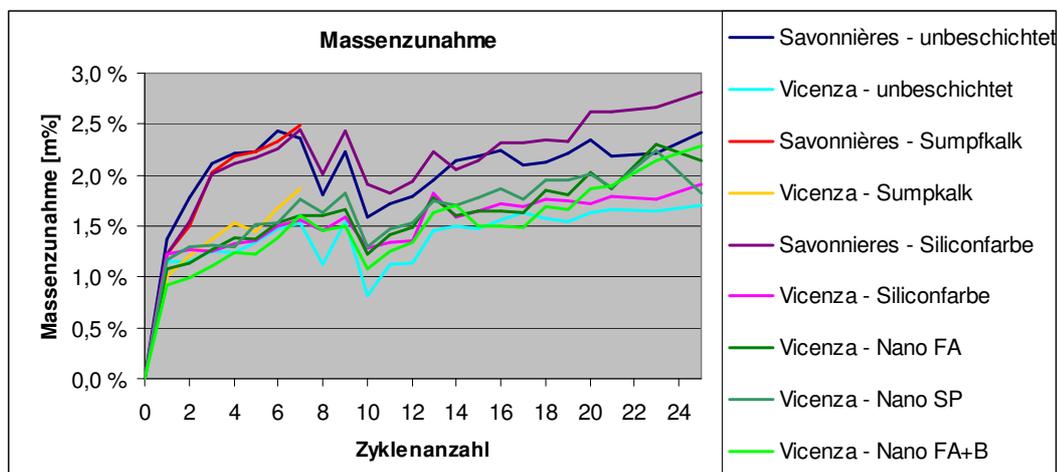


Abbildung 64: Massenänderung der Probekörper nach jedem Zyklus

Interessanterweise nimmt die Masse bei allen Beschichtungsarten zu. Das kann damit zusammenhängen, dass aufgrund der Zerstörung der Porenstruktur durch die Frostbelastung, immer mehr Kapillarporen mit Wasser gefüllt werden können und somit im kapillargesättigten Zustand an Masse zunehmen. Vor allem nach den ersten paar Zyklen ist die

Massenzunahme sehr stark, was aber auch damit zusammenhängen kann dass sich die Poren nach dem ersten Zyklus zusätzlich mit dem getauten Wasser anfüllen können. Danach stellt sich eher ein Gleichgewicht ein, die Massenzunahme erfolgt nur mehr sehr langsam bis gar nicht. Das deutet darauf hin, dass ab einer bestimmten Zyklenanzahl keine signifikant weitere Zerstörung des Gesteins mehr stattfindet. Die Massenzunahme beim Savonnières ist um etwa einen Massenprozent stärker als beim Vicenza. Das muss aber nicht unbedingt auf eine stärkere oder schwächere Zerstörung des Gesteins hinweisen, es kann auch mit dem unterschiedlichen Wasseraufnahmeverhalten der beiden Gesteine zusammenhängen.

Die starken Schwankungen zwischen den einzelnen Zyklen hängt vermutlich mit der nicht exakt gleichen Dauer der einzelnen Frost-Tau-Zyklen zusammen. Vor allem die Dauer der Frostbelastung war teilweise sehr unterschiedlich, da die Probekörper bei längeren Versuchsunterbrechungen (z.B. Wochenende) im Gefrierschrank belassen wurden. Die Tauzyklen waren wesentlich regelmäßiger und betrug kontinuierlich $6 \text{ Stunden} \pm 30 \text{ min}$.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die reine Beurteilung der Massendifferenz keine genaue Aussage über den Zerstörungsgrad der Probekörper liefern kann. Eine wesentlich genauere Beschreibung des Steingefüges kann man sich allerdings von den Ultraschalluntersuchungen erwarten.

Vergleich der Ultraschalldurchgangszeit

Nach Beendigung der Frost-Taubelastung (7 Zyklen bei den kalkbeschichteten Proben, 25 Zyklen bei den anderen Beschichtungen) wurden die Probekörper abermals 24h bei 40°C im Trockenschrank gelagert und anschließend die Ultraschalldurchgangszeit ermittelt. Nachfolgende Grafiken zeigen bereits die berechnete Geschwindigkeit (genaue Berechnung siehe Anhang).

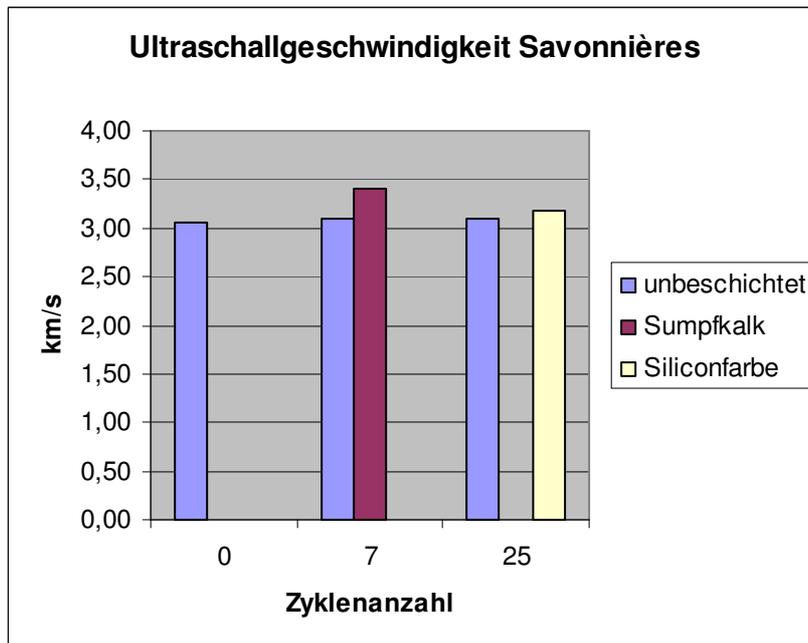
Ultraschalldurchgangsgeschwindigkeit Savonnières

Abbildung 65: Ultraschalldurchgangsgeschwindigkeit Savonnières

In obiger Abbildung erkennt man, dass eigentlich keine Gefügezerstörung durch die Frost-Tauwechselbelastung stattgefunden hat, da die Geschwindigkeit im Gegensatz zum unbelasteten Stein nicht abnimmt. Die Geschwindigkeit nimmt sogar zu, was aber eher auf eine Messungenauigkeit zurückzuführen ist. Vermutlich konnten die Probekörper das Wasser bei 40 °C und 24h Lagerung im Trockenschrank noch nicht vollständig abgeben, es war also eine geringe Restfeuchtigkeit in den Proben vorhanden, die bei den Messungen eine erhöhte Geschwindigkeit zur Folge hatte.

Ultraschalldurchgangsgeschwindigkeit Vicenza

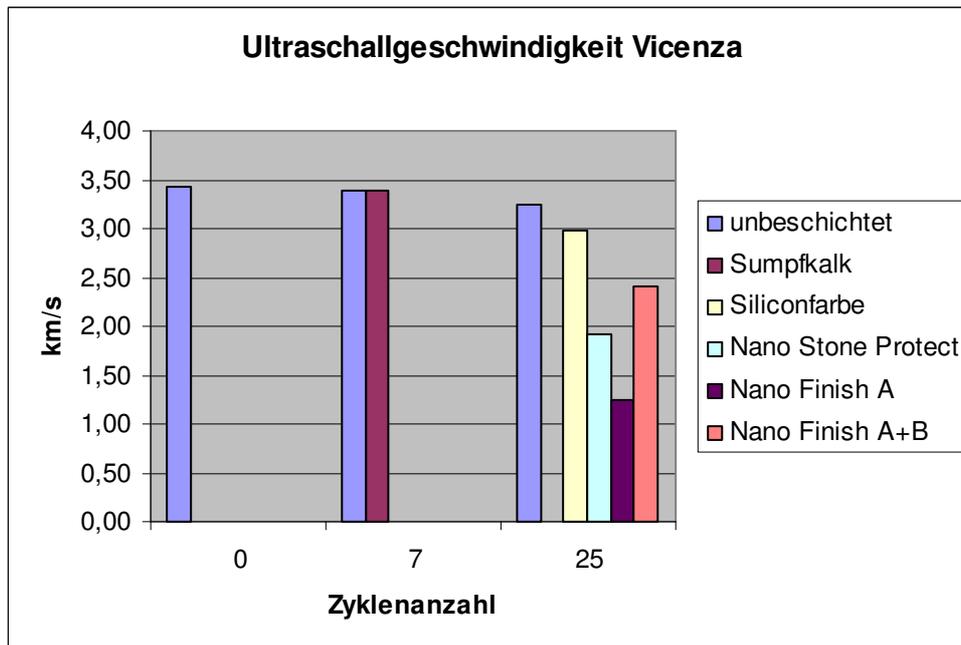


Abbildung 66: Ultraschalldurchgangsgeschwindigkeit, Vicenza

Bei den kalkbeschichteten Proben ist nach 7 Zyklen keine Gefügauflockerung erkennbar. Anders bei den anderen Beschichtungen, wo nach 25 Zyklen sehr wohl eine Gefügauflockerung feststellbar ist. Am stärksten ist diese bei den Beschichtungen mit Nanotechnologie. Die Proben mit der Beschichtung Finish A+B, die optisch völlig unbeschädigt aussehen, weisen ebenfalls bereits eine starke Gefügauflockerung auf. Auch die Probekörper mit Silikonbeschichtung zeigen im Gegensatz zu den unbeschichteten Steinen, stärkere Gefügezerstörungen auf.

Prinzipiell kann man aus den beiden Abbildungen erkennen, dass der Vicenza Kalkstein wesentlich anfälliger für Schäden durch Frost-Tauwechselbeanspruchung ist, als der Savonnières Kalkstein.

5.4.5 Widerstand gegen Kristallisation von Salzen

5.4.5.1 Versuchsdurchführung

Die Salzkristallisationstests wurden in Anlehnung an die ÖNORM EN 12370: „Prüfverfahren für Naturstein, Bestimmung des Widerstandes gegen Kristallisation von Salzen“ durchgeführt.

Zuerst wurden die Proben bis zur Massenkonstanz bei 40°C im Trockenschrank gelagert und anschließend auf Raumtemperatur abgekühlt. Danach wurden sie zwei Stunden in ein Becken mit einer 14-prozentigen Magnesiumsulfatlösung aufgeständert und dadurch von der Unterseite kapillar gesättigt. (in Abweichung von der Norm, wo eine Natriumsulfatlösung zur Prüfung verwendet wird). Laut Norm sollte der Probekörper vollständig in Wasser gelagert werden. Da im vorliegenden Fall allerdings kapillar aufsteigendes Wasser simuliert werden sollte und außerdem bei vollkommener Wasserlagerung eine Beschädigung der Beschichtung nicht auszuschließen war, wurde die Vorgehensweise abweichend von der Norm gewählt.



Abbildung 67: Lagerung der Probekörper im Becken, gefüllt mit Magnesiumsulfatlösung

Anschließend wurden die Probekörper wieder im Trockenschrank bei 40°C mindestens 16 Stunden lang getrocknet. Laut Norm sollte, um eine möglichst hohe Luftfeuchtigkeit zu erreichen, eine Wasserschale mit kaltem Wasser in den Trockenschrank gegeben werden. Dies wurde im

vorliegenden Fall nicht durchgeführt, da die Trocknung bei geringer Temperatur ohnehin sehr langsam erfolgt. Darüber hinaus würde nur ein geringer Teil der Wassermenge im Behälter verdunsten.⁹³

Nach dem Trocknen wurden die Probekörper abermals zwei Stunden in der 14%-igen Magnesiumsulfatlösung gelagert. Dieser Wechsel zwischen kapillarem Ansaugen der Probekörper und anschließendem Trocknen wurde 10 Mal wiederholt. Auch hier liegt eine Abweichung zur Norm vor, wo die Zyklen 15 Mal wiederholt werden sollten. Da in unserem Fall jedoch nicht die Bestimmung des Widerstandes der Gesteine, sondern die Wirksamkeit der Oberflächenbeschichtung im Vordergrund stand, wurde der Versuch schon früher abgebrochen, um zu vermeiden dass die Gesteine vollkommen zerstört werden. Denn dadurch hätten keine klaren Aussagen bezüglich der Beschichtungen mehr getroffen werden können. Die Norm verlangt außerdem eine ständiges Erneuern der Salzlösung, was bei den vorliegenden Versuchen auch nicht durchgeführt wurde. Es wird allerdings kein wesentlicher Unterschied in den Ergebnissen erwartet.⁹³ Außerdem wurde der Behälter stetig mit einer Glasplatte bedeckt, um ein etwaiges Verdunsten des Wassers und somit eine Änderung in der Salzkonzentration zu verhindern. Erst nach 8 Zyklen wurde die vorhandene Lösungskonzentration bestimmt und die Verluste ausgeglichen. Die vorhandene Lösungskonzentration wurde folgendermaßen ermittelt:

$$c_{VORH} = 100 - \frac{m_w}{m_{ges}} \cdot 100 \quad [\%]$$

c_{VORH} vorhandene Salzkonzentration in %

m_w Masse Wasser in g

m_{ges} ... Masse der Salzlösung in g

Daraus kann die Differenz zwischen der Sollkonzentration von 14% und der vorhandenen Konzentration ermittelt werden und somit die Menge des Salzes, das dem Becken wieder zugeführt werden muss:

⁹³ vgl. Gschaider, 2002, S.53

$$c_{DIFF} = 14\% - c_{VORH}$$

$$\Delta m_s = \frac{c_{DIFF}}{100} \cdot m_{ges}$$

Δm_s Masse Salz das wieder zugeführt werden muss in g

c_{DIFF} Differenz der Salzkonzentration in %

5.4.5.2 Versuchsergebnisse

Allgemeine Anmerkung zu den Ergebnissen

Die Salzkristallisationszyklen wurden 10 mal (im Fall der Beschichtung mit Kalk beim Savonnières nur 7 Mal) durchgeführt. Danach waren die Oberflächenbeschichtungen soweit zerstört, dass sie als unwirksam angenommen werden konnten.

Anschließend wurden die Proben fotografisch dokumentiert, und im Mikroskop untersucht. Somit konnte die Beschaffenheit der Beschichtung ermittelt werden. Um den Zustand der Gesteinsoberfläche beurteilen zu können, mussten die Salze von der Oberfläche abgelöst werden. Deshalb wurden diese zuerst mit einem Pinsel entfernt, um beurteilen zu können wie fest die Salze auf der Oberfläche haften. Danach wurden die restlichen Salzausblühungen, soweit dies überhaupt möglich war, mit Leitungswasser beseitigt.

Ein Massenvergleich wie in der Norm gefordert, wurde nicht durchgeführt. Im vorliegenden Fall hätte es keine klaren Aussagen gegeben, da einerseits durch das Abwaschen mit Wasser die Beschichtung zum Teil zerstört wurde (vor allem die Kalkbeschichtung) und andererseits sich die eingelagerten Salze nicht vollkommen aus dem Stein entfernen lassen. Ein brauchbarer Wert für den Massenverlust kann somit also nicht ermittelt werden.

Zustand der Beschichtung und Erscheinungsbild der Salzausblühungen

	Zustand der Beschichtung	Bild	Mikroskop
Savonnières unbeschichtet	keine Beschichtung vorhanden, Salzausblühungen in relativ starkem Ausmaß an der Oberfläche vorzufinden		
Vicenza unbeschichtet	keine Beschichtung vorhanden, Salzausblühungen in relativ starkem Ausmaß an der Oberfläche vorzufinden		

Tabelle 12: Zustand der unbeschichteten Gesteine
(1 Teilstrich im Bild = 1cm, 1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

	Zustand der Beschichtung	Bild	Mikroskop
Savonnières Kalkbeschichtung	zuerst Blasenbildung dann Abplatzen der Beschichtung, Salze befinden sich in der Kalkbeschichtung		
Vicenza Kalkbeschichtung	zuerst Blasenbildung dann Abplatzen der Beschichtung, Salze befinden sich in der Kalkbeschichtung		

Tabelle 13: Zustand der kalkbeschichteten Gesteine
(1 Teilstrich im Bild = 1cm, 1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

	Zustand der Beschichtung	Bild	Mikroskop
Savonnières Siliconfarbe	Beschichtung kann nicht mehr beurteilt werden, starke Ausblühungen		
Vicenza Siliconfarbe	Beschichtung kann nicht mehr beurteilt werden, starke Ausblühungen		

Tabelle 14: Zustand der Siliconbeschichtung
(1 Teilstrich im Bild = 1cm, 1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

	Zustand der Beschichtung	Bild	Mikroskop
Nano Stone Protect	Beschichtung kann nicht mehr beurteilt werden, starke Ausblühungen		
Nano Finish A	Beschichtung kann nicht mehr beurteilt werden, starke Ausblühungen		
Nano Finish A+B	Beschichtung kann nicht mehr beurteilt werden, nur wenige Ausblühungen an der Oberfläche sichtbar		

Tabelle 15: Zustand der Beschichtungen mit Nanotechnologie
(1 Teilstrich im Bild = 1cm, 1 Teilstrich im Mikroskop = 1mm)

Zustand der Gesteinsoberfläche nach Entfernen der Salzausblühungen und der Beschichtung

	Zustand der Steinoberfläche	Bild
Savonnières unbeschichtet	leichtes Abbröseln der obersten Schicht und teilw. Abplatzungen, Salze lassen sich mit Pinsel relativ gut entfernen	
Vicenza unbeschichtet	Oberfläche sehr hart darunter BM teilweise ausgewaschen, Salze lassen sich mit Pinsel relativ gut entfernen	

Tabelle 16: Zustand der unbeschichteten Gesteinsoberflächen (1 Teilstrich im Bild = 1cm)

	Zustand der Steinoberfläche	Bild
Savonnières Kalkbeschichtung	gut, nur leichtes Abbröseln der obersten Schichte (ca. 0,5mm), Salze lassen sich mit dem Pinsel sehr leicht entfernen (befinden sich hauptsächlich in der Beschichtung)	
Vicenza Kalkbeschichtung	sehr guter Zustand sieht aus wie vorher, Salze lassen sich mit dem Pinsel sehr leicht entfernen (befinden sich hauptsächlich in der Beschichtung)	

Tabelle 17: Zustand der kalkbeschichteten Gesteinsoberflächen (1 Teilstrich im Bild = 1cm)

	Zustand der Steinoberfläche	Bild
Savonnières Siliconfarbe	Abbröseln und teilweises Abplatzen der Oberfläche, Salze lassen sich nur sehr schwer bis gar nicht mit dem Pinsel ablösen	
Vicenza Siliconfarbe	starke Beschädigung der Oberfläche, oberste Schichte sehr hart (schlecht abzulösen), darunter ist Stein sehr porös mit hohem Bindemittelverlust (viel stärker als ohne Beschichtung), Salze lassen sich nur sehr schwer bis gar mit dem Pinsel ablösen	

Tabelle 18: Zustand der Siliconbeschichteten Gesteinsoberflächen (1 Teilstrich im Bild = 1cm)

	Zustand der Steinoberfläche	Bild
Nano Stone Protect	starke Beschädigung der Oberfläche, Krusten bleiben am Stein haften und sind nicht ablösbar, darunter ist Stein sehr porös, hoher Bindemittelverlust, Salze lassen sich fast gar nicht mit dem Pinsel ablösen	
Nano Finish A	starke Beschädigung der Oberfläche, Krusten bleiben am Stein haften und sind nicht ablösbar, darunter ist Stein sehr porös, hoher Bindemittelverlust, Salze lassen sich fast gar nicht mit dem Pinsel ablösen	
Nano Finish A+B	Steinoberfläche wölbt sich auf (Steinblasen), Salze (fast keine Ausblühungen vorhanden) lassen sich nur sehr schwer mit dem Pinsel ablösen	

Tabelle 19: Zustand der Gesteinsoberflächen mit Nanotechnologie (1 Teilstrich im Bild = 1cm)

5.5 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

5.5.1 Sumpfkalkanstrich

Beim Sumpfkalkanstrich konnten 3 wesentliche Punkte beobachtet werden:

1. das Austrocknungsverhalten wird im Gegensatz zum unbeschichteten Stein fast nicht behindert. Eine stärkere Behinderung ist allerdings in Verbindung mit Salzen zu beobachten
2. das Wassereindringverhalten wird in der ersten Minute relativ stark behindert. Bei längerer Wassereinwirkung wird diese Hemmung allerdings immer schwächer bis schließlich kein Unterschied mehr zum unbeschichteten Stein vorhanden ist.
3. Sowohl bei den Frost-Tauwechselbelastungen als auch bei den Salzkristallisationsversuchen wurde die Kalkbeschichtung stark beschädigt. Das Gestein darunter war aber, sowohl im Vergleich mit den unbeschichteten Probekörpern als auch mit den anderen Beschichtungssystemen am besten geschützt, da fast keine Schädigungen der Steinsubstanz erkennbar waren.

Aus diesen Beobachtungen kann man folgende Schlüsse für die Verwendung des Kalkanstriches auf Fassaden ziehen:

1. Wasser, das sich im Baustoff befindet kann gut ausdiffundieren. Die Diffusion wird durch die Kalkbeschichtung nicht behindert. Lediglich in Verbindung mit Salzen tritt eine etwas stärkere Austrocknungsbehinderung auf, was aber mit der Einlagerung der Salze in die Kalkbeschichtung zusammenhängen kann.
2. Da bei einer Gebäudefassade Wasser von außen meist nur durch Regen in den Stein gelangt, und dieser als kurzfristige Belastung anzusehen ist, kann die Kalkbeschichtung sehr wohl als Schutz gegen diese Belastung angesehen werden. (guter w-Wert in den ersten Minuten). Außerdem kann das Wasser, das in den Stein gelangt, durch das gute Austrocknungsverhalten schnell wieder ausdiffundieren.

3. Die Kalkbeschichtung wird zwar durch Frost und Salze stark zerstört, der Stein darunter bleibt aber fast unbeschädigt. Somit kann gesagt werden, dass diese Beschichtung die Aufgabe einer Opferschicht erfüllt. Außerdem kann die Zerstörung der Beschichtung als „Warnsignal“ erachtet werden, und es kann in Form einer Erneuerung der Kalkbeschichtung, noch ein Fortschreiten der Zerstörung in die Gesteinssubstanz verhindert werden.

5.5.2 Siliconanstrich

Zusammenfassend kann man für den Siliconanstrich folgende Punkte deutlich machen:

1. Die Austrocknung wird wesentlich stärker behindert als bei den unbeschichteten und kalkbeschichteten Steinen.
2. Das Wassereindringen wird sowohl kurz- als auch längerfristig gut behindert.
3. In Verbindung mit Salzen sind sehr starke Schädigungen der Steinsubstanz erkennbar.
4. Bei den Frost-Tauwechselbelastungen kann man optisch zwar keine Beeinträchtigung des Steingefüges ausmachen, bei genauerer Untersuchung mit dem Ultraschallmessgerät sind allerdings doch stärkere Zerstörungen als bei den unbeschichteten Steinen zu beobachten.

Daraus kann folgendes interpretiert werden:

1. Die Wasserdampfdiffusion ist durch das langsame Austrocknungsverhalten relativ stark eingeschränkt, was bei starker Feuchtebelastung des Untergrundes zu großen Problemen führen kann.
2. Positiv zu Beurteilen ist jedenfalls die relativ starke Behinderung des Wassereintrittes durch die Beschichtung, was vor allem bei sehr wasserexponierten Bauten wie beispielsweise Brunnenanlagen eine wichtige Rolle spielen könnte. Da es sich im vorliegenden jedoch hauptsächlich um Fassadenanstriche handelt, nimmt diese Bedeutung eine eher untergeordnete Rolle ein.

3. Da die Siliconbeschichtung in Verbindung mit einer Salzbelastung sehr starke Schädigungen des darunter liegenden Steines bewirkt, ist diese Beschichtung bei Gebäuden mit starker Salzbelastung nicht zu empfehlen.
4. Bei den Frost-Tauwechselfersuchen kann man zwar nach 25 Zyklen sagen, dass die Beständigkeit einigermaßen ausreichend ist. Da der Stein allerdings bereits nach dieser eigentlich geringen Zyklenanzahl Schäden aufzuweisen scheint, müssten noch genauere Untersuchungen mit mehreren Zyklen durchgeführt werden um diesbezüglich eine bessere Aussage treffen zu können.

An Stellen wo keine oder nur geringe Salzbelastungen vorhanden sind und dort wo nur wenig Feuchtigkeitsandrang herrscht, kann die Siliconbeschichtung als geeignetes Anstrichsystem gewertet werden. Das wurde auch schon durch viele Anwendungen mit Langzeiterfahrungen bestätigt. Wird das Produkt also an einer geeigneten Stelle angewendet stellt es eine gute Opferschicht für den Stein dar. In sehr salz- und wasserexponierten Lagen wie beispielsweise Sockelbereichen sollte die Siliconbeschichtung allerdings eher nicht verwendet werden.

5.5.3 Anstriche basierend auf Nanotechnologie

Bei dieser Beschichtung kann folgendes zusammengefasst werden:

1. Die Austrocknung wird, ähnlich wie bei der Siliconbeschichtung sehr stark behindert.
2. Der Wassereintritt wird zwar längerfristig gesehen stark behindert, in der ersten Minute jedoch weniger als bei der Siliconbeschichtung.
3. Sowohl in Verbindung mit Salzen als auch bei den Frost-Tauwechselbelastungen sind starke Schäden erkennbar, die meist schlagartig und ohne Vorankündigung eintreten. Der Zeitpunkt und das Ausmaß des Schadenseintritts hängt von der jeweiligen Lagenanzahl ab. Vor allem bei den Salzkristallisationsversuchen erkennt man, dass, je mehr Lagen vorhanden sind, immer weniger Salze an der Oberfläche auskristallisieren können und den Stein unter der Beschichtung schädigen. Die Schäden der Steinsubstanz

sind jedenfalls um einige Größenordnungen höher als bei den unbeschichteten Gesteinen, was als äußerst problematisch angesehen werden muss.

Aus diesen Ergebnissen kann nun folgendes geschlossen werden:

Die hier verwendeten Beschichtungssysteme basierend auf Nanotechnologie sind als Natursteinschutz an Fassaden mit hoher Salz- und Wasserbelastung ungeeignet, da sie in solchen Bereichen dem Stein mehr Schaden als Nutzen zufügen. Die Laborversuche stellen allerdings Extremsituationen dar, die am Bauwerk nur in seltenen Fällen anzutreffen sind. Es kann also durchaus sein, dass die verwendeten Produkte an Stellen mit geringer Salz- und Wasserbelastung bzw. an Neubauten ein gutes Beschichtungssystem darstellen. An dieser Stelle soll auch erwähnt werden, dass im vorliegenden Fall Nanobeschichtungen von nur einem Hersteller untersucht wurden. Es wurden vom Hersteller keine genauen Angaben zur Produktzusammensetzung dieser Beschichtungssysteme ausgehändigt. Es sollen hier also nicht alle Beschichtungen die auf Nanotechnologie basieren in einen Topf geworfen werden, da natürlich die Art und Zusammensetzung der Beschichtung von größter Bedeutung für ihre Wirksamkeit ist!

6 Schlussfolgerung

Anhand der vorliegenden Ergebnisse konnte gezeigt werden, dass der Kalkanstrich sehr wohl eine Alternative oder sogar eine Verbesserung für die derzeit am Markt befindlichen Produkten darstellt. Wie kommt es also dass er trotzdem vom Markt verdrängt wurde? Vielleicht hängt das mit dem größten Manko des Kalkanstriches zusammen, und zwar dass er einerseits nicht homogen wirkt, da er beispielsweise bei Wasserbelastungen unterschiedlich austrocknet und deshalb unterschiedliche Farbtöne aufweist und andererseits rasch verwittert und dadurch für heutige Vorstellungen nicht mehr „schön“ aussieht. Außerdem muss er durch diese rasche Verwitterung oft erneuert werden, was aber wiederum zu Inhomogenitäten im Erscheinungsbild führt. Hammer schreibt dazu: „Auch die ästhetischen Normen, die Vorstellung von Schönheit, orientieren sich an der Fleckenreinheit des Neubaus. Spuren der Alterung und der Reparatur werden als störend und hässlich empfunden.“⁹⁴ Zur Authentizität von Gebäuden schreibt er weiters: „Was wir von der historischen Architektur sehen, nämlich die Oberfläche, sollte so beschaffen sein, dass der Unterschied zwischen Kopie und Original erlebbar bleibt.“ Hammer stellt sich also die Frage: Wollen wir überhaupt makellose Gebäude bzw. inwieweit ist ein historisches Gebäude bei Verwendung von optisch einwandfrei wirkenden Anstrichen noch authentisch? So schreibt auch Pescoller: „Anstriche aus Kalk lassen natürliche Alterung in der allmählichen Abwitterung zu, womit der Betrachter durch das Sichtbarlassen von Vergänglichkeit erst für Vergänglichkeit empfindbar gemacht wird.....der Anstrich an der Fassade vergeht wie die Menschen. Die Zeitlichkeit als ständiges Sichtbild wird eingebracht.“⁹⁵

Derzeit verwendete Produkte stellen auch insofern ein Problem dar, da es im Gegensatz zu den traditionellen Kalkanstrichen bei vielen Produkten keine Langzeiterfahrung gibt. Koller schreibt dazu: „Die derzeitige

⁹⁴ Hammer, 2002, S.423

⁹⁵ Pescoller, 1996, S.63

werbeintensive Produktphilosophie für Altbaupflege geht leider in die falsche Richtung, weil der Kunde selbst über keine Langzeiterfahrung mehr verfügt und in der Gewährleistungspflicht besondere Langlebigkeit vom Produkt auch nicht verlangt wird.“⁹⁶ Historisch wertvolle Gebäude werden teils mit den neuesten viel versprechenden Produkten „geschützt“ ohne zu wissen, wie sich diese Beschichtung längerfristig auf die Steinsubstanz auswirkt.

Nichts desto Trotz gibt es allerdings auch „moderne“ Beschichtungen, wie beispielsweise die Siliconbeschichtung, über die es sehr wohl positive Langzeiterfahrungen gibt. Doch vor allem im Zusammenhang mit neuen Steinschutzprodukten wie beispielsweise Beschichtungen basierend auf Nanotechnologie bedarf es noch eine Menge an Labor- und auch Feldversuchen, bevor diese Beschichtungssysteme an historischen Bauwerken zum Einsatz kommen. In diesem Zusammenhang soll erwähnt werden, dass bereits eine Musterfläche an den Restaurierwerkstätten des Bundesdenkmalamt in der Kartause Mauerbach mit den hier verwendeten Nanobeschichtungen angelegt wurde. Auch an der Votivkirche in Wien, wurde ein kleine Probefläche erstellt. Es ist wichtig zu verstehen, dass Laborversuche niemals die Natur nachstellen können, und es deshalb von besonderer Relevanz ist, Musterflächen an den verschiedensten klimaexponierten Lagen in der Natur aufzubringen, um dann die Beschichtung wirklich seriös evaluieren zu können. So lässt auch diese Arbeit keine genauen Rückschlüsse auf das reelle Verhalten der Situation am Bauwerk zu, sondern stellt lediglich einen Ansatz dar, der Trends aufzeigt.

Die wichtigste Schlussfolgerung aus den Ergebnissen ist jedenfalls, dass es kein optimales Beschichtungssystem für alle Objekte gibt, die es vor Verwitterung zu schützen gilt. Vielmehr muss man jedes Objekt gesondert beurteilen und darauf folgend den besten Anstrich für die jeweils vorhandene Situation und Zielsetzung auswählen.

⁹⁶ vgl. Koller, 1989, S.50

7 Ausblick

Es konnte aufgezeigt werden, dass die Kalkbeschichtung, im Vergleich mit den anderen geprüften Beschichtungen, den darunterliegenden Stein zwar am besten schützt, allerdings auch am schnellsten abwittert.

Da uns allerdings viele Kalkbeschichtungen über Jahrhunderte hinweg erhalten geblieben sind, stellt sich somit die Frage wie diese Anstriche einerseits präpariert und wie sie andererseits aufgetragen wurden.

An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass viele historische Kalkbeschichtungen mit Zusätzen von Proteinen wie Casein, Molkeeiweiß oder Blutplasma⁹⁷ „aufgewertet“ wurden und auch heute dem Kalk oft moderne Zusätze wie Primal beigemischt werden um unter anderem die Dauerhaftigkeit der Opferschichte zu erhöhen. Bei den hier beschriebenen Versuchen wurde allerdings nur ein einfacher Sumpfkalk ohne Zusätze und auch ohne Füllstoffe, die eine Erhöhung der Plastizität der Beschichtung zur Folge haben, verwendet. Auch der Auftrag der Beschichtung erfolgte eher nach „Gefühl“ als nach strikt vorgegebenen Richtlinien. Es gibt zwar einige Richtlinien die sich mit dem Auftragen der Kalkbeschichtung beschäftigen, doch auch diese lassen meistens einen relativ großen Interpretationsspielraum zu.⁹⁸

Es sind derzeit schon viele Forschungsergebnisse vorhanden, die sich vor allem mit den Auswirkungen verschiedener Zusätze in der Kalkbeschichtung beschäftigen⁹⁹, allerdings gibt es auf diesem Gebiet noch sehr viel zu eruieren.

Wichtig wäre, eine genau detaillierte Verarbeitungsrichtlinie für Kalkanstriche anzufertigen, die zum einen die möglichen Zusatzstoffe und ihre Auswirkungen beschreibt, und zum anderen die alten Handwerksregeln beinhaltet, die man sich wieder aneignen muss. Um solch eine Richtlinie herzustellen, müssen allerdings noch viele Forschungen und Untersuchungen durchgeführt werden.

⁹⁷ vgl. Winnefeld/Böttger/Knöfel, 2001, S.41-42

⁹⁸ vgl. Bundesdenkmalamt 2000 und 2001

⁹⁹ vgl. beispielsweise Koller/Nimmrichter/Paschinger/Richard, 1996, S.143-150

8 Literaturverzeichnis

8.1 Literatur

BUNDESDENKMALAMT Wien:

(2001): Mitteilungen zur Konservierung und Restaurierung - Fassaden-Blatt 4. Wien

(2000): Mitteilung zur Konservierung und Restaurierung - Stein-Blatt 7. Wien

DREYER, J. (2004):

(2004a): Bauphysikalische Diagnose - 1. Teil.

(2004b): Bauphysikalische Diagnose - 2. Teil.

Vorlesungsunterlagen, Technische Universität Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz

FLEISCHER, G. (2002):

Beurteilung von Ultraschalluntersuchungen an Natursteinobjekten in der Denkmalpflege.

Unveröffentl. Dissertation, TU-Wien

GASPAR, B. (1995):

Der "Weiße Stein von Eggenburg" - Der Zogelsdorfer Kalksandstein und seine Meister. - "Das Waldviertel", 44. Jg. 1995, Heft 4, Krahuletz - Gesellschaft in Eggenburg, Kulturreferat der Stadt Eggenburg. Eggenburg

GROCHAL, P. (1994):

Eigenschaften und Mikrostruktur der Fassadenbeschichtungen. In: Weber, H. (Hrsg.): Fassadenschutz und Bausanierung - der Leitfaden für die Sanierung, Konservierung und Restaurierung von Gebäuden. (S.324-350). Renningen-Malmsheim

GSCHAIDER, F. (2002):

Laboruntersuchungen zur Salzkristallisation an Festgesteinen. Unveröffentl. Diplomarbeit, TU-Wien

HAMMER, I. (2002):

Kalk in Wien. In: Restauro, Nr.6. (S.414-425). München

KARSTEN, R. (1960):

Bauchemie für Schule und Baupraxis. Heidelberg

KERNER, C. (2005):

Konsolidierung von historischen Kalkputzen mit Kalkwasser und Bakterien. Unveröffentl. Diplomarbeit, TU-Wien

- KIESLINGER, A. (1932):
Zerstörungen an Steinbauten. Leipzig und Wien
- KNOBLAUCH, H. / SCHNEIDER, U. (1995):
Bauchemie, 4. Auflage. Düsseldorf
- KOLLER, M.:
(1989): Denkmalpflege mit Opferschichten. In: Österreichische Zeitschrift für Kunst und Denkmalpflege. (S.48-53). Wien
(2003a): „Steinfarbe“ und „Ziegelfarbe“ in der Architektur und Skulptur vom 13.-19. Jahrhundert - Teil1: Quellen und Befunde für Mittelalter und frühe Neuzeit. In Restauro, Nr.1. (S.32-38). München
(2003b): „Steinfarbe“ und „Ziegelfarbe“ in der Architektur und Skulptur vom 13.-19. Jahrhundert - Teil2: Quellen und Befunde für Renaissance und Barock. In Restauro, Nr.2. (S.123-129). München
(2004): „Diese Farbenkruste wurde hinweggeräumt“- Die einstigen Farben des Wiener Stephansdomes. In: Restauro, Nr.2. (S.118-124). München
- KOLLER, M. / NIMMRICHTER, J. / PASCHINGER, H. / RICHARD, H.:
(1996): Opferschichten in der Steinkonservierung – Theorie und Praxis. In: Restauratorenblätter, Band 17. (S.143-150). Klosterneuburg-Wien
(2000): Sacrificial layers for conservation of calcareous stone in Austria – Theory, practice and evaluation. In: Fassina V. (Ed.): 9th international congress on deterioration and conservation of stone. (S.903-913). Venice
- KRAUTKRÄMER, J. und H. (1986):
Werkstoffprüfung mit Ultraschall, 5. Auflage. Berlin/Heidelberg/New York
- NIMMRICHTER, J. (2006)
Natursteinkonservierung – immer eine Herausforderung (unveröffentl.). Bundesdenkmalamt Wien
- NIMMRICHTER, J. / KOLLER, M. (2001):
Opferschichten auf Kalksandstein und Kalkstein – Langzeitperspektiven einer präventiven Konservierungsmethode. In: Turm-Fassade-Portal, Colloquium zur Bauforschung, Kunstwissenschaft und Denkmalpflege an den Domen von Wien, Prag und Regensburg. (S.121.126). Regensburg
- PESCOLLER, M. (1996):
Anstrichsysteme und ihre Ideologie. In: Restauratorenblätter, Band 16. (S-57-65). Klosterneuburg-Wien
- ROHATSCH, A. (2004):
Verwitterung von Naturstein. In: Bauzeitung, Band 19. (S-33-36). Wien

- SAUDER, M. / SCHLOENBACH, R. (1995):
Schadenfreies Bauen, Band 11, Schäden an Außenmauerwerk aus
Naturstein: Stuttgart
- SCHMIDT, F. (1998):
unveröffent. Vorlesungsunterlagen Denkmalschutz und Denkmalpflege.
HTL-Krems
- STEININGER, F. F. / ROETZEL, R. (2005):
Die Zogelsdorfer Kalksandsteine im nördlichen Niederösterreich. In:
SCHWAIGHOFER, B. / EPPENSTEINER, W. (Hrsg.): Reihe: Nutzbare
Gesteine von Niederösterreich und Burgenland, Band: „Junge“ Kalke,
Sandsteine und Konglomerate - Neogen. Mitteilungen IAG BOKU, Wien
- TUCKER, M. E. / WRIGHT V. P. (1990):
Carbonate Sedimentology. London
- TORRACA, G. / WEBER, J. (1986):
Poröse Baustoffe - Eine Materialkunde für die Denkmalpflege. In:
BANIK, G. / KRIST, G. (Hrsg): Restaurierung - Konservierung -
Technologie, Band II. Wien (Der Apfel)
- TSCHEGG, E.K. / WIDHALM, C. / EPPENSTEINER, W. (1999):
Ursachen mangelnder Formbeständigkeit von Marmorplatten, Z. dt.
geolog. Band 150/2. (S.283-297). Stuttgart
- WEBER, H.:
(1977): Steinreinigung und Steinkonservierung. Lehrgang 3378/79.64.
Technische Akademie Esslingen
(1994): Fassadenschutz und Bausanierung - der Leitfaden für die
Sanierung, Konservierung und Restaurierung von Gebäuden.
Renningen-Malmsheim
- WITTMANN, F. H.:
(1993): Werkstoffwissenschaften und Bausanierung - Teil 1. Ehningen
bei Böblingen
(1994): Feuchtigkeitsaufnahme und Feuchtigkeitstransport in porösen
Baustoffen. In: Weber, H. (Hrsg.): Fassadenschutz und Bausanierung -
der Leitfaden für die Sanierung, Konservierung und Restaurierung von
Gebäuden. (S.57-79). Renningen-Malmsheim
- WINNEFELD, F. / BÖTTGER, K. G. / KNÖFEL, D. (2001):
Historische Kalkmörtel – Restaurierung für die Torhalle Lorsch. In
Restauro, Nr.1. (S.40-45). München

8.2 verwendete Normen und Richtlinien

ÖNORM B 3121 – Prüfung von Naturstein

Reindichte, Rohdichte, Schüttdichte. 1. Juni 1978

ÖNORM EN 12370 – Prüfverfahren für Naturstein

Bestimmung des Widerstandes gegen Kristallisation von Salzen. 1. Juni 1999

ÖNORM EN 12371 – Prüfverfahren für Naturstein

Bestimmung des Frostwiderstandes. 1. Jänner 2002

ÖNORM EN 13755 – Prüfverfahren für Naturstein

Bestimmung der Wasseraufnahme unter atmosphärischen Druck. 1. März 2002

ÖNORM EN 14579 – Prüfverfahren für Naturstein

Bestimmung der Geschwindigkeit der Schallausbreitung. 1. Jänner 2005

ÖNORM EN 1925 – Prüfverfahren für Naturstein

Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten infolge Kapillarwirkung. 1. Juni 1999

ÖNORM EN 1936 – Prüfverfahren für Naturstein

Bestimmung der Reindichte, rohichte, der offenen Porosität und der Gesamtporosität. 1. Oktober 1999

8.3 Internetquellen

BÖRNER, K. / HILL, D. (2007):

Große Enzyklopädie der Steine. Online im WWW unter

URL: <http://www.naturstein-datenbank.de> [Stand: 05.10.06]

BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN KALKINDUSTRIE e.V.

http://www.kalk.de/ueber/lexikon_r-u.html [18.12.2006]

ENIUS

Grundinformation Farben

URL: <http://enius.de/wohnen/farben.html> [Stand: 18.12.2006]

HANKAMMER GmbH

URL: http://www.hankammer.de/Instrumentarium_/Karsten/karsten.html [Stand: 28.11.2006]

LENZE, W. (2007):

Fachwerkhäuser restaurieren-sanieren-modernisieren - Maler- und Anstricharbeiten, 5.Auflage. Stuttgart. Online im WWW unter URL:

<http://www.schadis.de/dokument.jsp?id=lenze56.htm> [Stand: 18.12.2006]

SWISS RE

URL: [http://www.swissre.com/INTERNET/pwsfilpr.nsf/vwFilebyIDKEYLu/ULUR-5YNGCZ/\\$FILE/Publ04_Nanotech_de.pdf](http://www.swissre.com/INTERNET/pwsfilpr.nsf/vwFilebyIDKEYLu/ULUR-5YNGCZ/$FILE/Publ04_Nanotech_de.pdf)
[Stand: 18.12.2006]

UMWELTBUNDESAMT

URL: http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/chemikalien/chem_kennzeichnung/nanotechnologie/ [Stand: 27.12.2006]

WIKIPEDIA

Absorptionsgrad

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Absorptionsgrad> [Stand: 21.12.2006]

Anorganik

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Organisch> [Stand: 18.12.2006]

Kalk

URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Technischer_Kalkkreislauf#Gel.C3.B6schter_Kalk [Stand: 18.12.2006]

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sumpfkalk> [Stand: 18.12.2006]

Lotusblüteneffekt

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Lotuseffekt> [Stand: 18.12.2006]

Nanotechnologie

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Nanotechnologie> [Stand: 10.10.06]

URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Glas_mit_selbstreinigenden_Eigenschaften [Stand: 18.12.2006]

Ultraschall

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Ultraschall> [Stand: 06.10.06]

9 Anhang

9.1 Voruntersuchungen

9.1.1 Messung der Ultraschallgeschwindigkeit

	Abmessungen [mm]					Durchschallzeit [μ s]									
	1-6	2-5	3-8	4-7	Mitte	1	2	3	4	5	6	7	8	Mitte	
S-VO-1	88,0	88,0	88,3	88,5	25,6	27,3	27,6	29,1	29,5	27,8	27,4	29,6	29,1	7,9	
S-VO-2	88,5	88,4	88,5	88,6	25,6	30,6	30,5	28,3	28,8	30,5	30,6	28,7	28,3	8,1	
S-VO-3	87,8	87,9	88,0	88,0	24,4	30,0	29,7	27,5	28,3	30,0	29,9	28,5	27,8	7,6	
V-VO-1	88,7	88,5	88,2	88,3	24,5	24,5	25,0	27,3	26,2	24,9	24,7	26,5	27,0	7,0	
V-VO-2	88,2	88,4	87,5	87,4	24,6	27,4	26,4	25,6	25,5	26,7	27,4	25,5	25,5	6,9	
V-VO-3	88,5	88,4	89,0	88,7	24,6	26,0	26,7	25,3	25,0	26,8	25,8	25,1	25,2	7,1	

	Durchschallgeschwindigkeit [km/s]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	Mitte	\emptyset	
S-VO-1	3,2	3,2	3,0	3,0	3,2	3,2	3,0	3,0	3,2	3,1	
S-VO-2	2,9	2,9	3,1	3,1	2,9	2,9	3,1	3,1	3,2	3,0	
S-VO-3	2,9	3,0	3,2	3,1	2,9	2,9	3,1	3,2	3,2	3,1	
									\emptyset	3,1	

	Durchschallgeschwindigkeit [km/s]										
	1	2	3	4	5	6	7	8	Mitte	\emptyset	
V-VO-1	3,6	3,5	3,2	3,4	3,6	3,6	3,3	3,3	3,5	3,4	
V-VO-2	3,2	3,3	3,4	3,4	3,3	3,2	3,4	3,4	3,6	3,4	
V-VO-3	3,4	3,3	3,5	3,5	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5	3,4	
									\emptyset	3,4	

9.1.2 Wasseraufnahmeverhalten

Zeit [h]	Zeit [min]	S-VO-1	m-%	S-VO-2	m%	S-VO-3	m%	Ø
0,00	0,00	340,718	0,000	335,755	0,000	317,361	0,000	0,000
0,02	1,00	356,515	4,636	349,598	4,123	331,046	4,312	4,357
0,03	2,00	361,870	6,208	354,518	5,588	335,905	5,843	5,880
0,05	3,00	365,262	7,204	357,666	6,526	338,886	6,782	6,837
0,07	4,00	368,149	8,051	360,697	7,429	341,681	7,663	7,714
0,08	5,00	370,480	8,735	363,219	8,180	344,138	8,437	8,451
0,12	7,00	373,643	9,663	366,913	9,280	347,571	9,519	9,488
0,17	10,00	373,984	9,763	369,696	10,109	349,751	10,206	10,026
0,25	15,00	374,225	9,834	370,990	10,494	350,222	10,354	10,228
0,35	21,00	374,203	9,828	371,048	10,512	350,566	10,463	10,267
0,50	30,00	374,274	9,849	370,915	10,472	350,441	10,423	10,248
0,75	45,00	374,218	9,832	371,228	10,565	350,450	10,426	10,275
1,00	60,00	374,305	9,858	371,101	10,527	350,427	10,419	10,268
1,50	90,00	374,266	9,846	371,088	10,523	350,401	10,411	10,260
2,00	120,00	374,051	9,783	370,782	10,432	350,595	10,472	10,229
3,00	180,00	373,806	9,711	370,604	10,379	350,113	10,320	10,137
4,50	270,00	373,765	9,699	370,475	10,341	350,007	10,287	10,109
5,00	300,00	373,964	9,758	370,534	10,358	350,075	10,308	10,141
6,50	390,00	374,101	9,798	370,810	10,441	350,113	10,320	10,186
22,75	1365,00	375,298	10,149	371,102	10,528	350,325	10,387	10,355
24,50	1470,00	375,725	10,274	371,447	10,630	350,439	10,423	10,443
25,50	1530,00	375,715	10,272	371,310	10,590	350,400	10,411	10,424
26,00	1560,00	375,704	10,268	371,522	10,653	350,733	10,515	10,479
28,00	1680,00	375,788	10,293	371,584	10,671	350,678	10,498	10,487
30,00	1800,00	375,935	10,336	371,697	10,705	350,868	10,558	10,533
31,25	1875,00	376,257	10,431	371,681	10,700	350,774	10,528	10,553
48,00	2880,00	377,384	10,761	372,611	10,977	351,820	10,858	10,865
50,00	3000,00	377,506	10,797	372,881	11,057	351,994	10,913	10,922
51,00	3060,00	377,393	10,764	372,905	11,065	351,922	10,890	10,906
52,00	3120,00	377,487	10,792	373,182	11,147	352,510	11,075	11,005
54,00	3240,00	377,490	10,793	373,015	11,097	352,112	10,950	10,947
72,42	4345,00	378,506	11,091	374,011	11,394	353,250	11,309	11,264
119,12	7147,00	379,572	11,404	375,017	11,694	354,270	11,630	11,576
121,83	7310,00	379,327	11,332	374,948	11,673	354,437	11,683	11,562
125,57	7534,00	379,303	11,325	374,991	11,686	354,425	11,679	11,563
	m _{feucht}	379,100		374,800		354,300		
	m _{Auftrieb}	184,800		179,200		170,400		

Zeit [h]	Zeit [min]	V-VO-1	m-%	V-VO-2	m-%	V-VO-3	m-%	Ø
0,00	0	374,076	0,000	353,866	0,000	375,358	0,000	0,000
0,02	1	402,757	7,667	377,782	6,758	404,554	7,778	7,401
0,03	2	407,050	8,815	382,139	7,990	408,660	8,872	8,559
0,05	3	407,495	8,934	384,970	8,790	410,555	9,377	9,033
0,07	4	408,110	9,098	386,364	9,184	410,375	9,329	9,204
0,08	5	407,616	8,966	387,149	9,406	410,857	9,457	9,276
0,17	10	407,504	8,936	388,206	9,704	410,360	9,325	9,322
0,33	20	407,624	8,968	388,178	9,696	410,512	9,365	9,343
0,50	30	407,494	8,933	388,150	9,688	410,498	9,362	9,328
1,00	60	407,670	8,981	388,141	9,686	410,944	9,481	9,382
1,50	90	407,894	9,040	388,292	9,729	410,861	9,458	9,409
1,75	105	408,038	9,079	388,080	9,669	410,910	9,471	9,406
2,58	155	408,228	9,130	388,286	9,727	411,042	9,507	9,454
3,00	180	408,384	9,171	388,464	9,777	411,199	9,548	9,499
3,50	210	408,391	9,173	388,564	9,805	411,544	9,640	9,540
4,00	240	408,630	9,237	388,600	9,816	411,477	9,623	9,558
4,50	270	408,393	9,174	388,560	9,804	411,198	9,548	9,509
5,00	300	408,437	9,186	388,484	9,783	411,210	9,551	9,507
5,50	330	408,936	9,319	388,608	9,818	411,627	9,663	9,600
6,00	360	408,678	9,250	388,532	9,796	411,251	9,562	9,536
22,15	1329	409,677	9,517	389,524	10,077	412,362	9,858	9,817
23,50	1410	409,782	9,545	389,771	10,146	412,705	9,950	9,880
24,00	1440	410,035	9,613	389,942	10,195	412,780	9,970	9,926
25,00	1500	410,140	9,641	390,058	10,228	412,966	10,019	9,963
27,00	1620	409,888	9,573	389,918	10,188	412,732	9,957	9,906
28,50	1710	410,205	9,658	389,941	10,195	412,742	9,960	9,937
30,15	1809	410,147	9,643	389,971	10,203	412,691	9,946	9,931
46,50	2790	410,578	9,758	390,330	10,304	413,043	10,040	10,034
48,00	2880	410,475	9,730	390,548	10,366	413,304	10,109	10,069
49,00	2940	410,664	9,781	390,759	10,426	413,320	10,114	10,107
53,00	3180	410,813	9,821	390,687	10,405	413,185	10,078	10,101
55,00	3300	410,904	9,845	390,867	10,456	413,547	10,174	10,158
72,00	4320	411,214	9,928	391,149	10,536	413,530	10,169	10,211
75,00	4500	411,259	9,940	391,275	10,572	413,755	10,229	10,247
78,00	4680	411,421	9,983	391,540	10,646	413,765	10,232	10,287
96,13	5768	411,830	10,093	392,011	10,780	414,162	10,338	10,403
142,92	8575	412,247	10,204	392,147	10,818	414,314	10,378	10,467
145,58	8735	412,178	10,186	392,061	10,794	414,448	10,414	10,464
149,33	8960	412,234	10,201	392,088	10,801	413,826	10,248	10,417
	m _{feucht}	412,100		392,000		413,800		
	m _{Auftrieb}	224,800		212,300		226,000		

9.1.3 Wasserabgabeverhalten

Zeit (min)	Zeit [h]	V-VO-1	m-%	V-VO-2	m-%	V-VO-3	m-%	Mittelwert
m_{trocken}		374,076		353,866		375,358		
0	0,00	412,390	10,24	392,448	10,90	414,437	10,41	10,52
1	0,02	412,336	10,23	392,380	10,88	414,392	10,40	10,50
2	0,03	412,297	10,22	392,341	10,87	414,341	10,39	10,49
3	0,05	412,248	10,20	392,288	10,86	414,284	10,37	10,48
4	0,07	412,204	10,19	392,245	10,85	414,240	10,36	10,47
5	0,08	412,151	10,18	392,202	10,83	414,195	10,35	10,45
10	0,17	411,977	10,13	392,021	10,78	413,986	10,29	10,40
15	0,25	411,800	10,08	391,849	10,73	413,802	10,24	10,35
20	0,33	411,653	10,05	391,705	10,69	413,654	10,20	10,31
60	1,00	410,607	9,77	390,642	10,39	412,458	9,88	10,01
120	2,00	409,028	9,34	389,073	9,95	410,800	9,44	9,58
180	3,00	407,465	8,93	387,545	9,52	409,132	9,00	9,15
240	4,00	405,874	8,50	386,047	9,09	407,520	8,57	8,72
300	5,00	405,272	8,34	384,517	8,66	405,891	8,13	8,38
350	5,83	402,975	7,73	383,283	8,31	404,597	7,79	7,94
1380	23,00	382,403	2,23	363,442	2,71	387,080	3,12	2,69
1440	24,00	381,334	1,94	362,183	2,35	386,228	2,90	2,40
1500	25,00	380,439	1,70	361,120	2,05	385,504	2,70	2,15
1560	26,00	379,510	1,45	360,044	1,75	384,742	2,50	1,90
1620	27,00	378,654	1,22	359,042	1,46	384,017	2,31	1,66
1680	28,00	377,946	1,03	358,244	1,24	383,406	2,14	1,47
1755	29,25	377,166	0,83	357,365	0,99	382,706	1,96	1,26
1800	30,00	376,782	0,72	356,920	0,86	382,330	1,86	1,15
2940	49,00	373,729	-0,09	353,439	-0,12	377,671	0,62	0,13
3060	51,00	373,697	-0,10	353,418	-0,13	377,439	0,55	0,11
3120	52,00	373,687	-0,10	353,409	-0,13	377,333	0,53	0,10
3180	53,00	373,684	-0,10	353,403	-0,13	377,241	0,50	0,09

Zeit (min)	Zeit [h]	S-VO-1	m-%	S-VO-2	m-%	S-VO-3	m-%	Mittelwert
m_{trocken}		340,718		335,755		317,361		
0	0,00	379,925	11,51	375,494	11,84	354,774	11,79	11,71
1	0,02	379,857	11,49	375,445	11,82	354,737	11,78	11,70
2	0,03	379,814	11,47	375,404	11,81	354,688	11,76	11,68
3	0,05	379,766	11,46	375,356	11,79	354,644	11,75	11,67
4	0,07	379,719	11,45	373,317	11,19	354,598	11,73	11,46
5	0,08	379,676	11,43	375,274	11,77	354,553	11,72	11,64
10	0,17	379,493	11,38	375,097	11,72	354,372	11,66	11,59
15	0,25	379,337	11,33	374,931	11,67	354,213	11,61	11,54
20	0,33	379,187	11,29	374,779	11,62	354,046	11,56	11,49
60	1,00	378,014	10,95	373,556	11,26	352,825	11,17	11,13
120	2,00	376,386	10,47	371,882	10,76	351,121	10,64	10,62
180	3,00	374,702	9,97	370,175	10,25	349,354	10,08	10,10
240	4,00	373,058	9,49	368,554	9,77	347,694	9,56	9,61
300	5,00	371,480	9,03	366,963	9,29	346,077	9,05	9,12
350	5,83	370,619	8,78	366,123	9,04	345,198	8,77	8,86
1380	23,00	348,455	2,27	346,035	3,06	325,198	2,47	2,60
1440	24,00	347,549	2,00	345,301	2,84	324,576	2,27	2,37
1500	25,00	346,640	1,74	344,545	2,62	323,945	2,07	2,14
1560	26,00	345,802	1,49	343,785	2,39	323,323	1,88	1,92
1620	27,00	345,068	1,28	343,078	2,18	322,772	1,70	1,72
1680	28,00	344,385	1,08	342,400	1,98	322,266	1,55	1,53
1755	29,25	343,868	0,92	341,861	1,82	321,853	1,42	1,39
1800	30,00	343,563	0,84	341,527	1,72	321,584	1,33	1,29
2940	49,00	340,272	-0,13	336,501	0,22	317,474	0,04	0,04
3060	51,00	340,191	-0,15	336,211	0,14	317,265	-0,03	-0,02
3120	52,00	340,163	-0,16	336,091	0,10	317,187	-0,05	-0,04
3180	53,00	340,149	-0,17	335,976	0,07	317,107	-0,08	-0,06

9.2 Austrocknungsverhalten der beschichteten Proben

9.2.1 Austrocknungsverhalten mit reinem Wasser

		SAVONNIERES UNBESCHICHTET							
Probennummer:		S-O-W-1	S-O-W-2	S-O-W-3					
Masse trocken:		397,60 g	375,52 g	375,56 g					
Breite b1 [mm]		88,00 mm	88,00 mm	88,00 mm					
Breite b2 [mm]		87,00 mm	88,00 mm	87,50 mm					
Fläche A [mm ²]		7656,00 mm ²	7744,00 mm ²	7700,00 mm ²					
Höhe h [mm]		25,00 mm	25,00 mm	25,00 mm					
Waage:		groß		klein		klein			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	432,60	8,80	412,78	9,92	409,60	9,06	9,26	
0,02	1	432,57	8,80	412,74	9,91	409,55	9,05	9,25	
0,03	2	432,55	8,79	412,72	9,91	409,52	9,04	9,25	
0,05	3	432,52	8,78	412,70	9,90	409,51	9,04	9,24	
0,07	4	432,51	8,78	412,69	9,90	409,48	9,03	9,24	
0,08	5	432,50	8,78	412,67	9,89	409,47	9,03	9,23	
0,17	10	432,41	8,76	412,58	9,87	409,37	9,00	9,21	
0,25	15	432,33	8,73						
0,28	17			412,46	9,84	409,26	8,97		
0,33	20	432,29	8,72	412,41	9,82	409,21	8,96	9,17	
0,42	25	432,20	8,70	412,30	9,79	409,10	8,93	9,14	
0,50	30	432,13	8,68	412,19	9,77	409,10	8,93	9,13	
0,58	35	432,09	8,67	412,09	9,74	408,90	8,88	9,10	
0,75	45	431,95	8,64						
0,92	55	431,80	8,60	411,70	9,63	408,50	8,77	9,00	
1,00	60	431,73	8,58	411,62	9,61	408,42	8,75	8,98	
1,25	75	431,52	8,53	411,30	9,53	408,14	8,68	8,91	
1,75	105	431,05	8,41	410,75	9,38	407,58	8,53	8,77	
2,00	120	430,80	8,35	410,49	9,31	407,31	8,45	8,71	
2,25	135	430,50	8,27	410,11	9,21	406,97	8,36	8,62	
2,50	150	430,29	8,22	409,90	9,16	406,75	8,30	8,56	
3,00	180	429,80	8,10						
3,17	190			409,31	9,00	406,22	8,16		
3,50	210	429,32	7,98	409,06	8,93	405,95	8,09	8,33	
4,00	240	428,89	7,87						
4,08	245			408,42	8,76	405,35	7,93	8,18	
5,00	300	427,98	7,64					7,94	
5,08	305			407,37	8,48	404,30	7,65		
5,38	323	427,63	7,55	407,04	8,39	404,00	7,57	7,84	
21,88	1313	416,19	4,68					4,69	
22,25	1335	415,90	4,60					4,62	
23,63	1418			393,30	4,73	390,50	3,98	4,36	
24,30	1458	414,60	4,28					4,22	
24,40	1464			392,61	4,55	389,80	3,79		
26,57	1594	413,05	3,89						
28,63	1718			389,61	3,75	386,74	2,98	3,47	
29,02	1741			389,31	3,67	386,41	2,89		
29,63	1778			389,01	3,59	386,08	2,80	3,33	
48,73	2924			383,24	2,06	380,50	1,32		
49,32	2959	404,30	1,69						
50,03	3002			382,94	1,98	380,28	1,26	1,62	
51,27	3076	403,80	1,56						
54,85	3291			381,93	1,71	379,48	1,04	1,38	
72,30	4338			379,26	1,00	377,59	0,54	0,77	
112,03	6722			376,19	0,18	376,06	0,13	0,16	
								Ø	
g/h/m ² (30-300min)		120,46		135,80		136,01		130,76	

		VICENZA UNBESCHICHTET						
Probennummer:		V-O-W-1	V-O-W-2	V-O-W-3				
Masse trocken:		430,98 g	425,02 g	444,79 g				
Breite b1 [mm]		89,00 mm	88,00 mm	88,50 mm				
Breite b2 [mm]		87,00 mm	88,00 mm	87,50 mm				
Fläche A [mm ²]		7743,00 mm ²	7744,00 mm ²	7743,75 mm ²				
Höhe h [mm]		25,00 mm	25,00 mm	26,50 mm				
Waage:		groß	groß	groß				
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø
0,00	0	469,00	8,82	462,90	8,91	484,38	8,90	8,88
0,02	1	468,95	8,81	462,90	8,91	484,33	8,89	8,87
0,03	2	468,92	8,80	462,90	8,91	484,30	8,88	8,87
0,05	3	468,90	8,80	462,89	8,91	484,30	8,88	8,86
0,07	4	468,90	8,80	462,85	8,90	484,30	8,88	8,86
0,08	5	468,90	8,80	462,85	8,90	484,26	8,87	8,86
0,25	15	468,71	8,75	462,70	8,87	484,10	8,84	8,82
0,33	20	468,68	8,75	462,62	8,85	484,05	8,83	8,81
0,42	25	468,60	8,73	462,58	8,84	483,99	8,81	8,79
0,58	35	468,44	8,69	462,41	8,80	483,80	8,77	8,75
0,75	45	468,30	8,66	462,29	8,77	483,64	8,73	8,72
0,92	55	468,18	8,63	462,12	8,73	483,49	8,70	8,69
1,00	60	468,10	8,61	462,07	8,72	483,40	8,68	8,67
1,25	75	467,88	8,56	461,82	8,66	483,14	8,62	8,61
1,50	90	467,66	8,51	461,62	8,61	482,90	8,57	8,56
1,95	117	467,23	8,41	461,25	8,52	482,51	8,48	8,47
2,25	135	466,98	8,35	460,99	8,46	482,22	8,42	8,41
2,80	168	466,41	8,22	460,42	8,33	481,58	8,27	8,27
3,10	186	466,00	8,13	460,06	8,24	481,10	8,16	8,18
3,57	214	465,50	8,01	459,58	8,13	480,56	8,04	8,06
4,00	240	465,02	7,90	459,10	8,02	479,97	7,91	7,94
4,25	255	464,74	7,83	458,79	7,95	479,61	7,83	7,87
4,50	270	464,30	7,73	458,32	7,83	478,98	7,69	7,75
5,00	300	463,80	7,62	457,72	7,69	478,40	7,56	7,62
23,13	1388	450,55	4,54	444,35	4,55	464,55	4,44	4,51
24,43	1466	449,40	4,27	443,12	4,26	463,29	4,16	4,23
25,68	1541	448,28	4,01	441,99	3,99	462,09	3,89	3,97
27,03	1622	447,21	3,77	440,90	3,74	460,94	3,63	3,71
27,83	1670	446,59	3,62	440,20	3,57	460,29	3,48	3,56
46,32	2779	437,41	1,49	430,89	1,38	451,23	1,45	1,44
48,05	2883	436,90	1,37	430,36	1,26	450,74	1,34	1,32
49,38	2963	436,50	1,28	430,04	1,18	450,42	1,27	1,24
51,77	3106	435,80	1,12	429,45	1,04	449,82	1,13	1,10
71,35	4281	432,80	0,42	426,58	0,37	446,70	0,43	0,41
73,82	4429	432,59	0,37	426,37	0,32	446,48	0,38	0,36
g/h/m² (30-300min)		135,68		139,15		160,97		145,27

SAVONNIÈRES + KALK									
Probennummer:		S-K-W-1		S-K-W-2		S-K-W-3			
Masse trocken:		350,55 g		378,33 g		360,05 g			
Breite b1 [mm]		88,00 mm		87,00 mm		88,50 mm			
Breite b2 [mm]		88,50 mm		88,00 mm		86,00 mm			
Fläche A [mm ²]		7788,00 mm ²		7656,00 mm ²		7611,00 mm ²			
Höhe h [mm]		25,00 mm		25,00 mm		25,00 mm			
Waage:		klein		klein		klein			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	379,20	8,17	411,58	8,79	388,09	7,79	8,25	
0,02	1	379,18	8,17	411,55	8,78	388,07	7,78	8,24	
0,03	2	379,15	8,16	411,51	8,77	388,03	7,77	8,23	
0,05	3	379,13	8,15	411,49	8,76	388,01	7,77	8,23	
0,07	4	379,10	8,14	411,47	8,76	387,98	7,76	8,22	
0,08	5	379,09	8,14	411,45	8,75	387,96	7,75	8,22	
0,17	10	378,98	8,11	411,31	8,72	387,84	7,72	8,18	
0,25	15	378,87	8,08	411,23	8,70	387,75	7,69	8,16	
0,33	20	378,77	8,05	411,13	8,67	387,64	7,66	8,13	
0,42	25	378,69	8,03	411,05	8,65	387,58	7,65	8,11	
0,50	30	378,60	8,00	410,97	8,63	387,49	7,62	8,08	
0,58	35	378,30	7,92	410,88	8,60	387,41	7,60	8,04	
0,75	45	378,30	7,92	410,67	8,55	387,21	7,54	8,00	
1,00	60	378,04	7,84	410,43	8,48	386,95	7,47	7,93	
1,25	75	377,85	7,79	410,25	8,44	386,76	7,42	7,88	
1,48	89	377,68	7,74	410,07	8,39	386,59	7,37	7,83	
2,67	160	376,72	7,47	409,20	8,16	385,72	7,13	7,58	
3,83	230	375,67	7,17	408,15	7,88	384,64	6,83	7,29	
4,40	264	375,23	7,04	407,72	7,77	384,20	6,71	7,17	
5,00	300	374,76	6,91	407,26	7,65	383,74	6,58	7,04	
23,10	1386	361,84	3,22	394,87	4,37	372,10	3,35	3,65	
24,40	1464	361,03	2,99	393,96	4,13	371,31	3,13	3,42	
29,25	1755	358,54	2,28	390,69	3,27	368,62	2,38	2,64	
46,70	2802	354,42	1,10	384,26	1,57	364,08	1,12	1,26	
86,40	5184	351,13	0,17	379,56	0,33	360,63	0,16	0,22	
g/h/m² (30-300min)		109,57		107,69		109,49		108,92	

VICENZA + KALK									
Probennummer:		V-K-W-1	V-K-W-2	V-K-W-3					
Masse trocken:		431,61 g	423,51 g	455,40 g					
Breite b1 [mm]		88,00 mm	87,50 mm	88,50 mm					
Breite b2 [mm]		89,00 mm	89,00 mm	88,50 mm					
Fläche A [mm ²]		7832,00 mm ²	7787,50 mm ²	7832,25 mm ²					
Höhe h [mm]		25,00 mm	24,50 mm	26,00 mm					
Waage:		klein	klein	klein					
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	470,50	9,01	461,60	8,99	495,89	8,89	8,97	
0,02	1	470,50	9,01	461,58	8,99	495,89	8,89	8,96	
0,03	2	470,42	8,99	461,55	8,98	495,89	8,89	8,96	
0,05	3	470,42	8,99	461,50	8,97	495,81	8,87	8,95	
0,07	4	470,40	8,99	461,49	8,97	495,80	8,87	8,94	
0,08	5	470,37	8,98	461,45	8,96	495,77	8,86	8,93	
0,17	10	470,26	8,95	461,35	8,93	495,62	8,83	8,91	
0,25	15	470,15	8,93	461,25	8,91	495,52	8,81	8,88	
0,33	20	470,01	8,90	461,15	8,89	495,40	8,78	8,86	
0,58	35	469,69	8,82	460,80	8,80	495,08	8,71	8,78	
0,77	46	469,49	8,78	460,60	8,76	494,85	8,66	8,73	
1,00	60	469,19	8,71	460,32	8,69	494,59	8,61	8,67	
1,50	90	468,69	8,59	459,81	8,57	494,01	8,48	8,55	
2,00	120	468,10	8,45	459,30	8,45	493,49	8,36	8,42	
2,50	150	467,52	8,32	458,80	8,33	492,95	8,25	8,30	
3,00	180	467,04	8,21	458,38	8,23	492,50	8,15	8,20	
3,50	210	466,50	8,08	457,90	8,12	492,00	8,04	8,08	
4,00	240	466,10	7,99	457,50	8,03	491,59	7,95	7,99	
4,50	270	465,65	7,89	457,08	7,93	491,15	7,85	7,89	
5,00	300	465,25	7,79	456,70	7,84	490,74	7,76	7,80	
22,00	1320	452,68	4,88	444,30	4,91	476,79	4,70	4,83	
22,83	1370	451,89	4,70	443,56	4,73	475,91	4,50	4,65	
23,42	1405	451,20	4,54	442,89	4,58	475,19	4,35	4,49	
24,25	1455	450,36	4,34	442,08	4,38	474,30	4,15	4,29	
24,73	1484	448,79	3,98	440,50	4,01	472,62	3,78	3,92	
26,75	1605	447,69	3,73	439,40	3,75	471,42	3,52	3,67	
27,92	1675	446,45	3,44	438,21	3,47	470,20	3,25	3,39	
46,50	2790	437,02	1,25	428,75	1,24	461,02	1,23	1,24	
48,00	2880	436,61	1,16	428,38	1,15	460,68	1,16	1,16	
52,25	3135	435,69	0,95	427,43	0,93	459,71	0,95	0,94	
69,08	4145	433,27	0,38	425,01	0,35	457,22	0,40	0,38	
g/h/m² (30-300min)		128,36		119,20		125,46		Ø	
								124,34	

SAVONNIERES + SILICONFARBE								
Probennummer:		S-R-W-1	S-R-W-2	S-R-W-3				
Masse trocken:		382,23 g	375,69 g	370,65 g				
Breite b1 [mm]		88,00 mm	88,00 mm	88,00 mm				
Breite b2 [mm]		88,00 mm	87,50 mm	88,00 mm				
Fläche A [mm ²]		7744,00 mm ²	7700,00 mm ²	7744,00 mm ²				
Höhe h [mm]		25,00 mm	25,00 mm	25,00 mm				
Waage:		klein	klein	klein				
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø
0,00	0	415,65	8,74	408,73	8,79	403,66	8,91	8,81
0,02	1	415,63	8,74	408,71	8,79	403,65	8,90	8,81
0,03	2	415,63	8,74	408,69	8,78	403,62	8,90	8,81
0,05	3	415,61	8,73	408,68	8,78	403,60	8,89	8,80
0,07	4	415,61	8,73	408,66	8,78	403,59	8,89	8,80
0,08	5	415,60	8,73	408,65	8,77	403,58	8,88	8,80
0,17	10	415,57	8,72	408,61	8,76	403,54	8,87	8,79
0,25	15	415,55	8,72	408,58	8,75	403,51	8,87	8,78
0,33	20	415,53	8,71	408,55	8,75	403,47	8,85	8,77
0,42	25	415,51	8,71	408,52	8,74	403,45	8,85	8,76
0,50	30	415,49	8,70	408,48	8,73	403,42	8,84	8,76
0,58	35	415,48	8,70	408,46	8,72	403,39	8,83	8,75
0,75	45	415,43	8,69	408,40	8,71	403,33	8,82	8,74
1,00	60	415,37	8,67	408,31	8,68	403,25	8,80	8,72
1,33	80	415,30	8,65	408,20	8,65	403,14	8,77	8,69
1,83	110	415,19	8,62	408,03	8,61	402,98	8,72	8,65
2,67	160	415,02	8,58	407,77	8,54	402,73	8,66	8,59
3,08	185	414,92	8,55	407,65	8,51	402,61	8,62	8,56
3,50	210	414,82	8,53	407,51	8,47	402,48	8,59	8,53
4,17	250	414,66	8,48	407,30	8,41	402,27	8,53	8,48
4,62	277	414,55	8,46	407,15	8,37	402,14	8,50	8,44
5,00	300	414,45	8,43	407,02	8,34	402,01	8,46	8,41
5,30	318	414,37	8,41	406,92	8,31	401,91	8,43	8,39
22,87	1372	409,54	7,14	401,09	6,76	396,92	7,09	7,00
26,22	1573	408,51	6,88	399,90	6,44	395,99	6,84	6,72
28,28	1697	407,82	6,69	399,09	6,23	395,34	6,66	6,53
29,55	1773	407,39	6,58	398,60	6,10	394,93	6,55	6,41
46,92	2815	402,13	5,21	392,90	4,58	390,34	5,31	5,03
48,22	2893	401,74	5,10	392,50	4,47	390,01	5,22	4,93
49,47	2968	401,38	5,01	392,13	4,38	389,71	5,14	4,84
50,82	3049	400,99	4,91	391,74	4,27	389,38	5,05	4,74
51,62	3097	400,75	4,85	391,50	4,21	389,16	4,99	4,68
70,10	4206	396,26	3,67	387,21	3,07	385,42	3,98	3,57
71,85	4311	395,89	3,57	386,86	2,97	385,10	3,90	3,48
73,17	4390	395,63	3,51	386,62	2,91	384,87	3,84	3,42
75,52	4531	395,14	3,38	386,18	2,79	384,46	3,73	3,30
95,15	5709	391,79	2,50	383,03	1,95	381,41	2,90	2,45
97,60	5856	391,42	2,40	382,69	1,86	381,03	2,80	2,36
g/h/m² (30-300min)		29,84		42,14		40,46		Ø 37,48

		VICENZA + SILICONFARBE							
Probennummer:		V-R-W-1		V-R-W-2		V-R-W-3			
Masse trocken:		449,05 g		431,43 g		457,30 g			
Breite b1 [mm]		88,50 mm		88,00 mm		88,50 mm			
Breite b2 [mm]		88,50 mm		89,00 mm		88,00 mm			
Fläche A [mm ²]		7832,25 mm ²		7832,00 mm ²		7788,00 mm ²			
Höhe h [mm]		26,50 mm		25,00 mm		26,50 mm			
Waage:		groß		groß		groß			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	488,95	8,89	469,45	8,81	497,04	8,69	8,80	
0,02	1	488,91	8,88	469,44	8,81	497,04	8,69	8,79	
0,03	2	488,90	8,87	469,41	8,80	497,01	8,68	8,79	
0,05	3	488,89	8,87	469,39	8,80	497,00	8,68	8,78	
0,07	4	488,84	8,86	469,31	8,78	496,98	8,68	8,77	
0,08	5	488,82	8,86	469,31	8,78	496,92	8,66	8,77	
0,17	10	488,78	8,85	469,24	8,76	496,81	8,64	8,75	
0,25	15	488,71	8,83	469,21	8,76	496,80	8,64	8,74	
0,42	25	488,61	8,81	469,10	8,73	496,66	8,61	8,72	
0,50	30	488,61	8,81	469,05	8,72	496,60	8,59	8,71	
0,67	40	488,55	8,80	468,92	8,69	496,51	8,57	8,69	
1,00	60	488,34	8,75	468,70	8,64	496,30	8,53	8,64	
1,33	80	488,19	8,72	468,50	8,59	496,07	8,48	8,60	
1,67	100	488,00	8,67	468,30	8,55	495,88	8,44	8,55	
2,02	121	487,83	8,64	468,10	8,50	495,65	8,39	8,51	
2,33	140	487,70	8,61	467,91	8,46	495,49	8,35	8,47	
2,67	160	487,52	8,57	467,71	8,41	495,26	8,30	8,43	
4,05	243	486,79	8,40	466,82	8,20	494,32	8,10	8,23	
4,42	265	486,59	8,36	466,58	8,15	494,07	8,04	8,18	
5,00	300	486,23	8,28	466,10	8,04	493,59	7,94	8,08	
22,27	1336	478,08	6,46	455,70	5,63	482,91	5,60	5,90	
24,23	1454	477,20	6,27	454,67	5,39	481,85	5,37	5,67	
25,23	1514	476,79	6,18	454,19	5,28	481,32	5,25	5,57	
25,88	1553	476,60	6,14	453,83	5,19	479,98	4,96	5,43	
45,73	2744	468,94	4,43	445,20	3,19	471,58	3,12	3,58	
48,23	2894	467,98	4,22	444,09	2,93	470,40	2,86	3,34	
49,73	2984	467,52	4,11	443,50	2,80	469,88	2,75	3,22	
50,73	3044	467,20	4,04	443,13	2,71	469,40	2,65	3,13	
69,73	4184	461,30	2,73	437,23	1,34	463,21	1,29	1,79	
70,73	4244	461,02	2,67	436,99	1,29	463,02	1,25	1,74	
73,10	4386	460,35	2,52	436,43	1,16	462,50	1,14	1,60	
75,48	4529	459,65	2,36	435,92	1,04	461,91	1,01	1,47	
g/h/m² (30-300min)		67,53		83,70		86,52		Ø	79,25

VICENZA MIT NANOTECHNOLOGIE: SERIE 1							
Probennummer:		NA FA 1	NA FA+B 1	NA SP 1			
Masse trocken:		382,80 g	399,19 g	392,21 g			
Breite b1 [mm]		88,00 mm	88,50 mm	88,50 mm			
Breite b2 [mm]		89,00 mm	88,00 mm	88,00 mm			
Fläche A [mm ²]		7832,00 mm ²	7788,00 mm ²	7788,00 mm ²			
Höhe h [mm]		23,50 mm	24,00 mm	24,00 mm			
Waage:		groß		groß		groß	
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]
0,00	0	419,75	9,65	432,55	8,36	428,11	9,15
0,03	2	419,75	9,65	432,52	8,35	428,10	9,15
0,07	4	419,70	9,64	432,50	8,34	428,05	9,14
0,10	6	419,70	9,64	432,48	8,34	428,01	9,13
0,17	10	419,62	9,62	432,42	8,32	427,95	9,11
0,25	15	419,60	9,61	432,39	8,32	427,90	9,10
0,42	25	419,45	9,57	432,28	8,29	427,80	9,07
0,58	35	419,35	9,55	432,16	8,26	427,60	9,02
0,75	45	419,20	9,51	432,05	8,23	427,45	8,98
0,92	55	419,10	9,48	431,95	8,21	427,30	8,95
1,08	65	419,00	9,46	431,85	8,18	427,20	8,92
1,25	75	418,90	9,43	431,75	8,16	427,10	8,90
1,42	85	418,80	9,40	431,68	8,14	426,96	8,86
1,58	95	418,70	9,38	431,60	8,12	426,84	8,83
1,75	105	418,60	9,35	431,48	8,09	426,70	8,79
1,92	115	418,48	9,32	431,33	8,05	426,50	8,74
2,08	125	418,30	9,27	431,23	8,03	426,36	8,71
2,42	145	418,12	9,23	431,06	7,98	426,11	8,64
2,58	155	417,98	9,19	430,90	7,94	425,90	8,59
2,75	165	417,85	9,16	430,80	7,92	425,76	8,55
2,92	175	417,72	9,12	430,70	7,89	425,63	8,52
3,25	195	417,50	9,06	430,46	7,83	425,30	8,44
3,50	210	417,35	9,03	430,30	7,79	425,10	8,39
3,67	220	417,20	8,99	430,20	7,77	424,98	8,36
3,92	235	417,00	8,93	430,03	7,73	424,72	8,29
4,17	250	416,86	8,90	429,90	7,69	424,52	8,24
4,58	275	416,64	8,84	429,67	7,64	424,24	8,17
5,00	300	416,38	8,77	429,41	7,57	423,94	8,09
6,08	365	415,71	8,60	428,82	7,42	423,20	7,90
24,58	1475	407,35	6,41	421,20	5,51	413,49	5,43
24,67	1480	407,30	6,40	421,13	5,50	413,39	5,40
24,83	1490	407,19	6,37	421,05	5,48	413,29	5,37
68,67	4120	392,20	2,46	408,20	2,26	396,85	1,18
70,17	4210	391,70	2,32	407,86	2,17	396,56	1,11
70,67	4240	391,50	2,27	407,75	2,14	396,50	1,09
71,08	4265	391,32	2,23	407,62	2,11	396,40	1,07
71,25	4275	391,28	2,22	407,60	2,11	396,38	1,06
g/h/m ² (25-300min)		85,52		80,40		108,14	

VICENZA MIT NANOTECHNOLOGIE: SERIE 2								
Probennummer:		NA FA 2	NA FA+B 2	NA SP 2				
Masse trocken:		389,90 g	393,79 g	395,01 g				
Breite b1 [mm]		88,00 mm	88,00 mm	88,50 mm				
Breite b2 [mm]		87,00 mm	88,00 mm	88,00 mm				
Fläche A [mm²]		7656,00 mm²	7744,00 mm²	7788,00 mm²				
Höhe h [mm]		24,00 mm	23,50 mm	24,00 mm				
Waage:		groß		groß				
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	
0,00	0	429,20	10,08	431,05	9,46	436,56	10,52	
0,03	2	429,19	10,08	431,03	9,46	436,50	10,50	
0,07	4	429,12	10,06	431,00	9,45	436,50	10,50	
0,10	6	429,10	10,05	430,99	9,45	436,41	10,48	
0,17	10	429,05	10,04	430,92	9,43	436,38	10,47	
0,25	15	428,95	10,02	430,88	9,42	436,28	10,45	
0,33	20	428,86	9,99	430,80	9,40	436,19	10,43	
0,53	32	428,64	9,94	430,65	9,36	435,99	10,37	
0,67	40	428,51	9,90	430,58	9,34	435,85	10,34	
0,83	50	428,35	9,86	430,47	9,31	435,70	10,30	
0,93	56	428,26	9,84	430,40	9,30	435,61	10,28	
1,00	60	428,19	9,82	430,34	9,28	435,53	10,26	
1,67	100	427,75	9,71	430,00	9,20	435,10	10,15	
2,08	125	427,20	9,57	429,62	9,10	434,58	10,02	
2,33	140	426,90	9,49	429,48	9,06	434,30	9,95	
2,50	150	426,75	9,45	429,32	9,02	434,15	9,91	
2,67	160	426,51	9,39	429,20	8,99	433,99	9,87	
3,00	180	426,35	9,35	429,06	8,96	433,78	9,81	
3,25	195	426,20	9,31	428,93	8,92	433,60	9,77	
3,42	205	426,05	9,27	428,83	8,90	433,49	9,74	
3,75	225	425,80	9,21	428,65	8,85	433,24	9,68	
4,42	265	425,10	9,03	428,15	8,73	432,53	9,50	
4,67	280	424,95	8,99	428,05	8,70	432,40	9,47	
5,17	310	424,59	8,90	427,75	8,62	432,02	9,37	
21,28	1277	415,52	6,57	420,30	6,73	422,50	6,96	
22,08	1325	414,99	6,43	419,89	6,63	421,92	6,81	
22,58	1355	414,66	6,35	419,60	6,55	421,61	6,73	
23,78	1427	413,91	6,16	419,02	6,41	420,85	6,54	
24,33	1460	413,58	6,07	418,75	6,34	420,50	6,45	
24,73	1484	413,30	6,00	418,55	6,29	420,25	6,39	
25,33	1520	412,94	5,91	418,25	6,21	419,90	6,30	
25,93	1556	412,47	5,79	417,91	6,13	419,50	6,20	
26,83	1610	411,82	5,62	417,42	6,00	418,91	6,05	
27,50	1650	411,38	5,51	417,10	5,92	418,50	5,95	
28,17	1690	410,93	5,39	416,75	5,83	418,08	5,84	
28,67	1720	410,60	5,31	416,50	5,77	417,80	5,77	
29,00	1740	410,38	5,25	416,30	5,72	417,53	5,70	
45,67	2740	403,60	3,51	410,83	4,33	410,32	3,88	
46,67	2800	403,10	3,39	410,50	4,24	409,85	3,76	
46,95	2817	402,92	3,34	410,40	4,22	409,66	3,71	
47,10	2826	402,83	3,32	410,35	4,21	409,56	3,68	
47,70	2862	402,40	3,21	410,06	4,13	409,10	3,57	
48,67	2920	401,71	3,03	409,61	4,02	408,38	3,38	
49,67	2980	401,12	2,88	409,21	3,92	407,75	3,23	
50,73	3044	400,61	2,75	408,83	3,82	407,24	3,10	
51,02	3061	400,49	2,72	408,75	3,80	407,10	3,06	
51,27	3076	400,35	2,68	408,65	3,77	407,95	3,28	
51,67	3100	400,18	2,64	408,50	3,74	406,77	2,98	
52,67	3160	399,70	2,51	408,20	3,66	406,29	2,86	
53,17	3190	399,49	2,46	408,00	3,61	406,04	2,79	
71,08	4265	394,80	1,26	403,75	2,53	400,60	1,42	
71,67	4300	394,70	1,23	403,60	2,49	400,51	1,39	
72,17	4330	394,63	1,21	403,51	2,47	400,44	1,37	
74,58	4475	394,20	1,10	402,98	2,33	399,98	1,26	
76,67	4600	393,81	1,00	402,45	2,20	399,58	1,16	
77,25	4635	393,73	0,98	402,30	2,16	399,44	1,12	
94,17	5650	392,01	0,54	399,49	1,45	397,52	0,64	
95,17	5710	391,93	0,52	399,32	1,40	397,47	0,62	
96,17	5770	391,82	0,49	399,17	1,37	397,37	0,60	
99,17	5950	391,58	0,43	398,67	1,24	397,04	0,51	
100,17	6010	391,50	0,41	398,51	1,20	397,00	0,50	
101,17	6070	391,41	0,39	398,35	1,16	396,89	0,48	
166,78	1007	390,11	0,05	394,30	0,13	395,26	0,06	
g/h/m² (32-310min)		114,17		80,82		110,02		

VICENZA MIT NANOTECHNOLOGIE: SERIE 3								
Probennummer:		NA FA 3		NA FA+B 3		NA SP 3		
Masse trocken:		384,98 g		389,23 g		389,17 g		
Breite b1 [mm]		88,50 mm		88,00 mm		88,50 mm		
Breite b2 [mm]		88,00 mm		87,50 mm		88,50 mm		
Fläche A [mm ²]		7788,00 mm ²		7700,00 mm ²		7832,25 mm ²		
Höhe h [mm]								
Waage:		groß		groß		groß		
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	
0,00	0	422,60	9,77	424,40	9,04	429,20	10,29	
0,08	5	422,53	9,75	424,36	9,03	429,13	10,27	
0,17	10	422,45	9,73	424,30	9,01	429,06	10,25	
0,33	20	422,34	9,70	424,21	8,99	428,95	10,22	
0,50	30	422,23	9,68	424,12	8,96	428,82	10,19	
0,67	40	422,12	9,65	424,10	8,96	428,76	10,17	
0,83	50	422,00	9,62	424,00	8,93	428,63	10,14	
1,00	60	421,91	9,59	423,94	8,92	428,56	10,12	
1,17	70	421,79	9,56	423,88	8,90	428,42	10,09	
1,33	80	421,67	9,53	423,78	8,88	428,31	10,06	
1,50	90	421,53	9,49	423,69	8,85	428,20	10,03	
1,67	100	421,45	9,47	423,61	8,83	428,10	10,00	
1,83	110	421,32	9,44	423,55	8,82	428,01	9,98	
2,00	120	421,20	9,41	423,47	8,80	427,90	9,95	
2,17	130	421,10	9,38	423,40	8,78	427,80	9,93	
2,33	140	421,00	9,36	423,31	8,76	427,71	9,90	
2,50	150	420,89	9,33	423,20	8,73	427,60	9,87	
2,67	160	420,76	9,29	423,17	8,72	427,50	9,85	
2,83	170	420,66	9,27	423,10	8,70	427,40	9,82	
3,00	180	420,51	9,23	423,01	8,68	427,28	9,79	
3,17	190	420,41	9,20	422,94	8,66	427,17	9,76	
19,83	1190	412,75	7,21	417,20	7,19	419,05	7,68	
20,50	1230	412,39	7,12	416,95	7,12	418,70	7,59	
20,83	1250	412,22	7,08	416,82	7,09	418,51	7,54	
21,08	1265	412,01	7,02	416,70	7,06	418,30	7,49	
21,33	1280	411,81	6,97	416,60	7,03	418,12	7,44	
21,83	1310	411,31	6,84	416,29	6,95	417,72	7,34	
22,83	1370	410,46	6,62	415,80	6,83	416,94	7,14	
23,85	1431	409,70	6,42	415,32	6,70	416,28	6,97	
24,88	1493	409,10	6,27	415,95	6,86	415,76	6,83	
25,18	1511	408,93	6,22	414,81	6,57	415,60	6,79	
25,42	1525	408,80	6,19	414,76	6,56	415,48	6,76	
25,83	1550	408,56	6,12	414,59	6,52	415,23	6,70	
26,83	1610	408,01	5,98	414,20	6,42	414,74	6,57	
27,35	1641	407,72	5,91	414,04	6,37	414,48	6,50	
45,25	2715	401,99	4,42	409,55	5,22	408,02	4,84	
45,83	2750	401,72	4,35	409,36	5,17	407,80	4,79	
46,33	2780	401,55	4,30	409,23	5,14	407,61	4,74	
48,75	2925	400,53	4,04	408,49	4,95	406,59	4,48	
49,42	2965	400,28	3,97	408,27	4,89	406,30	4,40	
49,75	2985	400,10	3,93	408,12	4,85	406,15	4,36	
50,42	3025	399,90	3,88	408,02	4,83	405,96	4,31	
50,90	3054	399,62	3,80	407,82	4,78	405,70	4,25	
51,40	3084	399,41	3,75	407,68	4,74	405,49	4,19	
51,83	3110	399,20	3,69	407,50	4,69	405,30	4,14	
67,42	4045	394,91	2,58	404,17	3,84	400,21	2,84	
68,33	4100	394,60	2,50	403,98	3,79	399,98	2,78	
69,33	4160	394,30	2,42	403,74	3,73	399,62	2,69	
70,33	4220	393,92	2,32	403,49	3,66	399,27	2,60	
70,83	4250	393,74	2,28	403,34	3,63	399,09	2,55	
72,33	4340	393,22	2,14	402,94	3,52	398,52	2,40	
73,33	4400	392,91	2,06	402,71	3,46	398,21	2,32	
74,33	4460	392,62	1,98	402,5	3,41	397,92	2,25	
75,33	4520	392,31	1,90	402,26	3,35	397,61	2,17	
139,98	8399	385,59	0,16	392,13	0,75			
g/h/m ² (20-190min)		87,46		58,21		80,21		

		VICENZA MIT NANOTECHNOLOGIE: SERIE 4					
Probennummer:		NA FA 4		NA FA+B 4		NA SP 4	
Masse trocken:		387,34 g		386,04 g		389,90 g	
Breite b1 [mm]		87,00 mm		87,00 mm		88,50 mm	
Breite b2 [mm]		88,00 mm		88,00 mm		88,00 mm	
Fläche A [mm ²]		7656,00 mm ²		7656,00 mm ²		7788,00 mm ²	
Höhe h [mm]							
Waage:		groß		groß		groß	
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]
0,00	0	425,31	9,80	419,55	8,68	426,05	9,27
0,08	5	425,23	9,78	419,50	8,67	426,00	9,26
0,18	11	425,12	9,75	419,42	8,65	425,87	9,23
0,25	15	425,08	9,74	419,40	8,64	425,81	9,21
0,30	18	425,02	9,73	419,35	8,63	425,79	9,20
0,33	20	425,00	9,72	419,35	8,63	425,74	9,19
0,50	30	424,82	9,68	419,23	8,60	425,61	9,16
0,68	41	424,65	9,63	419,11	8,57	425,45	9,12
0,83	50	424,50	9,59	419,01	8,54	425,31	9,08
1,00	60	424,31	9,54	418,90	8,51	425,18	9,05
1,17	70	424,20	9,52	418,80	8,49	425,08	9,02
1,33	80	424,02	9,47	418,71	8,46	424,90	8,98
1,50	90	423,88	9,43	418,60	8,43	424,78	8,95
1,75	105	423,64	9,37	418,46	8,40	424,60	8,90
1,92	115	423,50	9,34	418,37	8,37	424,48	8,87
2,00	120	423,42	9,31	418,31	8,36	424,40	8,85
2,83	170	422,81	9,16	417,90	8,25	423,91	8,72
3,08	185	422,70	9,13	417,80	8,23	423,78	8,69
3,33	200	422,55	9,09	417,72	8,21	423,62	8,65
3,62	217	422,40	9,05	417,59	8,17	423,47	8,61
3,87	232	422,20	9,00	417,50	8,15	423,38	8,59
4,17	250	422,05	8,96	417,38	8,12	423,21	8,54
4,40	264	421,90	8,92	417,29	8,10	423,09	8,51
4,83	290	421,69	8,87	417,11	8,05	422,87	8,46
5,08	305	421,51	8,82	417,00	8,02	422,73	8,42
5,33	320	421,39	8,79	416,90	7,99	422,61	8,39
5,58	335	421,22	8,75	416,81	7,97	422,49	8,36
5,83	350	421,10	8,72	416,70	7,94	422,37	8,33
6,08	365	420,99	8,69	416,60	7,92	422,20	8,28
6,33	380	420,82	8,64	416,50	7,89	422,09	8,26
17,92	1075	413,76	6,82	411,10	6,49	415,11	6,47
18,50	1110	413,50	6,75	410,90	6,44	414,88	6,41
19,00	1140	413,27	6,69	410,73	6,40	414,64	6,35
21,42	1285	412,10	6,39	409,81	6,16	413,51	6,06
22,08	1325	411,76	6,30	409,52	6,08	413,16	5,97
22,42	1345	411,58	6,26	409,41	6,05	413,01	5,93
23,00	1380	411,32	6,19	409,21	6,00	412,78	5,87
23,50	1410	411,06	6,12	409,00	5,95	412,51	5,80
24,08	1445	410,77	6,05	408,79	5,89	412,25	5,73
24,58	1475	410,59	6,00	408,60	5,84	412,01	5,67
40,08	2405	405,17	4,60	403,98	4,65	406,40	4,23
41,08	2465	404,81	4,51	403,69	4,57	406,05	4,14
42,08	2525	404,41	4,41	403,36	4,49	405,66	4,04
43,08	2585	403,95	4,29	403,01	4,40	405,26	3,94
43,50	2610	403,72	4,23	402,81	4,34	405,01	3,88
45,00	2700	403,07	4,06	402,31	4,21	404,40	3,72
46,00	2760	402,70	3,97	402,00	4,13	404,01	3,62
47,00	2820	402,26	3,85	401,68	4,05	403,61	3,52
48,00	2880	401,80	3,73	401,32	3,96	403,22	3,42
111,67	6700	388,79	0,37	388,23	0,57	391,22	0,34
g/h/m² (30-305min)		94,33		63,55		80,68	

9.2.2 Austrocknungsverhalten mit Salzlösung

		SAVONNIERE UNBESCHICHTET							
Probennummer:		S-O-S-1		S-O-S-2		S-O-S-3			
Masse trocken:		358,72 g		370,10 g		366,43 g			
Breite b1 [mm]		88,00 mm		88,00 mm		87,50 mm			
Breite b2 [mm]		88,00 mm		88,00 mm		88,00 mm			
Fläche A [mm ²]		7744,00 mm ²		7744,00 mm ²		7700,00 mm ²			
Höhe h [mm]		25,00 mm		25,00 mm		25,00 mm			
Waage:		klein		klein		klein			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	396,69	10,58	407,61	10,14	402,72	9,90	10,21	
0,02	1	396,66	10,58	407,58	10,13	402,68	9,89	10,20	
0,03	2	396,64	10,57	407,54	10,12	402,66	9,89	10,19	
0,05	3	396,60	10,56	407,51	10,11	402,63	9,88	10,18	
0,07	4	396,57	10,55	407,49	10,10	402,61	9,87	10,18	
0,08	5	396,55	10,55	407,47	10,10	402,59	9,87	10,17	
0,17	10	396,47	10,52	407,39	10,08	402,51	9,85	10,15	
0,33	20	396,31	10,48	407,23	10,03	402,34	9,80	10,10	
0,50	30	396,16	10,44	407,09	9,99	402,20	9,76	10,06	
0,75	45	395,96	10,38	406,88	9,94	401,99	9,70	10,01	
1,12	67	395,65	10,29	406,57	9,85	401,68	9,62	9,92	
1,32	79	395,52	10,26	406,45	9,82	401,55	9,58	9,89	
1,95	117	395,12	10,15	406,06	9,72	401,13	9,47	9,78	
2,48	149	394,68	10,02	405,61	9,59	400,70	9,35	9,66	
3,57	214	393,92	9,81	404,85	9,39	399,95	9,15	9,45	
5,00	300	392,97	9,55	403,89	9,13	398,99	8,89	9,19	
22,22	1333	386,51	7,75	397,33	7,36	391,97	6,97	7,36	
29,03	1742	385,03	7,33	395,73	6,93	390,30	6,51	6,92	
53,82	3229	381,19	6,26	391,55	5,80	386,17	5,39	5,82	
73,47	4408	378,99	5,65	389,21	5,16	383,90	4,77	5,19	
117,73	7064	375,26	4,61	385,33	4,12	380,16	3,75	4,16	
125,07	7504	374,73	4,46	384,80	3,97	379,63	3,60	4,01	
166,55	9993	372,37	3,81	382,44	3,33	377,30	2,97	3,37	
189,90	11394	371,22	3,48	381,33	3,03	376,23	2,67	3,06	
g/h/m ² (30-300min)		91,54		91,83		92,64		Ø 92,00	

VINCENZA UNBESCHICHTET									
Probennummer:		V-O-S-1		V-O-S-2		V-O-S-3			
Masse trocken:		412,83 g		407,62 g		411,28 g			
Breite b1 [mm]		88,00 mm		88,00 mm		88,00 mm			
Breite b2 [mm]		88,50 mm		88,00 mm		88,50 mm			
Fläche A [mm ²]		7788,00 mm ²		7744,00 mm ²		7788,00 mm ²			
Höhe h [mm]		25,00 mm		24,00 mm		25,00 mm			
Waage:		groß		groß		groß			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	453,69	9,90	447,29	9,73	451,57	9,80	9,81	
0,02	1	453,62	9,88	447,26	9,72	451,52	9,78	9,80	
0,03	2	453,60	9,88	447,20	9,71	451,50	9,78	9,79	
0,05	3	453,59	9,87	447,16	9,70	451,48	9,77	9,78	
0,07	4	453,56	9,87	447,11	9,69	451,44	9,76	9,77	
0,08	5	453,52	9,86	447,10	9,69	451,40	9,75	9,77	
0,17	10	453,47	9,84	447,01	9,66	451,35	9,74	9,75	
0,25	15	453,35	9,82					9,82	
0,33	20	453,25	9,79					9,79	
0,37	22			446,84	9,62	451,14	9,69	9,66	
0,42	25	453,19	9,78					9,78	
0,50	30	453,10	9,75	446,71	9,59	451,01	9,66	9,67	
0,75	45			446,51	9,54	450,81	9,61	9,58	
0,83	50	452,80	9,68					9,68	
1,00	60			446,29	9,49	450,58	9,56	9,52	
1,25	75	452,40	9,59					9,59	
1,33	80			445,99	9,41	450,28	9,48	9,45	
1,87	112	451,85	9,45					9,45	
2,00	120	451,71	9,42					9,42	
2,68	161			444,83	9,13	449,12	9,20	9,16	
3,22	193	450,79	9,20					9,20	
3,35	201			444,39	9,02	448,70	9,10	9,06	
3,55	213	450,51	9,13					9,13	
3,88	233			443,91	8,90	448,23	8,98	8,94	
4,00	240	450,19	9,05					9,05	
4,60	276	449,75	8,94					8,94	
5,00	300	449,45	8,87	443,10	8,70	447,41	8,78	8,79	
5,45	327			442,72	8,61	447,09	8,71	8,66	
5,87	352	448,85	8,73					8,73	
23,58	1415			435,09	6,74	439,31	6,82	6,78	
24,53	1472	440,61	6,73					6,73	
27,30	1638	439,95	6,57					6,57	
28,55	1713	439,62	6,49					6,49	
30,40	1824			433,30	6,30	437,40	6,35	6,33	
47,90	2874	435,98	5,61					5,61	
50,38	3023	435,59	5,51					5,51	
55,18	3311			429,31	5,32	432,96	5,27	5,30	
71,35	4281	433,10	4,91					4,91	
72,10	4326	433,02	4,89					4,89	
74,83	4490			427,09	4,78	430,60	4,70	4,74	
119,13	7148			423,28	3,84	426,62	3,73	3,79	
126,42	7585			422,75	3,71	426,10	3,60	3,66	
167,88	10073			420,21	3,09	423,50	2,97	3,03	
191,30	11478			418,98	2,79	422,29	2,68	2,73	
192,20	11532	424,31	2,78					2,78	
								Ø	
g/h/m ² (30-300min)		104,15		103,59		102,72		103,49	

SAVONNIERE + KALK								
Probennummer:		S-K-S-1	S-K-S-2	S-K-S-3				
Masse trocken:		378,01 g	363,50 g	367,92 g				
Breite b1 [mm]		87,50 mm	87,50 mm	87,00 mm				
Breite b2 [mm]		88,00 mm	88,00 mm	88,00 mm				
Fläche A [mm ²]		7700,00 mm ²	7700,00 mm ²	7656,00 mm ²				
Höhe h [mm]		25,00 mm	25,00 mm	25,00 mm				
Waage:		klein	klein	klein				
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{hass} [g]	m _W [%]	m _{hass} [g]	m _W [%]	m _{hass} [g]	m _W [%]	Ø
0,00	0	415,56	9,93	400,37	10,14	405,45	10,20	10,09
0,02	1	415,53	9,93	400,34	10,13	405,40	10,19	10,08
0,03	2	415,51	9,92	400,32	10,13	405,39	10,18	10,08
0,05	3	415,49	9,92	400,30	10,12	405,37	10,18	10,07
0,07	4	415,47	9,91	400,28	10,12	405,35	10,17	10,07
0,08	5	415,45	9,90	400,26	10,11	405,33	10,17	10,06
0,17	10	415,38	9,89	400,18	10,09	405,26	10,15	10,04
0,25	15	415,32	9,87	400,12	10,07	405,19	10,13	10,02
0,35	21	415,25	9,85	400,04	10,05	405,10	10,11	10,00
0,50	30	415,13	9,82	399,92	10,02	404,99	10,08	9,97
0,67	40	414,99	9,78	399,79	9,98	404,85	10,04	9,93
0,83	50	414,84	9,74	399,64	9,94	404,71	10,00	9,89
1,00	60	414,72	9,71	399,52	9,91	404,59	9,97	9,86
1,45	87	414,41	9,63	399,23	9,83	404,30	9,89	9,78
2,13	128	413,97	9,51	398,78	9,71	403,86	9,77	9,66
2,85	171	413,54	9,40	398,38	9,60	403,44	9,65	9,55
3,45	207	413,17	9,30	398,00	9,49	403,07	9,55	9,45
4,03	242	412,79	9,20	397,64	9,39	402,71	9,46	9,35
4,75	285	412,38	9,09	397,25	9,28	402,31	9,35	9,24
5,02	301	412,23	9,05	397,10	9,24	402,16	9,31	9,20
22,33	1340	405,37	7,24	390,56	7,44	395,39	7,47	7,38
28,58	1715	403,74	6,81	389,12	7,05	393,87	7,05	6,97
29,68	1781	403,48	6,74	388,87	6,98	393,63	6,99	6,90
46,42	2785	400,50	5,95	385,98	6,18	390,70	6,19	6,11
49,18	2951	400,08	5,84	385,55	6,07	390,27	6,07	5,99
54,47	3268	399,32	5,64	384,78	5,85	389,49	5,86	5,78
71,20	4272	397,34	5,11	382,73	5,29	387,49	5,32	5,24
75,28	4517	396,89	4,99	382,26	5,16	386,99	5,18	5,11
79,40	4764	396,44	4,88	381,80	5,03	386,54	5,06	4,99
94,67	5680	395,00	4,49	380,32	4,63	385,08	4,66	4,60
97,02	5821	394,80	4,44	380,12	4,57	384,88	4,61	4,54
101,28	6077	394,44	4,35	379,73	4,46	384,52	4,51	4,44
120,68	7241	392,99	3,96	378,19	4,04	383,06	4,12	4,04
122,58	7355	392,84	3,92	378,04	4,00	382,92	4,08	4,00
g/h/m ² (30-300min)		83,39		81,08		81,84		Ø 82,10

VINCENZA + KALK									
Probennummer:		V-K-S-1		V-K-S-2		V-K-S-3			
Masse trocken:		447,74 g		438,13 g		446,71 g			
Breite b1 [mm]		89,00 mm		88,00 mm		88,50 mm			
Breite b2 [mm]		89,00 mm		88,50 mm		88,50 mm			
Fläche A [mm²]		7921,00 mm²		7788,00 mm²		7832,25 mm²			
Höhe h [mm]		27,00 mm		26,50 mm		27,00 mm			
Waage:		groß		groß		groß			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _W [%]	m _{nass} [g]	m _W [%]	m _{nass} [g]	m _W [%]	Ø	
0,00	0	493,15	10,14	481,55	9,91	492,25	10,19	10,08	
0,02	1	493,10	10,13	481,51	9,90	492,20	10,18	10,07	
0,03	2	493,08	10,13	481,49	9,90	492,20	10,18	10,07	
0,05	3	493,02	10,11	481,45	9,89	492,16	10,17	10,06	
0,07	4	493,00	10,11	481,42	9,88	492,15	10,17	10,05	
0,08	5	493,00	10,11	481,42	9,88	492,12	10,17	10,05	
0,25	15	492,85	10,08	481,30	9,85	492,03	10,15	10,02	
0,35	21	492,78	10,06	481,25	9,84	491,95	10,13	10,01	
0,55	33	492,65	10,03	481,11	9,81	491,88	10,11	9,98	
0,67	40	492,56	10,01	481,06	9,80	491,79	10,09	9,97	
0,83	50	492,49	9,99	480,94	9,77	491,69	10,07	9,94	
1,00	60	492,32	9,96	480,87	9,76	491,56	10,04	9,92	
1,23	74	492,19	9,93	480,69	9,71	491,40	10,00	9,88	
1,98	119	491,71	9,82	480,24	9,61	490,92	9,90	9,78	
2,58	155	491,31	9,73	479,88	9,53	490,52	9,81	9,69	
3,17	190	490,89	9,64	479,48	9,44	490,10	9,71	9,60	
3,88	233	490,49	9,55	479,08	9,35	489,62	9,61	9,50	
4,17	250	490,29	9,50	478,90	9,31	489,48	9,57	9,46	
5,00	300	489,85	9,41	478,50	9,21	489,08	9,48	9,37	
21,40	1284	483,40	7,96	472,48	7,84	482,90	8,10	7,97	
27,62	1657	481,70	7,58	470,66	7,42	481,18	7,72	7,58	
28,78	1727	481,49	7,54	470,40	7,37	480,90	7,65	7,52	
45,53	2732	478,50	6,87	467,26	6,65	477,78	6,96	6,82	
48,32	2899	478,09	6,78	466,82	6,55	477,40	6,87	6,73	
53,60	3216	477,23	6,59	466,02	6,37	476,59	6,69	6,55	
70,32	4219	475,38	6,17	464,18	5,95	474,73	6,27	6,13	
74,42	4465	474,91	6,07	463,72	5,84	474,30	6,18	6,03	
78,53	4712	474,48	5,97	463,29	5,74	473,88	6,08	5,93	
93,78	5627	473,14	5,67	461,92	5,43	472,55	5,78	5,63	
96,03	5762	473,00	5,64	461,80	5,40	472,40	5,75	5,60	
100,38	6023	472,60	5,55	461,39	5,31	472,01	5,66	5,51	
119,78	7187	471,14	5,23	459,90	4,97	470,55	5,34	5,18	
121,68	7301	471,00	5,19	459,75	4,93	470,44	5,31	5,15	
g/h/m² (30-300min)		79,44		75,31		80,34		Ø 78,36	

SAVONNIERE + SILICONFARBE									
Probennummer:		S-R-S-1		S-R-S-2		S-R-S-3			
Masse trocken:		371,92 g		367,02 g		360,40 g			
Breite b1 [mm]		88,00 mm		88,00 mm		88,00 mm			
Breite b2 [mm]		87,50 mm		88,00 mm		88,50 mm			
Fläche A [mm ²]		7700,00 mm ²		7744,00 mm ²		7788,00 mm ²			
Höhe h [mm]		25,00 mm		25,00 mm		25,00 mm			
Waage:		klein		klein		klein			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	407,96	9,69	402,90	9,78	395,90	9,85	9,77	
0,02	1	407,94	9,68	402,88	9,77	395,88	9,84	9,77	
0,03	2	407,92	9,68	402,86	9,77	395,86	9,84	9,76	
0,05	3	407,90	9,67	402,85	9,76	395,85	9,84	9,76	
0,07	4	407,89	9,67	402,83	9,76	395,84	9,83	9,75	
0,20	12	407,80	9,65	402,75	9,74	395,77	9,81	9,73	
0,25	15	407,76	9,64	402,71	9,72	395,74	9,81	9,72	
0,33	20	407,70	9,62	402,66	9,71	395,69	9,79	9,71	
0,50	30	407,59	9,59	402,55	9,68	395,60	9,77	9,68	
0,67	40	407,48	9,56	402,46	9,66	395,52	9,74	9,65	
0,83	50	407,37	9,53	402,36	9,63	395,44	9,72	9,63	
1,00	60	407,27	9,50	402,27	9,60	395,36	9,70	9,60	
1,45	87	407,02	9,44	402,04	9,54	395,16	9,64	9,54	
2,42	145	406,45	9,28	401,50	9,39	394,70	9,52	9,40	
2,88	173	406,17	9,21	401,24	9,32	394,50	9,46	9,33	
3,73	224	405,68	9,08	400,78	9,20	394,12	9,36	9,21	
5,00	300	405,02	8,90	400,15	9,03	393,61	9,21	9,05	
22,08	1325	399,21	7,34	394,24	7,42	388,86	7,90	7,55	
29,43	1766	397,33	6,83	392,27	6,88	387,31	7,47	7,06	
46,30	2778	394,10	5,96	388,94	5,97	384,59	6,71	6,22	
54,77	3286	392,82	5,62	387,63	5,62	383,49	6,41	5,88	
69,72	4183	390,96	5,12	385,71	5,09	381,89	5,96	5,39	
g/h/m² (30-300min)		74,17		68,87		56,78		66,61	

VINCENZA + SILICONFARBE									
Probennummer:		V-R-S-1		V-R-S-2		V-R-S-3			
Masse trocken:		414,02 g		435,78 g		418,02 g			
Breite b1 [mm]		89,00 mm		88,50 mm		88,50 mm			
Breite b2 [mm]		88,00 mm		89,00 mm		88,50 mm			
Fläche A [mm ²]		7832,00 mm ²		7876,50 mm ²		7832,25 mm ²			
Höhe h [mm]		25,50 mm		26,50 mm		25,00 mm			
Waage:		groß		groß		groß			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	453,81	9,61	477,51	9,58	457,24	9,38	9,52	
0,02	1	453,80	9,61	477,51	9,58	457,22	9,38	9,52	
0,03	2	453,79	9,61	477,49	9,57	457,19	9,37	9,52	
0,05	3	453,78	9,60	477,48	9,57	457,19	9,37	9,51	
0,07	4	453,74	9,59	477,47	9,57	457,19	9,37	9,51	
0,08	5	453,72	9,59	477,46	9,56	457,16	9,36	9,51	
0,17	10	453,69	9,58	477,40	9,55	457,10	9,35	9,49	
0,25	15	453,63	9,57	477,32	9,53	457,09	9,35	9,48	
0,33	20	453,61	9,56	477,30	9,53	457,02	9,33	9,47	
0,50	30	453,54	9,55	477,20	9,50	456,91	9,30	9,45	
0,67	40	453,48	9,53	477,12	9,49	456,84	9,29	9,43	
0,83	50	453,40	9,51	477,02	9,46	456,78	9,27	9,42	
1,00	60	453,32	9,49	476,93	9,44	456,69	9,25	9,40	
1,52	91	453,11	9,44	476,68	9,39	456,45	9,19	9,34	
2,30	138	452,79	9,36	476,28	9,29	456,09	9,11	9,26	
2,90	174	452,59	9,32	476,00	9,23	455,81	9,04	9,20	
3,27	196	452,48	9,29	475,86	9,20	455,70	9,01	9,17	
4,20	252	452,10	9,20	475,42	9,10	455,28	8,91	9,07	
5,10	306	451,71	9,10	475,01	9,00	454,92	8,83	8,98	
6,60	396	451,19	8,98	474,34	8,85	454,28	8,67	8,83	
23,87	1432	446,71	7,90	469,40	7,71	449,49	7,53	7,71	
31,22	1873	445,10	7,51	467,62	7,31	447,73	7,11	7,31	
48,07	2884	441,89	6,73	464,09	6,50	444,41	6,31	6,51	
56,55	3393	440,50	6,40	462,54	6,14	442,98	5,97	6,17	
71,47	4288	438,30	5,86	460,30	5,63	440,80	5,45	5,65	
g/h/m ² (30-300min)		50,79		60,44		55,23		Ø 55,49	

		NANO FINISH A					
		NA FA 3		NA FA 4			
Probennummer:							
Masse trocken:		384,98 g		387,34 g			
Breite b1 [mm]		88,50 mm		87,00 mm			
Breite b2 [mm]		88,00 mm		88,00 mm			
Fläche A [mm ²]		7788,00 mm ²		7656,00 mm ²			
Höhe h [mm]							
Waage:		groß		groß			
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø	
0,00	0	422,92	9,86	425,70	9,90	9,88	
0,02	1	422,90	9,85	425,69	9,90	9,88	
0,03	2	422,89	9,85	425,68	9,90	9,87	
0,05	3	422,88	9,84	425,64	9,89	9,87	
0,07	4	422,84	9,83	425,62	9,88	9,86	
0,08	5	422,83	9,83	425,61	9,88	9,86	
0,17	10	422,79	9,82	425,59	9,88	9,85	
0,25	15	422,71	9,80	425,52	9,86	9,83	
0,33	20	422,69	9,80	425,49	9,85	9,82	
0,50	30	422,60	9,77	425,42	9,83	9,80	
0,77	46	422,50	9,75	425,32	9,81	9,78	
1,03	62	422,38	9,71	425,20	9,77	9,74	
1,57	94	422,10	9,64	424,93	9,70	9,67	
2,22	133	421,71	9,54	424,62	9,62	9,58	
3,05	183	421,32	9,44	424,20	9,52	9,48	
4,10	246	420,90	9,33	423,78	9,41	9,37	
4,75	285	420,49	9,22	423,40	9,31	9,27	
5,17	310	420,30	9,17	423,17	9,25	9,21	
22,17	1330	414,59	7,69	417,99	7,91	7,80	
23,95	1437	414,12	7,57	417,59	7,81	7,69	
25,70	1542	413,62	7,44	417,12	7,69	7,56	
30,05	1803	412,50	7,15	416,09	7,42	7,29	
46,20	2772	409,29	6,31	413,03	6,63	6,47	
48,50	2910	408,94	6,22	412,73	6,55	6,39	
54,02	3241	408,07	6,00	411,82	6,32	6,16	
69,83	4190	405,82	5,41	409,62	5,75	5,58	
75,00	4500	405,20	5,25	408,99	5,59	5,42	
78,25	4695	404,87	5,17	408,60	5,49	5,33	
94,78	5687	403,14	4,72	406,99	5,07	4,90	
97,92	5875	402,82	4,63	406,69	5,00	4,81	
99,37	5962	402,69	4,60	406,51	4,95	4,77	
100,80	6048	402,51	4,55	406,35	4,91	4,73	
119,53	7172	400,90	4,14	404,72	4,49	4,31	
125,13	7508	400,44	4,02	404,13	4,33	4,18	
165,67	9940	397,39	3,22	401,18	3,57	3,40	
g/h/m² (30-300min)		63,28		62,98		Ø 63,13	

		NANO FINISH A+B				
Probennummer:		NA FA+B 3		NA FA+B 4		
Masse trocken:		389,23 g		386,04 g		
Breite b1 [mm]		88,00 mm		87,00 mm		
Breite b2 [mm]		87,50 mm		88,00 mm		
Fläche A [mm ²]		7700,00 mm ²		7656,00 mm ²		
Höhe h [mm]		24,00 mm				
Waage:		groß		groß		
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø
0,00	0	424,64	9,10	420,28	8,87	8,98
0,02	1	424,62	9,09	420,18	8,84	8,97
0,03	2	424,62	9,09	420,15	8,84	8,96
0,05	3	424,62	9,09	420,15	8,84	8,96
0,07	4	424,62	9,09	420,15	8,84	8,96
0,08	5	424,61	9,09	420,13	8,83	8,96
0,25	15	424,56	9,08	420,09	8,82	8,95
0,52	31	424,50	9,06	420,00	8,80	8,93
0,75	45	424,42	9,04	419,92	8,78	8,91
0,97	58	424,38	9,03	419,85	8,76	8,89
1,70	102	424,19	8,98	419,62	8,70	8,84
1,85	111	424,12	8,96	419,58	8,69	8,83
2,70	162	423,90	8,91	419,11	8,57	8,74
4,17	250	423,51	8,81	418,88	8,51	8,66
4,82	289	423,38	8,77	418,69	8,46	8,62
5,60	336	423,17	8,72	418,40	8,38	8,55
7,05	423	422,79	8,62	417,91	8,26	8,44
23,23	1394	418,90	7,62	413,58	7,13	7,38
25,52	1531	418,42	7,50	413,10	7,01	7,25
31,00	1860	417,22	7,19	411,88	6,69	6,94
46,87	2812	415,41	6,73	409,76	6,14	6,44
51,98	3119	414,49	6,49	408,75	5,88	6,19
55,25	3315	413,94	6,35	408,20	5,74	6,04
68,75	4125	411,71	5,78	406,00	5,17	5,47
70,98	4259	411,31	5,67	405,62	5,07	5,37
72,40	4344	411,10	5,62	405,41	5,02	5,32
73,82	4429	410,91	5,57	405,24	4,97	5,27
92,50	5550	408,91	5,06	403,30	4,47	4,76
98,12	5887	408,31	4,90	402,71	4,32	4,61
139,00	8340	404,98	4,05	399,49	3,48	3,77
g/h/m² (30-300min)		33,83		39,79		Ø
						36,81

		NANO STONE PROTECT				
Probennummer:		NA SP 3		NA SP 4		
Masse trocken:		389,17 g		389,90 g		
Breite b1 [mm]		88,50 mm		88,50 mm		
Breite b2 [mm]		88,50 mm		88,00 mm		
Fläche A [mm ²]		7832,25 mm ²		7788,00 mm ²		
Höhe h [mm]						
Waage:		groß		groß		
Zeit [h]	Zeit [min]	m _{nass} [g]	m _w [%]	m _{nass} [g]	m _w [%]	Ø
0,00	0	429,02	10,24	426,30	9,54	9,89
0,02	1	428,92	10,21	426,29	9,54	9,88
0,03	2	428,92	10,21	426,28	9,54	9,87
0,05	3	428,91	10,21	426,26	9,53	9,87
0,07	4	428,90	10,21	426,23	9,52	9,87
0,08	5	428,89	10,21	426,22	9,52	9,86
0,17	10	428,86	10,20	426,18	9,51	9,85
0,25	15	428,80	10,18	426,12	9,49	9,84
0,33	20	428,75	10,17	426,09	9,49	9,83
0,50	30	428,70	10,16	426,01	9,47	9,81
0,77	46	428,62	10,14	425,94	9,45	9,79
1,03	62	428,50	10,11	425,80	9,41	9,76
1,57	94	428,27	10,05	425,55	9,35	9,70
2,22	133	427,92	9,96	425,24	9,27	9,61
3,05	183	427,60	9,87	424,88	9,18	9,53
4,10	246	427,19	9,77	424,46	9,07	9,42
4,75	285	426,85	9,68	424,10	8,98	9,33
5,17	310	426,67	9,64	423,89	8,92	9,28
22,17	1330	421,33	8,26	418,01	7,41	7,84
23,95	1437	420,88	8,15	417,55	7,29	7,72
25,70	1542	420,20	7,97	417,08	7,17	7,57
30,05	1803	419,29	7,74	415,90	6,87	7,30
46,20	2772	415,9	6,87	412,7	6,05	6,46
48,50	2910	415,55	6,78	412,35	5,96	6,37
54,02	3241	414,62	6,54	411,41	5,71	6,13
69,83	4190	412,77	6,06	409,62	5,25	5,66
75,00	4500	411,69	5,79	408,76	5,03	5,41
78,25	4695	411,19	5,66	408,28	4,91	5,28
94,78	5687	408,98	5,09	406,32	4,41	4,75
97,92	5875	408,55	4,98	406,02	4,33	4,65
99,37	5962	408,39	4,94	405,82	4,28	4,61
100,80	6048	408,2	4,89	405,68	4,24	4,57
119,53	7172	406,28	4,40	403,89	3,78	4,09
125,13	7508	405,7	4,25	403,32	3,64	3,94
165,67	9940	402,36	3,39	400,36	2,88	3,13
g/h/m² (30-300min)		55,54		58,33		Ø
						56,94

9.3 Wassereindringverhalten

Zeit			ohne Beschichtung							
Zeit s	Zeit min	Zeit vh	S-O-1 ml	S-O-2 ml	S-O ml	S-O kg/m ²	V-O-1 ml	V-O-2 ml	V-O ml	V-O kg/m ²
0	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0	0,00
30	0,50	0,09	0,25	0,11	0,18	0,33	0,63	0,8	0,715	1,30
60	1,00	0,13	0,43	0,21	0,32	0,58	1,00	1,2	1,1	2,00
90	1,50	0,16	0,58	0,31	0,445	0,81	1,40	1,65	1,525	2,77
120	2,00	0,18	0,7	0,4	0,55	1,00	1,70	2	1,85	3,36
150	2,50	0,20	0,8	0,48	0,64	1,16	2,00	2,3	2,15	3,91
180	3,00	0,22	0,9	0,55	0,725	1,32	2,25	2,6	2,425	4,41
210	3,50	0,24	1	0,6	0,8	1,45	2,52	2,9	2,71	4,93
240	4,00	0,26	1,07	0,69	0,88	1,60				
270	4,50	0,27	1,13	0,73	0,93	1,69				
300	5,00	0,29	1,22	0,8	1,01	1,84				
330	5,50	0,30	1,3	0,83	1,065	1,94				
360	6,00	0,32	1,4	0,89	1,145	2,08				
390	6,50	0,33	1,48	0,95	1,215	2,21				
420	7,00	0,34	1,55	1	1,275	2,32				
450	7,50	0,35	1,62	1,03	1,325	2,41				
480	8,00	0,37	1,7	1,09	1,395	2,54				
510	8,50	0,38	1,78	1,12	1,45	2,64				
540	9,00	0,39	1,85	1,18	1,515	2,75				
570	9,50	0,40	1,92	1,21	1,565	2,85				
600	10,00	0,41	1,99	1,26	1,625	2,95				

Zeit			Kalkbeschichtung							
Zeit s	Zeit min	Zeit vh	S-K-1 ml	S-K-2 ml	S-K ml	S-K kg/m ²	V-K-1 ml	V-K-2 ml	V-K ml	V-K kg/m ²
0	0,00	0,00	0	0	0	0,00	0	0	0	0,00
30	0,50	0,09	0,1	0,11	0,105	0,19	0,25	0,21	0,23	0,42
60	1,00	0,13	0,2	0,2	0,2	0,36	0,45	0,39	0,42	0,76
90	1,50	0,16	0,33	0,3	0,315	0,57	0,63	0,5	0,565	1,03
120	2,00	0,18	0,45	0,39	0,42	0,76	0,8	0,63	0,715	1,30
150	2,50	0,20	0,55	0,49	0,52	0,95	0,95	0,79	0,87	1,58
180	3,00	0,22	0,67	0,57	0,62	1,13	1,1	0,9	1	1,82
210	3,50	0,24	0,78	0,65	0,715	1,30	1,22			
240	4,00	0,26	0,88	0,71	0,795	1,45	1,38			
270	4,50	0,27	0,95	0,8	0,875	1,59	1,51			
300	5,00	0,29	1,05	0,89	0,97	1,76	1,65			
330	5,50	0,30	1,15	0,95	1,05	1,91	1,8			
360	6,00	0,32	1,25	1,05	1,15	2,09	1,91			
390	6,50	0,33	1,35	1,11	1,23	2,24	2,03			
420	7,00	0,34	1,42	1,2	1,31	2,38				
450	7,50	0,35	1,51	1,28	1,395	2,54				
480	8,00	0,37	1,6	1,32	1,46	2,65				
510	8,50	0,38	1,69	1,4	1,545	2,81				
540	9,00	0,39	1,78	1,49	1,635	2,97				
570	9,50	0,40	1,87	1,55	1,71	3,11				
600	10,00	0,41	1,94							
630	10,50	0,42	2,01							

Zeit			Siliconbeschichtung							
Zeit s	Zeit min	Zeit vh	S-R-1 ml	S-R-2 ml	S-R ml	S-R kg/m ²	V-R-1 ml	V-R-2 ml	V-R ml	V-R kg/m ²
0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
30	0,50	0,09	0,05	0	0,03	0,05	0	0,01	0,01	0,01
60	1,00	0,13	0,11	0,01	0,06	0,11	0,01	0,05	0,03	0,05
90	1,50	0,16	0,2	0,05	0,13	0,23	0,05	0,1	0,08	0,14
120	2,00	0,18	0,29	0,08	0,19	0,34	0,09	0,14	0,12	0,21
150	2,50	0,20	0,36	0,09	0,23	0,41	0,1	0,2	0,15	0,27
180	3,00	0,22	0,41	0,1	0,26	0,46	0,13	0,24	0,19	0,34
210	3,50	0,24	0,5	0,13	0,32	0,57	0,18	0,29	0,24	0,43
240	4,00	0,26	0,56	0,16	0,36	0,65	0,2	0,34	0,27	0,49
270	4,50	0,27	0,62	0,18	0,40	0,73	0,23	0,37	0,30	0,55
300	5,00	0,29	0,7	0,2	0,45	0,82	0,28	0,44	0,36	0,65
330	5,50	0,30	0,77	0,23	0,50	0,91	0,3	0,47	0,39	0,70
360	6,00	0,32	0,84	0,28	0,56	1,02	0,32	0,52	0,42	0,76
390	6,50	0,33	0,9	0,29	0,60	1,08	0,38	0,55	0,47	0,85
420	7,00	0,34	0,98	0,31	0,65	1,17	0,41	0,6	0,51	0,92
450	7,50	0,35	1	0,33	0,67	1,21	0,45	0,65	0,55	1,00
480	8,00	0,37	1,08	0,38	0,73	1,33	0,49	0,69	0,59	1,07
510	8,50	0,38	1,14	0,4	0,77	1,40	0,51	0,74	0,63	1,14
540	9,00	0,39	1,2	0,43	0,82	1,48	0,55	0,76	0,66	1,19
570	9,50	0,40	1,29	0,47	0,88	1,60	0,6	0,81	0,71	1,28
600	10,00	0,41	1,35	0,5	0,93	1,68	0,63	0,85	0,74	1,35
630	10,50	0,42	1,4	0,53	0,97	1,75	0,66	0,89	0,78	1,41
660	11,00	0,43	1,49	0,57	1,03	1,87	0,7	0,94	0,82	1,49
690	11,50	0,44	1,55				0,75	0,97	0,86	1,56
720	12,00	0,45	1,6				0,78	1,02	0,90	1,64
750	12,50	0,46	1,68				0,8	1,07	0,94	1,70
780	13,00	0,47	1,72				0,84	1,14	0,99	1,80

Zeit			Nanotechnologie			
Zeit s	Zeit min	Zeit vh	NA SP ml	NAFA+B ml	Nano ml	Nano kg/m ²
0	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00
20	0,33	0,07	0,03	0,02	0,03	0,05
40	0,67	0,11	0,05	0,05	0,05	0,09
60	1,00	0,13	0,08	0,08	0,08	0,15
80	1,33	0,15	0,1	0,095	0,10	0,18
100	1,67	0,17	0,125	0,11	0,12	0,21
240	4,00	0,26	0,22	0,18	0,20	0,36
260	4,33	0,27	0,235	0,18	0,21	0,38
280	4,67	0,28	0,25	0,2	0,23	0,41
300	5,00	0,29	0,27	0,203	0,24	0,43
320	5,33	0,30	0,29	0,205	0,25	0,45
420	7,00	0,34	0,345	0,27	0,31	0,56
440	7,33	0,35	0,365	0,29	0,33	0,60
460	7,67	0,36	0,38	0,295	0,34	0,61
480	8,00	0,37	0,39	0,3	0,35	0,63
500	8,33	0,37	0,4	0,31	0,36	0,65
520	8,67	0,38	0,415	0,315	0,37	0,66
540	9,00	0,39	0,425	0,32	0,37	0,68
560	9,33	0,39	0,43	0,325	0,38	0,69
580	9,67	0,40	0,445	0,33	0,39	0,70
600	10,00	0,41	0,46	0,335	0,40	0,72
620	10,33	0,41	0,48	0,34	0,41	0,75
700	11,67	0,44	0,515	0,395	0,46	0,83
720	12,00	0,45	0,525	0,4	0,46	0,84
740	12,33	0,45	0,535	0,401	0,47	0,85
760	12,67	0,46	0,545	0,405	0,48	0,86
780	13,00	0,47	0,55	0,41	0,48	0,87
800	13,33	0,47	0,56	0,415	0,49	0,89
820	13,67	0,48	0,575	0,42	0,50	0,90
840	14,00	0,48	0,58	0,425	0,50	0,91
860	14,33	0,49	0,595	0,435	0,52	0,94
880	14,67	0,49	0,605	0,445	0,53	0,95
900	15,00	0,50	0,61	0,45	0,53	0,96
1500	25,00	0,65	0,895	0,65	0,77	1,40

9.4 Frost-Tauwechselversuche

Zyklen	Datum	t _{Frost}	t _{Tau}		V-O-W-1	V-O-W-2	V-O-W-3	S-O-W-1	S-O-W-2	S-O-W-3	
0	04.10.06		3 h	m _{NASS}	427,6 g	424,2 g	451,5 g	380,1 g	370,1 g	372,3 g	
1	05.10.06	21 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	
				Bildnummer		B 1916			B 1917		
				Massenänderung	m _{NASS}	432,8 g	429,1 g	456,3 g	385,5 g	375,5 g	376,8 g
				Massendiff.		-5,2 g	-4,9 g	-4,8 g	-5,4 g	-5,4 g	-4,5 g
2	06.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	
				Bildnummer		1929			1930		
				Bemerkung		Abplatzung vom Lack					
				Massenänderung	m _{NASS}	433,0 g	429,0 g	456,3 g	387,0 g	377,3 g	378,2 g
				Massendiff.	? m	-5,4 g	-4,8 g	-4,8 g	-6,9 g	-7,2 g	-5,9 g
				Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
3	09.10.06	66 h	6 h	Bildnummer		1946			1947		
				Massenänderung	m _{NASS}	433,4 g	429,5 g	456,8 g	388,4 g	378,4 g	379,4 g
				Massendiff.		-5,8 g	-5,3 g	-5,3 g	-8,3 g	-8,3 g	-7,1 g
				Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
4	10.10.06	18 h	6 h	Bildnummer		1958			1959		
				Massenänderung	m _{NASS}	433,4 g	429,6 g	456,4 g	389,1 g	378,7 g	379,6 g
				Massendiff.		-5,8 g	-5,4 g	-4,9 g	-9,0 g	-8,6 g	-7,3 g
				Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
5	11.10.06	18 h	6 h	Bildnummer		1975			1973		
				Massenänderung	m _{NASS}	433,9 g	429,9 g	457,0 g	389,2 g	378,6 g	379,8 g
				Massendiff.		-6,3 g	-5,7 g	-5,5 g	-9,1 g	-8,5 g	-7,5 g
				Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
6	13.10.06	42 h	6 h	Bildnummer		1993			1992		
				Massenänderung	m _{NASS}	434,6 g	430,7 g	457,2 g	389,9 g	379,2 g	380,7 g
				Massendiff.		-7,0 g	-6,5 g	-5,7 g	-9,8 g	-9,1 g	-8,4 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
7	14.10.06	18 h	6 h	Bildnummer		2004			2005		
				Bemerkung		leichtes Abbröseln d. Oberfl.			leichtes Abbröseln d. Oberfl.		
				Massenänderung	m _{NASS}	434,6 g	430,7 g	458,0 g	389,9 g	378,8 g	380,3 g
				Massendiff.		-7,0 g	-6,5 g	-6,5 g	-9,8 g	-8,7 g	-8,0 g
8	16.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	433,1 g	429,1 g	455,7 g	388,3 g	376,6 g	377,9 g
				Massendiff.		-5,5 g	-4,9 g	-4,2 g	-8,2 g	-6,5 g	-5,6 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
9	17.10.06	18 h	5 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	434,8 g	430,6 g	458,0 g	388,9 g	378,9 g	379,8 g
				Massendiff.		-7,2 g	-6,4 g	-6,5 g	-8,8 g	-8,8 g	-7,5 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
10	23.10.06	139 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	431,3 g	427,5 g	455,1 g	387,9 g	375,5 g	376,9 g
				Massendiff.		-3,7 g	-3,3 g	-3,6 g	-7,8 g	-5,4 g	-4,6 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
11	24.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	433,2 g	428,7 g	456,0 g	387,5 g	376,5 g	377,8 g
				Massendiff.		-5,6 g	-4,5 g	-4,5 g	-7,4 g	-6,4 g	-5,5 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
12	25.10.06	18 h	5 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	432,7 g	428,4 g	456,9 g	387,6 g	376,7 g	378,3 g
				Massendiff.		-5,1 g	-4,2 g	-5,4 g	-7,5 g	-6,6 g	-6,0 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
13	31.10.06	139 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	434,0 g	430,4 g	457,9 g	388,2 g	377,5 g	378,7 g
				Massendiff.		-6,4 g	-6,2 g	-6,4 g	-8,1 g	-7,4 g	-6,4 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
14	02.11.06	42 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	434,5 g	430,4 g	457,9 g	388,7 g	378,7 g	379,2 g
				Massendiff.	? m	-6,9 g	-6,2 g	-6,4 g	-8,6 g	-8,6 g	-6,9 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
15	03.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	434,3 g	430,4 g	457,7 g	389,3 g	378,2 g	379,6 g
				Massendiff.		-6,7 g	-6,2 g	-6,2 g	-9,2 g	-8,1 g	-7,3 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
16	06.11.06	66 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	434,8 g	430,9 g	457,9 g	389,4 g	378,6 g	379,7 g
				Massendiff.		-7,2 g	-6,7 g	-6,4 g	-9,3 g	-8,5 g	-7,4 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
17	13.11.06	162 h	5 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	434,7 g	431,1 g	458,7 g	388,8 g	378,1 g	379,2 g
				Massendiff.		-7,1 g	-6,9 g	-7,2 g	-8,7 g	-8,0 g	-6,9 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
18	14.11.06	19 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	435,1 g	430,8 g	457,8 g	389,2 g	378,0 g	379,1 g
				Massendiff.		-7,5 g	-6,6 g	-6,3 g	-9,1 g	-7,9 g	-6,8 g
				Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
19	15.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	434,7 g	430,8 g	457,9 g	390,0 g	378,1 g	379,3 g
				Massendiff.		-7,1 g	-6,6 g	-6,4 g	-9,9 g	-8,0 g	-7,0 g

Zyklen	Datum	t _{Frost}	t _{Tau}		V-O-W-1	V-O-W-2	V-O-W-3	S-O-W-1	S-O-W-2	S-O-W-3	
20	16.11.06	18 h	6 h	Sichtpr	Stein	1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	435,2 g -7,6 g	430,8 g -6,6 g	458,5 g -7,0 g	390,3 g -10,2 g	379,0 g -8,9 g	379,6 g -7,3 g
21	20.11.06	90 h	6 h	Sichtpr	Stein	1	1	1	1	1	
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	435,1 g -7,5 g	431,1 g -6,9 g	458,7 g -7,2 g	389,2 g -9,1 g	378,4 g -8,3 g	379,4 g -7,1 g
22	21.11.06	18 h	6 h	Sichtpr	Stein	1	1	1	1	1	
23	27.11.06	138 h	6 h	Sichtpr	Stein	1	1	1	1	1	
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	435,5 g -7,9 g	431,0 g -6,8 g	458,2 g -6,7 g	389,5 g -9,4 g	378,4 g -8,3 g	379,4 g -7,1 g
24	28.11.06	18 h	6 h	Sichtpr	Stein	1	1	1	1	1	
25	29.11.06	18 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Bildnummer	1 2221	1 2222, 2235	1 2223	1 2224	1 2225	1 2226, 2238
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	435,0 g -7,4 g	431,3 g -7,1 g	459,2 g -7,7 g	389,9 g -9,8 g	379,3 g -9,2 g	380,5 g -8,2 g

Zyklen	Datum	t _{Frost}	t _{Tau}		V-K-W-1	V-K-W-2	V-K-W-3	S-K-W-1	S-K-W-2	S-K-W-3
0	04.10.06		3 h	m _{NASS}	436,6 g	425,5 g	458,2 g	345,5 g	377,5 g	351,3 g
1	05.10.06	21 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Beschichtung Bildnummer Bemerkung	0 1 B1911-1912	0 0 Marmorierung d. Oberfläche	0 0 keine Veränderung d. Oberfl.	0 0 B 1913	0 0 keine Veränderung d. Oberfl.
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	441,8 g -5,2 g	430,3 g -4,8 g	461,4 g -3,2 g	350,0 g -4,5 g	381,8 g -4,3 g
2	06.10.06	18 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Beschichtung Bildnummer Bemerkung	0 2 1923-1925	0 2 Abplatzung vom Lack	0 1 1926-1927	0 0 1926-1927	0 0 0
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	443,0 g -6,4 g	431,1 g -5,6 g	462,1 g -3,9 g	351,5 g -6,0 g	382,1 g -4,6 g
3	09.10.06	66 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Beschichtung Bemerkung	0 2 1942-43	0 2 2	0 1 1940-41	0 1 1940-41	0 1 1
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	443,0 g -6,4 g	432,0 g -6,5 g	463,4 g -5,2 g	353,3 g -7,8 g	384,1 g -6,6 g
4	10.10.06	18 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Beschichtung Bemerkung	0 3 1956-57	0 3 3	0 1 1953-55	0 1 1953-55	0 1 1
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	443,9 g -7,3 g	432,7 g -7,2 g	463,9 g -5,7 g	354,1 g -8,6 g	384,5 g -7,0 g
5	11.10.06	18 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Beschichtung Bildnummer	0 3 1970-71	0 3 3	0 2 1968-69	0 2 1968-69	0 2 2
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	443,7 g -7,1 g	432,2 g -6,7 g	463,4 g -5,2 g	354,4 g -8,9 g	384,4 g -6,9 g
6	13.10.06	42 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Beschichtung Bildnummer	0 3 1989	0 3 3	0 2 1987-88	0 2 1987-88	0 2 2
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	444,3 g -7,7 g	433,2 g -7,7 g	464,9 g -6,7 g	354,9 g -9,4 g	384,9 g -7,4 g
7	14.10.06	18 h	6 h	Sicht- prüfung	Stein Beschichtung Bildnummer Bemerkung	0 4 1999,2002	0 4 4	0 4 2000,2001	0 4 2000,2001	0 4 360,4 g
				Massen- änderung	m _{NASS} Massendiff.	445,4 g -8,8 g	434,0 g -8,5 g	465,6 g -7,4 g	355,8 g -10,3 g	384,8 g -7,3 g

Zyklen	Datum	t _{Frost}	t _{Tau}		S-R-W-1	S-R-W-2	S-R-W-3	V-R-W-1	V-R-W-2	V-R-W-3	
0	04.10.06		3 h	m _{NASS}	380,3 g	370,6 g	368,2 g	458,2 g	436,5 g	460,3 g	
1	05.10.06	21 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	0	0	0	
				Bildnummer	B1910			B1908-1909			
				Bemerkung	Oberfläche leicht milchig						
				Massenänderung	m _{NASS}	384,2 g	375,6 g	373,0 g	463,8 g	442,8 g	464,9 g
				Massendiff.	-3,9 g	-5,0 g	-4,8 g	-5,6 g	-6,3 g	-4,6 g	
2	06.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	0	0	0	
				Bildnummer	B1922			B1920			
				Bemerkung	Abplatzung vom Lack						
				Massenänderung	m _{NASS}	385,8 g	376,5 g	374,0 g	463,8 g	443,2 g	465,2 g
				Massendiff.	-5,5 g	-5,9 g	-5,8 g	-5,6 g	-6,7 g	-4,9 g	
3	09.10.06	66 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Bildnummer	1936			1935			
				Bemerkung	Farbe läßt sich herunterwischen						
				Massenänderung	m _{NASS}	387,5 g	378,3 g	375,8 g	463,7 g	443,2 g	465,1 g
				Massendiff.	-7,2 g	-7,7 g	-7,6 g	-5,5 g	-6,7 g	-4,8 g	
4	10.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Bemerkung	1950			1951			
				Massenänderung	m _{NASS}	388,0 g	378,5 g	376,2 g	463,8 g	443,8 g	465,4 g
				Massendiff.	-7,7 g	-7,9 g	-8,0 g	-5,6 g	-7,3 g	-5,1 g	
5	11.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Bildnummer	1961			1964, 1967 (Hautfetzen)			
				Massenänderung	m _{NASS}	388,6 g	378,6 g	376,1 g	464,2 g	443,5 g	465,6 g
				Massendiff.	-8,3 g	-8,0 g	-7,9 g	-6,0 g	-7,0 g	-5,3 g	
6	13.10.06	42 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Bildnummer	1986			1985			
				Bemerkung	Hautfetzen						
				Massenänderung	m _{NASS}	388,7 g	378,8 g	376,8 g	464,8 g	444,6 g	466,0 g
				Massendiff.	-8,4 g	-8,2 g	-8,6 g	-6,6 g	-8,1 g	-5,7 g	
7	14.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Bildnummer	1996			1997			
				Bemerkung	Hautfetzen						
				Massenänderung	m _{NASS}	388,8 g	380,4 g	377,3 g	465,5 g	444,6 g	466,1 g
				Massendiff.	-8,5 g	-9,8 g	-9,1 g	-7,3 g	-8,1 g	-5,8 g	
8	16.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	387,4 g	378,3 g	375,8 g	465,0 g	443,5 g	466,2 g
				Massendiff.	-7,1 g	-7,7 g	-7,6 g	-6,8 g	-7,0 g	-5,9 g	
9	17.10.06	18 h	5 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	388,8 g	379,8 g	377,7 g	465,3 g	444,5 g	466,7 g
				Massendiff.	-8,5 g	-9,2 g	-9,5 g	-7,1 g	-8,0 g	-6,4 g	
10	23.10.06	139 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	1	1	1	
				Massenänderung	m _{NASS}	386,9 g	378,0 g	375,6 g	464,1 g	443,4 g	464,9 g
				Massendiff.	-6,6 g	-7,4 g	-7,4 g	-5,9 g	-6,9 g	-4,6 g	

Zyklen	Datum	t _{Frost}	t _{Tau}		S-R-W-1	S-R-W-2	S-R-W-3	V-R-W-1	V-R-W-2	V-R-W-3	
11	24.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		0	0	0	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	386,8 g	377,6 g	375,0 g	464,1 g	443,5 g	465,5 g
				Massendiff.		-6,5 g	-7,0 g	-6,8 g	-5,9 g	-7,0 g	-5,2 g
12	25.10.06	18 h	5 h 16:00	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		0	0	0	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	387,4 g	378,0 g	375,4 g	464,4 g	443,5 g	465,4 g
				Massendiff.		-7,1 g	-7,4 g	-7,2 g	-6,2 g	-7,0 g	-5,1 g
13	31.10.06	139 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Bildnummer		2042-43					
				Bemerkung		leichte Blasenbildung d. Oberfläche					
				Massen- änderung	m _{NASS}	387,9 g	378,9 g	377,2 g	466,1 g	445,3 g	468,2 g
				Massendiff.		-7,6 g	-8,3 g	-9,0 g	-7,9 g	-8,8 g	-7,9 g
14	02.11.06	42 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	387,6 g	378,4 g	376,1 g	465,0 g	444,6 g	467,0 g
				Massendiff.		-7,3 g	-7,8 g	-7,9 g	-6,8 g	-8,1 g	-6,7 g
15	03.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	387,7 g	379,0 g	376,3 g	465,4 g	444,6 g	467,4 g
				Massendiff.		-7,4 g	-8,4 g	-8,1 g	-7,2 g	-8,1 g	-7,1 g
16	06.11.06	66 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	388,9 g	379,1 g	377,0 g	467,6 g	445,2 g	465,5 g
				Massendiff.		-8,6 g	-8,5 g	-8,8 g	-9,4 g	-8,7 g	-5,2 g
17	13.11.06	162 h	5 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	388,6 g	379,2 g	377,2 g	465,8 g	444,9 g	467,2 g
				Massendiff.		-8,3 g	-8,6 g	-9,0 g	-7,6 g	-8,4 g	-6,9 g
18	14.11.06	19 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	388,6 g	379,5 g	377,2 g	465,9 g	445,1 g	467,8 g
				Massendiff.		-8,3 g	-8,9 g	-9,0 g	-7,7 g	-8,6 g	-7,5 g
19	15.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	388,7 g	379,4 g	377,1 g	466,2 g	445,1 g	467,4 g
				Massendiff.		-8,4 g	-8,8 g	-8,9 g	-8,0 g	-8,6 g	-7,1 g
20	16.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	390,0 g	380,0 g	378,5 g	466,1 g	444,9 g	467,3 g
				Massendiff.		-9,7 g	-9,4 g	-10,3 g	-7,9 g	-8,4 g	-7,0 g
21	20.11.06	90 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	390,4 g	380,1 g	377,9 g	466,4 g	445,1 g	467,7 g
				Massendiff.		-10,1 g	-9,5 g	-9,7 g	-8,2 g	-8,6 g	-7,4 g
22	21.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
23	27.11.06	138 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Massen- änderung	m _{NASS}	390,4 g	380,4 g	378,1 g	466,6 g	444,8 g	467,5 g
				Massendiff.		-10,1 g	-9,8 g	-9,9 g	-8,4 g	-8,3 g	-7,2 g
24	28.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
25	29.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung		1	1	1	1	1	1
				Bildnummer		2208, 224	2209	2210	2213	2214	2211, 2240
				Massen- änderung	m _{NASS}	391,1 g	381,1 g	378,3 g	467,3 g	445,2 g	468,3 g
				Massendiff.		-10,8 g	-10,5 g	-10,1 g	-9,1 g	-8,7 g	-8,0 g

Zyklen	Datum	t _{Frost}	t _{Tau}		NA FA+B1	NA FA+B2	NA FA 1	NA FA 2	NA SP 1	NA SP 2	
0	04.10.06		3 h	m _{NASS}	404,4 g	398,5 g	397,6 g	404,1 g	404,7 g	409,6 g	
1	05.10.06	21 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	0	0	0	
				Bildnummer	B 1919		B 1914-1915		B 1907		
				Massenänderung	m _{NASS}	407,7 g	403,1 g	402,3 g	408,0 g	409,2 g	414,6 g
				Massendiff.	-3,3 g	-4,6 g	-4,7 g	-3,9 g	-4,5 g	-5,0 g	
2	06.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	0	0
				Beschichtung	0	0	0	0	0	0	
				Bildnummer	1931		1928		B1921		
				Massenänderung	m _{NASS}	408,1 g	403,4 g	402,5 g	408,3 g	409,6 g	415,2 g
				Massendiff.	-3,7 g	-4,9 g	-4,9 g	-4,2 g	-4,9 g	-5,6 g	
3	09.10.06	66 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer	1948		Hautfetzen		1937-1938		
				Bemerkung			1944-45		"Ausblühungen"		
				Massenänderung	m _{NASS}	408,5 g	404,2 g	403,2 g	408,6 g	410,0 g	415,0 g
				Massendiff.	-4,1 g	-5,7 g	-5,6 g	-4,5 g	-5,3 g	-5,4 g	
4	10.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer	1960						
				Bemerkung			1952		1949		
				Massenänderung	m _{NASS}	408,9 g	404,4 g	403,6 g	409,2 g	409,8 g	415,0 g
				Massendiff.	-4,5 g	-5,9 g	-6,0 g	-5,1 g	-5,1 g	-5,4 g	
5	11.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	0	0	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer	1976		1972		1962-63		
				Bemerkung			Hautfetzen		Ausblühungen		
				Massenänderung	m _{NASS}	409,3 g	405,0 g	403,7 g	409,0 g	410,7 g	415,9 g
				Massendiff.	-4,9 g	-6,5 g	-6,1 g	-4,9 g	-6,0 g	-6,3 g	
6	13.10.06	42 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	1	1	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer	1994		1990		1983-84		
				Bemerkung			leichtes Abbröckeln		Ausbl. + Abbröckeln		
				Massenänderung	m _{NASS}	409,9 g	405,5 g	404,1 g	409,9 g	410,7 g	416,1 g
				Massendiff.	-5,5 g	-7,0 g	-6,5 g	-5,8 g	-6,0 g	-6,5 g	
7	14.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	1	1	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer	2003		1998		1995		
				Bemerkung			leichtes Abbröckeln		Flausch+Abbröckeln		
				Massenänderung	m _{NASS}	410,3 g	405,5 g	404,6 g	410,0 g	411,5 g	417,2 g
				Massendiff.	-5,9 g	-7,0 g	-7,0 g	-5,9 g	-6,8 g	-7,6 g	
8	16.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	1	1	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer							
				Bemerkung							
				Massenänderung	m _{NASS}	409,2 g	404,4 g	404,9 g	409,7 g	411,5 g	416,1 g
				Massendiff.	-4,8 g	-5,9 g	-7,3 g	-5,6 g	-6,8 g	-6,5 g	
9	17.10.06	18 h	5 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	1	1	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer							
				Bemerkung							
				Massenänderung	m _{NASS}	411,1 g	405,9 g	404,7 g	410,3 g	411,7 g	417,4 g
				Massendiff.	-6,7 g	-7,4 g	-7,1 g	-6,2 g	-7,0 g	-7,8 g	
10	23.10.06	139 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	0	0	1	1	1	1
				Beschichtung	0	0	2	2	1	1	
				Bildnummer							
				Bemerkung							
				Massenänderung	m _{NASS}	408,8 g	404,5 g	403,2 g	408,3 g	409,7 g	415,1 g
				Massendiff.	-4,4 g	-6,0 g	-5,6 g	-4,2 g	-5,0 g	-5,5 g	
11	24.10.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
				Beschichtung	?	?	2	2	1	1	
				Bildnummer							
				Bemerkung							
				Massenänderung	m _{NASS}	409,4 g	404,6 g	403,8 g	409,2 g	410,4 g	415,9 g
				Massendiff.	-5,0 g	-6,1 g	-6,2 g	-5,1 g	-5,7 g	-6,3 g	
12	25.10.06	18 h	5 h 16:00	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
				Beschichtung	?	?	2	2	1	1	
				Bildnummer							
				Bemerkung							
				Massenänderung	m _{NASS}	409,4 g	404,7 g	404,2 g	409,4 g	410,8 g	415,9 g
				Massendiff.	-5,0 g	-6,2 g	-6,6 g	-5,3 g	-6,1 g	-6,3 g	
13	31.10.06	139 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	1	1	1
				Beschichtung	?	?	2	2	1	1	
				Bildnummer							
				Bemerkung							
				Massenänderung	m _{NASS}	411,0 g	405,7 g	405,0 g	411,0 g	411,7 g	416,8 g
				Massendiff.	-6,6 g	-7,2 g	-7,4 g	-6,9 g	-7,0 g	-7,2 g	

Zyklen	Datum	t _{Frost}	t _{Tau}		NA FA+B1	NA FA+B2	NA FA 1	NA FA 2	NA SP 1	NA SP 2	
14	02.11.06	42 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	2	2	
				Beschichtung	? ?	2	2	? ?	?		
				Bildnummer	B2044-45				2044-45		
				Bemerkung	leichtes Abplatzen d. Oberfläche bei FA+B1				Abplatzungen an d. Oberfl.		
				Massenänderung	m _{NASS}	410,5 g	406,1 g	404,5 g	410,0 g	411,7 g	416,5 g
				Massendiff.	-6,1 g	-7,6 g	-6,9 g	-5,9 g	-7,0 g	-6,9 g	
15	03.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	2	2	
				Beschichtung	? ?	2	2	? ?	?		
				Massenänderung	m _{NASS}	410,4 g	405,7 g	404,5 g	410,4 g	412,0 g	416,8 g
				Massendiff.	-6,0 g	-7,2 g	-6,9 g	-6,3 g	-7,3 g	-7,2 g	
16	06.11.06	66 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	1	2	2	
				Beschichtung	? ?	? ?	? ?	? ?	?		
				Massenänderung	m _{NASS}	410,7 g	406,2 g	404,3 g	410,6 g	412,4 g	417,1 g
				Massendiff.	-6,3 g	-7,7 g	-6,7 g	-6,5 g	-7,7 g	-7,5 g	
17	13.11.06	162 h	5 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	2	2	2	
				Beschichtung	? ?	? ?	? ?	? ?	?		
				Massenänderung	m _{NASS}	411,4 g	406,5 g	404,6 g	410,2 g	412,1 g	416,6 g
				Massendiff.	-7,0 g	-8,0 g	-7,0 g	-6,1 g	-7,4 g	-7,0 g	
18	14.11.06	19 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	2	2	3	
				Beschichtung	? ?	? ?	? ?	? ?	?		
				Bildnummer			B2098		B2098 B 2096, 2097		
				Bemerkung			Abplatzungen und Abheben d. Oberfläche		NP SP 1: wenige Abplatzungen, aber starke flauschige Ausblühungen NP SP 2: Abplatzungen d. Oberfläche		
				Massenänderung	m _{NASS}	411,3 g	406,7 g	405,5 g	411,0 g	412,8 g	417,4 g
				Massendiff.	-6,9 g	-8,2 g	-7,9 g	-6,9 g	-8,1 g	-7,8 g	
19	15.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	2	2	3	
				Beschichtung	? ?	? ?	? ?	? ?	?		
				Massenänderung	m _{NASS}	411,5 g	406,9 g	405,5 g	410,7 g	412,7 g	417,5 g
				Massendiff.	-7,1 g	-8,4 g	-7,9 g	-6,6 g	-8,0 g	-7,9 g	
20	16.11.06	18 h	6 h	Sichtpr.	Stein	1	1	3	2	3	
				Massenänderung	m _{NASS}	411,6 g	407,4 g	406,0 g	411,9 g	412,8 g	417,9 g
				Massendiff.	-7,2 g	-8,9 g	-8,4 g	-7,8 g	-8,1 g	-8,3 g	
21	20.11.06	90 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	3	2	3	
				Bildnummer			B2144-45				
				Massenänderung	m _{NASS}	411,5 g	406,6 g	406,0 g	410,6 g	412,6 g	417,0 g
				Massendiff.	-7,1 g	-8,1 g	-8,4 g	-6,5 g	-7,9 g	-7,4 g	
22	21.11.06	18 h	6 h	Sichtpr.	Stein	1	1	3	2	3	
23	27.11.06	138 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	3	2	3	
				Bemerkung					Abbrechen von Teilen am Rand		
				Massenänderung	m _{NASS}	412,5 g	407,8 g	408,5 g	411,6 g	414,3 g	418,3 g
				Massendiff.	-8,1 g	-9,3 g	-10,9 g	-7,5 g	-9,6 g	-8,7 g	
24	28.11.06	18 h	6 h	Sichtpr.	Stein	1	1	3	2	3	
25	29.11.06	18 h	6 h	Sichtprüfung	Stein	1	1	5	3	3	
				Bildnummer	2214 2215, 2234	2219, 2233	2220, 2239	2217, 2237	2218		
				Massenänderung	m _{NASS}	413,2 g	408,1 g	406,6 g	412,3 g	415,5 g	413,6 g
				Massendiff.	-8,8 g	-9,6 g	-9,0 g	-8,2 g	-10,8 g	-4,0 g	

9.5 Widerstand gegen Kristallisation von Salzen

1 (2.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2048	Ausblühungen in Form von "Zuckerguss" auf der Oberfläche
	S-O-S	B2054	
Silicon	V-R-S	B2046	Ausblühungen in Form von Verkrustungen an der Oberfläche
	S-R-S	B2047	
Kalk	V-K-S	B2052	Abheben der Kalkoberfläche, Salzausblühungen unter der Oberfläche wie Vicenza, nur stärkeres Abheben und zusätzliches Vergilben d. Kalkoberfläche
	S-K-S	B2059	
Nano-technologie	Nano FA+B	B2063	starke Ausblühungen in Form von Verkrustungen und zusätzlich Abplatzung d. Oberfläche fast keine Ausblühungen sichtbar, jedoch Zerstörung der Steinoberfläche (Abplatzungen)
	Nano FA	B2063	
	Nano SP	B2060	
2 (3.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2076	wie 1 nur stärker
	S-O-S	B2072	
Silicon	V-R-S	B2075	wie 1 nur stärker
	S-R-S	B2071	
Kalk	V-K-S	B2074	sehr starkes Abheben der Kalkoberfläche sehr starkes Abheben der Kalkoberfläche
	S-K-S	B2070	
Nano-technologie	Nano FA+B	B2067	leichte Ausblühungen aber starke Abplatzungen der Steinoberfläche (ca. 2mm) wie 1 nur stärker wie 1 nur stärker
	Nano FA	B2068	
	Nano SP	B2069	
3 (6.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2086	wie 2 nur stärker
	S-O-S	B2085	
Silicon	V-R-S	B2084	wie 2 nur stärker
	S-R-S	B2083	
Kalk	V-K-S	B2082	Durch die starke Blasenbildung Entstehung von Rissen und teilweise absplintern
	S-K-S	B2080	
Nano-technologie	Nano FA+B	B2077	Abplatzung der Oberfläche in Form von Wulsten, Auskristallisation nur teilweise sichtbar starke Auskristallisation und Abplatzung der Oberfläche
	Nano FA	B2078	
	Nano SP	B2079	
4 (13.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2092	wie 3 nur stärker
	S-O-S	B2091	
Siicon	V-R-S	B2090	wie 3 nur stärker
	S-R-S	B2089	
Kalk	V-K-S	B2088	wie 3 nur stärker
	S-K-S	B2087	
Nano-technologie	Nano FA+B	B2093	Abheben der obersten Steinschicht (wulstartig), nur wenige Ausblühungen sichtbar wie 3 nur stärker
	Nano FA	B2094	
	Nano SP	B2095	
5 (14.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2105	wie 4 nur stärker
	S-O-S	B2104	
Silicon	V-R-S	B2103	wie 4 nur stärker
	S-R-S	B2102	
Kalk	V-K-S	B2101	wie 4 nur stärker. Sulfattest der Kalkoberfläche: positiv
	S-K-S	B2100	
Nano-technologie	Nano FA+B	B2107	wie 4 nur stärker
	Nano FA	B2106	
	Nano SP	B2108	

6 (15.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2113	wie 5 nur stärker
	S-O-S	B2112	
Silicon	V-R-S	B2115	leichte Zerstörung der Steinoberfläche unter der Salzschrift sichtbar (Hebungen) starke Zerstörung der Steinoberfläche
	S-R-S	B2114	
Kalk	V-K-S	B2117	wie 5 nur stärker
	S-K-S	B2116	
Nano-technologie	Nano FA+B	B2109	wie 5 nur stärker
	Nano FA	B2111	
	Nano SP	B2110	
7 (16.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2122	wie 6 nur stärker
	S-O-S	B2123	
Silicon	V-R-S	B2120	wie 6 nur stärker
	S-R-S	B2121	
Kalk	V-K-S	B2118	wie 6 nur stärker Zersörung bis zur Gesteinsoberfläche Beenden der Versuchsreihe
	S-K-S	B2119	
Nano-technologie	Nano FA+B	B2126	Risse im Gestein, Ausblühungen bei Nano FA+B 4 stärker als bei Nano FA+B 3
	Nano FA	B2124	
	Nano SP	B2125	
8 (20.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	B2148	wie 7 nur stärker
	S-O-S	B2150	
Silicon	V-R-S	B2146	wie 7 nur stärker
	S-R-S	B2149, 2154-57	
Kalk	V-K-S	B2147	wie 7 nur stärker
Nano-technologie	Nano FA+B	(3) B2152	wie 7 nur stärker
	Nano FA	(4) B2153	
	Nano SP	(3) B2151	
9 (21.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S	(1) B2164	wie 8 nur stärker
	S-O-S	(3) B2163	
silicon	V-R-S	(1) B2165	wie 8 nur stärker
	S-R-S	(2) B2162	
Kalk	V-K-S	(2) B2166	wie 8 nur stärker
Nano-technologie	Nano FA+B	(4) B2160	wie 8 nur stärker
	Nano FA	(4) B2158	
	Nano SP	(4) B2159	
10 (27.11.2006)			
ohne Beschichtung	V-O-S S-O-S	(3)B2175	wie 9 nur stärker
		(2)B2174	
		(1)B2173	
		(3)B2169	
		(2)B2168	
Silicon	V-R-S S-R-S	(1)B2167	wie 9 nur stärker
		(3)B2178	
		(2)B2177	
		(1)B2176	
		(3)B2172	
Kalk	V-K-S	(2)B2171	wie 9 nur stärker
		(1)B2170	
		(3)B2181	
		(2)B2180	
		(1)B2179	
Nano-technologie	Nano FA+B Nano FA Nano SP	(3)B2204	wie 9 nur stärker
		(4)B2198+99	
		(3)B2201	
		(4)B2202	
		(3)B2203	
		(4)B2200	