

DISSERTATION

Bauphysikalische Bewertung ausgewählter Sanierungsvarianten unter besonderer Berücksichtigung von Paraffinen und kapillar leitfähigen Dämmstoffen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.Dr. Jürgen Dreyer
E206
Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz,
Fachbereich Bauphysik

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Dipl.-Ing. Clemens Hecht
E9626861
A-1060 Wien, Strohmayergasse 15/33



Wien, im Mai 2001

Meinen Eltern

Martha und Rudolf Hecht

Vorwort

Ich habe mit der vorliegenden Arbeit einen Weg eingeschlagen, von dem ich zuerst nur gehofft habe, ihn bewältigen zu können. Inzwischen weiß ich, daß es nicht nur eine richtige Entscheidung war, sondern auch so weitergehen soll: zielstrebig und erfolgreich !

An dieser Stelle möchte ich versuchen, all jene persönlich zu erwähnen, die mit dazu beigetragen haben, das vorzulegen, was der werte Leser gerade vor sich hat. Mir ist dies besonders wichtig, da ich der Meinung bin, daß eine solche Arbeit nie ohne die Hilfe und Unterstützung zahlreicher Anderer entstehen kann. Vieles hat eine enorme Bedeutung, auch wenn es nicht direkt mit dem Erreichten zu tun hat. Mir ist natürlich klar, daß, wenn ich hier jemanden vergessen sollte, dies ungeahnte Folgen haben wird.

Beginnen möchte ich bei meinen Eltern. Sie haben mich in jeder Phase meines schulischen und beruflichen Werdeganges unterstützt und gefo(e)rdert. Sie haben somit dazu beigetragen, daß ich das Erreichte verwirklichen konnte !

Meinen zahllosen Lehrern, Professoren und Assistenten in Potsdam und Weimar, die mir die Grundlagen „eingetrichtert“ haben, um soweit kommen zu können. Hervorheben möchte ich Herrn em. o.Univ.Prof.Dr. G. Hilbig. Er war es, der mir den Weg nach Wien geebnet hat und mir die Chance offenbarte, eine Dissertation anzufertigen. Dafür werde ich ihm immer dankbar sein.

In der Chronologie angeschlossen bin ich Herrn o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.Dr. J. Dreyer zu Dank verpflichtet, da er mir dieses interessante Thema überlassen hat. Dies war hervorragend vorbereitet, so daß ich sofort mit den Untersuchungen beginnen konnte. Daher war es mir am Ende der Arbeit möglich, mich zu entscheiden, was in die Arbeit aufgenommen wird. Seiner Motivation und Unterstützung konnte ich mir jederzeit sicher sein.

Ganz herzlich sei Herrn o.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. A. Kolbitsch gedankt, der durch seine Bereitschaft als Gutachter für meine Arbeit tätig zu sein, wesentlich zu deren Abschluß beigetragen hat.

Mein Kollege und Freund Herr Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar ist aus der täglichen Arbeit nicht wegzudenken. Jederzeit konnte über die stattfindenden oder kommenden Untersuchungen diskutiert werden, um ein optimales Ergebnis zu finden. Die kritische Beleuchtung der täglichen Arbeit und Unterstützung waren mir sehr wichtig.

Dank Herrn Ing. Eger konnte ich den Begriff „Zeit“ neu definieren, eine Erfahrung, die mir im täglichen Wiener Leben sehr geholfen hat. Ohne seine Zuarbeiten und Unterstützungen, nicht nur im handwerklichen Bereich, wären die meisten der durchgeführten Versuche nicht möglich gewesen.

Zu Frau Schiller fällt mir sehr viel ein, zuviel um alles hier niederzuschreiben. Ich danke ihr auf jeden Fall für ihr offenes Ohr und den Sprachunterricht (zusammen mit Herrn Ing. Eger). Nicht zu vergessen, ein ganz herzliches Dankeschön für das Korrekturlesen, welches ebenfalls an Frau Dreyer geht.

Nicht zu vergessen sind alle weiteren Kollegen und Helfer wie Azra und Sinan Korjenic, Klaus Finding, Rainer Putz, Gerd Saulich und Michael Vodicka.

Da die ersten drei Jahre der Arbeiten für diese Dissertation im Zeichen meiner Tätigkeiten für die ISOTEC Franchise Systeme GmbH und die CAPE CALSIL Deutschland GmbH standen, möchte ich an dieser Stelle für deren finanzielle Unterstützung danken. So war es mir möglich, mich unbesorgt auf meine Arbeit zu konzentrieren. Für die fachliche Unterstützung bedanke ich mich bei Frau Christ, Herrn Becker, Stephan Keppeler, Herrn Tepel und Herrn Esser.

Das Interesse an meiner Arbeit von Herrn Prof. Reichel in Dresden und seine Diskussionsbereitschaft waren großartig. Die Anregungen und die Gewissheit an einem interessanten Thema zu arbeiten, haben mir sehr geholfen. Gleiches gilt für Herrn Dr. Will in Potsdam.

Herr Dipl.-Ing. Wilhelm Nell, der immer Zeit für Diskussionen, die meine Arbeit betrafen, hatte, Anregungen, Kritik und Fragen äußerte, die mir in meinem Vorwärtkommen geholfen haben und der für mich da war, wenn es eng wurde, sei herzlich gedankt.

Nicht unerwähnt möchte ich die unbekanntenen Diskutanten auf Tagungen, Konferenzen und Seminaren lassen, die mit konstruktiver Kritik immer neue Denkanstöße gaben.

All meinen Freunden möchte ich Danke sagen für ihre Hilfe und für die Zeit, die sie mir gewidmet haben und mir somit schenkten, besonders Konstanze Klaus und ihrer Familie, Marion Lefebvre, Jana Rose, Jana Symalcek, Anja Werzner, Norman Blum, Gregor David-Post und Anja, Rolf Gerhardt, Thomas Klingauf und Familie, Wilhelm Nell, Frank Schneider und Stephan Witte.

Dank all jenen, die 1989 auf den Straßen waren, um für Veränderungen zu demonstrieren, diese haben ebenfalls zu meinem Werdegang beigetragen.

Wien, Mai 2001

Clemens Hecht

Kurzfassung

Wird ein Mauerwerk durch die Folgen **kapillar aufsteigender Mauerwerksfeuchtigkeit** geschädigt, sind in weiterer Folge spezifische Sanierungsmaßnahmen erforderlich. Die Arbeit beschäftigt sich mit zwei entsprechenden Verfahren, die in Kombination eine hohe Wirksamkeit erzielen oder bei geringen Belastungs- und Schädigungsgraden einzeln angewendet werden können. Zunächst ist der Nachschub der Feuchtigkeit im Mauerwerk zu unterbinden. Dazu kann eine horizontale Feuchtigkeitssperre in Form einer **Paraffininjektion** eingesetzt werden, wobei die Kapillaren mit dem injizierten Paraffin verstopft bzw. hydrophobiert werden. Die zu verwendenden Paraffine und ihre Eigenschaften im Mauerwerk werden ausführlich beschrieben, wozu u.a. die bauphysikalisch wichtigen thermischen und hygrischen Charakteristiken wie Wärmeleitfähigkeit, Wasseraufnahmekoeffizient und Wasserdampfdiffusionswiderstand Bestandteil der Untersuchungen waren. Zusätzlich werden mechanische Eigenschaften erläutert, die Auskunft über die Biegezug- und Druckfestigkeit vor und nach der Injektion geben. Die Wirksamkeit des Paraffins in einer **Horizontalabdichtung** wird mit einem Verfahren zur Prüfung von entsprechenden Injektionsstoffen nachgewiesen. Für eine erfolgreiche Injektion ist es erforderlich, das zu injizierende Mauerwerk hinreichend zu erwärmen, hierzu wurden u.a. rechnerische Untersuchungen durchgeführt.

Oberhalb der Horizontalabdichtung befindet sich ein **feuchte- und salzbelastetes Mauerwerk**. Die Feuchtigkeit wird in weiterer Folge aus dem Mauerwerk heraus diffundieren, wobei eingelagerte Salze und andere Stoffe durch Maßnahmen an der Oberfläche daran gehindert werden, die sichtbare Oberfläche optisch und mechanisch zu zerstören. Zur Zeit werden auf den Oberflächen die sogenannten **Sanierputze** angewendet. Die Nutzung von Platten aus **Calciumsilikat** im baulichen Wärmeschutz als Innendämmung ist hinlänglich bekannt. Die Entwicklung der **Sanierplatte** auf der Basis von Calciumsilikat ist eine Alternative zu den Sanierputzen und erweitert die Anwendung vom reinen Wärmeschutz bis hin zu feuchte- und salzbelasteten Mauerwerken, deren Oberfläche vor Ausblühungen u.ä. geschützt werden muß. Verschiedenste Tests bezüglich der Belastbarkeit der Sanierplatte durch Salze sind durchgeführt worden. Für das entwickelte Produkt der Sanierplatte sind alle für bauphysikalische Simulationen wichtige Kennwerte ermittelt und validiert worden. Wichtiger Bestandteil war weiterhin die Beachtung des ausreichenden Kontaktes zwischen Wand und Sanierplatte, um die Funktionstüchtigkeit zu garantieren. Darüber hinaus werden in der Arbeit Maßnahmen vorgestellt, bei denen das Paraffin als Bautenschutzmittel für die **Vertikalabdichtung** von Wänden verwendet werden kann.

Summary

Due to **capillar rising moisture**, a destruction of walls is possible. Therefore, specific procedures are needed for a long-term retrofitting of these buildings. This dissertation analyses two methods which can be used individually in case of minor damages but are also highly effective when combined. At first the capillary moisture movement has to be stopped on the wall. This can be achieved with a subsequent moisture barrier by **paraffin injection**. There capillaries are blocked up and respectively hydrophobed because of this procedure. The used paraffin and the wall characteristics after injection are described - for example, thermal and hygical characteristics, such as thermal conductivity, the water absorption coefficient and the water vapour transmission coefficient. Furthermore, mechanical features, such as flexural and compressive strength before and after the injection are discussed. The evidence of effectiveness of paraffin in an horizontal **moisture barrier** is shown on the basis of a developed method for injection materials. It is necessary to heat up the wall that will be injected. Therefore mathematical techniques are used.

The remaining moisture above the horizontal barrier is the reason for **moisture and salt conducted walls**. Because of the moisture diffusion, the salts could be crystallised on the surface of these walls. The visible surface will not be destroyed optically and mechanically because of significant procedures. At the moment special **renovation render systems** are employed. The use of plates made of **calcium silicate** in buildings for inside thermal insulation is well-known. The developed **renovation plate** (salt plate) is based on calcium silicate and signifies an alternative to renovation render systems. These plates are an extension of the thermal insulation to the renovation of moisture and salt destroyed wall surfaces. Different salt load tests were carried out. The main values for building physical simulation are measured and validated for the developed product. In addition, a crucial part is the observation of the contact between the renovation plate and the wall in order to guarantee the function of the system.

The dissertation also represents procedures of the use of paraffin as part of a **vertical protection system** on walls.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
2	Paraffine als Bestandteil von Bauverfahren.....	11
2.1	Zusammenfassung vorhandener Kenntnisse.....	11
2.1.1	Das Element Paraffin.....	11
2.1.2	Anwendungsmöglichkeiten der Paraffine.....	14
2.1.3	Paraffine und Wachse im Bauwesen.....	17
2.1.4	Relevante Wirkprinzipien der Paraffine.....	29
2.2	Ermittlung der baustofflichen und bauphysikalischen Eigenschaften von mit Paraffin vollständig und teilweise getränkten Baustoffen.....	34
2.2.1	Sortiment an Paraffinen und Wachsen für den Einsatz als Bautenschutzmittel.	34
2.2.2	Untersuchung des Penetrations- und Porenfüllungsvermögens von Paraffin in relevanten Baustoffen.....	36
2.2.2.1	Einzelmaterial.....	38
2.2.2.2	Diskussion der Ergebnisse.....	43
2.2.2.3	Salzbelastete Proben.....	49
2.2.3	Untersuchung der mechanischen, thermischen und hygrischen Eigenschaften mit Paraffinen behandelter Baustoffe.....	52
2.2.3.1	Mechanische Eigenschaften.....	52
2.2.3.2	Thermische Eigenschaften.....	59
2.2.3.3	Hygrische Eigenschaften.....	78
2.3	Entwicklungen zur thermisch stimulierten Injektion und Imprägnierung von Bauteilen.....	89
2.3.1	Die Injektion von Paraffin in Bauteile zur Herausbildung wasserundurchlässiger Teilbereiche.....	89
2.3.1.1	Temperaturverteilung entlang von Heizstäben.....	90
2.3.1.2	Rechnerische Untersuchungen zur Temperaturverteilung und Penetration im Mauerwerk.....	93
2.3.2	Verfahren zur Bauteilbehandlung mit Paraffin zur funktionsfähigen Ausbildung flächenhafter Feuchtigkeitssperren.....	100
2.3.2.1	Abdichtung von erdberührten Wänden.....	101
2.3.2.2	Abdichtung von Behältern u.ä. für diverse Flüssigkeiten.....	119
2.4	Untersuchung der Wirksamkeit von Paraffininjektionen.....	122

3	Entwicklung der Sanierplatte aus Calciumsilikat.....	130
3.1	Calciumsilikat – Stand der Dinge, Literaturlauswertung	130
3.1.1	Sanierputze und analoge Produkte	130
3.1.2	Salze und Salztransport im Mauerwerk.....	138
3.1.3	Calciumsilikat	144
3.1.4	Innendämmung	145
3.1.5	Zielstellung für die Entwicklung der Sanierplatte.....	147
3.2	Untersuchungen zur Salzbelastung der Sanierplatte	149
3.2.1	Einzelmaterial	150
3.2.2	WTA - Test.....	156
3.2.3	Untersuchungen am Gesamtsystem.....	159
3.2.4	Vergleich der Sanierplatte mit Sanierputzen	165
3.3	Bauphysikalische Kennwerte	167
3.3.1	Eigenschaften der Platten aus Calciumsilikat	167
3.3.2	Eigenschaften möglicher Kontaktmittel	170
3.4	Untersuchungen ausgewählter Fälle und Ergänzungen	174
3.4.1	Eigenschaftsänderungen durch den Flächenanteil des Kontaktmittels.....	174
3.4.2	Praxisversuche Schloß Zell an der Pram	176
3.4.3	Eigenschaftsänderungen durch Oberflächenbeschichtungen.....	178
3.4.4	Untersuchung des Einflusses der Sanierplatte auf das Feuchtigkeitsverhalten der Wand	181
3.4.5	Haftung von Beschichtungen auf der Sanierplatte	185
3.5	Vorzugsvariante.....	189
4	Paraffin und Calciumsilikat – Verknüpfung der Sanierungsvarianten, eine Zusammenfassung	190
	Literatur	192
	Lebenslauf	200

1 Einleitung

In dieser Arbeit werden Verfahren vorgestellt, die im Rahmen der Renovierung, Rekonstruktion und Sanierung, sowie mit Einschränkung beim Neubau von Gebäuden angewendet werden. Im Rahmen des Neubaus handelt es sich um Möglichkeiten, die gezielt in der Planung zu berücksichtigen sind und den Willen des Bauherren zur Anwendung der Verfahren voraussetzen.

Zudem ist immer wieder festzustellen, daß es im Sanierungsbereich zahlreiche Fehler gibt, die verhindert werden können, wenn ein größeres Wissen über die Wechselwirkungen der einzelnen Maßnahmen bekannt wird; die Normung den Anforderungen der Sanierung mehr gerecht wird und nicht die Sanierungsabläufe beschrieben werden; dem Nutzer klar gemacht werden kann, daß er ein „neues“ Gebäude übernimmt; durch detaillierte Dokumentationen ein Wissensverlust verhindert wird, der den künftigen Generationen eine Bewertung der durchgeführten Maßnahmen ermöglicht usw.

Warum werden immer wieder „alte“ Gebäude erhalten ? Die Frage kann und muß von jedem selbst beantwortet werden. Eine objektive und allgemeingültige Antwort kann es nicht geben, da die Wertigkeit der Gebäude sehr verschieden ist. Die Spannweite für die Bewertung der Erhaltungswürdigkeit reicht von der Bewunderung künstlerischer und architektonischer Fähigkeiten (z.B. denkmalgeschützte Gebäude), dem erhaltenswerten Ausdruck einer vergangenen Zeit (z.B. Weltkulturerbe der UNESCO), bis hin zu der nüchternen Überlegung, daß die Erhaltung finanziell günstiger ist als ein Neubau (z.B. Eigentümer von Einfamilienhäusern). Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, die Entscheidung für die Erhaltung von vorhandener Bausubstanz zu erleichtern, damit nicht zuletzt Ressourcen geschont werden.

An einem Bauwerk entstehen im Laufe der Nutzung verschiedenste Schäden. Diese können auf Baufehler, Nutzung, Umwelteinflüsse und Alterung zurückgeführt werden. Sichtbar werden diese Schäden u.a. durch Absandungen, Abplatzungen bis hin zu Absprengungen auf den Oberflächen, Risse, eingeschlossen die durch den gesamten Querschnitt des Bauteils führen, sowie Ausblühungen, Schimmel- und Pilzbefall. Für eine erhebliche Anzahl dieser Schäden wird eine oberhalb einer gewissen Toleranz liegende Feuchtigkeitskonzentration in den Bauteilen diagnostiziert. Die daraus resultierenden Schadensprozesse und Wirkungsmechanismen, ausgelöst durch den kapillaren und dampfförmigen Feuchtigkeitstransport, führen zu den entsprechenden Schadensbildern. Daher gefährdet ein mangelhafter Feuchtigkeitsschutz unmittelbar den Bestand. Im ersten Teil dieser Arbeit wird der Einsatz von Paraffinen als ökologisches Bautenschutzmittel zur umweltgerechten

Sanierung und Vorbeugung durch Feuchtigkeit bedingter Schäden der Bausubstanz beschrieben.

Der zweite Teil erläutert die Untersuchungen zur Entwicklung einer Sanierplatte auf der Basis von Calciumsilikat. Ziel dieser Produktentwicklung ist es, die thermisch – hygri-schen Eigenschaften der Innendämmung aus Calciumsilikat bei der Systembauplatte für feuchte- und salzgeschädigte Wände so auszuarbeiten, daß Instandsetzungserfolge ohne nachteilige Effekte erreicht werden. Dabei wird der bauphysikalische Bautenschutz verbessert, die Behaglichkeit im Innenraum gesteigert, Wärmeverluste und damit die Energiekosten sowie die Schadstoffemissionen reduziert. Ausblühungen auf Grund von im Mauerwerk vorhandenen Salzen werden mit dieser Maßnahme auf der Oberfläche der Wände verhindert. Die Untersuchungen konzentrierten sich in diesem Teil wesentlich darauf, daß die Ausblühungen ohne Schaden erfolgen. Beide Maßnahmen, eine Horizontalabdichtung gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit mittels Paraffin und der Oberflächenschutz mit der Sanierplatte, sind zusammen eine nachhaltige und bisher nicht angewendete Verfahrenskombination.

Die Arbeit liefert einen Beitrag zur Instandsetzung des Wärmeschutzes und Feuchteschutzes von Gebäuden bzw. von Teilen eines Bauwerkes. Beschrieben werden weiterhin Möglichkeiten des Verwitterungsschutzes von Baustoffen und Bauteilen, der Oberflächensanierung, sowie der Verfestigung von Bauelementen. Um dies zeigen zu können wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt die zudem dazu beitragen, daß das Verständnis für die Abläufe und das Funktionsprinzip der jeweiligen Maßnahme verbessert werden.

Der größte Erfolg bei der Sanierung von feuchtegeschädigter Bausubstanz tritt dann ein, wenn nicht herstellungsbedingte Ursachen die zu dem unerwünschten Schadensbild geführt haben auf Dauer beseitigt werden. Kann dies nicht vollständig gewährleistet werden, können die im folgenden vorgestellten Sanierungsmaßnahmen angewendet werden. Die Maßnahmen sind darauf ausgelegt, nachhaltig und bei veränderten Randbedingungen die Bausubstanz nach der Sanierung dauerhaft zu schützen.

Um das Ziel dieser Arbeit zu erreichen, erfolgte sowohl eine Auswertung der vorhandenen Literatur, als auch die Durchführung eigener praktischer und theoretischer Untersuchungen. Während der Bearbeitung ist festgestellt worden, daß die verwendeten Materialien in Fachkreisen zwar bekannt waren, aber die Anwendung für viele unbekannt ist. Daher beginnen die Ausführungen jeweils mit einem Abriß, der das vorhandene Wissen zu dem jeweiligen Fachbereich erläutert bzw. auf die Anwendungsziele und Möglichkeiten aufmerksam macht.

2 Paraffine als Bestandteil von Bauverfahren

2.1 Zusammenfassung vorhandener Kenntnisse

2.1.1 Das Element Paraffin

Nach [Bro72] leitet sich der Begriff Paraffin aus dem Lateinischen *parum affinis* ab und bedeutet „wenig verwandt“. In [Her55] erfolgt die Übersetzung mit „wenig vereinigbar“, das kann hier mit chemisch träge interpretiert werden. Daran ist bereits die Einzigartigkeit des Stoffes Paraffin, als auch seine Trägheit in Bezug auf eine Reaktion mit anderen Materialien erkennbar. In [May84] erfolgt ein direkter Verweis auf die Gruppe der gesättigten aliphatischen Kohlenwasserstoffe, den Alkanen, deren Trivialname ‚Paraffin‘ ist. Damit steht fest, daß die allgemeine chemische Formel C_nH_{2n+2} ist. Es ist bekannt, daß es sich bei den ersten Gliedern dieser Reihe (1 bis 4 Kohlenstoffatome) um die Gase Methan, Äthan, Propan und Butan handelt. Die weiteren Elemente (bis 16 Kohlenstoffatome) sind flüssig, alle weiteren sind fest. Die Paraffine, mit denen sich diese Arbeit beschäftigt, sind bei Raumtemperatur fest.

Die Beschreibung bzw. Definition von Paraffinen ist nach [Röm80] für die hier verwendeten die treffendste:

Paraffin: Bez. für ein festes od. fl. Gemisch gereinigter, gesättigter aliphatischer Kohlenwasserstoffe, das farb-, geruch- u. geschmacklos ist, sich in Ether u. Chloroform leicht, in Wasser u. 90%igem Alkohol nicht löst u. das nicht fluorisziert; ...

Es teilt ein in Hartparaffin (Paraffinum solidum): Feste krist. Masse, Erstarrungstemp. am rotierenden Thermometer 50 – 62 °C. ...

Auf Grund der ähnlichen Eigenschaften wird für Paraffin oftmals die Bezeichnung „Wachs“ verwendet. Historisch gesehen ist sicherlich der umgekehrte Wechsel der Bezeichnung richtig. Ist Wachs u.a. durch Bienenwachs bereits im Altertum bekannt.

Eine indirekte Bestätigung ist in [War47] zu finden. Der engl. Term *wax* leitet sich aus dem angelsächsischen *weax* (natürliches Material, aus dem der Bienenhonig gewonnen wird) ab. Wurde in Fabriken ein ähnliches Material erfunden bzw. geschaffen, erhielt es ebenfalls die Bezeichnung *weax* oder *wachs* und später *wax*. Als *wax* werden alle festen und flüssigen Stoffe aus der Natur bezeichnet, und dazu kommen einzelne Wachse aus

Kohlenwasserstoffen, Säuren, Alkoholen und Estern, unabhängig von ihrer Gewinnung oder Verarbeitung.

Auch verschiedene synthetische Produkte, die aus chemischer Sicht keine *waxes* sind, aber über entsprechende physikalische Eigenschaften verfügen, werden als *wax* bezeichnet, da ihre technische Anwendung analog ist. *Yellow wax* oder *white wax* kann als gelbes (*cera flava*) und gebleichtes weißes Bienenwachs (*cera alba*) interpretiert werden. *Paraffin wax* ist einfach *paraffin* (siehe zuvor). Natürliche Erdwachse werden als *ceresin*, von *cera* und *sine*, lat. ohne Wachs (hier ist Bienenwachs gemeint) bezeichnet. Mineralwachse sind Paraffin, Montan und Ozocerite.

Durch die Kettenlänge (Anzahl der Kohlenstoffatome, geradkettig und/oder zyklisch angeordnet) und die Mischbarkeit der Paraffine ergeben sich in weiterer Folge eine Vielzahl einzelner Substanzen, die sich in ihren Eigenschaften unterscheiden. Es verwundert daher nicht, daß ein Paraffin mit gewissen Einschränkungen gezielt und mit vorgegebenen Eigenschaften hergestellt werden kann.

Nach [Enz80] erfolgt die Gewinnung der Alkane mengenmäßig zum größten Teil aus Erdgas und Erdöl. Geringere Bedeutung hat die Synthese aus Kohle. Erdöl wird durch Destillation in verschiedene Fraktionen aufgespalten. Die einzelnen Fraktionen bestehen aus einem Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Kettenlänge und Konstitution. Durch anschließende Verfahren können weitere Fraktionen gewonnen werden, wobei die Reinheit und Qualität ansteigt. Eine Veredelung der einzelnen Fraktionen kann durch thermisches, katalytisches, hydrierendes Cracken (Zersetzung bei hohen Temperaturen) oder durch katalytische Reformierung erfolgen.

Weitere Möglichkeiten der Gewinnung von Wachsen und Paraffinen werden in [War47] beschrieben und sind in Tabelle 2.1 zusammengefaßt. Auf Grund des Alters der Quelle ist davon auszugehen, daß viele Möglichkeiten aus verschiedensten Gründen nicht mehr vorhanden bzw. nutzbar sind. Daher ist dies als historischer Rückblick zu verstehen. Es sei darauf aufmerksam gemacht, daß verschiedenste Begriffe, die im Zusammenhang mit Paraffinen und Wachsen vorgefunden werden, sich so sehr leicht erklären lassen.

Ergänzend zur Tabelle 2.1 sind zum Einen zusätzlich emulgierbare Wachse, Wachssäuren und Metallseifen zu nennen. Emulgierbares Wachs ist ein Wachs, welches in Wasser dispergiert werden kann, mit oder ohne Veränderung seiner chemischen Zusammensetzung (auch synthetisch). Zum Anderen emulgierbare *wax stocks*, das ist eine Wachspräparation, die kein oder sehr wenig Wasser enthält, und die durch Wasserzugabe sehr gut emulgiert werden kann.

Auf detailliertere Ausführungen wird bewußt verzichtet und auf die entsprechende Literaturquelle bzw. einschlägige Fachliteratur verwiesen.

natürliche Wachse	<ul style="list-style-type: none"> - Insektenwachse - tierische Wachse - Pflanzenwachse - Wachse aus Gummi(baum)-Harzen - Wachse von Mikroorganismen
Fossilwachse, Erdwachse	<ul style="list-style-type: none"> - Fossilwachse - Ozocerite (aus dem griech. Ozo „Geruch aussenden“ und kerite „Wachs“), auch künstl. Herstellung nach dem Fischer-Tropsch Verfahren - Mineralwachs - Montanwachs (bituminöses Wachs, kein Paraffin, kommt in holzhaltiger Kohle vor, <i>lignites</i> und wird extrahiert durch die Verwendung flüchtiger Lösemittel) - Torfwachs und Torf-Montanwachs (Irland) - Braunkohlen Montanwachs - Ceresin
Petroleumwachse = Erdölwachse	<p>mögliche Gliederung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Paraffin-Wachs Gruppe (raffiniertes Paraffin – Wachs, auch Paraffin - Wachs oder nur Paraffin) - Petrolatum Gruppe [Petrolat, Rohvaselin Gruppe], (ähnlich Salbe oder Balsam) - Erdöl-Wachs Gruppe (mikro [= fein]kristalline Wachse mit geringer Eindringtiefe, hohem Schmelzpunkt)
synthetische Wachse und Wachs-compoundierungen	<p>Klassifikation in 11 Gruppen:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. chemisch synthetisierte compounds die keine direkte Beziehung zu natürlichen Wachsen in ihrer chem. Struktur haben, aber in der physikal. Charakteristik (bspw. <i>Phthalimides</i>, Polymere aus Ethylenoxid (<i>Carbowax</i>) oder <i>terphenyls</i> (<i>Santowax</i>)) 2. halogenisierte langkettige Kohlenwasserstoffe (bspw. chloriertes Paraffin-Wachs) 3. unverseifbare Wachse durch Kochen natürlicher Ester - Wachse oder Wachsester mit hohem Molekulargewicht 4. emulgierbare, wachsähnliche Stoffe, die durch Veresterung eines flüssigen <i>polyhydric</i> - Alkohols mit höheren Fettsäuren bei Erwärmen und eines Katalysators entstehen (bspw. <i>diglycol stearate</i>-Emulsion) 5. Herstellung synthetischer Kohlenwasserstoff-Wachse durch eine Wasser-Gas Synthese bei der Kohlenmonoxid (CO) unter Druck mit einem Katalysator reduziert wird (Fischer Tropsch Synthese). 6. Gehärtete Wachse werden durch eine optimale Hydrierung <i>drying oils</i> - schnelltrocknender Öle (bspw. Opalwachs) 7. Symmetrische Ketone werden durch eine katalytische Aufbereitung höherer Fettsäuren produziert (bspw. <i>palmitone</i>, <i>stearone</i>) 8. Wachsähnliche Produkte nach der Friedel-Crafts Kondensation von Fettsäuren und zyklischen Kohlenwasserstoffen. 9. Amide oder imide Kondensation von Derivaten gesättigter Fettsäuren mit 12 bis 18 oder mehr Kohlenstoffatomen (bspw. Armorwachs) 10. Herstellung synthetisch verzweigter Kohlenwasserstoffketten durch Ketonisieren von Fettsäuren aus Fischöl und Härten der Ketone. (bspw. synthetisches Ozocerit) 11. Polymerisierte Etherwachse werden produziert durch die Aufbereitung fetter Alkohole durch Adsorption eines Alkines (eines gasförmigen Kohlenwasserstoffes) um ein polymerisiertes Ethermonomer zu erhalten

Tab. 2.1: Möglichkeiten der Gewinnung von Wachsen und Paraffinen nach [War47]

2.1.2 Anwendungsmöglichkeiten der Paraffine

Die beschriebenen Gewinnungsmöglichkeiten der Wachse und Paraffine führen somit zu zahlreich und vielfältig vorhandenen Stoffen. Diese verfügen nach [oV60] u.a. über folgende, in der Anwendungspraxis aller Fachgebiete, betonte Eigenschaften:

Alterungsbeständigkeit, chemische Beständigkeit, Druckfestigkeit, Emulgierbarkeit, Erstarrungsverhalten, Farbe, Feuchtigkeitsbeständigkeit, Formbeständigkeit, Gasdichtigkeit, Härte, Konsistenz, Klebrigkeit, Lichtschutzwirkung, Lichtbeständigkeit, Mischbarkeit, Netzfähigkeit, Neutralität, Penetration, physiologische Unbedenklichkeit, Reinheitsgrad, Schmelzausdehnung, Schmelzbarkeit, Schmelzverhalten, Temperaturbeständigkeit, Transparenz, Viskosität der Schmelze, Wasserabweisung, Wasserbeständigkeit und Wasserdichtigkeit.

Die einzelnen Eigenschaften stehen sich teilweise konträr gegenüber. Dies liegt an der beschriebenen Vielfältigkeit der Paraffine und Wachse, wobei die vorliegende Zusammenfassung der Literaturquellen allgemeiner Art ist, so daß die Charakteristik einzelner Stoffe unberücksichtigt bleiben muß.

Die Vielfältigkeit möglicher Anwendungen der Paraffine und Wachse soll in der folgenden Übersicht verdeutlicht werden, die wesentliche Literaturquelle ist [War47], eine Vollständigkeit ist nicht angestrebt. Die jeweilige Zugabe von Paraffin kann z.T. sehr gering sein, Paraffin ist dann Bestandteil des jeweiligen Produktes. Es ist davon auszugehen, daß ein Großteil der Anwendungen so nicht mehr durchgeführt wird.

- Wachs in Klebstoffen
 - Laminatkleber
 - Bestandteil „hoch schmelzender“ Klebe- oder Bindemittel, für das Zusammenkleben zwei verschiedener Materialien (bei Erwärmung flüssig, bei Abkühlen fest)
 - Bestandteil klebriger Beschichtungsstoffe für Papiermaterial, z.B. Sticker, Klebebilder, „selbstklebendes“ Papier, Aufkleber
 - Schmierstoff in Klebern und Leimen, Fließmittel in Klebstoffen (sorgt für Flexibilität)
 - als Kombinationsmittel mit Gummi und Harz für Klebstoffe in Wachs- und Abdeckbändern, die auf Druck- und Hitzebelastung reagieren (druck- und hitzeempfindlich)
- Wachs in Brauereien (innere Beschichtung von Transport- und Lagerfässern mit Wachs oder Wachscompounds)
- Wachs in Kerzen

- Wachs in Kosmetika
 - als deren Bestandteil, Wirkstoff (z.B. Kakaobutter)
 - als Weichmacher für Cremes und Permanentemulsionen
 - Kühlcremen
 - Schutzcreme für Arme und Hände gegen Lacke und Lösungsmittel (mit Wasser abwaschbar)
 - Pomade zum Glätten der Haare
 - Reinigungscremes
 - Lippenstift, es werden ein oder mehrere Wachse verwendet
- Wachs in Zeichen- und Bleistiften (auch Graphit-Stifte)
- Wachs für elektrische Isolationen (Paraffin ist ein sehr guter Isolator)
 - für Drähte, Kabel, flächige oder unregelmäßige Oberflächen
 - als Imprägniermittel für andere Materialien, um sie für Isolationen zu verwenden
 - für Endbeschichtungen, Überzug durch Tauchen etc., z.B. für Kondensatoren
- Wachs für Sprengstoffe und Pyrotechnik (um eine Wasserbeständigkeit zu erreichen, für Verwendung unter Wasser)
- Wachse für Fußböden und Bodenbeschichtungen
 - Schutz von Holzböden, z.B. Parkett (ausgewählte Anforderungen: Geruch, Oberflächenbeschaffenheit, einfacher Auftrag, Konsistenz für die Verarbeitung, Farbe nach der Applikation; Verträglichkeit mit anderen Materialien, Dauer bzw. Aufwand das Schutzfilm entsteht, Flexibilität, wasserfest, lichtbeständig, rutschfest, Ergiebigkeit)
 - fest: Pasten oder Puder
 - flüssig: Polituren, Schwabbelnöl u.ä.
- Wachs in der Nahrungsmittelindustrie
 - Beschichtung von Käse (verschiedene Farben)
 - Beschichtung von Schokolade gegen hohe Luftfeuchtigkeit und hohe Zimmertemperaturen (Auftrag durch Spray - sehr dünn)
 - auf Früchten und Gemüse - Ziel: sieht sauber aus, haltbarer bis zum Verbraucher
 - Basis für Kaugummi
- Wachs in der Leder- und Gummiindustrie
 - bei der Trocknung von Leder (Anm.: heute erfolgt Trocknung maschinell)
 - Reinigen, Polieren und Schützen von Lederwaren (ebenfalls Schuhcremes)
 - Stabilisierung gegenüber Sonnenlicht vulkanisierter Produkte (Wachsanteil 1 %)
 - anteilig in Verfestigern für Schuhe

- Paraffin als Weichmacher oder Verfestiger für Gummi
- Wachse in Schmiermitteln (unterschiedliche Konsistenzen) und Skiwachs
- Wachse als Antioxidationsmittel (Rostschutz - Schutz vor Regen, Schnee und Matsch für Metalle und entspr. Oberflächen, in der Schifffahrt Schutz vor extremen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen)
- Wachs in Zündhölzern
- Modellieren, Abformen, Gießen mit Wachs (Wachsporträts, Dentalmodelle)
- Applikation von Wachs auf Papier und Folien
 - Imprägnierung und/oder Beschichtung von Materialien auf Zellulosebasis
 - Applikationsmöglichkeiten von Wachs auf Papier: als Emulsion, sprühen, aufrollen, durch Paraffinbad mit anschließendem Finishbad in einem weiteren Wachsbad
 - Montanwachs als Stabilisator in Emulsionen
 - Schutzbeschichtung von Packpapier, unter zur Hilfenahme von Wärme erfolgt eine „Selbstsicherung“ (Keks- und Brotpapier)
 - Verwendung gewachster Papiere für Trinkbecher und Papierteller
 - sogenanntes Kohlepapier enthält Wachs
- Wachs in Medikamenten (bspw. Oberflächenbeschichtung von Tabletten)
- Wachs in Polituren (sehr verbreitet)
 - flüssig oder Paste
 - Autopolitur
 - zum Finish von Böden, Linolium, Furniere, Holz
- Abdicht-, Dichtwachs
- Wachs in Schallplatten (in frühen Schallplatten, Verstärkung und Flexibilität erreicht)
- Wachs in Druckertinte (*printing inks*), Zeichenmaterial und Lacken (Firniss)
- Wachsemulsionen für spezifische Anwendungen:
 - Frostschutz-Wachsemulsionen (als Zugabe im PKW Glyzerin, Ethylenglycol, Diethylenglycol und andere)
 - Emulsionen zur Endbeschichtung von Fasern
 - Wachsbeschichtungen für Metalle (Korrosionsschutz, saubere Oberfläche, opt. Aufwertung etc.), ebenso für diverse Kunststoffe

2.1.3 Paraffine und Wachse im Bauwesen

Das Anwendungsspektrum der Paraffine und Wachse ist auf das Bauwesen bezogen, sehr breit. Dies zeigt die im Folgenden erstellte Zusammenfassung. Kein einzelnes Wachs bzw. Paraffin kann alle in den vorhergegangenen Kapiteln aufgeführten Eigenschaften bzw. Anwendungen optimal in sich vereinen. Andererseits sind einzelne Eigenschaften bei definierten Anwendungen nicht erwünscht, z.B. ist bei der Hydrophobierung einer Oberfläche mittels Paraffinen die Gasdichtigkeit des Paraffins unerwünscht, bzw. bedeutungslos. Daher wird auf eine Vielzahl unterschiedlicher Paraffine zurückgegriffen, um die jeweilige Anwendung zu optimieren. In allen Industriebereichen steigt die Nachfrage nach ökologischen Materialien, so auch bzw. gerade in der Bauindustrie. Ein wesentlicher Aspekt für den Einsatz von Paraffinen und Wachsen sind deren hervorragenden, ökologischen Eigenschaften. Ökologisch bedeutet dabei u.a. wiederverwendbar, recyclingfähig, aus Kunststoffabfällen herstellbar, minimaler Rohstoffverbrauch und ökologisch einwandfrei.

Ziel der im folgenden zusammengefaßten Recherche war es, Auskunft über die bisherigen und derzeitigen Anwendungen der Paraffine und Wachse im Bauwesen zu erhalten. Ein wesentlicher Anreiz war, Ideen für neue Anwendungsmöglichkeiten zu finden bzw. vorhandene Erfahrungen zu nutzen. Es werden ausschließlich Quellen angegeben, die in Verbindung mit dem Bauwesen gebracht werden können. Dies betrifft nicht nur den Sanierungsbereich bzw. die Anwendung vor Ort, sondern auch die Vorfertigung von Bauwerksteilen, bzw. Baustoffen. Es werden sehr spezifische Anwendungen aufgezeigt, und Anwendungsmöglichkeiten bzw. Verfahren, die mit geringen Abänderungen über sehr vielseitige Möglichkeiten verfügen.

In der folgenden Tabelle 2.2 sind die recherchierten Anwendungen geordnet und zusammengefaßt. Folgende Anwendungsgebiete können u.a. benannt werden:

- in der Vorfertigung als Zuschlagstoff, bzw. Zusatzstoff
- Sanierung einschl. Grund- und Holzbau
- Bauwerksabdichtung
- Massivbau
- Straßenbau
- Holzindustrie
- Korrosionsschutz

Anmerkung zu Tabelle 2.2:

- Ausgenommen in der Tabelle 2.2 werden die Möglichkeiten der Nutzung von Paraffinen für Latentwärmespeicher. In der daran anschließenden Ausarbeitung wird darauf eingegangen.
- In den Zeilen 3, 5, 6 und 14 ist die Quelle mit ISO bezeichnet. Dabei handelt es sich um die Zusammenfassung der Veröffentlichungen [Dre91], [Dre96], [Dre95], [Dre98], [Dre98a], [Dre98b], [Dre98c], [Fra93], [Hof92], [Rec92] und [App95]. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich im wesentlichen mit den dort dargestellten Sachverhalten auf die in den entsprechenden Kapiteln verwiesen wird. In den Veröffentlichungen [Dre98], [Dre98a], [Dre98b] und [Dre98c] sind bereits Inhalte der vorliegenden Dissertation in einer Kurzfassung dargestellt worden. Die Angaben gehen in der vorliegenden Arbeit über die ausgeführten Sachverhalte der Publikationen hinaus.

	Zuführung des Paraffins	Technisches Wirkprinzip	naturgesetzlicher Effekt	Herabsetzung / Erreichen der erf. Viskosität durch	Festigung des Bauteils	Beispiel, Verfahren	prakt. Erfahrungen	Quelle	
1	Baustelle	aus dem Inneren des Bauteils	Vermengen im Rohmaterial	Kapillardruck, Schwerkraftfließen	Schmelzen, Erwärmen	nein	Schmelzimprägnierung mit Montanwachs/Paraffin von Betonstraßen	ja/nein	[Gie85], [Sea79], [Mun87], [Mun82], [Rom3w]
2							ja	Bitumenstraßen	ja
3			Einpressen	kapillares Strömen	Erwärmen/flüssig	mögl.	Mauerwerksinjektion mit Druck	ja	→ ISO (siehe Anm. ff.)
4					Dispersion	nein	Einkapselung von Deponien	ja	[Rom3w]
5			Eingießen	Kapillardruck, Diffusion, kapillares Strömen	Erwärmen/flüssig	mögl.	Mauerwerksinjektion mittels Kanne bzw. Behältertechnik	ja	→ ISO (siehe Anm. ff.), [Mun87], [Mun82]
6							durch Pumpe erreichtes Durchströmen	nein	→ ISO (siehe Anm. ff.)
7		von der Oberfläche des Bauteils	Fluten, Gießen, Streichen, Spritzen	Kapillardruck, Schwerkraftfließen	Verdünnen (?), Erwärmen, Emulsion	ggf. OF	Garagendecks, Tankbehälter, Oberflächenbehandlung (Wand), vorbeugender Graffitischutz, Enkaustikverfahren	ja/nein	[Ram97], [Gor98], [Mun87], [Mun82], [Sei95]
8							Spritzen	Benetzung der Oberfläche	Dispersion mit geringer Viskosität
9		auf die OF des Bauteils	Einpressen	kapillares Strömen	Dispersion	nein	Kellerußenabdichtung mit Montanwachsdispersion	nein	[Ziexx], [Rom3w]
10	Vorfertigung	aus dem Inneren von Fertigteilen	Vermengen	Kapillardruck, Schwerkraftfließen	Erwärmen, Schmelzen	nein	Schmelzimprägnierung mit Montanwachs-Paraffingemischen, -emulsionen (Beton), Sofortversiegelung	nein	[Rei84 bis 91] (siehe ff.), [Lin90], [Ras90], [Mun82]
11							Schmelzimprägnierung mit Paraffin von Gipsbeton	nein	[Sat79], [Mun82]
12						ja	hydrophobe Gipsbinder	nein (?)	[Krä86]
13						chem. Reaktion	Emulsion	indirekt ja	Verhinderung des Abfließens von Zementwasser
14		von der OF von Fertigteilen	Tauchen	Kapillares Strömen, Schwerkraftfließen	keine (flüssiges Paraffin)	mögl.	Volltränkung	ja/nein	→ ISO (siehe Anm. ff.)
16		Bestreichen		Erwärmen	nein	Oberflächenhydrophobierung, Enkaustikverfahren, Herabsetzung der Wasseraufnahme	nein	[Sei95]	
17	Weitere					Holz	ja	[Gri90], [Vou86], [Vou93], [Sch3w]	
18						Schal- und Trennmittel	ja	[Nis89]	

Tab. 2.2: Zusammenfassung der recherchierten Verfahren und Möglichkeiten zur Paraffinbehandlung im Bauwesen

Wachse schützen Stoffe aller Art vor Korrosion und Alterung. Stahlbewehrte Betonbauwerke unterliegen unter dem Angriff aggressiver Medien ebenso der Alterung, wie Gipsbauelemente durch Feuchtigkeitseinfluß. Diesen qualitätsbeeinträchtigenden Einflüssen kann durch das Verfahren der Baustoffhydrophobierung mit einem Paraffin, Wachs oder deren Gemischen entscheidend entgegengewirkt werden. Durch Aufheizung des so behandelten monolithischen Bauwerkes oder Bauteils über den Schmelzpunkt des Wachses tritt im Inneren des Bauwerkes ein Versiegelungseffekt ein, der Poren, Kapillaren und Haarrisse schließt und eine Feuchtigkeitwanderung unterbindet.

Eine umfassende Zusammenstellung der in der DDR angewendeten Imprägnierverfahren, ist in [Mun82] und [Mun87] zu finden. Die Zusammenfassung in Tabelle 2.2 geht auf diese beiden Arbeiten in der Grundkonzeption zurück, und ist für Paraffine überarbeitet und ergänzt.

- Schmelzimprägnierung von Betonstraßen
zitiert werden Maßnahmen aus Japan: dem Frischbeton wird Montanwachsgranulat zugefügt, die erhärtete Betonstraße wird mit elektrischen Strahlern oder Gasbrennern feldweise erwärmt, das aufschmelzende Montanwachsgranulat verteilt sich in den umliegenden Poren (siehe auch ff. [Sea79] und Kapitel zu den Wirkprinzipien)
- Diffusionsimprägnierung von Mauerwerk
Die beschriebene Diffusionsimprägnierung nach Abbildung 2.1 entspricht im Funktionsprinzip der heute angewendeten Behältertechnik durch die ISOTEC Franchisesysteme GmbH (siehe auch diverse Publikationen von Prof. Dreyer, sowie unter [Iso3w]). Wesentliche Unterschiede zwischen diesen beiden Systemen sind dabei:
 - Behälter in Abbildung 2.1 ist vollständig gedämmt;
 - ein Stahlrohr in Bohrlochlänge ist am Behälter installiert, die Austrittsöffnungen für das flüssige Paraffin befinden sich nur an der Unterseite des Bohrloches;
 - am unteren Ende des Rohres befindet sich zudem eine Wärmequelle entsprechend einer Heizsonde, durch die Bohrlochneigung wird der Wärmestrom in der Flüssigkeit bis in den Behälter ausgenutzt (siehe auch in einem der folgenden Kapitel wird im Rahmen der Sanierungsverfahren die Temperaturverteilung an einem Heizstab beschrieben).

- Oberflächenimprägnierung mit Montanwachs-Kombinationen
Im Gegensatz zur Schmelzimprägnierung wird keine Umlagerung der Porenfüllung erzielt (siehe auch Kap. Relevante Wirkprinzipien im Folgenden), sondern eine Porenverfüllung von außen. Das aufgestreute Granulat wird mit Strahlern erwärmt, gleichzeitig wird die Oberfläche erwärmt, was das Eindringen des Paraffins begünstigt.
- Schmelzimprägnierung von Betonplatten mit Montanwachs-Paraffin-Granulat
(siehe Zusammenfassung der diversen Veröffentlichungen von Prof. Reichel im folgenden)
- Schmelzimprägnierung von Gipselementen mit Paraffin
- Schmelzimprägnierung von Gipskartonplatten mit einer Kombination aus Montanwachs und Paraffin (siehe auch [Krä86] zuvor)

(In [Sat79] werden die von Munse in [Mun87] gemachten Ausführungen betreffend des Gipsbetons kritisiert und zum Teil in Frage gestellt.)

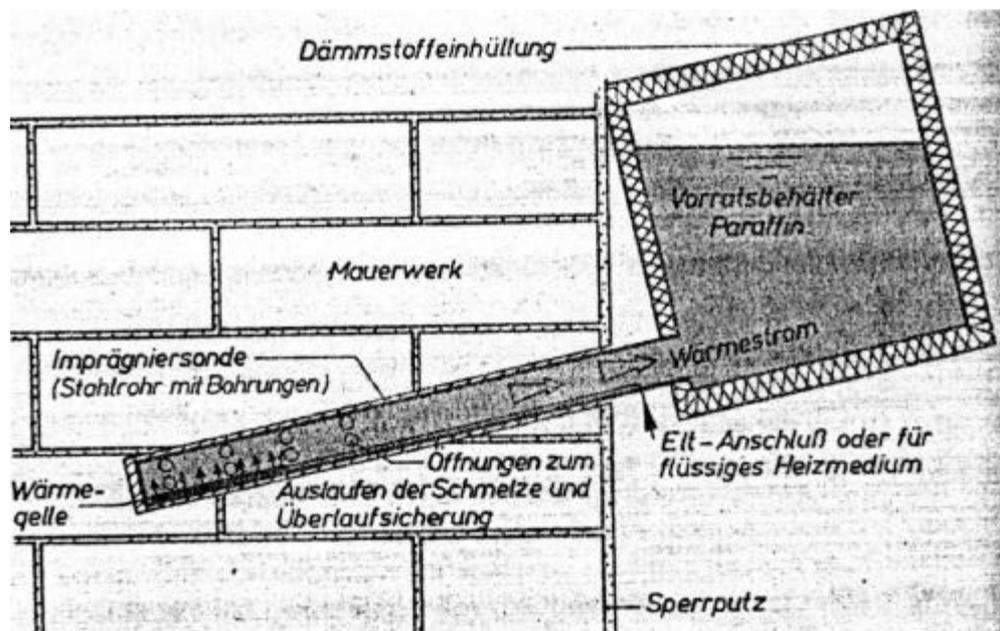


Abb. 2.1: *Injektions- bzw. Imprägnierbehälter für Paraffine und/oder Wachs nach [Mun87]*

In [Krä86] wird die Entwicklung eines Gipsbinders mit hydrophoben Eigenschaften beschrieben, um somit den Einsatz von gipsgebundenen Baustoffen in Räumen mit höherer Feuchtebelastung zu ermöglichen. Die relative Luftfeuchtigkeit kann dauerhaft 85 % betragen, wobei ein kurzzeitiges Überschreiten unbedenklich ist, wenn die Austrocknung konstruktiv gewährleistet ist. Die Bauelemente mit diesem Gipsbinder sind gegenüber flüssigem oder gasförmigem Wasser wesentlich beständiger.

Bemerkenswert ist die Abhängigkeit des Hydrophobierungsgrades von der Trocknungstemperatur. Die Werte des Hydrophobierungsgrades entsprechen z.T. einem 40stel traditioneller Gipsbauelemente.

Werden die Meßergebnisse der Wärmeleitfähigkeit und des Wasserdampfdiffusionswiderstandes auf gängige Gipsbauplatten bezogen, so ist kein signifikanter Unterschied zu erkennen. Dies ist auf das Freibleiben der Kristallzwischenräume zurückzuführen. Die Frostbeständigkeit ist vorhanden.

Ziel der Untersuchungen in [Bru74] war die Verhinderung des sogenannten „Ausblutens“ des Betons vor dem Erreichen der Endfestigkeit. Für das ordnungsgemäße Abbinden des Zementes ist, da es sich um ein hydraulisches Bindemittel handelt, Wasser erforderlich. Läuft dieses Zementwasser ab, kann der Zement nicht abbinden und erreicht nicht die angestrebte Festigkeit.

Dem Frischbeton wurden verschiedene Emulsionen beigemischt. Die Wachsemulsionen reagierten mit der Lösung der Zemente, auf Grund der vorhandenen Elektrolyte. In den Emulsionen bildeten sich Flocken, die sich zwischen dem bereits gebildeten Zementstein anreicherten. Diese Öffnungen sind somit geschlossen und ein weiteres Abfließen des Zementwassers kann verhindert werden.

Der Grad und die Art der Flockenbildung ist von der verwendeten Emulsion abhängig. Weiterhin ist in stabile und instabile Wachsverbindungen für diese Anwendung zu unterscheiden.

Mehrfach ist festgestellt worden, daß die abgezogene Fläche von Schallschutzwänden aus Beton gegenüber der geschalten Seite eine bessere Frost-Tau-Salzbeständigkeit aufweist. Daher führte Nischer Untersuchungen über die Trennmittel (Schalöle) und Nachbehandlungsmittel wie in [Nis89] beschrieben durch.

Für alle untersuchten Trennmittel (incl. Paraffinemulsionen) gilt, daß wenn sie dünn aufgetragen werden, keine Beeinträchtigung der Frost-Tausalz-Beständigkeit zu erwarten ist. Dicke Schichten und Trennmittelpfützen können andererseits zu erheblichen Schäden führen. Werden Paraffinemulsionen als Nachbehandlungsmittel eingesetzt, dürfen diese nicht auf frische, feuchte Betonoberflächen aufgetragen werden.

Aus den USA ist bekannt, daß man in den 70iger Jahren Paraffin zur Abdichtung von Straßenoberbauten auf Brücken verwendete. Der Beitrag von [Sea79] entstand aus zwei verschiedenen Veröffentlichungen, die in den USA erschienen. Inhalt ist die nachträgliche Versiegelung von Straßen mit Paraffin. Zusammenfassend mit weiteren Literaturquellen

liegen Hinweise auf derartige Anwendung von Paraffinen und Wachsen im Straßenbau aus der BRD, der ehemaligen DDR, Schweden, Japan und den USA vor.

Mit dem Zusatz von 3 Masse-Prozent (in weiterer Folge auch M-%) eines Paraffin/Montanwachs-Gemisches (75/25 %) und einer Erwärmung des ausreichend erhärteten Betons auf ca. 95 °C ist ein hoher Frost-Tausalz-Widerstand nach [Gie85] erzielt worden; es traten keine Schäden mehr auf. Bei der Erwärmung wird der Beton in einem Randbereich von wenigen Millimetern Dicke intern versiegelt, wogegen das Wachs in tieferen Schichten wegen des im Beton entstehenden Druckes nicht schmilzt und deshalb nicht in den Zementstein eindringt.

Reines Paraffin sei nicht geeignet. Diese Aussage wird in dem Bericht nicht begründet.

Bei der Wärmebehandlung ist Folgendes zu beachten:

- Langsames Erwärmen und Abkühlen vermindert die Gefahr einer Ribbildung;
- der Beton sollte bei der Erwärmung möglichst trocken sein, da bei sehr feuchtem Beton Risse an der Oberfläche entstehen;
- die erforderliche Festigkeit muß bei der Erwärmung bereits vorhanden sein, da eine Nacherhärtung nicht mehr zu erwarten ist;
- die Druckfestigkeit wird durch Wachszugabe und Wärmebehandlung je nach Betonzusammensetzung um ca. 40 bis 60 % vermindert.

Im Vordergrund der Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Prof. Reichel an der TU Dresden ([Rei84], [Rei85], [Rei86], [Rei87], [Rei88], [Rei88a], [Rei89], [Rei89a], [Rei90], [Rei90a], [Rei91], [Lin90], [Ras90]) stand die Verbesserung der Produktionsbedingungen für Fertigteile und die Verbesserung von deren Dauerhaftigkeit. Die Ergebnisse vollständig aufzuzeigen, ist nicht möglich, daher werden nur die Wesentlichen Resultate und die im Rahmen der vorliegenden Arbeit von Interesse sind, genannt. Die umfangreichen Untersuchungen fanden mit der Umstrukturierung der TU Dresden nach 1989 bedauerlicherweise ein abruptes Ende.

Ergebnisse:

- Die thermische Nachbehandlung bei der Herstellung von Betonfertigteilen hat nach einem zweckmäßigen Temperatur- und Feuchteprogramm zu erfolgen,
- Zugabe von Rohmontanwachs-Paraffin-Granulat zur Sofortversiegelung während der Nachbehandlung des Betons,
- verbesserte Festbetoneigenschaften des sofortversiegelten Betons (Anteil des Granulates 2 - 2,5 M-%) gegenüber dem wärmebehandelten Beton:
 - Rißbildung 80 % geringer
 - Schwindmaß 48 % geringer
 - Wasseraufnahme 70 % geringer
 - E-Modul 20 % geringer
 - Frostwiderstand 400 % höher
 - Wasserdichtigkeit (Wassereindringtiefe) 400 % verbessert
 - Gasdichtigkeit 33 % höher
 - Chloridabsorption 70 % geringer
 - Schwindmaß nach der Wärmebehandlung 70 % geringer
- Untersuchungen ebenfalls mit Rohmontanwachsemulsion durchgeführt
 - kap. Wasseraufnahme 60 % geringer
 - Wasseraufnahme nach Karsten 80 % geringer
 - Frostwiderstand 300 Frost-Tauwechsel ohne Schaden
 - Luftdurchlässigkeit 85 % verringert
 - Karbonatisierungstiefe 70 % geringer

Nach [Ram97] und [Gor98] sind Wachse Hartfette, und damit sehr gute Materialien für die Ausbildung von Trennschichten zum vorbeugenden Schutz gegen unerwünschte Graffiti und Farbschmierereien.

Paraffine bzw. Wachse werden für Graffiti-Schutzsysteme in Semi-permanenten Systemen (auch 2 Phasen Systeme genannt) wie in Abbildung 2.2 dargestellt, angewendet. Es handelt sich dabei um die Kombination einer Imprägnierung und einer Opferschicht. Den beiden Schichten werden klare Funktionen zugeordnet. Die untere permanente Schicht verhindert das Eindringen der Wachse oder Paraffine bei Auftrag des Schutzsystems und bei deren Entfernung, einschließlich der darin gebundenen Farbpartikel.

Der Vorteil dieser Systeme liegt in der einfachen und ökologischen Entfernung aufgetragener Graffiti mit der Opferschicht (Paraffin oder Wachs), die anschließend erneuert werden muß.

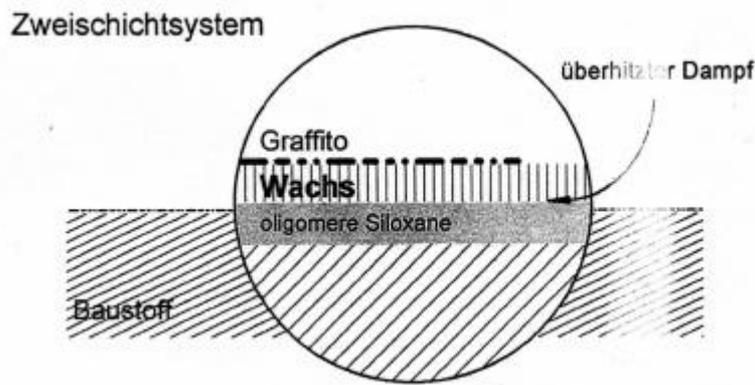


Abb. 2.2: Chemischer Aufbau semipermanenter Einsicht- und Mehrschichtsysteme (nach [Gor98])

Nach [Ziexx] ist die Kellerabdichtung mit dem System FlowProtect (FlowTex GUT GmbH) wie folgt möglich: Eine Montanwachsdispersion wird als Abdichtmaterial mit Hilfe von Lanzen von außen direkt in den Übergangsbereich Wand/Erdreich injiziert und so eine wasserundurchlässige Hülle rings um die Kellerwände gelegt. Das Injektionsmaterial wird mit sehr hohem Druck (bis zu 400 bar) in den Boden eingepresst. Der Abstand der Injektionslanze zur Wand wird so eingestellt, daß die Strahlen schräg auf die Hauswand auftreffen. Durch Wiederholen des Injektionsvorganges in gewissen Abständen werden so in sich abgeschlossene, beliebig ausgedehnte Dichtwände erzeugt.

Das FLOWMONTA -Verfahren ist ein Altlastensicherungsverfahren (Deponiesanierung), welches in den letzten Jahren die ROMONTA GmbH [Rom3w] gemeinsam mit der FlowTex GUT GmbH entwickelte.

FLOWMONTA ist ein Verfahren, das sich für das nachträgliche Einkapseln von Deponien eignet. Es basiert auf richtungssteuerbaren FlowTex-Horizontalbohrungen, über die ein Dichtmittel, bestehend aus Montanwachsdispersionen, Bentonit und hydraulischen Bindemittel, im Düsenstrahlverfahren in den Boden gepreßt wird. Entlang der Bohrungen entstehen dadurch Injektionskörper, die sich gegenseitig überlappen und nach ihrem Abbinden eine undurchlässige Barriere bilden. Auf der Basis umfangreicher Versuchsreihen wurde eine optimierte Montanwachsdispersion entwickelt.

Romonta Montanwachs enthält über 80% Wachsstoffe (überwiegend Ester), über 10% Harze und maximal 5% asphaltische Bestandteile. Wachs hat eine gute Klebefähigkeit, beim Flowmonta-Verfahren zum Verkleben der Injektionslösung genutzt wird. Wachs ist hydrophob und von kontaminierten Sickerwässern so gut wie nicht angreifbar.

Die mechanischen Eigenschaften der Barriere werden durch den Gehalt an Montanwachsdispersion gesteuert. Die Barriere kann dadurch so ausgeführt werden, daß Fehlstellen selbst dann nicht entstehen, wenn sich der Boden absetzt. Boden- und Zuschlagsstoffe werden mit Montanwachs benetzt und dadurch vor chemischen Angriffen durch das Sickerwasser geschützt. Das bringt eine nahezu unbegrenzte Langzeitbeständigkeit der Dichtschicht.

Historische Sanierungsmaßnahmen mit Paraffin bzw. Wachs lassen sich bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts zurückverfolgen [Ash94]. Dort beschriebene Sanierungsmaßnahmen betreffen die jeweilige Gesteinsoberfläche. In den Jahren 1930/31 erfolgten nach [Sei95] Konservierungsmaßnahmen an der Wappengalerie des Großen Wendelsteins im Schloß Hartenfels zu Torgau. Diese führten anschließend auf Grund von Baufehlern und mangelnder Pflege zu Steinschäden.

Eine wesentliche Ursache war dabei die hydrophobierende, abdichtende Behandlung mit Paraffinlösung, der vor 1930 eingebauten Teile, die zu einer Schalenbildung an der Gesteinsoberfläche führte. Dies konnte zweifelsfrei nachgewiesen werden, da u.a. die verwendeten Natursteine kein solches Schadensbild zeigen, und entsprechende Rückstände konnten nachgewiesen werden.

Erwähnung finden zwei Anwendungen mit Paraffin:

- Dr. Schmid's Enkaustikverfahren

Dabei handelt es sich um eine Tränkung mit Wachsxyllösung (das Wachs liegt in gelöster Form vor) und das anschließende, allseitige Einbrennen des Wachses.

- Tränkung trockener Steine mit Lapidensin

In Petroleum gelöstes und verteiltes Paraffin ist wasserabweisend. Die Tränkung sollte nach mehreren Jahren (etwa 5-10) wiederholt werden.

In dem zitierten Schriftverkehr wird über den Erfolg der Maßnahmen diskutiert. Es wird davon ausgegangen, daß eine unzureichende Penetration mit Wachs zu Schäden führt. Von der Unter- oder Rückseite eindringende Feuchtigkeit könne nicht verdunsten und führt bei Frost zum Abplatzen der Oberfläche, dies trat auch ein.

Anschließend eingebaute und mit Lapidensin getränkte Kopien, haben einen als gut zu beschreibenden Zustand.

Die Untersuchungen zeigten, daß weniger die Konservierungsmaßnahmen an sich als ihre Wechselwirkung mit Baufehlern und vor allem mangelnder Baupflege zu den beschriebenen Schäden geführt haben.

Ziel der Untersuchungen von [Gri90] war es, festzustellen, wie sich die Eigenschaften von Spanplatten durch den Zusatz von Paraffin (1 - 1,5 % bezogen auf das Festharz) verändern. Mit steigendem Paraffinanteil wird die Dickenquellung der Platten reduziert, jedoch verringerte sich die Querszugfestigkeit.

Gleiches berichtet [Sch3w]: Paraffine können direkt versprüht oder auch in Form einer wäßrigen Emulsion dem Span- und Fasermaterial zugefügt werden. Mit Paraffinen wird eine Hydrophobierung der Span- und Faserplatten, sowie eine Reduzierung der Quellneigung erreicht.

Der Einfluß des Paraffins in den Leimansätzen von Spanplatten bei unterschiedlichen Temperaturen untersuchte Voulgaridis nach [Vou86] und [Vou93]. Die wasserabweisende Wirksamkeit untersuchte er an Hand von Quellungsbestimmungen. Die Erhöhung der Wassertemperatur führte zu einer signifikanten Verminderung der wasserabweisenden Wirksamkeit der untersuchten Holzarten. Die Verwendung von Wachsen mit einem hohen Schmelzpunkt führt dabei nicht unbedingt zu den besten Ergebnissen.

Die zweite Veröffentlichung untersuchte Naturharz und Kolophonium als Hauptkomponenten von Wasserschutzmitteln für Holz. Jedes der Wasserschutzmittel enthielt zusätzlich 1 % Wachs. Aus den Ergebnissen kann kein Rückschluß auf den Einfluß des Paraffins gewonnen werden.

Nach [Sch3w] werden Paraffine in der Holzindustrie zusätzlich zu den oben beschriebenen Anwendungen als wichtige Hilfsmittel für verschiedene Anwendungsbereiche verwendet, z.B. dem Behandeln/Glätten von Holzoberflächen und der Verbesserung des Produktionsablaufes als Gleitmittel. Dies hat den Vorteil, daß speziell bei Schleifvorgängen von Hartfaserplatten eine Staubbildung erfolgt und die Lebensdauer von Schleifbändern erheblich verlängert wird.

Paraffine werden in [Sch87] als Speichermedium genutzt, weil sie billig, nicht toxisch und thermisch stabil sind. Die spezifische Wärmespeicherkapazität ist zwar etwas geringer gegenüber anderen möglichen Speichermedien, auf Grund der zuvor genannten Eigenschaften sind Paraffine jedoch ein am besten geeignetes Speichermedium. Gleiches wird auch in [Rub3w] beschrieben.

Durch die Zugabe von Wachsen und / oder Paraffinen wird eine höhere Dauerhaftigkeit von Betonstraßen erreicht. Bei Bitumenstraßen richten sich Forderungen nach [Sch3w] in erster Linie an die Verbesserung der Warmstandfestigkeit bei höheren Außentemperaturen (Verminderung der Spurrillenbildung) und der Rißbeständigkeit bei Frost. D.h.:

- Verminderung bleibender Verformungen in hochstandfesten Binderschichten und Verbesserung der Hafteigenschaften des Bitumens bei der Verwendung von saurem Gesteinssplitt;
- Reduktion der Viskosität flüssiger Asphaltgemische;
- Verbesserung der Verdichtungseigenschaften flüssiger Asphaltgemische;
- Reduzierung der Einbautemperaturen möglich;
- Erhöhung der Warmstandfestigkeit von Asphaltbelägen;
- Asphalteinbau bei tiefen Außentemperaturen;
- Einbau von Gußasphaltestrich im Hochbau.

Mit der Anwendung von NATURAN ist nach [Rom3w] die Flächenbegrünung möglich. Tagebauhalden, Abraumkippen, unbewachsene Böschungen, sowie trockene Spülteiche und Absetzbecken neigen in großem Maße zu Staubemission und Bodenerosion. NATURAN (Montanwachs-in-Wasser-Dispersion und als solche ein Naturprodukt) ist ein Bodenfestiger auf der Basis von Pflanzenwachs. Es dient als Zwischenlösung für die Staubbindung.

Bei der Begrünung von Problemflächen kommt NATURAN als Bodenfestiger eine besondere Bedeutung zu. Es fixiert die Begrünungsbestandteile und die lockere Bodenoberfläche und verhindert somit die weitere Erosion des Bodens und die Verfrachtung des Saatgutes von der Fläche. Selbst bei längeren Trockenperioden oder frostigen Wintermonaten bleibt die Fixierung stabil. Bei günstigen Witterungsbedingungen läuft dann das Saatgut ungehindert auf. Die sich entwickelnden Wurzeln übernehmen bald die erosionshemmende Funktion auf Problemflächen oder zur Unterstützung bei der Rekultivierung.

NATURAN kann wegen seiner geringen Viskosität unverdünnt mit verschiedenen Sprühverfahren aufgebracht werden: manuell, vom Sprühfahrzeug aus oder aus der Luft mittels Helikopter. Durch die feine Verteilung des Wirkstoffs in der Dispersion sind alle benetzten Bodenpartikel nach dem Abtrocknen an ihren Berührungspunkten untereinander fixiert. Die entstandene Gitterstruktur läßt Niederschlagswasser in den Boden eindringen und aufsteigendes Grundwasser austreten.

2.1.4 Relevante Wirkprinzipien der Paraffine

Von besonderem Interesse ist die Interpretation der möglichen Wirkprinzipien bei einer Paraffinbehandlung. Es ist zu unterscheiden zwischen den Verfahren, bei denen das Paraffin flüssig in den Baustoff eingebracht wird und jenen, wo das Paraffin seine Wirkung im Rahmen einer Nachbehandlung im Rahmen der Vorfertigung (siehe ff.) erreicht. Erste Verfahren werden im wesentlichen in der Sanierung angewendet und sind Inhalt dieser Arbeit. Weiterhin finden diese Verfahren im Rahmen von vor Ort Maßnahmen ihre Anwendung. Es handelt sich dabei um einen rein physikalischen Vorgang, da ausschließlich eine Veränderung der Konsistenz des Paraffins stattfindet.

Der Eintrag von erwärmten, flüssigen Paraffinen in den Baustoff kann in Form von 3 Varianten in den Baustoff erfolgen.

- Aufbringen von festem Paraffin in Form von Granulat, Pastillen oder Pulver auf horizontale Bauteiloberflächen, Erwärmung der Oberfläche durch thermische Strahlung, das so verflüssigte Paraffin dringt durch Poren und Kapillaren in den oberflächennahen Bereich des Bauteils ein;
- Auftrag von flüssigem Paraffin auf die Oberfläche durch Sprühen, Bestreichen oder Spülen auf horizontale oder vertikale Flächen, da das Paraffin auf der gegenüber dem flüssigen Paraffin kalten Oberfläche sofort erstarrt, ist es erforderlich, die Materialoberfläche zum Eindringen des Paraffins auf einer Temperatur zu halten, bei der das Paraffin flüssig bleibt;
- Injektion des flüssigen Paraffins über Bohrlöcher in vollständigen Bauteilquerschnitten (detailliertere Angaben zu Abläufen und Verfahren können den Publikationen von Dreyer im Literaturverzeichnis entnommen werden).

In der Abbildung 2.3 ist dargestellt, wie sich das Paraffin nach dem Eintrag in den Baustoff verhält. Die 3 zuvor beschriebenen Behandlungsmöglichkeiten unterscheiden sich in ihrem Ergebnis nur in der jeweiligen Tiefe des Paraffineintrages. Das linke Bild zeigt sinngemäß den Eintrag des flüssigen Paraffins. Kapillaren und ggf. Poren werden gefüllt. Sackporen bzw. kleinste Mikroporen werden u.U. nicht vollständig mit Paraffin gefüllt. Dies ist nicht erforderlich, da das Paraffin hydrophobe Eigenschaften nach dem Erstarren hat.

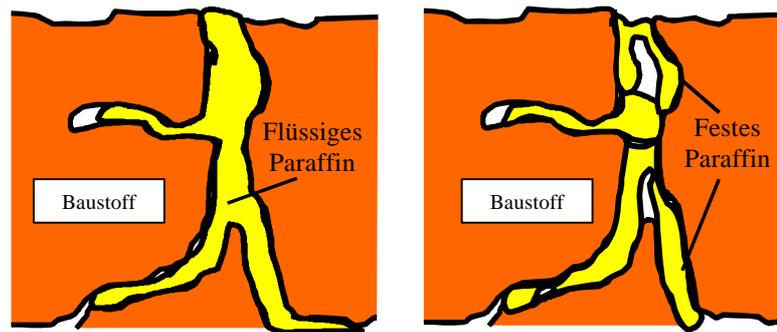


Abb. 2.3: Wirkprinzip bei einer Bearbeitung mit flüssigem Paraffin in vorhandenen Baustoffen

Das rechte Bild der Abbildung 2.3 stellt den Zustand nach dem Erstarren des Paraffins dar. Durch die Abkühlung kommt es zu einer Volumensverringering. In großen Kapillaren und Poren können kleine Hohlräume gebildet werden, deren Oberfläche durch das Paraffin hydrophob, bzw. die Hohlräume so klein sind, daß kein Wasser kapillar transportiert werden kann. Durch die Bildung eines Unterdruckes bei der Verringerung des Volumens kann u.U. das Paraffin selbst die Kräfte aufnehmen, um die Bildung von Hohlräumen zu verhindern.

Für Verfahren, bei denen das Paraffin bei der Herstellung von Baustoffen dem Ausgangsmaterial beigemischt oder zugefügt wird, und eine zusätzliche Erwärmung erfolgt, existieren folgende Modellvorstellungen:

Dabei ist zu beachten, daß gegenüber der ersten beschriebenen Variante der Wirkprinzipien chemische Prozesse hinzukommen, die von dem gewählten Zusatz und deren Menge abhängig ist.

Lindner beschreibt in [Lin90] u.a. ein Verfahren zur Hydrophobierung von Beton mit einer Montanwachsemulsion (im folgenden MWE). Die MWE wird dem Frischbeton als grobdisperses System zugesetzt. Die im Zusatzmittel als feindisperse Phase enthaltenen grenzflächenaktiven Stoffe (Tenside) bewirken eine Verflüssigung. Diese plastifizierende Wirkung beruht wahrscheinlich auf der Dispergierwirkung und der verringerten Oberflächenspannung des Wassers. Dadurch können sich bei intensiver Bewegung (Mischen, Verdichten) zusammenhängende Wasserfilme bilden, wie in Darstellung 1 in Abbildung 2.4 zu sehen. Darstellung 2 der gleichen Abbildung beschreibt, daß sich die Montanwachspartikel sich in den größeren Kapillarporen anlagern, wobei die Poren im Größenbereich der Montanwachspartikel abgedichtet werden können. Auf der Verstopfung dieses Porenanteils mit etwa 2 – 4 µm Durchmesser, durch die an sich wasserabweisenden Montanwachsteilchen beruht wahrscheinlich die Hydrophobierungswirkung beim NE-Beton (= normal erhärteter Beton).

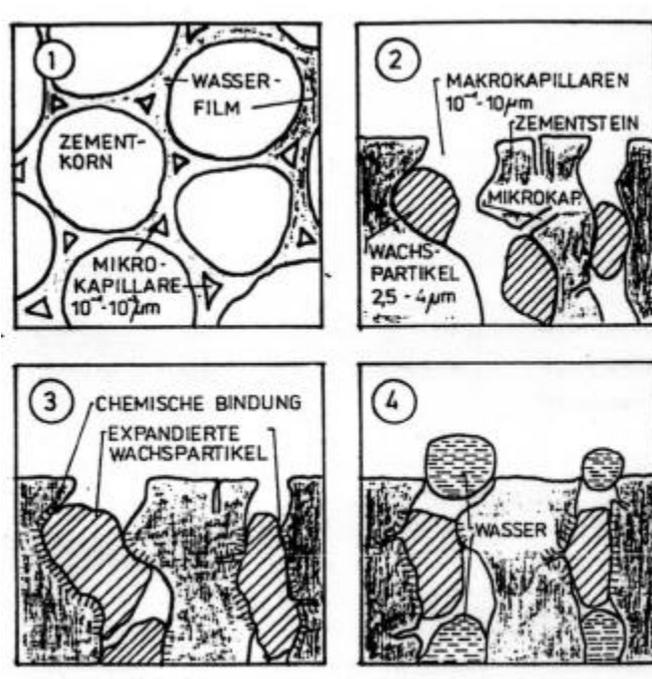


Abb. 2.4: Modell zur Hydrophobierung mit Montanwachsemulsion R 25 [Lin90]

Wird der entsprechende Beton einer Wärmebehandlung unterzogen, so ist anzunehmen, daß sich die Montanwachsteilchen bei Temperaturen über 50 °C ausdehnen (Darstellung 3 in Abbildung 2.4). Dadurch kann ein noch größerer Porenanteil im Zementstein wirksam abgedichtet werden, indem das Montanwachs in kleinere Kapillaren gepreßt wird und in größere Poren expandiert. Bei höheren Temperaturen kann von einer chemischen Reaktion ausgegangen werden, einer Verseifungsreaktion. Durch diese Verseifungsreaktion wird das Hydrophobierungsmittel wahrscheinlich stabil an den Kapillarwänden angelagert, wodurch sich die Beständigkeit der Hydrophobierung erhöht. Durch die wasserabstoßende Wirkung des langen Kohlenwasserstoffrestes der Kalziumseife wird der Beton dauerhaft hydrophobiert. Während der weiteren Erhärtung wird dadurch die Wasserabgabe des Betons verzögert. Dieser Nachbehandlungseffekt kommt bereits in der Abkühlphase der Wärmebehandlung zur Wirkung.

Werden statt der Montanwachsemulsion feste Paraffine in Form von Granulat, Perlen, Pulver o.ä. dem Frischbeton zugegeben, so verändert sich die Verteilung und der Herstellungsablauf zum Erreichen einer beständigen Konstruktion deutlich. In [Sea79] wird ein einfaches Modell wie in Abbildung 2.5 dargestellt, angeführt. Das Paraffin ist nach dem Abbinden des Betons Bestandteil der Feststoffmatrix. Poren und Kapillaren bilden sich vollständig aus, das Paraffin hat keinen signifikanten Einfluß auf die Eigenschaften des Betons (linke Darstellung). Wird durch Erwärmen das Paraffin verflüssigt, verteilt sich dieses in den Poren und Kapillaren. Nach dem Abkühlen hat sich das Paraffin im Kapillarsystem verteilt (rechte

Darstellung). Durch das Abfließen des flüssigen Paraffins in die umliegenden Kapillaren, sind Hohlräume entstanden, in denen zuvor das feste Paraffin enthalten war.

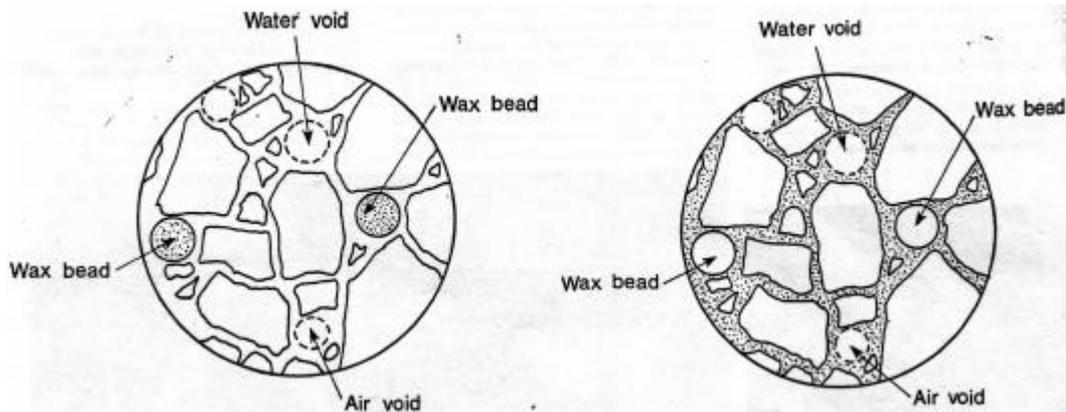


Abb. 2.5: Paraffinverteilung vor (links) und nach (rechts) einer Erwärmung, wenn festes Paraffin dem Frischbeton zugegeben wird [Sea79]

Das Modell nach [Sea79] hat einen sehr allgemeinen Charakter. Das Modell gilt für eine Versiegelung des Betons im Rahmen einer Nachbehandlung genauso, wie bei einer Erwärmung des Betons in einem größeren Zeitabstand nach der Herstellung des jeweiligen Bauteiles. Je größer dieser Abstand ist, desto geringer ist der Einfluß auf Abbindeprozesse im Beton.

Ein detailliertes Modell zur Beschreibung der Paraffinverteilung im Rahmen einer Nachbehandlung (auch Sofortversiegelung genannt) ist in [Rei87] zu finden. Die Abbildung 2.6 zeigt diese Sofortversiegelung. Die einzelnen Bilder können wie folgt zusammengefaßt werden, weitere Details sind in [Rei87] zu finden.

Bild 1 zeigt eine unaufgeschmolzene Wachskugel im Frischbeton, die ihre Form nach dem Mischen, der Formgebung und Verdichtung beibehält. Das Granulat wird im Herstellungsprozeß homogen verteilt. Bild 2 stellt das Verhalten von Beton und Wachsgranulat in einer ersten Stufe des Wärmebehandlungsprogrammes dar. Die Wachskugel wird von außen nach innen erwärmt, dehnt sich aus und setzt dabei Kräfte frei, deren Folgen bei einem entsprechenden Temperaturregime reversibel sind. Im Stadium von Bild 3 ist die plastische Phase des Betons beendet, er verfestigt sich und das Kapillarporensystem entsteht.

Mit der Bildung des Kapillarporensystems und der teilweisen Austrocknung des Betons während der ersten Stufe der Wärmebehandlung entstehen bereits entleerte Kapillarporen, die sowohl einen Druckausgleich als auch das spätere Abwandern des geschmolzenen Waxes ermöglichen. Nach Bild 4 bewirkte die weitere Wärmezufuhr ein völliges Aufschmelzen des Rohmontanwachs-Paraffin-Granulates. Die polare Affinität des

Wachsgemisches zu Beton ermöglicht eine gleichmäßige Verteilung des Schmelzgutes in den Poren und Kapillaren, wobei der Beton vorher einen bestimmten Austrocknungsgrad erreicht haben muß. Es kommt zur Fixierung einer dünnen Schicht von Hydrophobierungsmittel an der Kapillarwandung bei gleichzeitiger Durchtränkung angrenzender Bereiche.

Die Bilder 5 und 6 verdeutlichen, daß zum Einen eine hydrophobe Oberfläche der Kapillaren erreicht wird und zum Anderen die Diffusionsoffenheit erhalten bleibt.

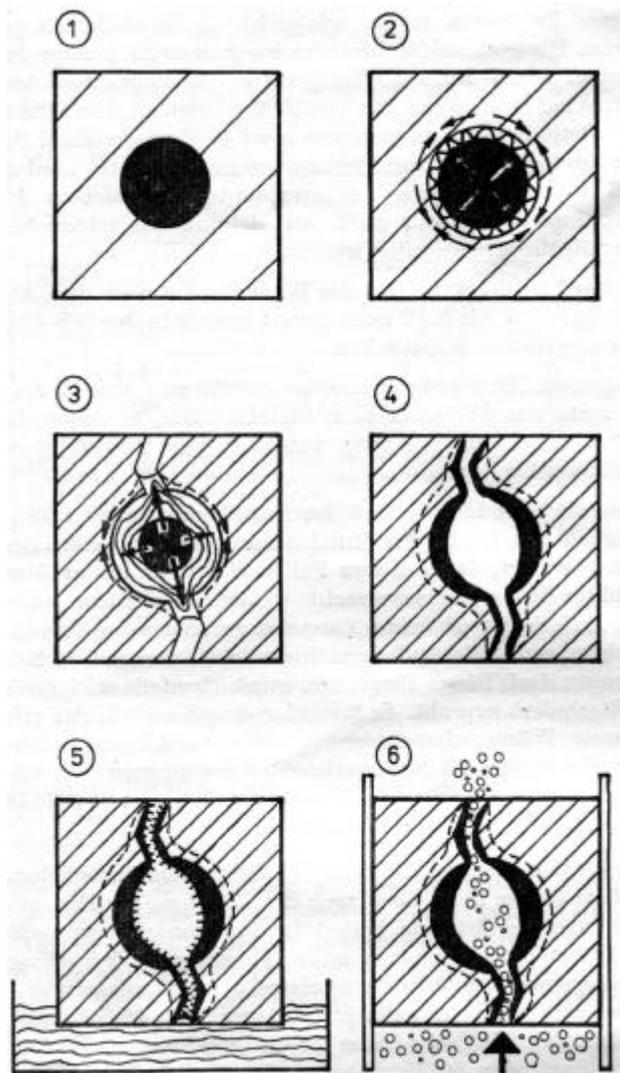


Abb. 2.6: Modell zur Sofortversiegelung durch Paraffin bei der Nachbehandlung von Beton [Rei87]

2.2 Ermittlung der baustofflichen und bauphysikalischen Eigenschaften von mit Paraffin vollständig und teilweise getränkten Baustoffen

2.2.1 Sortiment an Paraffinen und Wachsen für den Einsatz als Bautenschutzmittel

Das Literaturstudium und eigene Erkenntnisse zeigen, daß für verschiedene Anwendungen verschiedene Paraffine verwendet werden sollten. Beispielsweise ist die thermische Belastung einer frei stehenden und vollständig mit Paraffin getränkten Statue wesentlich höher als bei einer Horizontalabdichtung in einem Keller. Für die Statue sollte demzufolge ein Paraffin mit einem sehr hohen Schmelzpunkt verwendet werden. Die Volltränkung kann zudem zeitlich unbegrenzt und in einem Kessel erfolgen. Bei der Abdichtung des Kellermauerwerks ist die spätere thermische Belastung durch die Sonneneinstrahlung ausgeschlossen. Die effektive Errichtung einer Horizontalsperre steht im Vordergrund.

Die Tabelle 2.3 zeigt eine Auswahl von Paraffinen, Wachsen u.ä. die nach [Sch3w] in der Bauindustrie verwendet werden. Dabei werden die Produkte sowohl in der Fertigung der Baustoffe oder Bauteile verwendet, als auch als Baumaterial selber wirksam. Daraus abgeleitet sind verschiedene Paraffine für Untersuchungen vorausgewählt worden. Anhand der Ergebnisse können Aussagen darüber getroffen werden, welche Paraffine für eine Anwendung im Bereich des Bautenschutzes in Frage kommen. Die Paraffine gibt es in verschiedenen Lieferformen als Platten, Pastillen, Pulver oder als Emulsion (wobei diese im Rahmen dieser Arbeit nicht verwendet wurden). Dies hat den Vorteil, daß für die spezifischen Anwendungen ein optimales Paraffin ausgewählt und die optimale Lieferform für die Ausführung genutzt werden kann.

Die Zusammenstellung der verwendeten Paraffine für die Untersuchungen über das Penetrations- und Porenfüllungsvermögen ist der Tabelle 2.4 zu entnehmen. Die Paraffine wurden so gewählt, daß der Errstarrungspunkt sich um jeweils 10 K unterscheidet. Beim geringsten Errstarrungspunkt war zu beachten, daß er in etwa der Temperatur entspricht, die bei einer Sonneneinstrahlung im Sommer erwartet werden kann. Die Dichte der Paraffine ist von der Temperatur abhängig. Die Volumenvergrößerung des Paraffins bei Temperaturerhöhung kann unberücksichtigt bleiben, da das Paraffin auf die Verarbeitungstemperatur vorgewärmt wird. Andererseits wird im Kapitel über die Wirkprinzipien der Paraffine gezeigt, daß sich diese Volumenvergrößerung im Bauteil bei der Behandlung positiv auswirken kann.

Produkt	Erstarrungspunkt	Ölgehalt	Nadel – Penetration bei 25°C	K-Penetration bei 25°C
	[°C]	[%]	[0,1 mm]	[0,1 mm]
TYPE 5805	58-60	0-0,5	19-23	-
TYPE 6003	60-62	0-0,5	17-20	-
TYPE 1308	64-67	-	12-16	-
PARAFLINT® SPRAY 4096	98	-	1	-
TYPE 4911	63-69	-	-	40-65
TYPE 5761	60-67	-	-	115-140
TYPE 6050	60-65	5-8	50-80	-

Tab. 2.3: Zusammenstellung von Paraffinen im Bauwesen eines Herstellers [Sch3w]

Im Rahmen der Sanierung und Instandsetzung von Bauteilen ist davon auszugehen, daß das Paraffin vor der Behandlung erwärmt wird und anschließend in das Bauteil eingebracht wird. Bis zur Verarbeitung hat das Paraffin sein endgültiges (hier maximales) Volumen erreicht. Die Reduzierung des Volumens beim Abkühlen im Mauerwerk wurde bisher nicht untersucht. Es sei hier ebenfalls auf die Wirkprinzipien der Paraffine verwiesen, da sich eine Verringerung des Volumens nicht negativ auf die Abdichtung gegen kapillare Feuchtigkeit auswirkt. Führt die durchgeführte Injektion trotz des Überangebotes an Paraffin nur zu einer Kapillarverengung, ist auf Grund der hydrophoben Oberfläche des Paraffins auf den Kapillarwänden ebenfalls kein Wassertransport möglich.

Paraffin			Typ 5203	Typ 6003	Typ 7000	Typ H1
Erstarrungspunkt	°C	-	52 - 54	60 - 62	68 - 74	96 - 100
Penetration	mm	25 °C	1,6 - 1,8	1,7 - 1,85	0,5 - 0,65	0,1
Viskosität	mm ² /s	100 °C	-	5,9	5,5	12
Dichte	Kg/m ³	65 °C	777	-	-	-
		75 °C	-	781	-	-
		90 °C	-	-	773	-
		95 °C	758	-	-	-
		120 °C	741	750	-	770
		125 °C	-	-	749	-
		150 °C	722	730	731	751

Tab. 2.4: Stoffkennwerte der verwendeten Paraffine bei verschiedenen Temperaturen

2.2.2 Untersuchung des Penetrations- und Porenfüllungsvermögens von Paraffin in relevanten Baustoffen

Die in diesem Kapitel vorgestellten Untersuchungsergebnisse dienen der Entwicklung eines speziellen Paraffins, das im besonderen bei der Errichtung von Horizontalsperren bei kapillar aufsteigender Feuchte verwendet wird.

Folgende Parameter stehen im Vordergrund der Untersuchungen:

1. Reduzierung der Injektionszeit

Die Zeit, die für eine vollständige und dauerhafte Injektion erforderlich ist, wird durch eine verminderte Viskosität des Paraffins verringert. Wird die Injektionszeit beibehalten, steigt die vorhandene Sicherheit der Sanierungsmaßnahme, da sich durch die geringere Viskosität die Verteilung erhöht. Die Penetration des Injektionsstoffes erfolgt nachweislich in alle dem Wasser zugänglichen Porenräume.

2. Reduzierung der thermischen Belastung für das Mauerwerk und Erhöhung des Sicherheitsstandarts

Der zu injizierende Mauerwerksbereich erfährt während der Injektion eine thermische Belastung. Bei der Paraffininjektion wird der zu injizierende Mauerwerksbereich getrocknet. Die Trocknung, thermische Belastung und Paraffininjektion, werden durch die Verarbeitungstemperatur und den Schmelzpunkt des Paraffins beeinflusst.

3. Vergrößerung des Bohrlochabstandes

Die Priorität liegt auf einem minimierten Eingriff in die Bausubstanz, wobei zusätzlich die Herstellung der Bohrlöcher eine sehr arbeitsintensive Tätigkeit ist. Durch die Vergrößerung des Bohrlochabstandes wird die mechanische Belastung des feuchteschädigten Mauerwerkes reduziert, der gesamte Eingriff in die Bausubstanz verringert und damit die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens erhöht. Die Reduzierung des Paraffinschmelzpunktes und/oder die Verringerung der Viskosität des Paraffins kann negative Einflüsse aus der Erhöhung des Bohrlochabstandes ausgleichen. Die Kapillarität des zu injizierenden Mauerwerksbaustoffes und dessen Homogenität ist zu berücksichtigen.

Es leuchtet ein, daß diese drei Parameter teilweise konträr gegenüberstehen. Als vorrangiges Ziel gilt daher die Optimierung des gesamten Verfahrens. Die Absprache der gewonnen Erkenntnisse mit Anwendern wurde daher regelmäßig durchgeführt.

Die verwendete Versuchsanlage, die zur Ermittlung der Aufnahmekoeffizienten für Wasser bei höherer Temperatur und für Paraffine bei den jeweiligen Temperaturen, benützt wird, ist

schematisch in Abbildung 2.7 dargestellt. Als Meßwerte werden das Gewicht und die Zeit erfaßt. Die Meßwerte werden in Abhängigkeit von der Gewichtsänderung registriert und auf einem Rechner abgelegt. Die Ermittlung der Wasseraufnahmekoeffizienten bei Raumtemperatur erfolgte z.T. händisch.

Die jeweiligen Temperaturen, bei denen die einzelnen Penetrationsversuche der Paraffine in das Probenmaterial untersucht wurden, gehen aus Tabelle 2.4 hervor (Angabe der Dichte und der entsprechenden Temperatur). Sie wurden so gewählt, daß bei der minimalen Temperatur nach Schmelzen des Paraffins eine Penetration möglich ist. Die maximale Temperatur liegt oberhalb der angestrebten Maximaltemperatur für die Verarbeitung.

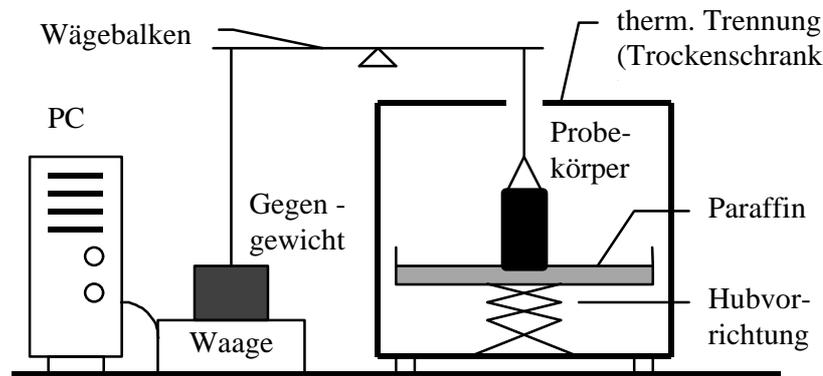


Abb. 2.7: *Prinzipaufbau der Wägeeinrichtung mit kontinuierlicher Meßwertregistrierung über einen Rechner*

Zunächst wurde für jeden Probekörper der Wasseraufnahmekoeffizient w nach Gleichung Gl. 2.1 mit destilliertem Wasser bestimmt. Das Volumen wird über die gemessene Massenänderung und die Dichte ermittelt. Anschließend wurden die Proben bei einer Temperatur von 105 °C getrocknet. Der Paraffinaufnahmekoeffizient wurde analog zu Gleichung Gl. 2.1 bestimmt. Für jeden Probekörper kann der Koeffizient für die Paraffinaufnahme mit dem Wasseraufnahmekoeffizienten verglichen werden. Es ist möglich, auf Grund der relativen Änderung des entsprechenden Aufnahmekoeffizienten, Rückschlüsse auf andere Baumaterialien zu ziehen. Der freiwillige Wassergehalt bzw. der freiwillige Paraffingehalt wurden nach Abschluß der jeweiligen Versuche bestimmt.

$$w = \frac{V}{A \cdot \sqrt{t}} \quad (\text{Gl. 2.1})$$

- V aufgenommenes Wasser- / Paraffinvolumen
A Grundfläche der Proben (Saugfläche)
t Zeit zur Aufnahme von V

Die Versuchsreihe wurde mit Ziegelsteinproben begonnen. Die Versuchstemperaturen für die Kalksandsteinproben wurden anschließend aus der Versuchsreihe mit den Ziegelproben übernommen. Ziegelstein bildet bei der Versuchsreihe den größten Anteil, da er einer der häufigsten Baustoffe ist, er ist kapillar aktiv und wird bei der Errichtung von nachträglichen Horizontalsperren vielfach als Wandbaustoff vorgefunden. Der verwendete Kalksandstein steht exemplarisch für Baustoffe, die über eine geringe Kapillarität verfügen. Die jeweiligen Grundeigenschaften der verwendeten Ziegel und Kalksandsteine gehen aus Tabelle 2.5 hervor.

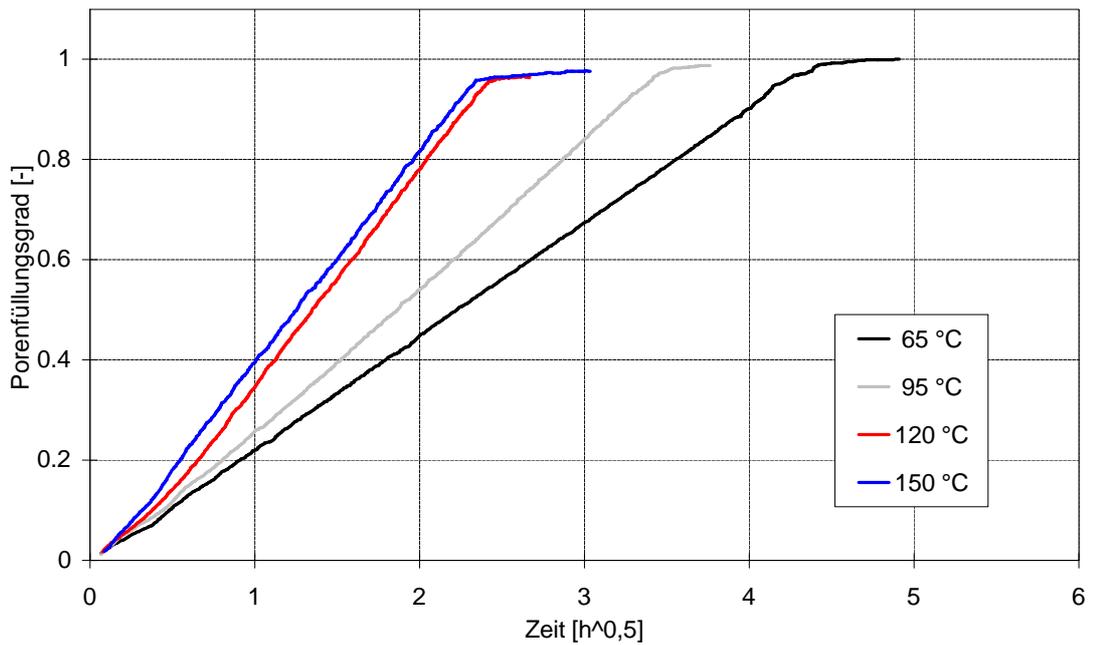
		Ziegel	Kalksandstein
Rohdichte	kg/m ³	1900	1800
normaler Wassergehalt (10 Tage Wasserlagerung)	M-%	10,9	14,2
	V-%	20,8	25,6
Wasseraufnahmekoeffizient bei 23 °C bei 75 °C	kg/(m ² ·h ^{0,5})	11,8	4,6
	kg/(m ² ·h ^{0,5})	16,5	nicht ermittelt
Sorptionsfeuchte bei Raumklima (ca. 23 °C/35 % rel. Luftfeuchte)	M-%	0,06	0,61
	V-%	0,11	1,11

Tab. 2.5: Stoffkennwerte des verwendeten Ziegelmaterials und Kalksandstein

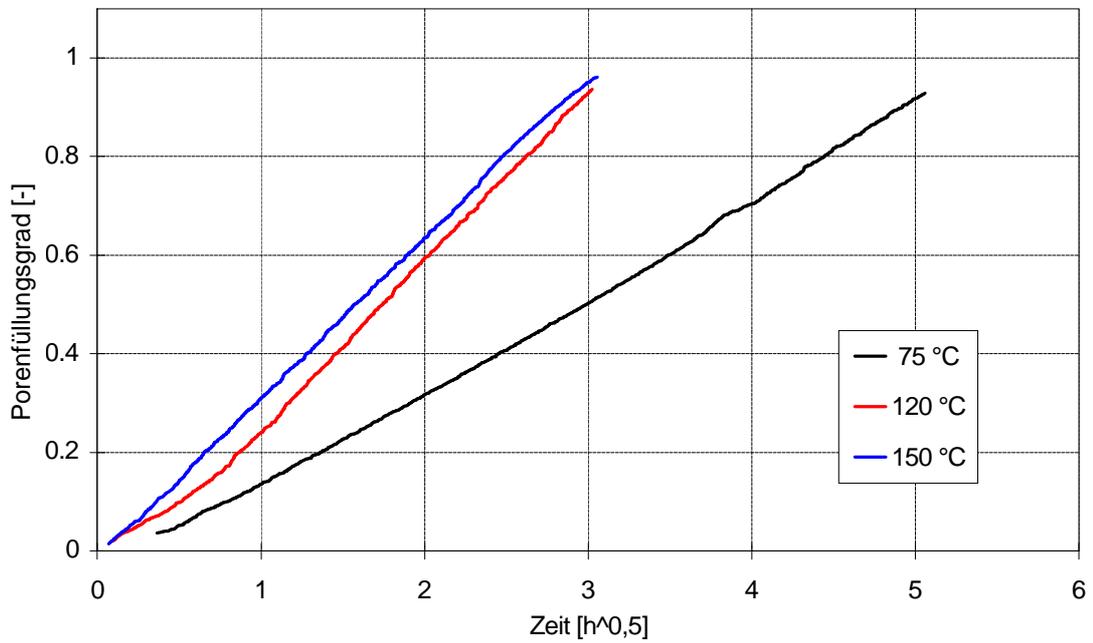
2.2.2.1 Einzelmaterial

Die Diagramme 2.1 bis 2.6 zeigen die Porenfüllung einzelner Ziegel- (Diagramme 2.1 bis 2.4) und Kalksandsteinproben (Diagramme 2.5 und 2.6) gegenüber der Wurzel der Zeit. Da die Dichte der Paraffine deutlich von der Temperatur abhängt, ist die Darstellung der Gewichtszunahme gegenüber der Zeit irreführend.

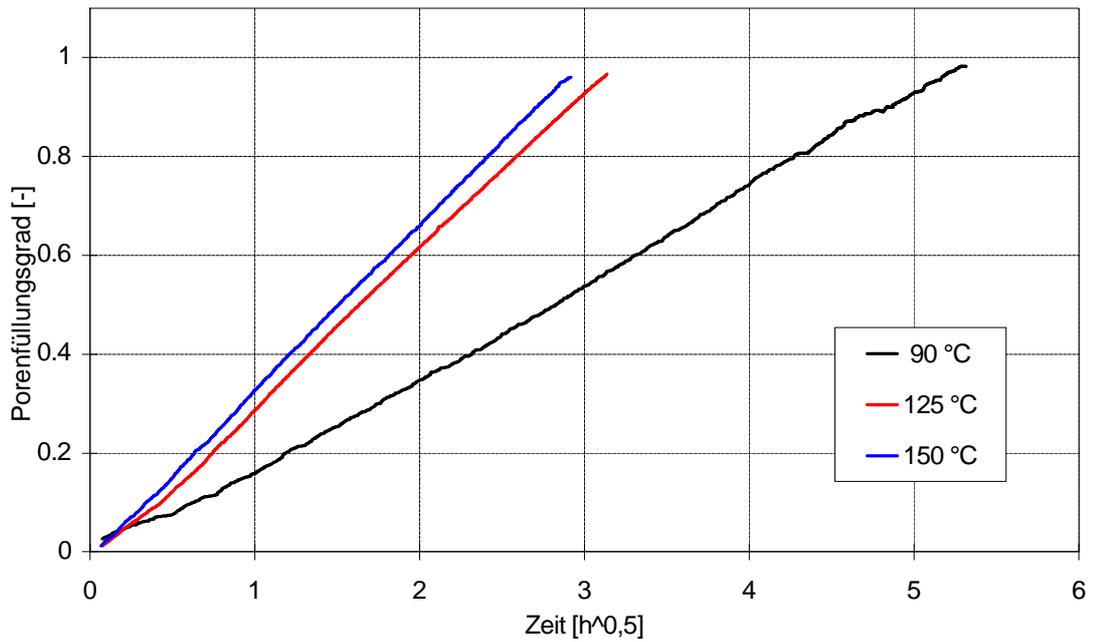
Es ist zu erkennen, daß eine Temperaturerhöhung von 120 °C auf 150 °C bei Ziegelstein zu keiner wesentlichen, zeitlichen Verbesserung der Paraffinaufnahme führt. Wird diese Temperaturerhöhung bei Kalksandsteinproben durchgeführt, so verringert sich die Dauer der Paraffinaufnahme deutlich.



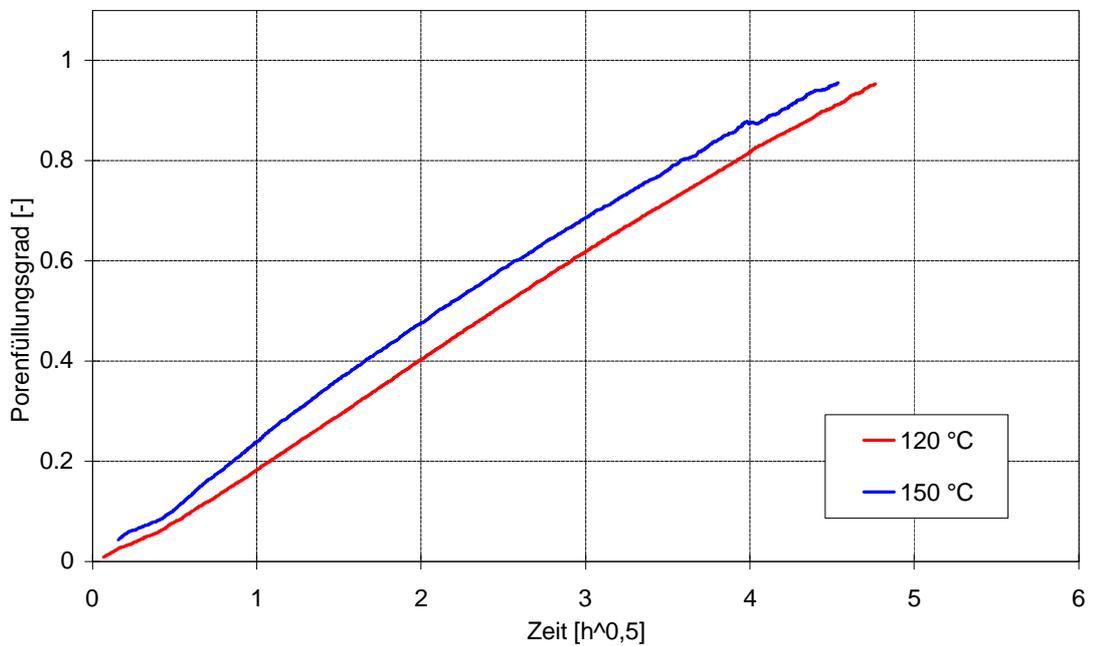
Diagr. 2.1: Porenfüllungsgrad exemplarischer Ziegelsteinproben in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit für den Paraffintyp 5203, bei Temperaturen von 65, 95, 120 und 150 °C



Diagr. 2.2: Porenfüllungsgrad exemplarischer Ziegelsteinproben in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit für den Paraffintyp 6003, bei Temperaturen von 75, 120 und 150 °C



Diagr. 2.3: Porenfüllungsgrad exemplarischer Ziegelsteinproben in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit für den Paraffintyp 7000, bei Temperaturen von 90, 125 und 150 °C



Diagr. 2.4: Porenfüllungsgrad exemplarischer Ziegelsteinproben in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit für den Paraffintyp H1, bei Temperaturen von 120 und 150 °C

Die Penetration des Paraffins bei der geringsten Versuchstemperatur (ca. 10 K oberhalb des Schmelzpunktes des jeweiligen Paraffins) in den Kalksandstein führte zu keinen brauchbaren Resultaten. Die Versuche wurden bei dieser Versuchstemperatur i.d.R. abgebrochen und kommen somit nicht in die Auswertung.

Die Aufsaugversuche für Paraffin wurden mit Paraffin Typ 6003 an Kalksandsteinen fortgesetzt. Bei einer Temperatur von 75 °C ist der erste Versuch nach 131 h abgebrochen worden, bei 75 °C erfolgten keine weiteren Versuche. Abbildung 2.8 zeigt die in der Zeit erreichte Steighöhe des Paraffins in der entsprechenden Probe. Bei der Betrachtung des injizierten Materials wird festgestellt, daß unterhalb des oberen Pfeils in Abbildung 2.8 nicht alle Kapillarporen mit Paraffin gefüllt sind, der untere Pfeil zeigt die Steighöhe, bis zu der alle Kapillarporen gefüllt sind. Bei den Proben, die bei höheren Temperaturen das Paraffin aufgenommen haben, wird dies nicht festgestellt, da das Paraffin bis zur freiwilligen Sättigung aufgenommen wurde. Anschließend erfolgten Versuche bei 120 °C und 150 °C.

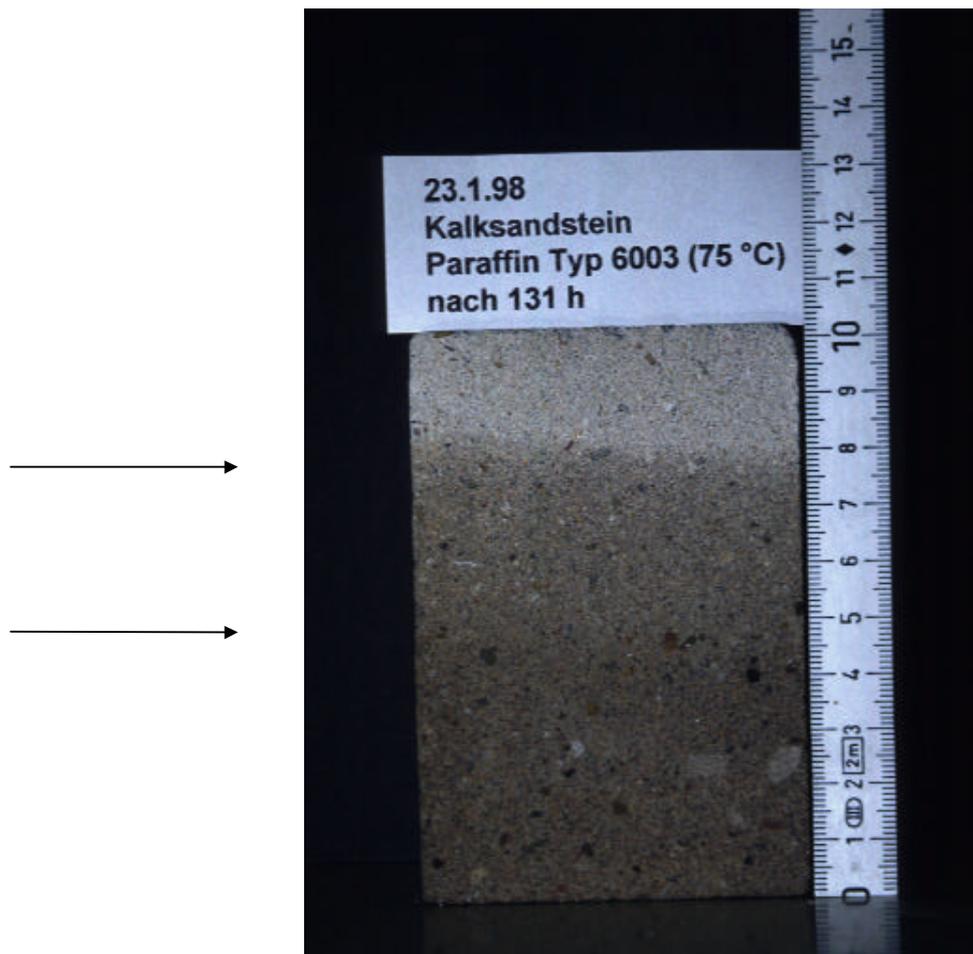
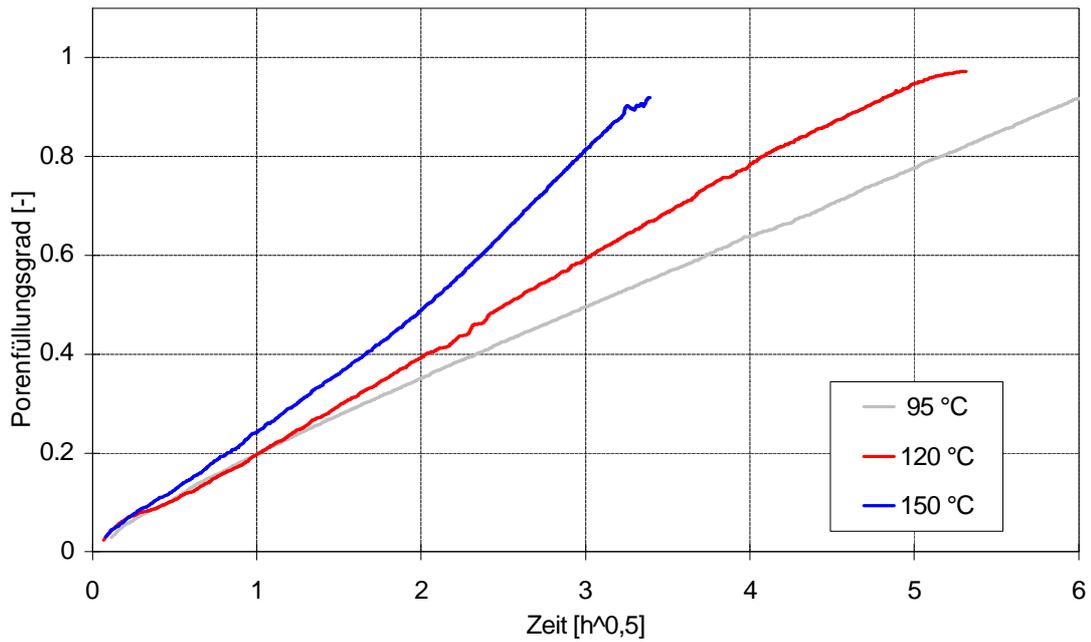
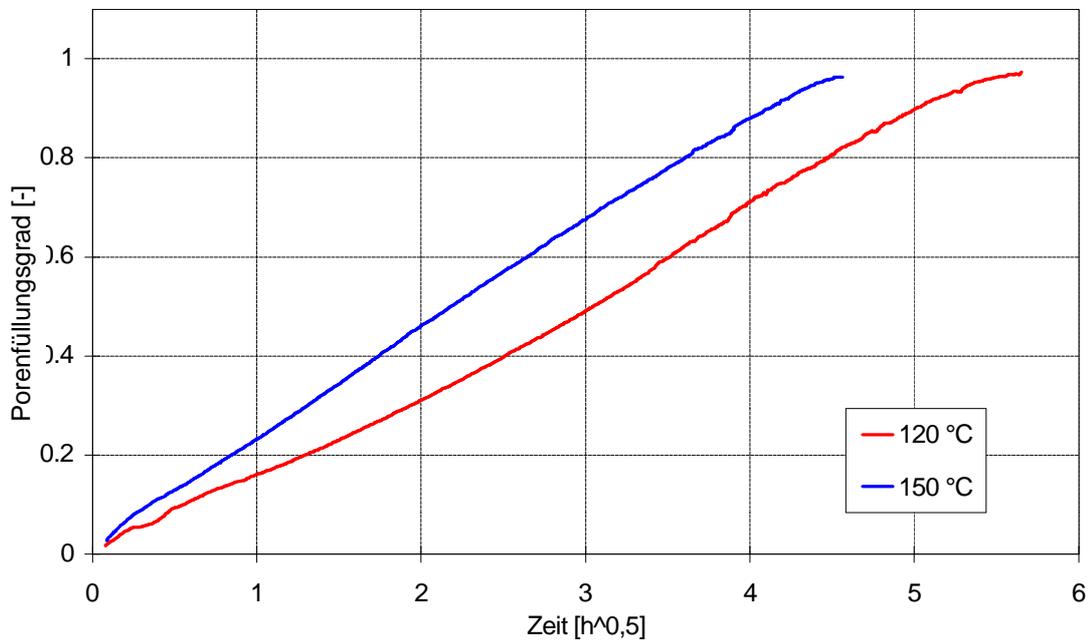


Abb. 2.8: Kalksandsteinprobe nach 131 h Penetration von Paraffin Typ 6003



Diagr. 2.5: Porenfüllungsgrad dreier Kalksandsteinproben in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit für den Paraffintyp 5203, bei Temperaturen von 95, 120 und 150 °C



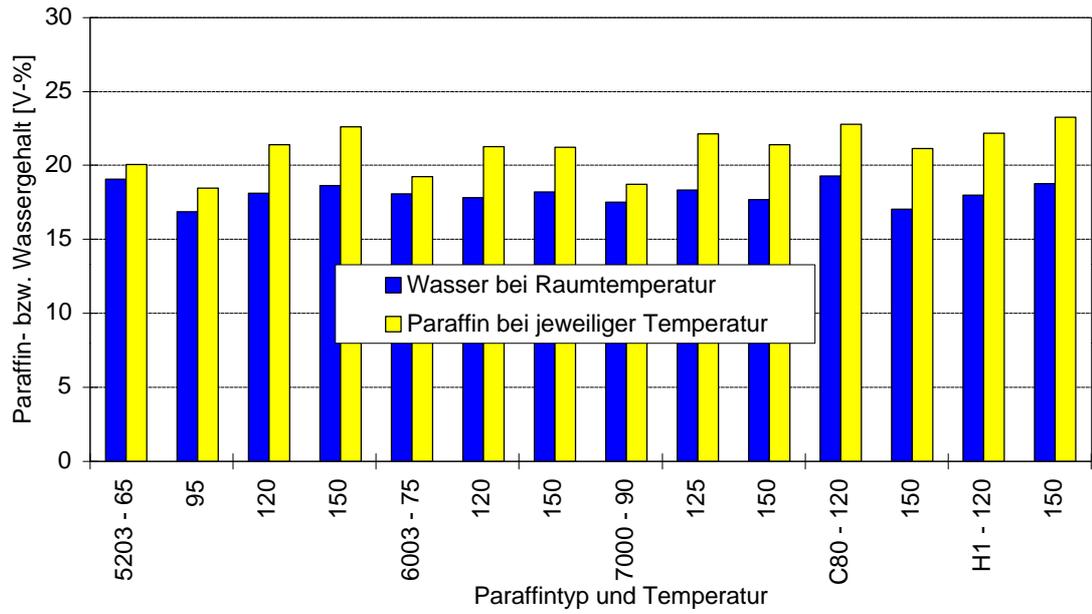
Diagr. 2.6: Porenfüllungsgrad zweier Kalksandsteinproben in Abhängigkeit von der Wurzel der Zeit für den Paraffintyp 6003, bei Temperaturen von 120 und 150 °C

2.2.2.2 Diskussion der Ergebnisse

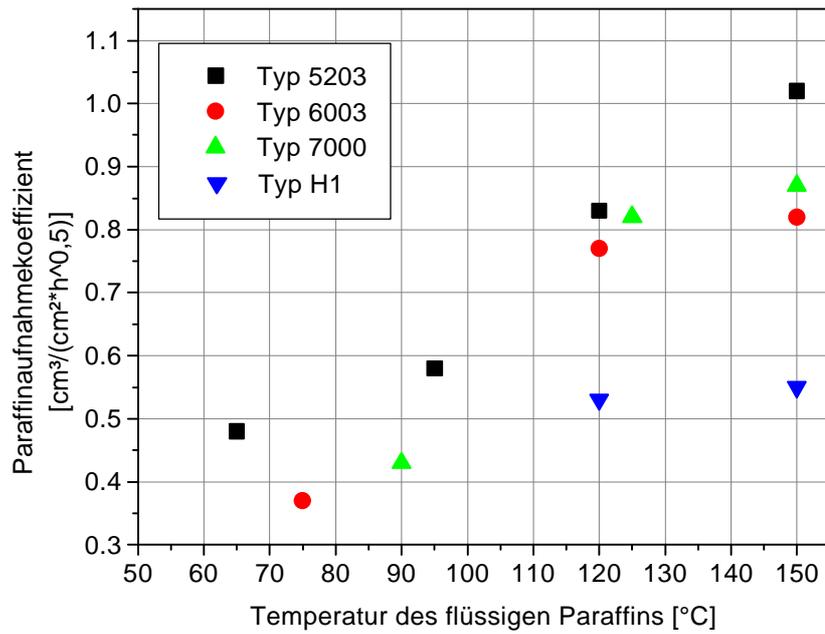
Der höherer Paraffinanteil nach Diagramm 2.7 in den einzelnen Ziegelproben wird mit der hohen Verarbeitungstemperatur begründet. Das zu injizierende Material wird kontinuierlich während der Verarbeitung getrocknet und wird trocken gehalten. Gleiche Tendenzen zeigten sich in Versuchen, die nicht Bestandteil dieser Arbeit sind. Es wird deutlich, daß mindestens die gleichen Kapillaren gefüllt werden, die zuvor mit Wasser gefüllt waren. Es gibt keine Tendenz, die mit zunehmender Temperatur eine höhere Paraffinaufnahme erwarten läßt.

Im Diagramm 2.8 sind jeweils 3 Messungen der Paraffinaufnahme in den verwendeten Ziegelstein zusammengefaßt. Diagramm 2.9 zeigt die Differenz der Meßwerte aus Diagramm 2.8 zu den Meßwerten mit destilliertem Wasser der einzelnen Proben. Bei der Beurteilung der Meßergebnisse fällt auf, daß mit zunehmender Temperatur die Paraffinpenetration bei Paraffinen mit niedrigem Schmelzpunkt verbessert wird. Wird bei den Paraffinen mit dem höheren Schmelzpunkt die Penetrationstemperatur erhöht, so verändert sich die Penetration zum Teil gar nicht. Von großer Bedeutung ist, daß mit zunehmender Verarbeitungstemperatur der Unterschied in der Penetration gegenüber dem Wasser geringer wird. Hierbei ist zu beachten, daß zwar rein technisch keine Obergrenze bei der Erwärmung des Paraffins besteht, jedoch die Verträglichkeit gegenüber dem Bauwerk stark abnimmt, bzw. nicht mehr akzeptabel ist. Daher sind Paraffine mit geringer Viskosität bei relativ niedrigen Temperaturen zu empfehlen.

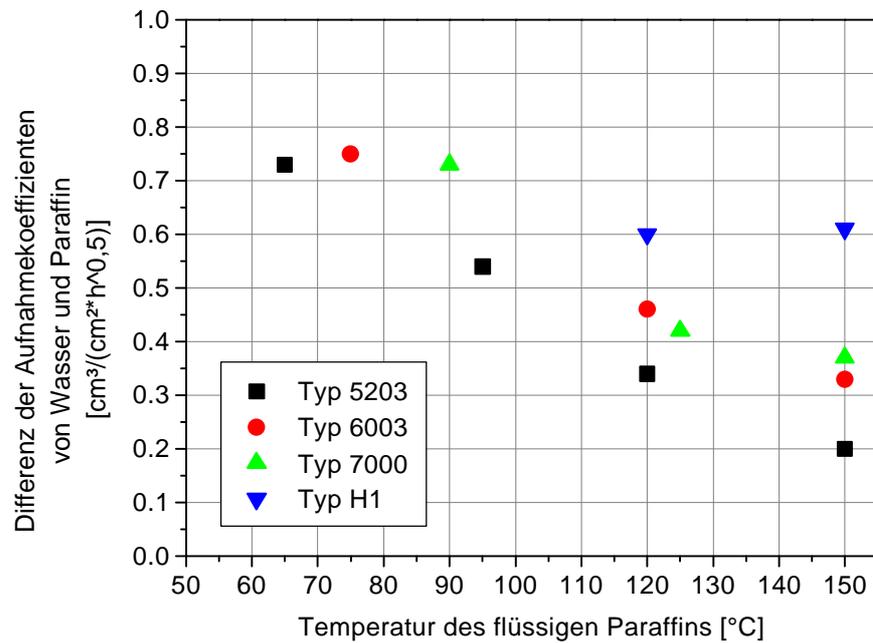
Während der Untersuchungen fiel auf, daß die Paraffine mit hohen Schmelzpunkten „schwer“ zu verarbeiten waren. Schmelz- bzw. Erstarrungspunkt sind schwer zu ermitteln. Das ergibt sich dadurch, daß bei der Erwärmung zunächst eine pastöse Masse gebildet wird, die beim Halten der jeweiligen Temperatur sehr langsam verflüssigt wird. Eine Penetration dieses Materials in die Kapillaren ist unter diesen Bedingungen unwirtschaftlich. Dies spricht wiederum für die Paraffine mit geringerem Schmelzpunkt.



Diagr. 2.7: Zusammenfassung des freiwilligen Wasser- bzw. Paraffingehaltes der Ziegelproben nach Penetration des jeweiligen Mediums



Diagr. 2.8: Mittlere Aufnahmekoeffizienten für verschiedene Paraffine in Abhängigkeit von der Temperatur am verwendeten Ziegelstein

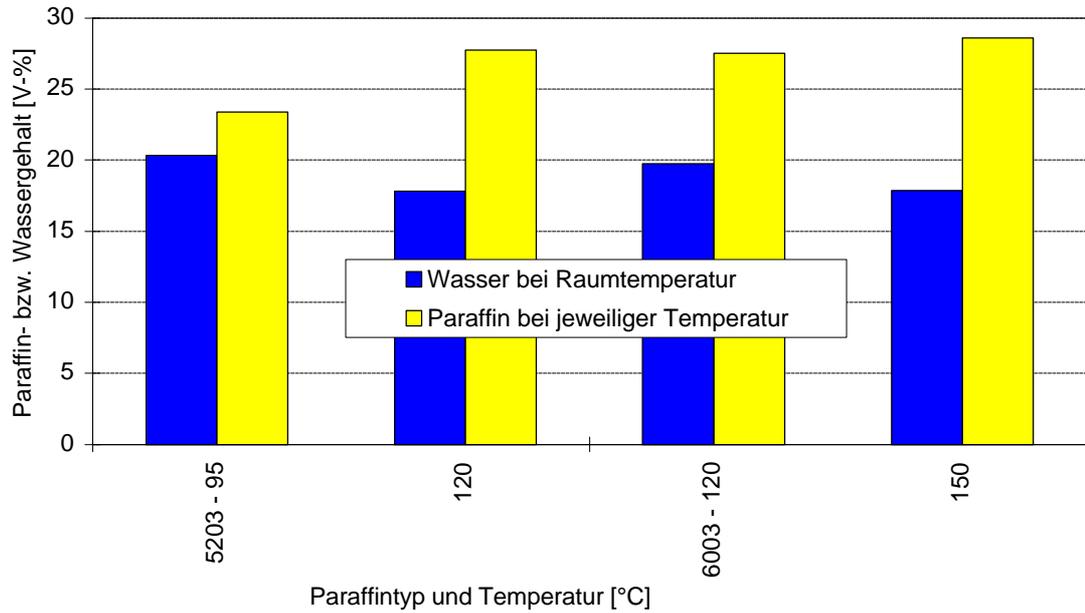


Diagr. 2.9: Differenz der Aufnahmekoeffizienten der einzelnen Ziegelproben mit Wasser bei Raumtemperatur und mit Paraffin bei der jeweiligen Temperatur

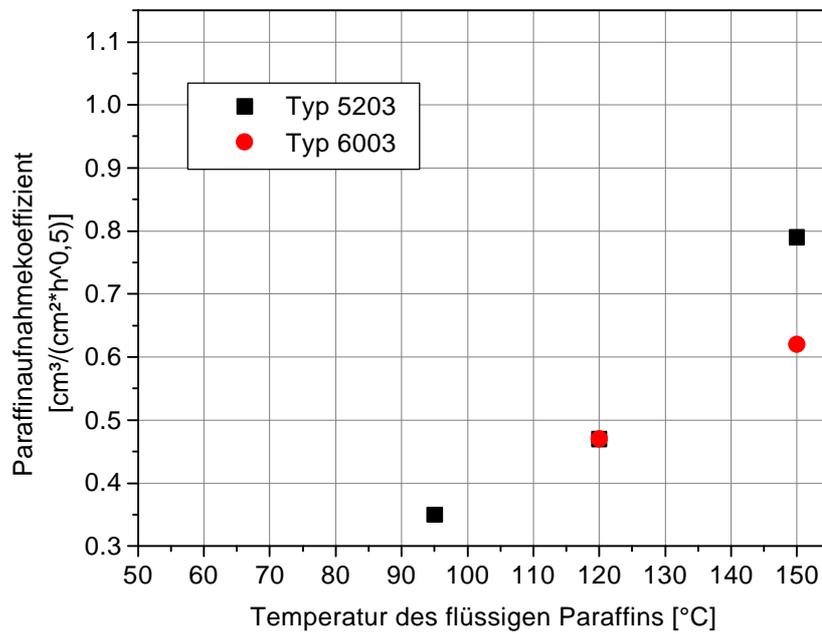
Wie aus den folgenden Diagrammen 2.10 und 2.11 zu erkennen ist, wurden deutlich weniger Messungen mit Kalksandstein unternommen als mit den Ziegelproben. Nachdem die durchgeführten Messungen eine deutliche, aber kontinuierliche Differenz zu den Ziegelproben zeigten, wurden weitere Versuchsreihen nicht durchgeführt. Das Verhalten erwies sich gegenüber den Ziegelproben als ähnlich.

Bei den Proben aus Kalksandstein wurde ebenfalls wie für die Ziegelproben eine höhere Paraffinaufnahme gegenüber der Wasseraufnahme nach Ende der Penetrationsmessungen festgestellt. Die Ergebnisse sind in Diagramm 2.10 dargestellt. Auffallend gegenüber den Ziegelproben ist, daß die aufgenommene Paraffinmenge z.T. deutlich über der des Wassers liegt. Dies wird darauf zurückgeführt, daß das Kalksandsteinmaterial über eine höhere thermische Dehnung verfügt, als das Ziegelmaterial. Aus diesem Grunde wird vermutet, daß sich zusätzliche Kapillaren u.ä. für die Paraffinaufnahme bei der Erwärmung des Kalksandstein bilden. Damit kann auch begründet werden, warum es bei zunehmender Temperatur ebenfalls einen Anstieg der Paraffinaufnahme (Diagramm 2.11) gegenüber dem Ziegel gibt.

Die Verwendung des Kalksandstein diente dazu, Auskunft über kapillar inaktive Baustoffe zu erhalten. Das Diagramm 2.11 zeigt die grafische Zusammenfassung der Meßergebnisse. Analog zu den Ziegeln ist hier eine Zunahme des Aufnahmekoeffizienten bei zunehmender Penetrationstemperatur gemessen worden. Der Aufnahmekoeffizient liegt jeweils deutlich unter der des Ziegels. Bezugnehmend auf die vorigen Ausführungen zur aufgenommenen Paraffinmenge im Kalksandstein ist festzuhalten, daß keine Auskunft darüber gegeben werden kann, wie das kapillare Aufnahmeverhalten bei vollständig gleichen Eigenschaften des Materials ist. Zu sehr spielen bei einem Kalksandstein thermische und hygri sche Dehnungen eine Rolle.



Diagr. 2.10: Zusammenfassung des freiwilligen Wasser- bzw. Paraffingehaltes der Kalksandsteinproben nach Penetration des jeweiligen Mediums



Diagr. 2.11: Mittlere Aufnahmekoeffizienten für verschiedene Paraffine in Abhängigkeit von der Temperatur am verwendeten Kalksandstein

Die in der Einleitung dieses Kapitels angegebenen Ziele bei der Untersuchung des Penetrationsverhaltens werden nach den durchgeführten Untersuchungen wie folgt bewertet.

1. Reduzierung der Injektionszeit

Eine deutliche Verringerung der Injektionszeit läßt sich nur mit einem Paraffin mit niedrigerem Schmelzpunkt erzielen (Typ 5203). Dieser Einfluß nimmt mit steigender Temperatur zu. Eine Erhöhung des Schmelzpunktes des Paraffins (Typ 7000) bei gleichzeitiger Verringerung der Viskosität führt zu keinen nennenswerten Änderungen zum gegenwärtig angewendeten Paraffin Typ 6003. Siehe dazu die Diagramme 2.8, 2.9 und 2.11. Die Betrachtung der Paraffinaufnahmekoeffizienten für die Ziegelproben und deren Differenz zwischen den Aufnahmekoeffizienten für Wasser und Paraffin (Diagramm 2.9) zeigt den Einfluß der Viskosität, der nicht überbewertet werden sollte. Die Anwendung des Paraffins 7000 (höherer Schmelzpunkt, verminderte Viskosität) kommt den Anwendern entgegen und führt zu keiner Benachteiligung.

2. Reduzierung der thermischen Belastung für das Mauerwerk und Erhöhung des Sicherheitsstandarts und

3. Vergrößerung des Bohrlochabstandes

Die Aussagen für die Punkte 2 und 3 können zusammengefaßt werden. Im unteren Temperaturbereich liegen die Meßwerte für die verschiedenen Paraffine sehr eng beieinander. Die Untersuchung der Temperaturverteilung im Mauerwerksquerschnitt ist hier zu detaillierten Aussagen heranzuziehen. Eine Erhöhung des Schmelzpunktes kann u.U. den Penetrationsbereich des Paraffins einschränken.

Die Ergebnisse zeigen, das die Verringerung der Viskosität bei gleichzeitiger Beibehaltung des Schmelzpunktes des zu verwendenden Paraffins eine Verringerung der Penetrationszeit bewirkt.

Somit ist festzustellen, daß die Verarbeitungstemperatur aus sicherheitstechnischen Gründen reduziert werden kann.

2.2.2.3 Salzbelastete Proben

In mehreren Publikationen wird festgestellt, daß ein salzbelastetes Mauerwerk über andere kapillare Eigenschaften verfügt, als ein rein feuchtebelastetes Mauerwerk. Mit einer 10fach verdünnten WTA-Lösung nach [Wta91] wurden von Mayer, Kovacova und Wittmann [May96] Ziegel von Versuchswänden imprägniert, an denen anschließend der Wasseraufnahmekoeffizient bestimmt wurde. Der Wasseraufnahmekoeffizient war bei den salzbelasteten Wänden fast doppelt so hoch wie bei den nicht salzbelasteten. Garrecht untersuchte in [Gar92] den Aufnahmekoeffizienten von Sandsteinproben mit unterschiedlich konzentrierten Salzlösungen. Mit zunehmender Salzkonzentration nimmt der Aufnahmekoeffizient des Sandsteins ab. Die Untersuchungen zeigen jeweils eine gegensätzliche Tendenz. Bei den ersten Ergebnissen können Salzkristalle ebenfalls Feuchtigkeit, und damit die gesamten Wandelemente mehr Feuchtigkeit als im unbefrachteten Zustand, aufnehmen. Bei den zweiten Ergebnissen sind die sich ändernden physikalischen Eigenschaften (Oberflächenspannung, Dichte, Viskosität, Benetzungswinkel) der Flüssigkeit bei zunehmender Salzkonzentration maßgebend, die zu einer Verringerung des Aufnahmekoeffizienten führen.

Zur Herstellung einer Horizontalabdichtung mit Paraffin ist es erforderlich, daß der entsprechende Mauerwerksbereich erwärmt wird. Durch die intensive Verdunstung des Wassers bei der Erwärmung kristallisieren die Salze und verstopfen u.U. die Kapillaren, die zur Verteilung des Paraffins erforderlich sind. Festgestellt werden sollte, ob sich die Penetrationszeiten ändern, und eine weiterhin dichte Sperre hergestellt werden kann. Es ist möglich, daß die Penetration des Paraffins in das salzbelastete Gestein keine Veränderung erfährt, bzw. von der Salzkonzentration abhängig ist.

Zunächst wurden alle zu untersuchenden Proben mit destilliertem Wasser getestet und der Wasseraufnahmekoeffizient ermittelt. Der Ablauf der Untersuchungen geht aus Tabelle 2.6 hervor. Nach der Penetration mit der WTA-Lösung nach [Wta91] wurden alle Proben so weit als möglich getrocknet. Die Bestimmung der Paraffinaufnahme in einer gleichzeitig feuchte- und salzbelasteten Ziegelprobe ist z.Zt. nicht möglich. Während der Paraffinpenetration erfolgt eine Trocknung, die das Meßergebnis verfälschen würde. Aus den Meßergebnissen ist jedoch ein Rückschluß möglich.

	Wasser- aufnahme	Aufnahme von Salzlösung	Paraffinaufnahme
Penetrations- material	Dest. Wasser	WTA - Lösung	Typ 6003 bei 120 °C
Proben I	x	-	x
Proben II	x	saugen	x
Proben III	x	in Lsg. gelagert	x

Tab. 2.6: *Versuchsablauf für die Penetration von Paraffin in salzbelastete Ziegelproben*

Bei den Versuchen wird für den Aufnahmekoeffizienten mit den Salzlösungen eine Verringerung des Aufnahmekoeffizienten gegenüber Wasser erwartet. Da die kristallisierten Salze in den Proben durch das Paraffin nicht gelöst werden, wird ebenfalls eine Verringerung der Paraffinaufnahme gegenüber den Referenzproben (ohne vorherige Salzaufnahme) erwartet. Es wird davon ausgegangen, daß die kristallisierten Salze den Durchmesser der Kapillarporen verringern bzw. diese z.T. verstopfen.

In der Tabelle 2.7 sind die jeweiligen Ergebnisse für die Aufnahmekoeffizienten mit Wasser und mit Paraffin zusammengefaßt. Der Aufnahmekoeffizient für die kapillare Aufnahme der WTA-Lösung ist wie erwartet etwas geringer als bei der Wasseraufnahme. Dies wird auf die veränderten physikalischen Eigenschaften wie Oberflächenspannung, Viskosität und Dichte zurückgeführt. Der verringerte Aufnahmekoeffizient für das Paraffin gegenüber dem destillierten Wasser wurde ebenfalls erwartet. Daß die Differenz größer ist als bei den Untersuchungen im vorigen Kapitel, liegt an den verschiedenen verwendeten Ziegelmaterialien. Das hier verwendete Material hat u.a. eine geringere Porosität.

	Wasser- aufnahme	Aufnahme von Salzlösung	Paraffinaufnahme	Verhältnis Paraffin- / Wasseraufn.
Penetrations- material	dest. Wasser	WTA - Lösung	Typ 6003 bei 120 °C	-
Proben I	1,23	-	0,48	0,39
Proben II	1,32	1,18	0,52	0,39
Proben III	1,33	in Lsg. gelagert	0,42	0,32

Tab. 2.7: *Zusammenfassung der Meßergebnisse für die verschiedenen Aufnahmekoeffizienten in $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{h}0,5$*

Wird zur Bewertung das Verhältnis zwischen Paraffin- und Wasseraufnahme herangezogen, so muß festgestellt werden, daß nach kapillarem Saugen der WTA-Lösung und anschließender Paraffinpenetration kein Unterschied gemessen wurde, gegenüber den Proben, die zuvor keine WTA-Lösung aufgenommen haben. Dies erscheint eher unwahrscheinlich. Es ist bekannt, daß es bei der Aufnahme von Lösungen zusätzliche Prozesse, wie die Anlagerung der Ionen an die Oberfläche der Kapillaren, gibt (dies wird z.B. ausgenutzt bei der Ionenchromatografie). Vermutlich lagerten sich die Ionen im Bereich der eingetauchten Zone an, so daß sich die Salze bei der Paraffinaufnahme nicht bemerkbar machten.

Wurden die Proben zuvor in der WTA-Lösung gelagert, so ist eine Reduktion der Aufnahmekoeffizienten feststellbar. Diese Reduktion ist nur um weniger als 10 % geringer als bei den Proben die keine Salze enthalten. Eine Unsicherheit ist bei den Untersuchungen die tatsächliche Salzverteilung in den Proben. Diese konnte vor der Untersuchung der Paraffinaufnahme nicht zerstörungsfrei festgestellt werden. Da es wichtig war, gleiche Proben zu messen, wurde auf eine Messung der Salzverteilung verzichtet.

Wie bei den Untersuchungen im vorigen Kapitel konnte hier ebenfalls festgestellt werden, daß die endgültig aufgenommene Paraffinmenge (freiwillige Aufnahme) über der des Wassers lag. Zusammenfassend ist festzustellen, daß es bei Vorhandensein von Salzen im Mauerwerk und einer Paraffininjektion zu keiner signifikanten (störenden) Beeinträchtigung bei der Paraffininjektion kommt !

2.2.3 Untersuchung der mechanischen, thermischen und hygrischen Eigenschaften mit Paraffinen behandelter Baustoffe

2.2.3.1 Mechanische Eigenschaften

Für Mörtelproben der Mörtelgruppen I, II und III war nach verschiedenen Temperaturbeaufschlagungen und Behandlungen mit Paraffin die Biegezug- und die Druckfestigkeit zu bestimmen. Wesentliches Ziel der Untersuchungen war es, festzustellen, ob durch die Temperierung im Vorfeld der Injektion von Paraffin ein Festigkeitsverlust eintritt. Bisherige Veröffentlichungen beschrieben nur die Veränderung der Festigkeit nach einer vollständigen Paraffininjektion gegenüber dem Ausgangsmaterial, u.a. [Fra93].

Um eine ordnungsgemäße und funktionstüchtige Horizontalabdichtung gegen kapillar aufsteigende Mauerwerksfeuchtigkeit mittels Paraffin zu errichten, ist das Paraffin flüssig, d.h. bei entsprechender Temperatur, einzubringen. Um eine weiträumige und rasche Verteilung des Injektionsstoffes im Mauerwerk zu gewährleisten, ist der zu injizierende Bereich ebenfalls zu erwärmen. Nach der Paraffininjektion bildet sich ein für Kapillarwasser undurchlässiger Sperrgürtel aus, der die Horizontalabdichtung bildet. Der zu injizierende Mauerwerksbereich wird dadurch vor der Injektion getrocknet und eine vollständige Aktivierung der kapillaren Saugfähigkeit des Baustoffes gewährleistet.

In der Literatur wurden keine Quellen recherchiert, die über Eigenschaftsänderungen von gängigen Baustoffen in einem relevanten, maximalen Temperaturbereich der Paraffininjektion von max. 120 – 150 °C berichten. Im Rahmen der Brandschutzforschung wurden verschiedene Mauerwerksmaterialien auf ihre Festigkeitsänderung nach Bränden untersucht. Von Interesse waren dabei Temperaturen, die wesentlich über der Injektionstemperatur von Paraffin liegen und den Brandfall beschreiben. Die Ergebnisse sind nicht auf die Paraffininjektion übertragbar. Hinzu kommt, daß im Brandfall die gesamte Wand (ein- und/oder beidseitig) den extremen Temperaturen ausgesetzt ist. Die Paraffininjektion erfolgt andererseits nur in einem definierten und im Verhältnis zur gesamten Wand, kleinen Mauerwerksbereich. Die thermische Belastung im Brandfall übersteigt die im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen.

Zusätzlich wurden Proben bei normaler Wassersättigung und nach einem Temperaturzyklus geprüft (ohne Paraffin). Es wurde geprüft, inwieweit eine normal wassergesättigte Mörtelprobe ihre Festigkeit ändert. Dies entspricht etwa dem Zustand eines Mörtels vor der Erwärmung des Mauerwerks. Gleiches galt, es für Mörtelproben festzustellen, die mehrfach einer Temperaturveränderung ausgesetzt wurden.

Die Festigkeitsuntersuchungen wurden in Anlehnung an die DIN EN 1015 Teil 11 [Din15] durchgeführt. Es wurde dabei wie folgt vorgegangen:

1. Herstellung der Proben;
2. Lagerung der jeweiligen Mörtelgruppen;
3. nach jeweils 28 Tagen Prüfung der sogenannten Nullproben;
4. Temperierung und Paraffinbehandlung;
5. Prüfung der jeweiligen bearbeiteten Proben.

Die einzelnen Bearbeitungsschritte werden im folgenden beschrieben.

Die zur Herstellung der jeweiligen Mörtelproben verwendete Rezeptur ist in Tabelle 2.8 aufgeführt. Die jeweilige Zusammensetzung der Mörtel entspricht der DIN 1053 Teil 1 [Din53], wobei Mörtelgruppe III über einen geringfügig höheren Bindemittelanteil als nach dieser Norm verfügt.

Die Konsistenz der Mischungen ist so eingestellt worden, daß von einer gebrauchsfähigen (baustellentauglichen) Mischung ausgegangen werden konnte. Anschließend sind die verarbeitbaren Mörtelmassen in Stahlformen gegeben worden, so daß Mörtelprismen mit einer Größe von 4,0 cm x 4,0 cm x 16,0 cm entstanden. Des weiteren erfolgte mittels Spachteln und Rütteln der Schalungen eine Verdichtung.

Nach der Herstellung der Mörtelprismen (Anzahl siehe Tabelle 2.10) wurden die Mörtel den folgenden Klimata in Tabelle 2.9 für die entsprechend angegebene Zeit ausgesetzt. Die Lagerungszeiten orientieren sich an der DIN EN 1015 Teil 11 [Din15]. Nach jeweils 28 Tagen Prüfung der sogenannten Nullproben (siehe dazu im folgenden Versuchsdurchführung).

	Kalk	Zement	Sand
	Kalkhydrat	PZ 275 (C)	Dolomitsand (Korngröße 0 – 4)
Mörtelgruppe I (MG I)	1	-	3
Mörtelgruppe II (MG II)	2	1	8
Mörtelgruppe III (MG III)	-	1	3,5

Tab. 2.8: *Mörtelrezepturen in Volumenteilen*

Mörtelgruppe I	Datum	Tage	Uhrzeit		Rel.LF/Temp.
	24.9.99			Herstellung der Proben	
			18.25	Erste Probe	
			19.25	Letzte Probe (14.)	
			19.55		93,6 % / 22,4 °C
	25.9.99	1	13.35		99,9 % / 21,7 °C
			14.15		98,4 % / 21,9 °C
	30.9.99	6			Raumklima
	4.10.99	10	12.20	Entschalt	Raumklima
	8.10.99	14	12.00	Proben auf Winkel gelegt, allseitig Luft umspült	Raumklima, regelmäßig gewendet
22.10.99	28		Nullprobe, Biegezug-, Druckfestigkeit geprüft		
Mörtelgruppe II	Datum	Tage	Uhrzeit		Rel.LF/Temp.
	20.9.99			Herstellung der Proben	
			17.50	Erste Probe	
			18.50	Letzte Probe (14.)	
			19.33		93,0 % / 22,0 °C
			20.15		94,7 % / 23,3 °C
	21.9.99	1	9.30		98,5 % / 23,2 °C
			19.12		99,5 % / 22,9 °C
	22.9.99	2	11.30		99,0 % / 21,8 °C
			20.13		99,8 % / 21,8 °C
			20.25	Ausschalen, in Folie	
	4.10.99	14	11.07	Aus Folie heraus	Raumklima
18.10.99	28		Nullprobe, Biegezug-, Druckfestigkeit geprüft		
Mörtelgruppe III	Datum	Tage	Uhrzeit		Rel.LF/Temp.
	7.9.99			Herstellung der Proben	
			11.45	Erste Probe	
			12.30	Letzte Probe (13.)	
			15.05		96,0 % / 21,3 °C
			18.20		97,6 % / 21,4 °C
			19.38		98,2 % / 21,4 °C
	8.9.99	1	11.13		99,9 % / 21,4 °C
			18.10		99,9 % / 21,9 °C
	9.9.99	2	8.30		99,9 % / 21,6 °C
			12.55		99,9 % / 21,9 °C
			13.00	Ausschalen, in Folie	
	20.9.99	13	19.35	Aus Folie heraus	Raumklima
	5.10.99	28		Nullprobe, Biegezug-, Druckfestigkeit geprüft	

Tab. 2.9: Lagerungsklimata der Mörtelproben

Die Anzahl der je Mörtelgruppe hergestellten Proben und die Art der weiteren Bearbeitung ist dem Schema nach Tabelle 2.10 zu entnehmen. Neben der sogenannten Nullprobe wurden Proben nach einer Temperierung von 105, 150, 180 und 250 °C geprüft. Die zu erreichende Höchsttemperatur war mindestens 24 h zu halten. Anschließend erfolgte ein unregelmäßiges Abkühlen durch Abbruch der Temperierung im Trockenofen. Bei weiteren Proben, die bei 105 und 150 °C temperiert wurden, erfolgte anschließend die Einlagerung in ein Paraffinbad mit zusätzlicher thermischer Verteilungsphase. Die Aufnahme des Paraffins erfolgte entsprechend Abbildung 2.9. Bei dieser Art der Paraffinaufnahme ist davon auszugehen, daß sie der Paraffinaufnahme bei der Ausführung einer Horizontalabdichtung entspricht.

Weitere Proben sind hergestellt und geprüft worden, die mit Wassergesättigt (oder Naß) bzw. mit Temperaturzyklus bezeichnet sind. Aus jeder Mörtelgruppe wurden jeweils 3 Proben über 50 Tage in Wasser gelagert (Überdeckung ca. 1 cm) und mit dem dadurch eingestellten Wassergehalt geprüft. Die Proben aus der Reihe Temperaturzyklus sind analog den Proben bei 180 °C dem gleichen Temperaturregime unterzogen worden. Anschließend sind 31 Zyklen mit einer Temperaturänderung von 100 K gefahren worden, bei denen jeweils über 2 Stunden ein Aufheizen von 30 °C auf 130 °C erfolgte. Diese 130 °C wurden über 2 Stunden gehalten und anschließend über 2 Stunden auf ca. 30 °C abgekühlt. Nach 4 Stunden begann der Zyklus erneut mit 2stündigem Aufheizen auf 130 °C.

	0 - Probe	105 °C	150 °C	180 °C	250 °C	Wasser- gesättigt	Temperatur- Zyklus
MG I	3	3	3	3	3	3	3
MG II	3	3	3	3	3	3	3
MG III	3	3	3	3	3	3	3
				= Temp.+P+TV			
		105 °C	150 °C				
	+	Paraffin	Paraffin				
MG I		3	3				
MG II		3	3				
MG III		3	3				

Tab. 2.10: Übersicht über die Anzahl der hergestellten Proben und Zuordnung der nachträglichen Maßnahmen wie Temperierung, Paraffinaufnahme und Thermische Verteilungsphase

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Die Durchführung der Versuche erfolgte mit Versuchsaufbauten nach DIN EN 1015 Teil 11 [Din15]. Für die Bestimmung der Biegezugfestigkeit wurden größere Rollendurchmesser verwendet. Die Bestimmung der Druckfestigkeit fand nach der Ermittlung der Biegezugfestigkeit anhand der durch die Prüfung der Biegezugfestigkeit halbierten Mörtelprismen statt. An Stelle der 6 möglichen Proben zur Bestimmung der Druckfestigkeit wurden 3 verwendet. Die Festigkeitsuntersuchungen erfolgten jeweils in einem Winkel von 90° gegenüber der Herstellung der Mörtelprismen (siehe Abbildung 2.9). Das Prüfalter nach der Herstellung der Proben inklusive der entsprechenden Bearbeitungen ist der Tabelle 2.11 zu entnehmen.

	105 °C	105+P+TV	150 °C	150+P+TV	180 °C		250 °C		Zyklus	Wasserlagerung
MG I	88	116	118	119	138	140	80	81	145	152
MG II	92	120	122	123	142	144	84	85	149	156
MG III	105	133	135	136	155	157	97	98	162	169

Tab. 2.11: *Alter der Proben bei der Prüfung der Biegezugfestigkeit und der Druckfestigkeit nach ihrer Herstellung in Tagen*

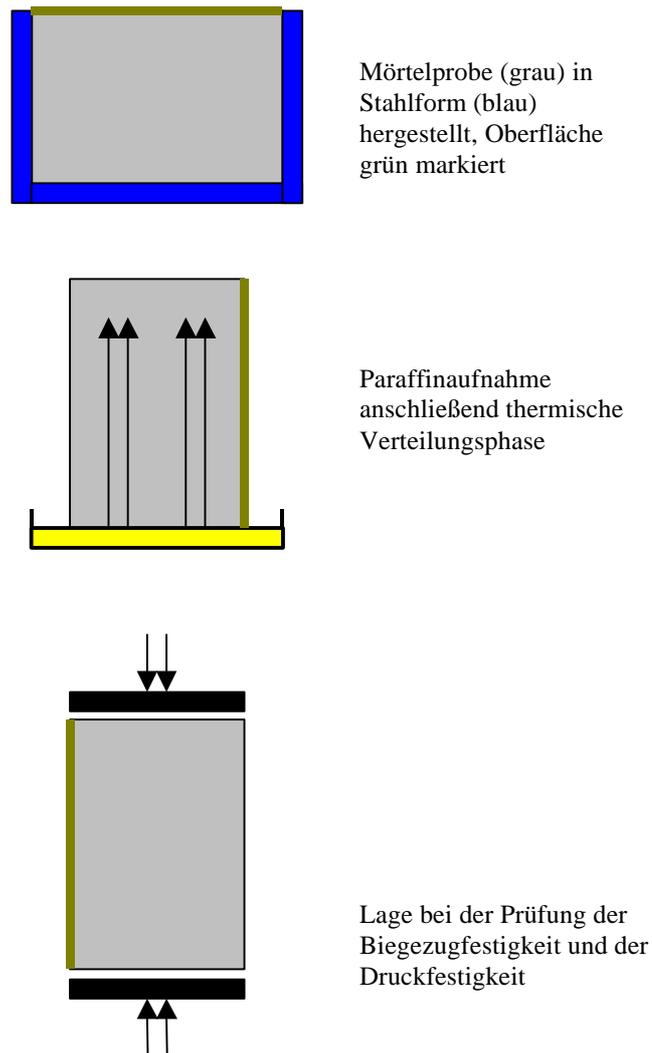


Abb. 2.9: *Darstellung der Orientierungen der Probekörper bei der Herstellung, der Aufnahme des Paraffins und der Prüfung*

Die Untersuchungen erfolgten nach verschiedenen Temperierungen (siehe zuvor). Zusammenfassend können folgende Ergebnisse festgehalten werden:

- Die wassergesättigten (nassen) Proben veränderten nicht bzw. unwesentlich ihre Festigkeit gegenüber den Nullproben (= IST – Zustand). Die im Mörtel vorhandene Feuchtigkeit beeinflusst demzufolge die Festigkeit nicht.
- Durch die Temperierung der Mörtelproben bis einschließlich 150 °C erhöht sich deren Biegezugfestigkeit und die Druckfestigkeit bzw. bleibt konstant. Bei 180 und 250 °C nimmt die Festigkeit wieder ab. Die Festigkeit bleibt in einem Bereich der sogenannten Nullproben, die nach 28 Tagen geprüft wurden. Es ist festzustellen, daß die Temperierung im Vorfeld einer Paraffininjektion zu keinem signifikanten Festigkeitsverlust des zu injizierenden Materials führt (Anmerkung: die favorisierte und angewendete Injektion über Behälter erfolgt bei Temperaturen um ca. 120 – 130 °C).

Einzig die Biegezugfestigkeit bei 180 und 250 °C liegt unter den Annahmewerten für die Injektion; dies wird auf die Struktur des Materials, den Zementanteil, zurückgeführt.

- Die Paraffininjektion und die spezielle thermische Verteilungsphase (Proben 105+P+TV und 150+P+TV je Mörtelgruppe) bewirken eine Festigkeitserhöhung, die über der Festigkeit der ausschließlich temperierten Proben liegt.
- Mit zunehmender Grundfestigkeit des Ausgangsmaterials wird die relative Zunahme der Festigkeit der mit Paraffin getränkten und einer thermischen Verteilungsphase unterzogenen Proben geringer.
- Die Materialproben aus dem Temperaturzyklus entsprechen im wesentlichen den Proben die bei 180 °C temperiert wurden. Der anschließende Temperaturzyklus hatte nach der Temperierung auf 180 °C keinen maßgeblichen Einfluß auf die Festigkeit.
- Da die Festigkeit der mit Paraffin bei 105 °C behandelten Proben höher ist als bei denen, die bei 150 °C bearbeitet wurden, liegt daran, daß es bei 105 °C gegenüber der Raumtemperatur zu einer geringeren Volumensänderung kommt als bei 150 °C. Beim Abkühlen der Proben entstehen bei zuvor 150 °C warmen Proben in den Poren, die mit Paraffin gefüllt sind, mehr Hohlräume. Bei einer Belastung durch Biegezug und/oder Druck kann das Material bei der Gefügeveränderung dorthin ausweichen. Bei vor der Prüfung auf 105 °C erwärmten Proben sind diese Freiräume kleiner.

Zusammenfassung:

Eine Temperierung von Mörtelproben im Vorfeld einer Paraffininjektion, führt zu keinem Festigkeitsverlust, die anschließende spezifische Paraffininjektion führt zu einer Festigkeitszunahme.

2.2.3.2 Thermische Eigenschaften

Die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe wird charakterisiert durch deren Feststoffgefüge und den jeweiligen Hohlraumanteil. Es kann davon ausgegangen werden, daß Baustoffe mit einer geringen Rohdichte eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen.

Rechenwerte für die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe diverser Tabellenbücher, berücksichtigen einen ständig vorhandenen Feuchtigkeitsgehalt, den sogenannten praktischen Feuchtigkeitsgehalt. Wird der Hohlraum innerhalb des Feststoffgefüges der Baustoffe über diesen Feuchtigkeitsgehalt mit Wasser gefüllt, wird die Wärmeleitfähigkeit erhöht. Die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit folgt dabei der Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes linear. Nach [Kün94] beschreibt die folgende Gleichung 2.2 die feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit. Der Wärmeleitfähigkeitszuschlag b ist experimentell zu bestimmen.

$$I(w) = I_0 \left(1 + \frac{b \cdot w}{r_s} \right) \quad (Gl. 2.2)$$

wobei:

$I(w)$ Wärmeleitfähigkeit des feuchten Baustoffes [W/m K]

I_0 Wärmeleitfähigkeit des trockenen Baustoffes [W/m K]

b Wärmeleitfähigkeitszuschlag [% / M-%]

w Wassergehalt [kg/m³]

r_s Rohdichte des trockenen Baustoffes [kg/m³]

Es ist falsch anzunehmen, daß die Wärmeleitfähigkeit der Baustoffe mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt den Wert der Wärmeleitfähigkeit von Wasser annimmt. Wasser hat im Bereich der normalen Raumtemperatur eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,6 W/mK. Der Wassergehalt und das vorhandene Feststoffgefüge eines Baustoffes bestimmen gemeinsam die resultierende Wärmeleitfähigkeit. Gleiches gilt bei der Porenfüllung durch Paraffine.

Nach [Mat92] haben die darin untersuchten Paraffine eine Wärmeleitfähigkeit von 0,2 – 0,3 W/m K. Nach einer Messung der Abteilung Bauphysik, liegt das Paraffin Typ 6003 bei einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,3 W/m K. In der folgenden Tabelle 2.12 sind Meßwerte, die an Ziegelmaterial ermittelt wurden, zusammengefaßt und von Meßwerten der TU Cottbus ergänzt.

Baustoff	Ziegel Neu I	Ziegel Neu II	Ziegel Alt (TU Cottbus)
Dichte [kg/m ³]	Nicht bestimmt	1580	Nicht bestimmt
Wärmeleitfähigkeit λ [W/m K]			
Trocken (prakt. Feuchtegehalt)	0,68 ($\pm 0,01$)	0,57 – 0,67 ($\pm 0,1$)	0,65 ($\pm 0,1$)
Naß – Feuchtegehalt: 23,6 M-%	-	1,34 ($\pm 0,1$)	-
Paraffin Typ 5203	-	0,99 ($\pm 0,04$)	-
Typ 6003 therm. Verteilungsphase	0,88 ($\pm 0,03$)	0,99 ($\pm 0,03$) -	1,32 ($\pm 0,1$) -
Typ 7000	-	1,06 ($\pm 0,08$)	-
Typ 7423	-	1,03 ($\pm 0,01$)	-

Tab. 2.12: *Wärmeleitfähigkeit für verschiedene Ziegel bei verschiedenen Zuständen*

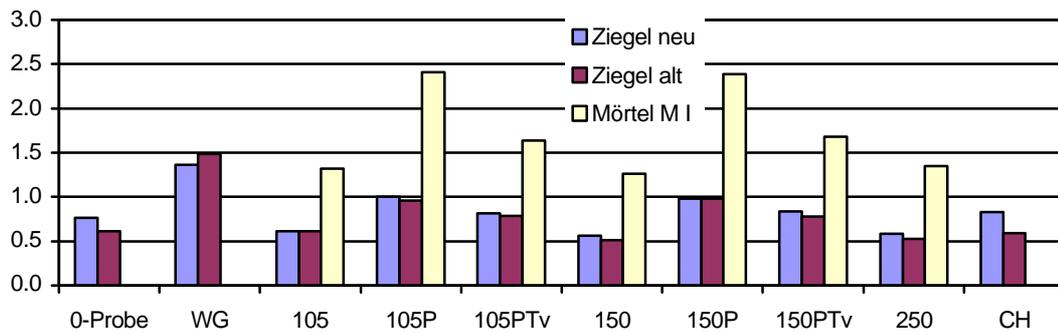
Die Meßergebnisse der Tabelle 2.12 zeigen, daß die eintretende Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit gegenüber einem nicht mit Paraffin getränkten Ziegel unabhängig vom verwendeten Paraffin ist.

Die Änderung der Wärmeleitfähigkeit durch das Paraffin betrifft auf die Wandhöhe bezogen nur einen kleinen Bereich. Es ist zu beachten, daß die resultierende Wärmeleitfähigkeit der ursprünglich mit aufsteigender Feuchtigkeit belasteten Wand höher ist. Die Horizontalabdichtung ist somit eine gezielte Maßnahme, bei der u.a. die resultierende Wärmeleitfähigkeit der Wand verringert, d.h. verbessert wird. Berechnungen dazu sind diesem Kapitel in weiterer Folge zu entnehmen.

Die zuvor beschriebenen Messungen wurden erweitert. In der nachstehenden Tabelle 2.13 sind die Wärmeleitfähigkeiten (W/mK) für einen neuen (kompakt, geringe Porosität) und alten (entnommen aus Abbruchhäusern aus der Jahrhundertwende) Ziegel und der Mörtelproben der Mörtelgruppe I (siehe Kapitel über die mechanischen Eigenschaften), aufgelistet. Zu den Mörtelproben ist zu sagen, daß die Wärmeleitfähigkeitsmessung für alle Prüfkörper erst nach einiger Zeit Lagerung bei Raumtemperatur erfolgte. Das bedeutet, daß sich insbesondere bei den temperierten Proben (105, 150 und 250) die hygroskopische Ausgleichsfeuchte einstellt. Diese Proben können daher als Nullproben betrachtet werden. Werte für eine eigene Nullprobe, wassergesättigte und chemisch behandelte Proben liegen nicht vor.

Proben	Null-Probe	WG	105	105P	105PTv	150	150P	150PTv	250	CH
Zn	0,76	1,36	0,61	1,00	0,81	0,56	0,98	0,84	0,58	0,83
Za	0,61	1,49	0,61	0,96	0,79	0,51	0,98	0,78	0,52	0,59
MI	-	-	1,32	2,41	1,64	1,26	2,39	1,68	1,35	-

Tab. 2.13: Wärmeleitfähigkeiten von Ziegel und Mauermörtel [W/mK]



Diag. 2.12: Wärmeleitfähigkeiten von Ziegel und Mörtel der MG I [W/mK]

Bezeichnung und Indizes:

WG Wassergesättigte Probe

Ziffer Trocknungstemperatur

Ziffer+P Trocknungstemperatur und Temperatur, bei der die Tränkung mit Paraffin erfolgte

Ziffer+P+Tv Trocknungstemperatur, sowie Temperatur, bei der die Paraffintränkung und die Thermische Verteilungsphase erfolgte

CH mit einem chem. Injektionsstoff injiziert

Es wird die Vermutung bestätigt, daß es durch die Paraffininjektion von Mauerwerk zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit kommt. So ist bei den Ziegeln neuer Produktion ein Zuwachs von 30-32 % (Zn 105P und 150P) zu verzeichnen und bei den alten historischen Ziegeln 59-62 % (Za 105P und 150P) gegenüber den Nullproben. Hierbei muß angemerkt werden, daß eine feuchtebelastetes Mauerwerk gleichfalls einer Wärmeleitfähigkeitserhöhung unterliegt. Die Steigerungen betragen 80 % (neue Ziegel) und 146 % (alte Ziegel) gegenüber den Nullproben. Ein paraffinierter Ziegel weist somit einen niederen Wert auf als ein wassergesättigter Ziegel. Da die paraffinierte Zone nur einen kleinen Teil des Mauerwerks betrifft und der oberhalb der Horizontalabdichtung liegende Bereich trocknet, verbessert sich die wärmetechnische Situation deutlich (siehe ff.).

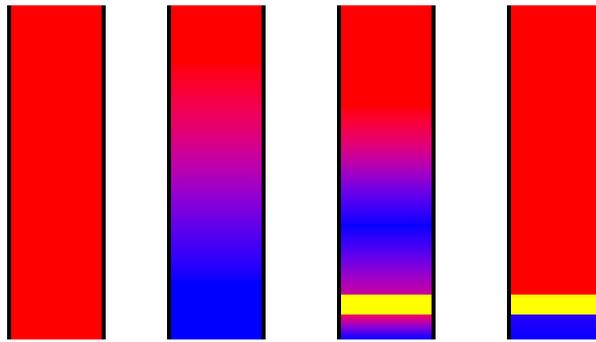
Generell ist bei allen Materialien ein merklicher Einfluß der Paraffinierung zu erkennen. Bei den kapillar gesättigten Proben (105P und 150P) zeigen sich die höchsten Wärmeleitfähigkeiten innerhalb der mit Paraffin behandelten Probenserien. Bei jenen Proben mit thermischer Verteilungsphase liegen die Werte zwischen denen der Nullproben und der paraffinierten Prüfkörper. Die wassergesättigten Proben weisen sowohl bei den alten wie auch bei den neuen Ziegeln die absolut höchsten Werte auf.

Thermisches Verhalten eines Mauerwerkes vor und nach der Sanierung - Wärmestrom

Welche Größenordnung ein feuchtebelastetes und anschließend saniertes Mauerwerk an Wärmeverlusten ausmacht, wird im folgenden am Beispiel des Wärmestromes und des resultierenden Wärmedurchgangskoeffizienten (U - Wert) einer 2,6 m hohen Wand beschrieben. Ein Schema der berechneten Feuchtigkeitssituationen ist in Abbildung 2.10 ersichtlich, die Ergebnisse und Erläuterungen gehen aus der Tabelle 2.14 hervor.

Die zu sanierende Wand (ohne Mörtelfugen) wird in dem gewählten Beispiel mit einem Wärmestrom von ca. 121 W/m (Fall 2) vorgefunden. Die halbe Höhe der Wand ist durchfeuchtet. Die Sanierungsmaßnahmen (Fälle 4a – 4c) führen zu einer Halbierung des Wärmestromes der Wand auf ca. 65 W/m. Der Ursprungszustand (Fall 1a) konnte mit verändertem Schichtaufbau wiederhergestellt und verbessert werden. Der Fall 1b kann nicht erreicht werden, da der Teil unterhalb der Horizontalabdichtung weiterhin naß ist, was zu einem höheren Wärmestrom führt. Der beispielhaft mit aufgeführte Fall 5 hat nicht direkt wegen des eingelegten bzw. eingeramnten Bleches einen höheren Wärmeverlust, sondern wegen des aus technischen Gründen verbleibenden höheren nassen Wandabschnittes nach der Sanierung.

Dieses Beispiel soll zeigen, daß eine Betrachtung der Sanierungsmaßnahme bzw. die Übertragung von Teilbereichen auf den ganzen sanierten und veränderten Abschnitt zur Beurteilung irreführend sein kann. Zur Erfüllung hygienischer Anforderungen sind weitere Maßnahmen erforderlich, um z.B. Kondensat- und Schimmelpilzfreiheit zu garantieren. Dazu sind im folgenden aufwendigere Methoden angewendet worden.



*Abb. 2.10: Schema zu den berechneten Situationen nach Tabelle 2.14;
Von links nach rechts:
- Trockene Wand (rot)
- Halbe Wandhöhe mit aufsteigender Mauerwerksfeuchte (blau)
- Kurz nach Einbringen der Horizontalabdichtung (gelb)
- Stationärer Zustand nach mehreren Jahren, Mauerwerk oberhalb der
Horizontalabdichtung trocken*

	Höhe der Wand 2,6 m		
	Dicken: Putz 0,03 m, Ziegel 0,37 m, Innendämmung Sanierplatte 0,025 m		
	Randbedingungen: Wärmeübergangskoeffizienten 0,04 bzw. 0,13 m ² K/W		
		Wärmestrom über h = 2,6 m [W/m]	resultierender U - Wert [W/m ² K]
1a	Außenputz (KM; KZM, hydr. Kalk) [$\lambda = 0,87$ W/m K] Ziegel [$\lambda = 0,57$ W/m K] Innenputz (Gips.) [$\lambda = 0,35$ W/m K]	83,04	1,06
1b	innen und außen SP [$\lambda = 0,13$ W/m K]	60,91	0,78
2	Aufsteigende Feuchte bis 1,3 m Nasser Bereich, Material analog 1a: Außenputz [$\lambda = 1,47$ W/m K] Ziegel [$\lambda = 1,34$ W/m K] Innenputz [$\lambda = 1,00$ W/m K] Trockener Bereich gemäß 1a	120,73	1,77
3	-		
4a	In 0,3 m Höhe eingebaute Horizontalabdichtung aus Paraffin [$\lambda = 1,02$ W/m K] mit einer Stärke von 30 cm, Innen und Außen Sanierputz [$\lambda =$ 0,13 W/m K]	64,48	1,03
4b	Horizontalabdichtung nachbehandelt [$\lambda = 0,9$ W/m K], Stärke 35 cm	64,08	1,02
4c	Fall 4a jedoch auf der Innenseite Sanierplatte [λ = 0,05 W/m K]	52,65	0,90
5	Horizontalabdichtung 4a mit Blech ausgeführt [λ = 60 W/m K], 0,02 m stark	66,41	1,16

Erläuterungen:

1a	Beschreibt den Ursprungszustand vor Beginn der Wasseraufnahme durch kapillar aufsteigende Feuchte (Bauzustand).
1b	Analog Fall 1a, OF mit Sanierputz versehen (Zielwert), praktisch nicht erreichbar, wenn eine Horizontalabdichtung eingebaut wird.
2	Wand ist zu 50 % durch aufsteigende Feuchte naß. Durch ggf. in Folge abgefallenen Putz erhöht sich der Wärmestrom weiter.
4a	In Fall 2 eingebaute Horizontalabdichtung, Injektion erfolgt in 30 cm Höhe, unterhalb der Sperre verbleibt nasser Ziegel (Höhe 15 cm).
4b	Analog Fall 4a, Horizontalabdichtung nachbehandelt und daher 35 cm stark, nasser Ziegel 12,5 cm hoch.
4c	Fall 4a mit auf der Innenseite aufgebrachter Sanierplatte (Klimaplatte).
5	Horizontalabdichtung durch eingerammtes 2 cm starkes Blech hergestellt, nasser Ziegel 29 cm. Oberflächen gemäß Fall 4a.

Tab. 2.14: Berechneter Wärmestrom und Wärmedurchgangskoeffizient (U - Wert)

Thermisches Verhalten eines Mauerwerkes vor und nach der Sanierung

Um die hygienischen und feuchtetechnischen Auswirkung der Sanierung mittels Paraffin zu ermitteln, wurden anhand von drei Beispielen die Temperaturverteilungen durch Saulich in [Sau00] berechnet. Die Beispiele werden mit einem dreidimensionalen Modell mittels dem Computerprogramm Heat3 (siehe [Blo95]) beschrieben. Damit lassen sich Zonen mit niedriger Oberflächentemperatur aufzeigen, an denen es zu Schimmelpilz- bzw. Kondensatbildung kommen kann. Die kritischen Bereiche treten meist in zwei- oder dreidimensionalen Ecken auf.

Die Modellbildung und die Berechnung erfolgten mittels oben genannten Computerprogramm, wobei das Bauwerksdetail in verschiedenen große Berechnungselemente unterteilt wird. Grundlage dazu bildet die ÖNORM EN ISO 10211 Teil 1 (siehe [Öno11]).

Es werden drei verschiedene Varianten berechnet. Die drei Varianten sind:

- Erdgeschoß und Keller beheizt;
- Erdgeschoß beheizt und Keller unbeheizt;
- Erdgeschoß nicht unterkellert.

Jede Variante wird für verschiedene Zustände betrachtet. So wird jedes Beispiel im trockenen bzw. durchfeuchteten Zustand berechnet.

Für alle Details wird eine 51 cm starke Vollziegelmauer angesetzt. Die Werte der Wärmeleitfähigkeit entsprechen Ziegeln neuer Produktion. Als Putz kommt Kalkmörtel zur Anwendung, dessen Schichtstärke an der Außenseite 2,5 cm beträgt und an der Innenseite 1,5 cm. Als Wärmeleitfähigkeiten werden die Werte der Tabelle 2.13 zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerkes verwendet. Die Berechnung ist [Sau00] entnehmbar. Die Werte sind in Tabelle 2.15 zusammengefaßt. Der Wert des trockenen Mauerwerks stimmt leicht überhöht mit 0,87 W/mK gut mit der Wärmeleitfähigkeit die in [Öno10] mit 0,70 bis 0,83 W/mK für Vollziegelmauerwerk angegeben wird, überein.

Zustand	λ_{Ziegel} [W/mK]	$\lambda_{\text{Mörtel}}$ [W/mK]	$\lambda_{\text{Mauerwerk}}$ [W/mK]
Trocken	0,76	1,32	0,87
Paraffiniert	1,00	2,41	1,28
Wassergesättigt	1,36	2,37	1,56

Tab. 2.15: Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks

Ziel der Untersuchungen ist es, Kondensationsfreiheit an der inneren Bauteiloberfläche nachzuweisen. Zur Bewertung des Wärmeschutzes wird der in der ÖNORM B 8110 Teil 2 [Öno10] geforderte Feuchtigkeitsfaktor F verwendet. Ist der Temperaturfaktor f des Gebäudes nach Gleichung 2.3 kleiner als F dann ist gewährleistet, daß keine Dauerkondensation an der Bauteiloberfläche auftritt. Hierbei ist der Temperaturfaktor aus der niedersten zu berechnenden Oberflächentemperatur zu ermitteln. Die Temperaturverteilung wird an einem 3D-Modell mit den Wärmeübergangswiderständen $R_{si} = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{se} = 0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$ nach [Öno10] berechnet.

$$f = \frac{t_i - t_{o,i}}{t_i - t_e} < F = \frac{t_i - t_{s,i}}{t_i - t_e} \quad (\text{Gl. 2.3})$$

Indizes:

- t_i Innenlufttemperatur
- t_e Außenlufttemperatur
- $t_{o,i}$ innere Oberflächentemperatur
- $t_{s,i}$ Taupunkttemperatur der Innenluft

Laut ÖNORM B 8110 – 2 [Öno10] gelten für Wohnräume folgende Raumklimadaten.

- Außenlufttemperatur $t_e > 0 \text{ °C}$: Raumlufttemperatur $t_i = 20 \text{ °C}$,
relative Luftfeuchtigkeit $\phi_i = 65 \text{ %}$
- Außenlufttemperatur $t_e < 0 \text{ °C}$: Raumlufttemperatur $t_i = 20 \text{ °C}$,
relative Luftfeuchtigkeit $\phi_i = 65 \text{ %}$ vermindert um 1 % je 1 K unter 0 °C

Unter Berücksichtigung dieses Raumklimas ergibt sich ein minimaler Feuchtigkeitsfaktor von $F = 0,31$. Das bedeutet, daß bei Einhaltung der Forderung $f < 0,31$ keine Dauerkondensation an der Bauteiloberfläche auftritt.

Weiters wird das Risiko von Schimmelpilzbildung untersucht. Dazu wird jene relative Luftfeuchtigkeit ermittelt, ab der es zu Schimmelpilzbildung kommen kann. Die Berechnung erfolgt nach der ÖNORM EN ISO 13788 [Öno88] und sie gibt folgende Klimabedingungen vor und folgernd für den Standort Wien:

- Außenlufttemperatur – monatliche Mittelwerte (hier: für den Januar $t_e = -1 \text{ °C}$)
- Temperaturen des Erdreichs - jährlicher Mittelwert (hier: jährlicher Mittelwert der Außenlufttemperatur $t_{\text{Erdreich}} = 9,8 \text{ °C}$)
- Innenlufttemperatur - entsprechend der Gebäudenutzung (hier: $t_i = 22 \text{ °C}$)

Die ÖNORM EN ISO 13788 [Öno88] gibt als kritische relative Luftfeuchtigkeit 80 % der relativen Luftfeuchtigkeit, bei der Kondensat entstehen kann, nach Gleichung 2.4 gegen Schimmelpilzbildung, vor. Das bedeutet, daß an jenen Stellen, an denen die relative Luftfeuchtigkeit über einen längeren Zeitraum mehr als 80 % beträgt, die Gefahr der Schimmelbildung vorhanden ist.

$$\varphi_{\text{Schimmel}} = 0,80 * \varphi_s \text{ wobei } j_s = \frac{P_{s,o}}{P_{s,i}} \quad (\text{Gl. 2.4})$$

Indizes:

φ_s relative Luftfeuchtigkeit der Raumluft, bei der Kondensation an der Bauteiloberfläche auftritt

$p_{s,o}$ Sättigungsdampfdruck an der Bauteiloberfläche

$p_{s,i}$ Sättigungsdampfdruck der Innenluft

Der Sättigungsdampfdruck wird nach [Öno10] berechnet:

$$p_s = a \left(b + \frac{T}{100^\circ\text{C}} \right)^n \quad (a= 288,68 \text{ Pa}; b= 1,098; n= 8,02)$$

Im folgenden sind die Abkürzungen beschrieben wie sie in den nachfolgenden Berechnungen verwendet werden.

Abk.	Einheit	Beschreibung
T	°C	Temperatur
T_{tr}	°C	Temperatur des trockenen Mauerwerks
T_f	°C	Temperatur des durchfeuchteten Mauerwerks
T_{san}	°C	Temperatur des Mauerwerks nach Paraffininjektion
F	-	Feuchtigkeitsfaktor
f_{tr}	-	Temperaturfaktor des trockenen Mauerwerks
f_f	-	Temperaturfaktor des durchfeuchteten Mauerwerks
f_{san}	-	Temperaturfaktor des Mauerwerks nach Paraffininjektion
p_s	Pa	Sättigungsdampfdruck
φ_s	%	relative Luftfeuchtigkeit, bei der Oberflächenkondensation auftritt
$\varphi_{\text{Schimmel}}$	%	relative Luftfeuchtigkeit, bei der Schimmelgefahr besteht

Variante 1: Erdgeschoß und Keller beheizt

Bei der ersten Variante handelt es sich um ein unterkellertes Gebäude, dessen Keller beheizt wird. Sowohl im Erdgeschoß als auch im Keller wird eine Temperatur von 22 °C angesetzt. Die Außenlufttemperatur beträgt –1 °C. Weitere Randbedingungen und Maße können der Abbildung 2.11 entnommen werden. Im Falle aufsteigender Feuchte wird diese bis zur Mitte der Mauer im Erdgeschoß angesetzt. Die Sanierung erfolgt mittels Paraffin in der Kellermauer, nahe dem Fundament. Dies setzt voraus, daß die Feuchtigkeit nicht seitlich über die Wände in die Rauminnenseite eindringen kann. Schematisch wird dies in Abbildung 2.12. dargestellt.

Es werden an acht Stellen die Temperaturen ausgewertet; diese sind der Abbildung 2.11 zu entnehmen. Die Stellen 1, 4 und 6 sind dreidimensionale Eckpunkte, die Stellen 2, 5 und 7 sind zweidimensionale Kanten zwischen Fußboden bzw. Decke und Wand, und die Stellen 3 und 8 sind Ecken zweier Wände.

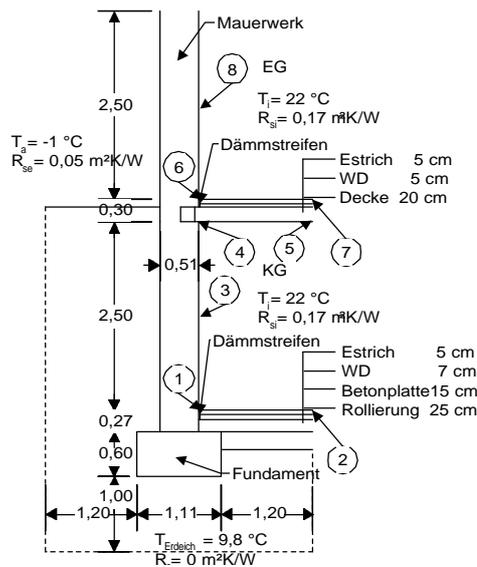


Abb. 2.11: Var. 1, EG und Keller beheizt; Randbedingungen und Detailpunkte (beachte die zwei- bzw. dreidimensionale Lage der Punkte)

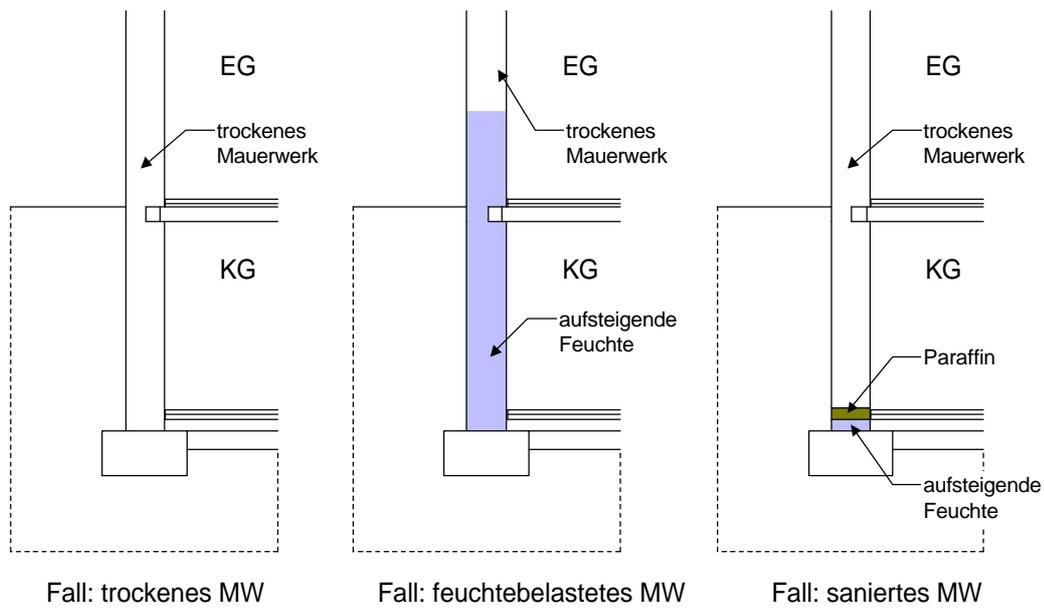


Abb. 2.12: Var. 1, Schema für trockenes, feuchtebelastetes und saniertes Mauerwerk

Pkt.	T_{tr}	T_f	T_{san}	f_{tr}	f_f	f_{san}
1	16,2	15,9	15,7	0,25	0,27	0,28
2	18,5	17,8	17,8	0,15	0,18	0,18
3	17,3	16,6	17,6	0,20	0,23	0,19
4	13,2	12,2	13,2	0,38	0,43	0,38
5	17,1	16,0	17,1	0,21	0,26	0,21
6	13,2	11,2	13,2	0,38	0,47	0,38
7	17,6	15,7	17,6	0,19	0,28	0,19
8	13,6	12,1	13,6	0,37	0,43	0,37

Tab. 2.16: Temperaturen der Detailpunkte für berechnete Variante 1

Die in der Tabelle 2.16 aufgelisteten Temperaturen zeigen, daß die Oberflächentemperaturen im Falle eines durchfeuchteten Mauerwerks an allen Punkten gegenüber dem trockenen Zustand abnehmen. Es ist gleichfalls zu sehen, daß an den kritischen Stellen (Pkt. 4, 6 und 8), im Falle eines trockenen Mauerwerks, die Gefahr der Oberflächenkondensation vorhanden ist. Dies ist hier nur von untergeordneter Bedeutung, da das durchfeuchtete Mauerwerk ohnehin saniert werden soll. Die Sanierung bewirkt, daß die Temperaturen über der paraffinierten Zone jenen des trockenen Mauerwerks entspricht. Nachteile durch die Paraffininjektion sind nur in den Eckbereichen des Kellerfußboden (Pkt. 1 und 2) festzustellen, da in diesem Bereich die Sanierung stattfindet. Jedoch sind diese Stellen nicht kritisch, denn der Temperaturfaktor f ist stets kleiner als 0,31 und eine Oberflächenkondensation ist ausgeschlossen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß der weiterhin durchfeuchtete Bereich unterhalb der Sperre wesentlich zur Verringerung der Oberflächentemperatur beiträgt. Kritische Stellen sind die Eckbereiche bei der

Zwischendecke (Pkt. 4 und 6) und der Eckbereich im Erdgeschoß (Pkt. 8). An diesen Punkten ist der Temperaturfaktor stets größer als 0,31. Um eine Oberflächenkondensation zu vermeiden sind daher wärmetechnische Maßnahmen zu treffen. Diese können z.B. als Innendämmung ausgeführt werden.

Variante 2, Erdgeschoß beheizt, Keller unbeheizt

Bei dem zweiten Beispiel handelt es sich um das gleiche Modell wie zuvor. Jedoch ist der Keller ungenutzt und wird nicht beheizt, siehe Abbildung 2.13. Die Innenlufttemperatur des Kellers wird mit 6° C angenommen (aus [Kra88]). Die drei verschiedenen Fälle (trockenes, durchfeuchtetes und saniertes Mauerwerk) sind in Abbildung 2.14 dargestellt. Die aufsteigende Feuchtigkeit steigt bis zur Mitte der Wand in Erdgeschoß wie in Variante 1. Die Paraffinjektion wird in dieser Variante jedoch unterhalb der Zwischendecken ausgeführt, da der Keller nicht als Wohnraum genützt werden soll.

Es werden in dieser Variante nur die Temperaturen im Erdgeschoß betrachtet. Dies ist der Eckbereich (Pkt. 1), der Anschlußbereich Fußboden-Wand (Pkt. 2) und der Anschluß der Wände (Pkt. 3). Die genaue Lage der betrachteten Punkte sind der Abbildung 2.13 zu entnehmen.

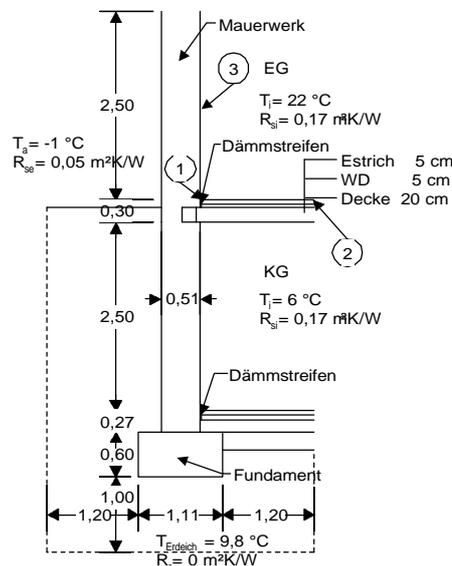


Abb. 2.13: Var. 2, EG beheizt, Keller unbeheizt; Randbedingungen und Detailpunkte (beachte die zwei- bzw. dreidimensionale Lage der Punkte)

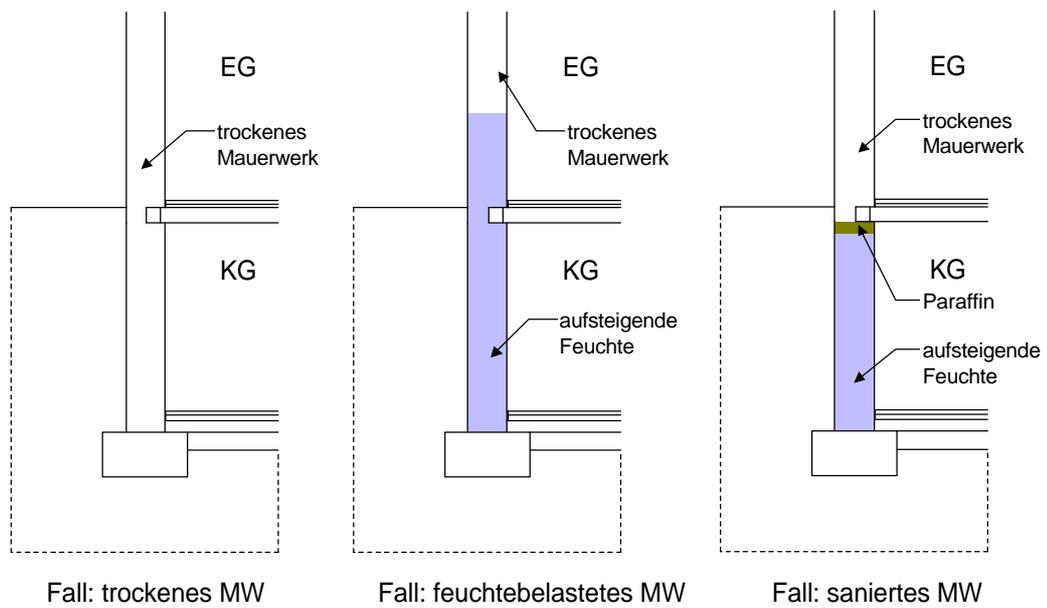


Abb. 2.14: Var. 2, Schema für trockenes, feuchtebelastetes und saniertes Mauerwerk

Pkt.	T_{tr}	T_f	T_{san}	f_{tr}	f_f	f_{san}
1	10,9	9,0	10,8	0,48	0,57	0,49
2	15,2	13,2	15,2	0,30	0,38	0,30
3	13,6	12,1	13,6	0,37	0,43	0,37

Tab. 2.17: Temperaturen Variante 2

Dieses Beispiel zeigt ein ähnliches Verhalten wie die Variante 1. Durch die Sanierung betragen die Oberflächentemperaturen gleich viel als im trockenen Zustand (vgl. Tabelle 2.17T). Lediglich bei Punkt 1 (Ecke) ist ein Rückgang um 0,1 °C zu verzeichnen. Oberflächenkondensation kann auch in diesem Beispiel in allen 3 Fällen auftreten (Pkt. 1 und 3) und muß durch wärmetechnische Maßnahmen (z.B. Innendämmung) verhindert werden.

Variante 3, Erdgeschoß nicht unterkellert

Bei diesem Beispiel handelt es sich um ein nicht unterkellertes Gebäude. Die Temperaturen sind dieselben wie zuvor (siehe Variante 1 und Abbildung 2.15). Die aufsteigende Feuchtigkeit wird bis zur Mitte der Mauer angesetzt. Die Paraffinierung erfolgt nahe dem Fundament (siehe Abbildung 2.16).

Es werden an vier Stellen die Temperaturen ausgewertet, diese sind der Abbildung 2.15 zu entnehmen. Die Stelle 1 ist der Eckpunkt, die Stelle 2 ist der Anschlußbereich zwischen Fußboden und Wand, und die Stellen 3 und 4 sind Anschlußpunkte der Wände bzw. zur Decke.

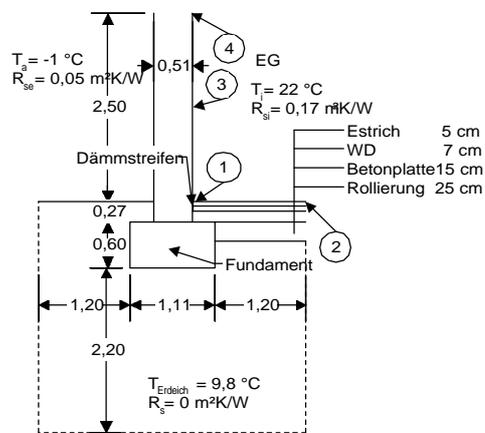


Abb. 2.15: Var. 3, Erdgeschoß nicht unterkellert, Randbedingungen und Detailpunkte (beachte die zwei- bzw. dreidimensionale Lage der Punkte)

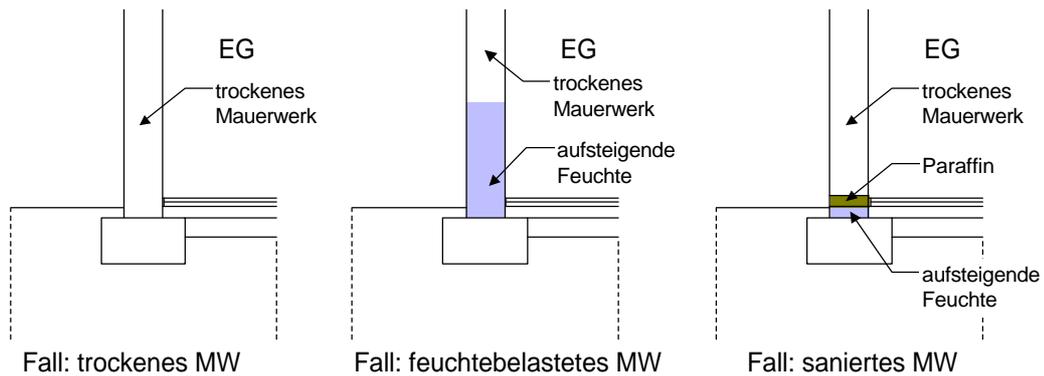


Abb. 2.16: Var. 3, Schema für trockenes, feuchtebelastetes und saniertes Mauerwerk

Pkt.	T_{tr}	T_f	T_{san}	f_{tr}	f_f	f_{san}
1	11,7	9,5	10,3	0,45	0,54	0,51
2	15,9	13,8	14,6	0,27	0,36	0,32
3	13,5	12,1	13,5	0,37	0,43	0,37
4	13,6	13,5	13,6	0,37	0,37	0,37

Tab. 2.18: Temperaturen der Detailpunkte für berechnete Variante 3

Die in der Tabelle 2.18 aufgelisteten Temperaturen zeigen, daß die Oberflächentemperaturen im Falle eines durchfeuchteten Mauerwerks an allen Punkten abnehmen. Abweichungen durch die Paraffininjektion gegenüber trockenem unparaffiniertem Mauerwerk sind in den Eck- und Anschlußbereichen des Fußbodens (Pkt. 1 und 2) festzustellen, da die paraffinbehandelte Zone über die Fußbodenoberkante reicht. Der Bereich der Punkte 3 und 4 nimmt nach der Sanierung die Temperaturen der trockenen Wand an. Kritisch sind alle 4 betrachteten Stellen, denn an diesen Punkten ist der Temperaturfaktor stets größer als 0,31. Um eine Oberflächenkondensation zu vermeiden, sind daher wärmetechnische Maßnahmen zu treffen. Diese können wie bei den zuvor beschriebenen Varianten als Innendämmung ausgeführt werden.

Zusammenfassung

- Die Ergebnisse der Berechnungen von den Oberflächentemperaturen der durchfeuchteten Wandzuständen sind in jedem Fall kritisch. Es sei angemerkt, daß es sich dabei um Fälle handelt, die bereits vor der Berechnung als nicht nutzbar angenommen wurden. Die Situation „trockenes Mauerwerk“ erfüllt ebenfalls nicht die derzeit gültigen Anforderungen an die Bauphysik. Die Annahmen wurden trotzdem so getroffen, weil von alter (historischer) Bausubstanz ausgegangen wird.
- Eine wirksam eingebrachte Horizontalabdichtung führt zum Abtrocknen der darüber liegenden Wandbereiche. Dies ist unabhängig vom verwendeten Material, wenn es ordnungsgemäß eingebracht und die Randbedingungen der Applikation eingehalten wurden. Die dadurch bedingte Verringerung der Wärmeleitfähigkeit verbessert die Situation an allen Varianten.
- Stellenweise bleiben im Sinne der dauerhaften Nutzbarmachung der Räume und der Hygiene, kritische Punkte erhalten, an denen gesonderte wärmetechnische Maßnahmen ergriffen werden müssen (siehe im Detail dazu in [Sau00]).
- Wichtig ist dabei, festzuhalten, daß keiner dieser Punkte im Zusammenhang mit der Injektion von Paraffin steht. Es handelt sich in jedem Fall um Bereiche, die als geometrische Wärmebrücken bekannt sind. Durch die Paraffininjektion entstehen keine konstruktiven Wärmebrücken.

- Werden größere Wandstärken zur Berechnung verwendet, so verbessert sich die Situation. Die dickeren Wände tragen zur Erhöhung der „Wärmedämmung“ bei. Der Injektionsbereich (durch den Paraffinanteil verringerte Wärmeleitfähigkeit) bleibt jedoch in seiner Stärke um das Injektionsloch erhalten. Der thermische Einfluß um das Injektionsloch auf der Innenoberfläche der Wand wird kleiner.

Thermisches Verhalten von Hochlochziegeln

Hochlochziegel verfügen über definierte Eigenschaften, die sowohl die Festigkeit, als auch die Wärmeleitfähigkeit beschreiben. Ziel bei der Herstellung der Ziegel ist es, die Stege der Ziegel zu minimieren, um eine möglichst hohe Wärmedämmwirkung zu erzielen, ohne die mechanischen Eigenschaften negativ zu beeinflussen. Untersuchungen dazu sind beispielsweise [Els88] entnehmbar. Dabei ist zu erkennen, daß die Lochstruktur wesentlich zur Verringerung der Wärmeleitfähigkeit von Hochlochziegeln beiträgt. Die Grenzen liegen u.a. in der Produktionsabfolge. Werden beim Pressen der Ziegel dünne Stege realisiert, müssen diese beim Trocknen erhalten bleiben. Auf Grund von thermischen Spannungen können diese weiterhin beim Brennprozess kaputt gehen. Andererseits kann die statische Belastbarkeit der Hochlochziegel sich verringern, wenn die Stege zu dünn werden. D.h., daß ein Optimum gefunden werden muß, welches eine sehr gute Wärmedämmung der Hochlochziegel garantiert und gleichzeitig eine hohe Belastbarkeit sicherstellt.

Aus dem Beginn dieses Kapitels ist bekannt, daß die mechanische Festigkeit von Baustoffen durch die Tränkung mit Paraffin erhöht werden kann. Wird angenommen, daß ein Hochlochziegel mit einer optimierten Lochstruktur schadensfrei hergestellt wird und seine Festigkeit nicht weiter erhöht werden kann, dann ist die Frage zu beantworten, wie eine Paraffintränkung zur Festigkeitserhöhung die thermischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit) verändert.

Bei der Beantwortung dieser Frage sind folgende Randbedingungen gegeben:

- eine Tränkung mit Paraffin ist nach dem Brennen möglich (idealerweise kann die Tränkung während des Abkühlens erfolgen, bei der Temperatur des flüssigen Paraffins);
- auf Grund der Bestimmungen der mechanischen Festigkeiten von Saulich in [Sau00], kann von einer realen Erhöhung der Festigkeit im Verbund und in der Geometrie der Hochlochziegel von 10 - 20 % ausgegangen werden (ggf. höher).

Im folgenden wird gezeigt, wie sich die Wärmeleitfähigkeit am Beispiel eines Hochlochziegels verändert, wenn der Ziegelscherben mit Paraffin getränkt wurde bzw. zusätzlich eine thermische Verteilungsphase erfuhr.

In der Abbildung 2.17 ist ein beliebiger Hochlochziegel mit seiner Lochstruktur im Bereich des Stoßes zwischen 2 Ziegeln dargestellt. Dazu wurde der Hochlochziegel gescannt und anschließend „nachgezeichnet“. Die linke Darstellung zeigt den einfachen Hochlochziegel. Für die Berechnung wurden dem Ziegelscherben, den Luftzwischenräumen und den Randbereichen jeweilige Wärmeleitfähigkeiten bzw. Übergangswiderstände zur Umgebung zugeordnet. Dies ist farblich in der rechten Darstellung der gleichen Abbildung zu erkennen. Entsprechende Zahlenangaben sind in Tabelle 2.19 zu finden. Die angegebenen Wärmeleitfähigkeiten wurden aus den Werten der Tabelle 2.12 abgeleitet und gerundet. Für die Berechnungen mit dem Programmsystem THERM Version 2.1.14, welches unter [The3w] zu finden ist, wurde die Wärmeleitfähigkeit des Ziegelscherbens variiert.

Ziegelgröße	Breite	[mm]	250
	Länge	[mm]	380
Wärmeleitfähigkeit im Ziegel	Rohscherben	[W/mK]	0,5
	Paraffiniert	[W/mK]	1,0
	+ thermischer Verteilungsphase	[W/mK]	0,8
	Luft (nach Größe [Eni46])	[W/mK]	0,050 – 0,168
Wärmeübergangswiderstand	Innen	[m ² K/W]	0,13
	Außen	[m ² K/W]	0,04
Temperatur	Innen	[°C]	1
	Außen	[°C]	0

Tab. 2.19: Maße, Materialdaten und Randbedingungen für die Berechnungen

In der anschließenden Abbildung 2.18 sind die Wärmeströme in dem Hochlochziegel, der U-Wert für eine Wand aus diesem Material (ohne Putzoberflächen) und die daraus berechnete äquivalente Wärmeleitfähigkeit des Hochlochziegels dargestellt.

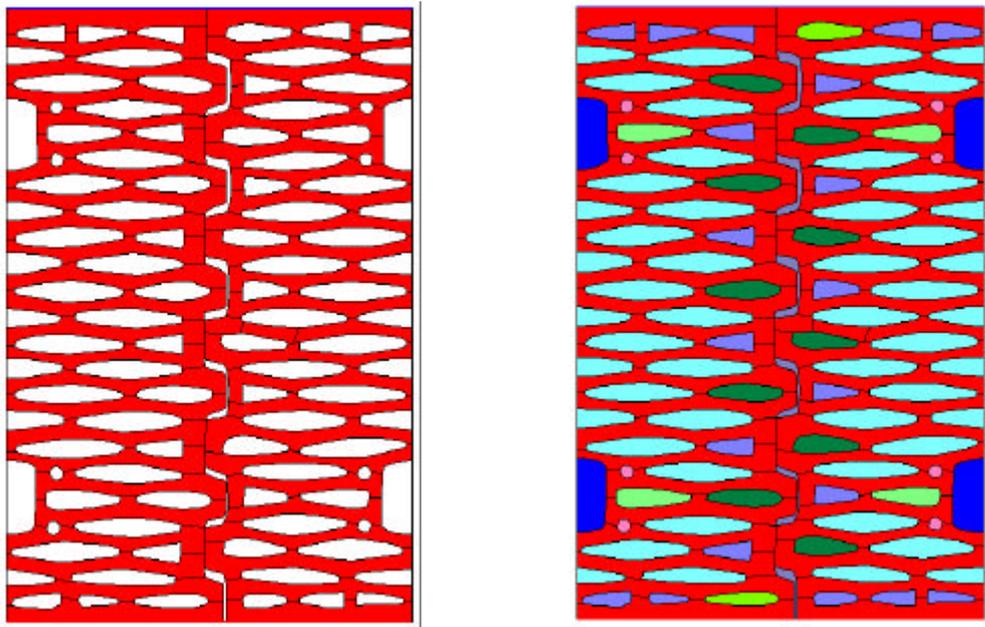


Abb. 2.17: Darstellung des berechneten Hochlochziegels im Original und mit der Zuordnung der thermischen Eigenschaften

Zusammenfassung:

- Anhand der Wärmeströme in Abbildung 2.18 erkennt man, daß in allen berechneten Fällen durch die Knotenpunkte der Ziegelstege ein erhöhter Wärmestrom erfolgt.
- Eine deutliche Erhöhung der Wärmeströme ist nach der Paraffintränkung im Stoßbereich (Mitte der Darstellung) zu erkennen.
- Wie zu erwarten, erhöht sich der U-Wert der Konstruktion (jeweils ohne Putz) nach einer Paraffintränkung. Würde eine thermische Verteilungsphase aufrechtgehalten werden, so reduziert sich dieser wieder.
- Es ist bekannt, daß mit einem Hochlochziegel als Wandbildner ein U-Wert der gesamten Wandkonstruktion von $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ unterschritten werden kann. Wird der Ziegel nach der Paraffinpenetration einer thermischen Verteilungsphase unterzogen, so wird der U-Wert von $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ nur geringfügig überschritten. Werden zusätzlich Putze (ggf. Wärmedämmputze) verwendet, so kann der U-Wert von $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ eingehalten werden.

Bei der Auswertung der Ergebnisse ist auf die relative Änderung der Ergebnisse zu achten !

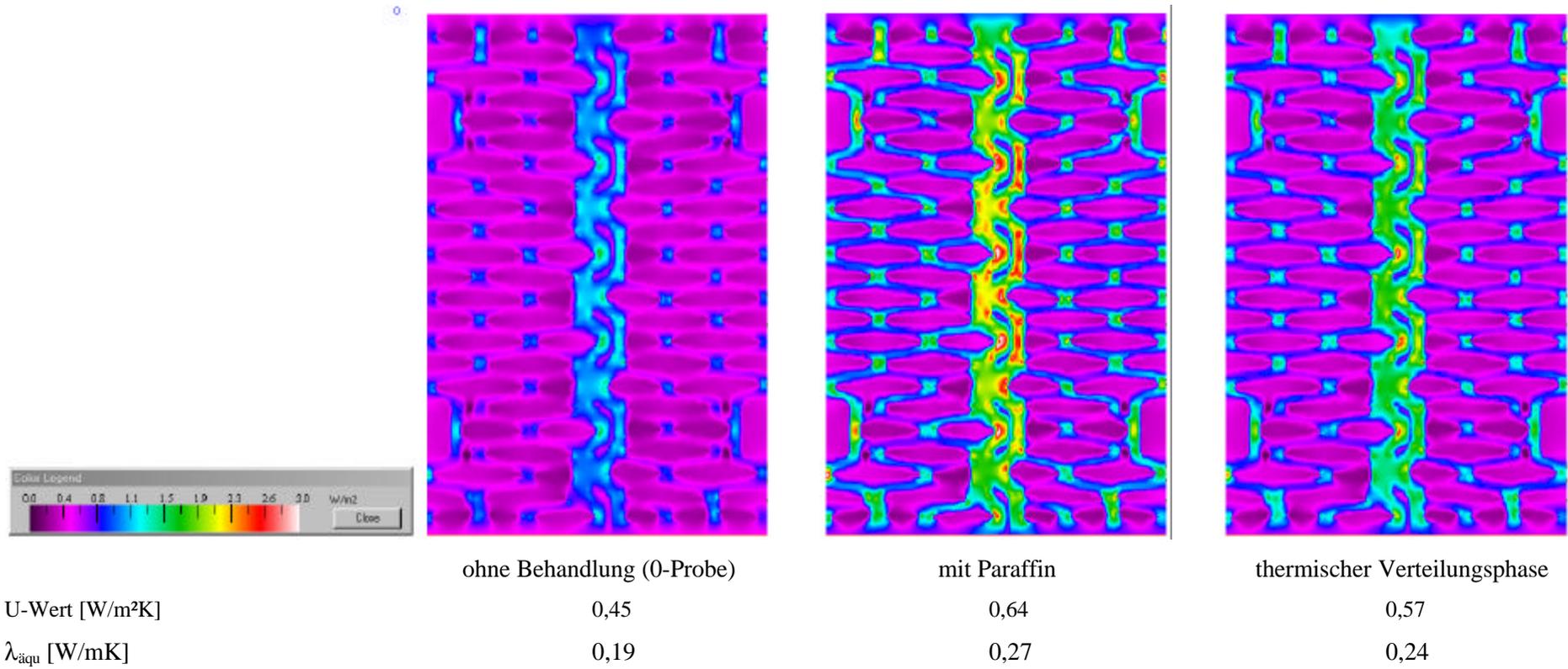


Abb. 2.18: Berechnete Wärmeströme für den gewählten Hochlochziegel

2.2.3.3 Hygrische Eigenschaften

Wasseraufnahme

Die deutliche Verringerung der Wasseraufnahme durch Baustoffe nach einer Paraffininjektion ist hinlänglich bekannt (u.a. [Fra93]) und Voraussetzung für deren Erfolg. An dieser Stelle wird zusätzlich auf die Wasseraufnahme nach einer thermischen Verteilungsphase eingegangen.

Für die Versuchsreihe wurde altes Ziegelmaterial aus Abbruch gleicher Herkunft verwendet. Das Ziegelmaterial hat eine grobe, unregelmäßige Textur und eine Dichte von 1450 kg/m^3 . Das Material wurde zu Prismen in einer Größe von $5 \times 5 \times 10 \text{ cm}$ geschnitten. Zwischen den Versuchen wurden die Proben bei unterschiedlichen Temperaturen getrocknet. D.h., nicht paraffinierte Proben wurden bei 105 °C getrocknet, mit Paraffin penetrierte Proben wurden bei 40 °C getrocknet. Damit wurde ein weiteres Verteilen des Paraffins (Schmelzpunkt bei ca. 60 °C) verhindert und die bei der thermischen Verteilungsphase eingestellten Eigenschaften der Proben wurden nicht verändert.

Die Paraffinpenetration wurde teilweise auf ca. 5 cm begrenzt, damit sich das Paraffin bei der anschließenden thermischen Verteilungsphase ausreichend in andere Bereiche penetrieren kann. In Abbildung 2.19 sind die Richtungen und Ausgangshöhen der Wasseraufnahme skizziert. Vor der Untersuchung von $w - III$ wurden die Proben auf der Ober- und Unterseite gekürzt.

Versuchsablauf:

1. Bestimmung des normalen Wassergehaltes für das Untersuchungsmaterial durch mehr als 10tägige Wasserlagerung
2. Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten $w - I$ an den unbehandelten Proben zur Generierung von Vergleichswerten
3. Zuordnung der Proben in Gruppen nach den Wasseraufnahmekoeffizienten $w - I$, so daß im Mittel die einzelnen Gruppen einen ähnlichen Wasseraufnahmekoeffizienten haben
4. Penetration der Proben mit Paraffin Typ 6003 über die Unterseite bei $100 - 120 \text{ °C}$ im Trockenofen und thermische Verteilungsphase über mindestens 16 h nach dem Schema der Tabelle 2.20:

Versuchsserie		A	B	C	D	E
Paraffinpenetration bei 120 °C	1 cm	x	x	-	x	-
	5 cm	-	-	x	-	x
Thermische Verteilungsphase	keine	-	x	-	-	-
	120 °C	x	-	x	-	-
	150 °C	-	-	-	x	x

Tab. 2.20: *Zusammenstellung der Probenbehandlung*

Die Paraffinpenetration wurde auf maximal 5 cm begrenzt, damit sich das Paraffin bei der anschließenden Temperierung ausreichend verteilen kann. Eine höhere vorausgehende Paraffinpenetration würde die Verteilung des Paraffins während der thermischen Verteilungsphase auf Grund der Probengröße einschränken.

5. Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten $w - II$ der paraffinierten Ziegel über die Unterseite der Proben. Von dieser Seite erfolgte zuvor die Paraffintränkung.
6. Abtrennen der Oberseite (in diesem Bereich kein wesentlicher Anteil an Paraffin) und der Unterseite (paraffinetränkt) der Proben in einer Stärke von 1 cm.
Durch das Abtrennen der Probenunterseite wird der Einfluß aus der Eintauchtiefe in das Paraffin eliminiert, für die maximal 1 cm mit Paraffin getränkten und nicht nachbehandelten Proben heißt dies, daß der mit Paraffin getränkte Bereich entfernt wurde.
7. Bestimmung der Sorptionsfeuchte bei 30 °C und 90 % relativer Luftfeuchtigkeit der abgetrennten Scheiben. Dies ist für eine Oberflächenbeschichtung von besonderem Interesse.
8. Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten $w - III$ über die Unterseite der verbliebenen, von der ursprünglichen Ober- und Unterseite getrennten Proben.

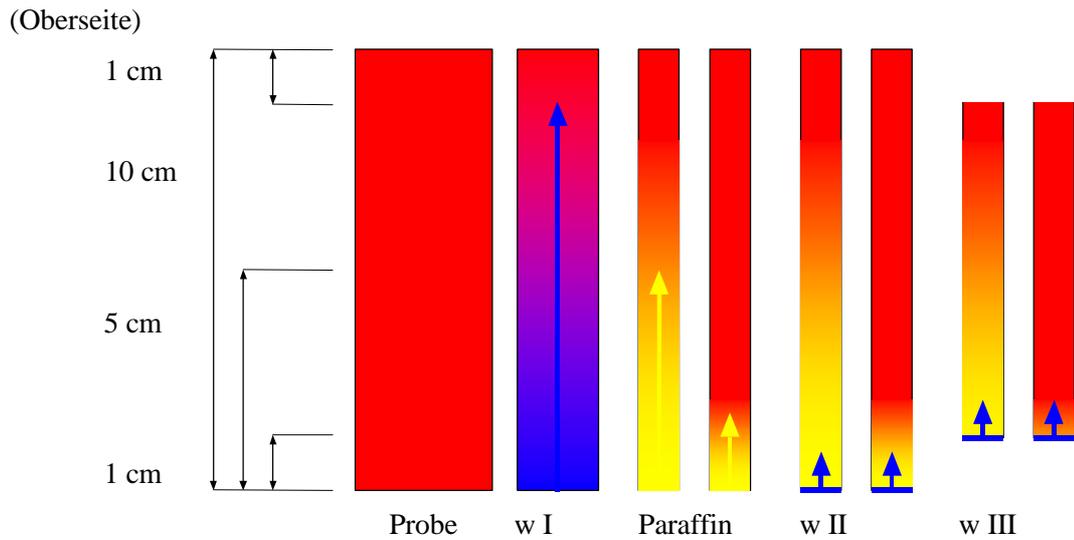


Abb. 2.19: Schema zur Bestimmung der verschiedenen Wasseraufnahmekoeffizienten, Richtung der Wasseraufnahme und Ausgangshöhe (Probenhöhe)

Ergebnisse:

- zu 1.) Der normale Wassergehalt wurde an 6 separaten Proben des untersuchten Ziegelmaterials bestimmt und beträgt 26,3 M-% ($\pm 0,5$ M-%).
- zu 2.) Der Wasseraufnahmekoeffizient w - I beträgt im Mittel aller 15 Proben:
 $w = 32,7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$ ($\pm 6,7$).
- zu 3.) Die Zuordnung der Proben in Gruppen führte zu drei Gruppen mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von 32, einer mit 33 und einer mit 34 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$.
- zu 4.) Die aufgenommenen Paraffinmengen sind der Tabelle 2.21 zu entnehmen. Es wird deutlich, daß für die jeweilige Paraffinaufnahme von einem bzw. 5 cm eine Einheitlichkeit gegeben ist. Ebenso ist in dieser Tabelle der Gewichtsverlust durch die thermische Verteilungsphase erfaßt.

		A	B	C	D	E
Paraffinpenetration bei 120 °C	1 cm	x	x		x	
	5 cm			x		x
Thermische Verteilungsphase	keine 120 °C	x	x	x		
	150 °C				x	x
mittl. aufgenommene Paraffinmenge	M-%	1,62	1,32	8,07	1,47	8,05
	± M-%	0,2	0,1	0,7	0,1	0,6
Gewichtsverlust im Rahmen der therm. Verteilungsphase		-		-	ca. 1/4	ca. 1/6

Tab. 2.21: Zusammenfassung der Paraffinaufnahme

zu 5.) Die Werte für den Wasseraufnahmekoeffizienten $w - II$ liegen deutlich unter denen für den Wasseraufnahmekoeffizienten $w - I$. Bis auf die Probenreihe D (1 cm Paraffin, Nachbehandlung bei 150 °C) ist kein Unterschied zwischen den einzelnen Meßreihen ablesbar. Die Zahlenwerte sind der Tabelle 2.23 zu entnehmen.

zu 7.) Die Ermittlung der Sorptionsfeuchte ergab für die oberen Scheiben (siehe Abbildung 2.19) einen wie erwartet von der Behandlung unabhängigen, einheitlichen Wert für alle Proben. Der mittlere Sorptionsfeuchtegehalt bei 30 °C / 90 % rel.LF beträgt 0,04 M-% ($\pm 0,02$). In diese Scheiben sind keine bzw. minimale, d.h. nicht nachvollziehbare Mengen an Paraffin eingedrungen.

Für die unteren Probenscheiben gelten die Werte der Tabelle 2.22.

		A	B	C	D	E
Paraffinpenetration bei 120 °C	1 cm	x	x		x	
	5 cm			x		x
Thermische Verteilungsphase	keine 120 °C	x	x	x		
	150 °C				x	x
Sorptionsfeuchte	M-%	0,03	0,06	0,06	0,50	0,95
	± M-%	0,01	0,01	0,01	0,12	0,10

Tab. 2.22: Zusammenfassung der Sorptionsfeuchte der unteren Probenscheiben

Die Sorptionsfeuchte für die Probenserie ohne thermische Verteilungsphase und die bei 120 °C einer thermischen Verteilungsphase unterzogenen Proben zeigen keinen signifikanten Unterschied zu den Probenscheiben der Oberseite des Ausgangsmaterials (0,04 M-%, $\pm 0,02$). Eine deutlich höhere Feuchtigkeitsaufnahme durch Sorption haben die Proben, die bei 150 °C einer thermischen Verteilungsphase unterlagen.

zu 8.) Die Werte für den Wasseraufnahmekoeffizienten $w - III$ variieren je nach Eindringtiefe des Paraffins und der Temperatur bei der thermischen Verteilungsphase. Ohne thermische Verteilungsphase ist der Wasseraufnahmekoeffizient nahezu identisch mit dem Ausgangsmaterial, da der mit Paraffin getränkte Bereich abgetrennt wurde.

Für die 1 cm mit Paraffin penetrierten Proben und denen, die einer thermischen Verteilungsphase unterlagen, wird der Wasseraufnahmekoeffizient in dem Bereich gemessen, in den erst durch die thermische Verteilungsphase das Paraffin wesentlich eingedrungen ist.

Bei einer Paraffinpenetration von einem Zentimeter wird der Wasseraufnahmekoeffizient bei einer thermischen Verteilungsphase mit 120 °C deutlicher reduziert als bei einer Nachbehandlung bei 150 °C. Wird eine höhere Paraffinmenge eingetragen (hier 5 cm), so reduziert sich der Wasseraufnahmekoeffizient wiederum erheblich. Die entsprechenden Zahlenwerte für $w - III$, sind in der Tabelle 10.5 nachzulesen.

zu 9.) siehe ff.

Auswertung und Zusammenfassung

Der wesentliche Bestandteil dieser Untersuchungsreihe ist die Bestimmung der Wasseraufnahme des mit Paraffin penetrierten Ziegelmaterials nach einer thermischen Verteilungsphase. Die Mittelwerte der jeweiligen Proben für die Wasseraufnahmekoeffizienten sind in der Tabelle 2.23 zusammengefaßt. Der Wasseraufnahmekoeffizient $w - I$ beträgt im Mittel aller 15 untersuchten Proben (Serie A bis E) $w = 32,7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}) \ (\pm 6,7)$. Für die Horizontalabdichtung sind die Werte der Reihen C und D maßgebend.

		A	B	C	D	E
Paraffinpenetration bei 120 °C	1 cm 5 cm	x	x	x	x	x
Thermische Verteilungsphase	keine 120 °C 150 °C	x	x	x	x	x
Wasseraufnahmekoeffizient	w - I	33,48	32,19	31,80	33,82	31,99
	w - II	0,04	0,05	0,03	3,13	0,07
	w - III	16,69	29,54	0,29	24,20	0,14

Tab. 2.23: Zusammenfassung der Meßergebnisse für die Wasseraufnahme

Die Werte für den Wasseraufnahmekoeffizienten w - II liegen erwartungsgemäß deutlich unter denen für den Wasseraufnahmekoeffizienten w - I. Bis auf die Proben D (1 cm Paraffin, Nachbehandlung bei 150 °C) ist kein Unterschied zwischen den einzelnen Meßreihen ablesbar. Die entsprechenden Zahlenwerte, siehe Tabelle 2.23 bzw. die Diagramme 2.13 und 2.14. Das Abweichen von Reihe D wird auf die geringe Paraffinmenge bei einer hier zu starken Verteilungsphase zurückgeführt.

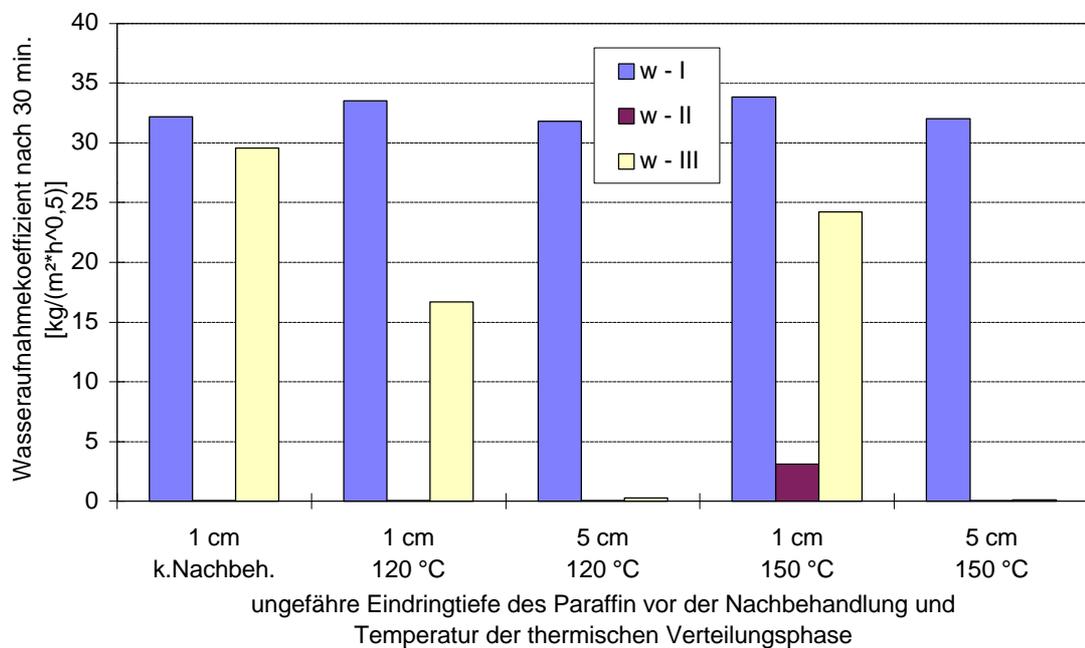
Die Werte für den Wasseraufnahmekoeffizienten w - III variieren je nach Eindringtiefe des Paraffins und der Temperatur, bei der die thermischen Verteilungsphase durchgeführt wurde. Für die 1 cm mit Paraffin penetrierten und einer thermischen Verteilung unterzogenen Proben wird der Wasseraufnahmekoeffizient w - III in dem Bereich gemessen, in den erst durch die thermische Verteilungsphase das Paraffin eingedrungen ist.

Bei einer Paraffinpenetration von einem Zentimeter wird der Wasseraufnahmekoeffizient bei einer thermischen Verteilungsphase mit 120 °C deutlicher reduziert als bei einer Nachbehandlung bei 150 °C. Wird eine höhere Paraffinmenge eingetragen (hier 5 cm), so reduziert sich der Wasseraufnahmekoeffizient wiederum erheblich.

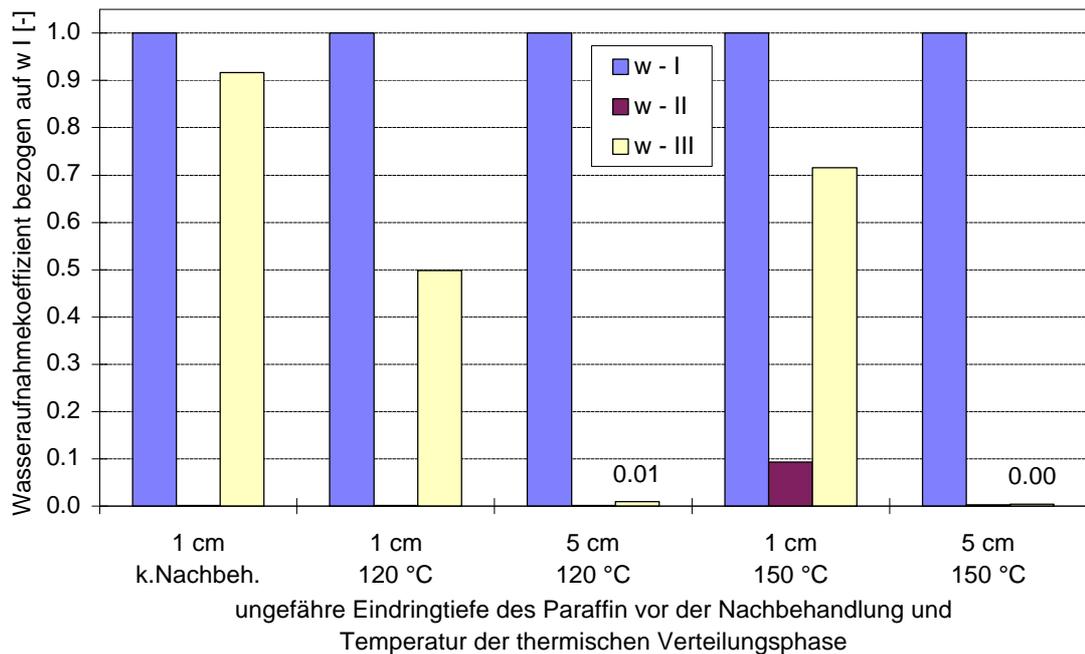
Folgende Zusammenhänge sind aus der Tabelle 2.23 abzulesen, wobei die Wasseraufnahme für w - II und w - III von der gleichen Seite wie die Paraffinaufnahme erfolgte. Die Wasseraufnahme wird mit einer thermischen Verteilungsphase ebenso deutlich reduziert wie ohne einer Verteilungsphase. Bei geringen Paraffinmengen (Reihe D – 1cm) und hoher thermischer Verteilungsphase (150 °C) wird die Wasseraufnahme geringer reduziert. Die Reduzierung liegt in einer Größenordnung von 90 % und größer. Der Wasseraufnahmekoeffizient w - III für die 5 cm getränkten Proben ist in dem Bereich, der bei der Tränkung nicht im Paraffin stand, ebenso deutlich gegenüber w - I reduziert wie w - II gegenüber w - I. Demzufolge ist eine thermische Verteilungsphase möglich.

Die Diagramme 2.13 und 2.14 veranschaulichen die Ergebnisse grafisch. Wobei zu sehen ist, daß bei einer Paraffinpenetration von einem Zentimeter und anschließender thermischer

Verteilungsphase die Höhe der Temperatur einen entscheidenden Einfluß auf das Aufnahmeverhalten hat. Bei einer thermischen Verteilungsphase mit 120 °C ist das durch die Verteilungsphase penetrierte Material „dichter“ als bei 150 °C. Dieser Umstand ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß bei 150 °C Anteile im Paraffin zerstört werden und verdampfen. Bei der entsprechenden Behandlung kam es zu deutlicher Raumentwicklung im Trockenschrank. Siehe dazu auch Tabelle 2.21, wonach durch die thermische Verteilungsphase bei 150 °C eine deutliche Gewichtsreduktion erfolgte. Bei den Proben, die bei 120 °C behandelt wurden, ist nach der thermischen Verteilung eine präzise Grenze zwischen Paraffin penetriertem und nicht penetriertem Bereich erkennbar. Die Proben die mit 150 °C einer Verteilungsphase unterzogen wurden, zeigen nicht diese klare Abgrenzung zwischen den beiden Bereichen.



Diagr. 2.13: Zusammenfassung der Wasseraufnahmekoeffizienten für Ziegel Alt bei unterschiedlichen Eindringtiefen des Paraffin und Verteilungsphase (von links nach rechts: Probenreihe B, A, C, D, E)



Diagr. 2.14: relative Darstellung von Diagramm 2.13, bezogen auf $w - I$ (von links nach rechts: Probenreihe B, A, C, D, E)

Die Ergebnisse der Sorptionsfeuchtemessung nach Tabelle 2.22 an den abgetrennten Scheiben, zeigen eine geringfügig höhere Sorptionsfeuchte für die bei 150 °C einer therm. Verteilungsphase unterzogenen Proben. Dies kann z.Zt. nicht ohne weiteres erklärt werden. Es wird davon ausgegangen, daß bei 150 °C das Paraffin aus den Kapillarporen ausgetrieben wird, wobei aber die Oberfläche mit Paraffinresten bedeckt ist. Diese Rückstände führen zu einer Verengung der Kapillaren. Auf Grund dessen ist eine stärkere Kapillarkondensation möglich. Andererseits könnten diese Paraffinrückstände zusätzlich Wasser binden. Bei einer thermischen Verteilungsphase unter 120 °C wird das verwendete Paraffin in seiner Eigenschaft gar nicht, bzw. für die hier zur Diskussion stehenden Belange geringfügig beeinflußt. Es ist daher von einer anhaltenden Porenverstopfung auszugehen.

Beachte:

- Der Erfolg der Verteilungsphase ist von der Temperatur abhängig, eine thermische Verteilungsphase ist bei einer Temperatur von 120 °C zu empfehlen (siehe zusätzlich im Folgenden zur Wasserdampfdiffusion);
- Eine gewisse Grundmenge an Paraffin ist wichtig, da die Verteilung bei der thermischen Verteilungsphase aus den mit Paraffin penetrierten Bereichen erfolgt (siehe entsprechende Proben).

Vorteile der thermischen Verteilungsphase:

- Die Wärmeleitfähigkeit wird gegenüber den thermisch nicht behandelten Proben wieder geringer, Verringerung des Wärmebrückeneffektes;
- Verbesserung der Wasserdampfdiffusion gegenüber den nicht behandelten Materialien (siehe ff.);
- Grad der Porenverstopfung durch die Dauer der Verteilungsphase einstellbar, dies ist für denkmalpflegerische Aspekte von großem Interesse;
- Ggf. Verbesserung der Oberflächenhaftung, wichtig dabei, daß zusätzliche Maßnahmen nicht erforderlich wären;
- Verringerung des Paraffinverbrauches bzw. Erhöhung der Injektionssicherheit; dies kann ggf. auf kritische Wandbereiche (Ecke, Anschlüsse etc.) beschränkt werden;
- Beschleunigung des Arbeitsfortschrittes und Absenkung der Heizleistung.

Wasserdampfdiffusion

Die Wasserdampfdiffusion wurde an modernen Ziegeln gemessen. Es wurden 3 verschiedene Varianten mit jeweils 2 Proben untersucht. Schematisch sind diese Varianten in den Bildern 1 - 3 der Abbildung 2.20 dargestellt. Die Proben wurden bei 120 °C mit Paraffin Typ 6003 jeweils bis zur Hälfte (ca. 1 cm) der Probenhöhe getränkt. Die Proben nach Bild 3 der Abbildung 2.20 wurden anschließend 24 h bei gleicher Temperatur gelagert, d.h. es erfolgte eine thermische Verteilungsphase. Die Verteilung des Paraffins erfolgte in diesen Proben nahezu vollständig durch die Probenstärke (ca. 2 cm).

Anschließend wurden die Proben für die Messung vorbereitet. Zur Gewährleistung des Differenzklimas befand sich in den Meßbehältern Silikagel (relative Luftfeuchtigkeit ungefähr 3-5 %) und im Klimaschrank (Umgebung) ungefähr 94 % relative Luftfeuchtigkeit bei 30 °C.



Bild 1 unbehandelte Ziegelprobe, 2 cm



Bild 2 zur Hälfte (1 cm) mit Paraffin (gelb) getränkte Ziegelprobe



Bild 3 zur Hälfte (1 cm) mit Paraffin getränkte Ziegelprobe und nach thermischer Verteilungsphase

Abb. 2.20: penetrierter Ziegelquerschnitt zur Bestimmung des μ -Wertes

In Tabelle 2.24 sind die ermittelten Werte zusammengefaßt. Bei Baustoffen, die mit Paraffin getränkt sind, ist davon auszugehen, daß diese gegenüber anderen Baustoffen nahezu diffusionsdicht sind. Es ist zu erkennen, daß eine thermische Verteilungsphase der Proben die Herstellung diffusionsoffenerer Bauteile gegenüber paraffingetränkten ermöglicht.

Var. 1	Ziegelprobe	$\mu = 12$
Var. 2	Ziegelproben mit Paraffin getränkt	$\mu = 160$
Var. 3	mit Paraffin getränkte und thermische Verteilungsphase	$\mu = 26$

Tab. 2.24: *Ermittelter Wasserdampfdiffusionswiderstand paraffinierter Ziegel (die Werte beziehen sich auf die gemessenen Proben)*

In der obigen Tabelle sind die ermittelten Werte zusammengefaßt. Die Meßergebnisse und damit der Wasserdampfdiffusionswiderstand μ liegen für die Proben nach einer thermischen Verteilungsphase deutlich unter den Werten der Proben ohne Verteilungsphase. Es ist zu erkennen, daß eine thermische Verteilungsphase der Proben die Herstellung diffusionsoffener Oberflächen ermöglicht.

Es ist zu erwarten, daß die Dampfdiffusion weiter verbessert wird, wenn

- der durch die thermische Verteilungsphase penetrierte Bereich die gleiche Stärke hat wie der nur durch das kapillare Saugen penetrierte Bereich,
- die thermische Verteilungsphase bei einer höheren Temperatur stattfindet, als die Paraffinaufnahme,
- daß ein Wasserdampfdiffusionswiderstand von ca. 20 (bei Ziegelstein als Grundmaterial) möglich ist.

Die Frage nach der praktischen Bedeutung läßt sich wie folgt beantworten. Nachdem eine flächige Paraffinabdichtung durch Fluten bereits vorgestellt werden konnte, ist durch eine thermische Verteilungsphase auch eine diffusionsoffene Oberfläche herstellbar. Durch eine thermische Verteilungsphase kann in kritischen Bereichen von Horizontalabdichtungen eine Verbesserung der Situation erreicht werden. Dies betrifft vor allem Eckbereiche. Zur Gewährleistung einer thermischen Verteilungsphase sind keine zusätzlichen Aggregate erforderlich als die, die ohnehin für die Injektion erforderlich sind bzw. für die Oberflächenflutung. Der Materialverbrauch an Paraffin könnte reduziert werden und die Arbeit vor Ort läßt sich verringern, wenn eine thermische Verteilungsphase genutzt wird.

Ein zusätzliches und großes Anwendungsfeld ergibt sich in der Vorfertigung von Bauwerksteilen.

Was bedeutet die Verringerung der Wasserdampfdiffusion in Höhe der Horizontalabdichtung für die gesamte Wand ? Es wird angenommen, daß eine Wand mit einer lichten Raumhöhe von 2,6 m in einer Höhe von 30 cm mit Paraffin injiziert wird. Der sich bildende Abdichtungshorizont ist 30 cm stark. Mit den Diffusionswiderständen nach der Tabelle 2.24 ergeben sich die Diffusionsverhältnisse, die in Tabelle 2.25 zusammengefaßt wurden. Dort ist ebenfalls der resultierende Diffusionswiderstand der gesamten Wand über eine Höhe von 2,6 m angegeben. Es wurde die Höhe der Horizontalabdichtung variiert, als auch die Art der Abdichtung (ohne und mit therm. Verteilungsphase).

Bereich der mit Paraffin getränkt ist		Wandbereich		Resultierender Wasserdampf-diffusionswiderstand der Wand
Höhe [m]	μ [-]	Höhe [m]	μ [-]	μ [-]
0,30	160	2,30	12	13
0,45	160	2,15	12	14
0,35	26	2,25	12	13
0,475	26	2,125	12	13

Tab. 2.25: *rechnerischer Wasserdampfdiffusionswiderstand für eine 2,6 m hohe Wand (ohne Putz etc.) nach einer Paraffininjektion*

Es ist zu erkennen, daß die Wasserdampfdiffusion einer Wand durch die Horizontalabdichtung mit Paraffin nur örtlich, und zwar im Bereich der Horizontalabdichtung, beeinflußt wird. Der resultierende Wasserdampfdiffusionswiderstand der gesamten Wand ist unter den Bedingungen, die im Bauwesen vorgefunden werden, demzufolge nahezu gleichbleibend.

2.3 Entwicklungen zur thermisch stimulierten Injektion und Imprägnierung von Bauteilen

2.3.1 Die Injektion von Paraffin in Bauteile zur Herausbildung wasserundurchlässiger Teilbereiche

Die Injektion von Paraffin zur Errichtung von horizontalen Kapillarwassersperren erfolgt in mehreren Phasen, die voneinander abhängig sind, so daß von einem einstufigen Verfahren gesprochen werden kann, nach ÖNorm B 3355 handelt es sich um ein mehrstufiges Verfahren [Öno55]. Der Ablauf gliedert sich wie folgt (nach [Iso3w]):

- Bohrlöcher herstellen,
Bohrposition festlegen und alle 10 - 12 cm Bohrungen mit einem Winkel von 20° bis 45°, im Durchmesser von 18 - 26 mm herstellen. Tiefe der Bohrungen = Mauerwerksdicke (ohne Putz) abzüglich 5 cm. Bohrstaub mittels Druck-/Saugluft entfernen;
- Trocknen der durchfeuchteten Wandabschnitte,
Vollständiges Austrocknen der Abdichtungszone im Bereich der späteren Injektion mittels temperatur geregelter Heizstäbe. Dadurch Wiederherstellung der kapillaren Saugfähigkeit des Baustoffes im Bereich der Injektionszone;
- Paraffininjektion,
Einbringen des niedrigviskosen, thermisch stimulierten Paraffins bis zur vollständigen kapillaren Sättigung des Mauerwerks im Bereich der Abdichtungszone gemäß WTA-Richtlinie 4-4-96 [Wta96]. Anschließend verschließen der Bohrlöcher mit einem schwindfreien Spezialmörtel.

Die Paraffininjektion kann durch einfaches Einfüllen des Paraffins in die Bohrlöcher erfolgen bzw. WTA gerecht [Wta96] mittels der sogenannten Behältertechnik. Im folgenden wird die Trocknungstechnik des zu injizierenden Wandabschnittes diskutiert. Anschließend wird eine Methode vorgestellt mit der es möglich ist, die Paraffinverteilung zu prognostizieren.

An dieser Stelle sei angemerkt, daß davon ausgegangen wird, daß zukünftig alle Anbieter von Injektionsverfahren im Vorfeld eine Trocknung des zu injizierenden Mauerwerksbereiches anbieten, ein Beispiel ist u.a. in [Höl00] nachzulesen. Dies trägt wesentlich zur Qualitätssteigerung und zur Wirksamkeitssteigerung chemischer Verfahren bei.

2.3.1.1 Temperaturverteilung entlang von Heizstäben

Die Trocknung der zu injizierenden Wandabschnitte hat mehrere Vorteile:

- Vorhandene Feuchtigkeit wird entfernt, die Kapillaren und Poren stehen vollständig zur Paraffinaufnahme zur Verfügung;
- Das erwärmte Paraffin penetriert ab Beginn der Injektion in die entsprechenden Freiräume, eine Erwärmung durch das Paraffin (ebenfalls möglich) entfällt;
- Da der Bereich, der durch die Erwärmung getrocknet wird, größer ist als der, der durch die Paraffininjektion erfaßt werden kann, geht die Trocknung der Bereiche oberhalb der Horizontalabdichtung schneller voran.

Schwierigkeiten bereitet die Paraffinpenetration in Bereiche freistehender Wände, die der Injektionsseite abgewandt sind. Im Inneren der Wände ist die Erwärmung des Materials auf Grund der wärmedämmenden Wirkung des Wandbildners wesentlich stärker und rascher, als an der Wandoberfläche. Daher ist es ggf. erforderlich, den rückseitigen Bereich der Wände zu dämmen bzw. gezielt zu erwärmen.

Eine weitere Einflußquelle könnte eine Temperaturschichtung im geneigten Bohrloch sein. Dieser Möglichkeit wurde im Rahmen der folgenden Untersuchungen nachgegangen, es war festzustellen, ob es in den Injektionslöchern ein Temperaturgefälle gibt. Hierfür ist die Erwärmung eines Heizstabes in Wasser und Paraffin bei verschiedenen Temperaturen gemessen worden.

Für die Untersuchungen war ein Aluminiumrohr (hohe thermische Leitfähigkeit, bekannter Absorptionsgrad für die Thermografie) mit dem entsprechenden Medium gefüllt und erwärmt worden. Mittels der Thermografie konnten die Oberflächentemperaturen über die gesamte Länge des Versuchsaufbaus erfaßt werden. Die Einstellung der Temperatur erfolgte mittels einem Meßfühler am oberen Ende des „Bohrloches“.

In einem Aluminiumrohr mit Wasser konnte bei 50 °C kein wesentlicher Unterschied zwischen dem oberen und unteren Ende gemessen werden. In den folgenden Abbildungen 2.21 und 2.22 sind die thermografischen Aufnahmen des mit Paraffin gefüllten und erwärmten Aluminiumrohres bei 120 und 160 °C dargestellt. Bei 180 °C war der Unterschied zu 160 °C sehr gering und ist nicht dargestellt.

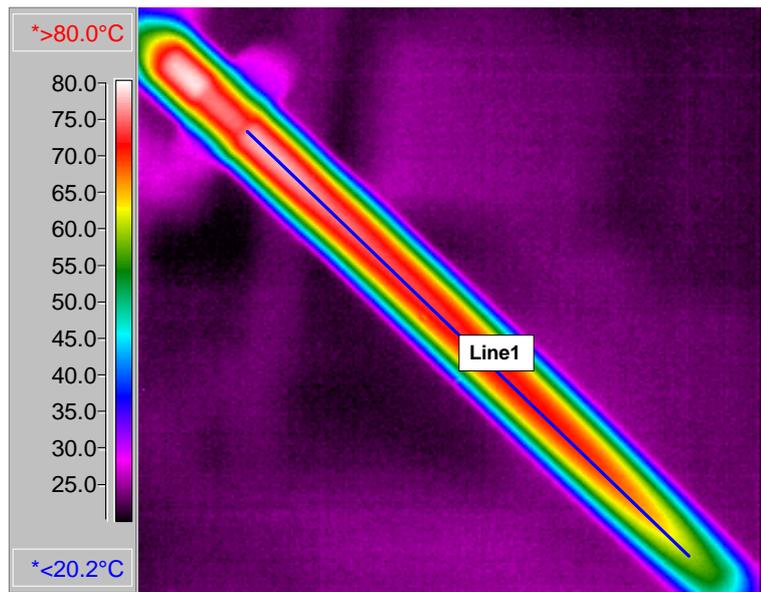
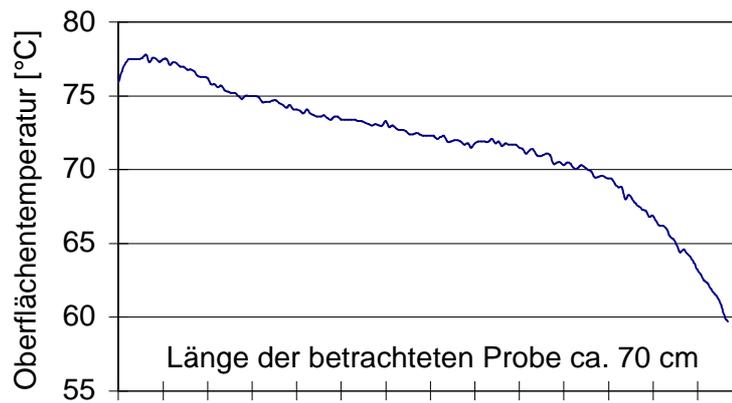


Abb. 2.21: Thermografische Aufnahme des Heizstabes in einem Aluminiumrohr (Temperatur 120 °C)



Diagr. 2.15: Temperaturverlauf entlang des Heizstabes nach Abbildung 2.21

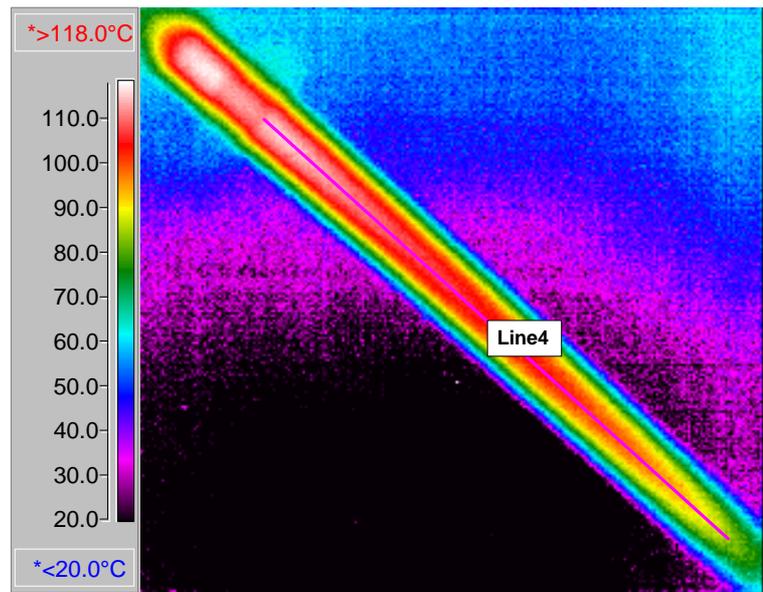
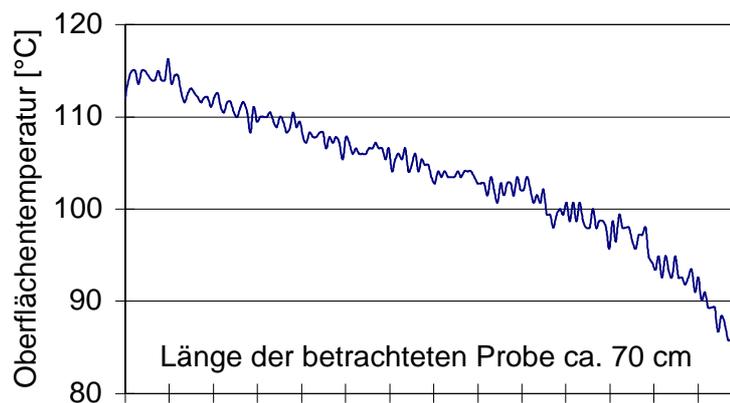


Abb. 2.22: Thermografische Aufnahme des Heizstabes in einem Aluminiumrohr (Temperatur 160 °C)



Diagr. 2.16: Temperaturverlauf entlang des Heizstabes (Line4) nach Abbildung 2.22

Bei der Interpretation der dargestellten Ergebnisse ist folgendes zu beachten:

- Um die Probe ist kein dämmendes Mauerwerk, d.h. die tatsächliche Temperatur auf der Bohrlochoberfläche ist höher, die Differenz zur eingestellten Temperatur geringer;
- Die glatte Innenoberfläche des Aluminiumrohres ermöglicht eine nahezu freie Strömung in dem „Bohrloch“. In der praktischen Anwendung ist dies keinesfalls gegeben;
- Die dargestellten Werte sind keine Absolutwerte, aus den Ergebnissen sind Tendenzen und relative Änderungen ablesbar.

Zusammenfassung:

Es ist offensichtlich, daß es zu einer Temperaturschichtung in einem Bohrloch kommt. Wesentliche Ursache dafür ist die Bohrlochgeometrie, diese wiederum ist bei Injektionsverfahren, die drucklos bzw. im Niederdruckverfahren angewendet werden, zwingend erforderlich. Eine weitere Ursache sind die physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten.

Auf Grund der Neigung des Bohrloches kommt es zu einer Strömung. Warmes Paraffin steigt auf, wobei kälteres Paraffin an der Unterseite des Bohrloches verbleibt. Dies ist aus der Temperaturdifferenz zwischen Ober- und Unterseite am Bohrloch in den Abbildungen 2.21 und 2.22 ersichtlich. Diese Temperaturdifferenz nimmt, wie zuvor beschrieben, bei höheren Temperaturen nur noch unwesentlich zu. Bei Betreibung des Injektionsverfahrens kann es daher sinnvoll sein, die Regelung der Temperatur über zwei Temperaturfühler zu gewährleisten. Ein Temperaturfühler würde an der Unterseite des Bohrloches die Mindesttemperatur für die Temperatur überwachen. Der zweite Temperaturfühler, an der Oberseite des Bohrloches würde die Maximaltemperatur während der Injektion des Paraffins überwachen.

Es ist ggf. sinnvoll, die Aufrechterhaltung der Temperatur im Bohrloch durch eine Heizsonde zu realisieren. Diese würde sich am unteren Ende des Bohrkanals befinden und das Paraffin dort erwärmen. Auf Grund der Temperaturdifferenzen setzt die Strömung im Bohrloch ein. Alle Bereiche des Bohrloches sind ausreichend erwärmt. Das entsprechende Verfahren wurde bereits von Munse in [Mun87] vorgestellt.

2.3.1.2 Rechnerische Untersuchungen zur Temperaturverteilung und Penetration im Mauerwerk

In diesem Abschnitt werden Ergebnisse aus einfachen, thermisch stationären Berechnungen der Temperaturverteilung für eine Wand während der Paraffininjektion dargestellt. Da das Paraffin sich in den Kapillaren nur dort verteilen kann, wo diese ausreichend erwärmt wurden bzw. weiterhin erwärmt werden, erlauben die Resultate Rückschlüsse auf die Paraffinverteilung in einem Mauerwerk zu ziehen.

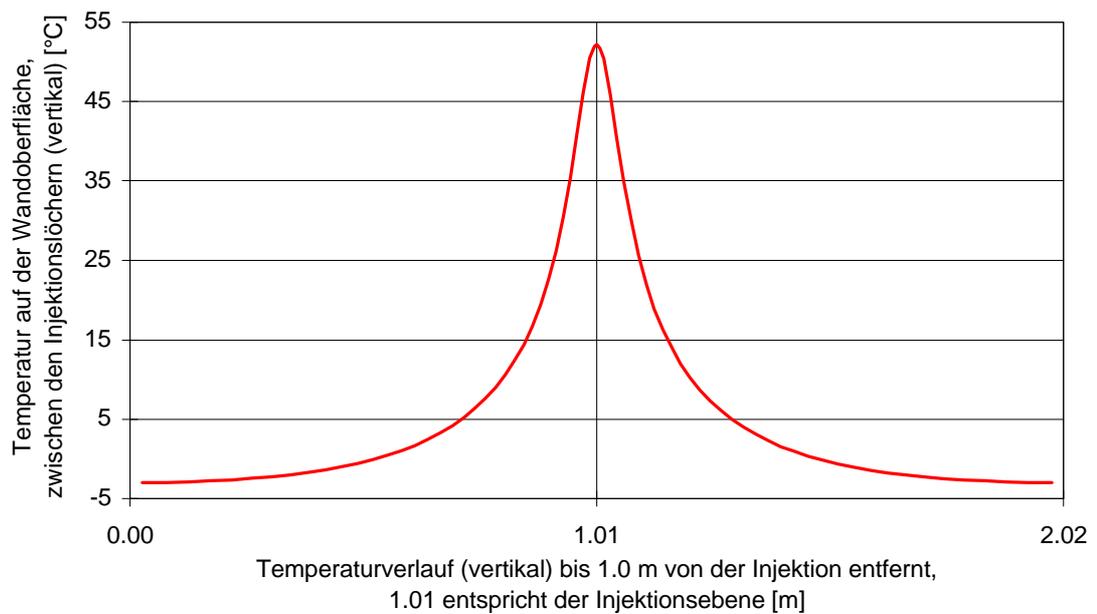
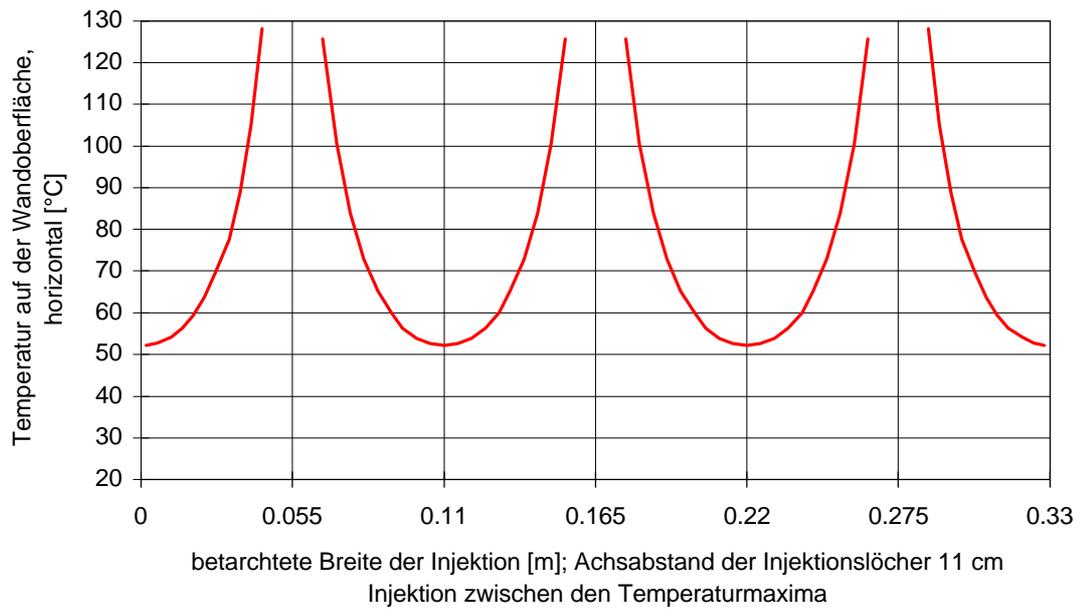
Die Berechnungen gehen für die Injektionstemperatur von 160 °C aus. Diese Annahme ist höher, als die Temperatur bei einer Injektion mit Behältertechnik tatsächlich ist (120 °C). Dies muß erläutert werden. Wenn sich das Paraffin im Bereich der Injektionsebene verteilt, beginnt folgende „Kettenreaktion“:

Das Paraffin penetriert in den zu injizierenden Mauerwerksbereich, dadurch erhöht sich die Wärmeleitfähigkeit in den mit Paraffin getränkten Regionen. Von dem Bohrloch, in dem die Injektion stattfindet, wird die Wärme in die penetrierten Bereiche schneller abgeführt. Die wärmedämmende Wirkung des umgebenden Mauerwerks wird verändert, d.h. reduziert. Wenn davon ausgegangen wird, daß auf Grund der Vorratsbehälter ausreichend Paraffin für die Injektion zur Verfügung steht, kann nach längerem Fortschritt der Injektion ein immer größerer Bereich mit Paraffin penetriert werden. Die Paraffinverteilung endet, wenn sich ein Gleichgewicht in der Temperaturverteilung eingestellt hat. Das sich einstellende Temperaturfeld muß in gleicher Entfernung vom Bohrloch höhere Temperaturen aufweisen als das Temperaturfeld des gleichen Mauerwerkes ohne Paraffin.

Da es z.Zt. nicht möglich ist, die Verteilung des Paraffins instationär zu berechnen, wurde die Injektionstemperatur für die Berechnungen höher als tatsächlich angenommen. Damit können rechnerisch die Unterschiede der Wärmeleitfähigkeit ausgeglichen werden. Für die Randbedingungen werden die Werte des Wärmeschutzes tw. übernommen.

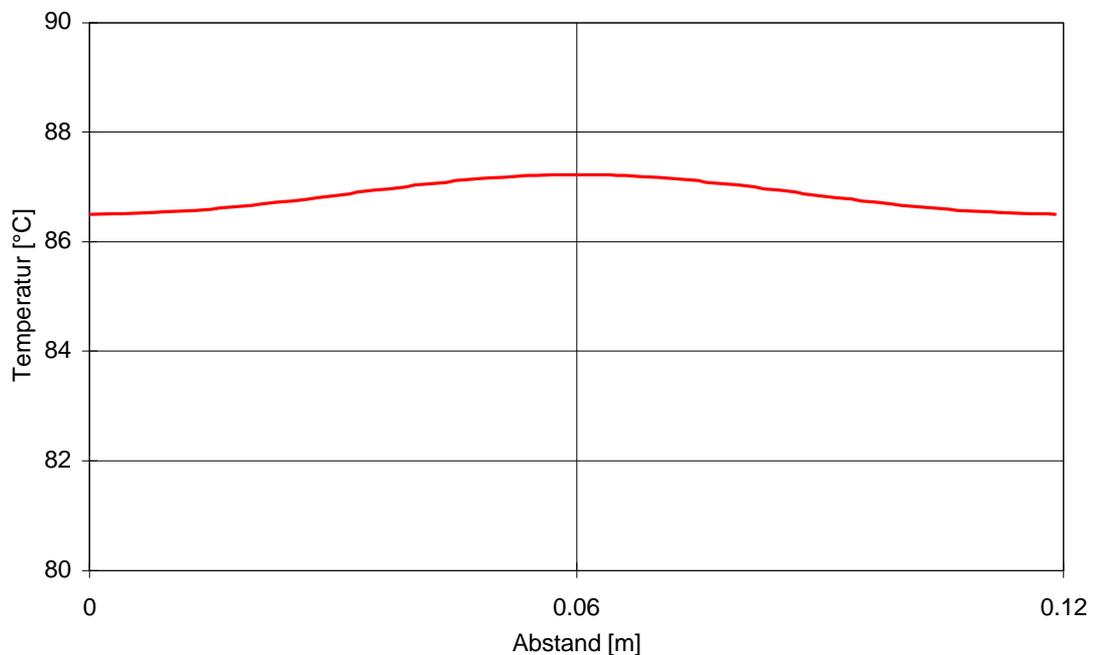
Die Temperaturverteilungen an der Oberfläche in dem Diagramm 2.17 wurden mit relativ harten Randbedingungen durchgeführt. Die Darstellung der vertikalen Temperaturverteilung erfolgt für den Bereich, der sich zwischen den Injektionslöchern befindet. Auf Grund von Messungen, die in dieser Arbeit nicht Gegenstand sind, kann davon ausgegangen werden, daß Paraffin bereits sichtbar an die Oberfläche von Baustoffen penetriert, wenn diese Temperatur noch nicht in Höhe des Schmelzpunktes liegt. Daher kann von einer Sperrschicht aus Paraffin in dem untersuchten Mauerwerk ausgegangen werden.

Weiterhin ist zu beachten, daß hier die reine Oberflächentemperatur dargestellt ist. Nur wenige Millimeter tiefer (im Mauerwerk) ist die Temperatur bereits höher. Die gegebenenfalls in den Berechnungen von Paraffin nicht erfaßten Bereiche sind daher sehr gering. Um eine effektive Horizontalabdichtung zu gewährleisten, muß kein 100%iger Sperrgürtel errichtet werden. Es ist ausreichend, wenn der Querschnitt, über den die Feuchtigkeit penetrieren kann, reduziert wird.

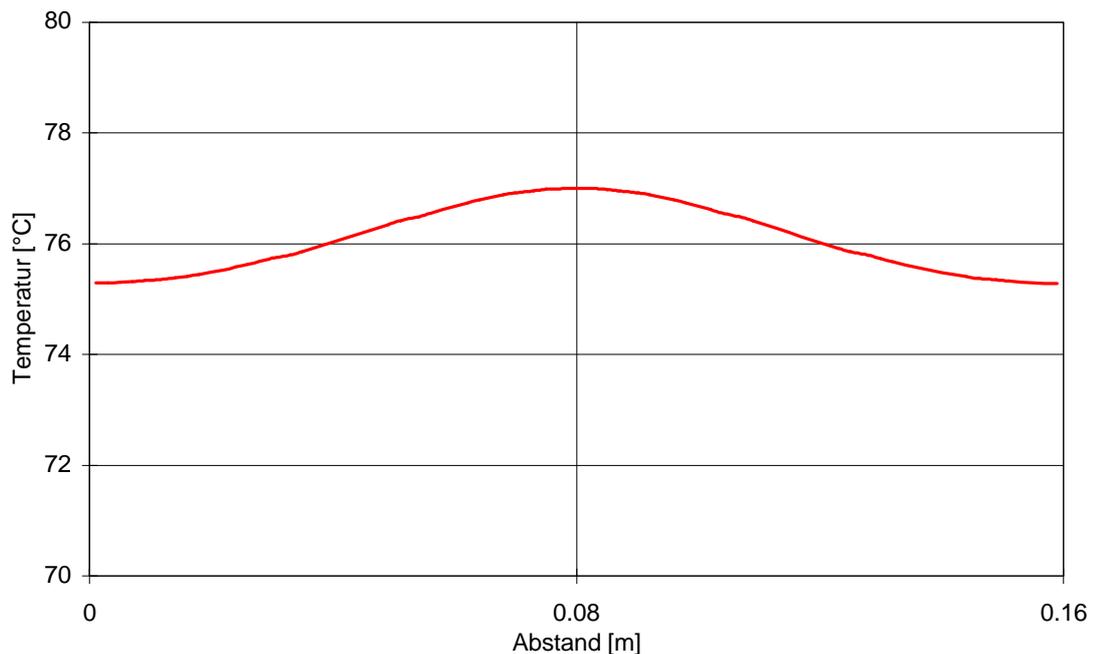


Diagr. 2.17: *Temperaturverteilung an einer Außenwandoberfläche bei einer Paraffininjektion von der Außenseite. (Wand 60 cm, 0,95 W/mK; Paraffin 160 °C, 0 W/m²K; Bohrloch 55 cm, waagrecht; Innentemperatur 20 °C, 0,13 W/m²K, Außentemperatur -5 °C, 0,04 W/m²K; Achsabstand 11 cm)*

Die Diagramme 2.18 und 2.19 zeigen die Oberflächentemperatur auf der Außenseite einer Kellerwand gegen Erdreich, d.h. zwischen der Wandoberfläche und dem anliegenden Erdreich, bei unterschiedlichen Achsabständen der Injektionslöcher. Die Temperaturverläufe sind horizontal, d.h. das Temperaturmaxima entspricht dem Bohrloch, in das die Injektion stattfindet, welches 5 cm tiefer vor der Wandoberfläche im Mauerwerk endet. Es wird sofort deutlich, daß sich das anliegende Erdreich positiv auf die Temperaturverteilung auswirkt. Es kann eine bessere Durchwärmung erfolgen. Dies ermöglicht es wiederum, wie in Abbildung 2.19 dargestellt, den Abstand zwischen den Bohrlöchern zu erhöhen. Auf Grund des größeren Achsabstandes bei der Injektion, ist der Temperaturunterschied auf der Wandoberfläche geringfügig größer.



Diag. 2.18: *Temperaturverteilung an einer Außenwandoberfläche gegen stark durchfeuchtetes Erdreich (Keller); (Wand 60 cm, 0,95 W/mK; Paraffin 160 °C, 0 W/m²K; Bohrloch 55 cm tief, waagrecht; Innentemperatur 15 °C, 0,13 W/m²K, Erdreich 2,5 W/mK; Achsabstand 12 cm)*



Diagr. 2.19: *Temperaturverteilung an einer Außenwandoberfläche gegen stark durchfeuchtetes Erdreich (Keller); (Wand 60 cm, 0,95 W/mK; Paraffin 160 °C, 0 W/m²K; Bohrloch 55 cm tief, waagrecht; Innentemperatur 5 °C, 0,13 W/m²K, Erdreich 2,5 W/mK; Achsabstand 16 cm)*

FAZIT:

Die Ergebnisse aus Diagramm 2.17 zeigen, daß eine Vergrößerung des Bohrlochabstandes im betrachteten Fall nicht ohne weiteres möglich ist. Diese würde zu kritischen Zuständen führen und die Injektion ungünstig beeinflussen. An dieser Stelle sei noch einmal darauf verwiesen, daß eine sehr niedrige Außentemperatur angenommen wurde. Es stellt sich die Frage, ob bei diesen Temperaturen überhaupt injiziert wird. Andererseits wird deutlich, daß gegenüber Injektionsstoffen auf Wasserbasis bei diesen Temperaturen (-5 °C) injiziert werden kann. Außer Frage bleibt, daß der Aufwand für die Injektion bei geringeren Temperaturen größer wird.

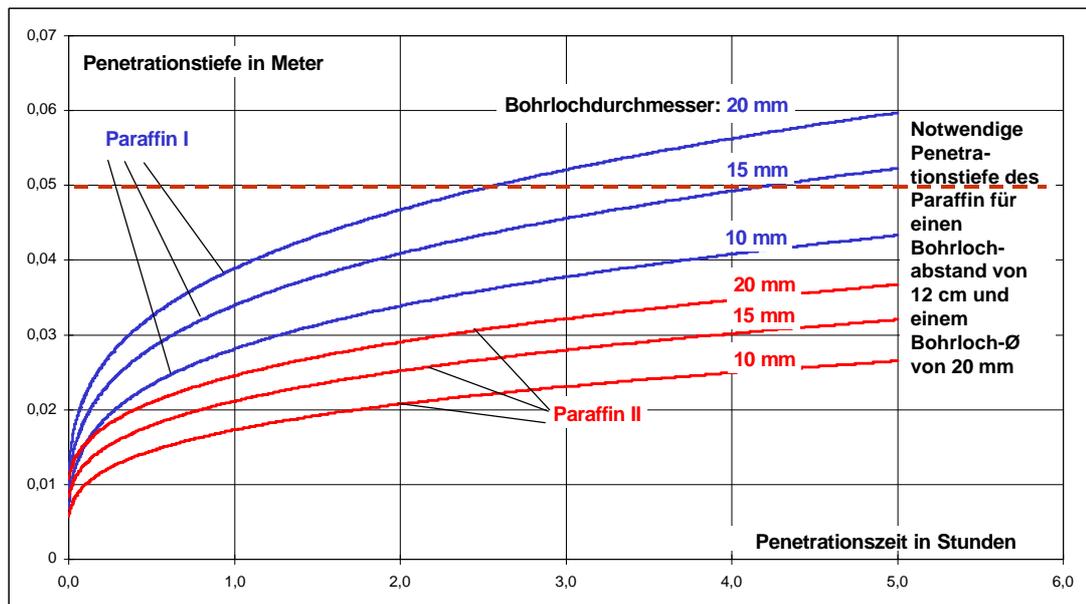
Eine Verringerung des Paraffinschmelzpunktes (= Verwendung eines anderen Paraffins) wirkt sich begünstigend auf die Injektion aus, gegebenenfalls ist dann eine Vergrößerung des Bohrlochabstandes möglich. Es besteht demnach die Möglichkeit, daß im Winter ein anderes Paraffin verwendet werden kann, als in den Sommermonaten. Aus wirtschaftlichen Gründen erscheint dies jedoch nicht sinnvoll.

Die Diagramme 2.18 und 2.19 zeigen, daß selbst bei durchfeuchtetem Erdreich an der Wandaußenseite eines Kellers ausreichend hohe Temperaturen auftreten, die eine Vergrößerung des Bohrlochabstandes ermöglichen. Bei Erdreich mit geringerer Wärmeleitfähigkeit (ggf. trockener) ist die Wärmeabgabe an das entsprechende Material

geringer, die Temperatur an der Wandrückseite ist höher. An dieser Stelle sei darauf verwiesen, daß nach [Wta96] ein maximaler Bohrlochabstand von 12 cm einzuhalten ist. Im Umkehrschluß bedeutet dies, daß bei einem Achsabstand von 12 cm die Garantie für die Ausbildung einer durchgehenden Kapillarwassersperre steigt.

Andererseits kann nach den Ergebnissen aus Diagramm 2.20 der Rückschluß getroffen werden, daß bei Bohrlochabständen über 12 cm die Penetrationszeiten sich deutlich erhöhen, dies gilt ebenfalls für alle anderen Injektionsverfahren. Für eine entsprechende Penetrationstiefe von 5 cm sind im Idealfall ca. 2,5 Stunden erforderlich, 6 cm Penetrationstiefe zum Zusammentreffen der Paraffinfronten zwischen den Bohrlöchern erfordern etwa 5 Stunden.

An dieser Stelle wird die Bedeutung des verwendeten Paraffins für die Injektion und dessen Verlauf dargestellt. Im Diagramm 2.20 ist die Abhängigkeit der Penetrationstiefe von zwei verschiedenen Paraffinen in einen Baustoff vom Bohrlochdurchmesser nach der Zeit dargestellt. Daß die Eigenschaften (Schmelzpunkt, Viskosität, Dichte etc.) verschiedener Paraffine die Penetrationszeiten in einen Baustoff bedingen, ist in den Abschnitten zuvor ausführlich beschrieben.



Diagr. 2.20: Penetrationstiefe von Paraffin in Abhängigkeit von Paraffintyp und Bohrlochdurchmesser

Der Einfluß des Bohrlochdurchmesser auf die Injektionszeiten blieb bisher unberücksichtigt. Im Diagramm 2.20 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Durch größere Bohrlochdurchmesser wird die spezifische Oberfläche, die zur Erwärmung und zum Paraffineintrag in das Mauerwerk dient, bestimmt. Werden größere Bohrlochdurchmesser verwendet, wird die Oberfläche vergrößert (größerer Umfang des Bohrloches), es erfolgt eine raschere Paraffinpenetration in das Mauerwerk.

Wie in diesem Diagramm zu erkennen ist, kann durch die Wahl eines ungeeigneten Paraffins als auch durch zu geringere Bohrlochdurchmesser der Erfolg bei der Paraffininjektion verhindert werden. Bei einem Achsabstand der Bohrlöcher von 12 cm und einem Bohrlochdurchmesser von 20 mm ist durch das Paraffin eine Strecke von 5 cm von der Bohrlochoberfläche zur Mitte zwischen zwei Bohrlöchern zu überwinden. Dies ist demnach bei der richtigen Wahl des Paraffins nach weniger als 3 Stunden möglich, unter der Voraussetzung, daß zuvor das Mauerwerk ausreichend erwärmt wurde. Werden Bohrer mit kleinerem Durchmesser zur Errichtung der Injektionslöcher verwendet, so reduziert sich die wärmeaufnehmende Fläche, es erhöht sich der Penetrationsweg zwischen den Bohrlöchern entsprechend und damit die Zeit für eine erfolgreiche Injektion deutlich. Andererseits ist davon auszugehen, daß für die Herstellung entsprechender Bohrkanäle bei dickeren Mauerwerken ohnehin keine Möglichkeit besteht, kleinere Durchmesser der Bohrer zu verwenden.

2.3.2 Verfahren zur Bauteilbehandlung mit Paraffin zur funktionsfähigen Ausbildung flächenhafter Feuchtigkeitssperren

In der bautechnischen Praxis existiert ein Bedarf an wasserundurchlässigen Schichten im Zusammenhang mit bestimmten technischen Anforderungen. Durch solche Schichten und Behandlungen können beispielsweise

- Innenabdichtungen,
- Abdichtungen für Behälter für Wasser, Schmutzwasser und Flüssigkeiten,
- Abdichtungen für Garagendecks, Parkflächen u.a.m.,

hergestellt werden.

Es liegt auf der Hand, daß sich für solche Zwecke auch paraffinetränkte Schichten eignen, wenn es technisch gelingt, solche Schichten mit vertretbarem Aufwand herzustellen. Dazu wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt und erprobt.

2.3.2.1 Abdichtung von erdberührten Wänden

Untersuchung von Putzsystemen mit Paraffingranulat

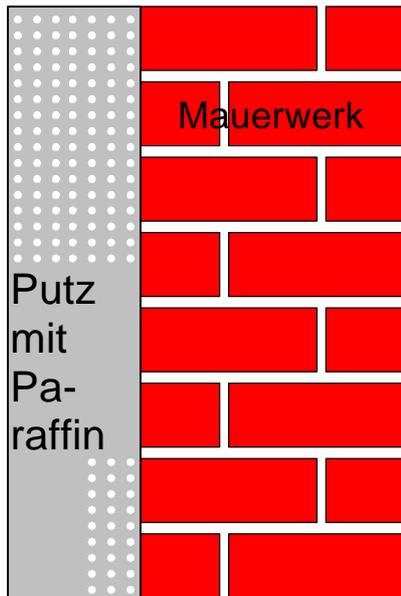


Abb. 2.23: Unterschiedliche Möglichkeiten von Granulatverteilungen im Putz (Paraffinverteilung abstrahiert)

Es wurden u.a. Putzsysteme verwendet, denen in der Mischphase ein Paraffingranulat zugesetzt wurde. Dieses Paraffingranulat wird durch eine Warmbehandlung wie im folgenden beschrieben wird, nach der Verfestigung aufgeschmolzen, so daß es in die Kapillarporen einwandern kann und eine wasserundurchlässige Schicht bildet (Wirkprinzip siehe in dem entsprechenden Kapitel dieser Arbeit). Es wurden unterschiedliche Korngrößen verwendet und zwei Verteilungen des Granulats erprobt (Abb. 2.23). Im oberen Teil der Darstellung ist das Granulat gleichmäßig auf die gesamte Putzschicht verteilt worden. Im unteren Fall ist das Granulat in der ersten Putzlage konzentriert. Durch das im unteren Teil dargestellte zweite Putzsystem sind ggf. folgende Sondereffekte möglich:

Beim Erwärmungsprozeß wird das Paraffin in der ersten Putzlage geschmolzen. Es dauert einige Zeit, bis die Penetration bis zur Oberfläche der zweiten (oberen) Putzlage sichtbar wird. Wird die Penetration sichtbar, ist mit einer hinreichenden Erwärmung, Penetration und Verteilung zu rechnen.

Die Erwärmung der Wand wird so eingestellt, daß das verflüssigte Paraffin nicht bis zur Oberfläche penetriert. Bei guter Funktionsweise erhält man eine wasserundurchlässige Schicht im Inneren des Systems und eine normale Putzoberfläche.

Verwendung von Heißluft und Flammen als Aufheizmedium

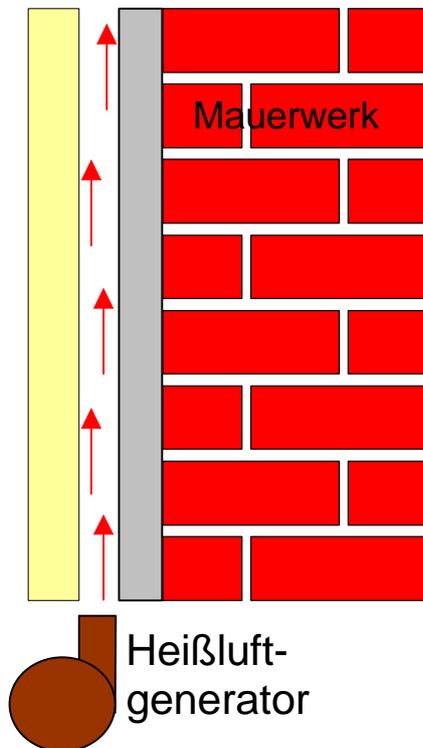


Abb. 2.24: Paraffinpenetration mit Heißluft als Aufheizmedium

Zum Schmelzen des Paraffins und zur Erzielung einer Wasserundurchlässigkeit wurde der prinzipielle Versuchsaufbau in Abbildung 2.24 verwendet. Die Putzschicht kann wie zuvor beschrieben beschaffen sein (Abb. 2.23). Die vorbeiströmende Heißluft erwärmt den Putz. Über einen Wärmeleitungsprozeß erfolgt die Aufwärmung der gesamten Putzschicht, die Verflüssigung des Paraffins und die Paraffinpenetration. Naturgemäß ist mit einem geringen Wärmeübergang zu rechnen. Dies ist in dem vorliegenden Fall ungünstig, da ggf. keine ausreichende Erwärmung erfolgt. Wenn die erwärmte Luft oder ein anderes Medium nicht im Kreislauf geführt wird, ist zusätzlich mit enormen Wärmeverlusten zu rechnen. Unter der Annahme von optimalen Strömungsgeschwindigkeiten wurden unterschiedliche Heizleistungen erprobt und die Effekte studiert.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

Ein Aufschmelzen ist prinzipiell möglich, wobei eine ausreichende Penetration des Paraffins erfolgt. Eine Aufheizung mit handgeführten Aggregaten erscheint nicht möglich. Der Energieaufwand ist sehr hoch. Um Temperaturen um 100 °C auf der Oberfläche zu erreichen, müssen Heizleistungen von etwa 9000 Watt pro Meter Wandlänge Lüfter eingesetzt werden. Eine Aussage über die Größe der zu behandelnden Flächen kann z.Z. nicht gemacht werden. Es ist zu beachten, daß bei entsprechender Erwärmung mit handgeführten Geräten nicht gewährleistet werden kann, daß eine gleichmäßige Paraffinverteilung erfolgt. Zudem kann es zu starken Temperaturspannungen kommen, da die Gleichmäßigkeit der Erwärmung fehlt.

Bei Versuchen ergaben sich, bedingt durch die poröse und raue Oberfläche, Teilverfärbungen auf Grund der lokalen Temperaturunterschiede.

Aufheizung durch Strahlung

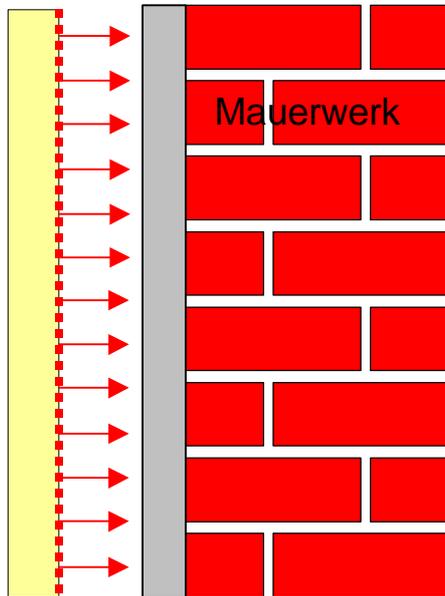


Abb. 2.25: Paraffinpenetration mit Wärmestrahlung als Aufheizprinzip

Zum Schmelzen des Paraffins und zur Erzielung einer Wasserundurchlässigkeit wurde der prinzipielle Versuchsaufbau in Abbildung 2.25 verwendet. Die flächenförmige Strahlungsquelle erwärmt den Putz. Über einen Wärmeleitungsprozess erfolgt die Aufwärmung der gesamten Schicht, die Verflüssigung des Paraffins und die Paraffinpenetration. Naturgemäß ist mit einem großen Wärmeübergang zu rechnen, so daß sich der Energieeinsatz gegenüber der Erwärmung mit Heißluft reduziert. Bei gleichen Oberflächentemperaturen ergibt sich ein analoges Aufheizverhalten.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

Ein Aufschmelzen ist prinzipiell möglich, auch mit ausreichender Penetration des Paraffins. Wird die Wandoberfläche wie in Abbildung 2.25 dargestellt, flächig und gleichmäßig erwärmt, können Temperaturspannungen nur in einer Richtung (in die Tiefe) auftreten. Von einer gleichmäßigen Erwärmung kann ausgegangen werden. Eine Aufheizung mit handgeführten Aggregaten erscheint nicht möglich. Der Energieaufwand ist hoch. Um Temperaturen um 100 °C auf der Oberfläche zu erreichen, müssen Heizleistungen von etwa 3000 Watt pro 1 m² Wandfläche eingesetzt werden.

Bei Versuchen ergaben sich, bedingt durch die poröse und rauhe Oberfläche, Teilverfärbungen durch lokale Temperaturunterschiede. Weiterhin kann es zu einem Ablösen der Putzschicht von der Wandoberfläche während des Aufheizvorganges kommen. Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist dies zu beachten und geeignete Maßnahmen zum Schutz der Putzschicht sind zu ergreifen.

Aufheizung durch Heizebenen

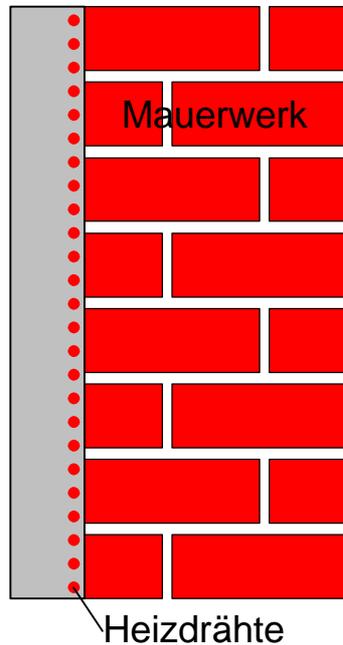


Abb. 2.26: Putzheizung mittels Heizebenen

Die bei den bisher verwendeten Verfahren erforderliche Heizleistung und die Notwendigkeit stationärer Einrichtungen führte zur Entwicklung und Erprobung einer weiteren Variante, die Verwendung von in die Putzschichten eingebauten Heizebenen. Dadurch sind prinzipiell in der Anfangsphase die Verluste minimiert und auch später relativ gering. Die Heizebene kann wie in Abbildung 2.26 gleichzeitig als Armierung genutzt werden, so daß die Stabilität der Putzschicht erhöht wird. Eine Armierung wird für dieses Prinzip dringend empfohlen. Die Erwärmung der Putzschicht erfolgt nicht von der Oberfläche, sondern aus dem Inneren des Bauteils heraus. Der Größe bei der Anwendung sind zunächst keine Grenzen gesetzt. Als ein großer Vorteil erscheint, daß kein zusätzlicher Arbeitsprozeß erforderlich ist. Das Einlegen einer Putzarmierung mit entsprechenden Heizdrähten o.ä. vorausgesetzt.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

Ein Aufschmelzen ist prinzipiell möglich und auch sehr effektiv machbar, da die Wärme im Inneren der Putzschicht freigesetzt wird. Die Herstellung von preiswerten und anpassungsfähigen Heizebenen erscheint möglich. Der Energieaufwand beträgt bei einem sinnvollen Aufwärmverhalten etwa 1000 Watt pro 1 m² Wandfläche. Von den bisher vorgestellten Varianten erscheint diese Methode am besten zu realisieren.

Im folgenden wird ein Überblick über die bisher dargestellten Möglichkeiten und die durchgeführten Untersuchungen gegeben. Zunächst handelt es sich um kleinere Versuchskörper, die im Labor untersucht wurden. Es war die Anforderung zu erfüllen, sowohl den Putz als auch eine gewisse Tiefe (nicht näher definiert) im Untergrund mit Paraffin zu penetrieren. Mehrere Versuchskörper sind mit unterschiedlichen Paraffinkonzentrationen und für verschiedene Erwärmungsverfahren hergestellt worden. Eine entsprechende Übersicht gibt Tabelle 2.26. Die Paraffinkonzentration bezieht sich auf die Masse des Trockenmörtels. Die Proben bestehen aus den folgenden Materialien. Jeweils 2 Ziegelsteine sind zu einer Größe von ca. 25 x 25 cm zusammengefügt und mit einer Schalung versehen worden. Die Probe II wurde statt der Ziegel mit einem

Dämmaterial aus Calciumsilikat versehen. Die Untersuchungen dienten dazu, festzustellen, inwieweit die Wärmeableitung in die hinterliegenden Bereiche Einfluß auf die Erwärmung und damit die Verteilung des Paraffins hat. Die erforderlichen Heizdrähte wurden anschließend mit Metallstiften an der Schalung befestigt und über der Ziegeloberfläche verlegt. Der jeweilige Abstand der Heizdrähte ist Tabelle 2.26 zu entnehmen. Anschließend wurde der Frischmörtel mit dem beigemengten Paraffin in einer Stärke von 2,0 bis 2,5 cm aufgetragen.

Nachdem die Proben mind. 3 Tage aushärteten, wurde mit der vorgesehenen Erwärmung begonnen. Es ist klar, daß der Abbindeprozeß des Mörtels zu diesem Zeitpunkt keinesfalls abgeschlossen war. Wichtig war bei diesen Untersuchungen, ob und wie sich das Paraffin in der Mörtelschicht verteilt. Dies kann bereits zu diesem Zeitpunkt festgestellt werden. Es ist davon auszugehen, daß mit der Paraffinverteilung das Abbinden des Mörtels abgeschlossen ist. Die wesentlichen Ergebnisse und eine Kurzerläuterung sind in Tabelle 2.26 zusammengestellt.

Für alle Proben gilt:

- Die Herstellung und Erwärmung der Proben erfolgte bei Raumklima (22 - 26 °C, 30 - 50 % rel. LF).
- Die Oberfläche des Putzes wird bei der Erwärmung weich. Durch die Messung der Oberflächentemperatur entstanden z.T. irreversible Druckstellen. Dies läßt sich durch eine gezielte Begrenzung der Paraffinmenge vermeiden.
- Die Randbereiche sind nur teilweise mit Paraffin durchtränkt, da die Wärmeabgabe an die Umgebung in diesem Bereich am größten ist. Für die Praxis sind diese Zonen von untergeordneter Bedeutung, entsprechende Putzflächen sind größer, diese Bereiche können gezielt bearbeitet werden bzw. sind nicht vorhanden, da angrenzende Bauteile einen entsprechenden Dämmeffekt haben.
- Bei einer gemessenen Oberflächentemperatur von knapp 50 °C schmolz das Paraffin an der Oberfläche aller Proben (ggf. Meßfehler). Es wird darauf verwiesen, daß die Temperatur des flüssigen Paraffins höher lag. Der Schmelzpunkt der verwendeten Paraffine liegt bei 58 - 60 °C. Das sich verteilende flüssige Paraffin trägt zur Erwärmung der Putzfläche bei. Im Diagramm 2.21 sind für die Proben III, V und IX die Temperaturverläufe an der Oberfläche dargestellt.
- Mehrere Putze lösten sich nach der Erwärmung von den Ziegeln. Als eine Ursache kommt die Temperaturdehnung zwischen Putz und Ziegel, sowie die Ausdehnung des Paraffins bei der Erwärmung in Frage.
- Mikroskopische Betrachtungen von Bruchflächen zeigten, daß das geschmolzene Paraffinpulver Hohlstellen hinterläßt.

Die Proben VIII und IX wurden auf der Oberfläche zur Hälfte mit Hydrophobierungsmittel bestrichen. Die Verdunkelung der Oberfläche durch das Hydrophobierungsmittel ist deutlich geringer als durch Paraffin. Die Hydrophobierung sollte ein Durchschlagen des Paraffins an die Putzoberfläche verhindern. Dies ist nicht gelungen. Die Ursache ist vermutlich das Hydrophobierungsmittel, welches nicht auf die Eigenschaften von Putz und Paraffin abgestimmt ist. Zum anderen ist es möglich, daß die Eigenschaften des Hydrophobierungsmittels durch die Temperaturerhöhung geändert werden bzw. ein anderes Hydrophobierungsmittel anzuwenden ist.

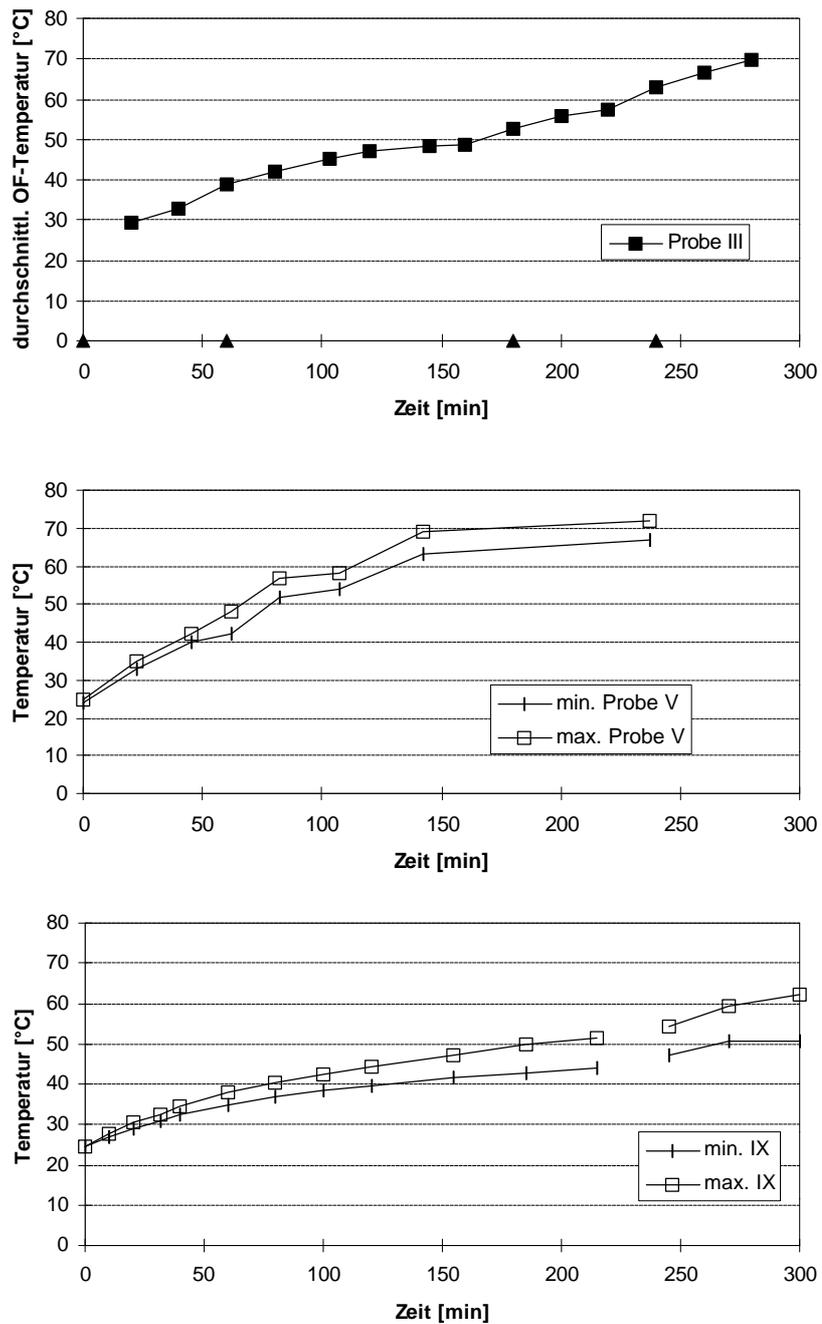
Die Proben XI bis XIV wurden mit einem zweilagigem Putz versehen und mit Heißluft bzw. Wärmestrahlung erwärmt. Die erste Putzlage enthielt 15 M-% Paraffin bezogen auf den Trockenmörtel. Die zweite Lage (= Decklage) enthielt kein Paraffin. Es sollte verhindert werden, daß Paraffin an die Oberfläche tritt, um eine intakte Putzoberfläche herzustellen. Ein weiteres Anliegen war, eine Kontrollmöglichkeit für die ausreichende Penetration des Paraffins in den Putz zu finden. Ist die Putzoberfläche vollständig durch das Paraffin verfärbt, ist auch die gesamten Fläche im Querschnitt ausreichend mit Paraffin getränkt und abgedichtet. Jede der beiden Lagen ist ca. 2 cm stark. Weitere Details gehen aus der Tabelle 2.26 hervor.

Für die Versuche mit den Proben XI bis XIV ergeben sich folgende Resultate:

- Paraffin schlug nur an dünneren Putzstellen durch, der zweilagige Putz erfüllte die gestellten Anforderungen.
- Eine Qualitätskontrolle ist schwierig.
- Durch die Aufsaugversuche im Anschluß an die Erwärmung der Proben wurde festgestellt, daß nur sehr geringe Mengen bzw. kein Paraffin in den Ziegel eingedrungen ist.
- Bei der Erwärmung durch Heißluft bildete sich eine „Paraffinlinse“ im Putz. Bei den Aufsaugversuchen zur Überprüfung des Verfahrens, wurde Wasser um diese herum verteilt, einschl. an der Oberfläche der Proben.
- Die Haftung des Putzes auf dem Ziegel ist nicht ausreichend, konnte jedoch gegenüber den vorherigen Versuchen verbessert werden.

Pr.	Paraffin	Paraffin- anteil	Erwärmungsart, Draht- bzw. Geräteabstand		Leistung [W/m ²]	erstes Paraffin an der OF		Dauer gesamt t [h]	Durchträngung		
				[cm]		T [°C]	t [h]		Putz	Ziegel	
I	6003 G.	20 M-%	Heizdraht	1	1760	-	-	2	bis ¾ cm, OF gar nicht	bis 0,5 cm	nach 2 Stunden abgebrochen (mangelnde Haftung zwischen Putz und Ziegel, Ursache: unzureichende Vorbehandlung der Ziegeloberfläche vor dem Putzauftrag)
II	6003 G.	20 M-%	Heizdraht (auf CB)	1	1950	53	1,5	2	vollständig	CaSi (nicht sichtbar)	geringe Wärmeleitfähigkeit der CaSi - Platte, sehr schnelle Erwärmung des Putzes, da geringe Wärmeabgabe an die Unterseite
III	6003 G.	7,5 M-%	Heizdraht	1	1110-2380	- (bis 69,6)		4,5	vollständig	bis 2 cm	Erfüllung der gestellten Anforderungen
IV	6003 G.	7,5 M-%	Heizdraht	2	1110 - 2370	- (bis 60)		4,5	kaum	-	an der Oberfläche wurde das Paraffingranulat nur erwärmt ohne zu schmelzen
V	5803 Terhell	22,5 M-%	Heizdraht	0,5	2580 - 3260	48 (bis 72)	1	4	vollständig	bis 2 cm	mangelnde Haftung des Putzes nach Erwärmung (sehr geringer Heizdrahtabstand)
VI	5803 Terhell	22,5 M-%	Heizdraht	0,75	2630 - 3320	47 (bis 56)	2	4	vollständig	nur an OF	kein Paraffin im Ziegel, da mangelnde Haftung zwischen Putz und Ziegel
VII	5803 Terhell	22,5 M-%	Heißluft	1	-	> 100 (bis 200 °C)		4	max. ½	-	punktweise Erwärmung, kein Paraffin an der Unterseite des Putzes bzw. im Ziegel, Verfärbungen
VIII	“	22,5 M-%	Heizdraht	2	1450-2470	47-50	4,75	5	¼ der OF	?	
IX	5803 Terhell	22,5 M-%	Heizdraht	1,5	1380 - 2370	47-50	3	5	vollständig	außen bis 1 cm	es wird davon ausgegangen, daß mindestens 1 cm des Ziegels durchtränkt ist
X	5803 Terhell	22,5 M-%	Heißluft	19	-	> 100 (bis 175)	15 sek.	3,17	tw. vollständig	?	Erwärmung der Probe nur an einer Stelle, Temp. 0,5 cm über OF gemessen
XI	5803 Terhell	15 M-% im Grundputz	Heißluft	30 (20)	1600 W	67,2 (bis 117)	6	6	?	?	Bildung einer mittigen „Paraffinlinse“, mehrere Stellen, an denen Paraffin durchschlug
XII	5803 Terhell	15 M-% im Grundputz	Strahlung	1	1200 W	- (bis 178)	-	6	Grundputz vollständig	bis 0,5 cm (ohne Rand)	Temp. auf 160 °C begr., kein Paraffin an OF, nach Wasserlagerung kein Wasserdurchschlag
XIII	5803 Terhell	15 M-% im Grundputz	Heißluft	20	1600 W	- (bis 138)	-	6	?	?	Verwendung alter Ziegel („Paraffinlinse“), bei Wasserlagerung am Rand Wasser an OF
XIV	“	“	Strahlung	1	1200 W	- (bis 176)	-	5 3/4	?	?	Temp. auf 170 °C begr., Verwendung alter Ziegel

Tab. 2.26: Übersicht über die hergestellten Putzproben, Auswertung und Kurzerläuterung (Kürzel G. bei der Paraffinbezeichnung bedeutet Granulat)



Diagr. 2.21: Darstellung der Oberflächentemperaturen für die Proben III, V und IX, die den gestellten Anforderungen entsprechen. Bei Probe III wurde an den jeweiligen Dreieckspunkten (Markierung auf der x-Achse) mit einem Regeltrafo die Stromstärke erhöht. Die Probe V wurde auf eine Stromstärke von konstant 9 A gehalten. Bei Probe IX wurde nach 220 min. die Stromstärke erhöht. Bei einer Oberflächentemperatur ab 48 °C trat flüssiges Paraffin an die Oberseite der Proben. Die unterschiedliche Dauer ergab sich durch die unterschiedlichen Heizdrahtabstände.

Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Laborversuchen:

- Die Paraffinmenge kann auf den Putz und den Putzgrund abgestimmt werden. Eine Paraffinmenge von 7,5 M-% im Trockenmörtel ist nach den Versuchen ausreichend, ein Anteil von 15 M-% erwies sich als optimal. Es wird davon ausgegangen, daß die Konsistenz des Putzes bei der Erwärmung erhalten werden kann.
- Durch die Erwärmung mit Heißluft wird die Oberfläche sehr stark erhitzt, es werden Temperaturen über 200 °C (je nach Abstand) erreicht. Wann der Putz mit Paraffin vollständig durchtränkt ist, kann nicht festgestellt werden. Die thermische Oberflächenbehandlung ist schwierig zu kontrollieren, es können z.B. dunkle Verfärbungen entstehen.
- Bei der Erwärmung durch Heißluft geht wegen des großen Abstandes zwischen Gebläse und Putzoberfläche sehr viel Wärme verloren. Das Ergebnis mittels der Wärmestrahlung ist günstiger ausgefallen, da durch den geringen Abstand mehr Energie übertragen werden kann. Vergleiche hierzu die Heizleistungen der einzelnen Verfahren.
- Die Ergebnisse zur Erwärmung des Putzes durch das Heizdrahtverfahren und durch Wärmestrahlung erwiesen sich als günstigste Verfahren. Die Fläche wird gleichmäßig erwärmt und das Paraffin wird gleichmäßig aufgeschmolzen.
- Ein Heizdrahtabstand von 0,75 - 1,5 cm ist optimal.
- Durch die Verwendung eines Paraffins mit niedrigerem Schmelzpunkt läßt sich die thermische Belastung der Putzfläche verringern. Ein Schmelzpunkt von 40 - 45 °C sollte als Orientierung gelten.
- Nach der Durchtränkung des Putzes mit Paraffin ist eine Beschichtung der Fläche möglich, eine Anwendung von zweischichtigen Putzen (eine Putzschicht mit Paraffin getränkt, die zweite nicht) ist nicht erforderlich, aber möglich.
- Eine Möglichkeit der Qualitätskontrolle ist die Temperaturmessung an der Grenzschicht zwischen Putz und Mauerwerk. Wird eine bestimmte Temperatur über einen Zeitraum gehalten bzw. überschritten, kann von einer ausreichenden Durchtränkung ausgegangen werden.
- Bei einer Lufttemperatur ab 48 °C über der Putzoberfläche trat flüssiges Paraffin an die Oberseite der Proben. Die unterschiedliche Dauer ergab sich durch die unterschiedlichen Heizdrahtabstände.

Die Versuche für die Heizdrahterwärmung wurden an zwei Wandflächen fortgesetzt :

Fläche 1	1 x 0,95 m
Fläche 2	1 x 0,98 m
Heizdrahtabstand	1,5 cm
Putzstärke	Fläche 1 ca. 30 mm Fläche 2 ca. 20 mm
Paraffin	Typ 5803 Terhell
Drahtlänge	ca. 70 m

Die Fläche 1 diente zur Überprüfung des Verfahrens an einer praxisnahen Wandfläche. Die Wandfläche wurde 7 ½ Stunden erwärmt. Es wurde ein Strom von 9 - 10 A angelegt, bei einer Spannung von etwa 60 V, dies entspricht einer Leistung von 570 - 630 W/m². Da die Putzoberfläche sehr uneben war, wurde nicht die gesamte Sichtfläche mit Paraffin durchtränkt. Wie sich an der zweiten Fläche zeigte und bereits an den Laborproben zu erkennen war, ist davon auszugehen, daß die Unterseite (= Wandseite) vollständig mit Paraffin durchtränkt ist.

Die Fläche 2 wurde durch eine Firma hergestellt. Es wurde gegenüber der Fläche 1 zunächst ein Spritzbewurf aufgebracht und ein hydrophob eingestellter Putz verwendet. Es entstand eine ebene Oberfläche. Während des Abbindens des Putzes bildeten sich einige Risse in der Putzoberfläche. Diese sind z.T. auf die zu geringe Putzschicht zurückzuführen. Die Risse (bis auf eine Ausnahme) verlaufen parallel zu den Heizdrähten. Es ist davon auszugehen, daß der Heizdraht wie eine einlagige Bewehrung wirkt. Der Putz konnte sich nur in Querrichtung bewegen, bzw. eine Verteilung der Spannungen fehlte, so daß die Risse entstanden. Dies kann bei der Anwendung, wie auf den vorigen Seiten beschrieben, vermieden werden.

Die Erwärmung der Fläche 2 dauerte 7 h, bei einer Stromstärke von 10 A und einer Spannung zwischen 80 und 90 V. Dies entspricht einer Leistung von 820 - 920 W/m². Auf der Fläche 2 wurden an 6 verschiedenen Punkten das Wassereindringvermögen mittels Karsten'scher Prüfröhrchen untersucht. Drei der Meßpunkte lagen auf optimalen Putzuntergrund und waren sehr gut mit Paraffin durchtränkt. Zwei Meßpunkte lagen auf Stellen, an denen das Paraffin nicht auf die Oberfläche durchgeschlagen ist. Ein Meßpunkt lag auf einer Fehlstelle der Oberfläche des Putzes. Die Wassermenge, die durch die Fehlstellen aufgenommen wurde und Messungen an Rissen erbrachten keine auswertbaren Ergebnisse. Es wird davon ausgegangen, daß eine ausreichende Dichtigkeit vorliegt. Bei allen Meßpunkten drang innerhalb einer Stunde weniger als 0,1 ml Wasser ein.

Mit einem Schmidt-Hammer (Modell PT) wurde die Würfeldruckfestigkeit des Putzes der Putzfläche 2 ermittelt. Die Meßwerte sind in Tabelle 2.27 zusammengefaßt.

Meßstelle	Meßwert	Meßstelle	Meßwert
11	25	21	27
12	28	22	23
13	30	23	27
14	28	24	35
15	26	25	28
16	25	26	28
17	28		
18	26		
19	28		
Durchschnitt	27,1		28

Tab. 2.27: *Mittels Schmidt-Hammer auf der Oberfläche des paraffinierten Putzes gemessene Druckfestigkeit*

Die Würfeldruckfestigkeit W_m des paraffinierten Putzes auf der Fläche 2 beträgt $2,5 \text{ N/mm}^2$ ($0,4 \text{ N/mm}^2$). An 5 verschiedenen Stellen wurde die Haftzugfestigkeit der Fläche 2, nach dem Erwärmen der Fläche, geprüft. Die Meßwerte und das Ergebnis sind der Tabelle 2.28 zu entnehmen.

Probe	Meßwert	Prüffläche		Haftzugfestigkeit
	kN	mm	mm ²	N/mm ²
1	0,75	53	2206,18	0,34
2	1,05	53	2206,18	0,48
3	(0,4)	53	2206,18	(0,18)
4	1,15	53	2206,18	0,52
5	0,8	53	2206,18	0,36
∅	0,94	53	2206,18	0,42

Tab. 2.28: *Haftzugfestigkeit der paraffinierten Putzfläche auf dem Untergrund (Durchschnittswerte ohne Probe 3)*

Die Tiefe der Kernbohrung war bei allen Proben $\geq 20 \text{ mm}$. Bei allen Bohrungen war in der Bohrfuge der Ziegelstein des darunterliegenden Mauerwerks (außer bei Probe 3) sichtbar. Probe 3 wurde bei der Auswertung nicht berücksichtigt, da ein Hohlraum (Fuge im Mauerwerk) unter der Prüffläche lag. Es zeigte sich, daß die für die Haftzugfestigkeit schwächste Schicht innerhalb des Putzes sich in Höhe der Heizebene befindet. Direkte Vergleichswerte zur Druckfestigkeitsprüfung und zur Haftzugprüfung liegen nicht vor.

Fazit:

Die Ergebnisse der Wandversuche ergeben folgende, zusätzliche Ergebnisse:

- Durch die Verwendung von Heizgittern o.ä. wird (siehe u.a. Thermografieaufnahme Abbildung 2.27) die Wärmeverteilung verbessert. Zusätzlich wird die Rissneigung im Putz durch einen entsprechend geringeren Anteil von Heizdrähten verringert.
- Der in Abbildung 2.27 sichtbare diagonale Streifen höherer Temperatur ergibt sich durch einen zuletzt über die gesamte Fläche verlegten Heizdraht. Dieser entfällt bei Verwendung eines flächigen Systems.
- Bereiche höherer bzw. niedrigerer Temperatur ergeben sich durch die Variation des Abstandes vom Heizdraht zur Putzoberfläche. Bereiche bei denen eine Oberflächentemperatur von über 80 °C gemessen wurde, sind für die praktische Anwendung zu vermeiden und vermeidbar.
- Es ist nicht erforderlich, Putze mit besonderen Eigenschaften (z.B. hydrophobe Putze) zu verwenden, da die entstehende Dichtigkeit des Putzes ohnehin sehr hoch ist. Es wird empfohlen, einen „normalen“ Putz zu verwenden, der über gute kapillare Eigenschaften verfügt.

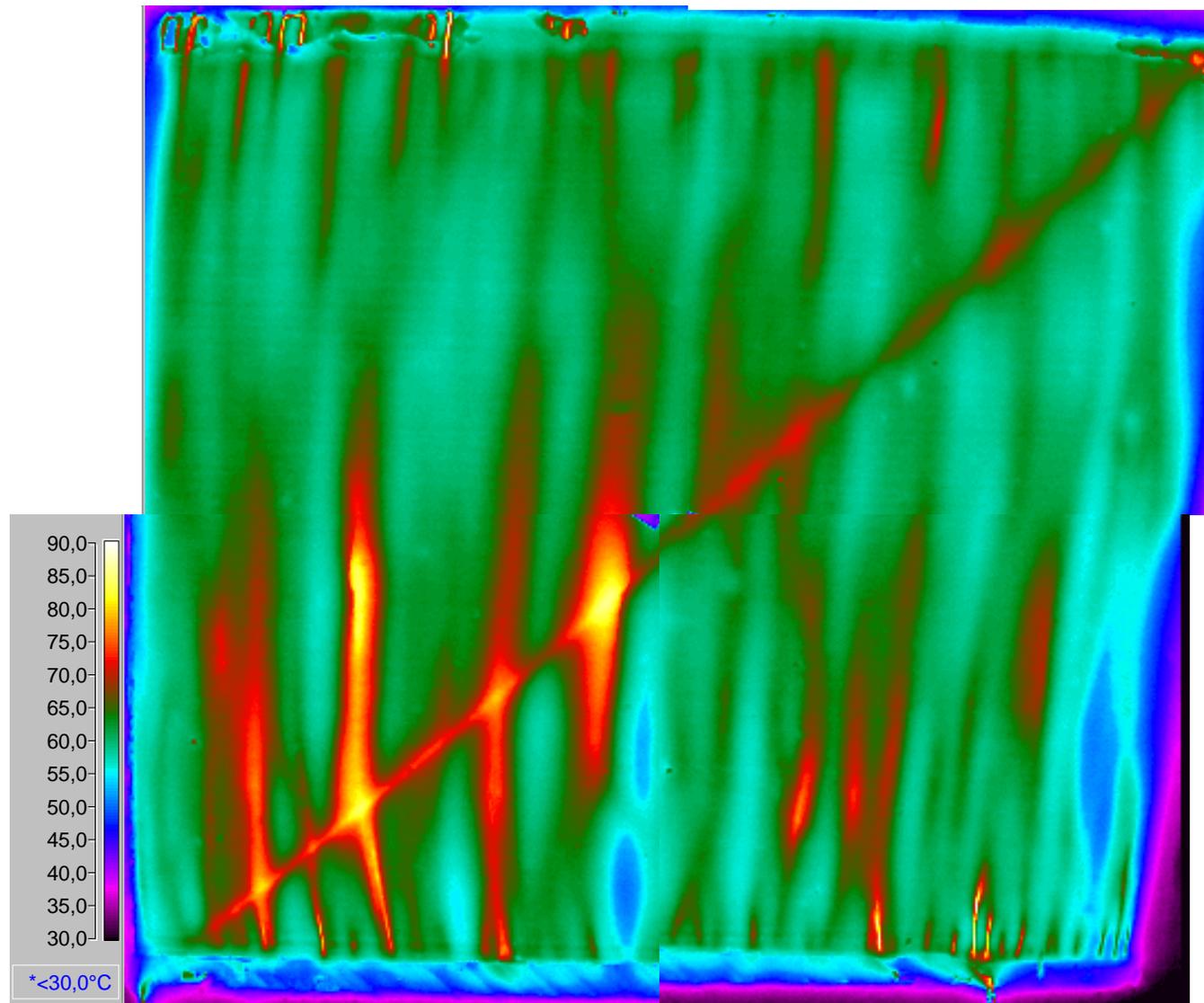


Abb. 2.27: Thermografische Darstellung der gesamten Wandfläche 2 (Höhe 100 cm; Heizleistung 820 - 920 W/m²)

Verwendung normaler Putzsysteme bei einer Paraffintränkung durch strömende Paraffinfilme

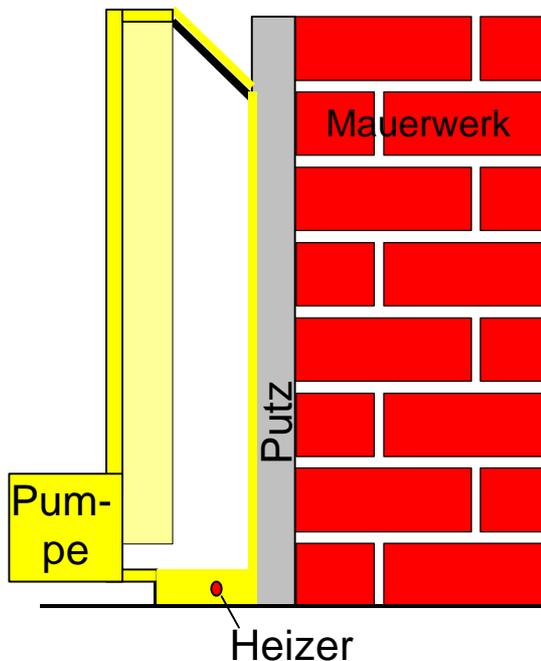


Abb. 2.28: Erzeugung paraffinetränkter Putzschichten durch ablaufende Paraffinfilme

Die bisher vorgestellten Verfahren und Methoden zeigen zwar eine prinzipielle Eignung, doch erscheint das Handling (z.B. Heißluft) und die Praktikabilität (z.B. Strahler) noch nicht ausreichend. Deshalb wurde nach weiteren Möglichkeiten gesucht, paraffinetränkte Putzschichten herzustellen. Als machbare Lösung wird eine Tränkung mit ablaufenden Paraffinfilmen gesehen. Das Funktionsprinzip ist schematisch in der Abbildung 2.28 dargestellt. Das Paraffin wird erhitzt und über eine Pumpe in höher gelegene Bereiche der Wand transportiert. Dort wird es auf der Wandoberfläche verteilt und läuft über die Wandoberfläche ab. Die Wärmeübertragung von Flüssigkeitsfilmen ist sehr hoch, wobei gleichzeitig eine maximale Penetrationsmenge zur Verfügung steht. Das Verfahren ist sehr anpassungsfähig und erfordert einen geringen Einsatz an Vorrichtungen und Material. Weiterhin können normale Putze, alte Putze oder Putz-Wand-Systeme ohne Probleme getränkt werden. Die Höhe der zu tränkenden Putzschicht kann frei gewählt werden.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden:

Die Erzeugung ablaufender Paraffinfilme ist prinzipiell möglich und auch sehr effektiv machbar. Die notwendigen Auffangwannen können einfach u.a. aus feuchtem Sand hergestellt werden und gleichzeitig als Heizwannen genutzt werden. Das in den vor Ort gefertigten Auffangwannen anstehende Paraffin bewirkt gleichzeitig einen sicheren Wand-Boden-Anschluß der Sperrschicht.

Der Energiebedarf wird teilweise aus dem Wärmeinhalt des Paraffinvorrats entnommen, so daß der anfänglich auftretende hohe Energieverbrauch zum Aufschmelzen des Paraffins über die Wärmespeicherfähigkeit des Paraffins abgedeckt wird. Der stationäre Endverbrauch beträgt etwa 500 W pro m² Wandfläche.

An einer Wandoberfläche wurde die zuvor beschriebene Tränkung von Flächen durch einen ablaufenden Paraffinfilm getestet. Die Untersuchungen erfolgten auf einer vorhandenen Kalk-Putzoberfläche in der TU Wien. Die Oberfläche wird nicht weiter aufbereitet (Abklopfen loser Teile, Entfernen von Farbresten, Reinigen der Oberfläche).

Zunächst wurde eine Auffangwanne für das Paraffin installiert. Diese Wanne bestand aus einem einseitig offenen Metallkasten. Dieser Metallkasten wurde an der Wand verspannt, die Abdichtung erfolgte über eine Art Gummilippendichtung. In dieser Wanne befanden sich Heizstäbe, mit denen das Paraffin erwärmt und verflüssigt wurde. Über eine Schlauchpumpe bzw. Zahnradpumpe wurde das Paraffin in eine Höhe von ca. 2 m befördert. Dort wurde es in ein Metallrohr eingeleitet. Dieses Rohr wurde quer über die zu tränkende Wandfläche installiert. In einem regelmäßigen Abstand befinden sich in diesem Rohr Öffnungen, aus denen das Paraffin austreten kann. Durch die Regulation der Pumpenleistung und dem daraus eingestellten Druck wird die Förderleistung bestimmt. Diese muß zunächst so groß sein, daß das Paraffin das gesamte Rohr mit den Öffnungen durchströmt, um eine gleichmäßige Paraffinverteilung zu erreichen. Aus diesem Grunde wurde das Rohr z.T. von 2 Seiten mit Paraffin beschickt.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

- Die Eindringtiefe des penetrierten Paraffins wird mit über 2 cm gemessen. Teilweise wurde der Wandbildner mitpenetriert. Die Eindringtiefe kann wesentlich verbessert werden, wenn die Oberfläche, über die das Paraffin abläuft gereinigt und von Farbresten befreit ist.
- Der ablaufende Paraffinfilm stellt sich in der thermografischen Aufnahme nach Abbildung 2.29 als rote Fläche dar. Die „Spaltung“ in 2 ablaufende Paraffinfilme ist technisch durch die verwendete Förderpumpe für das Paraffin bedingt. Mit einem leistungsfähigeren Aggregat wird ein geschlossener Paraffinfilm erreicht.
- Die Abkühlung des ablaufenden Paraffins ist sehr gering (siehe Abb. 2.29 und 2.30). Dies wird mit der hohen Wärmespeicherfähigkeit des Paraffins begründet. Die Temperaturdifferenz beträgt weniger als 5 K zwischen der Oberseite (Beginn des Paraffinfilms auf der Wandoberfläche) und der Unterseite (Wiedereintritt des Paraffins in den Auffangbehälter).
Nicht außer Acht gelassen werden darf, daß durch das Paraffin eine Erwärmung der Wand erfolgt. Ist ein stationärer Zustand erreicht, kann die Wand nicht weiter erwärmt werden, der Wärmeverlust ist aus diesem Grunde ebenfalls reduziert.
- Daß eine ausreichende Erwärmung der Wand erfolgte, ist in den thermografischen Aufnahmen in Abbildung 2.31 ersichtlich. Der Wandquerschnitt beträgt ca. 40 cm. Auf

der Rückseite der getränkten Wandfläche wurden Temperaturerhöhungen gegenüber den benachbarten Flächen von ca. 10 K gemessen.

- Daß flüssiges, erwärmtes Paraffin für die Erwärmung der Wandoberfläche zu verwenden, ist eine praktikable und mit einem geringen technischen Aufwand realisierbare Aufgabe. Paraffin eignet sich auch hier hervorragend als Wärmeträger.

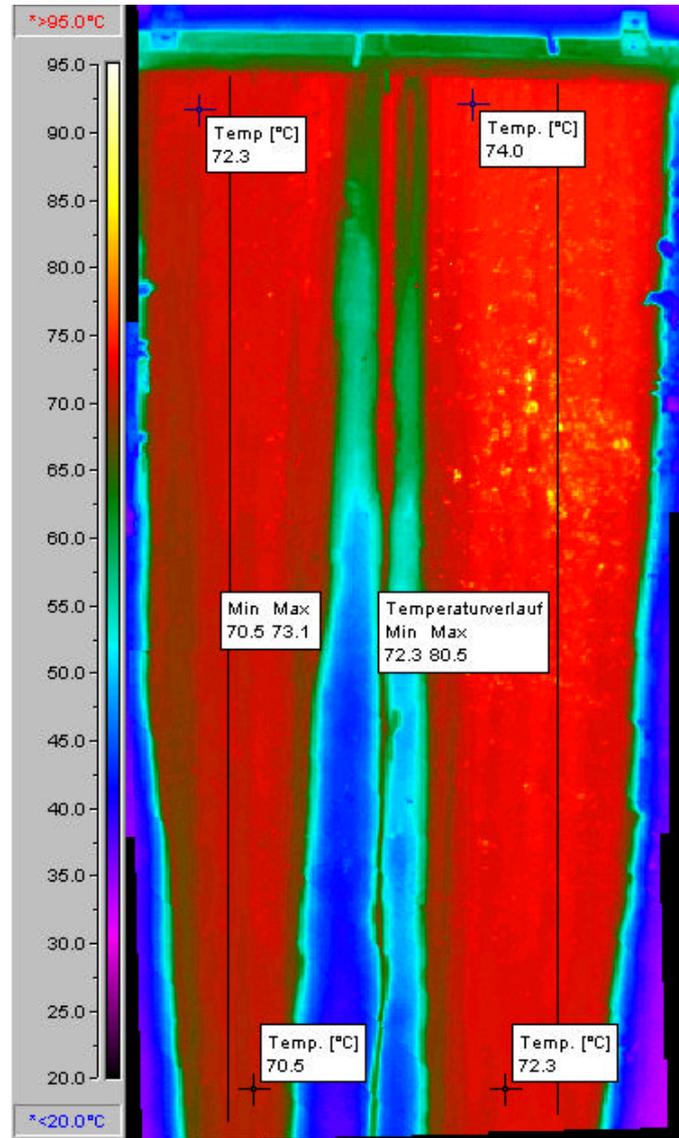


Abb. 2.29: Thermografische Aufnahme der Wandoberfläche während des Ablaufens des Paraffinfilmes - Dargestellt sind an 4 Punkten die jeweiligen, durch die Thermokamera gemessenen Oberflächentemperaturen. Zusätzlich ist auf der linken und rechten Bildhälfte eine senkrechte Linie dargestellt. Für diese Linie ist jeweils die Maximal- und die Minimaltemperatur der Oberfläche angegeben. (Die gelben Punkte auf der rechten Bildhälfte sind durch thermische Reflexionen entstanden. Daher ergibt sich im rechten Temperaturverlauf eine höhere Maximaltemperatur als links, da diese Reflexionen mit erfaßt wurden.)

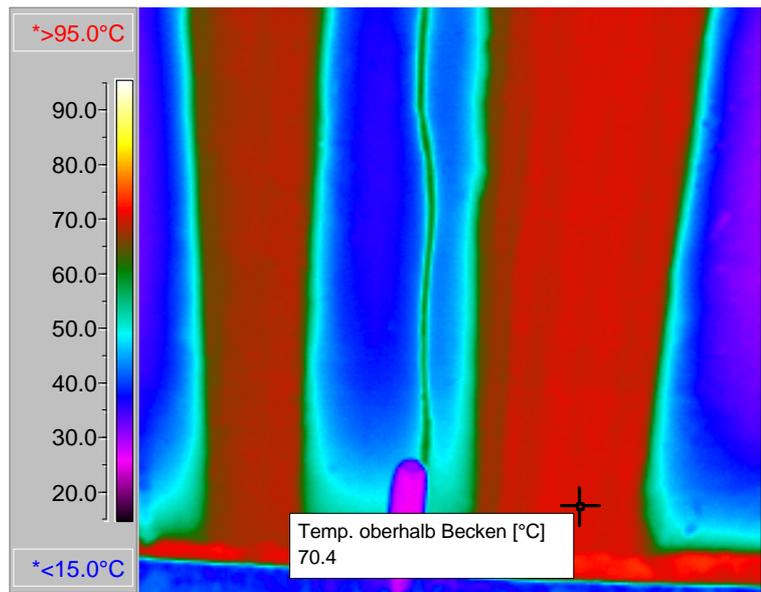


Abb. 2.30: Unterer Teil der Fläche, die mit einem Paraffinfilm getränkt wurde. Die dargestellte Temperatur entspricht der Mitte des Fadenkreuzes rechts, oberhalb der Beschreibung.

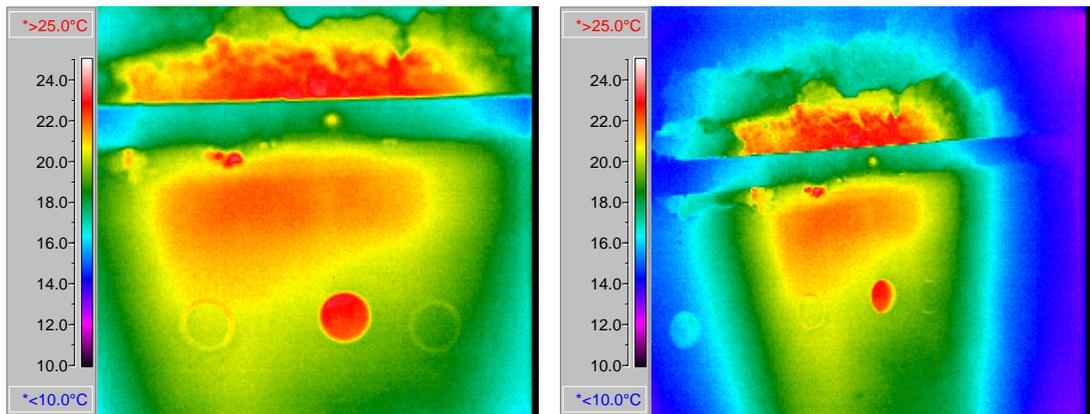
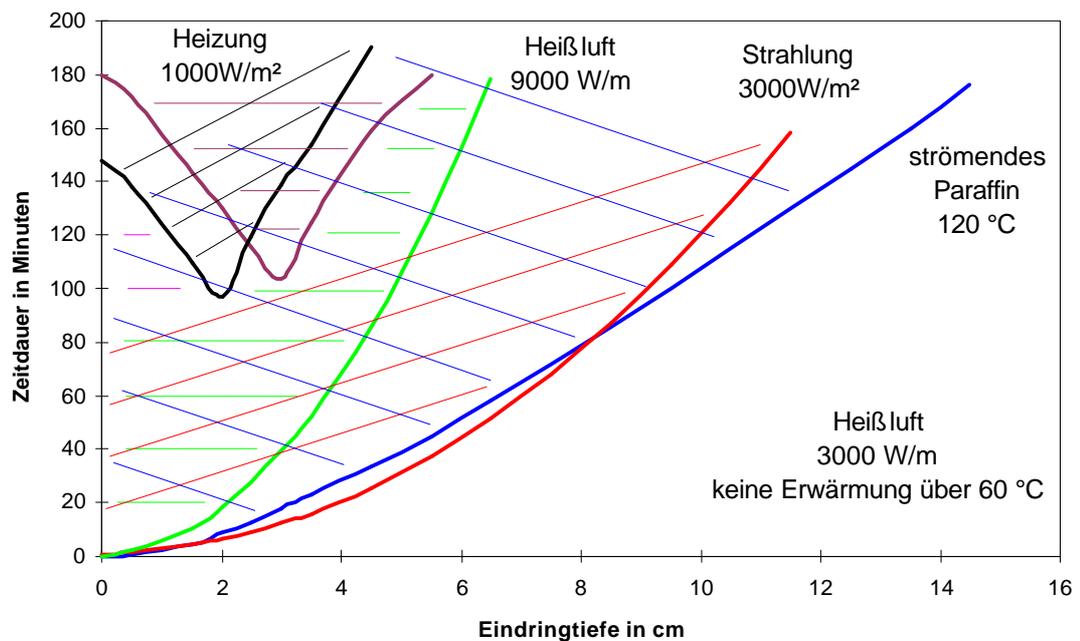


Abb. 2.31: Thermografische Aufnahmen der Wandrückseite auf deren Vorderseite gleichzeitig der Paraffinfilm ablief

Zusammenfassung:

Der wesentliche Prozeß bei der Paraffinpenetration in Putzschichten ist die Erwärmung, die in der vorliegenden Untersuchung durch unterschiedliche Systeme erprobt wurde. Im Diagramm 2.22 sind als Ergebnis der Aufheizprozesse die Penetrationstiefen des Parffins und die benötigten Heizzeiten abgebildet. Die Penetrationstiefen sind durch eine Temperatur, die höher als die Schmelzpunkttemperatur ist, charakterisiert.

Das Diagramm verdeutlicht, daß bei vergleichbaren, aber nicht unbedingt gleichem Energieeinsatz, ähnliche Aufheizeffekte zu erreichen sind. Aus praktischen Erwägungen heraus scheint die Variante mit ablaufenden Paraffinfilmen die größte Bedeutung zu besitzen. Neben den Vorteilen der Handhabung, der einfachen Erzeugung eines Boden-Wand-Anschlusses und des geringen gerätetechnischen Aufwandes ist die Anwendung bei üblichen und vorhandenen Putzsystemen machbar.



Diagr. 2.22: Penetrationsbereiche des Paraffins bei der Verwendung unterschiedlicher Aufheizverfahren

2.3.2.2 Abdichtung von Behältern u.ä. für diverse Flüssigkeiten

Die Ergebnisse der Untersuchungen über das Fluten von Paraffin auf einer vertikalen Oberfläche führten zur Erarbeitung einer konkreten Anwendungsstrategie im Bereich der Kanalsanierung.

Die Ausgangssituation ist in [oV96] und [oV98] zusammengefaßt dargestellt. Für die Sanierung von Kanälen werden im vorliegenden Fall im unteren Bereich des Kanalquerschnittes vorgefertigte Epoxi-Trockenwetterrinnen eingebaut. Diese gewährleisten, daß der ständig stattfindende Abrieb (einschließlich bei Trockenwetter) reduziert wird und die Kanalquerschnitte eine höhere Lebensdauer haben. In der Abbildung 2.32 ist schematisch das Ausführungskonzept dargestellt.

Die entwickelte Paraffintechnologie soll bei folgenden Bedingungen zur Anwendung kommen. Der schwankende Grundwasserspiegel und der Wasserspiegel des hier naheliegenden Flusses Schüss (siehe Abb. 2.32) befinden sich z.T. oberhalb der Kanalsole. Werden die Trockenwetterrinnen mit Epoxidharz verklebt, muß der Untergrund trocken sein. Es ist davon auszugehen, daß Fugen, Risse etc. durch entsprechende Injektionen abgedichtet wurden. Da die Kanäle durch den höher liegenden Wasserspiegel statisch mit einem Wasserdruck belastet werden, erfolgt der Wassereintrag z.T. durch die Wandung der Kanalelemente selbst. Wird auf diesem feuchten Untergrund die Trockenwetterrinne verlegt und mit Epoxidharz verklebt, kann u.U. das Epoxidharz durch die Feuchtigkeit nicht aushärten und keine Haftung zwischen Kanal und Schale ausbilden.

Daher wurde überlegt, die erforderliche Höhe des Kanalquerschnittes vor der Verlegung der Trockenrinnenelemente mit Paraffin auf der Oberfläche zu fluten. Die Penetration mit Paraffin erfolgt so lange, bis eine gewünschte Tiefe im Wandquerschnitt der Kanalelemente mit Paraffin getränkt ist. Durch das Paraffin ist eine druckwasserfeste Abdichtung entstanden, durch die keine Feuchtigkeit mehr in den Kanalquerschnitt eindringt.

Ablauf des Flutens von Paraffin über die Oberfläche der Kanalwandung:

Im Kanalquerschnitt werden oberhalb der künftigen Trockenwetterrinnen die Rohre installiert, aus denen das Paraffin gleichmäßig auf der Kanaloberfläche verteilt wird. Die Rohre sind an einer Spannvorrichtung befestigt. Diese Spannvorrichtung kann dem Kanalquerschnitt in der Breite beliebig angepaßt werden. Damit der Abstand zwischen den Auslaßöffnungen der Rohre für das Paraffin und der Kanalwandung nicht zu groß wird, können die Rohrhalter an der Spannvorrichtung horizontal und vertikal im Kanalquerschnitt verschoben werden (siehe linke Darstellung in Abbildung 2.33).

Das Paraffin wird wie bei der Vertikalabdichtung von Putz- bzw. Wandoberflächen in einem Kreislauf geführt und in einem Auffangbecken gesammelt und erwärmt. Auf Grund der Neigung der Kanäle ist am Tiefpunkt des abzudichtenden Kanalabschnittes eine Barriere zu errichten, so daß diese Wanne entstehen kann. Um ein unkontrolliertes Abfließen des Paraffins zu verhindern, sollte mindestens eine zweite bzw. dritte Barriere errichtet werden. Über den gesamten paraffinführenden Bereich des Kanales sind Hezelemente verteilt, die das Paraffin warm und damit flüssig halten. Eine Pumpe sorgt für den Kreislauf zwischen dem „Paraffinbecken“ und der Rohre, die das Paraffin auf der Oberfläche der Kanalwandung verteilen (siehe linke Darstellung in Abbildung 2.33) und somit einen gleichmäßigen Paraffinfilm auf der Oberfläche einstellen.

Der abzudichtende Abschnitt sollte idealerweise zwischen zwei Revisionsschächten angeordnet sein. Der Einbau der Elemente ist auch in relativ schmale und unzugängliche Kanäle möglich, da der Einbau automatisiert werden kann. Eine Kontrolle der Flutung mit Paraffin kann über Kameras erfolgen.

Alternative:

Es besteht eine technisch anspruchslose Alternative, wenn der Einbau von relativ flachen Elementen der Trockenwetterinnen vorgesehen ist.

Für diesen Fall ist es ausschließlich erforderlich, eine Barriere in ausreichender Höhe im Kanalquerschnitt zu errichten. Sinnvollerweise ist ebenfalls an der Oberseite des Kanalquerschnittes eine Barriere zu errichten, durch welche das Gefälle des Kanales ausgeglichen wird. Anschließend wird diese „Wanne“ mit Paraffin gefüllt, erwärmt und wenn es ausreichend flüssig ist, wird der benetzte Querschnitt mit Paraffin getränkt. Ist eine ausreichende Tränkungstiefe erfolgt, wird das flüssige Paraffin abgepumpt.

Wenn eine ausreichende Tränkungstiefe vorliegt, kann über den Paraffinverbrauch (vorausgesetzt alle Risse u.ä. wurden zuvor abgedichtet) oder die Penetrationszeit (vorherige Messungen mit Materialproben im Labor inkl. Sicherheitszuschlag) festgelegt werden.

In beiden Fällen besteht die Möglichkeit, das Paraffin außerhalb des Kanals in einem Kessel zu erwärmen und über eine Pumpe in den Kanal zu befördern. Heizaggregate, Pumpe und weitere Technik können unabhängig von den Platzverhältnissen im Kanal bedient, gewartet und beobachtet werden. Dies bietet sich für kleinere Kanalquerschnitte bzw. bei großen Arbeitsabschnitten an.

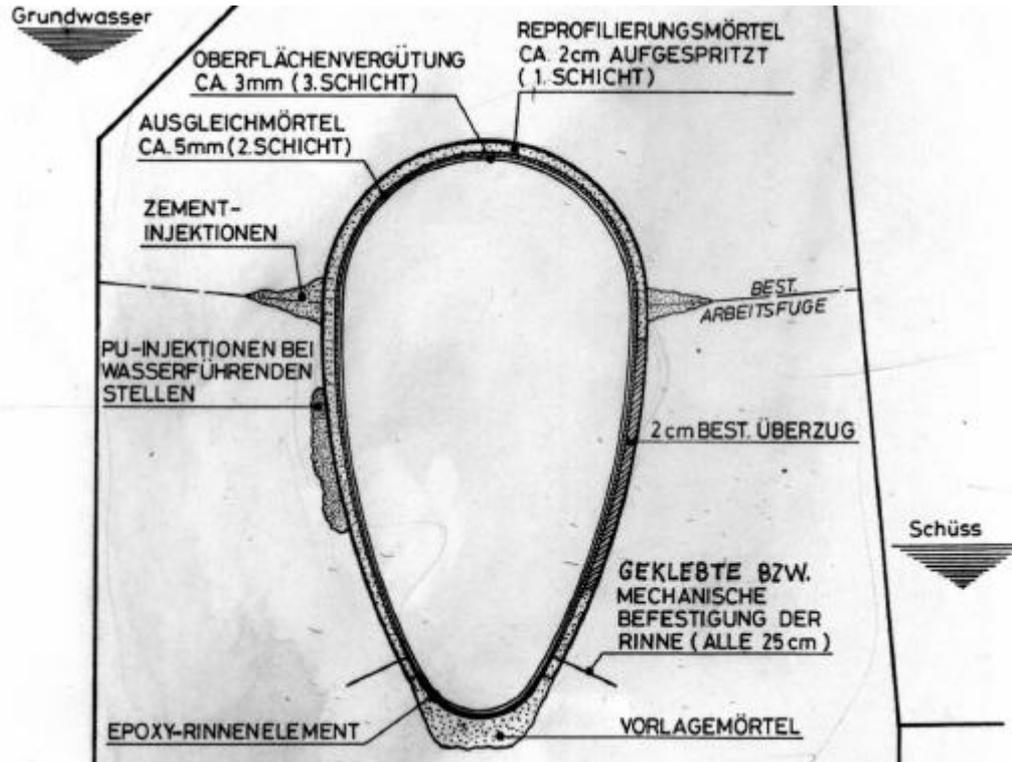


Abb. 2.32: Schematische Darstellung der Sanierung der Kanalquerschnitte nach [oV96]

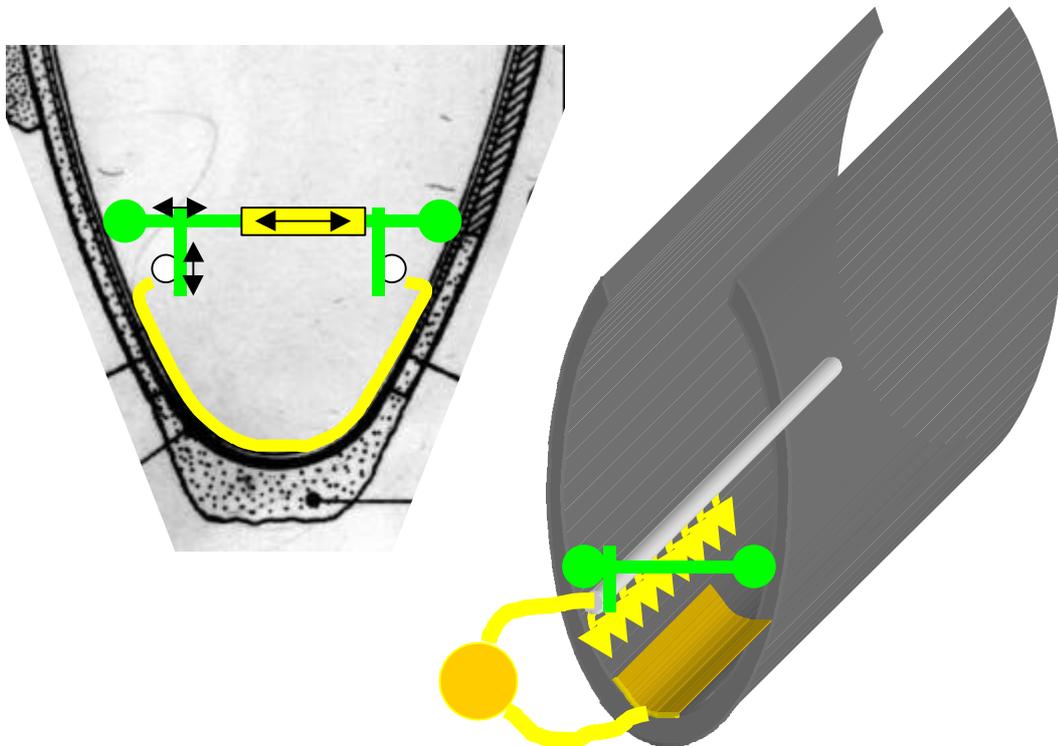


Abb. 2.33: Schematische Darstellung der technischen Realisierung der Paraffinflutung im Kanalquerschnitt

2.4 Untersuchung der Wirksamkeit von Paraffininjektionen

Nachdem bereits Aussagen über die Wirksamkeit einer nachträglichen Horizontalsperre nach Paraffininjektion durch [Hof92] vorliegen, wurden die Untersuchungen erweitert. Das WTA-Merkblatt „Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit“ [Wta96] beschäftigt sich mit der nachträglichen Injektion gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit. Ziel dieser Maßnahmen ist es, nach der aktuellen Ausgabe des WTA-Merkblattes, oberhalb der Horizontalsperre die Ausgleichsfeuchte des jeweiligen Baustoffes zu erreichen. Im Rahmen der Wissenschaftlich Technischen Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA) wird in einer Arbeitsgruppe 4.4 ein Prüfverfahren für Mauerwerksinjektionsstoffe gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit erarbeitet. Der folgende Abschnitt ist ein Auszug aus den Untersuchungen, die für die Entwicklung dieses Prüfverfahrens dienten. Die Überprüfung der getroffenen Annahmen u.ä. wurde anhand von Prüfkörpern mit einer Paraffininjektion gemacht. Die ausführliche Beschreibung der hier vorgestellten Arbeiten geht aus [Fin01] hervor.

Die Anforderungen an ein Prüfverfahren für Mauerwerksinjektionsstoffe wurden im Rahmen der Arbeitsgruppe erarbeitet. Ein einheitliches Prüfverfahren für Mauerwerksinjektionen bietet sowohl für Kunden als auch für Hersteller Vorteile. Folgende Anforderungen soll ein Prüfverfahren erfüllen, welches die Funktionsfähigkeit einer nachträglich eingebrachten horizontalen Kapillarwassersperre unter realitätsnahen Bedingungen beurteilt:

- Ein einziges universell anwendbares Prüfverfahren unter realistischen Randbedingungen.
- Klare Anforderungen und Bewertungsmaßstäbe müssen an das zu prüfende Produkt gestellt werden.
- Die Wirksamkeit des Injektionsstoffes soll unabhängig von den verwendeten Materialien nachgewiesen werden.
- Das Prüfverfahren soll reproduzierbar sein.
- Die Prüfung soll in einer angemessenen Zeit absolviert werden können, da der Hersteller möglichst rasch sein Produkt am Markt haben will.
- Das Prüfverfahren soll wirtschaftlich und kostengünstig sein.

Ein einheitliches Prüfverfahren bietet Kunden und Produkthanbietern vielfältige Vorteile:

- Bessere Markttransparenz;
- die Gewissheit des Kunden, ein qualitativ hochwertiges Produkt mit einer abschätzbaren Wirksamkeit zu kaufen;
- der Hersteller kann die Hochwertigkeit seiner Produkte mit anerkannten Fakten belegen und hat so Wettbewerbsvorteile;

- Schaffung einer besseren Grundlage für die Entwicklung neuer Produkte, basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen aus Laborprüfverfahren.

In der folgenden Tabelle 2.29 sind die zur Zeit gängigen und in entsprechenden Normen oder Merkblättern festgehaltenen Kriterien für eine Wirksamkeitsprüfung der Injektion gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit zusammengestellt. Hinzu kommen individuelle Möglichkeiten, wie z.B. den Wasseraufnahmekoeffizienten einer Probe vor und nach einer Penetration mit einem Injektionsstoff, zu bestimmen. Dafür existieren z.Zt. keine einheitlichen Regularien. Weiterhin werden Meßprotokolle von durchgeführten Sanierungen als Nachweis der Wirksamkeit eines Injektionsstoffes angeführt. Derartige Prüfprotokolle können jedoch oftmals nicht nachvollzogen werden.

Beurteilungsgrundlage	Wirksamkeitskriterium
ÖNORM B 3355 [Öno55]	Wirksamkeit* $W \geq 70\%$ oder Durchfeuchtungsgrad** $DFG \leq 20\%$
WTA Merkblatt 4-4-96 [Wta96]	Erreichen der Ausgleichsfeuchte des Wandbildners nach der Injektion, oberhalb der Horizontalsperre
Begrenzung der Durchlässigkeit [Ple97]	Maximale Durchlässigkeit $W_{\max} = 100\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Vorschlag neu (in Zusammenarbeit mit den Teilnehmern der WTA AG 4.4)	Verringern der Verdunstungsrate um einen Faktor

Tab. 2.29: *Zusammenstellung von Kriterien zur Wirksamkeitsbeurteilung von nachträglich ausgeführten Horizontalabdichtungsmaßnahmen; * nach [Öno55] Teil 1, berücksichtigt den Feuchtigkeitsgehalt vor und nach der Maßnahme, sowie die Ausgleichsfeuchtigkeit, ** Grad für die Füllung mit Wasser im zugänglichen Porenraum*

Die ersten beiden angegebenen Wirksamkeitskriterien können sinnvoll nur an einem Bauwerk angewendet werden. Die beiden letztgenannten Kriterien sind für die Anwendung in einem Labor zur Überprüfung der Tauglichkeit des Injektionsstoffes zur Abdichtung kapillar aufsteigender Feuchte gedacht.

Der angegebene Wert für die Durchlässigkeit von $100 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ist anhand der Ausführungen in [Ple97] nicht nachvollziehbar. Zum anderen ist er für die Belastung der Raumlufffeuchte in einem bewohnten Raum sehr gering.

Im Rahmen der Arbeitsgruppe wird die Messung der Verdunstungsrate an einem Referenzkörper und die vergleichende Messung an einem injizierten Prüfkörper favorisiert. Die Verdunstungsrate läßt sich zudem einfach messen. Entsprechende Details sind [Fin01] zu entnehmen.

In dieser Arbeit soll nur auf die Wirksamkeit der durchgeführten Injektionsmaßnahmen mit Paraffin eingegangen werden.

Es wird davon ausgegangen, daß die Messung der Verdunstungsrate Bestandteil der Wirksamkeitsprüfung ist. Die Verdunstungsrate wird unter einer sogenannten Kuppel aus Kunststoff gemessen, wobei der Prüfkörper in Wasser steht und seitlich diffusionsdicht abgeschlossen ist. Die Feuchtigkeitsmenge die über die offene Oberseite des Prüfkörpers in die Kuppel entweicht, wird über die Adsorption durch Silica Gel gemessen. Der Meßaufbau ist in Abbildung 2.34 schematisch dargestellt.

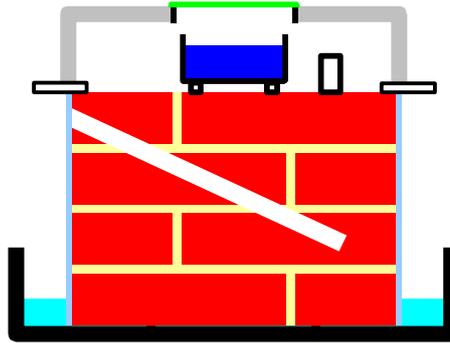
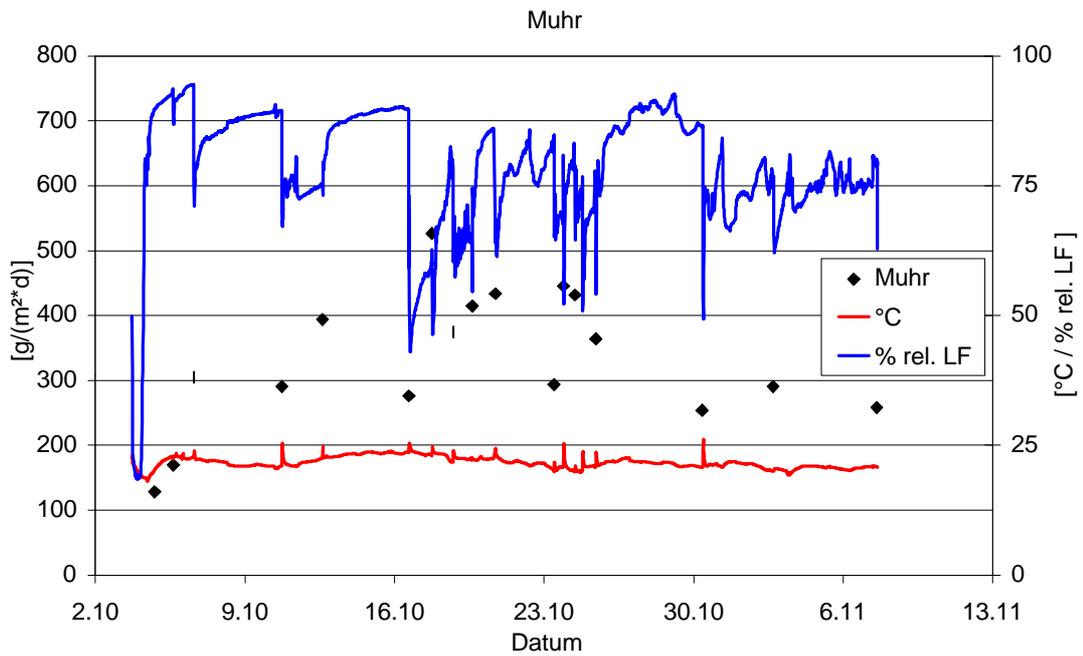
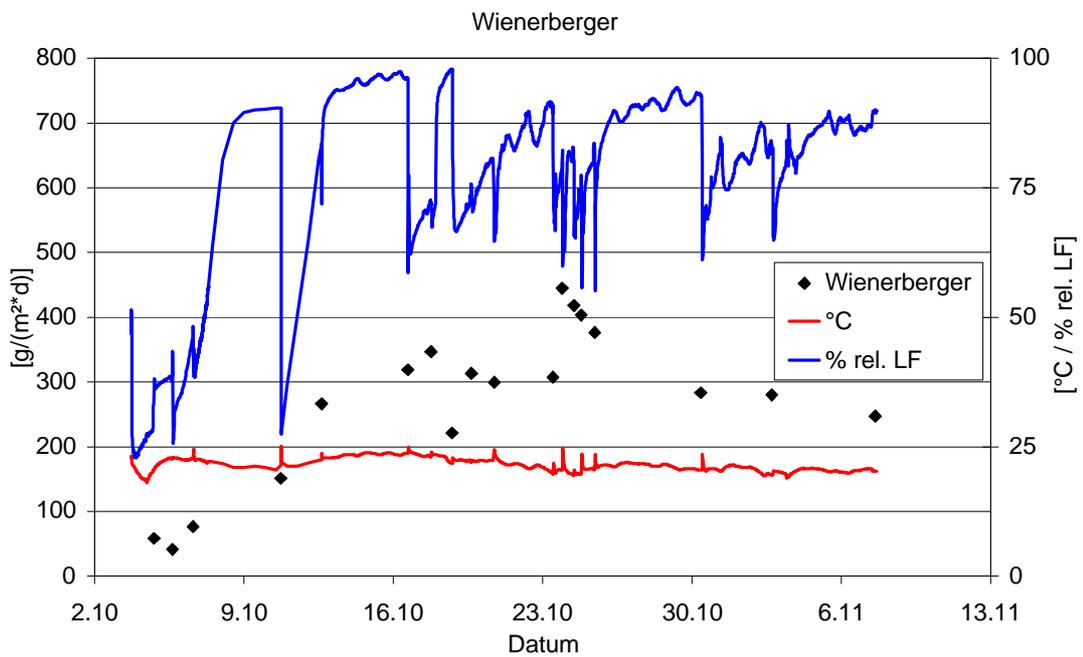


Abb. 2.34: Darstellung der Wirksamkeitsprüfung für Injektionsstoffe

In den folgenden Diagrammen 2.23 und 2.24 ist die Verdunstungsrate über die Oberfläche eines Mauerprüfkörpers aus Muhr- bzw. Wienerberger-Ziegeln dargestellt. Die Herstellung der Prüfkörper, deren Lagerung und die Messung der Verdunstungsrate an den seitlich abgedichteten Prüfkörpern ist in [Fin01] detailliert beschrieben.



Diag. 2.23: Verdunstungsrate und Klima oberhalb der Deckfläche eines nicht injizierten Mauerwerksprüfkörpers aus sogenannten Muhr-Ziegeln



Diag. 2.24: Verdunstungsrate und Klima oberhalb der Deckfläche eines nicht injizierten Mauerwerksprüfkörpers aus sogenannten Wienerberger-Ziegeln

In beiden Diagrammen ist ersichtlich, daß die Verdunstungsrate um Werte von 300 g/(m²d) schwankt. Die relative Luftfeuchtigkeit ist unterhalb der Kuppel bei beiden Ziegelmaterialien größer als 75 %. Wenn davon ausgegangen wird, daß die Luftfeuchtigkeit auf Grund eines Luftwechsels ggf. geringer ist, so ist von einer höheren Verdunstungsrate über die Ziegeloberfläche auszugehen.

Die starken Schwankungen von bis zu 40 % in der relativen Luftfeuchtigkeit sind durch die Eigenschaft des Silica Gels bedingt. Silica Gel wird in der Regel industriell und im Konsumbereich als Trocknungsmittel verwendet. Es stellt sich oberhalb dieser Salze eine relative Luftfeuchtigkeit von 3-5 % ein, unter der Voraussetzung, daß der Feuchtigkeitszustrom sehr gering ist. Da der Feuchtigkeitszustrom aus den Probekörpern sehr groß ist, wird sehr rasch viel Feuchtigkeit in dem Silica Gel gebunden. Das Salz ist nicht mehr in der Lage, die Luft in ausreichendem Maße zu trocknen und die Luftfeuchtigkeit steigt an. Daher muß das Silica Gel regelmäßig gewechselt werden, was damit in weiterer Folge zu einer extremen Schwankung der Luftfeuchtigkeit führt. Da Silica Gel leicht zu handhaben ist, wird dessen Anwendung bei gleichzeitiger Erfassung der Klimadaten favorisiert.

In der Abbildung 2.35 ist ein Mauerwerksprüfkörper nach der Injektion des Paraffins zu sehen. An der dunklen Verfärbung der Seitenflächen ist der durchgängige Sperrgürtel aus Paraffin zu erkennen. Die Prüfkörper wurden anschließend seitlich abgedichtet und die Verdunstungsrate über die Oberfläche gemessen. Gleiches gilt für den injizierten Mauerwerksprüfkörper in Abbildung 2.36.

Die in den Diagrammen 2.23 und 2.24 ersichtliche Zunahme der Verdunstungsrate zu Beginn der Messungen hat eine Ursache. Die Messung und das Einstellen der Prüfkörper in das Wasserbecken erfolgten zum gleichen Zeitpunkt. Das Wasser mußte erst so weit kapillar aufsteigen, daß sich ein stationärer Zustand in der Feuchtigkeitsverdunstung an der Oberfläche einstellen konnte. D.h., daß die Prüfkörper zu Beginn der Messungen „trocken“ waren.



Abb. 2.35: Aufnahmen der injizierten Muhr Mauerwerksprüfkörper



Abb. 2.36: Aufnahmen der injizierten Wienerberger Mauerwerksprüfkörper

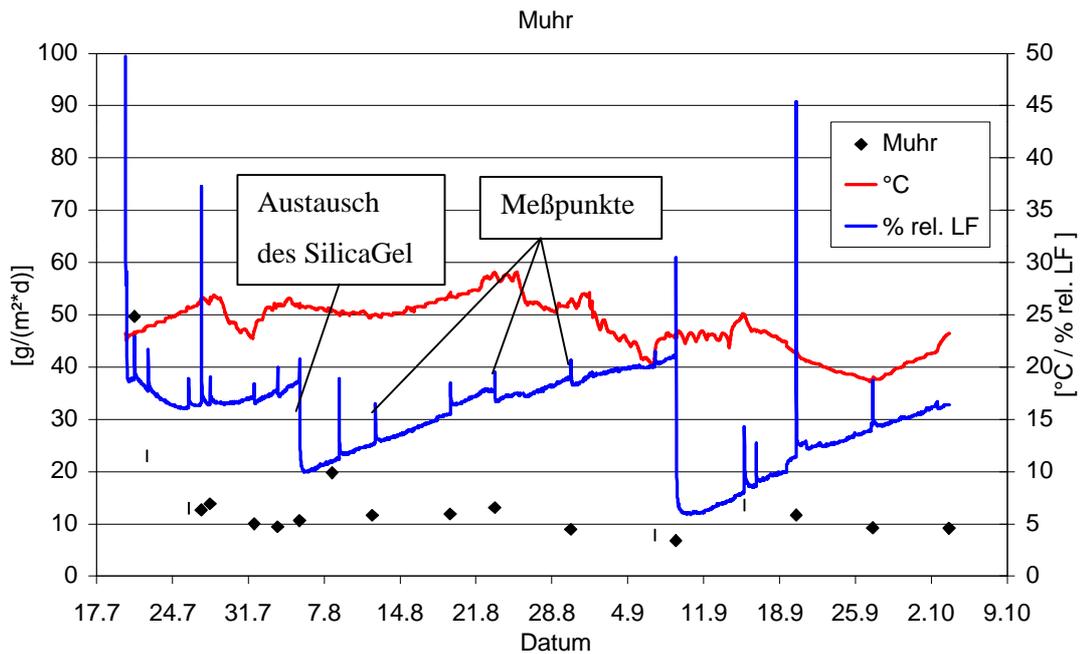
Nachdem die Mauerwerksprüfkörper injiziert und abgedichtet wurden, erfolgte an diesen die Messung der Verdunstungsrate. Die Ergebnisse der Messungen zeigen die Diagramme 2.25 und 2.26.

Die Mauerwerksprüfkörper aus Muhr-Ziegeln zeigten eine Verdunstungsrate von ca. $10\text{g}/(\text{m}^2\text{d})$, die aus Wienerberger-Ziegeln von ca. $20\text{ g}/(\text{m}^2\text{d})$. Das ist eine Reduktion der Verdunstungsrate auf bis ein $1/30$ gegenüber den nicht injizierten Prüfkörpern. Die Schwankung der Luftfeuchtigkeit in der Kuppel ist im Prinzip nicht mehr vorhanden. Der Feuchtigkeitsnachschub durch die nach der Injektion sofort wirksame Horizontalabdichtung mit Paraffin ist drastisch reduziert. Erkennbar ist die kontinuierliche Zunahme der Luftfeuchtigkeit auf Grund der nachlassenden Wirkung des Silica Gel bei zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt des Salzes. Das Silica Gel kann wesentlich länger in der Kuppel verbleiben.

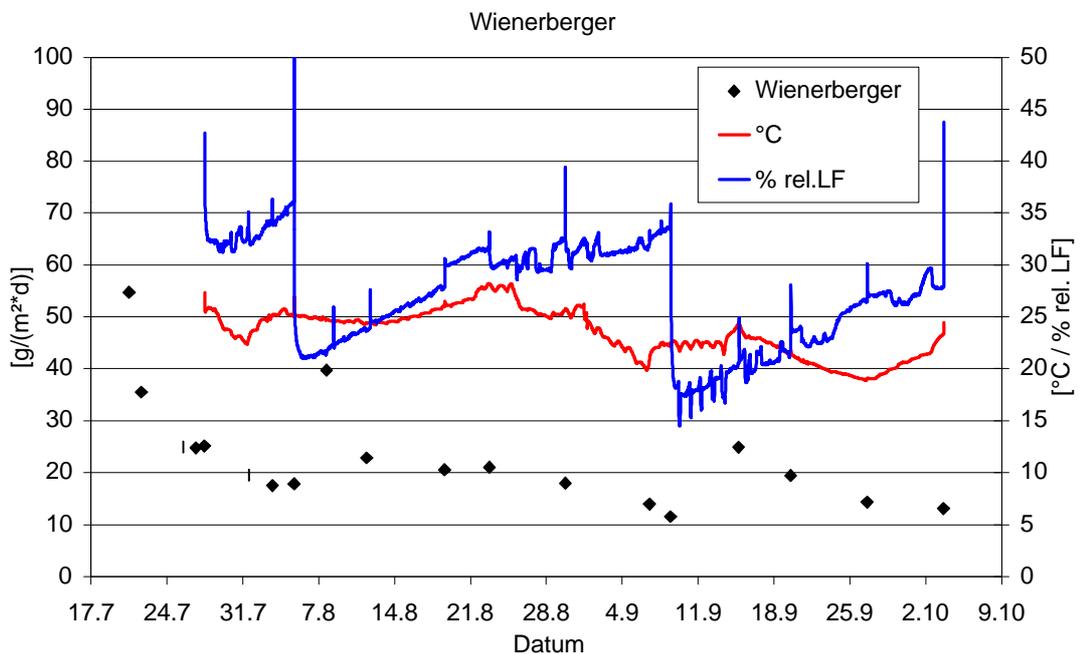
Fazit:

Für Paraffin als Injektionsstoff gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit konnte bei dem beschriebenen Versuchsaufbau eine hervorragende Wirksamkeit nachgewiesen werden. Die Verdunstungsrate über die Oberfläche war nach der Injektion deutlich geringer. Das Paraffin hat in den Prüfkörpern nachweislich den Feuchtigkeitstransport unterbunden.

Mit der durchgeführten Wirksamkeitsprüfung konnte gleichzeitig die Tauglichkeit des im Rahmen der WTA entwickelten Verfahrens zur entsprechenden Prüfung von Injektionsstoffen erfolgen. Das Prüfverfahren wird in diesem Prinzip für die Anwendung empfohlen.



Diagr. 2.25: Verdunstungsrate und Klima oberhalb der Deckfläche eines injizierten Mauerwerksprüfkörpers aus sogenannten Muhr-Ziegeln



Diagr. 2.26: Verdunstungsrate und Klima oberhalb der Deckfläche eines injizierten Mauerwerksprüfkörpers aus sogenannten Wienerberger-Ziegeln (Erläuterungen siehe auch Diagramm 2.25)

3 Entwicklung der Sanierplatte aus Calciumsilikat

3.1 Calciumsilikat – Stand der Dinge, Literaturlauswertung

Bevor Calciumsilikat in den folgenden Ausarbeitungen eine Rolle spielen wird, sind zunächst die Randbedingungen zu erläutern. Zur Zeit wird bei der Sanierung eines salz- und feuchtebelasteten Mauerwerks in erster Linie der Sanierputz erfolgreich angewendet. Die entwickelte Sanierplatte ist als Ergänzungsprodukt zum Sanierputz zu verstehen. Unter entsprechenden Bedingungen kann die Sanierplatte anstelle von Sanierputz angewendet werden. Es werden zunächst die folgenden Punkte erläutert:

- Der Sanierputz mit seinen Anwendungsgrenzen und vorhandene Alternativprodukte als Beschreibung der Ausgangssituation, die zur Entwicklung der Sanierplatte beigetragen haben.
- Ein kurzer Verweis auf den Salztransport und die Salzkonzentrationen im Mauerwerk. Diese Problematik ganzheitlich zu beschreiben, wäre Gegenstand mehrerer Einzelarbeiten.
- Vorstellung des Materials Calciumsilikat, eine Einführung.
- Möglichkeiten zum Errichten einer Innendämmung.
- Formulierung der Zielstellungen, die für die Entwicklung der Sanierplatte maßgeblich waren.

3.1.1 Sanierputze und analoge Produkte

Die Definition der Sanierputze ist dem WTA-Merkblatt „Sanierputzsysteme“ in [Wta91] zu entnehmen, eingesetzt werden sie nach Önorm 3355 Teil 3 [Öno55], wenn bei der Mauerwerksaustrocknung mit der Kristallisation größerer Salzmengen zu rechnen ist. Die für die Anwendung auf feuchte- und salzbelastetem Mauerwerk optimierten Eigenschaften dieses Putzes gegenüber konventionellen Putzen sind:

1. Großer Porenraum mit kapillarbrechender Wirkung und der Möglichkeit zur zerstörungsfreien Salzeinlagerung.
2. Hydrophobe Einstellung, um einen Salzdurchschlag zu verhindern.
3. Hohes Verdunstungsvermögen zur Feuchtigkeitsentlastung.
4. Geringer Einfluß der auskristallisierenden Salze auf das Diffusionsvermögen, um eine Feuchtigkeitsanreicherung in dahinterliegenden Schichten zu vermeiden.

Sanierputze (im folgenden auch SP genannt) sind hinsichtlich ihrer Bestandteile, Bindemittel, Zuschläge (insbesondere im Feinkornbereich) und chemischer Zusätze ein kompliziertes System voneinander abhängiger Komponenten. Bindemittel, Luftporenbildner, Füllstoff (Quarzsand), Hydrophobierungsmittel, Wasserretentionsmittel, Zuschlagstoffe und Verarbeitungshilfen dürfen sich nicht nachteilig beeinträchtigen. Das nachträgliche Zumischen zusätzlicher Materialien ist daher unzulässig. Baustellenmischungen sind keine Sanierputze im Sinne des WTA - Merkblattes 2-2-91 [Wta91].

„Zum Sanierputzsystem gehören Spritzbewurf, Grundputz-WTA und Sanierputz-WTA. Spritzbewurf und/oder Grundputz können entfallen, wenn dies der Hersteller empfiehlt.“

Sanierputze haben, um ihren Anforderungen gerecht zu werden, über folgende Eigenschaften zu verfügen:

- schnell erhärtend
- hoher Salz- und Frostwiderstand
- hohe Porosität
- hohe Wasserdampfdurchlässigkeit
- geringe kapillare Saugfähigkeit (damit reduzierter Feuchte- und Salzeintrag)
- hohe Salzspeicherkapazität
- Regenschutz
- geringe Dichte

In Hinblick auf die Entwicklung der Sanierplatte, die Gegenstand dieses Teiles der Arbeit ist, wurde die vorhandene Literatur ausgewertet. Die Ergebnisse sind im folgenden zusammengefaßt.

Für die Recherche bezüglich der Sanierputze wurden 47 Hersteller, Händler o.ä. angeschrieben. Gleichzeitig wurden Literaturstellen (ca. 250, effektiv max. 50) und Bücher (4) zum Thema recherchiert, die zusammengetragen, ausgewertet und zusammengefaßt werden. Eine praxisrelevante eigene Prüf- und Entwicklungsstrategie ist erst dann sinnvoll, wenn Kriterien zur Beurteilung vorliegen und eine maximale Anzahl der im folgenden zusammengestellter Charakteristiken und Fragen abgedeckt werden kann. Hauptaugenmerk liegt auf den möglichen Verarbeitungs- und Anwendungsfehlern, da diese mit dem neuen Produkt ausgeschlossen werden sollen.

- maximaler Salzeintrag

Kaiser hat in [Kai95] ausführliche Untersuchungen zur Porenstruktur (maßgebend für die Salzeinlagerung) an Sanierputzen durchgeführt. Die Ermittlung der verwendeten Zuschlagstoffe (von den Herstellern zu erfragen) ermöglicht Aussagen über den diesbezüglich günstigsten Sanierputz. Nach seinen Untersuchungen hat die Art des Hydrophobierungsmittels keine Auswirkung auf die Salzeinlagerung, nur auf den Feuchtetransport. Da sich zahlreiche Autoren bereits mit dem maximalen Salzeintrag in Sanierputzen beschäftigt haben, erscheint eine derartige eigene Prüfung für ihn vorerst nicht notwendig.

- Verarbeitungstemperatur

Goretzki verweist in [Gor97] auf die Bedeutung der Gefügebildung (hier Porosität) bei unterschiedlichen Verarbeitungstemperaturen und Untergrundeigenschaften, wenn dem Putzmörtel Aluminium als Treibmittel beigefügt wird. Es wurden keine Sanierputze untersucht, jedoch eignen sich die untersuchten Materialien für den Einsatz auf feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk.

- Putzeigenschaften

Diverse Veröffentlichungen zeigen, daß sich die Putzeigenschaften, wenn diese auf Untergründen mit unterschiedlichen Eigenschaften hergestellt werden, sehr stark ändern.

- Verträglichkeit mit anderen Baustoffen (Bindemittel)

In der Literatur wurde mehrfach von Schadensfällen durch falsche Bindemittelkombination beim Verputzen alten Mauerwerks berichtet.

- Änderung der Feuchtigkeitssteighöhen

Nach dem Aufbringen von Sanierputzen ändert sich die kapillare Steighöhe der durchfeuchteten Wand. Sind die Poren des Sanierputzes zusätzlich durch Salzeinlagerung verkleinert, reduziert sich der Wasserdampfdiffusionsstrom. Um das Gleichgewicht zwischen Verdunstung und kapillar nachgeführter Feuchte wieder herzustellen, steigt der Wasserhorizont in der Wand weiter an. (siehe bspw. [Gre98]). Dies kann zu weiteren Schäden in höher gelegenen Bereichen führen.

- Auftrag von Sanierputz als selbständige Sanierungsmaßnahme

Künzel weist (z.B. in [Kün97]) darauf hin, daß ein Sanierputz nicht ausschließlich eine begleitende Sanierungsmaßnahme ist. Beim Einsatz eines Sanierputzes auf ausschließlich durchfeuchtetem Mauerwerk und/oder schwach salzgeschädigtem Mauerwerk kann dies auf Grund seiner Wasserdampfdiffusionseigenschaften als Sanierungsmaßnahme ausreichend sein.

Nach [Öno55] ist der Sanierputz ausschließlich eine flankierende Maßnahme !

- Haftung des Sanierputzes

Ein wichtiger Punkt stellt die Haftung des Sanierputzes auf verschiedenen Untergründen dar. Beeinflusst wird die Haftung u.a. durch Sanierputztyp, Untergrund, Bewitterung, Alter und Versalzung. Auf Grund der Komplexität liegen keine entsprechend verallgemeinerbaren Ergebnisse vor.

Die Festigkeit der Sanierputze ist nach [Web96] einstellbar, so daß analoge Festigkeiten zu Putzen, die Kalkhydrat als Bindemittel besitzen erreicht werden können. Somit ist eine Verwendung in der Denkmalpflege nach eingehender Analyse seiner Meinung nach unbedenklich. Einschichtige Sanierputzsysteme sind nur für homogene und wenig zerstörte Untergründe geeignet, jedoch 2 Putzlagen. Im praktischen Großversuch zeigten zementgebundene, einschichtige oder zweischichtige Sanierputzsysteme in bezug auf den Salzeintrag beste Ergebnisse.

Weiterhin werden die häufigsten Fehler bei der Anwendung von Sanierputzen genannt:

- Das Mauerwerk wird nicht sorgfältig gereinigt und vorbereitet.
- Das Mauerwerk ist zu weich und besitzt keine ausreichende Tragfähigkeit.
- Der Spritzbewurf wird zu dick (oder vollflächig) aufgetragen.
- Statt eines weichen Porengrundputzes wird als durchgängige Putzlage ein Ausgleichsputz (zu hohe Festigkeit) aufgebracht (Rißbildungen im Sanierputz).
- Der Sanierputz wird in unterschiedlichen Schichtdicken aufgebracht.
⇒ Die Schichtdicke des Sanierputzes ist zu gering.
- Bei zweischichtigen Sanierputzsystemen wird die 1. Putzlage nicht ausreichend aufgeraut (z.B. mit einem Putzkamm).
- Das Sanierputzsystem wird nicht nach Vorschrift angemischt (zu wenig Luftporen).
- Das Sanierputzsystem wird bei zu hoher oder zu niedriger Luftfeuchtigkeit verarbeitet (empfohlener Bereich: 40 - 70 %).
- Das Beschichtungssystem besitzt eine zu geringe Wasserdampfdurchlässigkeit und/oder eine zu geringe Wasserabweisung (siehe Pkt. 8 WTA-Merkblatt 2-2-91 [Wta91]).
- Gips wird zur Fixierung der Elektroinstallation verwendet (Gipstreiben).

Die Liste kann mit [Möl93] wie folgt ergänzt werden:

- Sanierputz wird nicht hoch genug aufgebracht
- Unterschätzen der vorhandenen Feuchte
⇒ Sanierputz nicht zu dick auftragen

An dieser Stelle wird explizit auf die mit dem Pfeil (\Rightarrow) markierten Stellen aufmerksam gemacht. Es handelt sich offensichtlich um eine gegensätzliche Aussage. Bedauerlicherweise gibt es keine Auskunft darüber, wieviel jeweils „zu gering“ bzw. „zu dick“ ist.

Die Untersuchung des Einflusses verschiedener Verarbeitungsparameter auf unterschiedliche Gefügeausbildungen nach [Gor97] brachten folgende Resultate:

- steigende Herstellungstemperatur: sinkende Brinellhärte, steigende Porosität
- abnehmende Saugfähigkeit des Untergrundes: sinkende kapillare Wasseraufnahme, sinkende Porosität

Nach [Hil97] ist der primäre Ort der Salzkristallisation das Kapillarporengefüge des Bindemittels. Die Kristallisation im Kapillarporengefüge wirkt sich auf Dauer bei jedem Putz zerstörend aus. Durch den Eintrag zusätzlichen Kapillarporenraumes in Form des Leichtzuschlages Bims kann der für Salzkristallisation prädestinierte Porenraum zielgerichtet vergrößert werden. Wegen der hohen mechanischen Festigkeit des Naturproduktes Bims findet die Kristallisation der Salze im Zuschlag Bims ohne Zerstörung des Gesamtputzes statt. Diese Tatsache bedingt eine Erhöhung der Salzspeicherkapazität des Putzmörtels.

In [Het97] erfolgte eine Auswertung mehrerer Großversuche betreffend des Salzeintrages in Sanierputze und ähnliche Produkte. In der folgenden Tab. 3.30 ist das Ergebnis zusammengefaßt.

SP-WTA + Porengrundputz	sehr hohe Salzaufnahme
SP-WTA ohne Porengrundputz	ebenfalls hohe Salzaufnahme
SP, Bindemittel hochhydraulischer Kalk	kein Konzentrationsgefälle, starke Salzkonzentration an der Oberfläche, Feuchtflecken
SP, Bindemittel Traßkalk	kein Konzentrationsgefälle
Entfeuchtungsputz	analoges Verhalten wie Sanierputz
Kompressenputz	mittelfristig keine Entsalzung
Kalkputz	Zerstört

Tab. 3.30: *Ergebnisse der Auswertung von Versuchen zu Speicherfähigkeiten bzw. dem Schadensbild von Putzen nach Salzeintrag*

Über das Einsatzgebiet von Sanierputzen schreibt Künzel in [Kün96], daß Sanierputze als Sockelputze einsetzbar sind (zementgebunden, geringe Wasseraufnahme, frostbeständig). Sanierputze wurden i.d.R. für beheizte bzw. temperierte Gebäude entwickelt (Temperaturgefälle = Diffusionstransport = Trocknung des Putzes), d.h. der Sanierputz kann vollständig abbinden.

Um die Eigenschaften des Sanierputzes auch für die Ausführung zu erreichen, ist es nach [Ros90] notwendig, die Vorgaben des aktuellen WTA-Merkblattes und der Herstellerangaben zu beachten und einzuhalten. Auf eine gezielte Eigen- und Fremdüberwachung sollte keinesfalls verzichtet werden.

In [Dro96] wird festgehalten, daß Sanierputze

- keine Entfeuchtungputze sind,
- wie gängige wasserhemmende und wasserabweisende Putze ein Eindringen von Schlagregen und Spritzwasser verhindern,
- ggf. etwas den Taupunkt in das Mauerwerk verlagern und somit hygroskopische Stellen überdecken.

Weiterhin wird darauf verwiesen, daß Sanierputze Feuchteschäden überdecken, da sie sehr robust gegenüber Feuchte-, Frost-Tau- und Salzangriffen sind. Sanierputze bekämpfen Schadensursachen in Form von Wasserdampf, Kondensation, Kapillarkondensation und hygroskopischer Feuchteaufnahme, nicht aufsteigender Feuchtigkeit (hier werden nur derartige Schäden kaschiert). Bei übermäßiger Belastung können Sanierputze versagen - Voruntersuchungen und ggf. Begleitmaßnahmen sind dringend erforderlich.

Aus [Möl93] kann folgende Zusammenfassung gegeben werden:

- Putze mit geringer Untergrundabhängigkeit sind vorteilhaft (aber: kaum Untersuchungen dazu, da hohes Wasserrückhaltevermögen notwendig ist),
- vor Ort sind Untersuchungen über Feuchteverhältnisse dringend empfohlen und erforderlich, daraus sind die flankierenden Maßnahmen abzuleiten,
- Unebenheiten sind durch einen Grundputz auszugleichen.

Es erscheint kaum möglich, so [Hi93], die Wirksamkeit von Sanierputzen allein mit einem Material zu gewährleisten, ein mehrschichtiger Aufbau des Systems mit Funktionszuweisung zu den Einzelmaterialien ist sinnvoll. Es werden Untersuchungen vorgestellt, bei denen durch die Salzlösung eine Veränderung der Hydrophobie der Poren festgestellt wird.

Für die Anwendung gilt, daß wenn der Schwerpunkt auf der Salzeinlagerung liegt, nur ein geringer Anteil an kapillarbrechenden Luftporen im Gefüge vorhanden sein sollte. Liegt der Schwerpunkt auf dem Kriterium der dauerhaft ausblühungsfreien Oberfläche, so ist ein hoher Anteil kapillarbrechender Luftporen erforderlich.

In [Kai95] werden umfangreiche Untersuchungen zur Salzaufnahmefähigkeit von Sanierputzen beschrieben. Hydrophobierungsmittel und Zuschlagstoffe wurden variiert. Die Art des Hydrophobierungsmittels zeigte keinen Einfluß. Für den Zuschlag gilt folgende Reihenfolge für die Salzaufnahmefähigkeit: Bims > Perlit > Vermiculit > Styropor. Dabei verhält sich Perlit neutral, Vermiculit und Styropor sind ungeeignet.

Versuchsproben wurden vollständig in 10 %ige Natriumsulfatlösung bzw. sogenannte WTA-Lösung getaucht. Das Maximum der Salzaufnahmefähigkeit lag bei 5 - 8 M-%. Durch das Eintauchen der Proben in die jeweilige Salzlösung wurden auch Poren gefüllt, die unter realistischen Bedingungen nicht mit Salzlösung gefüllt werden (z.B. Luftporen). Deshalb kann, auch unter Berücksichtigung anderer Veröffentlichungen, davon ausgegangen werden, daß ein Maximum der Salzaufnahmefähigkeit bei 5 M-% liegt.

Folgende Zusammenfassung kann bezüglich eines optimalen Sanierputzes gegeben werden.

1. Nach der Produktion:

- WTA geprüft = anwendbar (eine normative Regelung in Österreich steht bevor),
- als Bindemittel Zement enthalten,
- den Zuschlag Bims enthalten,
- zur Qualitätssicherung eigen- und fremdüberwacht werden,

2. Nach der Herstellung vor Ort (Anwendung) gilt:

- WTA-Merkblatt und techn. Bestimmungen der Hersteller sind zu beachten,
- vorherige Analyse entscheidend für Putzaufbau und Erfolg der Maßnahme,
- Maschinenausstattung von Hersteller zu Hersteller ist verschieden und somit zu beachten,
- Mischzeiten sind einzuhalten (um Luftporen zu bilden und zu erhalten - abhängig von Drehzahl und Mischzeiten),
- Sanierputzsystem empfehlenswert,
2-lagig je nach Versalzung und Untergrundbeschaffenheit
- Sanierputz muß abbinden können und
- Wartezeiten beachten für die Folgeschichten (nach Klima variabel).

Analoge und ähnliche Produkte

Zunächst sind Putze zu nennen, die im wesentlichen der Entfeuchtung dienen. Formal gibt es keine Möglichkeit für die Einlagerung von Salzen in den Putz, bzw. ist dies von Herstellerseite nicht vorgesehen. Werden die Angaben der Hersteller jedoch detailliert und objektiv betrachtet, so ist festzustellen, daß es nur geringe Unterschiede zu Sanierputzen gibt bzw. die Anzahl der am Markt befindlichen Sanierputze die gleiche Varianz zeigt.

In Hinblick auf die im folgenden dargestellte Entwicklung der Sanierplatte auf der Basis von Calciumsilikat ist ein ähnlicher Ansatz nach [Mar98] interessant. Auf folgende Punkte sei hingewiesen:

- Die Sanierplatte besteht aus Blähton mit einem Durchmesser von 2-4 mm, dieser wird mit einem salzresistentem Harz verklebt, die Zusammensetzung unterscheidet sich daher wesentlich von der Sanierplatte aus Calciumsilikat, wie sich die Platte auf dem Mauerwerk verhält ist bisher nicht bekannt;
- die Platte wird am Mauerwerk verklebt und mechanisch befestigt, d.h. verdübelt;
- durch die Platte ist anscheinend kein kapillarer Feuchtigkeitstransport möglich, da die Platte als kapillARBrechend beschrieben wird, eine Salzeinlagerung ist daher nicht möglich;
- auf Innenwänden kann die Platte nur mit einem Anstrich versehen verwendet werden;
- als Begleitmaßnahmen werden stets Vertikal- und Horizontalabdichtungen, Drainagen u.a. Maßnahmen empfohlen, im Innenbereich ist für ausreichende Durchlüftung zu sorgen;
- nach Merkblatt gehört ein Grund- bzw. Oberputz zum Systemaufbau, die Sanierplatte ist nicht alleine wirksam.

Es kann zusammengefaßt werden, daß die genannte Sanierplatte nach dem technischen Merkblatt eine Putzschicht ersetzt, jedoch nicht alleine wirksam ist.

Eine weitere Lösung auf Plattenbasis wird in [Huf98] beschrieben. Auf der zu sanierenden Wand wird eine dreilagige Matte, bestehend aus einem Faservlies, einer Distanzlage und einem Putzträger, mit speziellen Dübeln, deren Abstand 40 cm beträgt, angebracht. Darauf wird ein Trass-Leichtmörtel appliziert. Darüber wird ein Putzarmierungsgitter befestigt und anschließend mit einem Ausgleichsputz versehen. Die Feuchtigkeit im Mauerwerk und die darin gelösten Salze sollen durch den kapillaraktiven Filtervlies verteilt werden. An dessen Oberfläche kommt die Feuchtigkeit zur Verdunstung. Die Salze kristallisieren in der Distanzlage des Filtervlieses.

Durch die Distanzlage wird verhindert, daß der Putz nicht mit Salzen angereichert wird. Die Kristallisation der Salze erfolgt in dem Vlies, das den gesamten Kristallisationsdruck aufnehmen kann. Durch die Applikation mittels Dübeln kann das System jederzeit rasch und ohne Rückstände entfernt werden, was für Aufgaben im Rahmen der Denkmalpflege sehr interessant ist.

3.1.2 Salze und Salztransport im Mauerwerk

Grundsätzlich gilt, daß nicht jede Salzart für ein Bauwerk schädlich ist, daher wird von schädigenden oder bauschädlichen Salzen gesprochen, die im folgenden Gegenstand der Betrachtungen sind. Werden diese auf Grund ihrer Löslichkeit in ein Bauteil eingetragen sowie dort verteilt, dann können an der betreffenden Stelle durch dem Salz eigene Mechanismen Zerstörungen stattfinden. Grundvoraussetzung für den Salztransport ist die Kapillarität der Baustoffe und Feuchtigkeit.

Die Salze können verschiedenen Ursprungs sein. Chemisch können Sie durch die Neutralisation von Säuren und Laugen (in allen Baustoffen enthalten) entstehen. Weiterhin können salzhaltige Baustoffe zur Anwendung gelangen. Wobei beispielsweise die Bildung von Salzen in der Herstellung (z.B. Brennprozesse von Ziegeln) bedingt ist; Substanzen wie Frostschutzmittel im Mörtel oder Verzögerer/Beschleuniger bei der Betonherstellung dem Rohmaterial hinzu gegeben werden. Salze sind als Neutralisationsprodukt von Säuren und Basen im Bauwerk möglich (Säure wird durch den „sauren“ Regen, saure Bauhilfsmittel, Gase in der Luft (CO₂) oder Stoffwechselprodukte an das Bauwerk herangetragen; Basen sind in den alkalischen Baustoffen bzw. Produkten enthalten).

Salze finden Kontakt zum Bauwerk über Streusalz, Spurenelemente im Erdreich, Salzlagerung (z.B. Düngemittel), vorangegangene Sanierungen, unverträglichen Kontakt von verschiedenen Baustoffen usw. Die Kapillarität der Baustoffe ermöglicht den Transport der gelösten Salze in den Baustoff hinein (im wesentlichen im Spritzwasserbereich oder über die Feuchtigkeit im Boden erdberührter Bauteile, nasse Baustellen bzw. langzeitige Wassereinwirkungen).

Sind schädigende Salzkonzentrationen im Mauerwerk enthalten, wirken folgende Zerstörungsmechanismen. Bei verschiedenen Salzen im Mauerwerk, können u.U. diese Prozesse gleichzeitig ablaufen.

Kristallisation

- Salze befinden sich in Lösung
- Verdunstung beginnt, demzufolge entsteht ein Wasserdefizit
- Übergang der Salze in kristalline Phase
- Volumenvergrößerung, die Kristallisationsdrücke (abh. von Temperatur und Sättigung) übersteigen die Festigkeit der Baustoffe

Hydratation

- Salze sind als kristalline Phase im Baustoff
- Einlagerung von Wasser
- Salze werden gelöst und gehen in Lösung
- Volumenvergrößerung, die Hydratationsdrücke (abh. von Temperatur und Luftfeuchtigkeit) übersteigen die Festigkeit der Baustoffe

Hygroskopizität

- Salze und Salzlösungen nehmen Wasser aus der Luft auf, bis ein Dampfdruckausgleich erreicht ist
- je mehr Salze im Mauerwerk vorhanden sind und je höher die Luftfeuchtigkeit ist, um so höher die aufgenommene Feuchtigkeit (Luftfeuchtigkeit über dem Bauteil entscheidend)
- es kommt zu hygri-schen Dehnungen

Frost - Tausalz - Angriff

lösender Angriff (saurer Regen)

Welcher Zusammenhang besteht nun zwischen Salzen und der Feuchtigkeit ? Gelöste Salze verändern die physikalischen Eigenschaften der Flüssigkeiten, in denen sie gelöst sind. Dies führt zur Verlangsamung der kapillaren Feuchtigkeitsaufnahme. Tragen die Salze jedoch selbst zur Feuchtigkeitsaufnahme bei, kann sich die Aufnahme auch beschleunigen. Grundsätzlich gilt, daß höhere Salzkonzentrationen geringere Transportgeschwindigkeiten bewirken. Weiterhin wird die Steighöhe der Feuchtigkeit mit zunehmendem Salzgehalt verringert. Ursachen sind die veränderte Oberflächenspannung und der veränderte Benetzungswinkel. Viskosität und Dichte sind direkt proportional zum Salzgehalt. Dabei ist immer wieder zu beachten, daß das betreffende Mauerwerk o.ä. nicht völlig durchnäßt sein muß, Oberflächenfeuchtigkeit ist ausreichend. Zerstörend wirkt vor allem der Wechsel zwischen Durchfeuchtung und Trocknung (siehe zuvor).

Schädigungen in Baustoffen sind vom Salzgehalt des jeweiligen Materials abhängig. Der Salzgehalt wird wiederum durch die Menge der gelösten Salze in der Lösung bestimmt, diese Löslichkeit ist temperaturabhängig. Daher sind in der folgenden Tabelle 3.31 Werte für die Löslichkeit, kritische relative Luftfeuchtigkeit und Kristallisationsdrücke einiger

bauschädlicher Salze aufgeführt. Zu diesen werden Sulfate, Nitrate und Chloride gezählt. Vereinzelt werden auch Karbonate als schädigende Salze im Bauwesen genannt.

Formel (nach vorh. Auswahl)	Löslich- keit bei ca. 20 °C [g/l H ₂ O]	krit. rel. Luft- feuchte [%]	Kristallisations- druck bei 2-facher Übersättigung		Kristallisations- druck bei 10-facher Übersättigung	
			[N/mm ²]		[N/mm ²]	
			0 °C	50 °C	0 °C	50 °C
MgSO ₄ ·7H ₂ O	356	89	10,5	12,5	35,0	41,5
CaSO ₄ ·2H ₂ O	2	99,9	28,2	33,4	93,8	111,0
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	192	95	7,2	8,3	23,4	27,7
Ca(NO ₃) ₂	1290	55	-	-	-	-
Na(NO ₃)	883	75	-	-	-	-
CaCl ₂	745	35	-	-	-	-
NaCl	359	76	55,4	65,4	184,5	219,0
Na ₂ CO ₃ ·H ₂ O	217	≈ 99	28	33,3	93,5	110,9
K ₂ CO ₃	1110	44	-	-	-	-

Tab. 3.31: *Eigenschaften von bauschädigenden Salzen; Löslichkeit nach [Lid93], Kristallisationsdrücke nach [Web77],*

Da Feuchtigkeit und Salze in einem Bauwerk bei Schädigungen nicht getrennt betrachtet werden können, seien hier einige bedeutsame Folgen in diesem Zusammenhang, bei hohen (schädigenden) Salzkonzentrationen, genannt:

- Reduktion der Wärmedämmfähigkeit;
- Schalenbildungen;
- Kristallisations- bzw. Hydratationsschäden durch Salze;
- Frost-Tausalz-Schäden;
- Erhöhung der Gleichgewichtsfeuchte;
- Bindemittelumwandlungen und somit Treiberscheinungen.

Bis jetzt wurde geklärt, wann welche Salze für eine Schadensbildung o.ä. verantwortlich sind. Es stellt sich die Frage, welche Schadensbilder gibt es, bzw. wie erscheinen die Salze ?

Dazu einige Beispiele:

- Kalkfahnen aus dem Salz $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ auf dem Mauerwerk, Karbonat ist in Wasser löslich, an der Wandoberfläche erfolgt die Abgabe von CO_2 , Wasser verdunstet, der Kalk verbleibt in Form dieser sogenannten Kalkfahnen;
- lockerer Salzbelag auf der Oberfläche, pudertförmig, häufig Alkalisulfate $[\text{NO}_2\text{SO}_4]$ u.a. oder Chloride;
- Ausblühungen;
- Fugennetz-Ausblühungen, die sich durch Absprengungen oder Abwaschungen der Mörtelfuge aus der Gipskristallbildung heraus bilden;
- bei flächenhaftem Belag handelt es sich meistens um Chloride, dies führt auf Grund der starken Hygroskopizität der Chloride auf der Innenseite zu feuchten Stellen;
- Absanden, Abmehlen von verputzten oder gestrichenen Flächen bzw. der obersten Schicht;
- Salze, die nicht an der Oberfläche abgelagert werden, können durch die möglichen Kristallisationsdrücke Absprengungen, Abplatzungen oder Abschieferungen hervorrufen;
- hinlänglich bekannte Frost - Tausalz – Schäden.

Für eine nachhaltige und dauerhaft wirksame Sanierung ist es erforderlich, daß die Salzart mindestens und deren Konzentration bekannt ist. Für die Salzbestimmung stehen folgende Methoden zur Verfügung:

- qualitative Verfahren – Bestimmung, ob Salze vorhanden sind, bzw. der Salzart
- halb quantitative Verfahren
- quantitative Verfahren – Bestimmung der Salzkonzentration

Auf die Angabe von Details und die Vorstellung einzelner Verfahren wird verzichtet und auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

Nachdem die Schadensmechanismen und –wirkungen von Salzen in Baustoffen vorgestellt wurden, ist es offensichtlich, daß Grenzwerte existieren müssen, die angeben, bei welcher Salzkonzentration welcher Maßnahmenumfang erforderlich ist, um sich gegen Schäden zu schützen. In den folgenden Tabellen 3.32, 3.33 und 3.34 sind Zahlen und Kriterien für die Bewertung der Salze im Mauerwerk angegeben. Werte für Karbonate fehlen gänzlich. Die Reihenfolge der Tabellen entspricht der Reihenfolge ihrer Veröffentlichung. Auffallend ist, daß die Werte für die Beurteilung höher werden. Dies kann zum einen auf die höhere Leistungsfähigkeit der zu verwendenden Materialien zurückgeführt werden. Andererseits wird klar, daß es mit Sicherheit einen Spielraum in der Interpretation der Werte gibt.

Die Werte der Tabelle 3.32 erscheinen im Vergleich mit den anderen beiden Tabellen sehr gering. In Tabelle 3.33 ist ein Wert für den Gesamtsalzgehalt der Bewertung angegeben. Dieser ist in der tatsächlich verwendeten Tabelle 3.34 für das Merkblatt entfallen. Es kann zumindest festgehalten werden, daß die Gesamtsalzgehalte den maximalen Wert für die Sulfate nicht überschreiten sollen. Die Angabe ist zur Interpretation von Meßergebnissen sinnvoll, sollte aber auf Grund von unterschiedlichen Schadensmechanismen der Salze nicht als alleiniges Kriterium für die Anwendung einer Sanierungsmaßnahme verwendet werden.

Salzart	Salzkonzentrationen [M-%]			
Sulfate	0 - 0,030	0,030 - 0,08	0,08 - 0,25	0,25 - 0,8
Nitrate	0 - 0,018	0,018 - 0,05	0,05 - 0,16	0,16 - 0,5
Chloride	0 - 0,010	0,010 - 0,03	0,03 - 0,09	0,09 - 0,3
Schadenswirkung	keine Beeinträchtigung	keine akute Beeinträchtigung, aber bei baulichen Maßnahmen berücksichtigen	Erhöhte Hygroskopische Wasseraufnahme, Baustoffzer-Mürbung	Starke Ausblühungen Dauerhafte Durchfeuchtung

Tab. 3.32: *Schadenswirkungen von bauschädlichen Salzen auf Grund der Salzkonzentrationen (Autor unbekannt)*

Salzart	Gering [M-%]	Mittel [M-%]	Hoch [M-%]
Gesamtsalzgehalt	< 0,10	0,10 - 0,25	> 0,25
Sulfat	< 0,10	0,10 - 0,25	> 0,25
Nitrat	< 0,05	0,05 - 0,15	> 0,15
Chlorid	< 0,03	0,03 - 0,10	> 0,10

Tab. 3.33: *Orientierungshilfe für die Bewertung oberflächennaher Proben bei 3 cm Bohrtiefe (nach einem nicht gültigen Entwurf für [Wta99]); Ab dem Salzbelastungsgrad „hoch“ ist von hygroskopischer Feuchte im Mauerwerk auszugehen. Ohne die Zeile Gesamtsalzgehalt ebenfalls in [Öno55].*

Chloride ¹	< 0,2 M-%	0,2 - 0,5 M-%	> 0,5 M-%
Nitrate	< 0,1 M-%	0,1 - 0,3 M-%	> 0,3 M-%
Sulfate ²	< 0,5 M-%	0,5 - 1,5 M-%	> 1,5 M-%
Bewertung ³	Belastung gering Maßnahmen im Ausnahmefall erf.	Belastung mittel Weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationenbestimmung) erforderlich Maßnahmen im Einzelfall erforderlich	Belastung hoch Weitergehende Untersuchungen zum Gesamtsalzgehalt (Salzverbindung, Kationenbestimmung) erforderlich Maßnahmen erforderlich

Tab. 3.34: *Bewertung der schadensverursachenden Wirkung verschiedener Salzionen in Mauerwerkskörpern nach [Wta99]*

1 Bei tragwerksichernden Maßnahmen, wie dem Einbau von Ankern/Nadeln, ist bei Chloridbelastungen > 0,1 M-% auf die Auswahl besonderer Stahlgüten und speziell rezeptierter Verpreß-/Verfüllmörtel zu achten

2 Beurteilung bezogen auf leicht lösliche Sulfate; besonders zu bewerten sind sulfathaltige Baustoffe

*3 Für die Entscheidung über das Erfordernis von Maßnahmen sind nicht allein die Ergebnisse der Salzuntersuchungen ausschlaggebend
Für einfache Rückschlüsse zum Gesamtsalzgehalt ist der ermittelte höchste Gehalt von Salzionen, unabhängig ob Chlorid, Nitrat oder Sulfat und die Bewertung o.a. Tabelle maßgebend*

3.1.3 Calciumsilikat

Die untersuchten Platten bestehen aus zellstoffarmiertem Calciumsilikat, einem Werkstoff auf mineralischer Basis. Die Kristalle des Calciumsilikats bilden ein mikroporöses Gerüst mit unzähligen Poren und Kapillaren. Damit sind die bauphysikalischen Kennwerte des Materials erklärbar, die in den folgenden Abschnitten dargestellt werden. Das feine, mikroporöse Porengefüge führt zu einer geringen Rohdichte. Dies wiederum ergibt u.a. eine geringe Wärmeleitfähigkeit und eine geringe Wärmekapazität.

Calciumsilikat ist ein synthetischer Dämmstoff, der im wesentlichen aus Kalk (CaO), Quarz oder amorpher Kieselsäure (SiO₂), Wasser und Armierungsfasern hergestellt wird. Calciumoxid und Siliciumdioxid werden in Wasser aufgeschlämmt und intensiv vermischt, wo die Reaktion zu einer Vorstufe des Calciumsilikates erfolgt. Das Wasser belegt zunächst die Poren, die später luftgefüllt sind. Nach der Formgebung bilden sich in heißem Wasserdampf unter erhöhtem Druck im Autoklaven Calciumsilikatverbindungen. Bei dieser Hydrothermalreaktion entstehen die feinen Kristalle.

Die Eigenschaften sind nach diversen Herstellerangaben:

- nicht brennbar;
- kapillaraktiv;
- nicht wasserlöslich;
- wärmedämmend;
- formstabil;
- alkalisch, pH-Wert ca. 10;
- ökologisch;
- gesundheitlich unbedenklich.

Es ergeben sich Anwendungsbeispiele in der Glasindustrie für die Dämmung von Schmelzwannen, Hinterdämmung von Brennöfen und anderen Anlagen und im Brandschutz für Bauteile. Da das Material kapillaraktiv, diffusionsoffen, wärmedämmend und schimmelhemmend ist, wird es ebenfalls im Wärmeschutz in Form von Innendämmungen verwendet.

3.1.4 Innendämmung

Diese Art der Dämmung wird im Rahmen von Sanierungsaufgaben dort angewendet, wo das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes aus architektonischen Gründen, wegen des Denkmalschutzes o.ä. nicht verändert werden soll bzw. darf. Ferner ist diese in den Bereichen verbreitet, wo nur partiell gedämmt wird (z.B. nachträgliche Dämmung einzelner Räume oder Wohnungen). Der Nachteil dieses Konstruktionstyps liegt im Feuchtigkeitsschutz. Durch die Lage der Dämmung auf der Innenseite kann es zu einer Überschneidung der Dampf- und Sättigungsdampfdruckverläufe im Mauerwerksquerschnitt kommen, was unweigerlich zur Kondensation führt. Um ein ordnungsgemäßes Funktionieren zu gewährleisten, muß Tauwasserfreiheit gewährleistet sein oder die während eines Jahres anfallende Wassermenge muß innerhalb des gleichen Zeitraumes wieder verdunsten können, womit eine stetige Feuchtigkeitsanreicherung verhindert wird. Um diesen Forderungen nachkommen zu können, gibt es zwei nach Aufbau und Materialien verschiedene Systeme, Innendämmungen mit und ohne Dampfbremse.

Innendämmung ohne Dampfbremse

Bei dieser Variante kommt es etwa im Übergangsbereich zwischen Wand und Dämmung zur Kondensation, da dort die Temperatur stark abnimmt und der Dampfdruck den Sättigungsdampfdruck übersteigt. Bei Kondensation kommt es zu einer Feuchteanreicherung im betreffenden Bauteilabschnitt, wobei bestimmte Wassermengen vom Baustoff gespeichert werden. Hat dieser Wassergehalt ein gewisses Maß überschritten, setzt die Kapillarleitung ein. Diese kann ein Vielfaches der Kondensatmenge in Richtung weniger feuchter Bereiche transportieren und somit lokale Feuchtespitzen abbauen. Zusätzlich reduziert diese Feuchtebewegung den Wasserdampfdruck und somit die Möglichkeit der Kondensation. Aus diesem Grund müssen Materialien verwendet werden, die neben einem niedrigen Dampfdiffusionswiderstand eine hohe kapillare Leitfähigkeit aufweisen und dadurch sowohl die Wasserverteilung als auch die Austrocknung nach Innen und Außen begünstigen. Hier kommen Platten aus Calciumsilikat zur Anwendung, deren Systemeigenschaften z.B. in [Fec98], [Gru99] und [Häu99] beschrieben sind.

Innendämmung mit Dampfbremse

Der Unterschied zur Variante ohne Dampfbremse liegt darin, die Kondensation im Bauteil von vornherein zu unterbinden. Durch das Befestigen einer Dampfbremse an der Innenseite der Wärmedämmung wird der Wasserdampfdruck gesenkt, womit ein Überschreiten des Sättigungsdampfdruckes im Übergangsbereich Wand/Dämmung verhindert wird. Zu

beachten ist, daß nicht nur die Diffusion in das Bauteil hinein, sondern auch dessen Austrocknung zur Innenseite erschwert wird.

Ausschlaggebend für das Funktionieren dieses Systems ist die sachgemäße Verarbeitung der Dampfbremse und deren Schutz vor mechanischer Belastung und Beschädigung. Dieser Schutz wird im allgemeinen durch das Anbringen einer Abdeckung (Gipskartonplatten, Paneele etc.) gewährleistet. Sollte die sehr dünne Folie durch diverse Einwirkungen „perforiert“ werden, erfolgt der dampfförmige Feuchtigkeitstransport nicht nur durch Diffusion, sondern kann ebenfalls durch Konvektion erfolgen. Da diese eine wesentlich höhere Transportkapazität aufweist, kommt es zu großen Kondensatmengen im Bauteil. In Verbindung mit der fehlenden kapillaren Leitfähigkeit der verwendeten Dämmmaterialien (z.B. Mineralwolle) und der nicht vorhandenen Austrocknungsmöglichkeit nach Innen, kommt es im Falle einer erhöhten Anzahl solcher Fehlstellen rasch zum Versagen des Systems und damit zu beträchtlichen Bauschäden.

Von diesen Systemunterschieden (mit und ohne Dampfbremse) abgesehen, weisen diese Varianten der Innendämmung Vor- und Nachteile auf, die beiden gemeinsam sind. Die thermische Belastung nimmt im Vergleich zu einer rein monolithischen Wandkonstruktion durch höhere Temperaturdifferenzen zwischen Winter und Sommer deutlich zu. Gegebenenfalls müssen in der Wand verlaufende Leitungen (Wasser, Strom) entsprechend geschützt werden, da im Winter die Außenkonstruktion im Frostbereich liegt. Außerdem gehen durch das Anbringen der Dämmung auf der Innenseite Wärmespeicherkapazitäten verloren, was zu einer verminderten Fähigkeit führt, Temperaturspitzen auszugleichen. Der Vorteil liegt jedoch im raschen Aufheizen von nicht kontinuierlich genutzten Räumen, da die Wände nicht wie bei Außendämmungen mit erwärmt werden müssen. Das größte Problem stellen allerdings Wärmebrücken dar, die gesondert behandelt werden müssen. Beispiele für deren Behandlung sind u.a. in [Put01] zu finden.

Es treten auch Nachteile auf, die nicht wärme- oder feuchtetechnischer Art sind. Auf der einen Seite spielt der Brandschutz eine wichtige Rolle, da sich die Dämmmaterialien auf der Raumseite befinden und deshalb sowohl ein erhöhtes Risiko für die Gebäudenutzer (neben möglicher Brennbarkeit auch die im Brandfall entstehenden Giftgase etc.) darstellen als auch den Löscheinsatz im Vergleich zur Außendämmung schwieriger gestalten. Als Ausnahme sind hier Platten aus Calciumsilikat anzuführen, die bis zu Temperaturen von 1000°C und darüber hitzebeständig sind. Auf der anderen Seite können durch die Verkleinerung der Wohnfläche mietrechtliche Schwierigkeiten entstehen.

Ein oft nicht beachtetes Problem, das eigentlich bei jedem nachträglich eingebauten Wärmeschutz auftritt, stellt die Veränderung des schalltechnischen Verhaltens der Wandkonstruktionen dar. Maßgebend dafür ist der Wechsel von einer einschaligen Wand

(monolithisches Ziegelmauerwerk etc.) zu einer zweischaligen. Die Letztere besteht im wesentlichen aus zwei unabhängig voneinander schwingenden Einzelschalen, die über eine federnde Schicht (Dämmstoff, Luftschicht) voneinander getrennt sind. Das ausschlaggebende schalltechnische Bewertungskriterium für die Eignung des Wandaufbaus ist das von der Frequenz abhängige Schalldämmmaß R . Vergleicht man die Werte von ein- und zweischaligen Wänden, so erkennt man bei letzterer eine Verschlechterung der Schalldämmung im niedrigen und eine Verbesserung im höheren Frequenzbereich. Ursache für dieses Verhalten ist eine sogenannte Resonanz, die durch die Resonanzfrequenz charakterisiert wird.

Um eine ungewollte Verschlechterung des Schallschutzes zu vermeiden, ist die Resonanzfrequenz soweit wie möglich, auf jeden Fall unter 100 Hz, zu senken. Somit wird der Einbruch des Schalldämmmaßes an den Rand des hörbaren Frequenzspektrums verschoben und man kommt in den Genuß des vergleichsweise stärkeren Anstieges der Schalldämmung bei zunehmender Frequenz. Im Prinzip besteht die Möglichkeit, die Resonanzfrequenz durch Erhöhen der flächenbezogenen Massen der Schalen und durch Erniedrigen der dynamischen Steifigkeit des Dämmstoffes zu senken. Entsprechende Details sind der jeweiligen Fachliteratur zu entnehmen.

3.1.5 Zielstellung für die Entwicklung der Sanierplatte

Im folgenden ist es erforderlich, die Grundidee der Sanierplatte auf der Basis von Calciumsilikat zu skizzieren. Die Vorzüge der Platten aus Calciumsilikat für die Innendämmung wurden erwähnt. Das System wird erfolgreich angewendet.

Das Produkt Sanierplatte wird industriell vorgefertigt. Das hat gegenüber dem Sanierputz folgende Vorteile:

- Garantierte Systemeigenschaften durch kontinuierliche Qualitätskontrollen;
- bei nahezu jedem Klima applizierbar (unabhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit), Einschränkungen ergeben sich ggf. durch das Material, welches als Kontaktschicht verwendet wird;
- minimierte Fehleranfälligkeit bei der Herstellung;
- vereinfachter, einschichtiger Aufbau (Kontaktschicht und Sanierplatte);
- konstante Schichtstärke der wirkenden Lage Sanierplatte;
- Systemeigenschaften unabhängig vom Untergrund.

Weiterhin sind gegenüber der Anwendung des Sanierputzes die folgenden Aspekte als eine Erweiterung zu sehen:

- Übertragung der Vorzüge einer Innendämmung auf die eines zu sanierenden feuchte- und salzbelasteten Mauerwerkes, im Rahmen einer Baumaßnahme (durch einen ausführenden Betrieb) werden der Wärmeschutz deutlich verbessert und die Ausblühungen von Salzen an der Oberfläche verhindert;
- ein Systemaufbau für alle Versalzungsgrade, daher könnte theoretisch (!) auf eine aufwendige Salzanalyse vor Beginn der Sanierung verzichtet werden;
- Vereinfachung der Arbeiten in verwinkelten Kellern, Vereinfachung bei vorspringenden Kanten, Anbringen von Putzleisten entfällt.

Wie bei einem Sanierputz sind folgende Systemeigenschaften ebenfalls gefordert:

- Sschadensfreie Einlagerung von Salzen im Querschnitt der Platte ohne sichtbare Schäden auf der Oberfläche;
- Verträglichkeit mit anderen Baustoffen;
- Geringer Wasserdampfdiffusionswiderstand, der ein Austrocknen der Wand ermöglicht;
- Anwendung im Rahmen der Sanierung als Einzelmaßnahme bei geringen Versalzungsgraden und/oder Feuchtigkeitsbelastungen.

Für den Kunden, Bauherren o.ä. können folgende Zielvorgaben formuliert werden:

- Sofort nutzbare Räume, keine Trocknungs- und Abbindezeiten;
- bei extremen Versalzungsgraden eine Erneuerung im Bestand (bei gleichzeitiger Weiternutzung der Räume) möglich;
- kurzfristig anwendbar, da keine Baustelleneinrichtung im herkömmlichen Sinne erforderlich ist;
- rascher Baufortschritt, da Folgegewerke nahezu sofort mit Arbeiten beginnen können.

Nicht betrachtet werden in dieser Arbeit Anwendungen im Außenbereich und Applikationen auf Kellergewölben bzw. radial geformten Wänden. Die folgenden Kapitel fassen die durchgeführten Untersuchungen zusammen, um die beschriebenen Ziele zu erreichen.

3.2 Untersuchungen zur Salzbelastung der Sanierplatte

Anhand der Angaben im vorangegangenen Abschnitt ist zu erkennen, welche Bedeutung Sanierputze für die Sanierung haben. Wesentliches Anwendungskriterium ist dabei die Resistenz des Sanierputzes gegenüber der Kristallisation der Salze, was auf die Entwicklung der Sanierplatte zu übertragen ist.

Zunächst wurden die Platten aus Calciumsilikat einzeln untersucht. Diese Analysen dienten u.a. dazu, das Ausgangsmaterial auf seine Tauglichkeit zu untersuchen. Dabei stand im Vordergrund, Erkenntnisse über die Art und Weise der Behandlung zu gewinnen, damit die Oberfläche dauerhaft schadensfrei bleibt. Als Ergebnis war eine definierte Behandlungstiefe angestrebt worden, bei der ein Maximum an Salzen in der Sanierplatte aufgenommen werden kann, ohne daß die Salze auf der Oberfläche des Materials auf Grund der Kristallisation sichtbar werden.

Der nächste Schritt bestand darin, den sogenannten WTA-Test zur Salzresistenz der Sanierputze nach [Wta91] auf die Sanierplatte zu übertragen. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden Erkenntnisse über diesen Test gewonnen, die zu kritischen Anmerkungen über das Versuchsprinzip veranlassen. Das Ergebnis dieses WTA-Testes ist ein weiteres Indiz für die Resistenz des Materials gegenüber Salzen.

Der nächste Schritt bestand darin, die aus den vorherigen Versuchen gewonnenen Ergebnisse auf ein Verbundsystem zu übertragen. Dabei wurden Ergebnisse erwartet, die Auskunft über den Kontakt zwischen Wand und Sanierplatte geben. Weiterhin war damit festzustellen, ob die gewählte Variante der Sanierplatte den Anforderungen in einem realen Versuchsaufbau gerecht wird. Dabei ist anzumerken, daß der Versuch im Verbund gegenüber den zwei vorher durchgeführten von der Salzbelastung deutlich geringer ist, da die Salze nicht direkt eingebracht werden.

Am Schluß dieses Kapitels werden die Ergebnisse der Untersuchungen mit den Anforderungen an den Sanierputz nach [Wta91] verglichen und bewertet.

3.2.1 Einzelmaterial

Im Rahmen dieser Versuchsreihe wurden 2/3 der Proben an der Oberfläche bearbeitet. Die Proben befanden sich anschließend in Kunststoffrahmen aus Polyethylen und wurden auf einer für die Wasserdampfdiffusion relativ dichten Unterlage gelagert, eine schematische Darstellung befindet sich in Abbildung 3.37. Bei gleicher Versuchsdurchführung ist davon auszugehen, daß die Verdunstung der Feuchtigkeit nur in eine Richtung (eindimensional) erfolgen kann. Dies entspricht in einer Annäherung den realen Anwendungsfällen und den damit verbundenen Diffusionsverhältnissen. Z.B. stellt im Größenverhältnis zur gewählten Probe eine vollständig mit der Sanierplatte bedeckte Wandfläche eine unendliche Größe dar, so daß von einer Dimension für die Verdunstungsrichtung ausgegangen werden kann.

Der Rahmen kann für Beobachtungszwecke jederzeit entfernt werden, so daß die Seitenflächen der Proben betrachtet werden können. Der Versuchsaufbau besteht aus zwei Platten aus Calciumsilikat in der Größe von ca. 9 x 14 cm, diese werden mit dem Rahmen umschlossen und bilden einen Probekörper. Es ist gewährleistet, daß die Fuge zwischen zwei Platten (Stoßfuge bei der Verarbeitung) ebenfalls untersucht wird. Die Versuche werden mit diesem Versuchsaufbau fortgesetzt.

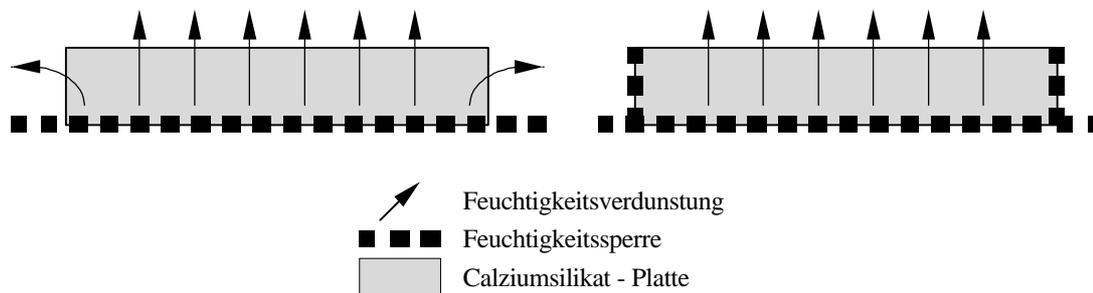


Abb. 3.37: Links: Verdunstungsrichtungen bei einfacher Probenlagerung; Rechts: gewählter Versuchsaufbau für eine eindimensionale Verdunstung der Feuchtigkeit

Die Lagerung der Proben erfolgte bei Raumklima. Im Vorfeld sind Proben im Trockenschrank zur Beschleunigung der Verdunstung und damit der Kristallisation der Salze untersucht worden. Die Vorversuche zeigten, daß an der Oberfläche der bei Raumtemperatur getrockneten und unbehandelten Proben mehr Salz kristallisierte als bei denen, die im Trockenschrank bei 30 °C trockneten, obwohl in diese mehr Salz eingebracht werden konnte. D.h. daß bei diesen das Kristallisieren des Salzes bereits an der Platte stärker erfolgt, als an der Oberfläche. Auf weitere derartige Untersuchungen wurde trotz des zeitlichen Vorteils verzichtet, da sich die Ergebnisse zu sehr unterschieden. Welche Bedeutung der

Kristallisationsdruck der Salze auf die Platten hat, wird in anderen Kristallisationstests untersucht.

Die Tabelle 3.35 listet die Art der Hydrophobierung, die beaufschlagte Salzlösung und die jeweilige Probenanzahl auf. Die Art der Hydrophobierung der Oberfläche zur Verhinderung des Durchschlages der Salzkristalle bestimmt deren Tiefe. Bei den Proben, die gepinselt wurden, ergaben sich Tiefen zwischen 2 und 3 mm. Das Tauchen der Probenoberfläche in das Hydrophobierungsmittel ermöglicht die kapillare Aufnahme. Es ist klar, daß durch die Kontaktzeit die Hydrophobierungstiefe reguliert werden kann. Tepel benannte in [Tep99] die empfohlene Tiefe mit 8 bis 10 mm, die u.a. auf die Untersuchungen in dieser Arbeit zurückgehen.

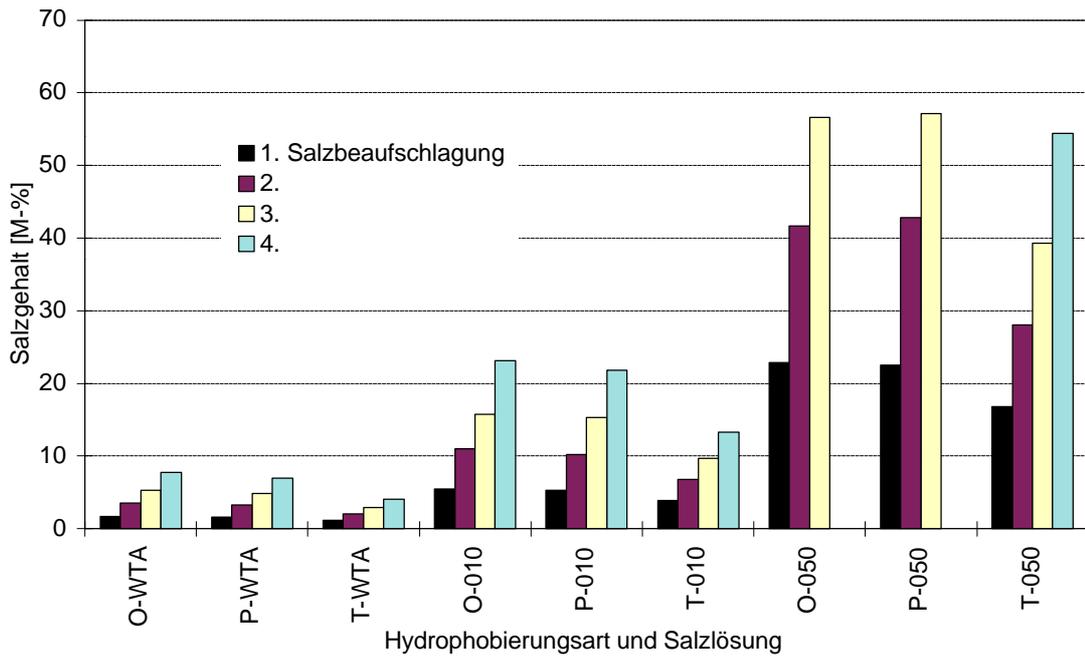
Zur Anwendung kamen 3 verschiedene Salzlösungen. Dies waren die sogenannte WTA – Lösung nach [Wta91], einem Gemisch von Nitrat, Chlorid und Sulfat, sowie eine 10 %ige und eine 50%ige Natriumchloridlösung (Kochsalz). Letztere Lösungen dienten dazu, mit einer einfachen Lösung ein Maxima an Salz in die Proben zu bekommen.

Hydrophobierungsart	O - ohne			P - gepinselt			T - getaucht		
	WTA	10 % NaCl	50 % NaCl	WTA	10 % NaCl	50 % NaCl	WTA	10 % NaCl	50 % NaCl
Beaufschlagte Salzlösung	WTA	10 % NaCl	50 % NaCl	WTA	10 % NaCl	50 % NaCl	WTA	10 % NaCl	50 % NaCl
Probenanzahl	9	9	9	9	9	9	9	9	9

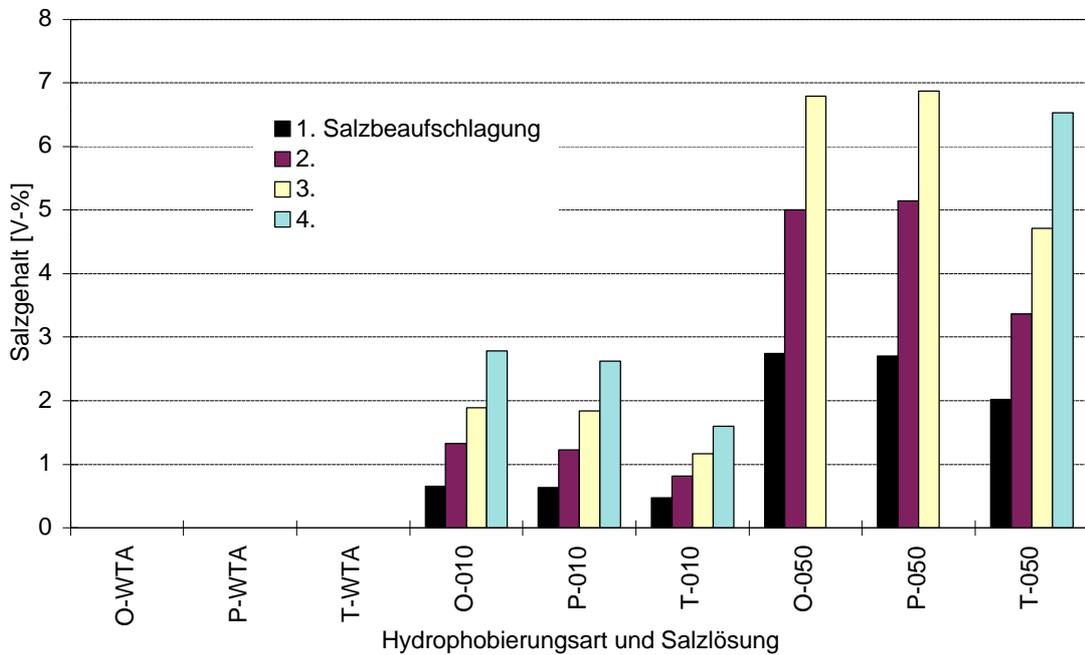
Tab. 3.35: Verteilung der untersuchten Proben

Die Hydrophobierung der Proben erfolgte vor dem Einbau in die PE Rahmen. Die aufgetragene Menge an Hydrophobierungsmittel wurde über die Masse erfaßt, diese schwankt unter den einzelnen Proben, da die Herstellung per Hand erfolgte. Die Streuung an aufgetragenem Hydrophobierungsmittel bei den getauchten Proben ist bei einer maschinellen Verarbeitung auf jeden Fall reduzierbar.

Der technische Ablauf im Produktionsprozeß für den Auftrag bzw. Eintrag des Hydrophobierungsmittels in die Platte ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit von untergeordneter Bedeutung. Auf Grund der kapillaren Eigenschaften des Ausgangsmaterials kann mit verschiedenen Methoden die Hydrophobierungstiefe erreicht werden. Welches Verfahren angewendet wird, kann somit dem Produktionsablauf und damit der Wirtschaftlichkeit angepaßt werden.



Diagr. 3.27: Abhängigkeit der aufgenommenen Salzmenge vom Grad der Hydrophobierung und der Konzentration der Salzlösung nach den einzelnen Beaufschlagungen (summiert)



Diagr. 3.28: Abhängigkeit der aufgenommenen Salzmenge vom Grad der Hydrophobierung und der Konzentration der Salzlösung nach den Beaufschlagungen (summiert)

Welche Bedeutung der Grad der Hydrophobierung für die Aufnahmefähigkeit der Sanierplatte für die Salzlösung hat, ist in den Diagrammen 3.27 und 3.28 ersichtlich. Die dargestellten Mengen sind Aufsummierungen. Es ist zu erkennen, daß mit steigendem Grad der Hydrophobierung die Aufnahmefähigkeit der Proben abnimmt. Dies ist nicht verwunderlich, da weniger unbehandelter Freiraum zur Verfügung steht. Diagramm 3.28 wurde nicht für die Proben mit WTA-Lösung aufgestellt, da es sich um ein Salzgemisch handelt und die Ermittlung des Volumenanteiles von Salzen sehr aufwendig ist. Bei der Angabe des Salzgehaltes in Masse – Prozent ist zu berücksichtigen, daß die Dichte der verwendeten Platten aus Calciumsilikat ca. 260 kg/m^3 beträgt. Das entspricht etwa einem Viertel der Sanierputze. Deutlich ist zu erkennen, daß die Angabe des Salzgehaltes nach Diagramm 3.28 in Volumen – Prozent ein realeres Bild der Verhältnisse abgibt.

Bereits nach der ersten Tränkung der Proben mit den verschiedenen Salzlösungen kam es bei den nicht hydrophobierten Proben zu Ausblühungen. Die hydrophobierten Proben zeigten zunächst weder ein Durchschlagen beim Tränken mit den Salzlösungen, noch Ausblühungen nach kurzer Zeit.

Nachdem die Proben zur Analyse der Beständigkeit bei Salzbelastung ein drittes Mal mit den jeweiligen Salzlösungen beaufschlagt wurden, befanden sich die in Tabelle 3.36 angegebenen Salzkonzentrationen in diesen. Die Menge der enthaltenen Salze wurde anhand der aufgenommenen Lösungsmenge bestimmt.

Pr.	O-WTA	P-WTA	T-WTA	O-010	P-010	T-010	O-050	P-050	T-050
1	5,34	4,83	2,53	15,71	15,18	10,40	55,86	54,60	35,90
2	5,37	4,89	3,17	15,74	15,63	10,10	54,38	57,22	42,09
3	5,27	4,82	3,27	16,07	16,16	9,72	56,28	55,97	40,96
4	5,44	5,05	2,95	16,13	15,23	8,50	59,31	57,10	34,95
5	5,19	4,48	3,06	15,69	14,43	9,99	58,01	57,41	42,06
6	5,34	4,87	2,74	15,83	14,31	9,96	59,60	55,75	39,55
7	5,55	4,97	2,98	15,12	15,64	9,89	54,64	60,44	38,42
8	5,04	5,14	3,00	16,25	15,61	8,72	55,57	56,97	40,68
9	5,20	4,83	2,93	14,95	15,48	9,88	55,59	59,12	38,85
∅	5,30	4,88	2,96	15,72	15,30	9,69	56,58	57,17	39,27

Tab. 3.36: *In den Proben befindliche Salzkonzentration in M-% nach der dritten Beaufschlagung mit Salzlösung (O - ohne Hydrophobierung, P - mit Pinsel hydrophobiert, T - durch Tauchen hydrophobiert; WTA-Salzlösung nach WTA, 010 - 10 %ige bzw. 050 - 50 %ige NaCl-Lösung)*

Da die Angabe der Salzkonzentrationen nach Tabelle 3.36 für eine Beurteilung nicht ausreichend ist, sind für die Beobachtung der Materialveränderungen und Schädigungen an den Proben durch die kristallisierenden Salze 4 Schadenskategorien eingeführt worden.

- Kat. 1: Verfärbungen; Blasenbildung durch Feuchtigkeit (für die praktische Anwendung unbedeutend)
- Kat. 2: Ausblühungen von Salzen
- Kat. 3: Aufplatzungen, Risse; Verwölbungen
- Kat. 4: Ablösungen, in weiterer Folge Materialverlust

Die beobachteten Schadensbilder lassen sich den einzelnen Salzkonzentrationen und Hydrophobierungen zuordnen, siehe Tabelle 3.37. Mehrfachnennungen sind möglich, wenn verschiedene Schäden an unterschiedlichen Stellen auftreten. Traten verschiedene Schadensbilder an einer Stelle auf, ist die höchste Schadenskategorie genannt. Begründung ist, daß nach einem aufgetretenen Schaden (z.B. nach Kategorie 3) an der entsprechenden Stelle Salze auskristallisieren können (Kat. 2). Die Beobachtungen werden regelmäßig durchgeführt und entsprechen dem Stand nach ca. 2 1/2 Jahren.

	O			P			T		
	WTA	10	50	WTA	10	50	WTA	10	50
Kat. 1	-	-	-	2	4	-	-	-	-
Kat. 2	9	9	9	-	-	-	-	-	-
Kat. 3	-	1	-	6	7	17	-	-	2
Kat. 4	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (?)
Anzahl der betroffenen Proben	9	9	9	7	7	9	0	0	3

Tab. 3.37: Anzahl der zugeordneten Schadenskategorien zu den einzelnen Probenarten durch kristallisierte Salze (Abkürzungen siehe Tabelle 3.36)

Die Salze kristallisierten nur bei den nicht behandelten (hydrophobierten) Proben aus. Andere Schadenskategorien waren nach dem Kristallisieren der Salze in diesen Proben nicht zuzuordnen, da die Salzkristalle die gesamte Oberfläche bedeckten. Nur bei einer Probe trat eine Oberflächenveränderung in Form einer Aufwölbung sichtbar auf.

Wie erwartet gilt folgende Richtlinie:

- je höher die Salzkonzentration, desto wahrscheinlicher sind Schäden
- je stärker die Hydrophobierungstiefe, desto unwahrscheinlicher sind Schäden

Bei den durch Bestreichen (P) hydrophobierten Proben sind eindeutige Schadensbilder erkennbar. Da die WTA - Lösung wegen ihrer geringen Salzkonzentration ein Maß für die maximale Salzkonzentration bis zu der keine Schäden auftreten, darstellt, sind bei einer derartigen Hydrophobierung nur Salzkonzentrationen bis max. 5 M-% in den Platten möglich. Die Schadensbilder sind auf Schwachstellen in der Platte zurückzuführen bzw. auf die Kristallisation der Salze in einer Ebene direkt unterhalb der Hydrophobierungsschicht,

die in der Folge „abgehoben“ wird. Die mit der 50 %igen Lösung versehenen Proben sind in der Zwischenzeit fast vollständig zerstört worden. Teilweise traten auch Aufwölbungen auf der Plattenfläche auf. In der Regel wurden die Aufwölbungen nur an den Rändern festgestellt.

Durch das Tauchverfahren hydrophobierte Proben zeigten erst nach über 2 Jahren erste Veränderungen, jedoch nur vereinzelt an der Oberfläche bei massiv mit 50 %iger NaCl-Lösung belasteten Proben. Daß sich im Prinzip keine Schäden zeigen, wird darauf zurückgeführt, daß durch die Ausbildung einer in zunehmender Tiefe nachlassenden Hydrophobierung sich entgegengesetzt eine steigende Salzkonzentration bildet. Der Druck aus der Kristallisation der Salze auf die Proben ist verteilt. Unterhalb der Hydrophobierung (Seitenansicht) sind die Proben, die mit 50 %iger NaCl-Lösung beaufschlagt wurden, deutlich gerissen. Die durch Tauchen hydrophobierten Proben zeigen bei einer Belastung mit WTA - Lösung bzw. 10 %iger NaCl-Lösung keine Schäden an der Oberfläche im Beobachtungszeitraum.

Bei den Untersuchungen völlig unberücksichtigt ist die Hygroscopicität der Salze. Es wird deshalb darauf verwiesen, weil beim Aufschneiden einzelner Proben festgestellt wurde, daß die Proben im Inneren feucht sind.

Fazit:

Anhand der vorgestellten Untersuchungen kann zusammenfassend festgestellt werden, daß nur bei einer Behandlung von 8 - 10 mm eine dauerhafte Garantie für eine schadensfreie Oberfläche gegeben werden kann. Auffallend ist, daß die Untersuchungen extrem zeitaufwendig und die Schadensmechanismen erst nach sehr langer Zeit erkennbar sind.

3.2.2 WTA - Test

Der Test nach [Wta91] wurde in 2 Schritten für die Sanierplatte durchgeführt. Der erste Schritt wird mit Voruntersuchungen bezeichnet. Diese Voruntersuchungen deuten darauf hin, daß eine geforderte Resistenz gegeben ist. Die Prüfung erfolgte an 8 verschiedenen, in einer Stärke von 5 - 8 mm hydrophobierten Platten aus Calciumsilikat aus einem anderen Herstellungsort (WAS) wie die zuvor durchgeführten Untersuchungen (LÜN). Die Platten wurden nach dem Hydrophobieren, um den Ablauf zu beschleunigen, 2 Stunden im Trockenschrank getrocknet und anschließend in Salzlösung gegeben. Die Tabelle 3.38 zeigt die Bedingungen, unter denen dieser Vorversuch durchgeführt wurde. Der Vorversuch wurde mit einer 50 %igen NaCl-Lösung begonnen, diese wurde auch nachgegeben. Durch die Verdunstung reicherte sich das Salz an, so daß die Lösung 100 %ig war. Die Proben lagerten direkt in der Lösung. Es wurde ein Maximum an gelösten Salzen in die Proben transportiert und ständig nachgeführt.

Dieser Vorversuch entspricht nicht WTA-Merkblatt 2-2-91 [Wta91]. Er ist aggressiver als dort vorgegeben. Nach WTA-Merkblatt ist eine Salzresistenz gegeben, wenn innerhalb der geforderten Zeit kein Durchdringen von Salzen erfolgt. Dies ist bei allen Proben erfüllt.

	gefordert	durchgeführt
Salzlösung Eintauchtiefe	WTA - Lösung Benetzte Unterseite Aufsaugen über Filterpapier	100 % ige NaCl - Lösung 5 - 8 mm
Belastungsdauer	10 Tage	7 Wochen

Tab. 3.38: *Vorversuch zur Bestimmung der Salzresistenz gemäß [Wta91] der Sanierplatten, Gegenüberstellung der Anforderungen mit den durchgeführten Kriterien*

Auf jeden Fall muß in Hinblick auf die Versuche für das Einzelmaterial im vorigen Kapitel darauf aufmerksam gemacht werden, daß die Hydrophobierungstiefe im letzten Test (Einzelmaterial) zu einem Versagen geführt hätte.

Anschließend wurde die Untersuchung der Sanierplatte auf Salzresistenz nach WTA-Merkblatt 2-2-91 „Sanierputzsysteme“ [Wta91] durchgeführt. Für diesen Test ist es erforderlich, die jeweilige Probe auf Filterplatten zu legen. Es wurden 4 Proben der Sanierplatte verwendet und 2 Proben mit einer geringeren Hydrophobierung. Der WTA-Test wurde mit rechteckigen Proben der Sanierplatte durchgeführt, statt mit runden. Anschließend wurde eine definierte Salzlösung in das Gefäß gegeben, so daß die Probenunterseite über die Filterplatte ständig mit Salzlösung benetzt ist. Die Behälter, in denen sich die Proben befinden, werden abgedeckt, die Probenoberseite wird ausgespart. Damit ist gewährleistet,

daß Feuchtigkeit nur über die Proben verdunstet und Salze in den Proben bzw. auf deren Oberseite kristallisieren. Für die Abdeckung der Lösung wurde Paraffin verwendet. Dies bewährte sich sehr gut. Die Behälter werden bei einem definierten Klima (25 °C / 50 % relative Luftfeuchtigkeit, gefordert sind 20 °C und 65 % relative Luftfeuchtigkeit) gelagert. Während der Untersuchung ist darauf zu achten, daß die Unterseite der Proben ständig mit der Salzlösung benetzt ist. Ein Nachfüllen der Behälter war über eine entsprechende Nachfüllöffnung gegeben.

Der WTA - Test „Salzresistenz“ gilt als bestanden, wenn nach 10 Tagen keine Flüssigkeit oder Salze an die Probenoberseite durchgeschlagen sind. Alle 6 untersuchten Proben haben diesen Test bestanden.

Diskussion des Ergebnisses:

Das Ergebnis des Testes auf Salzresistenz nach [Wta91] entspricht den Erwartungen. Nach diesem Merkblatt entspricht die 10tägige Beständigkeit eines Sanierputzes bei diesem Test, der 240fachen Beständigkeit eines Kalkputzes. Ein unmittelbarer Vergleich der Sanierplatte mit einem Sanierputz ist zu relativieren, da der Feuchtigkeitstransport und die Salzeinlagerungsprozesse unterschiedlich erfolgen.

Die Sanierplatten sind an den Seitenflächen durch die Trocknung im Ofen hydrophob. Dadurch kann in den Eckbereichen der Proben eine Diffusion der Feuchte in 2 Richtungen erfolgen und ist damit stärker als in Plattenmitte. Dies hätte u.U. zur Folge, daß Schäden als erstes in den Eckbereichen auftreten. Dies ist nicht geschehen.

Die Abdichtung mit Paraffin erfolgte auf Grund der Füllhöhe im Versuchbehälter z.T. unterhalb der Hydrophobierung der Platte. An diesen Seitenflächen (siehe oben) kristallisierten ebenso keine Salze aus bzw. die Lösung schlug nicht durch.

Die Wasseraufnahme der Sanierplatte unterscheidet sich stark von der in Sanierputzen, sie ist sehr hoch. Diese Aufnahmefähigkeit gilt auch für Salzlösungen und bedeutet, daß in wesentlich kürzerer Zeit die Feuchtigkeit kapillar aufgenommen werden kann. Die Verdunstung des Wasserdampfes an der Oberfläche der Sanierplatte wird durch Nachführen neuer Lösung ausgeglichen. Durch die ständige Nachführung der anstehenden Lösung wird vermutet, daß keine Salze kristallisierten und sich so ständig in Lösung befanden. Es wird demzufolge angenommen, daß ein Schadensbild wie bei Sanierputzen unter diesen Versuchsbedingungen nicht eintritt.

Die Abweichung vom geforderten Klima ist sehr gering. Der maßgebende Unterschied des Wasserdampfpartialdruckes oberhalb der Lösung (hier in den Proben) und in der Klimakammer, war geringfügig höher als im WTA - Merkblatt gefordert.

Die Proben lagerten anschließend weitere 20 Tage bei Raumklima. Es bildeten sich in dieser Zeit keine Salzkristalle an der Oberfläche bzw. an den Seiten der Proben. Der Test wurde in

dem beschriebenen Zustand grundsätzlich beendet. Die Proben wurden jedoch bei Raumklima weiter betrachtet. Eine der sechs Proben wurde aus dem Versuchsaufbau gelöst, die in der Sanierplatte befindliche Restfeuchte konnte über die Oberseite diffundieren. Den restlichen Proben wurde weiterhin und in unregelmäßigen Abständen die WTA-Lösung analog dem Test angeboten. Nachdem keine Lösung mehr nachgeführt wurde, diffundierte über die Oberseite der Proben die im Versuchsaufbau befindliche Feuchtigkeit. Nach Überschreiten der Sättigungskonzentration der Salzionen in der Lösung, begannen die Salze zu kristallisieren.

Die aus dem Versuchsaufbau gelöste Probe zeigt weiterhin keine Schäden, weder Risse noch kristallisierte Salze an der Oberfläche. Die Salze konnten sich nur innerhalb des WTA-Testes anreichern. Die in dieser Sanierplatte kristallisierten Salze wurden durch die Platte aus Calciumsilikat aufgenommen. Die restlichen Proben zeigen umlaufend unter der Hydrophobierung einen deutlichen Riß. Dieser löst die gesamte hydrophobierte Schicht der Sanierplatte ab.

Warum ist die einzelne Probe gegenüber den anderen schadensfrei ? In den fünf Proben, die im Versuchsaufbau verblieben, wurde kontinuierlich Feuchtigkeit in die Platte kapillar transportiert und so der Feuchtigkeitsverlust durch Verdunstung ausgeglichen. Da immer wieder WTA-Lösung nachgegeben wurde, reicherten sich Salze in der Platte (auf Grund des Feuchtigkeitsverlustes) an. Die Salze kristallisierten zunächst nicht, da die Salzkonzentration in der entstandenen Lösung weiterhin dafür zu gering war, so daß sich diese in Lösung befanden. Die Kristallisation der Salze begann, nachdem keine WTA-Lösung mehr nachgeführt wurde. Da es zu der beschriebenen Anreicherung der Salze kam, stieg deren Konzentration, die zur Kristallisation der Salze führte. In weiterer Folge kam es zu dem Ablösen der hydrophobierten Oberseite der Sanierplatte. Die enthaltene Salzmenge übersteigt die Menge der Salze in der schadensfreien Probe um ein Vielfaches.

3.2.3 Untersuchungen am Gesamtsystem

Von besonderem Interesse ist das Verhalten der entwickelten Sanierplatte auf dem Mauerwerk. Die Einlagerung hängt dann wesentlich von der Möglichkeit ab, die Salze an die Sanierplatte heranzuführen, um diese dort aufnehmen zu können. Diese wichtige Aufgabe muß ein Kontaktmaterial übernehmen, welches auf die Eigenschaften der Sanierplatte abgestimmt ist. Zur Ermittlung wurden u.a. folgende Untersuchungen durchgeführt.

Es wurden Verbundproben aus Ziegeln, verschiedenen Kontaktmitteln und der Sanierplatte hergestellt. Der Aufbau ist in Abbildung 3.38 ersichtlich. Nach Herstellung der Proben konnten diese 24 Tage aushärten bzw. wurden bei normalem Raumklima gelagert, in dieser Zeit (sprich den letzten Tagen) erfolgte auch das seitliche Abdichten mit Paraffin, um ein eindimensionales Verdunstungsverhalten zu gewährleisten.

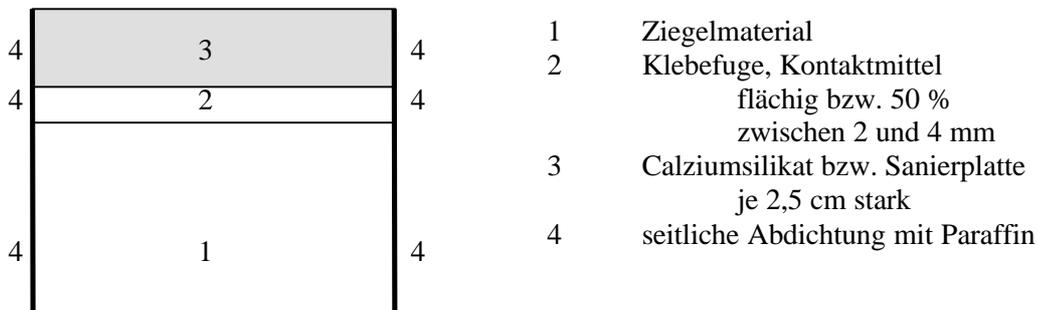


Abb. 3.38: Probekörper zur Untersuchung kapillarer Eigenschaften des Kontaktmittels und der Salzkristallisationsprozesse.

Das Ziegelmaterial ist ein gängiger moderner Ziegel, dessen Eigenschaften zu gewährleisten hatten, daß die Salzlösung in „normalen“ Mengen an die Kontaktschicht heran geführt werden. Die Kontaktschicht ist sowohl in Bezug auf die verwendeten Materialien variiert worden, als auch in Bezug auf den Flächenanteil. Es wurde davon ausgegangen, daß eine Verringerung der Kontaktfläche Ziegel–Kontaktschicht–Ziegel die Verdunstungseigenschaften verbessert. (Siehe dazu die Berechnungen bei den bauphysikalischen Kennwerten). Die verwendeten Sanierplatten verfügen alle über eine ca. 0,8 bis 1,0 cm starke Hydrophobierung. Parallel wurden auch die Calziumsilikat-Platte ohne Hydrophobierung untersucht, um den Transport der Salze an die Oberfläche zu überprüfen.

Parallel dazu wurden Materialien untersucht, die den Ist-Zustand eines zu sanierenden Gebäudes bzw. weitere Sanierungsmaßnahmen im Vergleich dazu beschreiben. Den Ist-Zustand stellen der Kalkmörtel und der Kalkzementmörtel dar. Als Alternative zur Sanierplatte wurden 2 Proben mit einem Sanierputz (einschichtig, eine Lage) versehen. Eine

Zusammenfassung der hergestellten Proben zur Untersuchung des Kontaktmittels für die Sanierplatte bzw. deren Applikation auf einem Ziegel ist in der Tabelle 3.39 angegeben.

Das einzig unbekanntes Material dürfte die sogenannte CaSi-Masse sein. Zu deren Herstellung wurde die CaSi-Platte zerkleinert und gemahlen. Anschließend wurde Wasser hinzu gegeben und ein Wasserrückhaltmittel, damit die entstandene Masse nicht zu schnell austrocknet und sich Risse bilden. Für die praktische Anwendung ist deren Anwendung eher unrealistisch, da eine sehr große Menge Feuchtigkeit in das Bauwerk beim Einbau der Sanierplatte eingetragen wird.

Zunächst wurde nach der Herstellung der Proben die Verdunstung gemessen, die Proben befanden sich 7 Tage in destilliertem Wasser, zeitweise mit einer Folie abgedeckt, so daß eine nahezu maximale kapillare Wasseraufnahme erfolgte. Anschließend wurde die Unterseite der Proben mit einer Aluminiumfolie beklebt, so daß ausschließlich eine Verdunstung über die Oberfläche erfolgen konnte.

Fugenmaterial	Fugenausbildung		CaSi-Platte	
	flächig	50 %	Unbeh.	Sanierplatte
CaSi-Masse incl. Tylose (Wasserrückhaltmittel)	X		X	
„		X		X
„		X	X	
Fertigputz (KZM)	X		X	
Fertigputz (KZM)	X			X
Fertigputz (KZM)		X	X	
Fertigputz (KZM)		X		X
Fertigputz (KZM) - 2 cm	-	-	-	-
Weißkalkhydrat - 2 cm	-	-	-	-
Kleber I		X		X
Kleber I		X		X
Kleber II ($\mu = 50$)		X	X	
Kleber II ($\mu = 50$)		X		X
Kleber III ($\mu = 18$)	X		X	
Kleber III ($\mu = 18$)	X			X
Kleber III ($\mu = 18$)		X	X	
Kleber III ($\mu = 18$)		X		X
Sanierputz - 2 cm	-	-	-	-
Sanierputz - 2 cm	-	-	-	-

Tab. 3.39: Liste der Variationen für die Untersuchung der Salzkristallisation und des Verdunstungsverhaltens der Sanierplatte u.ä. auf Ziegel

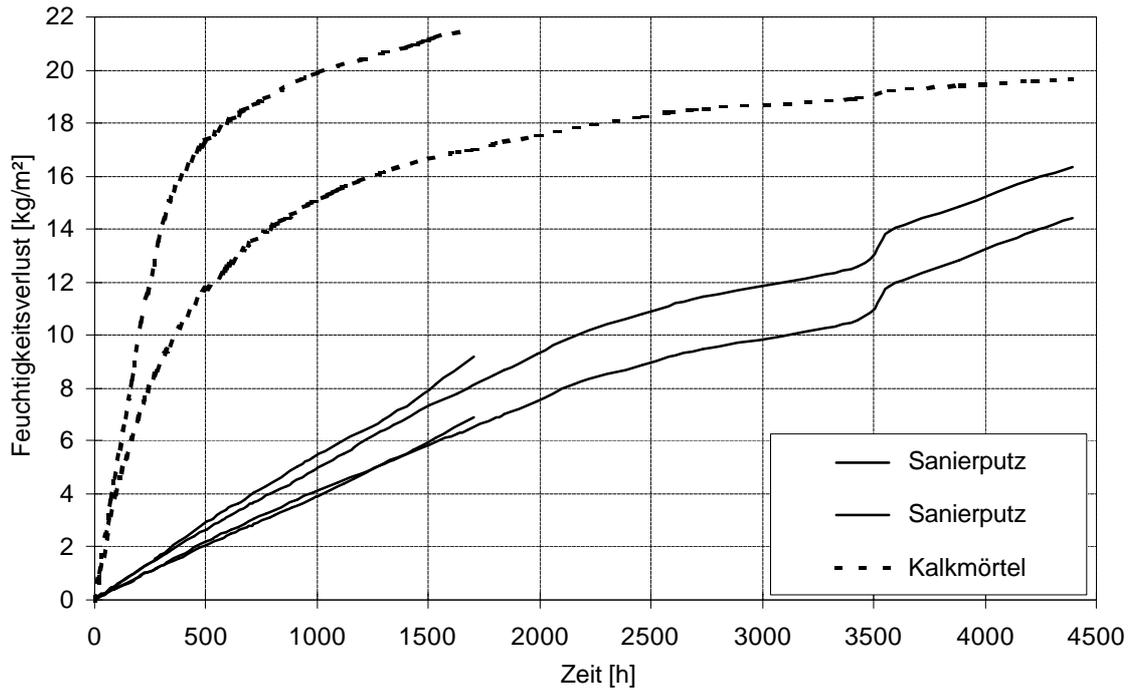
Bei den Proben, die mit der CaSi-Masse, dem Fertigputz und jeweils der unbehandelten CaSi-Platte, sowie den Proben mit dem Fertigputz und dem Kalkzementputz versehen waren, wurde eine vollständige Durchfeuchtung mit dem destillierten Wasser bis an die Oberfläche wie erwartet festgestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Wasserdampfdiffusion und dem Feuchtigkeitsverlust über die Oberfläche der Systemaufbauten werden im Anschluß gemeinsam mit den Ergebnissen der salzbelasteten Proben diskutiert. Die Untersuchung der mit Salzen belasteten Proben erfolgte analog. Die Lösung, mit der die Salzbefrachtung erfolgte, war die bekannte WTA-Lösung nach [Wta91]. Das Aufnahmeverhalten für die WTA-Lösung unterscheidet sich von dem mit Wasser. Dies liegt nicht nur an der vorliegenden Lösung, deren Eigenschaften von der des Wassers abweichen, sondern auch an anderen Eigenschaften des Materials, welches die Lösung aufnimmt. Es darf nicht unbeachtet bleiben, daß kein vollständiges Austrocknen der Proben erfolgte, eine Restfeuchte war auf jeden Fall in den Proben enthalten.

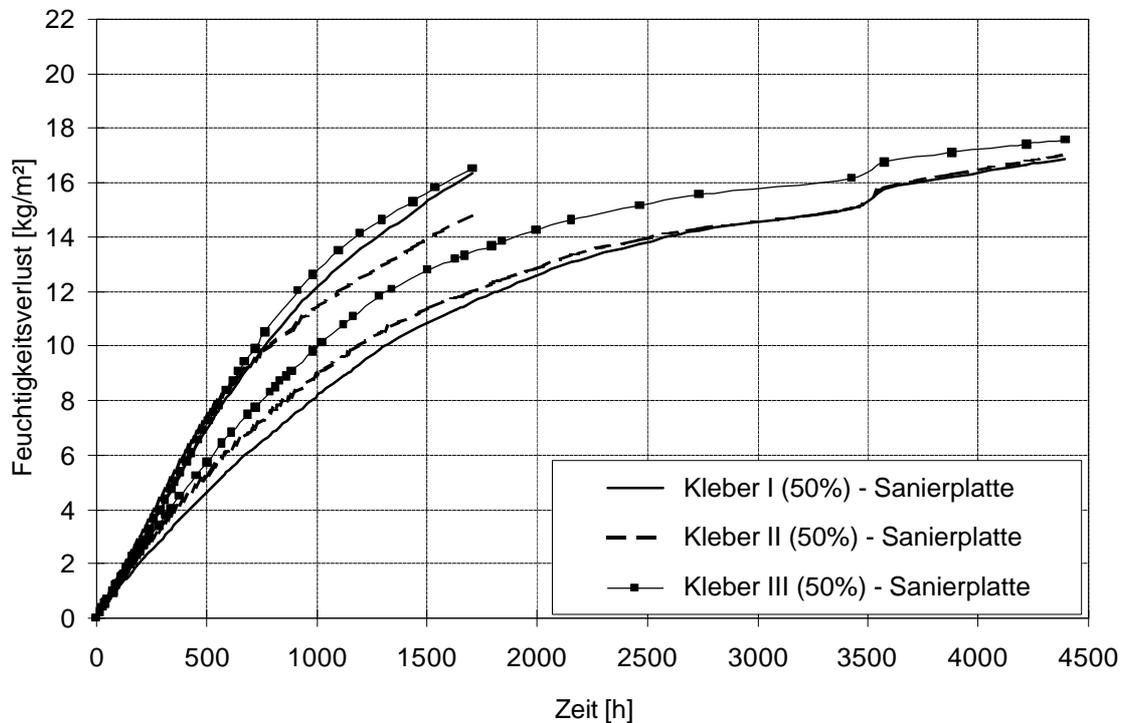
Verdunstungsverhalten

In den folgenden Abbildungen sind die Feuchtigkeitsverluste der Proben, die eine nahezu realistische Situation darstellen, über den gesamten Untersuchungszeitraum angegeben. Die kürzeren Kurven entsprechen den Untersuchungen mit reiner Feuchtigkeit, dem destillierten Wasser. Die Versuche wurden abgebrochen, da die Validierung mit Simulationsprogrammen (siehe dazu in [Dre99]) erfolgreich war und die Betrachtungen rechnergestützt fortgesetzt werden können. Die Kurven bis etwa 4500 Stunden entsprechen den Untersuchungen mit Salzlösungen.

Das Diffusionsverhalten mit Salzbelastung ist weitgehend unbekannt. Das Diffusions- und Verdunstungsverhalten an den Systemaufbauten verändert sich derart, daß sich die Verdunstungsmenge je m^2 bei allen Varianten reduziert. Bei den Sanierputzen tritt keine signifikante Veränderung auf.



Diagr. 3.29: Darstellung des Feuchtigkeitsverlustes bei einem Kalkputz und einem Sanierputz nach Beaufschlagung mit Wasser bzw. mit der sogenannten WTA-Lösung (Anm.: nach knapp 3500 h wurde das Klima verändert !)



Diagr. 3.30: Darstellung des Feuchtigkeitsverlustes der untersuchten Varianten für verschiedene Kleber und die Sanierplatte nach Beaufschlagung mit Wasser bzw. mit der sogenannten WTA-Lösung (Anm.: nach knapp 3500 h wurde das Klima verändert !)

Diagramm 3.29 stellt die Situation vor einer Sanierung (Kalkmörtel) bei Feuchtigkeitsbelastung bzw. bei zusätzlicher Salzbelastung dar. Der Rückgang des Feuchtigkeitsverlustes beim Kalkmörtel zu bestimmten Zeitpunkten wird auf die Eigenschaftsveränderungen durch die Salzlösung bzw. die krisallisierten Salze zurückgeführt. Die Meßkurven der Sanierputze entsprechen einer derzeit gängigen Sanierung. Auffällig ist, daß die Verdunstungsgeschwindigkeit über die Oberfläche bei dem verwendeten Sanierputz nahezu unabhängig von einer Salzbelastung ist. Die Sanierputze zeigen mit der Salzlösung wie bei den Untersuchungen ohne Salze das schlechteste Ergebnis, dies deutet auf eine sehr dichte Struktur des Materials.

Das Diagramm 3.30 zeigt die Meßergebnisse für die favorisierte Applikationsvariante. Wesentlich ist hervorzuheben, daß der Feuchtigkeitsverlust bei dieser favorisierten Applikationsvariante deutlich über dem des Sanierputzes liegt, jedoch unter dem des Kalkmörtels. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Kalkmörtel in jedem Fall vollständig durchfeuchtet, die Sanierplatte systembedingt nicht. Dadurch sind die Diffusionswege in dem Kalkmörtel an die sichtbare Oberfläche minimiert. Die Betrachtungen zum effektiven Wasserdampfdiffusionswiderstand in einem der folgenden Kapitel zeigen, daß das zu verwendende Kontaktmittel bei einem Flächenanteil bis zu 80 % keinen Einfluß auf das Diffusionsverhalten hat. Bei einer Erhöhung bis zu einem Flächenanteil von 80 % (mehr Kleber) ist von keiner signifikanten Verringerung der Feuchtigkeitsabgabe auszugehen. Die Feuchtigkeitsdurchlässigkeit ist größer als bei vergleichbaren Systemen.

Zusammenfassung:

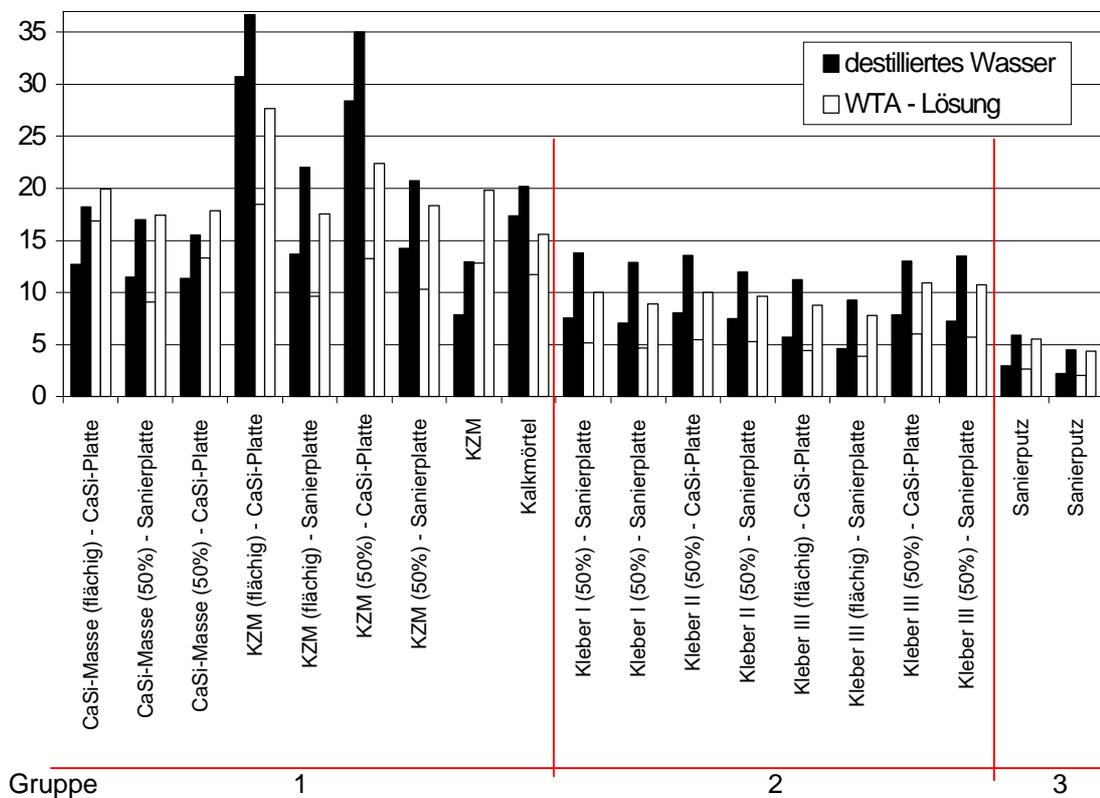
Im Diagramm 3.31 sind die Mengen der Feuchtigkeit dargestellt, die bei einer reinen Feuchtigkeitsbelastung, bzw. bei einer zusätzlichen Salzbelastung, über die Oberfläche der Systeme nach ca. 500 bzw. 1100 Stunden verdunstet sind. Bis zum Zeitpunkt von 500 h wird von einem ausreichend hohen Feuchtigkeitsgehalt in den Proben ausgegangen, die Verdunstungseigenschaften werden nicht durch das Trocknungsverhalten bei geringen Feuchtigkeitsgehalten beeinflusst.

Die Gliederung der Systeme in 3 die Verdunstungseigenschaften betreffende Gruppen gilt sowohl für die reine Feuchtigkeitsbelastung [Hec99], als auch bei einer Salzbelastung. Gruppe 1 sind die Materialien mit hoher Kapillarität (CaSi – Masse, Kalkzementmörtel [KZM] und Kalkmörtel), Gruppe 2 diverse Kleber und Gruppe 3 die Sanierputze. Bei allen Proben der Gruppen 2 und 3 war der Feuchtigkeitsverlust bei einer Salzbeaufschlagung nach 500 h geringer als bei einer reinen Feuchtigkeitsbelastung. Bei den kapillar aktivsten Materialien (Gruppe 1) ist die Verdunstung bei Salzbelastung sowohl geringer, als auch erhöht. Eine allgemeine Aussage über die Ursache ist z.Zt. nicht möglich. Eine Vermutung

ist, daß die Erhöhung durch eine stärkere Durchfeuchtung mit der Salzlösung erfolgte. Die Verringerung der Feuchtigkeitsabgabe wird damit begründet, daß die kristallisierenden Salze eine abdichtende Wirkung haben.

Zu erkennen ist, daß die Proben der Gruppe 2 bei einer Kontaktfläche von 50 % nur unwesentlich bessere Verdunstungseigenschaften als die flächig angebrachten Proben haben.

Proben der Gruppe 1 sind keine Sanierungsvarianten bzw. stellen Ausgangszustände vor einer Sanierung dar. Wesentlich ist, daß die entwickelte Sanierplatte durchschnittlich doppelt so gut Feuchtigkeit an die Umgebung abführen kann, als der untersuchte Sanierputz.



Diagr. 3.31: Darstellung des Feuchtigkeitsverlustes in kg/m² über die Oberfläche nach ca. 500 h (jeweils linke Säule) bzw. nach ca. 1100 h (jeweils rechte Säule) der untersuchten Varianten nach Beaufschlagung mit destilliertem Wasser (schwarz) bzw. mit WTA – Lösung (weiß)

3.2.4 Vergleich der Sanierplatte mit Sanierputzen

Der Vergleich von Sanierputz und der entwickelten Sanierplatte ist nicht ohne weiteres realisierbar. Ein Vergleich ist nur zwischen dem Festmörtel des Sanierputzes und der Sanierplatte möglich. Bei der Verwendung von Saniergrundputz nach WTA als Haftvermittler sind die Anforderungen nach [Wta91] einzuhalten. Es ist ratsam, die Anforderungen an den entsprechenden Grundputz den Eigenschaften der Sanierplatte mehr anzupassen, d.h., daß ein größerer kapillarer Feuchtigkeitseintrag in den Sanierputz ermöglicht werden sollte.

Tabelle 3.40 stellt die Anforderungen an einen Sanierputz-Festmörtel nach [Wta91] den Werten der untersuchten Sanierplatte gegenüber.

Eigenschaft		Einheit	WTA – Merkblatt 2-2-91	Sanier- platte	
Rohdichte	ρ_2	kg/dm ³	< 1,4	0,22 – 0,36	erfüllt
Wasserdampfdiffusions- widerstandszahl	μ	-	< 12	3 - 6	erfüllt
Biegezugfestigkeit	β_{bz}	N/mm ²	-	< 1	
Druckfestigkeit	β_d	N/mm ²	1,5 - 5	< 5	erfüllt
Festigkeitsverhältnis	β_d/β_{bz}	-	< 3	< 5	siehe ff.
kap. Wasseraufnahme	W_{24}	kg/m ²	> 0,3		
Wassereindringtiefe	H	mm	< 5		
Porosität		V-%	> 40	ca. 90	erfüllt
Salzresistenz		-	bestanden		erfüllt

Tab. 3.40: Vergleich der Anforderungen an Sanierputz - Festmörtel nach [Wta91] mit den Kennwerten für Sanierplatten

Im folgenden sind einige Erläuterungen zu den Angaben in Tabelle 3.40 erforderlich. Da verschiedene Platten aus Calciumsilikat für die Eignung als Sanierplatte untersucht wurden, sind z.T. die jeweiligen Randwerte bzw. Grenzwerte angegeben.

Die Rohdichte ρ_2 der Sanierplatte nach [Wta91] beträgt zwischen 0,22 und 0,36 kg/dm³, was durch die verschiedenen Herstellungsorte (Ausgangsmaterialien) und -verfahren der Platten bedingt ist. Der Wasserdampfdiffusionswiderstand μ wurde teilweise direkt bestimmt, teilweise aus anderen Messungen und Berechnungen abgeleitet. Der Einfluß der Hydrophobierung ist kaum meßbar.

Die Biegezugfestigkeit und die Druckfestigkeit wurden bestimmt. Der maßgebliche Wert nach WTA ist das Verhältnis aus Druckfestigkeit zu Biegezugfestigkeit. Der Wert wird, je nach untersuchtem Material, überschritten. Dies wird mit der geringen Biegezugfestigkeit begründet. Andererseits ist es möglich, daß das Material mehr Deformationen aus der

Kristallisation der Salze aufnehmen kann, da große Freiräume zum Abbau des Kristallisationsdruckes vorhanden sind, die bei der Biegezugfestigkeit ungünstig sind. Das zu Grunde gelegte Wirkprinzip für die Sanierplatte geht von einer maximalen schadensfreien Einlagerung der Salze aus.

Die Anforderung an die kapillare Wasseraufnahme von Sanierputzen ist nicht ohne weiteres mit der Sanierplatte vergleichbar. Im Sanierputz sind feuchteabweisende und feuchteaufnehmende Eigenschaften miteinander vereint. Die Salzeinlagerung muß ermöglicht werden, ohne daß ein Durchschlag erfolgt. Daher ist nach WTA-Merkblatt eine maximale kapillare Wasseraufnahme zugelassen, bei einer begrenzten Wassereindringtiefe. Die Putzeigenschaften sind über den gesamten Querschnitt gleich. In der Sanierplatte werden diese Eigenschaften räumlich deutlich voneinander getrennt. Der nicht hydrophobierte Bereich nimmt ein Maximum an Wasser und den darin gelösten Salzen auf. Die hydrophobierte Oberseite verhindert das Durchdringen des Wassers und damit das oberflächliche Kristallisieren der Salze.

Die Wassereindringtiefe bei einer Sanierplatte liegt je nach Hydrophobierungsstärke zwischen 15 (10 mm hydrophobiert) und 17 mm (8 mm hydrophobiert). In der Höhe der Wasseraufnahme werden die mitgeführten und gelösten Salze abgelagert. Es steht gegenüber den Sanierputzen ein größerer Bereich der Salzeinlagerung zur Verfügung.

Die Salzresistenz wurde für die Sanierplatte im vorigen Kapiteln erläutert. Die entsprechenden Erläuterungen sind dort nachzulesen.

Der Vergleich zeigt, daß die Anforderungen an die Sanierplatte von Sanierputzen mit Einschränkungen eingehalten werden, bzw. zu optimaleren Bedingungen in der Salzeinlagerung gegenüber Sanierputzen führen. Das liegt im wesentlichen in einem anderen Ansatz für die Umsetzung der schadensfreien Einlagerung der Salze bzw. der schadensfreien Oberfläche entsprechend geschädigter Wände.

In Tabelle 3.41 werden verschiedene Salzgehalte in verschiedenen Sanierputzen und Sanierplatten miteinander verglichen. In der Literatur wurde kein Salzgehalt über 5 M-% in Sanierputzen, die auf versalzene Wände aufgebracht wurden, gefunden. Wird dieser Salzgehalt für verschiedene Dichten in Volumenprozent umgerechnet, so kann mit der Sanierplatte verglichen werden. Der Salzgehalt von 50 M-% wurde in 8 - 10 mm hydrophobierten Sanierplatten eingebracht. Die Proben zeigten keine Schäden an der Oberfläche (siehe entsprechende Abschnitte zuvor).

Sanierputz (Salzgehalt 5 M-%)		CB - Sanierplatte (Salzgehalt 50 M-%)	
Dichte	Salzgehalt	Dichte	Salzgehalt
[kg/m ³]	[V-%]	[kg/m ³]	[V-%]
		220 (W)	5,1
		230	5,3
		260 (L)	6,0
1000	2,3		
1200	2,8		
1400 (WTA max.)	3,2		
2000	4,6		

Tab. 3.41: Vergleich der Salzaufnahmefähigkeit für Sanierputze und Sanierplatten

3.3 Bauphysikalische Kennwerte

3.3.1 Eigenschaften der Platten aus Calciumsilikat

Für die untersuchten Platten aus Calciumsilikat wurden diverse bauphysikalische Kennwerte ermittelt. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Generierung von Daten, die für Simulationsrechnungen verwendet werden können. Die Entwicklung der Sanierplatte wurde permanent von Simulationsrechnungen begleitet. Dies ermöglichte, daß einzelne Versuche kürzer gefaßt werden konnten, da sie sich mit den Berechnungen deckten. Entsprechende Proben konnten dann für Untersuchungen mit Salzen verwendet werden, da es z.Zt. keine Möglichkeit gibt, den Salztransport vollständig und umfassend in Simulationen wiederzuspiegeln.

Die Materialdaten wurden für alle unterschiedlich hergestellten Calciumsilikatplatten (hier zunächst: CaSiL und CaSiW) gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.42 aus [Dre99a] teilweise wiederholt dargestellt und ergänzt.

	ρ	u_{45}	u_{75}	U_F	μ	w
	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	Kg/m ³	-	kg/m ² h ^{0.5}
CaSiL	260	2.3	4.2	900	3.2	100
CaSiW	220	3.5	7.0	900	3.0	75

- ρ Trockendichte
- u_{45} Sorptionsfeuchtegehalt bei 45 % relativer Luftfeuchte und Raumtemperatur
- u_{75} Sorptionsfeuchtegehalt bei 75 % relativer Luftfeuchte und Raumtemperatur
- U_F Sättigungsfeuchtegehalt
- μ Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl
- w Wasseraufnahmekoeffizient

Tab. 3.42: Kenndaten von Calciumsilikat aus zwei Herstellungsprozessen

Die Meßwerte stellen teilweise Extreme bezüglich Baustoffen dar. So ist bei der relativ geringen Dichte die Sättigungsfeuchte sehr hoch, dieser Wert kann bei normaler Nutzung eines Gebäudes nie erreicht werden. Die Werte für die Sorptionsfeuchte entsprechen der Charakteristik der Platten. Werden diese Werte auf Grund von Kondensation im Inneren des Bauteils überschritten, kann diese überschüssige Feuchtigkeit rasch in weitere Bereiche der Platte transportiert werden, um dort nach klimatischen Möglichkeiten an den Raum abgegeben zu werden.

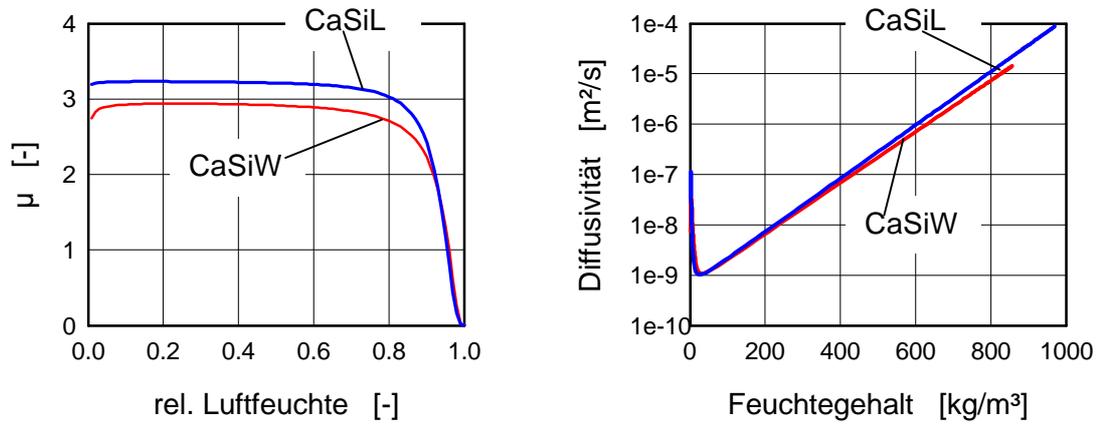
Der Wasseraufnahmekoeffizient ist im Folgenden für die senkrechte Messung (wie in Abbildung 3.39 skizziert) angegeben. Für eine Prüfung „waagrecht“ beträgt der Meßzeitraum weniger als 2 Min. Beachtet man, daß die Eintauchtiefe der Probe das Ergebnis verändert, kann anhand dieser „waagerechten“ Werte nur eine Orientierung gegeben werden.



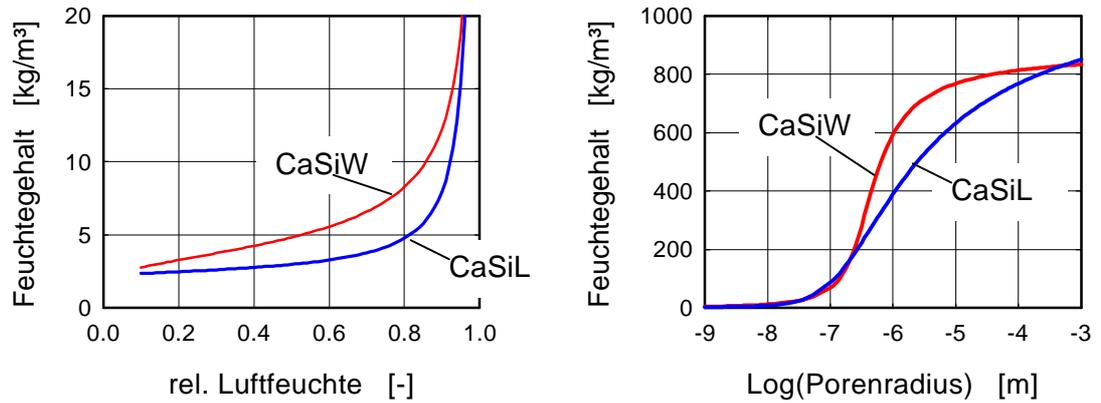
Abb. 3.39: Orientierung der Calciumsilikatproben zur Bestimmung von w

Für die Platte CaSiL wurde kein signifikanter Unterschied zwischen senkrecht und waagrecht festgestellt. Bei der Messung an CaSiW ist eine Verringerung (rd. 10) ermittelt worden. Dies ist auf die Herstellung der Platten zurückzuführen. Der Herstellungsprozeß für die Sorte W ist mit einem Pressen des Rohmaterials verbunden. Dadurch ergeben sich Schichtungen, die bei der waagerechten Messung kapillarbrechend wirken. Es sei allerdings darauf verwiesen, daß der Unterschied baupraktisch nicht relevant ist. Der Feuchtigkeitszutritt in Platten aus Calciumsilikat ist deutlich geringer, als das der w -Wert von über $40\text{-}50\text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ innerhalb der Platte maßgebend ist.

Die aus den Kenndaten ermittelten Transport- und Speicherfunktionen für Simulationsrechnungen sind in den Diagrammen 3.32 und 3.33 dargestellt und wurden [Bed99] entnommen. Das Maximum der Porenradienverteilung für CaSiL wurde so gewählt, daß es bei $1.0\text{ }\mu\text{m}$ liegt und für CaSiW bei $0.5\text{ }\mu\text{m}$.



Diagr. 3.32: Feuchtetransportfunktionen für die Platten aus Calciumsilikat W und L



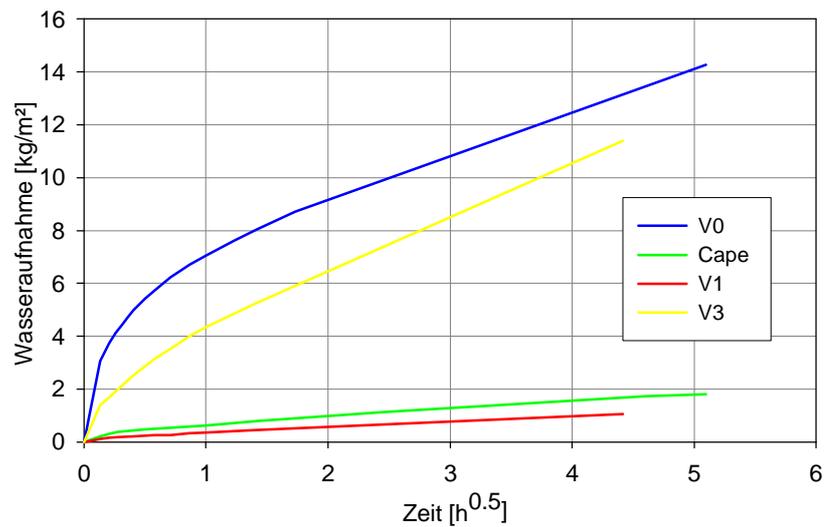
Diagr. 3.33: Feuchtespeicherfunktionen für die Platten aus Calciumsilikat W und L

3.3.2 Eigenschaften möglicher Kontaktmittel

Die Kenndaten gehen im wesentlichen auf die Messungen nach [Put01] zurück. Dort sind detaillierte Angaben zu den jeweiligen Messungen zu finden. An dieser Stelle werden die Ergebnisse zusammengefaßt und auf die Entwicklung eines funktionstüchtigen Kontaktmittels für die Sanierplatte beschränkt.

Wasseraufnahmekoeffizient

In dem Diagramm 3.34 sind die Wasseraufnahmekoeffizienten der untersuchten Kontaktmittel zusammengefaßt. Anhand dessen ist zu erkennen, daß 2 der untersuchten Materialien (V1 und Cape) wegen ihrer sehr geringen Kapillarität nicht weiter in Betracht kommen. Die Varianten V0 und V3 kommen für die Anwendung mit der Sanierplatte in Frage.



Diag. 3.34: Vergleich der Wasseraufnahmekoeffizienten für die Kontaktmittel

Normaler Feuchtigkeitsgehalt

Im Anschluß an die Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten wurden die Proben bis zur Massekonstanz im Wasserbad belassen. Der daraus bestimmte normale Feuchtigkeitsgehalt beschreibt im Gegensatz zum Sättigungsfeuchtegehalt die maximale, unter normalen Bedingungen aufnehmbare Wassermenge. Im Gegensatz zum Material Calciumsilikat weisen die Messungen deutlich geringere Werte aus. Die Varianten Cape und V1 nehmen ca. 8 – 15 M-% auf, V3 kann 23 M-% aufnehmen und V0 sogar 90 M-%. Dadurch ergibt sich eine Tendenz, daß das Material V0 sehr gut als Kontaktmittel bei der Sanierplatte geeignet ist.

Trockenrohddichte, Sättigungsfeuchtegehalt, Porenvolumen

Die entsprechenden Meßwerte für Trockenrohddichte, Sättigungsfeuchtegehalt und Porenvolumen sind der Tabelle 3.43 zu entnehmen. Wie bei den Meßergebnissen zuvor, kann auch hier die Nähe des Materials V0 hin zu den Platten aus Calciumsilikat festgestellt werden. Die Differenz zwischen diesem Kontaktmittel und den Platten ist am geringsten.

	Cape	V0	V1	V3
Trockenrohddichte [kg/m ³]	1180	440	1460	1300
Sättigungsfeuchtegehalt [M-%]	34	169	15	39
Porenvolumen [m ³ /m ³]	0,40	0,75	0,22	0,50

Tab. 3.43: Mittelwerte der Messungen für die Trockenrohddichte, den Sättigungsfeuchtegehalt und das Porenvolumen

Wasserdampfdiffusion und Wärmeleitfähigkeit

In der folgenden Tabelle 3.44 sind die gemessenen Werte für den Wasserdampf-diffusionswiderstand und die Wärmeleitfähigkeit angegeben. Außer V1 haben alle anderen Messungen akzeptable Werte für den Wasserdampfdiffusionswiderstand in Zusammenhang mit der Sanierplatte bei einem flächigen Auftrag ergeben. Im nachfolgenden Abschnitt wird beschrieben, daß unter Umständen auch dieses Kontaktmaterial verwendet werden kann. Die Wärmeleitfähigkeit der Kontaktmittel hat zunächst keine Bedeutung auf die Wirksamkeit des System.

	Cape	V0	V1	V3
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl [-]	10	5	64	8
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	0,45	0,10	1,30	0,10

Tab. 3.44: Mittelwerte der Messungen für den Wasserdampfdiffusionswiderstand und die Wärmeleitfähigkeit

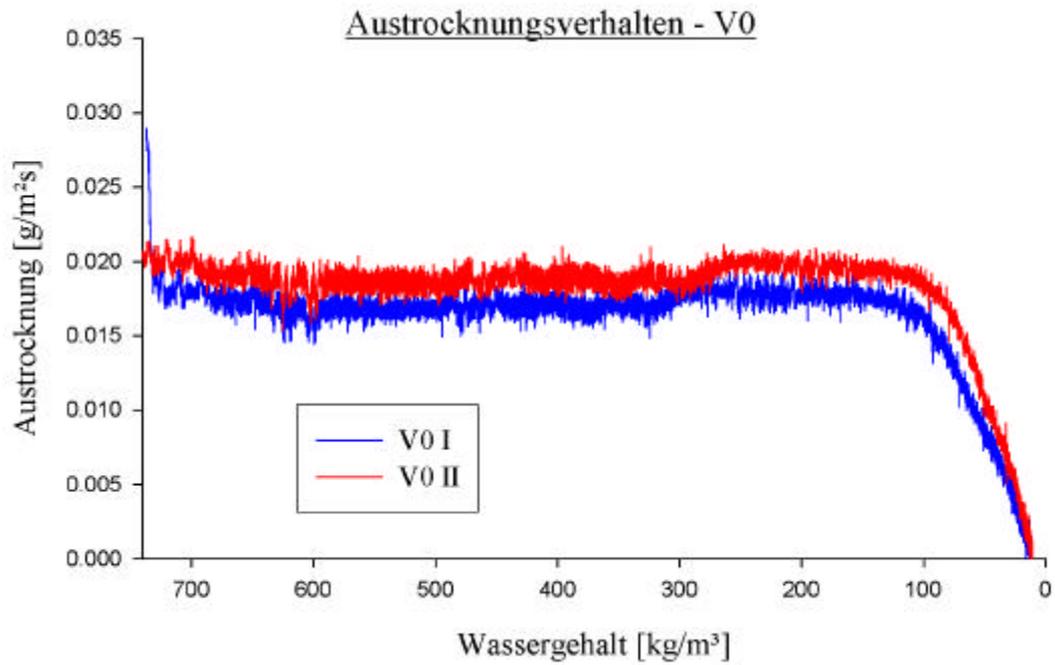
Trocknungsverhalten

Die folgenden Diagramme 3.35 und 3.36 zeigen das Trocknungsverhalten zweier Kleber. Die Messung des Trocknungsverhaltens ist wesentlich für die Bestimmung der Daten für Simulationsrechnungen. Die bisher herauskristallisierten Vorzugsvarianten für das Kontaktmaterial V0 und V3 zeigen fast den gleichen Kurvenverlauf wie es in Diagramm 3.35 für V0 dargestellt ist. Zum Vergleich ist der Kurvenverlauf für V1 in Diagramm 3.36 angegeben. Dieser Verlauf ist charakteristisch für fast vollständig hydrophobe Materialien, dies zeigte bereits die Messung des Wasseraufnahmekoeffizienten. Eine Anwendung mit der Sanierplatte ist auszuschließen, da ein kapillarer Feuchtigkeitseintrag in die Sanierplatte nicht gewährleistet ist.

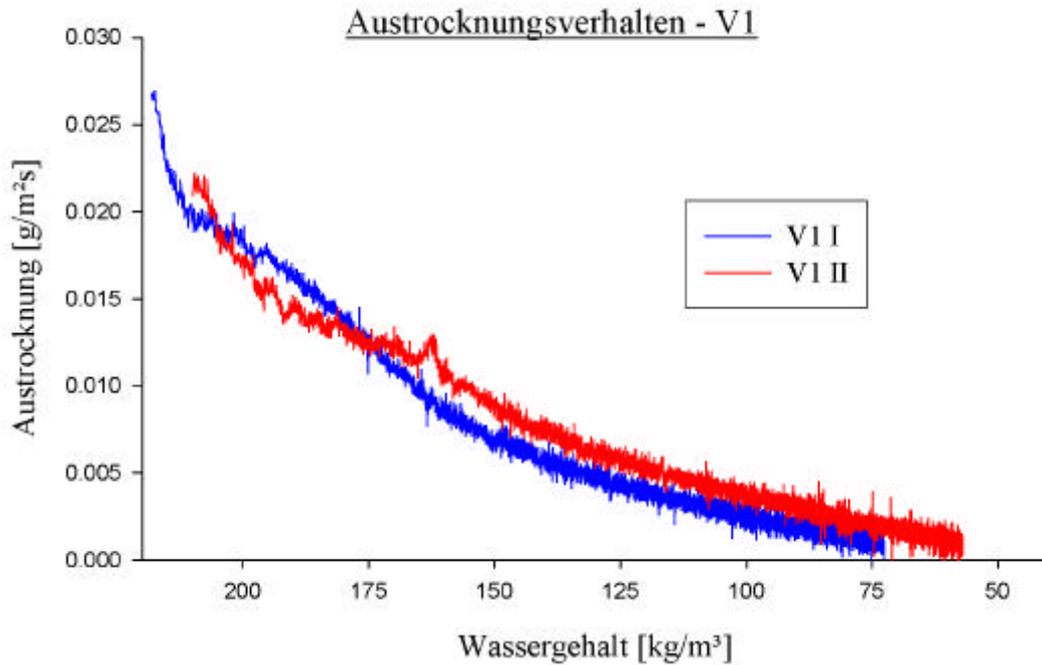
Der Verlauf der Trocknung bei der derzeit zur Anwendung kommenden Calciumsilikat-Platte für die Sanierplatte ist parallel etwas nach oben verschoben, d.h. die Menge an Feuchtigkeit, die pro m² verdunstet, ist in der gleichen Zeit etwas höher.

Zusammenfassung

Ein Kontaktmittel, welches mit der Sanierplatte verwendet wird, sollte über die Eigenschaften des untersuchten Materials V0 verfügen. Damit ist eine optimale Funktionalität der Sanierplatte gewährleistet.



Diagr. 3.35: Trocknungsverhalten zweier Kleber des Typs V0



Diagr. 3.36: Trocknungsverhalten zweier Kleber des Typs V1

3.4 Untersuchungen ausgewählter Fälle und Ergänzungen

3.4.1 Eigenschaftsänderungen durch den Flächenanteil des Kontaktmittels

In grundsätzlichen Überlegungen wurde die resultierende bzw. effektive Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl für das System der Sanierplatte in Abhängigkeit vom Kontaktmittel untersucht. Wesentliches Ziel ist es, ein System anbieten zu können, welches über einen sehr geringen Wasserdampfdiffusionswiderstand verfügt. Dabei gilt für alle gängigen Sanierungssysteme, daß eine ggf. aufgetragene Oberflächenbeschichtung zu keiner wesentlichen Beeinflussung führt und damit der Diffusionswiderstand nicht eingeschränkt wird. Als Kriterium gelten Sanierputze nach WTA-Merkblatt 2-2-91 [Wta91]. Es ist eine Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von 12 zu unterschreiten.

Für diese Abschätzung wurden die Grundgedanken nach [Eni46] sinngemäß übertragen. Sowohl der Wärmedurchlaßwiderstand, als auch der Wasserdampfdiffusionswiderstand sind in ihrer physikalischen Charakteristik ähnlich, so daß die Gleichungen hier analog angewendet werden können.

$$\mathbf{m}_1 \cdot s_{ges.} = \frac{1}{\frac{1}{\mathbf{m}_K \cdot s_K} \cdot a_K + \frac{1}{\mathbf{m}_L \cdot s_L} \cdot (1 - a_K)} + \mathbf{m}_P \cdot s_P \quad (Gl. 3.5)$$

$$\mathbf{m}_2 \cdot s_{ges.} = \frac{1}{\frac{1}{\mathbf{m}_K \cdot s_K + \mathbf{m}_P \cdot s_P} \cdot a_K + \frac{1}{\mathbf{m}_L \cdot s_L + \mathbf{m}_P \cdot s_P} \cdot (1 - a_K)} \quad (Gl. 3.6)$$

wobei:

μ Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl [-]

s Schichtdicken [m]

a Flächenanteil [-]

Index:

ges. gesamtes System (Kleber bzw. Luft und Sanierplatte)

L Luft

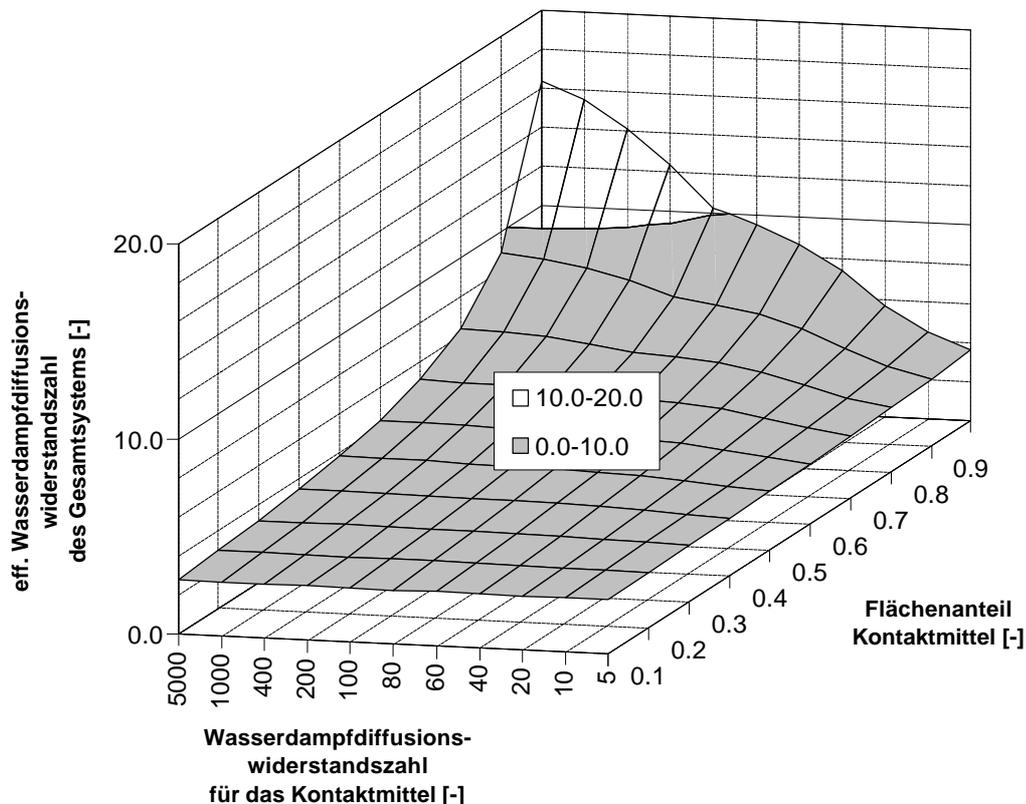
K Kontaktmittel

P Sanierplatte

In [Eni46] wird empfohlen, bei zusammengesetzten Systemen die Widerstände sowohl seriell, als auch parallel zu betrachten. Das Endergebnis ist die Mittelung beider Betrachtungen. Es wird damit eine höhere Genauigkeit in der Berechnung erreicht.

Mit der Gleichung 3.5 wird die äquivalente Luftschichtdicke $\mu_{1s_{ges.}}$ berechnet, in dem die Schicht des Kontaktmittels und die entstehende Luftschicht zusammengefaßt werden. Die Sanierplatte wird anschließend hinzugefügt. In Gleichung 3.6 erfolgt die Berechnung von $\mu_{2s_{ges.}}$ derart, daß die Kontaktmittelschicht und der dazugehörige Bereich der Sanierplatte und der entsprechende Bereich der Luftschicht mit der Sanierplatte berechnet werden. Werden die Resultate der Gleichungen 3.5 und 3.6 durch die gesamte Schichtdicke dividiert und nach Gleichung 3.7 gemittelt, ergibt sich die effektive Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl des Gesamtsystems.

$$\mu_{\text{eff.}} = \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \quad (\text{Gl. 3.7})$$



Diagr. 3.37: Grafische Darstellung der effektiven Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ von CaSi-Platten mit verschiedenen Kontaktmitteln bei unterschiedlichen Flächenanteilen

Für die Sanierplatte wird eine Dicke von 2,5 cm angenommen und die Kontaktmittelschicht (gilt für das Kontaktmittel und die Luftschicht) ist 1 cm stark. Somit entsteht eine Schichtdicke des Gesamtsystems von 3,5 cm.

Das Ergebnis ist in der Abbildung 3.37 dargestellt. Dabei wurden zum einen die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl des Kontaktmittels zwischen Ziegel und der Sanierplatte aus Calciumsilikat variiert, zum anderen wurden die Flächenanteile des Kontaktmittels verändert. Ein Flächenanteil von 100 % für die Kontaktschicht ist nicht dargestellt.

Es ist in Abbildung 3.37 abzulesen, daß bei der Applikation der Sanierplatte über eine punktförmige Verklebung (auch Batzenklebung genannt) die eine Deckung von ca. 80 % auf der Mauerwerksoberfläche bewirkt, die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl des Kontaktmittels keine Rolle spielt, um im Vergleich mit einem Sanierputz bei gleicher Systemdicke günstiger abzuschneiden. Ein weiterer Vorteil dieser Applikationsvariante ist, daß der sich bildende Freiraum zwischen Mauerwerk und Sanierplatte den kristallisierenden Salzen als Expansionsraum zur Verfügung steht. Bei einem Flächenanteil bis 80 % kann demnach die Größe nach den Haftungseigenschaften des Klebers auf dem Untergrund gewählt werden.

3.4.2 Praxisversuche Schloß Zell an der Pram

Für den Versuch vor Ort im Schloß Zell an der Pram (A) sind unbehandelte Platten aus Calciumsilikat und Sanierplatten untersucht worden.

Es wurden für die Anwendung 55 Sanierplatten händisch produziert. Dazu wurde ein ausreichend dichter Rahmen hergestellt, in den jeweils eine Klimaplatte eingespannt wurde. Das Randdetail ist in Abbildung 3.40 grafisch dargestellt. Anschließend wurde eine definierte Menge an Hydrophobierungsmittel gleichmäßig verteilt auf die Oberfläche aufgebracht. Diese Menge an Hydrophobierungsmittel entsprach gegenüber den Untersuchungen zur Salzresistenz einer geringeren Hydrophobierungstiefe als der optimalen.

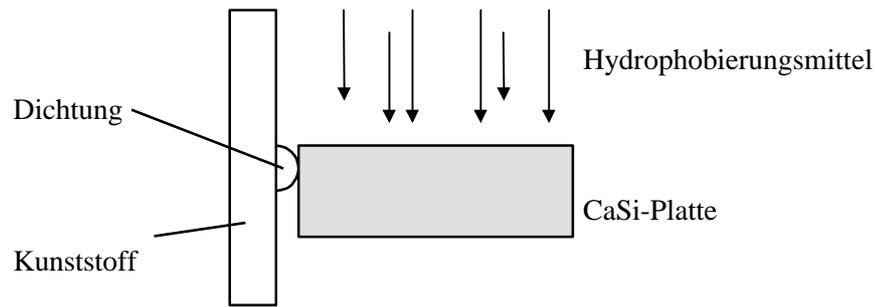


Abb. 3.40: Detail der Rahmen zur Herstellung der Sanierplatte

Die Platten standen nach der Befrachtung mit dem Hydrophobierungsmittel und oberflächlicher Trocknung aufrecht und einzeln. Nach 3 Tagen wurden sie gestapelt. Dabei lagen auf Grund der Bearbeitung gleiche Seiten aufeinander, d.h. daß die hydrophobierten Seiten aufeinander lagen und zwischen den nicht hydrophobierten Seiten sicherheitshalber eine Folie lag. Für den Transport wurden die Platten umgestapelt, wobei gleiche Seiten wieder aufeinander lagen. Auf eine zwischenliegende Folie konnte verzichtet werden, da von einer ausreichenden Trocknung auszugehen war. Zum Transport ist um die Paletten eine Folie gewickelt worden.

Von Verschnittstücken und Resten wurden Proben genommen und die Hydrophobierungsstärke bestimmt. Alle geprüften Sanierplatten lagen über einer Hydrophobierung von 6 mm. In den bisherigen Ausführungen sind 8-10 mm als Hydrophobierungstiefen favorisiert. An den Wänden in Schloß Zell a.d. Pram war zu prüfen, ob geringere Mengen der Hydrophobierung unter praktischen Bedingungen ausreichend sind.

	1	2	3	4	5
Herkunft der Platte	L	W	W	W	W
Oberfläche	unbehandelt	Unbehandelt	Sanierplatte	Sanierplatte	unbehandelt
Kontakt zur Wand	Kleber + CaSi-Masse	Kleber + CaSi-Masse	Kleber + CaSi-Masse	punktförmig verklebt	punktförmig verklebt

Tab. 3.45: Zusammenstellung der applizierten Varianten für die Versuchswand in Schloß Zell a.d. Pram.

Unter Verwendung der Voruntersuchungen (ein entsprechendes Gutachten wurde erstellt, einzelne Angaben daraus befinden sich in [Tep99]) sind die in Betracht kommenden Wände für die einzelnen Sanierungsvarianten ausgewählt und geplant worden. Die Tabelle 3.45 zeigt für eine Wand die durchgeführte Sanierung. Es wurden sowohl Platten ohne Behandlung, als auch Sanierplatten appliziert. Es wird u.a. angenommen, daß auf Grund der hohen Diffusionsfähigkeit der Platten bei geringen Versalzungsgraden keine Hydrophobierung erforderlich ist, da die Kristallisation im Plattenquerschnitt erfolgt. Das Kontaktmittel wurde u.a. nach den Untersuchungen aus den Tests zur Salzresistenz ausgewählt. Zum Zeitpunkt der Applikation lagen keine detaillierten Untersuchungen zur Beschaffenheit des Kontaktmittels vor.

Bisher liegen keine Meldungen oder Anmerkungen vor, die auf einen negativen Verlauf der Untersuchungen schließen. Die Platten befinden sich schadensfrei seit ca. 3 Jahren auf den Wänden.

3.4.3 Eigenschaftsänderungen durch Oberflächenbeschichtungen

Bei der Auswahl des Beschichtungssystems muß auf dessen Verträglichkeit mit dem Untergrund geachtet werden, da nicht aufeinander abgestimmte bauphysikalische Kennwerte zu Bauschäden führen können. Farbveränderungen durch chemische Reaktionen, Rißbildung durch aufgebaute Spannungen und Blasenbildung durch Feuchtigkeitsstau sind nur einige Fälle, wo die Mißachtung dieses Grundsatzes offen zu Tage tritt.

Mehrfach wird in der Literatur der Einfluß von Beschichtungen auf die Funktionstüchtigkeit von Sanierungssystemen auf der Oberfläche erläutert. Gleiches gilt bei der Anwendung von unbehandelten Platten aus Calciumsilikat zur Errichtung einer Innendämmung und der Sanierplatte bei feuchte- und salzbelastetem Mauerwerk. Im folgenden sind einige Werte für verschiedene Oberflächenbeschichtungen zusammengetragen worden, die durch eigene Messungen ergänzt wurden. Im Vordergrund steht die Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit des Gesamtsystems.

Nur den Wasserdampfdiffusionswiderstand zu vergleichen, ist irreführend, da die verschiedenen Baustoffe bezogen auf ihren Anwendungsbereich in entsprechenden Stärken angewendet werden (Ziegel-0,24 cm, Putz 0,02 m, Tapete 0,001m, Anstrich 0,0005 m). Deshalb muß die Anwendungsdicke des Materials in Form der äquivalenten Luftschichtdicken berücksichtigt werden. Im folgenden sind jeweils die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahlen und die äquivalenten Luftschichtdicken der

Materialien in gängigen Stärken angegeben. Die äquivalente Luftschichtdicke ist ein Vergleichswert, der angibt, wie stark eine Luftschicht sein muß, um eine entsprechende Behinderung des Diffusionsstromes zu bewirken wie der Baustoff.

Aus den Ergebnissen von Otto in [Ott95] geht nicht hervor, ob bei den Werten für die Tapeten der Kleber mit inbegriffen ist, oder nicht. Ein Auszug aus den Meßwerten befindet sich in der Tabelle 3.46. Zusätzlich wurde von einer Beschichtung aus Baumwolle und Naturfasern der Wasserdampfdiffusionswiderstand gemessen. Diese ist nahtlos und nach den Herstellerangaben baubiologisch empfehlenswert. Für das Aufbringen auf die Wand ist kein zusätzlicher Kleber erforderlich, das System beruht auf Wasserbasis. Es wird davon ausgegangen, daß durch die Anwendung dieser Beschichtung ein Bearbeiten der Stoßfugen, um eine ebene Fläche für die Platten aus Calciumsilikat zu erhalten, entfallen kann. Die Struktur und Optik ist einer Rauhfaser tapete ähnlich.

Die ermittelten Werte dienen zur Orientierung, da sie bei Raumklima über Salzlösungen bestimmt wurden. Weiterhin ist das Trägermaterial, auf dem die Beschichtung aufgebracht ist nicht vom Autor gemessen worden, so daß mit Herstellerangaben des Trägermaterials die Werte für die Beschichtung aus den Meßwerten herausgerechnet sind. Die Ergebnisse der diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke liegen zwischen 0,250 m und 0,018 m. Dies entspricht einem Wasserdampfdiffusionswiderstand von 125 bis 9 bei einer Dicke der Beschichtung von 2 mm. Vergleicht man die Ergebnisse mit der Tabelle 3.46, so entspricht die Beschichtung etwa der Tapete Typ 3738 bzw. 7097.

Im folgenden sind jeweils die Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl und die äquivalente Luftschichtdicke der Materialien für Beschichtungen in gängigen Stärken angegeben. Tabelle 3.46 zeigt zahlreiche mögliche Beschichtungen auf Platten aus Calciumsilikat. Zum Vergleich sind einige Putze aufgeführt.

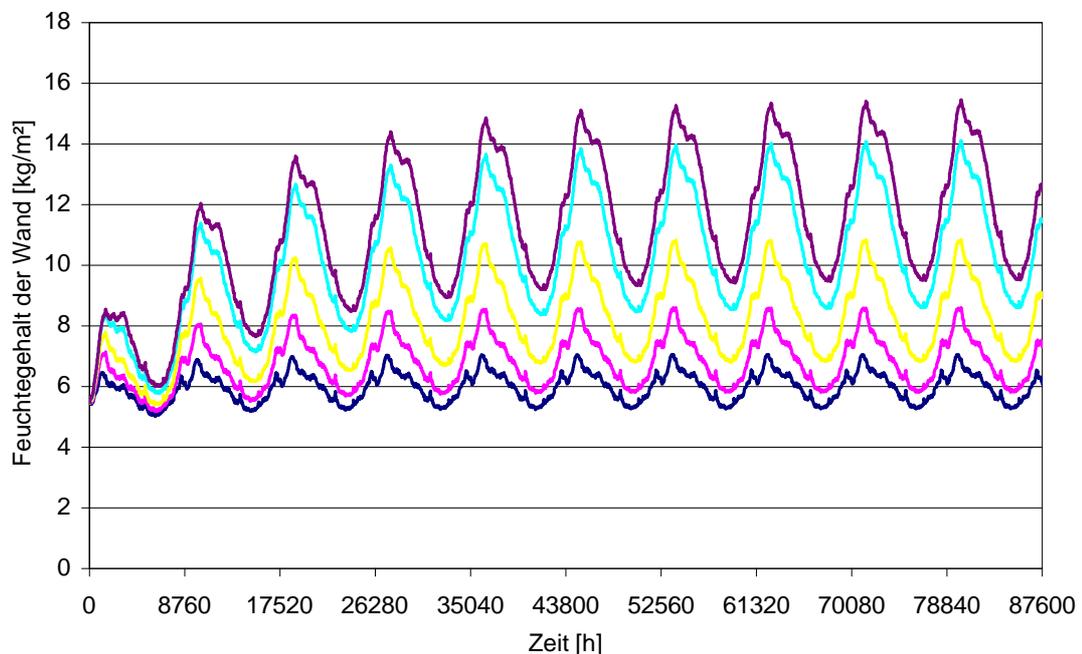
Feuchtigkeitsbereich (gemessen bei 20 °C)			[%]	0 – 52	52 - 75	75 - 85	85 – 93	0 – 52	52 - 75	75 - 85	85 – 93
Mittelwert			[%]	26	63.5	80	89	26	63.5	80	89
			Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl				Äquivalente Luftschichtdicke				
Material	Typ	Stärke	μ	μ	μ	μ	s_d	s_d	s_d	s_d	
		[m]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	
Zementfertigputz	Salith	0.02	14.8	10.7	9.8	6.6	0.296	0.214	0.196	0.132	
Kalk – Zementfertigputz	Salith	0.02	11.5	6.6	3.7	3.2	0.230	0.132	0.074	0.064	
Kalk – Gipsfertigputz	Salith	0.02	11.7	5.6	3.3	2.8	0.234	0.112	0.066	0.056	
Rauhfaser		0.001	90.8	42.9	8.4	4.6	0.091	0.043	0.008	0.005	
Dispersionsfarbe		0.0005	74.9	10.1	9.0	8.7	0.037	0.005	0.005	0.004	
Kunststofffarbe		0.0005	255.4	47.0	38.4	24.9	0.128	0.024	0.019	0.012	
div. TAPETEN :											
120 g/m ² ; 45 g/m ² Aufdruck aus Plastisole (PVC), ausgeschäumt	3701	0.001	97.4	56.0	14.7	8.8	0.097	0.056	0.015	0.009	
120 g/m ² ; 50 g/m ² PVC; 50 g/m ² Aufdruck aus Plastisole (PVC), ausgeschäumt	3738	0.001	130.6	84.7	50.1	16.4	0.131	0.085	0.050	0.016	
120 g/m ² ; 150 g/m ² Garn aus Viscose, mit Prägekalander	5041	0.001	342.3	74.0	22.4	11.5	0.342	0.074	0.022	0.012	
130 g/m ² ; 76 g/m ² PVC – Granulat, ausgeschäumt	6741	0.001	3813.6	709.2	567.0	632.9	3.814	0.709	0.567	0.633	
130 g/m ² ; 60 g/m ² Kompaktvinylschicht und linienartiger Kompakt-PVC-Aufdruck	6924	0.001	10910.6	6392.8	2371.9	1102.7	10.911	6.393	2.372	1.103	
70 g/m ² , Tapete ist geprägt	7097	0.001	209.8	84.9	46.6	15.7	0.210	0.085	0.047	0.016	
130 g/m ² , Tapete ist geprägt	8012	0.001	137.6	87.7	19.1	7.2	0.138	0.088	0.019	0.007	
120 g/m ² , 10 g/m ² Acrylschaum, Tapete ist geprägt	8051	0.001	134.7	24.5	17.0	12.3	0.135	0.025	0.017	0.012	

Tab. 3.46: Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl [Ott95] und äquivalente Luftschichtdicke bei möglicher Schichtdicke

3.4.4 Untersuchung des Einflusses der Sanierplatte auf das Feuchtigkeitsverhalten der Wand

In [Dre99] wurden Ergebnisse von Untersuchungen mit einem entwickelten Programmsystem präsentiert, bei denen das Feuchteverhalten einer Wand mittels instationärer thermisch - hygriischer Berechnungen analysiert wurde. Die darin beschriebenen Resultate konnten mit dem für die folgenden Berechnungen verwendeten Programmsystem WUFI [Kün94] des Fraunhofer – Institutes für Bauphysik in Holzkirchen nachvollzogen werden. Es wurde die Feuchtigkeitsanreicherung mit zunehmender Bearbeitungsstärke der Sanierplatte beschrieben, d.h., daß mit stärkerer Bearbeitung die positiven feuchtetechnischen Eigenschaften der nicht bearbeiteten Platten aus Calciumsilikat verloren gehen. Das Ergebnis ist in dem Diagramm 3.38 aufgeführt.

Der Vergleich der Resultate aus den Salzbelastungstests und den instationären thermisch - hygriischen Berechnungen führte u.a. zu folgendem Ergebnis. Im Rahmen der Salzbelastungstests zeigte sich, daß ein Mindestmaß an Bearbeitung des Ausgangsmaterials erforderlich ist (siehe wie zuvor beschrieben 8–10 mm). Die thermisch-hygriischen Berechnungen ergaben bis zu diesem Grad der Bearbeitung nur geringfügige Abweichungen von den feuchtetechnischen Eigenschaften der Wand gegenüber der Verwendung des Ausgangsmaterials (mittlere Linie in Diagramm 3.38).



Diagr. 3.38: Berechnung des Feuchtigkeitsgehaltes nach 10 Jahren (kein Schlagregen)
 Untere Linie = keine Behandlung, mittlere Linie entspricht der Vorzugsvariante aus den Salzttests

Daraufhin wurden die Berechnungen mit der favorisierten Variante fortgesetzt. Dabei standen die folgenden Fragestellungen im Vordergrund. Im Keller- und Erdgeschoßbereich eines Gebäudes sind Schäden durch Feuchtigkeit und Salze am häufigsten. In diesen Geschossen sind bei Gebäuden aus historischem Mauerwerk i.d.R. höhere Wandstärken vorhanden, als in den oberen Stockwerken. Wie stark ist die Feuchtigkeitsanreicherung in einem Mauerwerk bei höheren Wandstärken im Anwendungsbereich der Sanierplatte ?

Das System wird ohne Dampfbremse angewendet. Beschichtungen der Wandoberfläche zur optischen Verbesserung erhöhen den Diffusionswiderstand. Ist der Diffusionswiderstand der verwendeten Materialien sehr hoch, entsprechen diese einer Dampfbremse. Wie ist das Feuchteverhalten der Wand bei zunehmender Oberflächenabdichtung durch eine Beschichtung auf der Innenseite ?

Die Diagramme 3.39 und 3.40 zeigen die Ergebnisse der Berechnungen. Die folgenden Angaben wurden dazu verwendet:

Wand: Außenseite: Kalkzementputz, unter Berücksichtigung einer Grenzschicht zum Mauerwerk

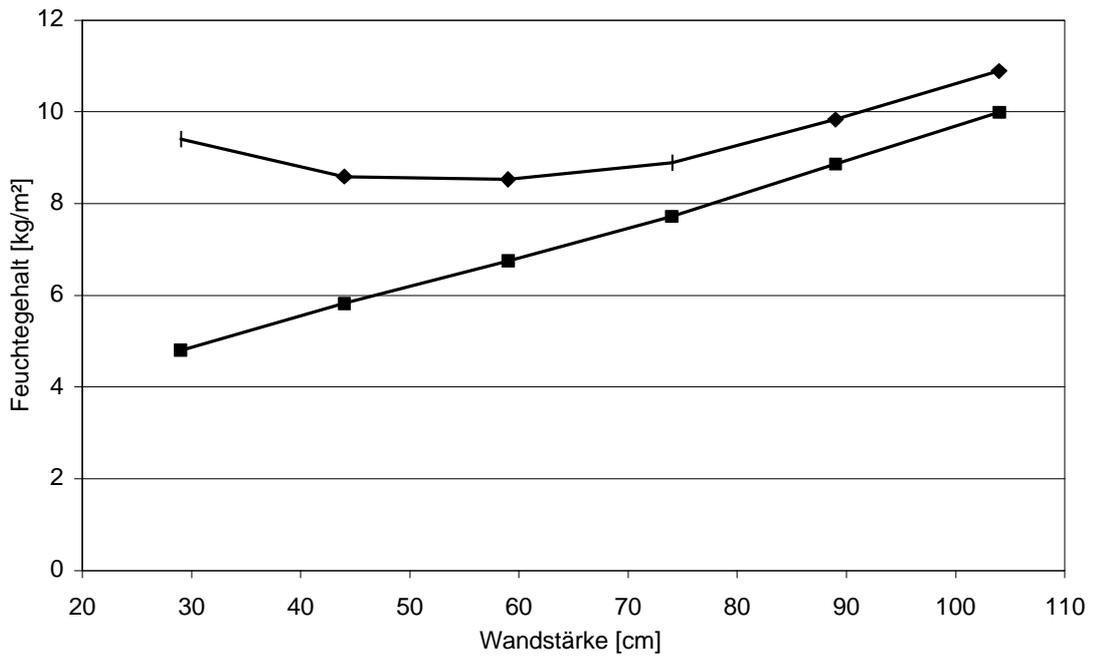
Variation der Wandstärke in Diagramm 3.39 entsprechend geltender Bauvorschriften um die Jahrhundertwende (Diagramm 3.40 Stärke von 44 cm)

Innenseite: Sanierplatte direkt auf dem Mauerwerk befestigt, Variation des s_d -Wertes der Oberflächenbeschichtung in Diagramm 3.40 (in Diagramm 3.39 ohne Oberflächenbeschichtung 0 m)

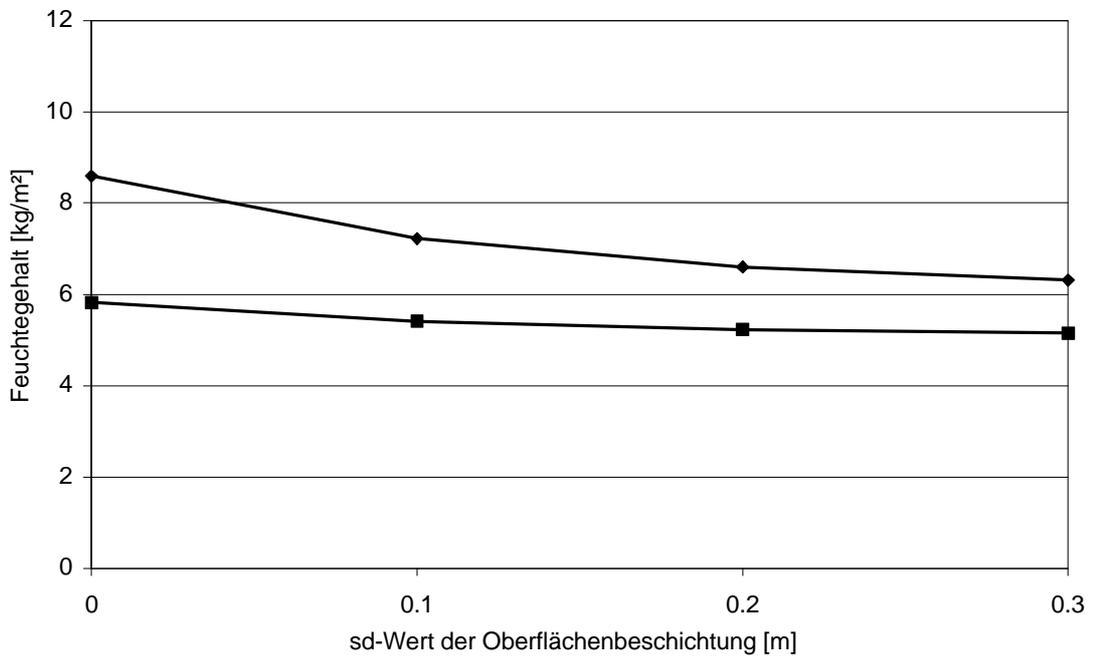
Klima: Innen: 20 °C / 65 % rel. LF

Außen: Holzkirchen – Nordseite, Referenzjahr 1991 (rechnerisch mehrfach wiederholt)

Die dargestellten Berechnungsergebnisse entsprechen den Werten nach zehn Jahren, es wird von einem eingeschwungenen Zustand ausgegangen.



Diagr. 3.39: Minimum und Maximum des Feuchtegehaltes der Wand in Abhängigkeit von deren Dicke



Diagr. 3.40: Minimum und Maximum des Feuchtegehaltes einer 44 cm starken Wand in Abhängigkeit des Diffusionswiderstandes der Oberflächenbeschichtung auf der Sanierplatte

Diagramm 3.39 zeigt den Feuchtigkeitsgehalt einer Wand mit aufgebrachtener Sanierplatte in Abhängigkeit von der Dicke der Wand. Es ist zu beachten, daß die Ergebnisse je Flächeneinheit dargestellt sind. Deshalb ist die Zunahme der Minimalwerte durch die kontinuierlich ansteigende Mauerwerksstärke bedingt. Es ist zu erkennen, daß die Differenz zwischen den Minimalwerten und den Maximalwerten mit zunehmender Wandstärke abnimmt.

Mit zunehmender Mauerwerksstärke wird im zeitlichen Verlauf immer seltener die Taupunkttemperatur erreicht, da die Dämpfung der Temperaturamplitude erhöht wird. Die Zeit, in der Tauwasser entstehen kann, wird geringer, so daß die anfallende Tauwassermenge reduziert wird. Bei geringeren Mauerwerksstärken fällt über einen größeren Zeitraum Tauwasser an als bei einem dickeren Mauerwerk. Ab einer Mauerwerksstärke von ca. 50 – 60 cm beginnt der Einfluß der Mauerwerksdicke zu überwiegen. Die Feuchtegehalte nehmen weiterhin zu, jedoch wird die Differenz zwischen Minimum und Maximum geringer.

In Diagramm 3.40 ist ablesbar, daß mit zunehmender Abdichtung der Oberfläche auf der Sanierplatte sich der Feuchtegehalt der gesamten Wand reduziert. Im Kapitel zuvor wurden Werte nach [Otto95] zitiert, die z.T. höhere Diffusionswiderstände aufweisen. Die betrachtete Wand ist eine Nordwand und somit ist keine Regenbelastung vorhanden. Inwieweit sich eine Regenbelastung und Sonneneinstrahlung auf das Feuchteverhalten auswirken, hängt wesentlich von der Außenbeschichtung der Wand ab. Weiterhin wird bei den Berechnungen von einer intakten (= idealen) Oberfläche ausgegangen. Selbst geringfügige Verarbeitungsfehler der Oberflächenbeschichtung (das Eindringen feucht – warmer Luft wird ermöglicht o.ä.) können zu einem drastischen Anstieg und in deren Folge zu Schäden führen.

Im Rahmen der Berechnungen zeigte sich, daß erst bei hohen Luftfeuchtigkeiten der Innenluft (hier 65 % rel. Luftfeuchtigkeit) deutliche Schwankungen auftreten. Reduziert sich die auftretende Luftfeuchtigkeit im Innenraum, verringert sich die Feuchtebelastung der Wand.

3.4.5 Haftung von Beschichtungen auf der Sanierplatte

Die Oberflächenbeschichtungen müssen nicht nur gewährleisten, daß die Funktionsfähigkeit des Systems erhalten bleibt. Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Frage der Haftung verschiedener Oberflächenbeschichtungen auf den untersuchten Calciumsilikat-Platten. Um der Vielzahl von marktüblichen Beschichtungen Rechnung zu tragen, wurde bei der Auswahl der zu prüfenden Materialien darauf Wert gelegt, einen möglichst großen Teil der Produktpalette abzudecken. Dem kann mit der Untersuchung von Farben auf mineralischer (Kalkfarbe) und organischer Bindemittelbasis (Dispersions- und Raumfarbe) sowie von Tapeten (Rauhfaser- und Glasfasertapete), die mittels verschiedener Kleister anzubringen sind, entsprochen werden. Als Untergrund dienten Platten aus Calciumsilikat aus verschiedenen Herstellungen, die vorbehandelt (grundiert, hydrophobiert = Sanierplatte) bzw. im Originalzustand belassen wurden.

Detaillierte Angaben zu den verwendeten Farben (Kalkfarbe, Dispersionsfarbe, Raumfarbe) und Tapeten (Rauhfaser, Glasfaser), dem Ablauf bei der Probenherstellung etc. ist [Put01] zu entnehmen. Weiterhin sind dort genauere Angaben zu den einzelnen Prüfverfahren zu finden und die jeweiligen Abweichungen der Versuche von den Vorgaben.

Gitterschnittprüfung nach EN ISO 2409

Diese Prüfung nach [Eni09] dient der Abschätzung des Widerstandes einer Beschichtung gegen eine Trennung vom Untergrund. Dabei wird ein bis in den Untergrund reichendes Gitter in den Anstrich bzw. die Tapete geschnitten. Anschließend wird dieser Teil der Oberfläche mechanisch belastet und das Ausmaß des Schadens ermittelt.

Nach dem Auftragen der Beschichtung auf den Untergrund wird der Schnittabstand festgelegt. Es erfolgt das Einschneiden des Gitters. Anschließend wird die Beschichtung durch Bürsten belastet bzw. ein Klebeband aufgebracht und abgezogen. Die Auswertung der Gitterschnittprüfung erfolgt mittels Vergleichs der Menge der abgeplatzten Beschichtungspartikel mit Tabellenwerten (Abb. 3.41).

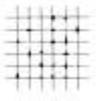
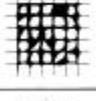
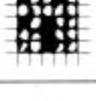
Gitterschnitt-Kennwert	Beschreibung	Bild
Gt 0	Die Schnittländer sind vollkommen glatt, kein Teilstück des Anstriches ist abgeplatzt.	—
Gt 1	An den Schnittpunkten der Gitterlinien sind kleine Splitter des Anstriches abgeplatzt; abgeplatzte Fläche etwa 5% der Teilstücke.	
Gt 2	Der Anstrich ist längs der Schnittländer und/oder an den Schnittpunkten der Gitterlinien abgeplatzt; abgeplatzte Fläche etwa 15% der Teilstücke.	
Gt 3	Der Anstrich ist längs der Schnittländer teilweise oder ganz in breiten Streifen abgeplatzt und/oder der Anstrich ist von einzelnen Teilstücken ganz oder teilweise abgeplatzt; abgeplatzte Fläche etwa 35% der Teilstücke.	
Gt 4	Der Anstrich ist längs der Schnittländer in breiten Streifen und/oder von einzelnen Teilstücken ganz oder teilweise abgeplatzt; abgeplatzte Fläche etwa 65% der Teilstücke.	
Gt 5	Abgeplatzte Fläche mehr als 65% der Teilstücke.	—

Abb. 3.41: Gitterschnitt-Kennwerte (Gt-Werte)

Zusammenfassung

Während des Versuches mußte festgestellt werden, daß dieses Verfahren für die Haftfestigkeitsprüfung von Rauh- und Glasfasertapeten sowie ähnlichen Materialien nicht geeignet ist. Grund dafür ist einerseits die schwierige Herstellung eines gleichmäßigen, bis zum Untergrund führenden Gitterschnittes, andererseits die mechanische Belastung durch das Bürsten, das dem Anschein nach nur auf spröde Oberflächenbeschichtungen schädigende Einflüsse hat.

Die Ergebnisse der Gitterschnittprüfung können wie folgt zusammengefaßt werden. Es herrscht eine annähernde Übereinstimmung der Gt-Werte der jeweils mit Raumfarbe bzw. Dispersion beschichteten Materialien, zum anderen bleibt der Einfluß der Hydrophobierung auf die Prüfungsergebnisse gering. Für zwei der untersuchten drei Platten wurden gute bis mittelmäßige Werte (2 – 3) gemessen, während die Ergebnisse der dritten Platte am unteren Ende der Skala angesiedelt sind (4 – 5). Anzumerken ist, daß die Auswertung der grundierten, mit Kalk bestrichenen Stoffe aufgrund zu geringer Schichtdicken der Farbe und damit möglicherweise verfälschter Resultate nicht zu Vergleichszwecken herangezogen werden sollte. Die Ergebnisse der Einzeluntersuchungen sowie genauere Beschreibungen des Prüfungsverlaufes sind [Put01] zu entnehmen.

Es besteht demnach eher eine Abhängigkeit vom Untergrund (Calciumsilikatplatte) als von der Beschichtung.

Power Strip®-Test

Ursprünglich wurde dieser Test für die in-situ-Prüfung der oberflächlichen Verwitterung von Baustoffen entwickelt, da in diesem Bereich anstatt quantifizierbarer Aussagen nur subjektive Beschreibungen getätigt werden konnten [Lit99]. In Anlehnung an die Gitterschnittprüfung nach EN ISO 2409 wird bei diesem Verfahren ein genormtes Klebeband auf der zuvor kreuzweise angeschnittenen Oberfläche angebracht und unter Zuhilfenahme einer Federwaage abgezogen. Die Auswertung erfolgt einerseits anhand der am Klebestreifen haftenden Partikel, wobei zwischen verschiedenen Versagensmechanismen (Kohäsionsversagen des Untergrundes bzw. der Beschichtung oder Adhäsionsversagen der Kontaktflächen) unterschieden werden kann, andererseits über die zum Abziehen benötigte Kraft.

Der Test diene der generellen Ermittlung der Haftfestigkeit zwischen Untergrund und Beschichtung. Die Schnittführung erfolgt analog zur vorigen Gitterschnittprüfung, wobei die Größe des Gitters an die des Klebestreifen (Tesa Power Strip® mit 40x20mm Klebefläche) angepaßt wird. Anschließend wird der Power Strip mit Hilfe einer Klemme, die die aufgebrauchte Kraft gleichmäßig auf den Strip verteilt, und einer Federwaage (min. Zugkraft > 10N) abgezogen. Der Abzugswinkel sollte in Anlehnung an die Gitterschnittprüfung annähernd 60° betragen. Der Versuch ist in Abbildung 3.42 dargestellt.

Sowohl die anhaftende Materialmenge, als auch der Schälwiderstand [mN/mm], ermittelt aus der maximalen Zugkraft geteilt durch die Klebestreifenbreite, geben Aufschluß über die Haftung der Beschichtung auf dem Untergrund. Zu beachten ist, daß eine Messung des Schälwiderstandes nicht mit der Ermittlung der Oberflächenzugfestigkeit gleichzusetzen ist, da letztere nicht nur die unmittelbare Oberfläche, sondern auch tiefer gelegene Zonen des Baustoffes erfaßt.

Zusammenfassung

Obwohl durch den Power Strip®-Test Absolutwerte der Schälwiderstände und Materialverluste zur Verfügung stehen, kann keine Aussage über die Praxistauglichkeit der Beschichtungen auf den untersuchten Untergründen vorgenommen werden. Grund dafür ist der Mangel an Vergleichskennzahlen, die durch reale Belastungen während der Nutzung ermittelt werden sollten. Weiterhin ist eine Korrelation mit der Gitterschnittprüfung nur bedingt gegeben. Somit kann nur eine relative Wertung innerhalb der Grenzen dieses Versuches erfolgen.

Die Werte für den Schälwiderstand bei Beschichtung mit Dispersionsfarbe liegen bis zu 150% über denen der Raumfarbe. Gleichzeitig ist ein Abfall der Haftung von den nicht behandelten hin zu den hydrophobierten Platten aus Calciumsilikat zu verzeichnen. Die grundierten und mit Kalkfarbe gestrichenen Untergründe liegen in Bezug auf den Schälwiderstand am unteren Ende der Skala. Eine Konstante, die sich durch die gesamte Auswertung zieht, ist die Reihung der Platten. Führend ist die Platte eines Zweitanbieters, die im Vergleich der Schälspannungen bis zu 1.5fache Werte der z.Zt. hergestellten Platte (G) und bis zu 4fache Werte der nicht mehr hergestellten Platte (W) aufweist.

Die Wertung der Haftfestigkeit ist im Zusammenhang mit den einhergehenden Materialverlusten, die sich sowohl auf die Farbe als auch auf den Untergrund beziehen, zu sehen. Diese sind im Regelfall dem Schälwiderstand indirekt proportional. Anzumerken ist, daß sich durch die geringen Schichtdicken der Kalkfarbe und die niedrigen Schälwiderstände der entsprechenden Proben deren Materialverlust in Grenzen hält (kein Bruch der Farbe als auch kein Versagen des Untergrundes möglich).

Im Gegensatz zur Farbe ist die Auswertung des Power Strip®-Tests bei Rauh- und Glasfasertapeten aus den gleichen Gründen wie bei der Gitterschnittprüfung schwierig. Eine gleichmäßige, bis zum Untergrund reichende Schnittführung ist wegen der unterschiedlichen Faserdicken nicht möglich, womit eine Grundvoraussetzung des Tests nicht erfüllt ist. Bei der Betrachtung des Schälwiderstandes fällt dessen annähernde Konstanz bei den meisten Messungen der gleichen Beschichtungsart auf. Der Grund dafür liegt darin, daß nicht die gewünschte Haftung ermittelt wird, sondern die maximale Zugkraft, die notwendig ist, um die restlichen, noch nicht durchtrennten Fasern der Tapete zu zerreißen. Die Streuung fällt allerdings bei der gleichmäßig strukturierten Glasfasertapete geringer aus als bei der Rauhfasertapete. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind für Vergleichszwecke ungeeignet.



Abb. 3.42: Durchführung des Power Strip®-Tests

3.5 Vorzugsvariante

Mit dem gewonnenen Kenntnisstand und den derzeitig zur Verfügung stehenden Materialien wird eine im folgenden beschriebene Sanierplatte favorisiert und mit den entsprechenden Ausführungsempfehlungen zur Anwendung vorgeschlagen:

- Anwendung
Durch die vorgestellten Untersuchungen zur schadensfreien Salzaufnahme in die Sanierplatte ist davon auszugehen, daß keine Anwendungsgrenze bzgl. der Salzbelastung des zu sanierenden Mauerwerkes besteht. Das System kann unabhängig vom Grad der Versalzung einschichtig angewendet werden.
- Hydrophobierung der Oberfläche
Die Stärke der Hydrophobierung hat auf Grund der Ergebnisse aus den Versuchen zur Salzkristallisation mindestens 8 bis 10 mm zu betragen, auf Grund der Berechnungen zum Feuchtigkeitsgehalt der Wand ist damit auch eine obere Grenze beschrieben. Die Oberflächenbehandlung übernimmt die Funktion einer Notbremse, die bei direktem Kontakt des Untergrundes mit der Sanierplatte erforderlich ist.
- Untergrund
Die Untergrundvorbehandlung hat analog den Sanierputzen (siehe WTA - Merkblatt 2-2-91 [Wta91]) zu erfolgen. Damit wird vermieden, daß das Kontaktmittel keine ausreichende Haftung zur Wand bilden kann. Dieser Arbeitsschritt kann fast zur Gänze bei der Verwendung von Dübeln entfallen. Die Dübel müssen keinen 100 %igen Kontakt zur Wandoberfläche gewährleisten. Der Eintrag von Salzen ist dadurch eingeschränkt. Eine Applikation ist möglich, schöpft allerdings die Leistungsfähigkeit der Sanierplatte nicht aus. Durch die Verwendung justierbarer Dübel können Unebenheiten der Wandoberfläche ausgeglichen werden.
- Applikation auf der Wandoberfläche – Kontakt
Auf Grund der Untersuchungen zur Diffusionsfähigkeit hat eine Batzenklebung Vorteile gegenüber einer flächigen Klebung. Die Deckung sollte ca. 50 % betragen, so daß Salze eingelagert werden können. Die Anforderungen beschränken sich u.a auf die Salz- und Feuchteresistenz. Desweiteren ist eine Kapillarität erforderlich, die den Eintrag gelöster Salze in die Sanierplatte ermöglicht.
- Oberflächenbeschichtung
Die Fugen zwischen den Platten sind zu schließen, ein Durchströmen (analog einer vorgesetzten Schale) ist zu verhindern. Die Oberfläche muß in Abstimmung mit dem System erfolgen. Wird dies nicht beachtet, kann das zu verheerenden Folgen führen.

4 Paraffin und Calciumsilikat – Verknüpfung der Sanierungsvarianten, eine Zusammenfassung

Die Folgen von kapillar aufsteigender Mauerwerksfeuchtigkeit können zu gravierenden Schäden des Mauerwerkes führen. Parallel dazu kann es zu Schimmelpilzbefall und Feuchtigkeitsschäden im Inneren des Gebäudes kommen, was die Nutzung durch den Menschen stark einschränken kann. Durch das Einbringen einer Horizontalabdichtung aus Paraffin wird der Feuchtigkeitsschub unterbunden, die Applikation der Sanierplatte verhindert in weiterer Folge eine Schädigung der raumseitigen Oberflächen.

Die Anwendung von Paraffinen und Wachsen ist sehr weit verbreitet. Da die entsprechenden Materialien in allen Lebensbereichen bis hin zu Lebensmittelverpackungen zu finden sind, ist eine für den Menschen unbedenkliche Anwendung möglich. Auf Grund der hervorragenden feuchtetechnischen Eigenschaften ist die Anwendung in der Baubranche für Feuchtigkeitsabdichtungen ebenfalls verbreitet. Im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen ist der nachträgliche Eintrag von Paraffinen von Interesse. Die Arbeit zeigt, unter welchen Einflüssen eine Paraffininjektion zur Errichtung von horizontalen Sperren gegen kapillar aufsteigende Mauerwerksfeuchtigkeit steht.

Durch die Injektion von Paraffin werden die baustofflichen Eigenschaften der injizierten Materialien verändert. Der Grad der Änderung von mechanischen Eigenschaften wie Biegezug- und Druckfestigkeit ist von dem injizierten Material abhängig und kann bei der Injektion gesteuert werden. Das Ziel einer Paraffininjektion ist die Veränderung der hygrischen Eigenschaften. Es wird nachgewiesen, daß mit Paraffinen eine hervorragende Sperrwirkung durch die Minimierung der Wasseraufnahme erzielt werden kann. Es besteht wie bei den mechanischen Eigenschaften die Möglichkeit, den Grad der Eigenschaftsveränderung während der Injektion zu steuern. Gleiches gilt für den Wasserdampfdiffusionswiderstand und die thermischen Eigenschaften, wie z.B. die Wärmeleitfähigkeit und die daraus resultierenden Folgen für Wärmebrücken und den Wärmestrom.

Bestandteil der Paraffininjektion ist die Erwärmung der zu injizierenden Wände, um eine gleichmäßige Paraffinpenetration garantieren zu können. Die Arbeit zeigt die in einem Bohrloch stattfindenden Prozesse bei der Paraffininjektion und erklärt damit, daß die Penetration der Wandrückseite etwas mehr Zeit in Anspruch nimmt als im Wandquerschnitt. Die Fortsetzung der Untersuchungen brachte den Nachweis, daß der vorhandene Abstand zwischen den Injektionsbehältern von 12 cm nicht vergrößert werden kann, ohne daß die Injektionszeit deutlich erhöht wird.

Neue Anwendungsmöglichkeiten für Paraffine ergeben sich bei der Errichtung von vertikalen Feuchtigkeitssperren. Es wird an zahlreichen Beispielen gezeigt, wie die Realisierung möglich ist, und welche Vor- bzw. Nachteile bei den jeweiligen Verfahren erwartet werden. Daraus wurde ein Verfahren für die Beschichtung der Innenseite von Kanälen mit Paraffin entwickelt, um in weiterer Folge Schutzschichten gegen den stattfindenden Abrieb zu errichten.

Die Wirksamkeit des Paraffins in einer Horizontalabdichtung wird mit einem Verfahren zur Prüfung von entsprechenden Injektionsstoffen nachgewiesen. Das Verfahren beruht auf den Erfahrungen zahlreicher weiterer Prüfeinrichtungen, die im Rahmen des WTA an der Entwicklung mitgewirkt haben. Als Kriterium für die Wirksamkeit wird die Reduktion des Feuchtigkeitsverlustes über die Oberfläche eines injizierten Prüfkörpers gegenüber einem nicht injizierten Prüfkörper herangezogen.

Oberhalb der Horizontalabdichtung befindet sich ein feuchte- und salzbelastetes Mauerwerk. Die Feuchtigkeit wird in weiterer Folge aus dem Mauerwerk heraus diffundieren, wobei eingelagerte Salze und andere Stoffe durch Maßnahmen an der Oberfläche daran gehindert werden, die sichtbare Oberfläche optisch und mechanisch zu zerstören. Es wird eine Produktentwicklung auf der Basis von Calciumsilikat vorgestellt, die verhindert, daß die Wandoberfläche durch kristallisierende Salze zerstört wird.

Um die Tauglichkeit des Materials Calciumsilikat nachzuweisen, wurden verschiedenste Untersuchungen zur Salzresistenz der Platte durchgeführt. Die maximale Salzbelastung konnte dabei ermittelt werden, da sowohl das Einzelmaterial, als auch realistische Materialkombinationen untersucht wurden. Die Sanierung mit der Sanierplatte ist nur in einem System möglich, so daß die Untersuchungen betreffend der Kontaktschicht zwischen Mauerwerk und Sanierplatte ebenfalls eine große Bedeutung haben, um die Funktionstüchtigkeit zu garantieren.

Für das entwickelte Produkt Sanierplatte sind alle für bauphysikalische Simulationen wichtigen Kennwerte ermittelt worden. Somit ist es möglich, die Dauerhaftigkeit des Produktes und Schäden durch unsachgemäße Benützung abzuschätzen. Für jeden Sanierungsfall kann in Abhängigkeit von der vorhandenen Bausubstanz das System der Sanierplatte angepaßt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wird eine moderne und ökologische Maßnahmenkombination für die Sanierung vorgestellt, die der vorhandenen Bausubstanz gerecht wird und den vorhandenen Randbedingungen angepaßt werden kann.

Literatur

Publikationen

- App95 T. Appenheimer: *Untersuchung wärmetechnischer Prozesse bei der Sanierung von Stoffen und Teilen im Bauwesen*, Diplomarbeit, Universität Rostock, Ing.-wiss. Fakultät, Fachbereich Maschinenbau und Schiffstechnik, 1995
- Ash94 N. Ashurst: *Cleaning Historic Buildings*, Vol. 1 - Substrates, Soiling and Investigations, London, Donhead, 1994
- Bed99 T. Bednar: *Beurteilung des feuchte- und wärmetechnischen Verhaltens von Bauteilen und Gebäuden*, Dissertation, Technische Universität Wien, 1999
- Blo95 T. Blomberg: *Heat3 – A PC-programm for heat transfer in three dimensions*, Vers. 2.6, Lund University, Dept. of Building Technology, Building Physics, 1995
- Blo97 T. Blomberg: *Heat2 – A PC-programm for heat transfer in two dimensions*, Vers. 2.6, Lund University, Dept of Building Technology, Building Physics, 1997
- Bro72 *Brockhaus Enzyklopädie*, Bd. 14, A. Brockhaus, Wiesbaden, 1972
- Bru74 G.M. Bruere: *Bleeding of cement pastes containing paraffin wax emulsions and clays*; Cement and concrete research, Nr.4, S. 557-566, 1974
- Dre91 J. Dreyer: *Thermisch stimulierte Injektion von feuchtegeschädigten Wänden mittels Paraffin*, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 14, Heft 6, 1991
- Dre95 J. Dreyer: *Conservation of Buildings by Filling of the Pores with Paraffin*, IABSE Symposium San Francisco 1995
- Dre96 J. Dreyer: *Weiterentwicklung von Injektionsverfahren zur Trockenlegung feuchtegeschädigter Wände*, 4. Internationales Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen, Technische Akademie Esslingen, S. 939 - 953, 1996
- Dre98 J. Dreyer, C. Hecht: *Instandsetzung und Erhaltung von Baustoffen und Bauteilen durch thermisch induzierte Porenfüllung mit Paraffin*, GdCh-Monografie Bd. 11, Bauchemie von der Forschung bis zur Praxis, Beiträge der 1. Tagung Bauchemie, S. 166-170, 1998
Paraffin als ökologisches Bautenschutzmittel, GdCh-Monografie Bd. 11, Bauchemie von der Forschung bis zur Praxis, Beiträge der 1. Tagung Bauchemie, S. 341-343, 1998
- Dre98a J. Dreyer, C. Hecht: *Injection Methods for Retrofitting of Moisture Damaged Constructions*, IABSE Report, Volume 77: Saving Buildings in Central and Eastern Europe; Tagungsband, S. 192 - 193 und CD ROM: 2022.pdf, 6 Seiten, 1998

- Dre98b J. Dreyer, C. Hecht: *Paraffin Wax - An Ecological Water Repellent Agent*, Water Repellent Treatment of Building Materials, Proceedings of Hydrophobe II, S. 35 - 47, 1998
- Dre98c J. Dreyer, C. Hecht: *Ermittlung eines optimierten Paraffins zur Sanierung feuchteschädigter Bausubstanz*, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, Jg. 4, Heft 5, S. 451 - 466, 1998
- Dre99 J. Dreyer, T. Bednar, C. Hecht: *Analyse des Feuchtigkeitshaushaltes und des Sanierungseffektes von Oberflächensystemen*, 10. Bauklimatisches Symposium - Band 2, Eigenverlag TU Dresden, S. 767 - 776, 1999
- Dre99a J. Dreyer, C. Hecht: *Entwicklung einer Innendämmplatte für salz- und nässegeschädigte Bauteile*, WTA - Schriftenreihe, Heft 20 „Nachhaltige Instandsetzung“, S. 187 - 197, 1999
- Dro96 K. Droll, H.G. Meier: *Querschnittshydrophobierung von Sanierputzen - Langzeiterfahrungen*, Teil 1, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 19, Heft 3, S. 47-51, 1996; Teil 2, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 19, Heft 4, S. 44-46, 1996
- Els88 M. Elsner: *Wärme- und Feuchtetransport in Hochlochziegeln*, Ziegelindustrie International, Heft 6, S. 266-273, 1988
- Enz80 *Enzyklopädie Naturwissenschaft und Technik*, Bd. 3, Verlag Moderne Industrie, 1980
- Fec98 H. Fechner, P. Häupl, R. Martin, J. Neue, H. Petzhold: *Thermische Sanierung von Fachwerksbauten mittels Innendämmung - Vergleich zwischen Messungen und numerischer Simulation*; Dresdner Bauklimatische Hefte, Heft 5, Eigenverlag TU Dresden, 1998
- Fin01 K. Finding: *Erarbeitung und Optimierung einer Wirksamkeitsprüfung für Injektionsstoffe*, Diplomarbeit, TU Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, 2001
- Fra93 L. Franke, H. Bentrup: *Paraffininjektionsverfahren zur Trockenlegung von Mauerwerk - Beurteilung der Wirksamkeit*, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 16, Heft 1, 1993
- Gar92 H. Garrecht: *Porenstrukturmodelle für den Feuchtehaushalt von Baustoffen mit und ohne Salzbefrachtung und rechnerische Anwendung auf Mauerwerk*; Dissertation, Universität Karlsruhe, 1992
- Gie85 E. Gierlinger, R. Springenschmid: *Möglichkeiten zur Erzielung einer Frost-Tausalz-Beständigkeit des Betons durch besondere Verfahren -ohne Zusatz von Luftporenbildnern-*; Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 448, 1985
- Gor97 L. Goretzki, U. Karolewski: *Beständigkeit bei Feuchte- und Salzbelastung. Putzmörtel*, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 20, Nr. 5, S. 31-37, 1997
- Gor98 L. Goretzki: *Graffiti - Schutzsysteme für Fassadenbaustoffe*; Baupraxis & Dokumentation 10, Renningen - Malmsheim, expert Verlag, 1998

- Gre98 Greiner, M.: *Einfluß von Sanierputzen auf die Durchfeuchtung bzw. Austrocknung von Kellerwänden mit kapillar aufsteigender Feuchte*; Diplomarbeit, HfT Stuttgart, 1998
- Gri90 A. Grigoriou, C. Passialis: *Gum Rosin as Water-repellent Additive for Particleboards*; *Holzforschung und Holzverwertung*, Jg. 42, Nr. 5, S. 93-94, 1990
- Gru99 J. Grunewald, P. Häupl, R. Martin, H. Petzhold: *Hygrothermisches Verhalten von Bauwerksteilen mit zusätzlicher Innendämmung*; WTA-Schriftenreihe, Heft 20, 1999
- Häu99 P. Häupl, H. Fechner, R. Martin, J. Neue: *Energetische Verbesserung der Bausubstanz mittels kapillaraktiver Innendämmung*; 10. Bauklimatisches Symposium - Band 2, Eigenverlag TU Dresden, S. 755 – 765, 1999
- Hec99 C. Hecht, J. Dreyer, T. Bednar: *Entwicklung einer Systembauplatte zur Anwendung auf feuchte- und salzgeschädigtem Mauerwerk*, 5. Int. Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen – MSR 99 Band 2, S. 1227–1236, 1999
- Her55 *Der Große Herder*; Bd. 7, Verlag Herder, Freiburg, 1955
- Het97 D. Hettmann: *Zum Verhalten verschiedener Sanierputzsysteme nach mehrjähriger Exposition auf stark versalztem Mauerwerk*, Anwendung von Sanierputzen in der baulichen Denkmalpflege, WTA-Schriftenreihe, Heft 14, S. 137-156, 1997
- Hil93 G. Hilbert, J. Müller-Rochholz: *Einfluß von Salzeinlagerungen auf den Hydrophobierungsgrad von Sanierputzen*, Werkstoffwissenschaften und Bausanierung – MSR 93, Teil 2, S. 1128-1137, 1993
- Hil97 G. Hilbert: *Feuchtetransport und Salzeinlagerung in hochporösen Putzmörteln*, Anwendung von Sanierputzen in der baulichen Denkmalpflege, WTA-Schriftenreihe, Heft 14, S. 77-94, 1997
- Hof92 D. Hoffmann, H. Roß: *Versuche zur Wirksamkeit von Paraffininjektionen für die nachträgliche Trockenlegung von Mauerwerk*, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 15, Heft 7, S. 81-83, 1992
- Höl00 F.-J. Hölzen: *Thermische und Konvektive Trocknung von Mauerwerk*, Bautec – 2000 – 1. Altbau – Symposium – Berlin, Referateband, S. 69-76, 2000
- Huf98 Hufgard-mix: *Saneta Feuchtwandssystem – Informationsmaterial* (Stand 1998)
- Kai95 P. Kaiser: *Stofftransport in feinporösen Gefügen: Untersuchungen an Sanierputzen*, Heidelberger Beiträge zur Umwelt-Geochemie, Band 5, Heidelberg, 1995
- Kra88 R. Krapfenbauer, E. Stäussler: *Bautabellen – Studienausgabe*, Jugend und Volk Verlagsges.m.b.H., 8. Aufl., Wien, 1988
- Krä86 G. Krämer, H. Günther, F. Egeling, S. John: *Gipsbinder mit hydrophoben Eigenschaften*; Bauinformation-Wissenschaft-und-Technik, Jg. 29, Nr. 6, S. 22-24, 1986

- Kün94 H.M. Künzel: *Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportes in Bauteilen mit einfachen Kennwerten*; Dissertation, Univ. Stuttgart, 1994
- Kün96 H. Künzel: *Putze in der Denkmalpflege*, WTA-Berichte Nr.12, S.103-115, 1996
- Kün97 H. Künzel: *Sanieputze sind mehr als eine begleitende Maßnahme*; Tagungsband, 8. Hanseatische Sanierungstage, Kühlungsborn, 1997
- Lin90 U. Lindner: *Verbesserung der Dauerhaftigkeit von wärmebehandelten Betonfertigteilen*; Dissertation, TU Dresden, Sektion Bauingenieurwesen, Lehrstuhl Baustoffe, 1990
- Lid93 D.R. Lide: *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, 1993
- Lit99 K. Littmann, G. Pleyers, Ch. Bolz: *Die Bestimmung der oberflächlichen Abwitterung durch den Power Strip® Test*; 5. Internationales Kolloquium Werkstoffwissenschaften und Bauinstandsetzen - MSR 99, AEDIFICATIO Publishers, 1999
- Mar98 Marmorit: *Technisches Merkblatt 2/98 – SaTT Sanierplatte*; Hersteller Marmorit, 1998
- Mat92 M. Matthäi, V. Schröder: *Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit von Paraffinen und Paraffinblends*; SÖFW, Heft 3, 1992
- May84 *Mayers Großes Universal Lexikon*, Bd. 10, Bibliografisches Institut, Mannheim, 1984
- May96 G. Mayer, D. Kovacova, F.H. Wittmann: *Feuchtigkeitswanderung und Salztransport in Mauerwerk und Sanierputz*, WTA Schriftenreihe, Heft 7: Sanierputzsysteme; Aedificatio Verlag Freiburg, S. 47 – 74, 1996
- Mö193 U. Möller: *Vergleichende Labor- und Objektuntersuchungen von Sanierputzen*, MSR'93, Werkstoffwissenschaften und Bausanierung, Teil 2, S. 1154-1169, 1993
- Mun82 M. Munse: *Entwicklungstendenzen von Werkstoffkombinationen durch Imprägnieren im Bauwesen*; Dissertation B, TH Leipzig, 1982
- Mun87 M. Munse: *Stand der Entwicklung und Anwendung des Imprägnierens im Bauwesen der DDR*, Betontechnik, Jg. 8, Teil 1: Nr.2, S. 52-54, Teil 2: Nr.3, S. 90-92, 1987
- Nis89 P. Nischer: *Einfluß von Trennmitteln (Schalöl) und Nachbehandlungsmitteln auf die Frost-Tausalz-Beständigkeit*; BFT - Betonwerk und Fertigteiltechnik, Concrete Precasting Plant, Jg. 55, Nr. 11, S. 44-47, 1989
- Ott95 F. Otto: *Einfluß von Sorptionsvorgängen auf die Raumluftheuchte*, Dissertation, Univ. GH Kassel, 1995
- oV60 o.V.: *Vom Wachs - Höchster Beiträge zur Kenntnis der Wachse*; Höchst AG, Frankfurt (M), 1960

- oV96 o.V.: *Kanalsanierung mit Epoxidschalen*, Sonderdruck aus „Schweizer Bauwirtschaft“ Nr. 26/96, 1996
- oV98 o.V.: *Mittelalterliche Kanäle – hochmoderne Sanierung*, Sonderdruck aus „Schweizer Bauwirtschaft“ Nr. 28/98, 1998
- Ple97 G. Pleyers, H.R. Sasse: *Reduzierung von Mauerwerksfeuchte – Untersuchung und Entwicklung chemischer Bohrlochinjektionsverfahren als wirksame Horizontalsperre für den nachträglichen Einbau in Ziegelmauerwerk*, Forschungsbericht F 496, Aachen, Institut für Bauforschung Aachen, 1997
- Put01 R. Putz: *Bestimmung ausgewählter Material- und Systemeigenschaften von Innendämmungen aus Calciumsilikat*, Diplomarbeit, TU Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, 2001
- Ram97 H. Ramesohl: *Schutz gegen Graffiti-schäden*, Tagung Bauchemie München 1997
- Ras90 R. Rast: *Beitrag zur Bewertung der Dauerhaftigkeit des Betons unter besonderer Berücksichtigung montanwachshaltiger Betonzusätze*; Dissertation B, TU Dresden, Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen, 1990
- Rec92 U. Recht: *Denkmalpflege mit thermischen Isolierverfahren*, Baumarkt, Heft 4, 1992
- Rei84 W.Reichel, S.Dierke: *Möglichkeiten zur Verminderung von Festigkeitsverlusten und Qualitätseinbußen an wärmebehandeltem Beton*; Betontechnik, Nr. 6, S. 171-172, 1984
- Rei85 W. Reichel, S. Dierke, R. Rast: *Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit von wärmebehandeltem Beton*, Int. Baustoff- u. Silikattagung, 9. ibausil, Tagungsband Sektion 2, Vorfertigung, S. 190-196, 1985
- Rei86 W. Reichel, R. Rast, S. Winkler: *Schmelzimprägnierung von wärmebehandeltem Beton mit Rohmontanwachs-Paraffin-Granulat*, Bauplanung - Bautechnik, Jg. 40, Heft 4, S. 176-178, 1986
- Rei87 W. Reichel, R. Rast, S. Winkler: *Erhöhung der Dauerbeständigkeit des Betons durch Schmelzimprägnierung mit Rohmontanwachs-Paraffin-Granulat*, Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden, Jg. 36, Heft 1, S. 247-251, 1987
- Rei88 W. Reichel, U. Lindner: *Der Einfluß der Nachbehandlung auf die Dauerhaftigkeit wärmebehandelter Betonfertigteile*, Die Strasse, Jg. 28, Nr. 6, S. 164-166, 1988
- Rei88a W.Reichel: *Einflußfaktoren auf die Dauerhaftigkeit des wärmebehandelten Betons*; Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden, Jg. 37, Nr. 1, S. 107-114, 1988
- Rei89 W. Reichel: *Einfluß der Temperatur und Feuchtebedingungen bei der Wärmebehandlung auf die Dauerhaftigkeit der Betone*; Dokumentation der Tagung "Betonsanierung"; Arbeitshefte des Sonderforschungsbereiches 315 "Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke", Sonderheft, S. 40-45, 1989

- Rei89a W.Reichel, S.Winkler, U.Lindner: *Einflußfaktoren der Wärmebehandlung auf die Betoneigenschaften*, Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden, Jg. 38, Heft 4, S. 187-191, 1989
- Rei90 W Reichel, U. Lindner: *Dauerhaft durch Montanwachsemulsion*, Beton, Nr. 11, 1990
- Rei90a W. Reichel, U. Lindner: *Bewertung der Dauerhaftigkeit wärmebehandelter Betonfertigteile*; Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden, Jg. 39, Heft 2, S. 145-149, 1990
- Rei91 W. Reichel, R. Rast: *Beitrag zur Bewertung der Dauerhaftigkeit des Betons*; Internationale Baustoff- u. Silikattagung, 11. ibausil, 5.-10.5.91, Tagungsband S. 95-102, 1991
- Röm80 *Römpps Chemie Lexikon*, Bd. 4, Francksche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1980
- Ros90 H. Ross, F. Stahl: *Sanierputz auf salzhaltigem, feuchtem Untergrund – Problematik bei nicht abdichtbarem Natursteinmauerwerk*, Bautenschutz + Bausanierung, Jg. 13, Heft 4, S. 28-30, 1990
- Sat79 H. Sattler, H.-P. Brückner: *Einige Bemerkungen zur Schmelzimpregnierung von Gipsbetonfertigteilen mit Paraffin*, Baustoffindustrie, -Ausgabe B, -Bauelemente; Jg. 22, Nr. 3, S. 29-32, 1979
- Sau00 G. Saulich: *Untersuchungen zur Festigkeit und Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen am Beispiel von Ziegelmaterialien und im Verbund mit Kalkmörtel*, Diplomarbeit, TU Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, 2000
- Sch87 G. Scheffknecht, W. Linzer, J. Granner: *Theoretische Untersuchung eines Heizsystems mit Paraffinspeicher und Wärmepumpe*, Ki Klima - Kälte - Heizung; Jg. 15, Nr. 7/8, S. 325-332, 1987
- Sea79 T. Sealy: *Wasserdichter Beton durch Wachszugabe*, Concrete (London), Jg. 13, Nr. 8, S. 26-27, 1979
- Sei95 H. Seidel, F. Schlütter, S. Pfefferkorn, H. Juling: *Historische Konservierungsmaßnahmen und Steinschäden an der Wappengalerie des Großen Wendelsteins im Schloß Hartenfels zu Torgau*, Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall- Steinkonservierung, Nr. 5, S. 295-306, 1995
- Tep99 J. Tepel: *Die Salzplatte – eine Sanierungsalternative?*, Bauhandwerk / Bausanierung, Heft 11, S. 46-48, 1999
- Vou86 E. Voulgaridis: *Effect of Water Temperature and Melting point of Wax on Water Repellency in Treated Wood*, Holzforschung und Holzverwertung, Jg. 38, Heft 6, 1986
- Vou93 E. Voulgaridis: *Oleoresin and gum rosin from Pinus halepensis Mill. as basic constituents in water repellent formulations applied to wood*, Holz-als-Roh-und-Werkstoff, Jg. 51, Nr. 5, S. 324-328, 1993

- War47 A.H. Warth: *The chemistry and technology of waxes*, Reinhold Publ., New York, 519 Seiten, 1947
- Web77 H. Weber: *Steinreinigung und Steinkonservierung*, Lehrgang 3378/79.64, Technische Akademie Esslingen, 1977
- Web96 H. Weber: *20 Jahre Sanierputz im Langzeiteinsatz – ein Erfahrungsbericht*, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen, Jg. 2, Heft 6, S. 551-565, 1996
- Ziexx S. Ziegeldorf: *"Flowprotect" - ein neues Verfahren zur nachträglichen Kellertrockenlegung*, FH Darmstadt, Informationsprospekt

Normen, Merkblätter

- Din15 DIN EN 1015 Teil 11 *Prüfverfahren für Mörtel für Mauerwerk – Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeit von Festmörtel*, Entwurf Juni 1996 (zurückgezogen, aktuell: 10/1999)
- Din53 DIN 1053 Teil 1 *Mauerwerk – Berechnung und Ausführung*, 11/1996
- Eni09 EN ISO 2409 *Lacke und Anstrichstoffe – Gitterschnittprüfung*, 08/1994
- Eni46 EN ISO 6946 *Bauteile – Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren*, 08/1996
- Öno10 ÖNORM B 8110 Teil 1 *Wärmeschutz im Hochbau - Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren*, 09/2000
- Öno11 ÖNORM EN ISO 10211 Teil 1 *Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Allgemeine Berechnungsverfahren*, 03/1996
- Öno55 ÖNORM B 3355 Teil 1-3 *Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk*, 1999
- Öno88 ÖNORM EN ISO 13788 *Bauteile – Berechnung der Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Berechnung der Tauwasserbildung im Bauteilinneren*, 01/1998
- Wta91 WTA-Merkblatt 2-2-91 *Sanierputzsysteme*, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Referat Oberflächentechnologie, 1992
- Wta96 WTA-Merkblatt 4-4-96 *Mauerwerksinjektion gegen kapillar Feuchtigkeit*, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Referat Mauerwerk, 1996
- Wta99 WTA-Merkblatt 4-5-99 *Beurteilung von Mauerwerk - Mauerwerksdiagnostik*, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., Referat Mauerwerk, 1999

INTERNET

(zum Zeitpunkt 03/2001 gültig)

- Iso3w <http://www.isotec.org>
- Rom3w <http://www.romonta.de/>
- Rub3w <http://www.rubitherm.de>
- Sch3w <http://www.schuemann-sasol.com/>
- The3w <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>

Lebenslauf

Persönliche Daten	<u>Clemens</u> Rudolf Hecht Strohmayergasse 15/33 A - 1060 Wien geb. am 12.7.1971 in Potsdam – Babelsberg (D) ledig
Schulbildung	1978 - 1980 Polytechnische Oberschule in Potsdam – Babelsberg 1980 - 1988 Polytechnische Oberschule in Potsdam Abschluß: mittlere Reife 9/1988 - 7/1990 Erweiterte Oberschule in Potsdam Abschluß: allgemeine Hochschulreife
Hochschulbildung	10/1991 - 9/1996 Bauingenieurstudium an der Bauhaus - Universität Weimar, Abschluß: Diplom - Ingenieur 10/1996 - 5/2001 Doktoratsstudium an der TU Wien
Tätigkeiten	9/1990 - 6/1991 Bauhelfer in der Spezialbau GmbH, Niederlassung Potsdam 1994 / 95 Feriarbeit im Ingenieurbüro Westphalen Weimar 10/1996 - 12/1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Abteilung Bauphysik 10/1996 – 12/1999 freier Mitarbeiter bei der CAPE CALSIL Deutschland GmbH 10/1996 – 3/2000 freier Mitarbeiter bei der ISOTEC Franchise Systeme GmbH jeweils als wissenschaftlicher Berater seit 1/2000 Vertragsassistent bzw. Univ.Ass. an der TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Abteilung Bauphysi