



Masterarbeit

Feuchtigkeitsschäden

und deren Sanierung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs
der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften
unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr. techn. Peter Kautsch

Dipl.-Ing. Dr. techn. Architekt Michael Grobbauer

Institut für Hochbau und Bauphysik

eingereicht an der Technischen Universität Graz

Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

von

Milan Paunovic

Graz, 10. Dezember 2012

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
1 Einleitung	4
2. Abstract.....	6
2 Begriffe	7
2.1 Wasserarten.....	7
2.1.1 Bodenwasser	7
2.1.2 Kapillarwasser	8
2.1.2 Niederschlags- und Spritzwasser	8
2.2 Wasserbeanspruchung.....	8
2.2.1 Bodenfeuchtigkeit	8
2.2.2 Nicht drückendes Wasser	8
2.2.3 Drückendes Wasser	9
2.3 Bauschädliche Salze	9
3 Bestandsaufnahme	11
3.1 Allgemeine Objektdaten.....	11
3.2 Erkundung des Grundwasserstandes und des Bodenaufbaues	14
3.3 Bestands- und Schadensaufnahme.....	16
3.3.1 Kellergeschoss	21
3.3.2 Durchgeführte Sanierungenim Kellergeschoss.....	31
3.3.2 Sockel	34
4 Feststellen des Schadensbefundes durch Probenentnahme.....	37
4.2 Feuchtigkeit	41
4.1 Bauschädliche Salze	44
5 Sanierungsmöglichkeiten der Feuchtigkeitsschäden.....	46
5.1 Horizontalabdichtung.....	46
5.1.1 Mechanisches Verfahren.....	48
5.1.2 Injektionsverfahren	52
5.1.3 Elektrophysikalisches Verfahren	56
5.2 Vertikalabdichtung	57
5.2.1 Innen liegende Abdichtung	57

5.2.2 Außen liegende Abdichtung	58
5.2.3 Schutz der Abdichtung (Schutzmaßnahmen und Schutzschichten)	64
5.2.4 Durchdringungen	65
5.3 Flächenabdichtung von Fußboden.....	65
5.4 Abdichtungsanschlüsse	66
5.4 Drainage.....	67
5.4.1 Bemessung und Ausführung der Drainage	69
5.5 Mauerwerksentfeuchtung	70
5.6 Salzreduktion	72
5.6.1 Salzentfernung	73
5.6.2 Salzreduzierung	73
5.6.3 Salzbeibehaltung bzw. Salzkaschierung.....	74
5.7 Sanierputz	74
5.8 Kontrolle der Wirksamkeit	77
6 Empfohlene Sanierungsmaßnahmen.....	78
6.1 Freilegung und Austrocknung der Kelleraußenwände	78
6.2 Nachträgliche Horizontalabdichtung.....	80
6.2.1. Untere Horizontalabdichtung.....	81
6.2.2 Obere Horizontalabdichtung	81
6.3 Nachträgliche Vertikalabdichtungen.....	82
6.4 Flächenabdichtung der Fußboden	85
6.4.1 Errichtung der Flächenabdichtung	85
6.5 Drainage.....	86
6.6 Sockelsanierungen	89
6.7 Neuherstellung der Putzoberfläche	91
6.8 Zusätzliche Sanierungsmaßnahmen.....	92
7 Zusammenfassung.....	93
Literaturverzeichnis	95
Internet	97
Abbildungsverzeichnis	98
Tabellenverzeichnis.....	102

1 Einleitung

Bauschäden sind unvermeidliche Erscheinungen in jedem Bauwerk und sind als eine Veränderung der technischen, chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften eines Gebäudes definiert. Ihre Anwesenheit reduziert die Nutzbarkeit des Gebäudes und hat wirtschaftlich nachteilige Folgen [18]. Die Ursachen für ihre Bildung sind Planungsfehler, Ausführungsfehler, Materialfehler und nicht vermeidbare Einflüsse. Der Begriff Sanierung umfasst alle Maßnahmen für die Beseitigung von Bauschäden. Es wird darauf hingewiesen, dass die Sanierung nur die Beseitigung der Schäden durch konstruktive Maßnahmen umfasst und nicht die Modernisierung eines Gebäudes durch die Einhaltung der gegenwärtigen Nutzungsansprüche.

Der Leitgedanke, der dieser Arbeit zugrunde liegt, ist es, funktionale Lösungen für Probleme zu finden, die mit der Restaurierung von geschützten Gebäuden verbunden sind. Die Probleme bei der Renovierung von Baudenkmalern sind vielfältig und durch den Konflikt zwischen Möglichkeiten und Wünschen geprägt. Einerseits besteht ein Rechtsrahmen für den Schutz der visuellen Identität des Gebäudes, seine Besonderheit und historischen Werte, die wirtschaftlichen Möglichkeiten und der Budgetrahmen, der für einzelne Objekte und deren Funktion realistisch bleiben sollte, und andererseits die technische Funktionalität nach heutigem Standard. Bei der Sanierung von Baudenkmalern ist besonders zu beachten, dass die Sanierungsarbeiten nicht zu Veränderungen und neuen Schäden an Gebäuden führen sollten.

Ein weiteres Problem, das mit dieser Art der Bauarbeiten verbunden ist, ist das Fehlen von Normen oder deren Veraltung in Bezug auf neue Technologien. Dies ist in dem großen Unterschied zwischen den Empfehlungen für die Sanierung aus bestehenden Normen und aus den Merkblättern der einzelnen Herstellersichtbar. In einigen Fällen sind Hersteller-Informationen unrealistisch und können nur als Marketingüberlegungen gerechtfertigt werden. Leider führt die Verwendung von ungeeigneten Techniken oder ungeeigneten Materialien für Sanierungsarbeiten unvermeidlich zur Entstehung neuer Bauschäden. Aus diesen Gründen fußt diese Arbeit hauptsächlich auf der Verwendung von ÖNORM B 3355 (Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk) und auf Empfehlungen aus den WTA¹ Merkblättern. Ziel dieser Arbeit ist es, einen Vorschlag für die Sanierung der Feuchteschäden in der St. Peter Volksschule zu geben, die unter Denkmalschutz steht. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Kellersanierung gelegt bzw. auf die Beseitigung der Schäden, die durch Wassereinwirkung in den Kellerräumen entstanden sind. Vor dem Sanierungsprozess ist es notwendig, den aktuellen Zustand des Objekts zu analysieren. Mit Hilfe einer Bestandsaufnahme können Baugeschichte, Baugrundbedingungen, Nutzungsbedingungen, durchgeführten Änderungen und Schäden festgestellt werden.

Für die Kellersanierung ist es besonders wichtig, ordnungsgemäße Untersuchungen des Bodens durchzuführen. Die Ergebnisse dieser Überprüfung sollten die Baugrundbedingungen und Grundwasserspiegelhöhe ergeben. Aufgrund dieser Daten ist es möglich, die Wasserbeanspruchung von Kellerwänden zu erfassen und einen geeigneten Plan für die Feuchtigkeitsabdichtung zu erstellen.

Die Bestandsaufnahme ist nicht nur eine Auflistung der problematischen Stellen, sondern enthält auch Erklärungen der möglichen Ursachen der Bauschäden. Dies sollte besonders

¹Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege

betont werden, weil Sanierungen aus falschen Gründen und unvollständiger Analyse, nicht nur keine Verbesserung bringen, sondern in vielen Fällen sogar negative Konsequenzen und zunehmende Schäden am Gebäude nach sich ziehen. Die Analyse erfordert eine ausreichende Datensammlung sowie deren Verarbeitung.

Die wahrscheinlich größten Nachteile von Altbausanierungen sind fehlende Informationen über die verwendeten Materialien und ihren Eigenschaften. Baustoffe ändern im Laufe ihrer Nutzungsdauer ihre bauphysikalischen Eigenschaften durch den Einfluss von schädlichen Elementen. Die Einwirkung von Feuchtigkeit führt direkt oder indirekt zum Auftreten von Schäden. Aus diesem Grund umfasst die Bestandsaufnahme auch Probenahme von Materialien und deren Labortests. Die Laboruntersuchungen von Proben sind notwendig, um einen besseren Einblick in den aktuellen Stand des Materials zu erhalten. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen dienen zur Bestätigung der Annahmen aus der Bestandsaufnahme und als Grundlage für eine ordnungsgemäße Planung der Rehabilitation.

In dieser Arbeit konnten aufgrund der finanziellen Anforderungen eines solchen Tests keine Probenahmen und Laboruntersuchungen in einer zertifizierten Prüfstelle gemacht werden. Stattdessen sind alle erforderlichen Maßnahmen für die Labortests mit möglichen Ergebnissen und Implikationen für die Entwicklung eines Sanierungsplans erläutert. Dabei werden nur die Methoden der Laboruntersuchungen berücksichtigt, deren Verwendung mit ÖNORM definiert ist. Andere Methoden wurden aufgrund unzureichender Genauigkeit der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

Sanierungsmaßnahmen, die auf der Grundlage einer Bestandsaufnahme vorgeschlagen werden, sollten umfassend und vollständig sein. Ziel ist es, optimale Lösungen für die bestehenden Schäden des Gebäudes zu finden. Es wird davon ausgegangen, dass die Räumlichkeiten, für die eine Sanierung geplant wird, ihre aktuelle Funktion in der Zukunft beibehalten oder für ähnliche Zwecke verwendet werden. Aufmerksamkeit sollte auf die Benutzerfreundlichkeit, die Zuverlässigkeit und die Auswirkungen auf das Gebäude gerichtet werden.

Sanierungsmaßnahmen werden oft wegen unzureichender befragter Verfahren problematisch. In vielen Fällen ist die Sanierung eine improvisierte Schadensminderung ohne deutlichen Hinweis auf die Qualität der geleisteten Arbeit. Andererseits sollte man bedenken, dass eine Sanierung häufig nicht mit der Qualität einer neuen Anlage vergleichbar ist. Dies ist besonders wichtig für historische Gebäude, in denen die Möglichkeiten der Sanierung begrenzt sind.

In dieser Arbeit werden die Empfehlungen zur Behandlung von Feuchteschäden in den Kellersanierung angegeben. Die Empfehlungen werden durch eine Vielzahl von verschiedenen Verfahren und die Erläuterung ihrer Durchführung ausgedrückt. Die Auswahl geeigneter Sanierungsmaßnahmen hängt von den beobachteten Schäden und den Ergebnissen der Probenuntersuchungen ab. Eine typische Kellersanierung erfordert die Vorbereitung einer horizontalen und vertikalen Abdichtung. Dies schließt jedoch das Auftreten von Schäden durch erhöhte Konzentrationen von Salz und Wasser, die bereits in das Gebäude eingedrungen ist, nicht aus. Aus diesem Grund ist es notwendig auch andere, flankierende Sanierungsmaßnahmen durchzuführen, mit denen die vollständige Entfernung der Schäden sichergestellt wird. Der endgültige Abschluss dieser Arbeiten ist die Entwicklung eines Sanierungsplans, der auch die Sanierungsempfehlungen der Schäden in der Bauwerksanalyse erfasst.

2. Abstract

The presence of water is the most common cause of damages to buildings. With its presence, water changes the characteristics of materials, reduces the functionality of buildings and provides poor housing conditions. The ways water finds to enter buildings are multiple. Most commonly water vapour condensates on cold surfaces. Furthermore the building may lack waterproofing insulation and encourage moisture rising through the walls by capillary action. When repairing old buildings, the existing moisture has to be removed and horizontal as well as vertical barriers have to be constructed to prevent soil moisture from rising.

This diploma thesis focuses on the renovation of an old school building and pinpoints the repair of existing damages caused by moisture. The building was established in 1885 and expanded in 1930. It has solid masonry walls and wood ceilings. The basement storage rooms were meanwhile renovated and turned into classrooms. This change was not performed in accordance with construction needs, such as masonry waterproofing. Therefore, the current basement function is not in conformity with the existing structure, which is evident from the numerous damages observed on the basement walls.

The success of the rehabilitation depends on a properly conducted analysis of the current situation. In this case, moisture in the masonry occurs due to water penetration from the surrounding soil. The moisture also rises through the walls by capillary action, which causes damages that are visible on the basement walls above the level of the surrounding land. Some damages are caused by moisture condensing on the cold basement surfaces. The presence of moisture affects the surface temperature of the basement walls, as it makes them colder than those which are not affected by moisture.

The exact level of damage can be determined by test drilling and laboratory analysis of collected samples. Based on the test results it is possible to propose the necessary remedial measures, which are specified in the conclusion of this thesis. Above all, their purpose is to reduce, remove and repair the impact of moisture on the old school masonry.

2 Begriffe

2.1 Wasserarten

Feuchtigkeit in all ihren Formen ist die größte Ursache von Bauschäden. Für ein besseres Verständnis der Bauschäden ist es notwendig, die Herkunft und die Art des Feuchtigkeitstransports im Gebäude zu verstehen. Feuchtigkeit in ihrem flüssigen Zustand existiert in verschiedenen Formen als Niederschlagswasser (Schnee, Regen), Spritzwasser, Bodenwasser und Kapillarwasser (siehe Abb.2.1).

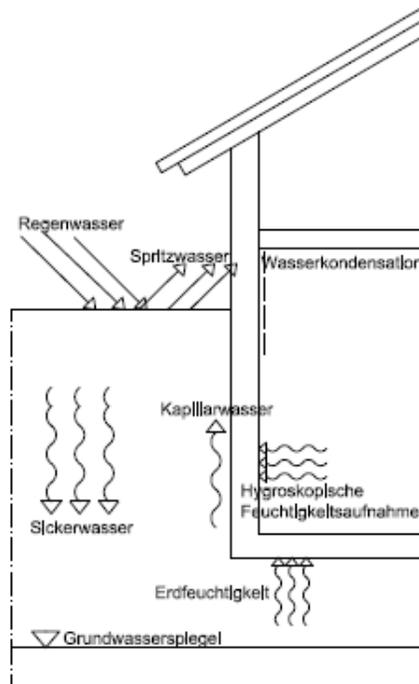


Abb. 2. 1: Wasser am Bauwerk

2.1.1 Bodenwasser

Beim Bodenwasser wird zwischen Grundwasser und Sickerwasser unterschieden. Grundwasser ist Wasser, das über oder zwischen den wenig durchlässigen Erdschichten erscheint. Sickerwasser stammt von Niederschlägen und deren weiterer Versickerung in die Erde. Je nach Bodenart variiert die Geschwindigkeit, mit der das Wasser versickert.

In Böden mit einer besseren Bodendurchlässigkeit $k_f > 10^{-4}$ m/s (Sand, Kies) versickert das Wasser ungehindert und staut sich nicht in der Erde (**nichtstauendes Sickerwasser**)[14]. Bei einer Bodendurchlässigkeit von $k_f < 10^{-4}$ m/s (Lehm, Schluff, Mergel), staut sich das Wasser oder versickert langsamer (**aufstauendes Sickerwasser**)[14]. In diesem Fall wirkt das Wasser als drückendes Wasser auf ein Gebäude (temporäres Stauwasser).

2.1.2 Kapillarwasser

Kapillarwasser bezeichnet Wasser, das durch feine Poren gegen die Schwerkraft aufsteigen kann. Ursache dafür sind Kapillarkräfte, die als Oberflächenspannung zwischen den Poren und den Fluiden in ihnen entstehen.

Eine entscheidende Rolle in einem solchen Fall trägt die Porengeometrie. Sehr kleine Porenräume können nicht kapillar gefüllt werden. Die erforderliche Porengröße für eine Kapillarkraft liegt in dem Bereich zwischen 10^{-7} m (Mikroporen) und 10^{-4} m (Luftporen)[19]. Kapillarwasser tritt im Boden in Abhängigkeit von der Bodenart und seinen Porenräumen sowie in Gebäuden abhängig von den verwendeten Materialien auf. Materialien mit höherer Dichte (z.B. Naturstein) haben einen kleineren Porenraum und sind daher weniger von Kapillarwasser betroffen. Dies ist der Grund für die Anwendung von Materialien mit höherer Dichte in Bereichen, die größerer Einwirkung von Wasser ausgesetzt sind (z.B. Naturstein im Sockelbereich).

2.1.2 Niederschlags- und Spritzwasser

Durch die Einwirkung von Niederschlags- und Spritzwasser kommt es zur Durchfeuchtung der Gebäudefassade. Die Außenfassade ist besonders im Bereich bis 30 cm von der Geländeoberkante zusätzlich mit Spritzwasser belastet, das wirkt über den um das Gebäudeliegenden Boden (Spritzwasserbereich). Die Belastung der Außenfassade durch Spritzwasser ist von der umliegenden Bodenoberfläche und ihrer Neigung abhängig.

2.2 Wasserbeanspruchung

Der Erfolg der Sanierung hängt von einer korrekten Ermittlung der Wasserauswirkungen auf die erdberührten Bauteile ab. Es bestehen folgende Arten der Wasserbeanspruchung:

- Bodenfeuchtigkeit
- Nicht drückendes Wasser
- Drückendes Wasser

2.2.1 Bodenfeuchtigkeit

Bodenfeuchtigkeit ist im Boden vorhandenes, kapillar gebundenes und durch Kapillarkräfte fortgeleitetes Wasser. Bodenfeuchtigkeit und nichtstauendes Sickerwasser stellen die geringste Wasserbeanspruchung auf ein Bauwerk dar. Dieser Lastfall ist gültig, wenn der Baugrund und das Verfüllmaterial der Arbeitsräume aus stark durchlässigem Boden bestehen bzw. wenn das anfallende Wasser bis zum freien Grundwasserstand absickern kann.

2.2.2 Nicht drückendes Wasser

Nicht drückendes Wasser im Erdreich ist Wasser in tropfbar flüssiger Form (Niederschlags-, Sicker-, Spritzwasser), welches versickert und keinen oder nur geringfügigen hydrostatischen Druck auf die Abdichtung ausübt. Dieser Lastfall beinhaltet

auch schwach durchlässige bindige Böden in Kombination mit einer funktionstüchtigen Drainage, welche das Auftreten von aufstauendem Sickerwasser verhindert.

2.2.3 Drückendes Wasser

Als drückendes Wasser wird Wasser bezeichnet, das hydrostatischen Druck auf die Abdichtung ausübt. Drückendes Wasser tritt als aufstauendes Sickerwasser und Grundwasser auf. Aufstauendes Sickerwasser tritt in Böden mit einer kleinen Bodendurchlässigkeit ($<10^{-4}$ m/s) auf [14]. Das führt zur Entstehung von temporärem Stauwasser, das als drückendes Wasser auf das Bauwerk wirkt. Zu drückendem Wasser als Grundwasser kommt es, wenn der Grundwasserspiegel über dem Niveau der Gebäudesohle liegt.

2.3 Bauschädliche Salze

Salz ist unvermeidlich in unterschiedlicher Konzentration im Bauwerk vorhanden. Es befindet sich in den verwendeten Baumaterialien, im Boden, im Niederschlag (Sauerregen). Die wichtigsten Bausalze sind Chloride, Nitrate, Sulfate und Carbonate.

Bauschädliche Salze führen bei erhöhten Konzentrationen zu einer Vielzahl von Bauschäden. Schädliche Einwirkung auf die Gebäude ist durch ihre hygroskopische oder sprengende Wirkung möglich.

Bauschädliche Salze		
Chloride	Calciumchlorid	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	Natriumchlorid	NaCl
Sulfate	Magnesiumsulfat	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
	Calciumsulfat	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
	Natriumsulfat	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
	Ettringit	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$
Nitrate	Magnesiumnitrat	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	Calciumnitrat	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
	Kalksalpeter	$5\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Carbonate	Natriumcarbonat	$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
	Kaliumcarbonat	K_2CO_3
	Calciumcarbonat	CaCO_3

Tab. 2-1: Bauschädliche Salze [23]

Hygroskopische Wirkung

Hygroskopizität ist die Eigenschaft von Salz, Feuchtigkeit aus der Umgebung (z. B. Bodenfeuchtigkeit, Luftfeuchtigkeit) aufzunehmen und zu binden, wodurch sich sein Volumen vergrößert (Hygroskopische Feuchtigkeitswasseraufnahme). Die Anwesenheit von Salzen in einem Material erhöht die Fähigkeit dieses Materials Wasser aufzunehmen

(mit einer Erhöhung der Ausgleichsfeuchte). Auf diese Weise verbessert Salz den Feuchtigkeitstransport im Bauteil, der zu Feuchtigkeitsschäden führt. Die Menge der absorbierten Feuchtigkeit, hängt von der Art und Konzentration des Salzes, der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit ab.

Sprengende Wirkung

Die sprengende Wirkung von Salz ist mit der Feuchtigkeitwirkung und der Salzbefeuchtung verbunden. Die Befeuchtung von Salz führt zu einer Erhöhung seines Volumens und der Druckwirkung innerhalb des Bauteils (Hydratationsdruck). Verdunstung der Feuchtigkeit andererseits führt zur Kristallisation von Salzen, die auf diese Weise das Salzvolumen gegenüber ihrem gelösten Zustand deutlich erhöht (Kristallisationsdruck). Wenn die Kristallisation von übersättigten Salzlösungen zwischen dem Mauerwerk und der Putzoberfläche auftritt, führt die Zunahme des Volumens zur mechanischen Zerstörung der Mauerwerksoberfläche. Da die Dehnung der Putzoberfläche nur begrenzt möglich ist. Bei Salzkristallisation an der Putzoberfläche sind die Salzkristalle als salzartige Ausscheidung sichtbar. Diese Erscheinung wird Salzausblühung genannt.

3 Bestandsaufnahme

Die Voraussetzung für jede ordnungsgemäß durchgeführte Sanierung ist die Bestandsaufnahme. Die Bestandsaufnahme dient dazu, ein vollständiges und klares Bild der Bauschäden zu erhalten. Dabei ist es notwendig, alle vorhandenen und relevanten Informationen über das Objekt zu sammeln (Bauunterlagen, Bildmaterial). Mit Hilfe dieser Informationen ist es möglich, die Ursachen der Schäden zu verstehen und einen richtigen Plan für ihre Sanierung aufzustellen.

Die Bestandsaufnahme umfasst:

- die allgemeinen Objektdaten: Baugeschichte, Nutzung des Gebäudes (ehemalige und zukünftig geplante Nutzung)
- Erkundung des Grundwasserstandes und des Bodenaufbaues
- Feststellung von Gebäudeschäden: fotografische Aufnahme, Beschreibung des Zustandes

3.1 Allgemeine Objektdaten

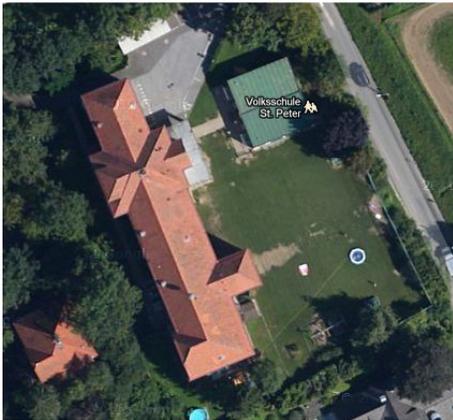


Abb. 3. 1: Volksschule St. Peter,



Abb. 3. 2: Volksschule St. Peter, Ostfassade

Das Volksschulgebäude St. Peter wurde 1885 errichtet und um 1930 erweitert. Das Schulgebäude befindet sich in der Thomas Arbeiter Gasse 12, 8042 Graz, auf einem Hügel neben der Sankt Peter Kirche. Die Schule wurde in Formen der frühen Moderne als zweigeschossiges Gebäude mit Außenwänden aus einem Vollziegelmauerwerk, einem völlig unterkellerten Erdgeschoß und einem nicht ausgebauten Dachgeschoß gebaut. Der Keller war unbeheizt und diente primär als Lagerraum. Im Laufe der Zeit wurde das Kellergeschoß ausgebaut und verfügt heute neben Lagerräumen auch über Klassenzimmer, einen Musikraum und die Wohnung des Hausmeisters. An der Ostseite wurden noch zusätzlich der Sanitärbereich und der Eingangsbereich zugebaut. An der Nordostseite des Gebäudes befindet sich ein asphaltierter Parkplatz mit neun KFZ-Stellplätzen.

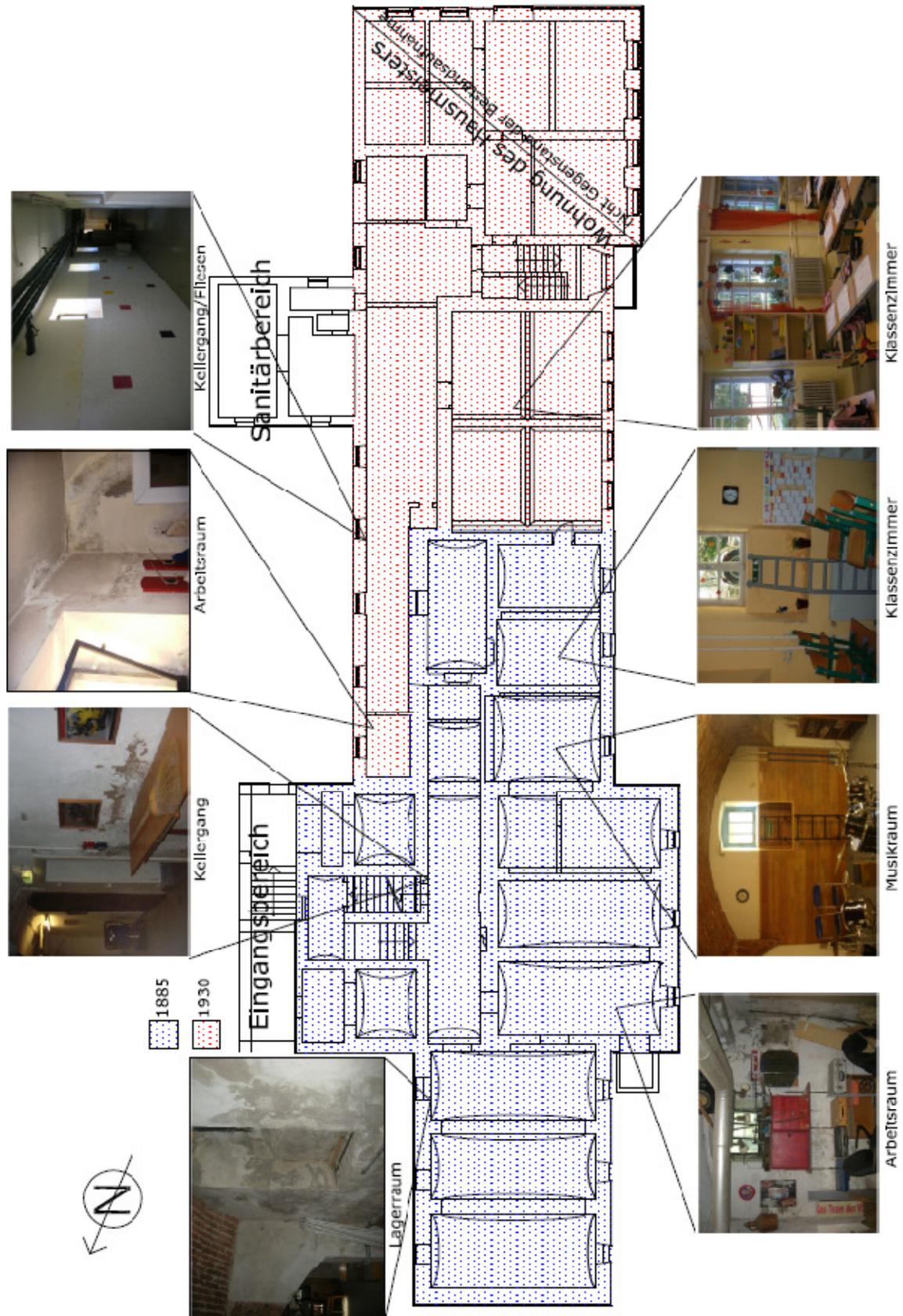


Abb. 3. 4: VS. St. Peter, Fotodokumentation, Kellergeschoss innen

Die Volksschule St. Peter führt im Schuljahr 2007/2008 10 Klassen mit insgesamt 237 Schüler/innen. Künftig ist von einer 10-klassigen Schule auszugehen. Im Hauptgebäude stehen 9, größtmäßig ausreichende, Klassenräume zur Verfügung die als bedarfsgerecht anzusehen sind. Lage- und größtmäßig nicht normgerecht ist ein weiterer im Untergeschoss liegender Klassenraum, für den im geplanten Erweiterungsbau Ersatz geschaffen werden muss².

3.2 Erkundung des Grundwasserstandes und des Bodenaufbaues

Das Gebäude befindet sich auf einem Hügel, auf einer sehr leichten Abfahrt (nach Westen). Dabei ist die Fläche vor dem östlichen Teil der Schule relativ eben. Den vorliegenden Bestandsplänen zufolge beginnt in der Nähe der Schule ein leichter Hang des Bodens (siehe Abb. 3.5). Es ist daher anzunehmen, dass es keine zusätzlichen Wasserbeanspruchungen von östlichen Kellerwänden durch Hangwasser gibt.

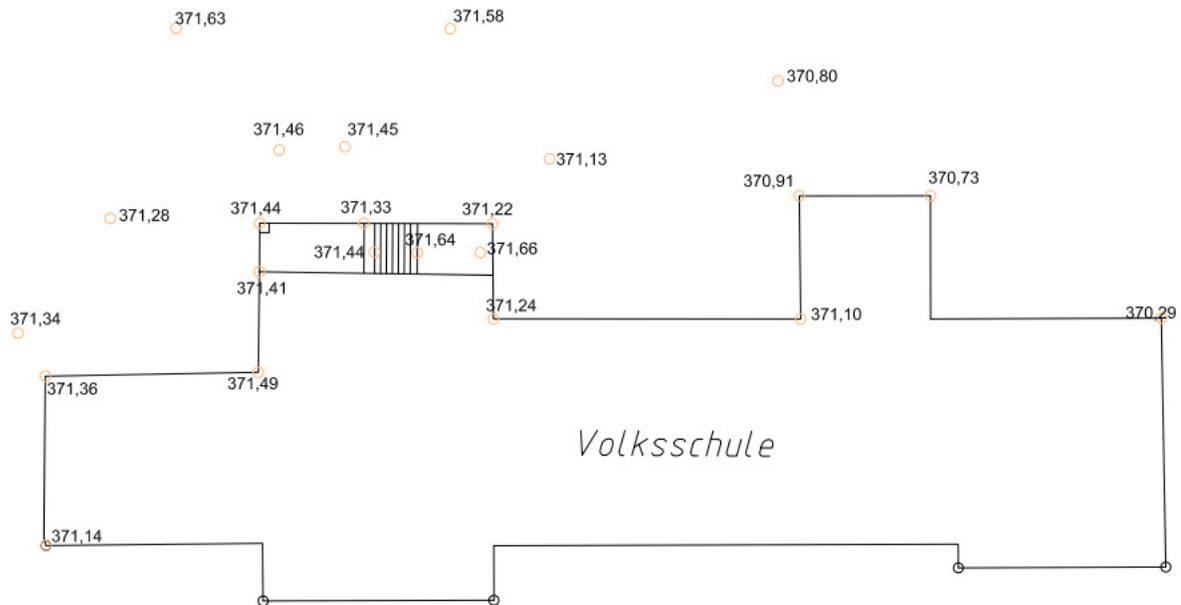


Abb. 3. 5: topografische Unterlagen der Umgebung / Geländehöhen

Laut geologischer Datenanalyse aus dem Stadtvermessungsamt (siehe Abb. 3.6) liegt der Grundwasserspiegel in einer Tiefe von 18 m.

²Architekturwettbewerb: Erweiterung Volksschule St. Peter, Stadt Graz, Stadtbaudirektion, 2007

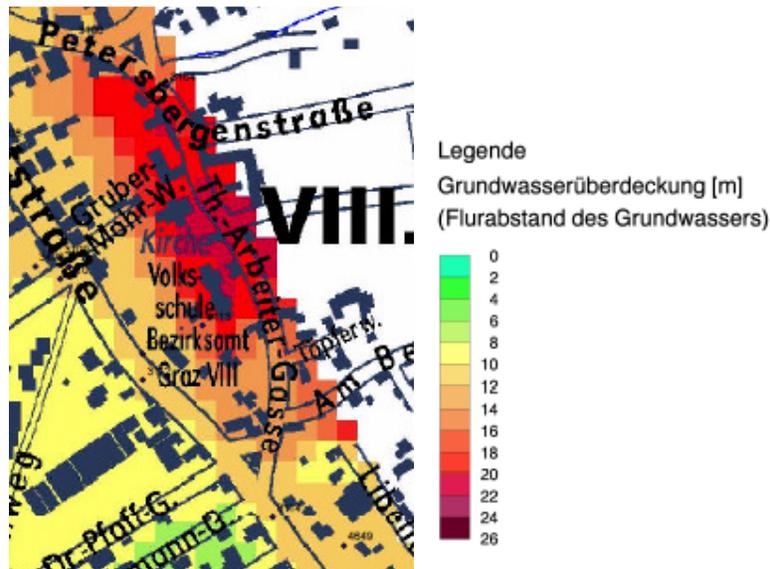


Abb. 3. 6: Informationen aus der Baugrundkarte Graz, Stadtvermessungsamt, Stadt Graz

Eine genauere geologische Analyse, die für eine Sanierung obligatorisch ist, erfordert geotechnische Untersuchungen und Probebohrungen, mit denen die genaue Höhe des Grundwassers ermittelt werden könnte. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollten von dem Baugrund-Sachverständiger interpretiert werden.

In diesem Fall wurde eine Probebohrung am 23.11.2007 durchgeführt, welche die Bodenverhältnisse für das beobachtete Objekt³ ergab. Es wurden folgende Ergebnisse erhalten:

- 0 -0,50 m Mutterboden
- 0,50- 1,40 m Schluff, sandig; braun; steif bis halbfest
- 1,40- 2,00 m Sand-Schluff; braun; mitteldicht bzw. steif bis halbfest
- 2,00- 3,10 m Schluff, sandig; braun; steif bis halbfest

Der Sachverständige hat in seinem Gutachten den Boden als gewachsenen Boden (bindiger Boden) mit kleiner Durchlässigkeit beurteilt. Mit diesen Ergebnissen ist es möglich, die Wasserbeanspruchung des Gebäudes mit zusätzlicher Drainage als Lastfall „nicht drückendes Wasser“ zu beurteilen.

Im geotechnischen Bericht wird auch Regenwasserentwässerung erwähnt. Derzeit läuft die Entwässerung durch den Schacht auf der Nordwest-Ecke und dann weiter in den Petersbach ab. Die Regenwasserrohre wurden als Betonrohre mit der Nennweite DN 150 bzw. DN 200 verlegt. Die Abbildung 3.7 zeigt die vermutliche Lage des Regenwasserkanals.

³ Stadt Graz, Stadtbaudirektion, Referat Hochbau, Befund und Geotechnisches Gutachten auf dem Grundstück Nr. 166, 26. Nov. 2007

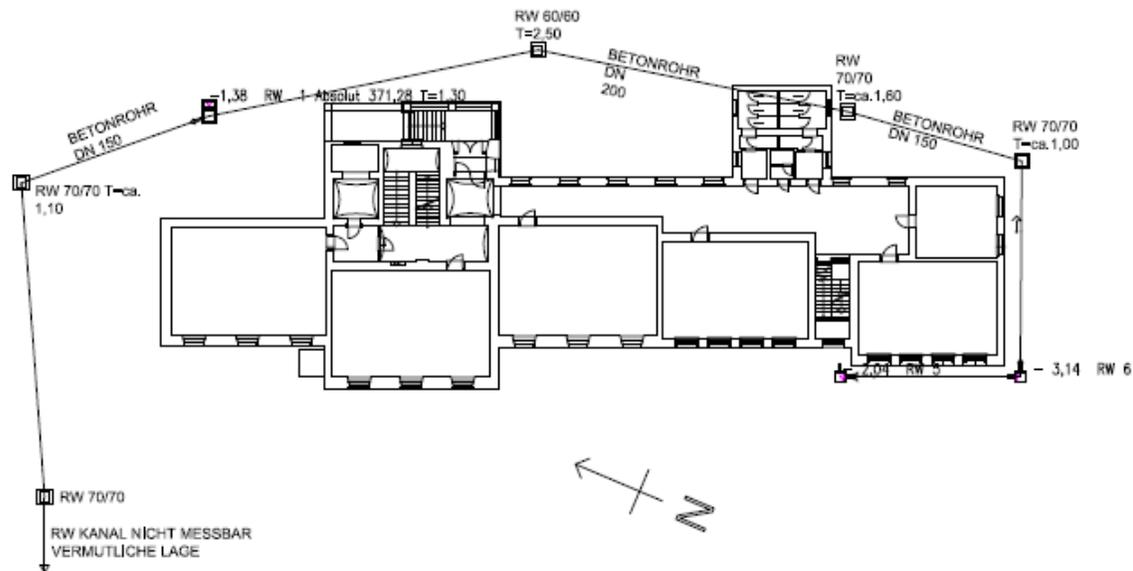


Abb. 3. 7: Die bestehende Entwässerung von Niederschlagswasser

3.3 Bestands- und Schadensaufnahme

Für diese Analyse war es unmöglich, Original-Dokumente über die Zusammensetzung der Bauteile zu finden. Es wird angenommen, dass die Außenwände aus einem Vollziegelmauerwerk bestehen und mit Kalkputz ohne zusätzliche Wärmedämmung abgedeckt sind. Es gibt auch keine Informationen über zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen der erdberührenden Außenwände. Die Kelleraußenwände wurden vermutlich als Vollziegelmauerwerk oder Mischmauerwerk mit variabler Wandstärke errichtet.

Die Baubesichtigung wurde bei zwei Gelegenheiten durchgeführt (16.06.2011: sonnig, $T=27^{\circ}\text{C}$ und 22.09.2011: sonnig, $T=22^{\circ}\text{C}$). Ziel der Baubesichtigungen war die Bestimmung der sichtbaren Schäden und Mängel in dem Gebäude. Alle relevanten und problematischen Stellen wurden fotografisch dokumentiert.

Während des Besuchs wurde ein Rundgang im Kellergeschoss, Erdgeschoss, Obergeschoss und im Dachgeschoss gemacht. Die erste und zweite Etage der Schule zeigten keine sichtbaren Schäden. Die regelmäßige Malerei und Wartung sollte dabei berücksichtigt werden. Weniger problematische Stellen benötigen mehr Zeit, um sichtbare Schäden zu entwickeln. Möglicherweise hat eine Ansammlung von Feuchtigkeit hinter großen Möbelstücken, die direkt gegen die Außenwände stehen, stattgefunden.

Das Dach ist ebenfalls in gutem Zustand (siehe Abb.3.8). Der Dachboden ist nicht ausgebaut und dank einer guten Lüftung gibt es keine Vorkommen von Feuchtigkeit, die zu Dachschäden führen könnten. Weil die Nutzung des Daches in Zukunft unverändert bleibt, wird der gegenwärtige Zustand des Daches als zufriedenstellend erachtet, somit sind keine zusätzlichen Sanierungsmaßnahmen für den Feuchtigkeitsschutz notwendig.



Abb. 3. 8: Dachboden

Das Gebäude wurde in zwei Perioden gebaut (siehe Abb. 3.12). Das ursprüngliche/originale Gebäude wurde im Jahr 1885 erbaut und im Jahr 1930 in ähnlicher Bauweise ausgebaut. Zusätzlich wurde der Toilettenbereich mit einer Stahlbetonkonstruktion der Außenwände zugebaut.

Der Unterschied zwischen dem Teil aus 1885 und dem Teil aus 1930 ist am deutlichsten an den Fenstern ersichtlich. An dem Gebäude sind derzeit zwei Arten von Kastenfenstern, die in verschiedenen Epochen gebaut wurden:

- Grazer Fenster (1885): Äußere Flügel schlagen nach außen auf (siehe Abb.3.9)
- Wiener Fenster(1930): Beide Flügel schlagen nach innen auf (siehe Abb.3.10)



Abb. 3. 9:Grazer Fenster



Abb. 3. 10: Wiener Fenster

Die Fenster zeigen Schäden, die durch Alterung und Verwitterung entstanden sind. Die Fenster, die nach außen öffnen (Grazer Fenster), sind besonders anfällig für Verwitterung. Im Laufe der Zeit sind Schäden an dem Außenanstrich der Grazer Fenster entstanden.

Die kleinen Einfachfenster im zweiten Obergeschoss (siehe Abb. 3.11), mit welchen einige Klassenräume ausgestattet sind, bergen eventuell bautechnische Risiken. Diese Fenster mit einer Glasscheibe und unzureichender Wärmedämmung sind der ideale Ort

für Kondensation von Feuchtigkeit, die sich dann sammeln kann und somit eine ernste Bedrohung für das Auftreten von weiteren Schäden darstellt. Dieses Bild zeigt, dass dies hier nicht der Fall war, was auch durch die regelmäßige Instandhaltung des Gebäudes erklärt werden kann.



Abb. 3. 11: Einfachfenster

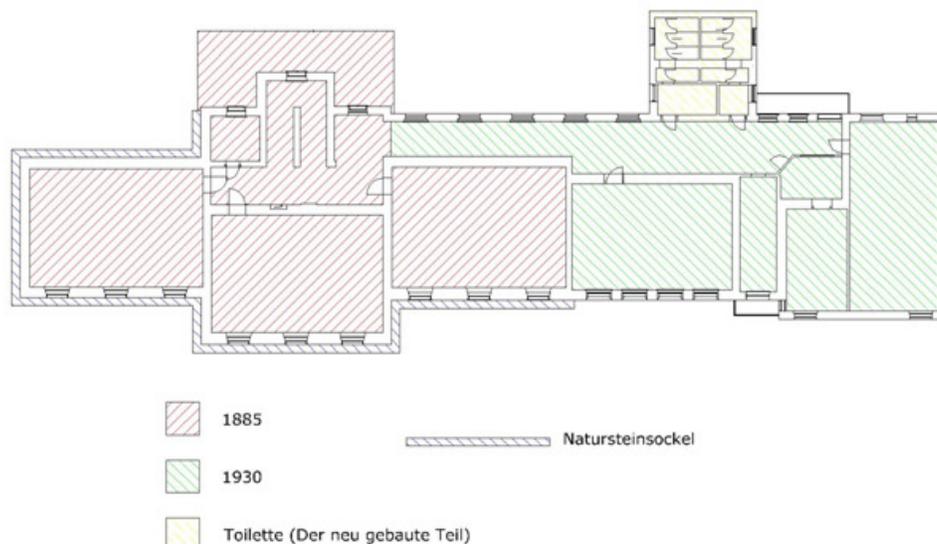


Abb. 3. 12: Der Plan des Gebäudes (Erdgeschoss).

Eine ähnliche Fensteranordnung aufgrund des Baujahres ist in den Kellerräumen sichtbar, wo neben Wiener und Grazer Fenstern auch Metallfenster eingebaut sind. Metallfenster befinden sich im Gang, im Musikraum sowie in den Lagerräumen, während Grazer- und Wienerfenster sich in den Klassenzimmern befinden. Im alten Kellerbereich befinden sich die Metall- und Grazer Kastenfenster in größeren Fensterleibungen bzw. hat die Kellerwand in diesem Bereich mehr reduzierte Querschnitte als in den zugebauten Kellerräumen. Daraus ergibt sich eine schlechtere wärmedämmende Wirkung und ein geringer Widerstand gegen die durchdringende Feuchtigkeit. Aufgrund des reduzierten Querschnitts und der daraus resultierenden besseren Wärmeleitfähigkeit, ist die Oberfläche dieser Bauteile kühler als die der nebenliegenden Wände (Wärmebrücken), was in weiterer Folge zu Kondensation an der Wandoberfläche führt. Als Folge davon entstehen in diesem Bereich offensichtliche Feuchtigkeitsschäden und Putzabplatzungen.

Kellerfenster sind besonders anfällig für die schädlichen Auswirkungen von Feuchtigkeit, diese wirkt als Niederschlagswasser, als Spritzwasser im Sockelbereich und auch als kapillar aufsteigende Feuchtigkeit. In besonders schlechtem Zustand sind die Grazer Fenster mit nach außen öffnenden Fensterflügeln, die von innen wie auch von außen beschädigt sind. Ein kleiner Bereich rund um die Grazer Fenster ist von außen schon zusätzlich verputzt, was bei den Sanierungsarbeiten berücksichtigt werden sollte. Der Sockel bei den Wiener Fenstern ist vollständig in Geschoßhöhe verputzt. Die Metallfenster sind sowohl verputzt als auch mit einem Natursteinsockel versehen.

Wegen ihres schlechten Zustands, haben alle Fenster eine niedrigere wärmedämmende Wirkung. Besonders problematisch ist der Einsatz der undichten Metallfenster in den Aufenthaltsräumen, aufgrund ihrer schlechten bauphysikalischen Eigenschaften.



Abb. 3. 13: Grazerfenster



Abb. 3. 14: Wienerfenster (Klassenzimmer und Wohnung des Hausmeisters)

Der Unterschied zwischen dem neuen und dem alten Teil ist auch am Sockel bemerkbar. Der ursprüngliche Teil des Gebäudes aus dem Jahr 1885 besitzt einen Natursteinsockel (teilweise verputzt). Jene Teile des Gebäudes, die anschließend gebaut wurden, haben einen Betonsockel bzw. einen verputzten Sockel. In diesem Bereich sind präzise Informationen über den Sockelaufbau mit Probebohrungen notwendig. Es wird angenommen, dass der Sockel aus dem Jahr 1930 als verputztes Vollziegelmauerwerk erstellt wurde.

Im Eingangsbereich der Schule ist die Grenze zwischen altem und neuem Teil im Sockelbereich deutlich zu sehen (siehe Abb. 3.16). Der neue Teil ist auch durch eine Diskontinuität des Sims⁴ im Erdgeschoss bemerkbar (siehe Abb. 3.16).



Abb. 3. 15: Eingangsbereich



Abb. 3. 16: Beton- und Natursteinsockel

⁴Horizontale Streifen, die als Fassadengliederungselemente dienen.

3.3.1 Kellergeschoss

Das Untergeschoss beinhaltet Unterrichtsräume, einen Musikraum, die Wohnungs- und Arbeitsräume des Hausmeisters, Abstellräume und eine Toilette.

Die Privatwohnung des Hausmeisters, die sich im Untergeschoss befindet, wurde im Laufe der Zeit einer Sanierung (siehe Abb. 3.17 und 3.18) unterzogen. Leider, war es während des Besuchs unmöglich, die Erlaubnis zu bekommen, die Wohnung zu besuchen und zu fotografieren und damit den Erfolg dieser Sanierung zu bewerten. Es wird angenommen, dass eine Vertikalabdichtung rund um die Wohnung hergestellt worden ist. Um eine qualitativ hochwertige und erfolgreiche Sanierung gewährleisten zu können, ist es zusätzlich nötig, eine Ausgrabung eines Teils der Außenwand vorzunehmen.

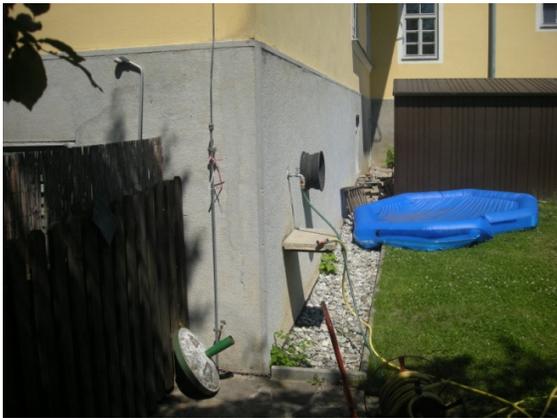


Abb. 3. 17: Die äußere Ecke der Wohnung



Abb. 3. 18: Drainage und Noppenbahn

Es ist auch erforderlich die Beschaffenheit des Kelleraußenmauerwerks durch eine teilweise Freilegung zu überprüfen. Damit können der aktuelle Zustand der Wände, mögliche Frostschäden und Unebenheiten der Kellerwände untersucht werden. Es ist ebenfalls erforderlich ein statisches Gutachten durchzuführen, womit die Tragfähigkeit des Vollziegelmauerwerks bestimmt werden wird. Erst dann, ausgehend von den angetroffenen Gegebenheiten, ist es möglich, einen kompletten Sanierungsplan des Kelleraußenmauerwerks zu erstellen.

Die Kellerdecke wurde auf verschiedene Weise und zu verschiedenen Zeiten errichtet. Im Unterschied zu den Obergeschossen, wo sich flache Holzbalkendecken befinden, wurde die Decke im Kellergeschoß als Gewölbedecke (siehe Abb. 3.19 und 3.20) gebaut. In dem alten Teil der Schule (Baujahr 1885) befindet sich eine Gewölbedecke und in dem neuen Teil (Baujahr 1930) eine Flachgewölbedecke. Der Unterschied liegt im massiven Auftritt des alten Teils, wegen seiner größeren Bauhöhe (Tonnengewölbe).



Abb. 3. 19: Gewölbedecke im Keller



Abb. 3. 20: Gewölbedecke im Keller

Während der Besichtigung des Gebäudes wurden in den Räumen im Keller schwere Bauschäden an den Außenwänden gefunden (siehe Abb. 3.21 und 3.22). Die Innenwände zeigen geringe Schäden in der Nähe der Anschlussbereiche. An einigen Innenwänden wurden Feuchtigkeitsschäden in den Anschlussbereichen Innenwand- Fußboden und Innenwand- Außenwand beobachtet. Diese Schäden sind geringer als die Schäden an den Außenwänden und sind durch Sanierungsmaßnahmen in der Vergangenheit abgedeckt worden.

Die Kellerräumlichkeiten sind nicht geeignet für ihre heutige Funktion. Diese unbeheizten Räume hatten in der Vergangenheit die Funktionen, die Entstehung von Feuchtigkeit als einen geplanten Prozess zu erlauben. Im Laufe der Zeit, um Nutzraum im Keller zu erhalten, ist ein Kellerausbau durchgeführt worden. Im Rahmen dieser Sanierung wurde jedoch keine entsprechende Feuchtigkeitsabdichtung für erdberührte Bauteile erstellt. Sie haben wenig oder gar keine Feuchtigkeitsabdichtung, so dass Bodenfeuchtigkeit in die Außenbauteile dringt.



Abb. 3. 21: Lager



Abb. 3. 22: Arbeitsraum

Alle Außenwände sind schwer beschädigt. Verschiedene Versuche das Problem zu verbergen, führten nur zur Verschlimmerung und einer potenziell gefährlichen

Situationen. Die Wände sind an einigen Stellen mit Holz verkleidet (wie beispielsweise im Musikraum). Auf diese Weise wurde natürliche Zirkulation der Luft entlang der Oberfläche der Wand verhindert und die Schäden wurden durch Unterbrechung des natürlichen Lüftungsprozesses erhöht.

Das Kellergeschoss kann in zwei Teile geteilt werden. Einerseits gibt es Räume, die als Lager und Arbeitsräume dienen und nicht beheizt sind (siehe Abb. 3.21 und 3.22). In diesen Räumen wurden beträchtliche Schäden an den erdberührenden Außenwänden beobachtet. Aufgrund der fehlenden Feuchtigkeitsabdichtung kann das Wasser ungehindert in diese Bauteile eindringen. Eingedrungenes Wasser durchnässt nicht nur die Wand, sondern führt auch zur völligen Zerstörung des Innenputzes durch Versandung. Insbesondere älterer Putz versandet und löst sich von der Wand, wenn durch Einwirkung von Feuchte die Bindemittel aufgelöst und ausgewaschen wurden (siehe Abb. 3.23 und 3.24).



Abb. 3. 23: Die erdberührende Außenwand, Versandung von Putzen



Abb. 3. 24: Die erdberührende Außenwand, Versandung von Putzen

Alle Außenwände in diesem unbeheizten Bereich haben identische Schäden. Eine mögliche Ausnahme ist die Außenwand auf der Nordseite der Schule, auf deren Außenseite sich eine große Asphaltfläche (Parkfläche) befindet, die die Wasserbeanspruchung auf die Wand reduziert.

Andererseits befinden sich im Keller Räume, die für den Unterricht, gelegentliche Lehre und Musikunterricht verwendet werden und welche mit den Radiatoren beheizt werden. Bereits auf den ersten Blick ist der Unterschied zwischen den beheizten und den unbeheizten Räumen sichtbar. Die beheizten Räume weisen keine großen Putzschäden auf den Außenwänden auf. Der Unterschied in Hinsicht auf die Schäden kann durch eine bessere Wartung dieses Teils des Kellers, in dem sich die Schüler/innen täglich aufhalten, erklärt werden.

So hatte zum Beispiel das Musikzimmer seine letzte Wartung vor zwei Jahren. Dies bedeutete die Herstellung einer Holzverkleidung, die sich an der Außenwand des Raumes befindet (siehe Abb. 3.25 und 3.26). Der Grund für dieses Vorgehen ist wahrscheinlich, dass hierdurch der Schaden an der Außenwand versteckt werden konnte und die Schaffung einer angenehmen Umgebung für die Schüler/innen möglich war.



Abb. 3. 25: Musikzimmer



Abb. 3. 26: Schäden an der Holzverkleidung

Die Verkleidung weist auch Schäden auf, aber sie halten sich durch die Luftschicht zwischen dem Holz und der Wand im Rahmen. Der größte Schaden an der Holzschalung wurde an der Verknüpfung der oberen Stahltreppe und der Holzschalung in der Fensterleibung bemerkt (siehe Abb. 3.26). Das Holz ist an dieser Stelle durch die Feuchtigkeitseinwirkung stark beschädigt. Es wird angenommen, dass die Feuchtigkeit an dieser Stelle durch die Wirkung der Wärmebrücke und der Kondensation der Feuchtigkeit an der Stahltreppe entstanden ist. Die Stahltreppe ist durch die Holzschalung an der Kellerwand befestigt, weshalb sie eine niedrigere Temperatur als die Raumluft aufweist. Dieser Temperaturunterschied führt zur Kondensation der Luftfeuchtigkeit an thermisch ungünstigsten Stellen, das heißt auf der Oberfläche der Stahltreppe. Das kondensierte Wasser sammelt sich und tropft nach unten, und dabei entstehen Feuchtigkeitsschäden auf der Holzschalung.

Die Holzschalung ist ein gutes Beispiel für gefährlich falsch durchgeführte, improvisierte Reparaturen. Der Raum zwischen den hölzernen Wandverkleidungen und der Wand ist der ideale Ort für die Entstehung von Pilzen. Die Luftfeuchtigkeit im Zwischenraum wird mit eindringender Feuchtigkeit aus der Außenwand erhöht und zusammen mit der warmen Umgebung entstehen ideale Bedingungen für die Entwicklung und Expansion von Pilzen. Das Risiko von Pilzen wird weiter durch die Holzverkleidung, die nun ihre Existenz versteckt bzw. verstecken soll, erhöht. Auf diese Weise sind Menschen, die sich in diesen Räumen aufhalten, nicht in der Lage sie zu bemerken. Obwohl das Zimmer während des Besuchs gelüftet wurde, war die Einwirkung von Feuchtigkeit auf die Wände und die Holzverkleidung zu riechen.

Diese Annahmen über die Existenz von Schimmel hinter der Holzschalung müssen nachgewiesen werden. Es ist notwendig, einen Teil der Verkleidung zu entfernen und zu überprüfen, in welchem Zustand sich der Raum zwischen der Verkleidung und der Wand befindet bzw., ob es mikrobiellen Befall gibt. Schimmel, Schimmelsporen und begleitende Bakterien sind gesundheitsgefährdend. Sie verursachen eine Entzündung der Atemwege und Allergien. Deshalb ist es bei dieser Kontrolle notwendig, auf Schutzmaßnahmen zu achten (Mundschutz, Staub-Schutzbrille). Ideale Bedingungen für Schimmelerntstehung sind eine Temperatur von 25°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 70%. In diesem Fall sind die Gründe für ihre Bildung unzureichende horizontale und vertikale Abdichtungen, die Feuchteschäden verursachen und auf diese Weise für die notwendige Feuchtigkeit für die Schimmelausbreitung sorgen.

Welche Art von Feuchteschäden hinter der hölzernen Wandvertäfelung sind, ist über dem oberen Rand dieser sichtbar (siehe Abb.3.27, 3.29 und 3.30). Die Höhe der

Holzverkleidung ist wahrscheinlich durch die Geländeoberkante bedingt. Unterhalb dieser Höhe ist die Außenwand in direktem Kontakt mit dem umliegenden Boden, wodurch auf der Innenseite der größte Schaden verursacht wurde. Aber im Laufe der Zeit begann die Feuchtigkeit in der Wand durch die kapillaren Eigenschaften des Materials zu steigen, so dass die Schäden derzeit oberhalb der Holzschalung sichtbar sind. Die Schäden wurden durch die fehlende Sperrung gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit verursacht, die von außen durch die Wand eindrang und infolge der Kapillarwirkung den Innenputz oberhalb der Holzverkleidung erreichte. Diese Schicht ist teilweise ausgewaschen und an manchen Stellen sind Salzausblühungen aufgetreten.

Wegen regelmäßiger Wartung der Schule ist davon auszugehen, dass der Schaden in der letzten Zeit verursacht wurde. Gäbe es keine Wartung, so wären die Schäden, die durch Kapillarwasser entstehen viel größer. Die Klassenzimmerfenster standen während der Besichtigung offen und ein Klassenzimmer hatte auch einen Luftentfeuchter. Trotzdem war die Feuchtigkeit im Kellergeschoss spürbar. Es wird angenommen, dass eine hohe Konzentration von Feuchtigkeit aus den Wänden, wiederum zu Schäden der sanierten Putzoberfläche führt. Es sollte auch die Wirkung von den bauschädlichen Salzen berücksichtigt werden, die offensichtlich in schädlicher Konzentrationen in den Wänden sind. Um diese Behauptung zu überprüfen, ist es notwendig, Proben aus den Kellerwänden zu untersuchen.



Abb. 3. 27: Die Schäden oberhalb der Holzschalung



Abb. 3. 28: Stahlkellerfenster



Abb. 3. 29: die Schäden oberhalb der Holzschalung



Abb. 3. 30: Salzausblühung

Die hohe Konzentration von Feuchtigkeit in den Wänden ist durch verschiedene Ursachen entstanden. Hier sind fehlende Feuchtigkeitsabdichtungen zu nennen, weshalb die Feuchtigkeit ungestört durch die Außenbauteile (Bodenplatte und Kelleraußenwände) dringen konnte, kapillar aufsteigende Feuchtigkeit (Feuchteschäden in den Außenwänden oberhalb der Geländeoberkante) und auch Oberflächenkondensation.

Oberflächenkondensation tritt auf, wenn warme, feuchte Luft in Kontakt mit kalten Wandoberflächen kommt. Dabei sinkt die Lufttemperatur mit der Steigerung der relativen Luftfeuchtigkeit bis zur Feuchtigkeitsübersättigung. Als Folge davon entsteht Kondenswasser an den kühleren Stellen im Raum. Im Unterschied zu kapillar aufsteigender Feuchtigkeit und seitlich eingedrungenem Wasser wird Kondenswasser nicht durch fehlende Feuchtigkeitsabdichtungen verursacht, sondern durch ungünstige thermische Eigenschaften der betroffenen Bauteile, was bei den Kellerräumen der Fall ist. In den Kellerräumen mit Grazer Fenstern haben die Fensterleibungen einen deutlich reduzierteren Wandquerschnitt als der Rest der Wand, was die Wärmeübertragung verbessert und in einer kühleren Wandoberfläche resultiert.

Dieser Prozess kann am Beispiel der Kellerklassenzimmer mit Grazer Fenstern erläutert werden (siehe Abb. 3.31 und Abb.3.35). Bei den Kellerräumen mit Wiener Fenstern (Baujahr 1930) ist das nicht der Fall, wegen des nicht so offensichtlichen Unterschieds in der Wandstärke der Fensterleibungen (siehe Abb. 3.31). Die einfach verglasten Metallfenster (siehe Abb. 3.28 und 3.28) andererseits haben sehr schlechte technische Eigenschaften gegenüber den Holzkastenfenstern, weshalb die niedrigste Temperatur nicht an der Wandoberfläche, sondern auf der Innenseite des Fensters (Kondensat auf der Glasoberfläche) zu messen ist.



Abb. 3. 31: Kellerklassenzimmer mit Grazer und Wiener Fenstern

Die Oberflächenkondensation entsteht an jene Stellen mit der niedrigsten Temperatur, wie in diesem Fall bei den Fensterleibungen, die eine niedrigere Temperatur als der Rest der Außenwand aufweisen. Zur graphischen Darstellung des Temperaturunterschiedes in der Außenwand wird ein Programm für thermische Analyse benutzt (Programm: AnTherm®; Hersteller:Thomasz P Kornicki).

Für diese 2D-thermische Simulation wurden folgende Materialeigenschaften verwendet:

- Gesamter U-Wert der Grazer Kastenfenster ist $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Annahme)
- Natursteinmauerwerk mit Wandstärke 60 cm, U-Wert = $2,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Abb. 3.32)
- Natursteinmauerwerk mit Wandstärke 30 cm, U-Wert = $2,94 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Abb.3.33).

U-Wert Berechnung des Vollziegelmauerwerks wurde mit dem Programm Gebäudeprofi (Hersteller: ETU, Wels) durchgeführt.

Bauteil Außenwand-Naturstein, Bestand

Schichtenaufbau: Außenwand-Naturstein, Bestand

Nr.	Bezeichnung	Dicke cm	λ W/m·K	R m²K/W	μ_1 –	μ_2 –	ρ kg/m³	C_p kJ/kg·K
1	Kalk-Zementputz	2,00	1,000	0,02	25	25	1800,0	1,12
2	Natursteinmauerwerk	60,00	2,300	0,26	100	100	2400,0	0,90
3	Kalk-Zementputz	2,00	1,000	0,02	25	25	1800,0	1,12

U-Wert-Berechnung nach EN ISO 6946

Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se} = 0,47 \text{ m}^2\text{K/W}$

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T = 2,12 \text{ W/m}^2\text{K}$

Wärmeübergangswiderstände

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si}	0,13 m²K/W
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se}	0,04 m²K/W
Wärmestromrichtung	horizontal
Bauteil grenzt an	Außenluft

Zusammenfassung

U-Wert	2,12 W/m²K
Wärmedurchlasswiderstand	0,30 m²K/W
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit CP 3cm	76,71 kJ/m²K
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit CP 10 cm	76,71 kJ/m²K
Spezif. Bauteilmasse	1512,00 kg/m²
Dicke	64,00 cm

Abb. 3. 32: U-Wert = 2,12 W/m²K, 60 cm Naturstein-MWK

Bauteil Außenwand-Naturstein, Bestand

Schichtenaufbau: Außenwand-Naturstein, Bestand

Nr.	Bezeichnung	Dicke cm	λ W/m·K	R m²K/W	μ_1 –	μ_2 –	ρ kg/m³	C_p kJ/kg·K
1	Kalk-Zementputz	2,00	1,000	0,02	25	25	1800,0	1,12
2	Natursteinmauerwerk	30,00	2,300	0,13	100	100	2400,0	0,90
3	Kalk-Zementputz	2,00	1,000	0,02	25	25	1800,0	1,12

U-Wert-Berechnung nach EN ISO 6946

Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se} = 0,34 \text{ m}^2\text{K/W}$

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T = 2,94 \text{ W/m}^2\text{K}$

Wärmeübergangswiderstände

Wärmeübergangswiderstand innen R_{si}	0,13 m²K/W
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se}	0,04 m²K/W
Wärmestromrichtung	horizontal
Bauteil grenzt an	Außenluft

Zusammenfassung

U-Wert	2,94 W/m²K
Wärmedurchlasswiderstand	0,17 m²K/W
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit CP 3cm	84,70 kJ/m²K
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit CP 10 cm	84,70 kJ/m²K
Spezif. Bauteilmasse	792,00 kg/m²
Dicke	34,00 cm

Abb. 3. 33: U-Wert = 2,94 W/m²K, 30 cm Naturstein-MWK

In diesem Modell wird die, in der Außenwand vorhandene Feuchtigkeit, die durch kapillar aufsteigende Feuchtigkeit und seitlich eingedrungenes Wasser entstanden ist, nicht berücksichtigt. Feuchtigkeit in der Wand verbessert die Wärmeübertragung und resultiert in einem noch schlechteren U-Wert der Außenwand. In der Folge hat das Fenster einen besseren U-Wert als eine Wand mit einem reduzierten Querschnitt (30 cm Natursteinmauerwerk).

Nachweise der Vermeidung von Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche und der Vermeidung des Risikos für Schimmelbildung erfolgen aufgrund ÖNORM B 8110-2.

Für die Berechnung des Kondensats- und Schimmelbildungsrisiko wurden Klimadaten für Graz 8010 verwendet (siehe Abb. 3.34).

Für die Geoposition

Breite: 47 Grad 4 Minuten
 Länge: 15 Grad 26 Minuten
 Seehöhe: 353 Meter

Monatsmittelwerte der Temperatur

Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
-0,36	1,83	6,02	10,78	15,22	18,73	20,5	19,71	16,17	10,64	4,79	0,64

Jahresmittelwert: 10,44 Grad Celsius

Temperaturen zu gegebenen Unterschreitungshäufigkeiten

Tage in 10 Jahren	10	15	25	40	60	90	130	200
Grad Celsius	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3

Tagesmittel der Lufttemperatur

Temperaturen zu gegebenen Überschreitungshäufigkeiten

Tage in 10 Jahren	10	15	25	40	60	90	130	200
Grad Celsius	27	26	26	25	25	24	24	23

Tagesmittel der Lufttemperatur

Heizgradtage 12/20 (in K*d)

Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
631,3	508,1	419,6	213,7	51,9	6,4	0,8	0,9	25,8	226,4	451,4	600,1

Summe über die Heizsaison: 3.050,6 K*d

Jahressumme: 3.136,5 K*d

Berechnung erfolgt für Heizgrenztemperatur (Außentemperatur) 12 Grad Celsius, Innentemperatur 20 Grad Celsius.

Abb. 3. 34: Klimadaten für 8010 Graz [39]

Für den Nachweis der Vermeidung des Risikos für Schimmelbildung und Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche wird folgendes Modell verwendet (siehe Abb. 3.36):

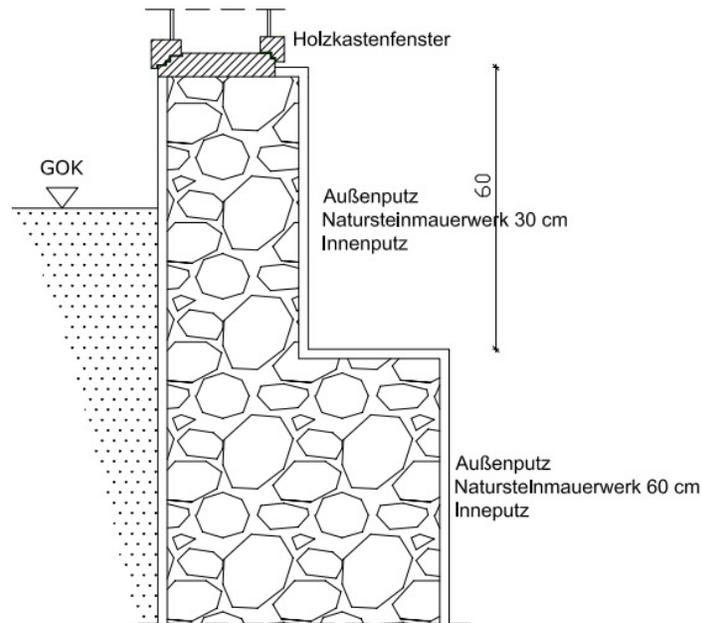
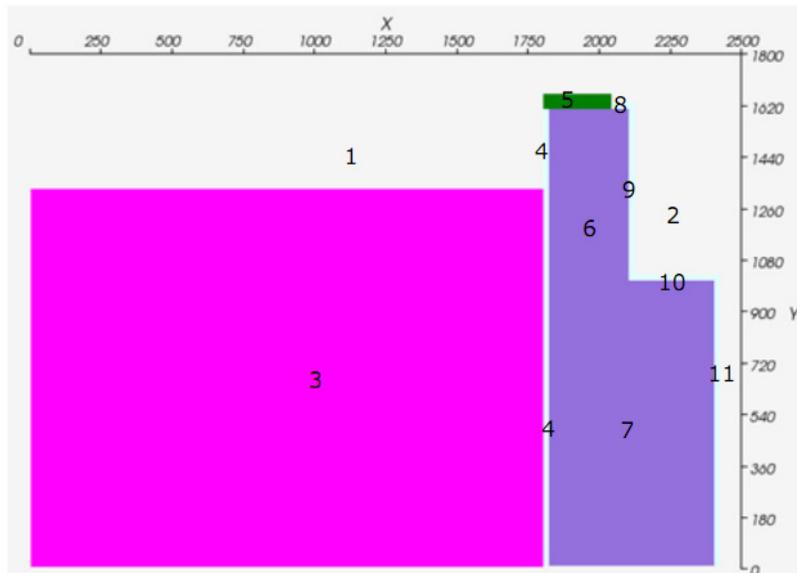


Abb. 3. 35 Schnitt des berechneten Bauteils



1. Raumzelle - (0, 0, 0) x (1800, 1650, 1000) Raum: "Aussen" Oberfläche: "EN ISO 13788:2001 Wände und Decken etc. (Beurt.v.Schimmel- u. Tauwasserbildung) Rse" $R_s=0,04$ ($\alpha=25$)
2. Raumzelle - (2042, 0, 0) x (2450, 1650, 1000) Raum: "Innen" Oberfläche: "EN ISO 13788:2001 Wände und Decken etc. (Beurt.v.Schimmel- u. Tauwasserbildung) Rsi" $R_s=0,25$ ($\alpha=4$)
3. Baustoffzelle - (0, 0, 0) x (1800, 1318,299, 1000) Bez.: "Erde (Feucht)" $\lambda=2,1$
4. Baustoffzelle - (1800, 0, 0) x (1820, 1600, 1000) Bez.: "Außenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
5. Baustoffzelle - (1800, 1600, 0) x (2042, 1650, 1000) Bez.: "Kastenfenster $U = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ " $\lambda=0,45$
6. Baustoffzelle - (1820, 0, 0) x (2100, 1600, 1000) Bez.: "Natursteinmauerwerk" $\lambda=2,3$
7. Baustoffzelle - (2100, 0, 0) x (2400, 1000, 1000) Bez.: "Natursteinmauerwerk" $\lambda=2,3$
8. Baustoffzelle - (2042, 1600, 0) x (2120, 1620, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
9. Baustoffzelle - (2100, 1000, 0) x (2120, 1600, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
10. Baustoffzelle - (2120, 1000, 0) x (2420, 1020, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
11. Baustoffzelle - (2400, 0, 0) x (2420, 1000, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$

Abb. 3. 36: Detailangaben zu der Bauteilkonstruktionseingabe (AnTherm®)

Bei der Modellbildung wird angenommen, dass die Unterkante des Fensters 30 cm oberhalb der Geländeoberkante liegt und dass die Breite der Baustoffzelle 3 (Erdreich) 3-fache Breite der Kelleraußenwand beträgt. Auf diese Weise wird im Modell der Einfluss des Erdreiches auf die Kelleraußenwand berücksichtigt.

Die graphische Darstellung zeigt die Temperaturverteilung und den Punkt (die Linie) mit der niedrigsten Temperatur ($T_{\min}=5,95^{\circ}\text{C}$) bzw. jene Stelle mit erhöhtem Kondensationsrisiko und potentieller Schimmelbildung (siehe Abb. 3.38).

Nachweise des Risikos für Schimmelbildung und Oberflächenkondensation sind auf Abb. 3.38 dargestellt.

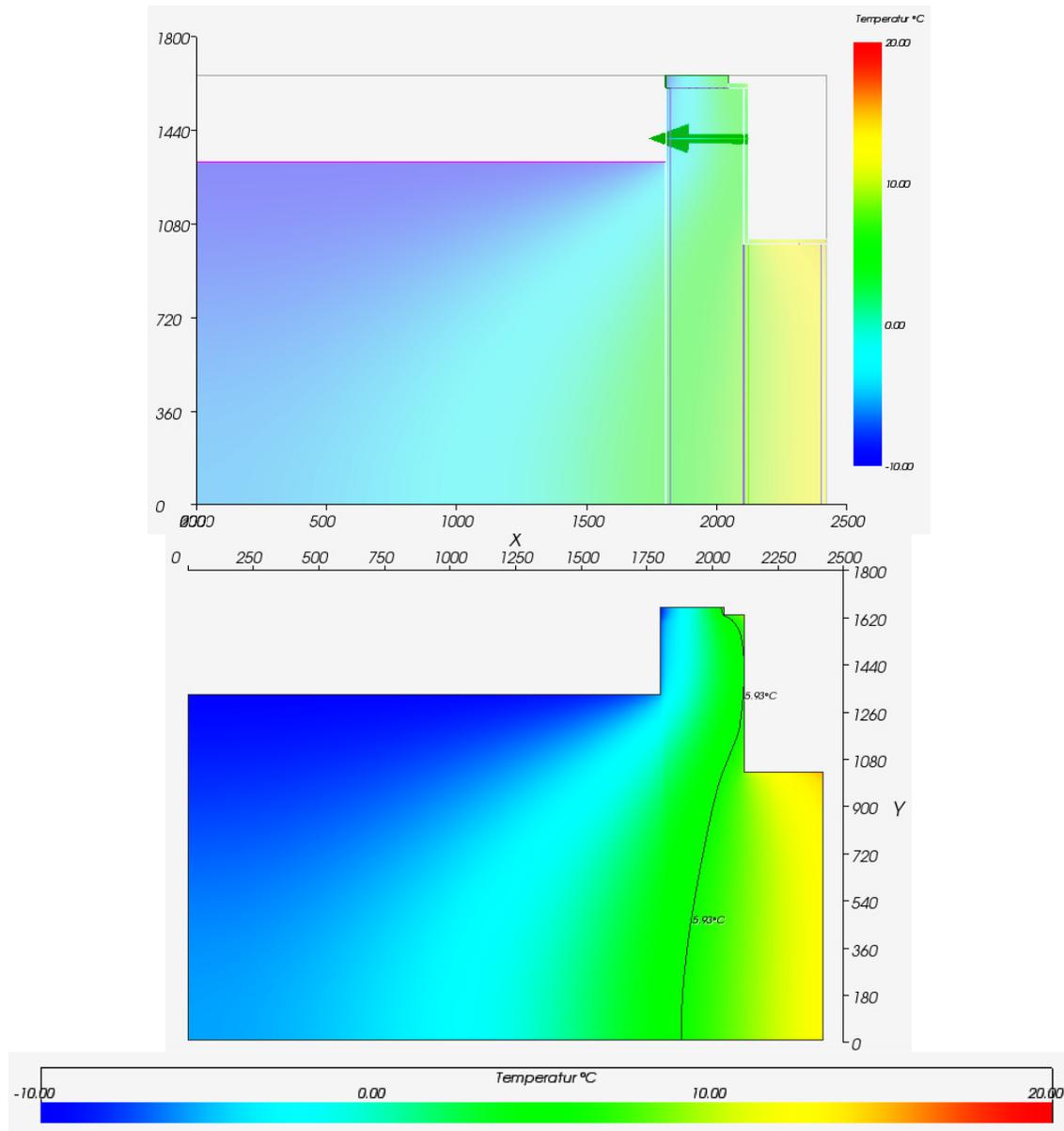


Abb. 3. 37: Graphische Darstellung der Niedrigsten Temperatur

Randbedingungen und resultierende Oberflächentemperaturen / Grenzfeuchten d. Raumluft

	Raumtemperatur [°C]	min. Temperatur [°C]	max. Temperatur [°C]	Kondensat. rF [%]	f_{Rsi}^*
Aussen	-10,00	-9,58	-5,30	100,00 %	
Innen	20,00	5,95	15,12	39,86 %	0,53 (**)

Gewichte für den kältesten Oberflächenpunkt eines jeden Raumes

	Aussen	Innen
g(Aussen)	0,985931	0,468277
g(Innen)	0,014069	0,531723

Koordinaten (x,y,z) des kältesten Oberflächenpunktes eines jeden Raumes

	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Temp.[°C]	f_{Rsi}^*
Aussen	0,0000	1318,2990		-9,58	
Innen	2120,0000	1405,2990		5,95	0,53 (**)

(*) Achtung: $f_{Rsi}^* < 0,71$ - Schimmelschutzkriterium ist nicht erfüllt.

(**) Achtung: $f_{Rsi}^* < 0,69$ - Kondensationsschutzkriterium ist nicht erfüllt.

Abb. 3. 38: Nachweis Ergebnisse

Nach Abb. 3.38 ist die Konstruktion hinsichtlich der Vermeidung des Risikos für Schimmelbildung und Kondensationsbildung an der inneren Bauteiloberfläche nicht in Ordnung. Das Problem dabei ist die niedrige Oberflächentemperatur des Natursteinmauerwerks mit einer Wandstärke von 30 cm.

Es wird angenommen, dass die Kellerwand durch Feuchtigkeit belastet ist, was zu größerer Wärmeleitfähigkeit und schließlich zu niedriger Oberflächentemperatur führt.

Diese Ergebnisse erklären somit die Fotodokumentation, die Feuchtigkeitsschäden im Wärmebrückenbereich zeigt. Schlussfolgerung ist, dass die Kelleraußenwand mit reduziertem Querschnitt (30 cm) keine Garantie für ein hygienisches Raumklima aufweist und dass die Erscheinung von Kondensation und Schimmelbildung möglich ist.

3.3.2 Durchgeführte Sanierungen im Kellergeschoss

Probleme mit der Feuchtigkeit und die improvisierte Bekämpfung dieser sind anhand verschiedener Beispiele sichtbar. Eine improvisierte Maßnahme war, den Schaden durch Fliesen zu verdecken (siehe Abb. 3.39 und 3.40). Die Feuchtigkeit unter den Fliesen wird auf diese Weise erhöht und irgendwann zum Einbruch der Fliesen führen. Diese einfache Lösung kam in einem Kellergang entlang der Außenwand zum Einsatz. Der Schaden war in den Fensterlaibungen besonders groß, wo sich an einigen Stellen, wegen des zerstörten Innenputzes, Salzausblühungen bildeten. Die Bilder zeigen deutlich den Aufbau der kristallisierten Salze, die zur Zerstörung des Putzes führen. Die Fenster, die sich in diesem Korridor befinden, sind einflügelige Stahlkellerfenster.



Abb. 3. 39: Fliesen an der Außenwand



Abb. 3. 40: Fliesen an der Außenwand

Die Höhe der Fliesen entspricht der Ebene der Holzverkleidung im Musikzimmer oder der Geländeoberkante. Auch in diesem Fall kam das Kapillarwasser über die Fliesen, so dass der Schaden identisch mit dem im Musikraum ist. Auch hier sind Salzausblühung und Putzabplatzungen sichtbar (siehe Abb. 3.41 und Abb. 3.42).



Abb. 3. 41: Salzausblühung



Abb. 3. 42: Salzausblühung

Dieser Bereich ist ebenfalls nahezu saniert und somit kann die Höhe der kapillaren Feuchtigkeit nicht als endgültig (maximal) bezeichnet werden. Bis zu welchem Niveau aufsteigende Feuchtigkeit kommen kann, ist im Nebenraum evident (siehe Abb.3.43 und Abb.3.44). Es handelt sich um die Außenwand in einem der Arbeitsräume des Hausmeisters, die in letzter Zeit nicht renoviert wurde. In diesem Raum ist es offensichtlich, dass die kapillar aufsteigende Feuchtigkeit auch die Kellerdecke erreicht hat. Es wird davon ausgegangen, dass solche Schäden im gesamten Keller entstehen würden, wenn es keine regelmäßige Wartung gäbe.



Abb. 3. 43: Schäden im Arbeitsraum



Abb. 3. 44: Schäden im Arbeitsraum

Der Kellerfußboden unterscheidet sich in den beheizten und den unbeheizten Räumen. In den unbeheizten Räumen (Lager und Arbeitsraum) ist die Bodenplatte nicht horizontal abgedichtet. Dies zeigt sich durch Schäden an Gegenständen, die in Kontakt mit dem Fußboden sind. In den beheizten Räumen wurden als zusätzliche Sanierungsmaßnahme PVC Beläge verlegt (Abb. 3.45). Deswegen sind keine Schäden im Fußbodenbereich sichtbar. Es wird davon ausgegangen, dass unter den PVC Belägen eine Horizontalabdichtung eingebaut wurde. Es wird angenommen, dass der Betonboden während der letzten Sanierung im ganzen Keller gegossen wurde. Es war aber nicht möglich, eine entsprechende Analyse der bereits durchgeführten Arbeiten zu machen. Zu diesem Zweck ist es notwendig, zusätzlich die Dicke der Betonbodenplatte und die Druckfestigkeit des Betons zu überprüfen. Zur Überprüfung wird es erforderlich, den Fußbodenbelag zu entfernen und eine Schürfgrube auszuheben, womit der genaue Aufbau der Bodenplatte, die Betonstärke und möglicherweise die Anwesenheit von Feuchtigkeitsabdichtungen bestimmt werden kann. Dabei werden mindestens zwei Schürfgruben benötigt, die in den beheizten und den unbeheizten Räumen und neben den Kelleraußenwänden positioniert werden. Damit werden in einem Schritt der Aufbau der Bodenplatte und die Tiefe der Kelleraußenwände bestimmt. Wenn eine Bodenabdichtung bereits vorhanden ist, ist es notwendig, ihre Qualität und Kompatibilität mit den geplanten Sanierungsmaßnahmen zu überprüfen.



Abb. 3. 45: Fußboden: PVC Beläge

3.3.2 Sockel

Schäden, die durch die fehlende Sperrung gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit verursacht wurden, sind auch auf der Außenseite sichtbar (siehe Abb. 3.46 und Abb. 3.47). Die Fotografien zeigen die Außenseite der Wand mit den Fliesen. Änderungen der Farbe bei dem verputzten (Beton) Sockel zeigen Schäden durch aufsteigende Feuchtigkeit in der Verdunstungszone.

Es wird angenommen, dass diese Verfärbung des Sockels nicht durch die Einwirkung von Spritzwasser verursacht wurde, weil sie oberhalb des Spritzwasserbereiches sind, sondern hauptsächlich durch die kapillar aufsteigende Feuchtigkeit und die Einwirkung der bauschädlichen Salze, die in diesem Bereich durch Wasserverdunstung auskristallisieren.

Der Einfluss von Spritzwasser ist jedoch nicht zu vernachlässigen. Dieser wird durch mit Naturstein gepflasterte Wege und asphaltierte Flächen rund um die Schule (siehe Abb. 3.47) erhöht.



Abb. 3. 46: Schäden auf dem Sockel



Abb. 3. 47: Unterschiedliche Sockelhöhe

Der Sockel wurde auf unterschiedliche Weise und in unterschiedlichen Abmessungen hergestellt. Das Foto zeigt die Grenze zwischen dem ursprünglichen Natursteinsockel und dem verputzten Sockel/Betonsockel (siehe Abb. 3.48). Es ist nicht ganz klar, welche Art von Sockel der neu angebaute Teil ist. Einige Bilder (siehe Abb. 3.48) deuten darauf hin, dass es sich hier um eine Fortsetzung des alten verputzten Sockels handelt. Es wird davon ausgegangen, dass der verputzte Sockel als eine weitere Maßnahme zur teilweisen Sanierung durchgeführt wurde. Einige Schäden (siehe Abb. 3.52) zeigen jedoch, dass es sich hier um einen Betonsockel handelt. In diesem Teil der Analyse ist es nicht möglich, eine klare Einschätzung zu geben.

Es besteht auch die Möglichkeit, dass die Natursteine im Sockelbereich des alten Teils der Schule nicht auf Ziegelmauerwerk gemauert wurden, sondern dass die Kelleraußenwände komplett aus Natursteinmauerwerk mit unregelmäßigen Bruchsteinen hergestellt wurden (Bruchsteinmauerwerk). Durch diese zwei Möglichkeiten kann man nicht mit ausreichender Sicherheit den Wandaufbau bestimmen, bzw. ob das Bruchsteinmauerwerk im gesamten Kellerwänden vorhanden ist. Vor der Durchführung der Arbeiten wird es

jedoch erforderlich sein, Proben zu entnehmen und die endgültige Zusammensetzung der Kelleraußenwände zu bestimmen.

Im Zuge dieser Analyse wurde festgestellt, dass die Schäden der Wände mit dem Natursteinsockel größer sind, weil Feuchtigkeit in größerem Umfang vorhanden ist. Dies gilt auch für die Putzabplatzungen oberhalb des Natursteinsockels (siehe Abb. 3.48 und 3.49 und Abb. 3.16). Möglicher Grund dafür ist die Verwendung von zu dichtem Fugenmörtel (wie z.B. Zementmörtel), der einen kapillaren Feuchtetransport fördert. Oberhalb des Natursteinsockels entstanden deshalb die Putzabplatzungen, die durch die aufsteigende Feuchtigkeit in den Mörtelfugen und durch die fehlende Horizontalsperre verursacht wurden.



Abb. 3. 48: Verputzter- und Natursteinsockel



Abb. 3. 49: Putzabplatzungen oberhalb des Natursteinsockels als Folge der Kapillarwasserwirkung

Allerdings, sind die Schäden am Sockel am Eingang der Schule auf andere Gründe zurückzuführen (siehe Abb. 3.50, 3.51). Es ist möglich, dass diese Schäden durch die Einwirkung von Salz verursacht wurden, das während der Wintermonate zur Eisfreihaltung verwendet wird. Obwohl dieser Teil abgedeckt ist, es ist möglich, dass Schnee mit den Schuhen in ausreichender Menge mitgebracht wurde. Salz führt zum Schmelzen von Eis bei Temperaturen bis -10°C und verhindert somit die Bildung der Eisfläche vor dem Eingang zur Schule. Die kalte Mischung aus Wasser und Salz wirkt dann auf das Bauteil. Das Kapillarwasser, das durch die Wirkung von sehr niedrigen Temperaturen gefriert, vergrößert sein Volumen und erzeugt hydraulischen Innendruck was zu einer Sprengwirkung führt.



Abb. 3. 50: Betonsockel, Verputzte- und Natursteinsockel



Abb. 3. 51: Sockel am Eingang (Betonsockel)



Abb. 3. 52: Schäden am Sockel (Betonsockel)



Abb. 3. 53: Schäden am Sockel (Betonsockel)

4 Feststellen des Schadensbefundes durch Probenentnahme

Aufgrund der unzureichenden Dokumentation ist es nicht möglich, eine ordnungsgemäße Analyse des Objekts durchzuführen. Die Materialeigenschaften, die Bauteilaufbauten der Kellerwände und der Beschädigungsgrad der Kelleraußenwände sollten mittels Laboruntersuchungen beurteilt werden. In der Bestandsaufnahme wird angenommen, dass die Kelleraußenwände aus Vollziegel- oder Natursteinmauerwerk bestehen. Es ist zu überprüfen, was für einen genauen Aufbau der verputzte und der Natursteinsockel haben (siehe Abb.3.48), bzw. ob die Natursteine nur im Sockelbereich vorhanden sind oder der gesamte Wandquerschnitt der Kellerwände aus Natursteinmauerwerk besteht und der Gebäudeteil aus dem Jahr 1930 zusätzlich verputzt wurde (siehe Abb.3.46). Es ist auch zu überprüfen, ob im Eingangsbereich ein Betonsockel vorhanden ist (siehe Abb. 3.52) und wenn das der Fall ist, ob der gesamte Wandquerschnitt in Eingangsbereich als Stahlbetonkonstruktion ausgeführt wurde.

Detaillierte Informationen zu den verwendeten Materialien und deren Eigenschaften sollten aus diesem Grund durch Probenentnahmen gewonnen werden. Das Ziel dieser Untersuchungen ist es, eine endgültige Diagnose des Zustands der beschädigten Bauteile zu bekommen.

Nach der Entnahme von Materialproben werden diese im Labor untersucht, um Informationen über die Struktur der Schichten und bauphysikalischen Eigenschaften zu erhalten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen als Beweis für die Richtigkeit der Annahmen der Bestandsaufnahme und auf dieser Basis ist möglich, die entsprechenden Methoden der Sanierung zu planen. Es wird angenommen, dass die Schäden durch die Einwirkung von Feuchtigkeit in erdberührten Bauteilen entstanden sind. Mögliche Ursachen für die Feuchtigkeit im Mauerwerk, wie kapillaraufsteigende Feuchtigkeit, können durch Testergebnisse belegt werden.

Probenentnahmen werden durch Bohrungen durchgeführt (Bohrmehl oder Bohrkern) oder durch Ausstemmen (Handstücke, Granulat). Die Wahl einer bestimmten Methode ist nicht zufällig und ist mit der Methode der anschließenden Laboruntersuchungen verbunden. Einige Untersuchungen (z.B. Wasseraufnahme) erfordern größere Proben (Granulat). Es ist daher darauf zu achten, dass bei der Probenentnahme minimale Schäden entstehen. Das bedeutet aber nicht, dass Schäden durch Probenentnahmen unbedingt vermieden werden müssen. Unsachgemäße Probenentnahmen, mit dem Wunsch weitere Schäden an dem Gebäude zu verhindern, können nur zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

Während der Probenentnahmen durch Bohrungen ist auf die Geschwindigkeit der Bohrer zu achten. Zu hohe Geschwindigkeit bei geringen Bohrerdurchmessern kann zu signifikantem Aufwärmen des Bohrers führen. Hohe Temperaturen können zu einem Austrocknen der Probe führen, was die anschließenden Tests verfälschen könnte (z.B. bei der Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes). Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, eine Bohrmaschine mit einer Geschwindigkeit von maximal 300 Umdrehungen pro Minute und einen Bohrer von mindestens 20 mm Durchmesser zu benutzen[1]. Die ungefähre

Temperatur des Bohrers nach den Probenahmen sollte innerhalb der Grenzen der menschlichen Körpertemperatur bleiben (35°C – 40°C). Eine Zusammenfassung der möglichen Probenentnahmen ist in der folgenden Tabelle angegeben:

Probeentnahme	Werkzeug	Probeart	Zerstörungsgrad
Bohrkernentnahme Trockenbohrverfahren	Diamantbohrkrone	Bohrkern, kompakte, ungestörte Probe	Gering bis stark, je nach Bohrkerndurchmesser
Bohrkernentnahme Trockenbohrverfahren	Hammerbohrkrone	Bohrkern, gestörte Probe	Gering bis stark, je nach Bohrkerndurchmesser
Bohrmehlentnahme Trockenbohrverfahren	Spiralbohrer	Bohrmehl, gestörte Probe	Gering
Abschlagen	Hammer, Meißel	Bruchstück, gestörte Probe	Gering bis Stark, je nach Probengröße
Herausschneiden	Trennscheibe	Handstück, kompakte, ungestörte Probe	Stark
Ausbauen	Verschiedene Werkzeuge	Handstück, kompakte, ungestörte Probe	Sehr stark
Abschaben	Pinsel, Bürste, Spatel	Mehl, Schale, gestörte Probe	Sehr gering

Tab. 4- 1: Eine Zusammenfassung der möglichen Probenentnahmen[10]

Die Probenentnahme erfolgt mit folgenden Werkzeugen bzw. Probenarten nach [13]:

- Hammer und Meißel
- Die Probenentnahme erfolgt mit geringster Veränderung des Feuchtigkeitsgehaltes. Die Probenm
- Winkelschneider
- Die Probenentnahme kann aus plattigen Materialien (Putz, Estrich) entnommen werden. Die Prob
- Bohrkern
- Die Probenentnahme erfolgt mit Hartmetall-Hammerbohrkronen in einer Schlagbohrmaschine Bohrungen mit gleichzeitiger Verwendung von Kompressor für Pressluft zur Kühlung und Staubsauger für Absaugung der Proben empfohlen.
- Bohrmehl
- Die Probenentnahme erfolgt abschnittsweise mit einem Spiralbohrer mit einem Mindestdurchmes

Nach der Probenentnahme sollte die Probe bis zur Laboranalyse richtig gelagert werden. Dies beinhaltet einen luftdichten Probenbehälter, der jede Veränderung der Probe verhindert (z.B. mögliche Kondensation, wobei der Feuchtigkeitsgehalt geändert wird).

Bei der Entnahme der Probe sollte eine genaue Dokumentation des Prozesses vorgenommen werden. Die Dokumentation sollte erfassen:

- Datum der Entnahme
- Klimatische Bedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Bauteiloberflächentemperatur)
- Informationen über die Methode und den Ort der Probenentnahme
- Objektbezeichnung

Die Auswahl der Stellen für die Probenentnahme ist von den Besonderheiten des Gebäudes abhängig. Für das Volksschulgebäude sollten die Stellen mit den beobachteten Schäden berücksichtigt werden. Die Probenentnahme sollte an mehreren Stellen in verschiedenen Höhen durchgeführt werden. Folgende Bereiche sind mit der Probeentnahme zu überprüfen:

- Kellerfußboden
- Kelleraußenwände
- Kellerinnenwände
- Sockelbereich
- Außenwände oberhalb des Spritzwasserbereichs

Der Aufbau des Kellerfußbodens ist durch mehrere Schürfgruben zu untersuchen, um die Annahme aus Kapitel 3 (siehe Seite 33) zu bestätigen. Es ist endgültig festzustellen, ob die Bodenplatte im ganzen Kellergeschoß eine Stärke von 8 bis 10 cm besitzt und ob diese in den beheizten Kellerräumen ausreichend abgedichtet ist.

Die Kelleraußenwände zeigen eine hohe Präsenz von Feuchtigkeit und bauschädlichen Salzen (Kapitel 3). Regelmäßige Bemalung, die Vorsatzschale im Musikraum (siehe Abb.3.25) und die Fliesen im Gang des Kellers (siehe Abb.3.39) verhindern die Entstehung großflächiger Beschädigungen, wie in den unbeheizten Kellerräumen. Eine reale Beurteilung der Bauschäden in diesen Bereichen ist nur durch die Laboruntersuchungen der Probebohrungen möglich.

Die Kelleraußenwände sind durch Probebohrungen auf mindestens drei Stellen^[1] in einem Abstand von 5-10 m zu überprüfen ^[25] (Abb.4.2). Die drei Bohrpunkte sind so zu wählen, dass durch die Laboruntersuchungen eine richtige Beurteilung der Schadensursachen möglich ist. Die Probebohrungen sind folgenderweise auszuführen:

- Gleich über dem Kellerfußboden
- 80 bis 100 cm über dem Kellerfußboden
- Im oder unmittelbar über dem Feuchtigkeitsrand (Salzausblühungen)

Das Ziel ist es, ein Profil der bauschädlichen Substanzen (Feuchtigkeit und bauschädliche Salze) innerhalb der betrachteten Bauteile zu erstellen. Geplant sind Probeentnahmen in Bereichen bemerkbarer Schäden (Kapitel 3) bzw. in Lagerbereichen, im gefliesten Gang und im Musikraum (siehe Abb.3.4).

Die Kellerinnenwände zeigen keine Bauschäden, außer in Stoßbereichen der Außen- und Innenwände. Es ist möglich, dass die Feuchtigkeitsbelastung der inneren Kellerwände im Vergleich zu den äußeren Kellerwänden kleiner ist und dass die dadurch entstandenen Schäden durch regelmäßige Wartungsarbeiten verdeckt wurden. Mit Hilfe der

Probeentnahme ist zu überprüfen, wie groß die Belastung ist und ob zusätzliche Sanierungsmaßnahmen für die Innenwände notwendig sind. Die Bohrpunkte sind wie bei den Kelleraußenwänden anzuordnen (Abb. 4.2).

Die Probeentnahme im Sockelbereich dient der Bestimmung des Wandaufbaus, als auch der Bestimmung der Beschädigungen durch Feuchtigkeit und bauschädliche Salze. Bohrungen sind in folgenden Bereichen geplant:

- Eingangsbereich (Betonsockel/verputzter Sockel)
- Übergang zwischen verputztem und Natursteinsockel (Abb. 3.48)
- Natursteinsockel bei dem Gebäudeteil aus dem Jahr 1885
- Verputzter Sockel bei dem Gebäudeteil aus dem Jahr 1930

Damit kann der endgültige Wandaufbau des Sockelbereichs erfasst und die vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahmen bestätigt werden.

In Kapitel 3 (siehe Seite 35) wurden auch Schäden des Außenputzes oberhalb des Sockelbereichs erwähnt und durch die Einwirkung der kapillar aufsteigenden Feuchtigkeit erklärt (siehe Abb. 3.16., Abb.3.48 und Abb.3.49). Für die Bestätigung dieser Annahme ist es notwendig, Probebohrungen in, als auch oberhalb, der beschädigten Bereiche durchzuführen. Auf diese Weise werden andere Möglichkeiten der Schadensentstehung wie z.B. undichte Wasser- oder Heizleitungen ausgeschlossen.



Abb. 4. 1: Probenentnahme mit Bohrmaschine [30]



Abb. 4. 2: Entnahmestelle mit drei Messpunkten [30]

Mit Hilfe dieser Probebohrungen ist es möglich, die Belastungen der Bauteile durch Salz und Feuchtigkeit festzustellen bzw. den Beschädigungsgrad der Bauteile präziser zu beurteilen. Die Laboranalysen der Feuchtigkeits- und Salzbelastung sind getrennt durchzuführen, aber die Endergebnisse der betroffenen Bauteile sollten mit der Bestandsanalyse übereinstimmen.

4.2 Feuchtigkeit

Die endgültige Analyse der Größe der Feuchtigkeitsschäden hängt von den Feuchtemessungen in dem Gebäude ab. Aufgrund dieser Daten ist es möglich, Antworten über den Zustand und die Herkunft der Feuchtigkeit in den Bauteilen, über die Art des Feuchtigkeitstransports und über die möglichen Sanierungsmaßnahmen zu bekommen. Es besteht eine Reihe von Verfahren zur Feuchtemessung, die sich in ihrer Genauigkeit und ihren Wirkungsprinzipien unterscheiden. Für einige Methoden der Feuchtemessung sind keine Probenentnahmen erforderlich, sondern sie erfolgen zerstörungsfrei. Es bestehen folgenden Verfahren zur Feuchtemessung:

- Gravimetrische Feuchtigkeitsbestimmung (Darr-Methode)
- Kalzium-Carbid-Verfahren (CM-Methode)
- Thermometrisches Verfahren
- Hygrometrisches Verfahren
- Akustisches Verfahren
- Kernphysikalisches Verfahren
- Elektrisches Verfahren

Feuchtigkeitsgehalt [F]

Der Feuchtigkeitsgehalt wird aufgrund der ÖNORM B 3355[1] nach der Darr-Methode (gravimetrische Feuchtigkeitsbestimmung) ermittelt. Diese Methode ermittelt den Feuchtigkeitsgehalt der Probe durch Trocknen im Trockenschrank bei einer Temperatur von +105°C bis zur Massekonstanz. Materialien, in welchen bei dieser Temperatur chemische Reaktionen stattfinden, müssen allmählich auf eine Temperatur von 40±2°C getrocknet werden (Gipsmörtel).

Der Feuchtigkeitsgehalt kann nach folgender Formel berechnet werden[1]:

$$F = (M_f - M_{tr})/M_{tr} \times 100 \text{ [Masse \%]}$$

mit:

F Feuchtigkeitsgehalt, in Prozent bezogen auf die Masse

M_f Masse des feuchten Stoffes

M_{tr} Masse des darrgetrockneten Stoffes

Bei der Festlegung des Feuchtigkeitsgehaltes sollten mehrere Messungen in Abhängigkeit von der Art des Materials durchgeführt werden. Für anorganische Materialien sollten drei und für organische Materialien fünf Prüfungen gemacht werden.

Maximale Wasseraufnahme [W_{max}]

Zur Bestimmung der maximalen Wasseraufnahme wird Granulat in Dimensionen 4/16 mm verwendet. Die Probe wird für mindestens 48 Stunden vollständig in entionisiertes Wasser bei atmosphärischem Druck eingetaucht. Nachdem die Probe Massekonstanz

erreicht, wird das Wasser entfernt und der Test wird gewogen (M_s -Masse der Probe nach Wasserlagerung). Danach wird die Probe schrittweise bis Massenkonstanz getrocknet (M_{tr} - Masse der Probe nach der Trocknung). Maximale Wasseraufnahme wird unter Verwendung der folgenden Formel berechnet[1]:

$$W_{\max} = (M_s - M_{tr}) / M_{tr} \times 100$$

mit:

W_{\max} maximale Wasseraufnahme, in Prozent bezogen auf die Masse

M_{tr} Masse des darrockenen Stoffes

M_s Masse der Probe nach Wasserlagerung

Kapillare Wasseraufnahme [W_{kap}]

Zur Bestimmung der maximalen Wasseraufnahme werden Bohrkern (Durchmesser ≤ 100 mm) oder Handstücke verwendet. Die Proben sind nach Darr-Methode zur Massenkonstanz zu trocknen. Die Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme erfolgt durch Wasserkontaktierung bis zur Massenkonstanz (zumindestens 48 Stunden), wobei die Eintauchtiefe maximal ein Zwanzigstel der Probenhöhe betragen kann. Nach der Wasserlagerung sind die Proben bis zur Massenkonstanz zu trocknen. Kapillare Wasseraufnahme wird unter Verwendung der folgenden Formel berechnet[1]:

$$W_{\text{kap}} = (M_{\text{sk}} - M_{\text{tr}}) / M_{\text{tr}} \times 100$$

mit:

W_{kap} kapillare Wasseraufnahme, in Prozent bezogen auf die Masse

M_{sk} Masse der Probe nach kapillarer Wasseraufnahme , in g

M_{tr} Masse der Probe nach der Trocknung, in g

Durchfeuchtungsgrad [D]

Zur Beurteilung der Belegung des Materials mit Wasser ist es notwendig, den Durchfeuchtungsgrad zu berechnen. Der Durchfeuchtungsgrad gibt an, wie viel Prozent des zugänglichen Porenraumes mit Wasser gefüllt sind und wird unter Verwendung der folgenden Formel berechnet[1]:

$$D = F / W_{\max} \times 100 (\%)$$

mit:

D Durchfeuchtungsgrad, in Prozent

F Feuchtigkeitsgehalt

W_{\max} Maximale Wasseraufnahme

Informationen über den Durchfeuchtungsgrad dienen dazu, den Bedarf an Sanierungsmaßnahmen und die Wahl der geeigneten Sanierungsmethode zu bewerten (Tabelle 4-3.). Die Anwendungen der einzelnen Sanierungsmaßnahmen sind ohne Bestimmung des Durchfeuchtungsgrades nicht möglich (z.B. Injektionsverfahren).

ÖNORM	gering	mittel	hoch
B 3355-1	unter 20%	20% bis 60%	über 60%
B 3355-2	keine Maßnahmen erforderlich	Maßnahmen im Einzelfall zu entscheiden	Maßnahmen im Einzelfall zu entscheiden
B 3355-2	Maßnahmen im Einzelfall zu entscheiden	Maßnahmen im Einzelfall zu entscheiden	Maßnahmen im Einzelfall zu entscheiden

Tab. 4-2: Wertung der Durchfeuchtungsgrade[1]

Aufgrund von mehreren Tests innerhalb eines Profils, die auf der Grundlage von Probenentnahmen in verschiedenen Höhen und Tiefen des Mauerwerks vorgenommen werden, kann die Feuchteverteilung innerhalb des Bauteils dargestellt werden. Die Feuchteverteilung dient der Entwicklung von Feuchtigkeitsprofilen mit denen die Schadensursache erklärt wird.

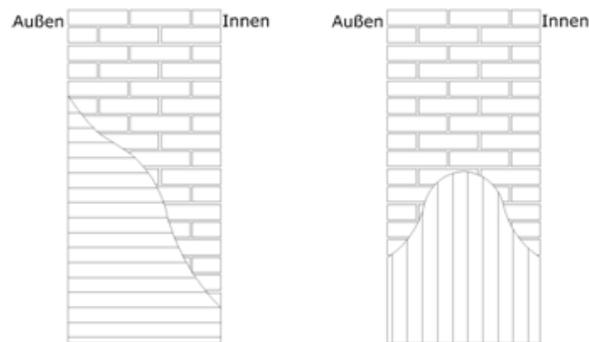


Abb. 4. 3: Feuchtigkeitsprofilen:
Wasserbeanspruchung durch Regenwasser/seitlich eindringenden Feuchtigkeit
bzw. durch aufsteigende Feuchtigkeit

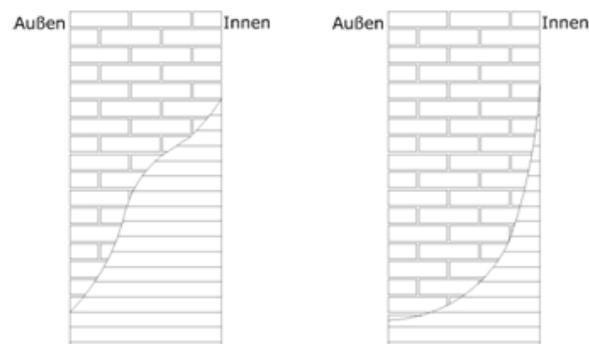


Abb. 4. 4: Feuchtigkeitsprofilen:
Wasserbeanspruchung durch Hygroskopische Feuchtigkeit bzw. durch Kondensation

Beispielsweise zeigt ein Feuchtigkeitsprofil der kapillar aufsteigenden Feuchtigkeit die aufsteigende Durchfeuchtung innerhalb eines Bauteils (siehe Abb. 4.3). Diese Ergebnisse sind nach der Bestandsanalyse für die Bohrprobe aus den Außenwänden oberhalb der

Geländeoberkante und möglicherweise aus den Innenwänden zu erwarten. Ein Feuchtigkeitsprofil der seitlich eingedrungenen Feuchtigkeit bzw. der Wirkung des Spritzwassers zeigt eine erhöhte Konzentration von Feuchtigkeit an der Außenseite der Außenwände und diese Ergebnisse sind in Bereichen der Kelleraußenwände gegen das Erdreich und in den Sockelbereichen zu erwarten (siehe Abb.4.3). Wenn das nicht der Fall ist, sollten andere Möglichkeiten der Entstehung der Feuchtigkeitsschäden im Kellerbereich berücksichtigt werden, wie z.B. Kondensation der warmen und feuchten Luft an den kalten Kelleroberflächen in der Sommerzeit, die Beanspruchung durch die hygroskopische Feuchtigkeit oder Einwirkung der Feuchtigkeit aus undichten Wasserleitungen (Sanitär, Heizung).

Die Endergebnisse der Feuchtigkeitsbelastung werden anschließend mit der Analyse der bauschädlichen Salze verglichen und bei der Auswahl der geeigneten Methoden der Sanierung berücksichtigt.

4.1 Bauschädliche Salze

Mit der Salzanalyse wird die Konzentration von den bauschädlichen Salzen im Mauerwerk bestimmt. Jedoch wirkt sich nicht nur die Salzkonzentration, sondern auch die Salzart und die Feuchtigkeitskonzentration schädlich auf die Baumaterialien aus. Mittels Laborversuchen wird die Anwesenheit von Sulfaten, Chloriden und Nitraten festgestellt. Weil die Salze nicht regelmäßig im Mauerwerk verteilt sind, muss die Probenentnahme in verschiedenen Wandtiefen erfolgen. In der Regel liegende maßgebliche Werte für die Probentiefe bei 3 cm (Bereich der Verdunstungszone an der Mauerwerksoberfläche).

Es bestehen zwei Methoden zur Bestimmung der Anwesenheit von bauschädlichen Salzen im Bauwerk:

- Quantitative Salzanalyse
- Qualitative Salzanalyse

Mit einer qualitativen Salzanalyse ist es möglich, die Anwesenheit von Salzen ohne Probenahme und Zerstörung der Bausubstanzen zu bestimmen. Diese Analyse ist einfach für die Durchführung in kurzer Zeit und erfordert keine großen technischen Ressourcen. Die Tests können mit Teststäbchen vor Ort ausgeführt werden. Auf Basis dieser Methode ist es nicht möglich, relevante Informationen über die Art und Konzentration des Salzes zu erhalten. Zu diesem Zweck wird eine quantitative Salzanalyse durchgeführt. Mit Hilfe dieser Methode werden die Proben auf ihre Chlorid-, Nitrat- und Sulfatkonzentration getestet.

Vor Beginn der Prüfung ist es notwendig, die Probe zu zerkleinern und zu trocknen (bis zur Massenkonstanz). Das Pulver wird dann mit entmineralisiertem/ entionisiertem Wasser im Masseverhältnis 1:10 gemischt. Es ist wichtig, dass die Mischung bei Raumtemperatur erfolgt. Diese Mischung wird 24 Stunden belassen und 3 mal mit einem zeitlichen Abstand von mindestens 2 Stunden aufgeschüttelt[1]. Mit einem Photometer wird die Trübung der Mischung gemessen.

Das Ergebnis dieser Prüfung ist in Prozentsatz der Masse der Anionen bezogen auf die trockene Baustoffprobe ausgedrückt. Aufgrund den erhaltenen Ergebnisse ist es möglich, die erforderlichen Maßnahmen zu bestimmen (siehe Tab.4-2).

	gering	mittel	hoch
Chloride	unter 0,03	0,03 bis 0,10	über 0,10
//Nitrate	unter 0,05	0,05 bis 0,15	über 0,15
Sulfate	unter 0,10	0,10 bis 0,25	über 0,25
ÖNORM B 3355-3	keine Maßnahmen erforderlich	Maßnahmen im Einzelfall zu entscheiden	Maßnahmen erforderlich

Tab. 4- 3: Wertung der Anionenkonzentration in Prozent der Masse nach[1]

Daten aus der quantitativen Salzanalyse können dazu dienen, die Annahmen der Schäden aus der Bestandsaufnahme zu bestätigen.

Die Annahme, dass die Salzausblühungen durch kapillar aufsteigende Feuchtigkeit (siehe Seite 32) bzw. durch seitlich eingedrungenes Wasser (siehe Seite 23) verursacht wurden, kann durch die Messung der Konzentration des Salzes in der Verdunstungszone bestätigt werden. Zur Bestätigung der Annahme ist es erforderlich, dass sich die Salzkonzentration von der Wandaußenseite hin zur in der Verdunstungszone liegenden Wandinnenseite erhöht. In der Bestandsaufnahme wurden Salzausblühungen im Gang, im Musikraum und in den Lagerräumen bemerkt. In den Lager- und Arbeitsräumen sind ganze Wandoberflächen der Kelleraußenwände mit Salzausblühungen und den damit verbundenen Putzabplatzungen bedeckt (siehe Abb. 3.21, 3.22 und 3.43). Die Verdunstungszone in diesen Bereichen ist mit der Wirkung des seitlich eindringenden Wassers bzw. dem kapillar aufsteigenden Wasser in den Bereichen oberhalb der Geländeoberkante verbunden.

Diese Ergebnisse sollten mit der Feuchtigkeitsbeanspruchung des Bauteils übereinstimmen bzw. mit dem entsprechenden Feuchtigkeitsprofil für die kapillaraufsteigende Feuchtigkeit und das seitlich eindringende Wasser (siehe Abb.4.3). Die Untersuchung des Bauteils auf Vorhandensein von Feuchtigkeit und bauschädlichen Salzen ist besonders wichtig für den Fall, dass die Schäden optisch nicht erkennbar sind, was im Schulgebäude für den Bereich, der mit Vorsatzschale und Fliesen bedeckt ist, gilt (Musikraum, Gang).

Man sollte auch andere mögliche Ursachen des Schadens in Betracht ziehen, wie z.B. die Einwirkung des Streusalzes, das für den Winterdienst verwendet wurde (Eingangsbereich), oder die Möglichkeit, dass der Baugrund stark mit bauschädlichen Salzen belastet ist. In beiden Fällen wurden bauschädliche Salze mit seitlich eindringendem Wasser in das Bauteil transportiert. Dieses Modell der Entstehung der Salzausblühungen sollte mit den Ergebnissen der Feuchtigkeitsuntersuchung übereinstimmen bzw. sollte das Feuchtigkeitsprofil auf der äußeren Seite des Bauteils eine stärkere Feuchtigkeitsbelastung aufweisen.

5 Sanierungsmöglichkeiten der Feuchtigkeitsschäden

Das Konzept der Sanierung basiert auf der Bestandsaufnahme und den Testergebnissen der Probenuntersuchungen, die die Annahmen aus der Bestandsaufnahme bestätigen sollten. Die grundlegende Annahme ist, dass die Schäden durch eine fehlende Kellerabdichtung entstanden sind. Eindringen von Wasser und Einfluss von kapillar aufsteigender Feuchtigkeit führten zur Entstehung von großen Konzentrationen von Salz und Feuchtigkeit in den Wänden, Putzabplatzungen und Salzausblühungen in der Verdunstungszone. Die Genauigkeit dieser Schätzungen sollte durch Laboruntersuchungen bestätigt werden (Kapitel 4). So ist es z.B. aufgrund des Durchfeuchtungsgrades möglich, zu bestimmen, ob und welche Sanierungsmethoden erforderlich sind.

Der Sanierungsplan basierend auf der Bestandsaufnahme besteht aus:

- Horizontalabdichtung
- Vertikalabdichtung
- Flächenabdichtung von Fußboden
- Drainage
- Sockelsanierung
- Mauerwerksentfeuchtung
- Salzreduktion
- Sanierputz

5.1 Horizontalabdichtung

Die Aufgabe einer nachträglichen Horizontalabdichtung des Mauerwerks ist es, das Eindringen von Feuchtigkeit in erdberührte Bauteile und den Transport von kapillarer Feuchtigkeit durch die vertikalen Teile zu verhindern. Bei der Altbausanierung wird die Horizontalabdichtung in zwei Ebenen durchgeführt (Abb. 5.1):

- Die untere Horizontalabdichtung im Bereich des Kellerfußbodens
Mit der Durchführung der horizontalen Sperrschicht im Fußbodenbereich wird das Eindringen von Feuchtigkeit im Mauerwerk durch kapillar aufsteigende Feuchtigkeit verhindert.
- Die obere Horizontalabdichtung oberhalb des Spritzwasserbereiches (unter der Kellerdecke)
Die horizontale Sperrschicht oberhalb des Spritzwasserbereiches dient als zusätzlicher Schutz der Deckenkonstruktion und des aufgehenden Mauerwerks gegen kapillare Feuchtigkeit im Fall einer Beschädigung der Vertikalabdichtung oder der horizontalen Sperrschicht im Fußbodenbereich. Die empfohlene Höhe für ihre Herstellung liegt oberhalb des Spritzwasserbereiches bzw. 30cm von der Oberkante des Geländes, bzw. 5 cm unterhalb der Deckenkonstruktion.

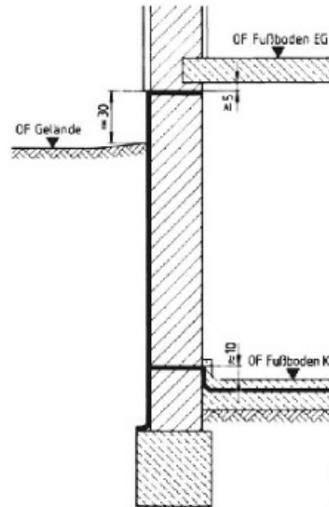


Abb. 5. 1: Horizontalabdichtung in unterkellerten Gebäuden [14]

Für die Herstellung der Horizontalabdichtung im Fußbodenbereich für die Außenwände unterhalb der Geländeoberkante ist die Herstellung einer Baugrube entlang der erdberührten vertikalen Bauteilflächen erforderlich, um den notwendigen Arbeitsraum für Geräte und Materialien zu sichern. Die Herstellung der Baugrube kann von Hand oder maschinell erfolgen. Die Baugrubentiefe sollte bis zur Kellerfußbodenplatte reichen. Es ist besonders darauf zu achten, dass die Fundamente nicht untergraben werden. Während der Herstellung der nachträglichen Horizontalabdichtung sollten alle Rohre und Leitungen in Abdichtungsebene berücksichtigt werden.

Methoden zur Durchführung von Horizontalabdichtungen sind:

- Mechanisches Verfahren
- Injektionsverfahren
- Elektrophysikalisches Verfahren

Bei der Installation der Horizontalabdichtung stellt sich die Frage, welche Methode richtig und an welcher Stelle eine Installation angemessenen ist. Diese Verfahren unterscheiden sich durch ihre Techniken, Kosten und Leistungen.

Die Statistiken, die auf Basis bereits durchgeführter Sanierungen berechnet wurden, zeigen eine viel größere Erfolgsquote für Sanierung mit Hilfe des mechanischen Verfahrens [19]. In diese Statistik fanden Informationen aus 40 Gebäuden mit nachträglicher Horizontalabdichtung Eingang. Die Abbildung 5.2 zeigt die Erfolgsraten der verschiedenen Verfahren für die drei Fälle:

- Durchfeuchtungsgrad $D < 20\%$
- Wirksamkeit [Kapitel] durchgeführter Trockenlegungsmaßnahmen, $W < 70\%$
 $D < 20\%$, $W > 70\%$

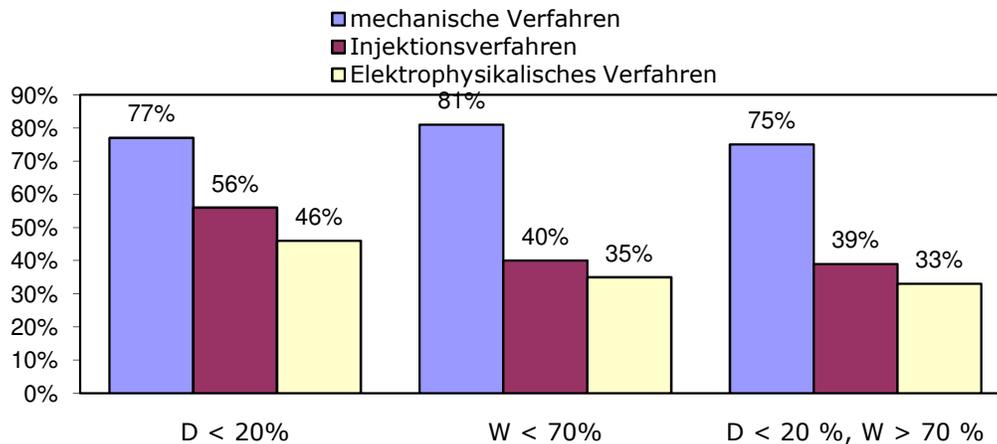


Abb. 5. 2: Erfolgsquote für die Sanierung[19]

5.1.1 Mechanisches Verfahren

Bei dem mechanischen Verfahren handelt es sich um eine Methode, die aufsteigender Feuchtigkeit, bei der eine horizontale Sperrschichtebene nachträglich eingebaut wird, entgegenwirkt. Mittels dieser Methode erfolgt eine mechanische Trennung des Mauerwerks innerhalb der Lagerfuge (horizontale Fuge zwischen Mauersteine) bzw. wird eine komplett durchgehende Sperrschicht auf der gesamten Fläche des Mauerwerksquerschnitts durchgeführt. Auf diese Weise wird die Möglichkeit des kapillaren Feuchtigkeitstransports vollständig beseitigt.

Andererseits ist die Stabilität des Gebäudes gefährdet. Die Ursache hierfür liegt in der Trennung der vertikalen Lastabtragung während der Bauphase. Aus diesem Grund sollten für verschiedene Methoden statistische Berechnungen durchgeführt werden.

Die praktische Anwendbarkeit des mechanischen Verfahrens hängt von den Dimensionen der Wand, ihren Strukturen und dem erforderlichen Arbeitsraum ab. Die maximale Breite der Wand an der St. Peter Volksschule ist 70 cm, was im Anwendungsbereich für alle mechanischen Verfahren ist.

Die erste Sperrschicht für die Horizontalabdichtung in allen Außenwänden ist im Bereich des Kellerfußbodens geplant. Es ist daher notwendig, Arbeitsraum auf der Außenseite in einer Baugrube zu planen. Der Arbeitsraum zusammen mit dem notwendigen Zubehörfarf nicht kleiner sein als die maximale Wandbreite (70 cm). Es bestehen die folgenden Möglichkeiten:

- Schneide- und Sägeverfahren
- Chromstahlblechverfahren
- Kernbohrverfahren
- Maueraustauschverfahren

Schneide- und Sägeverfahren

Bei dieser Methode wird die Wand allmählich geschnitten, mit dem Ziel, Raum für die Sperrschicht zu schaffen. Bei größeren Schnitttiefen ist es erforderlich, die Trennung auf beiden Seiten zu führen. Während der Trennung ist auf die Stabilität zu achten. Die

Trennung erfolgt in einer Höhe von 5 bis 13mm [25] im Trocken- oder Nassschnittverfahren für Schnitttiefen bis 70 cm mit folgenden Werkzeugen:

- Seilzugsägen (bei größeren Wanddicken)
- Mauerfräsen
- Trennscheiben
- Stichsägen
- Kreissägen (max. Schnitttiefen bis 50 cm)
- Schwertsägen (bei durchgehender Lagerfuge)

Bei Mauerwerk ohne durchgehende Lagerfuge (z.B. Bruchsteinmauerwerk) ist es erforderlich, Werkzeuge mit Wasser zu kühlen (Nassschnittverfahren). Dabei kommt es zur zusätzlichen Durchfeuchtung des Mauerwerks.

Nach der Mauerwerkstrennung werden die Sperrbahnen mit ausreichender Überlappung in die vorbereiteten Einbettungen des Glatstrichs eingesetzt. Zu diesem Zweck bestehen folgende Möglichkeiten:

- Korrosionsbeständige Platten
- Kunststofffolien
- Bitumenkaschierte Alu- oder Bleifolien



Abb. 5. 3: Trennung des Mauerwerks mit Mauerfräse[32]

Für die Stabilität des Mauerwerks ist es notwendig, eine Lastabtragung mit Verwendung von angetriebenen Kunststoffkeilen in Abständen von 15 bis 25 cm zu sichern[25]. Nach der Einsetzung der Sperrschicht wird der Rest des Mauerwerksschlitzes mit Quellmörtel, schwindarmem Zementmörtel oder schwindfreiem Sperr- bzw. Dichtmörtel kraftschlüssig verfüllt. Während der Durchführung dieses Verfahrens bei dem Bruchsteinmauerwerk sind nachträgliche Setzungen problematisch. Durch die Setzungen sind mechanische Beschädigungen der Sperrschicht möglich.

Chromstahlblechverfahren

Das Chromstahlblechverfahren wurde von Haböck und Weinzierl entwickelt und als HW-Verfahren bezeichnet (Fa. Haböck und Weinzierl, Herzogenburg). Bei diesem Verfahren werden gewellte, korrosionsbeständige Edelstahlplatten überlappend in die Lagerfugen des Mauerwerks eingeschlagen. In Betracht kommen folgende nichtrostenden und korrosionsbeständigen Stähle nach [12]:

- Chromstahl
- Chrom-Nickel-Stahl
- Chrom-Nickel-Molybdän-Stahl

Der Einsatz von Chrom-Nickel-Stahl ist bei stark Chlorid-belasteten Mauerwerken erforderlich. Das Verfahren wird mittels Presslufthammer mit 1200 do 1500 Schlägen pro Minute durchgeführt[19]. Es werden Edelstahlplatten mit folgenden Abmessungen verwendet:

- Plattendicke von 1,5 mm
- Plattenbreite von 30 bis 40 cm
- Maximale Länge von 1,0 m
- Gesamtwellenlänge 35- 45 mm
- Gesamtwellenhöhe von über 5 mm



Abb. 5. 4: Chromstahlblechverfahren [33]

Das Verfahren ist nur bei einem Mauerwerk mit durchgehenden Lagerfugen und einer Fugenbreite von 1 bis 1,5 cm möglich. Es ist auf Arbeitsraumbreite zu achten (Mauerwerksbreite, + Arbeitsraum für den Presslufthammer[19]) und eine notwendige Überdeckung für die Edelstahlplatte auf einer Länge von mindestens 2 Wellen oder 5 cm[19]. In den Bereichen, wo die Ausführung der Überdeckung nicht möglich ist (z.B. Eckbereichen), wird die Herstellung der Sperrschicht mittels Injektionsverfahren empfohlen.

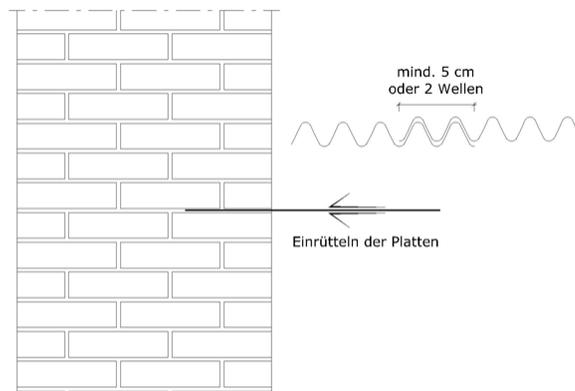


Abb. 5. 5.: Chromstahlblechverfahren

Die Vorteile des Verfahrens sind keine Unterbrechung der Lastabtragung während der Arbeiten sowie günstige Kosten für die Durchführung. Es sind auch keine Setzungen des Mauerwerks möglich, weil bei Einschlagen der Platten der Mörtel verdichtet wird.

Edelstahlplatten sind mechanisch und chemisch gegen schwach konzentrierte Lösungen (Sulfate, Chloride, Karbonate, Nitrate) beständig. Während des Verfahrens ist auf die Temperatur in Schnittbereich zu achten, die die nicht Korrosionsbeständigkeit der Edelstahlplatten beeinflussen kann. In Abhängigkeit vom Chloridgehalt im Mauerwerk wird die Anwendung von salzresistenten Chrom-Nickel-Molybdän-Stählen empfohlen (Bauwerksabdichtung in der Altbausanierung).



Abb. 5. 6: Überlappungsbereich [33]



Abb. 5. 7: Einbau mittels Presslufthammer [33]

Kernbohrverfahren

Bei diesem Verfahren wird mittels überlappender Kernbohrungen mit Sperrmörtel eine durchgehende Sperrschicht im Mauerwerk durchgeführt. Die Bohrlöcher werden in einigen Zentimetern Abstand über das gesamte Mauerwerk durch

Bohrmaschinen mit Diamantkronen ausgebohrt. Der Abstand zwischen den Bohrlöchern beträgt 100 mm und dient der Lastabtragung der Vertikalkräfte im Mauerwerk. Der Bohrlochdurchmesser ist 110 mm[25]. Nach dem Bohren werden die Bohrlöcher mit siliconharzvergütetem, schwindfreiem und mineralischem Dichtmörtel gefüllt. Nach dem Aushärten des Dichtmörtels werden Bohrlöcher in das zwischenliegende Mauerwerk gebohrt und mit Dichtmörtel verfüllt. Für das Kernbohrverfahren sind durchgehende Lagerfugen im Mauerwerk nicht erforderlich.

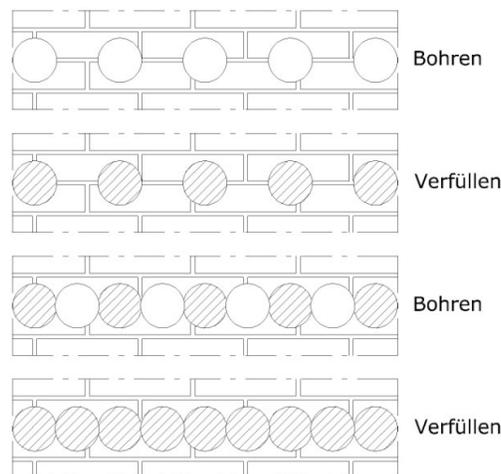


Abb. 5. 8: : Kernbohrverfahren - Bohrlöcher

Maueraustauschverfahren

Mit dieser Methode für die Herstellung einer Horizontalabdichtung wird das Mauerwerk allmählich in ihrer ganzen Tiefe entfernt. Es ist darauf zu achten, dass Mauerwerksabschnitte mit einer maximalen Länge von einem Meter entnommen werden. In den entfernten Teilen des Mauerwerks ist es notwendig, vor der Verlegung der Abdichtungsschicht, eine Ausgleichschicht mit Mörtelglattstrich als mechanischen Schutz der Abdichtung zu erstellen. Danach folgt die Errichtung der Sperrschicht (Bitumenbahn, Kunststoffplatte) mit Überdeckung von 20 cm und die Neuherstellung des Mauerwerks[25]. Während der Durchführung ist auf die Stabilität und Distanz zwischen den Arbeitsabschnitten zu achten. Das Verfahren sollte erschütterungsfrei durchgeführt werden. Auf diese Weise werden mögliche Setzungen vermieden. Das Verfahren erfolgt anschließend mit der Hand und unter begrenzter Verwendung des Presslufthammers.

Aufgrund der hohen Kosten und der anspruchsvollen Leistung, ist dieses Verfahren nur für bestimmte Teile des Gebäudes empfehlenswert.

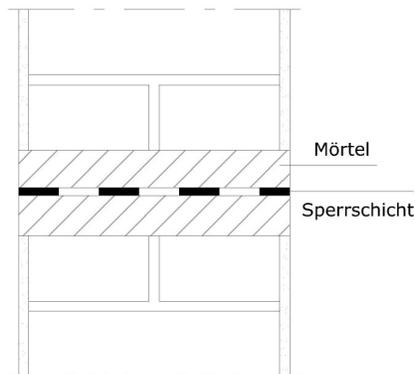


Abb. 5. 9: Maueraustausch

5.1.2 Injektionsverfahren

Das Injektionsverfahren ist eine Methode gegen aufsteigende Feuchtigkeit, bei der Injektionsmittel, in die Porenräume des Mauerwerks mit oder ohne Druck eingebracht und kapillar verteilt werden. Auf diese Weise wird eine Sperrschicht erstellt, die kapillar aufsteigende Feuchtigkeit behindert. Im Gegensatz zum mechanischen Verfahren, erzeugt das Injektionsverfahren keine exakte Sperrschicht, die eindeutig durch ihre Abmessungen definiert ist, sondern einen Bereich, in dem die Injektionsmittel unvollständig verteilt sind. Aus diesen Gründen entsteht keine Sperrschicht, die vollständig kapillar aufsteigende Feuchtigkeit verhindert, sondern ein Bereich, der mit bestimmtem Erfolg Feuchtigkeitstransport verzögert. Im Vergleich zum mechanischen Verfahren bringt diese Methode niedrigere Baukosten mit sich, zeigt aber auch eine geringere Erfolgsrate gegen aufsteigende Feuchtigkeit.

Die Anwendung dieser Methode hängt von vielen Faktoren ab und ihre Wirkung ist noch nicht vollständig erklärt. In vielen Fällen erfolgt das Injektionsverfahren willkürlich, ohne klar definierte Bedingungen, die im Mauerwerk herrschen oder mit der falschen Wahl von Injektionsmitteln. Außerdem werden die Ergebnisse der durchgeführten Arbeiten und deren Dauer in vielen Fällen nicht klar definiert. Dies ist der Grund für zahlreiche

Diskussionen über die Durchführbarkeit dieser Methode. Als Injektionsmitteln werden folgende Stoffe verwendet [9]:

- Paraffin
- Polyacrylatgel
- Siliconat
- Alkalisilikat/ Alkalimethylsilikonat
- Siliconmicroemulsion
- Siloxan
- Polyrethanharz
- Epoxidharz

Die eingesetzten Mittel für die Durchführung des Injektionsverfahrens unterscheiden sich in der Art, wie sie verwendet werden und in welcher Weise sie funktionieren:

- Injektionsmitteln, die Kapillare innerhalb des Mauerwerks verengen oder ganz schließen
- Injektionsmitteln, die an den Wänden der Kapillaren abgelagert werden und hydrophobierend (wasserabweisend) wirken
- Injektionsmitteln, die kombinierend wirken.

Die Einschränkungen, die in dieser Methode existieren, beziehen sich auf die Bedingungen im Mauerwerk. Mit erhöhten Konzentrationen von Feuchtigkeit, ist die Verteilung des Injektionsmittels im Mauerwerk schwierig. Deshalb ist es unumgänglich, vor den notwendigen Arbeiten eine Bestandsaufnahme durchzuführen und den Durchfeuchtungsgrad zu bestimmen. Der maximale Durchfeuchtungsgrad variiert mit Empfehlungen an unter 50% [2]. In der Fachliteratur zeigt sich sogar eine Toleranz für die Anwendung dieser Methode bis zu einem Durchfeuchtungsgrad von 70%. Für den Fall, dass die Bestandsaufnahme einen höheren Durchfeuchtungsgrad ergibt, ist es notwendig, die Konzentration von Feuchtigkeit mit Hilfe von Entfeuchtung zu reduzieren.

Einschränkungen gelten auch für die Art des Mauerwerks. Bei mehrschaligem Mauerwerk und Hohlräumen im Mauerwerk, besteht die Möglichkeit des unkontrollierten Abflusses des Injektionsmittels. Dies wird im Zuge der Vorbereitungsarbeiten verhindert, wobei im Mauerwerk Zementsuspension gespritzt wird oder das Mauerwerk mit Dichtungsschlämmen verdämmt wird.

Vor Beginn der Arbeiten, muss ein Test auf einem kleinen Abschnitt der Mauer gemacht werden. Dies zielt auf die Bestätigung der Annahmen, aufgrund deren das Material und Verfahren gewählt werden. Wenn die Tests höhere und unkontrollierte Ausgaben des Injektionsmittels auf dem getesteten Teil zeigen, ist es notwendig, eine neue Analyse durchführen und festzustellen, aus welchem Grund dies passiert/geschieht. Es bestehen die folgenden Methoden zur Durchführung des Injektionsverfahrens:

- Druckloses Verfahren
- Verfahren unter Druck

Druckloses Verfahren

Das sogenannte drucklose Verfahren ist bei wenig anspruchsvollen Sanierungen mit kleinerem Durchfeuchtungsgrad anwendbar. Bei diesem Verfahren verteilt sich Injektionsmittels in einer Wand mit Bohrlöcherndrucklos durch Gießen mit einer

Gießkanne. Eine andere Möglichkeit sind Vorratsgefäße, die eine bessere Kontrolle der Injektionsmittelverteilung und längere Dauer des Prozesses erlauben.

Der Erfolg des Verfahrens ist abhängig vom Abstand zwischen den Bohrlöchern. Je kleiner dieser ist, desto größer ist die Möglichkeit für den Erfolg des Verfahrens. Der maximale Bohrlochabstand darf nicht größer als 12,5 cm sein[9]. Die Bohrlöcher haben einen Durchmesser von 20 mm [9]. Der Bohrlochwinkel ist von dem Verfahren abhängig und die Bohrlochtiefe sollte bis zu 5 cm von der zweiten Wandoberfläche geführt werden. Für Mauerwerke mit einer Wandstärke ab 60 cm wird dieses Verfahren von beiden Seiten empfohlen. Bei der St. Peter Volksschule haben bestimmte Kellerwände Wandstärken von 70 cm. In diesem Fall sollten von beiden Seiten Bohrungen erfolgen und die Bohrlochtiefe 2/3 der Wandstärke betragen[9].

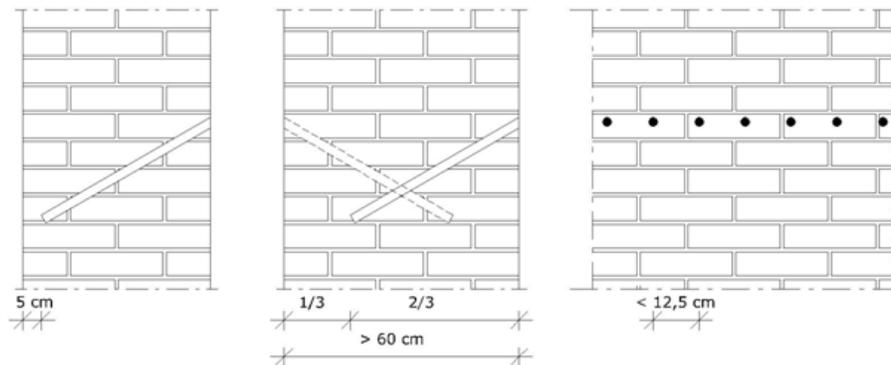


Abb. 5. 10: : Druckloses Verfahren - Bohrlochraster

Angemessene Injektionsmittel für diese Methode sind wasserlösliche, niedrigviskose Injektionsstoffe [9].

Verfahren unter Druck

Bei dem Verfahren unter Druck wird Injektionsmittel innerhalb des Mauerwerks unter Einpressdruck verteilt. Dies erlaubt die Verwendung von größeren Mengen der Injektionsmittel und deren bessere Verteilung auch bei einem höheren Durchfeuchtungsgrad, wo Feuchtigkeit vollständige Füllung der Mauerwerksporen verhindert. Obwohl einige Hersteller die Möglichkeit erwägen, dass die Anwendung dieser Methode für einen Durchfeuchtungsgrad von bis zu 90 % möglich ist, wird in der Fachliteratur ein größtmöglicher Durchfeuchtungsgrad von 70 % angegeben. Beim Verfahren unter Druck wird zwischen Nieder- und Hochdruckverfahren unterschieden. Das Injektionsverfahren in der Altbausanierung erfolgt mit einem Druck bis 10 bar (Niederdruckverfahren)[14]. Der notwendige Druck wird mit Injektionsgerät erzeugt.

Die Verbindung zwischen Injektionsgerät und Bauteil wird mit Packern (Bohrlochventile) als Hilfsmittel hergestellt. Die Packer besitzen ein Rückschlagventil, das Druckerhaltung im Mauerwerk ermöglicht und den Austritt des Injektionsmittels verhindert. Während des Verfahrens ist es notwendig, dass sich der Druck im Mauerwerk über einem Zeitraum von 10 min nicht abbaut. Bei unkontrolliertem Wegfließen des Injektionsmittels, ist es notwendig, die Vorinjektion mit einer Zementsuspension durchzuführen oder die Mauerwerksoberfläche mit Dichtungsschlämmen zu verstreichen. Im Niederdruckverfahren werden Einschlagpacker aus Kunststoff und Schraubpacker aus Metall verwendet.

Das Verfahren unter Druck erfolgt mit einem Bohrlochabstand von 10 cm bis 25 cm [9] und einem Bohrlochwinkel bis 20°. Es ist auch möglich, die Bohrlöcher waagrecht zu bohren. Die Bohrlöcher haben einen Durchmesser bis 25 mm.

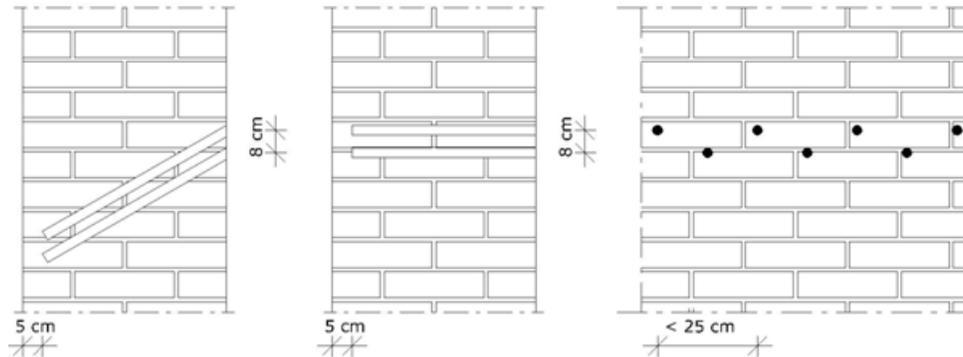


Abb. 5. 11: : Verfahren unter Druck - Bohrlochraster

Die Bohrlochanordnung ist vom Verfahren abhängig und kann linear bei drucklosem Verfahren oder zweireihig bei Verfahren unter Druck durchgeführt werden. Eine Auflistung der Injektionsmittel und ihre Anwendungsverfahren ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

Injektionsmittel	Wirkungsprinzip		Einbringverfahren	
	Abdichtend	Hydrophob	Mit Druck	Drucklos
Zementsuspension	x		x	
Feinstoffsuspension	x		x	
Bitumenlösung	x		x	
Kunstharzlösung	x		x	x
Siloxanlösung		x	x	x
Silikonharzlösung		x	x	x
Kieselsäureethylester		x	x	x
Bitumenschmelze	x		x	
Paraffinschmelze	x			x
Bitumenemulsion	x		x	
Silikon-Mikroemulsion		x	x	x
Alkalisilikat	x		x	x
Methylsilikonat		x	x	x
Höheralkyliertes Silikonat		x	x	x
Akalisilikonat/Alkalisilikat	x	x	x	x

Tab. 5- 1: Injektionsmitteln und ihre Anwendungsverfahren

5.1.3 Elektrophysikalisches Verfahren

Das elektrophysikalische Verfahren ist eine Methode gegen aufsteigende Feuchtigkeit, bei welcher Elektroden im Mauerwerk angebracht werden, um eine elektrische Gleichspannung im Mauerwerk zu erzeugen. Es wird zwischen aktiven und passivenelektrosmotischen Verfahren unterschieden, wobei das passive Verfahren für eine Bausanierung in der Fachliteratur als „unwirksam“ bezeichnet wird [22].

Beim aktivenelektrosmotischen Verfahren werden durch Anlegen einer elektrischen Spannung an ein korrosionsbeständiges Elektrodensystem im Mauerwerk elektrische Felder geschaffen, mit dem Ziel, das Wasser in eine gewählte Richtung zu bewegen. Die Bewegung ist von dem oberen zum unteren Mauerwerksbereich orientiert bzw. von der oberen positiven Elektrode (Anode) zur unteren negativen Elektrode (Kathode). Dabei ist die Abdichtungsebene in einer Höhe von 20 cm über der obersten Lage der Kathode vorgegeben [2].

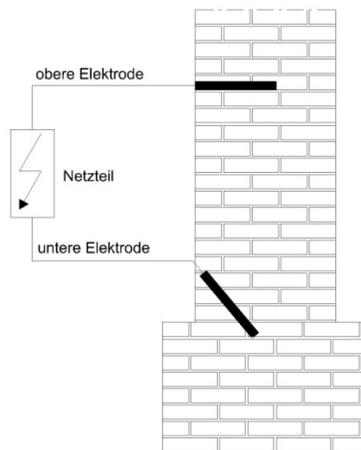


Abb. 5. 12: : Elektrophysikalisches Verfahren

Diese Methode erfordert einen kontinuierlichen Betrieb (Stromversorgung von 4 bis 8 mA/m, maximale Spannung von 15 V nach [2] und eine Wartung zweimal jährlich wegen Korrosion an den Elektroden in den Bereichen mit einer höheren Salzkonzentration. Die Elektroden sind stab-, netz- oder gitterförmig im Mauerwerk eingebaut und sie werden durch ein Steuergerät mit Spannung versorgt. Sie müssen korrosionsbeständig sein. Der Verbund zwischen Elektrode und Mauerwerk muss dicht ausgeführt werden.

Der Erfolg dieser Methode ist nur temporär und bei Beendigung des elektrophysikalischen Verfahrens, treten die Schäden wieder in dem gleichen oder in größerem Ausmaß auf.

Das elektrophysikalische Verfahren wird nicht für die Errichtung einer Horizontalabdichtung in der St. Peter Volksschule empfohlen. Mit dieser Methode wird zwar der Transport von kapillarer Feuchtigkeit verhindert (gebremst), aber das Eindringen von Feuchtigkeit in erdberührte Bauteile bleibt ungehindert. Aus diesem Grund wird die Erstellung einer Horizontalabdichtung mittels mechanischem oder Injektionsverfahren empfohlen.

5.2 Vertikalabdichtung

Eine nachträgliche Vertikalabdichtung dient der Verhinderung des seitlichen Eindringens von Feuchtigkeit aus dem anstehenden Boden. Dabei hat die Vertikalabdichtung eine Schutzfunktion und verhindert das Eindringen von Feuchtigkeit, Wasserdampf und bauschädlichen Stoffen aus dem Erdreich. Die Vertikalabdichtung kann als außen oder innen liegende Abdichtungen durchgeführt werden. Der Unterschied zwischen diesen beiden Methoden liegt in dem Umfang der erforderlichen Bauleistungen.

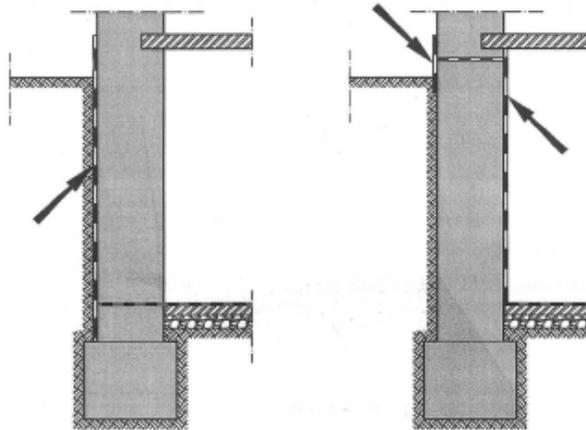


Abb. 5. 13: : Außen und innen liegende Abdichtung nach [3]

5.2.1 Innen liegende Abdichtung

Die innen liegende Abdichtung wird mittels Dichtschlämm oder Sperrputze⁵ durchgeführt. Schäden an den Innenwänden werden auf diese Weise nur verdeckt. Dies verhindert das Eindringen der Bodenfeuchtigkeit in Bauteile nicht und verbessert auch die Austrocknung des Mauerwerks nicht. Es ist zu beachten, dass Abdichtungsanschlüsse zwischen nachträglicher Horizontalabdichtung und innen liegender Abdichtung im oberen Bereich der Außenwände richtig durchgeführt werden.

Die Verwendung von innen liegender Abdichtung ist bei hoher Salzkonzentrationen nicht empfehlenswert. Die Salze wirken schädlich auf den Haftverbund zwischen Abdichtung und Untergrund und verursachen damit eine Ablösung der Abdichtung. Schäden, die in der Bauwerksanalyse beobachtet wurden, zeigen eine starke Präsenz von Feuchtigkeit und Salzen in der Außenwand. Ihre Einwirkung kann leicht zu neuen Schäden führen. In diesem Fall sollte die Herstellung einer bitumenösen Abdichtung auf einem Glattstrich mit einer zusätzlichen Wandrücklage als Abdichtungsschutz verwendet werden [3].

Mineralische Dichtschlämme, die aus Feinsand und Kunststoffen bestehen, können nur auf mineralischem Untergrund verwendet werden. Je nach Konzentration der Kunststoffe unterscheidet man zwischen starren und flexiblen Dichtungsschlämmen. Starre Dichtungsschlämme werden aus Zement, Zuschlägen und Zusatzmitteln hergestellt. Flexible Dichtungsschlämme werden aus Zement, Zuschlägen und einem relativ hohen Kunststoffanteil hergestellt. Bei der Innenabdichtung von nicht hochwertig genutzten Kellerräumen wird die Verwendung von starren Dichtungsschlämmen empfohlen [17].

⁵ wasserundurchlässige zementgebundene Putze

Der Untergrund soll eben, fest, frei von Staub und loser Bestandteile sein. Für die Verbesserung des Haftverbundes zwischen Untergrund und Dichtungsschlamm wird die Verwendung von Voranstrich empfohlen. Es ist auch notwendig alle Fugen über 2 mm zu verschließen und alle scharfkantigen Ecken mit Hohlkehlen bzw. mit Fasen auszurunden. Vor dem Aufbringen der Dichtschlämme ist der Untergrund gut vorzunässen. Es wird empfohlen, dass die Temperatur 5°C nicht unterschreitet und dass die Dichtungsschlämme während der Bauzeit vor einer schnellen Austrocknung geschützt werden. Für den Lastfall nicht drückendes Wasser werden starre Dichtungsschlämme in mindestens 2 Arbeitsgängen mit einer Mindesttrockenschichtdicke von 2 mm aufgetragen [11]. Dichtungsschlämme können im Streich-, Spritz- oder Spachtelverfahren auf den Dichtungsträger aufgetragen werden.

5.2.2 Außen liegende Abdichtung

Bei der Durchführung der Vertikalabdichtung ist eine Abdichtung von außen anzustreben. Auf diese Weise wird die Mauer komplett vor schädlichen Auswirkungen geschützt. Es ist geplant die Einrichtung der äußeren Abdichtung auf der gesamten Oberfläche der erdberührten Bauteile vorzunehmen. Augenmerk sollte auf die Höhe der Vertikalabdichtung über der Geländeoberkante gelegt werden. Normalerweise sollte diese Höhe mindestens 30 cm betragen, als Schutzmaßnahme gegen Spritzwasser. In diesem Fall ist die Höhe oberhalb der horizontalen Abdichtung im Sockelbereich. Am unteren Teil der Wand ist die Vertikalabdichtung unterhalb der unteren Horizontalsperre geplant. Beim Einrichten sollte auf die Qualität der Verbindung zwischen den Vertikal- und Horizontalabdichtung geachtet werden. Diese Abdichtungsanschlüsse werden nachfolgend erläutert (Kapitel 5.4). Die Errichtung von außen liegenden Abdichtungen besteht aus den folgenden Prozessen:

- Bodenaushub und Freistellung der Wände, die für eine Vertikalabdichtung vorgeschrieben sind,
- Vorbereitung von Dichtungsuntergrund
- Montage der Abdichtung und deren Schutz gegen mechanische Beschädigung.

Der Aushub der Baugrube sollte in voller Höhe der Kellerwände durchgeführt werden. Bei der Vorbereitung des Untergrundes für die Vertikalabdichtung, ist zu beachten, dass er:

- Frei von Altputz und alten Anstrichen einschließlich des Sockeles,
- Ausreichend eben, frostfrei, trocken, fest und tragfähig,
- Ohne große Fugen, Ausbrüche und Risse (diese müssen ausgefüllt werden),
- Mit ausgerundeter Kehle,
- Frei von vorstehenden Teilen ist.

Die Untergrundvorbereitung wird durch mechanische Reinigung der Wandoberfläche durchgeführt. Alle vorhandenen Vertiefungen und Mauerwerksfugen sind mit dem Ausgleichsputz (Glattstrich) auszubessern und die Rissbreite auf maximal 2mm zu beschränken. Wenn die Ausgrabungen größere Unebenheiten des Mauerwerks und gelockerte Mauerwerksfugen zeigen, ist es notwendig einen Mauerwerksaustausch durchzuführen, um eine feste, ebene Oberfläche für die Vertikalabdichtung zu erhalten. Es ist auch möglich, eine Spachtelung der Betonoberfläche vorzunehmen, um die erforderliche Ebenheit und Festigkeit für den Abdichtungsuntergrund zu erreichen. Die Vertikalabdichtung darf nicht über scharfkantigen Ecken durchgeführt werden. In diesem Fall sind Außenecken zu fasen und Innenecken mit Dichtungsmörtel auszurunden (Radius

der Ausrundung ca. 5 cm). Die Herstellung der Vertikalabdichtung darf nicht unter +5°C erfolgen (Temperatur des Materials, der Luft sowie des Untergrundes). Es bestehen drei Arten außen liegender Abdichtungen:

- Bituminöse Abdichtung
- Kunststoffabdichtung als Bahnenabdichtung durchgeführt
- Flächeninjektionen von der Wandinnenseite

Bituminöse Abdichtung

Bituminöse Abdichtungen als Bahnenabdichtungen bestehen aus einer Trägereinlage und Bitumen als Deckschicht. Die Funktion der Trägereinlage ist, Verformungen und Rissentstehungen in der Deckschicht zu verhindern. Trägereinlagen werden wie folgt durchgeführt :

- Glasvlies
- Glasgewebe
- Jutegewebe
- Aluminiumband
- Kupferband

Für nachträgliche Vertikalabdichtungen werden folgende bituminöse Abdichtungen als Bahnenabdichtungen benutzt [3]:

- Bitumen-Abdichtungsbahnen mit Glasvlieseinlage (GV 25, GV 35 flämmbar, GV 45 flämmbar).
- Bitumen-Abdichtungsbahnen mit Glasvlieseinlage und einseitiger Kunststoffkaschierung (GV 23K, GV 43K flämmbar)
- Bitumen-Abdichtungsbahnen mit Glasgewebeeinlage (GG 36, GG 50 flämmbar)
- Bitumen-Abdichtungsbahnen mit Kunststoffeinlage (Synthesefasern oder Kunststofffolien)
- Bitumen-Abdichtungsbahnen mit Metallbändern (Aluminiumband, Kupferband)
- Polymerbitumenbahnen mit Glasgewebe- oder Kunststoff-Vlieseinlage

Es bestehen auch Spachtel- und Spritzabdichtungen, die in mehreren Lagen aus kunststoffmodifiziertem Bitumen (pastöse, spachtel- oder spritzfähige Massen) aufgetragen werden.

Erklärung der Kennzeichen [26]:

- GV 25 bezeichnet Art der Einlage (GV = Glasvlies), flächenbezogenen Masse der Bahn in 10 m² (25 kg je 10 m²) und Verarbeitungsart (Klebeverfahren). Zusätzliche Bezeichnung „flämmbar“ bezieht sich auf Verarbeitungsart (Flämmverfahren).
- GV 23K bezeichnet Bitumenbahnen mit Glasvlieseinlage und einseitiger Kunststofffolien-Kaschierung (K = Kaschierung); GG 36 Bitumenbahnen mit Glasgewebeeinlage (GG = Glasgewebe).

Vertikalabdichtungen werden in Bahnen mit einer Länge von bis zu 2,5 m und einer Breite von bis zu 60 cm durchgeführt. Abdichtungsbahnen werden mit verschiedenen Verfahren vollflächig miteinander verklebt. Für bessere Ergebnisse ist es notwendig, den Untergrund mit einem kaltflüssigen Voranstrich vorzubereiten [27]. Es wird empfohlen,

Vertikalabdichtung mit zweilagigen Abdichtungsbahnen (Gesamtdicke 8 mm) und Bahnen mit Einlagen aus Glasgewebe oder aus Synthesefasern (z.B. GG 50 flammbar) oder drei Lagen Bitumen-Abdichtungsbahnen mit einer Lage aus Bitumen-Abdichtungsbahnen mit Glasgewebeeinlage oder Bahnen mit mindestens den gleichen Eigenschaften zu verwenden. Mit der Errichtung mehrere Lagen steigt die Sicherheit der verwendeten Abdichtungen. Es ist zu beachten, dass jede Lage vor dem Auftragen der nächsten vollständig erhärten muss und dass die Errichtung von bituminösen Abdichtungen bei trockenem Wetter durchgeführt wird. Es wird empfohlen eine Überdeckung von mindestens 10 cm herzustellen. Bei zweilagigen Abdichtungsbahnen wird der Stoß der zweiten Lage in der Mitte der letzten Lage und bei drei Lagen Abdichtungsbahnen auf die dritte der letzten Lagen aufgestellt. Verarbeitung von Bitumenbahnen wird mit folgenden Verfahren durchgeführt:

- **Bürstenstreichverfahren**
Mit dem Bürstenstreichverfahren werden Bitumenbahnen durch einen vollflächigen Aufstrich aus Klebmasse verklebt. Die Klebmasse wird mit einer Bürste vor der Bitumenbahn auf den Untergrund und auf die Bitumenbahn aufgetragen. Die Bahn wird hohlraumfrei in die Klebmasse eingerollt.
- **Gießverfahren**
Bei dem Gießverfahren wird die Bitumenbahn in die auf dem Untergrund ausgegossene Klebmasse gedrückt. Die Klebmasse ist von unten nach oben in dem Zwickel zwischen Untergrund und Bahn zu vergießen.
- **Gieß- und Einwalzverfahren**
Die Bitumenbahnen werden fest in die ausgegossene Klebmasse eingewalzt.
- **Flämmverfahren**
Die Klebmasse aus Heißbitumen wird in ausreichender Menge auf den Untergrund gegossen, gleichmäßig verteilt und durch Zufuhr von Wärme aufgeschmolzen. Die Bitumenbahn wird in die Klebmasse eingewalzt. Im Überdeckungsbereich ist zusätzliche Klebmasse aufzubringen. Es ist zu beachten, dass keine nackten Bitumenbahnen beim Flämmverfahren verwendet werden können.
- **Schweißverfahren**
Bei dem Schweißverfahren werden die Schweißbahn mit dem Bitumen und dem abzudichtenden Untergrund erhitzt. Das Bitumen wird dabei verflüssigt und die Schweißbahn wird in die so entstehende Bitumenwulst eingerollt.
- **Selbstklebende Bitumenbahnen**
Selbstklebende Bitumenbahnen werden nach dem Abziehen einer Trennfolie von der Dichtungsbahn mit einem Hartgummiroller angedrückt und verklebt. T-Stöße mit einem Schrägschnitt der unterdeckenden Bahn werden in diesem Fall empfohlen.

Kunststoffmodifiziertes Bitumen

Kunststoffmodifizierte Bitumendichtbeschichtungen (KMB) sind spachtel- oder spritzbare, 1- oder 2-komponentige Massen auf Basis von Bitumenemulsionen. Die einkomponentigen KMB sind sofort aus dem Liefergebilde verarbeitbar. Sie bestehen aus einer Emulsion (Bitumen- und Kunststoffdispersion oder Polymerbitumen- Emulsion). Die Verfestigung erfolgt durch Abgabe des in der KMB enthaltenen Wassers an den Untergrund oder die Luft. Die zweikomponentigen KMB enthalten eine Bitumenemulsion als erste und eine pulverförmige Komponente (Zement, Füllstoffe und Fasern) als zweite. Bei der Verarbeitung kommt es zu dem Vermischen der beiden Komponenten, wobei der

Zement mit dem Wasser aus Bitumenemulsion reagiert, was zu einer raschen Verfestigung und größeren Stabilität der KMB führt.

Sie sind für den Einsatz bei folgender Wasserbeanspruchung vorgesehen:

- Bodenfeuchtigkeit und nicht stauendes Sickerwasser
- Nichtdrückendes Wasser
- Zeitweise aufstauendes Sickerwasser an Kellerwänden bei Gründungstiefe bis 3m und mindestens 300mm bis zum Bemessungswasserstand [28].

Mit der Erstellung der KMB wird nach Abschluss der nachträglichen Horizontalabdichtung begonnen. Die Gründe dafür sind mögliche mechanische Beschädigungen der KMB bei der Herstellung der Horizontalabdichtung. Bei der Arbeit mit KMB ist auf eine Mindesttemperatur von +5 ° C sowie den Schutz vor Regen, Frost- und UV-Strahlung zu achten. Bei der Erstellung der KMB im Sockelbereich sollte ein Haftverbund zwischen KMB und Sockelputz mit mineralischen Dichtschlämme gesichert werden. Der Sockelputz wird auf mineralische Dichtschlämme, im Bereich zwischen -10cm und +30 cm OKG auf den Dichtungsträger aufgetragen. Die KMB ist bis zur Höhe der OKG durchgeführt, wodurch die notwendige Überlappung von 10cm gesichert wird.

Die Beurteilung des Untergrundes als Dichtungsträger erfolgt mit der Kratz-, Wisch- und Saugprüfung (Benetzungsprobe mit Wasser). Ziel ist es, die Tragfähigkeit des Untergrundes zu beurteilen. Alle Vertiefungen, die größer als 5 mm sind, offene Stoß- und Lagerfugen müssen mit Zementmörtel geschlossen werden. Die Herstellung der KMB wird mit einem Spachtel- und Spritzverfahren durchgeführt. Die Überlappung nach der Arbeitsunterbrechung oder in den Übergangsbereichen sollte mindestens 10 cm betragen.

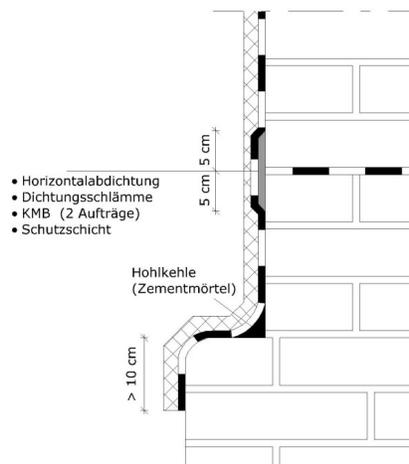


Abb. 5. 14: KMB als Vertikalabdichtung

Kunststoffabdichtungsbahnen

Kunststoffabdichtungsbahnen bezeichnen Bahnenabdichtungen mit einer Breite von 1 bis 2 mm und 1 bis 3mm Dicke. Sie sind homogen oder mit Trägereinlagen, mit oder ohne Vlieskaschierung hergestellt. Es bestehen bitumenbeständige und nicht bitumenbeständige Bahnen. Dichtungsbahnen werden in verschiedenen Farben hergestellt, unter der Voraussetzung, dass die bitumenverträglichen Bahnen immer schwarz sind. Es bestehen die folgenden Arten von nachträglicher Vertikalabdichtung [3]:

- Weich gemachtes oder weichmacherhaltiges Polyvinylchlorid (PVC-P) mit Verstärkung aus Polyestergewebe oder Vlieseinlage, bitumenbeständig
- Polyisobutylene (PIB)
- Ethylencopolymerisat-Bitumen (ECB)

Für die VS St. Peter (Wasserbelastung: nichtstauendes Sickerwasser) wird die Herstellung von Vertikalabdichtungen empfohlen. Kunststoff-Dichtungsbahnen bei PVC-P oder PIB sollten in diesem Fall eine Dicke von 1,5 mm und bei ECB eine Dicke von 2 mm haben, die mit Klebmasse zwischen zwei Lagen aus Bitumen-Abdichtungsbahnen vollflächig einzukleben sind. Die Verarbeitung von Kunststoffabdichtungsbahnen [28] erfolgt mit:

- Bürstenstreichverfahren
Nachdem der Untergrund mit gleichmäßiger Aufteilung der Klebmasse mit einer Bürste vorbereitet wurde, wird die Kunststoff-Dichtungsbahn blasenfrei gedrückt.
- Gießverfahren
Die Kunststoffbahnen werden in die ausgegossene Klebmasse gerollt. Bei vertikalen Flächen wird die Masse in den Raum zwischen Untergrund und Bahn gegossen.
- Flämmverfahren
Die Bitumenschicht der Kunststoff-Dichtungsbahn wird aufgeschmolzen und die Kunststoff-Dichtungsbahn wird auf den verflüssigten Untergrund gerollt.
- Lose Verlegung
Die Kunststoff-Dichtungsbahnen sind zu verlegen und mechanisch (mit Tellerankern oder Flachbändern) mit dem Untergrund zu verbinden oder mit einer dauernd wirksamen Auflast zu versehen. Bei der Errichtung mit loser Verlegung beträgt die Mindestdicke der PVC-P oder PIB Abdichtung 1,8 mm, bei der ECB 2,3 mm.

Die Naht- und Stoßverbindungen der Kunststoff-Dichtungsbahnen werden durch ein Klebeverfahren oder Schweißverfahren (Quellschweißen, Heizelementschweißen oder Warmgasschweißen) durchgeführt. Die Naht- und Stoßüberdeckungen sind durch Schweißen mit 5 cm Überdeckung oder durch Verklebung mit 10 cm Überdeckung zu verbinden. Die Naht- und Stoßverbindungen müssen auf ihre Dichtheit geprüft werden.

Kunststoff-Dichtungsbahn	Verfahren	Einfache Naht in mm min.	Doppelnah, je Einzelnaht in mm min.
ECB	Warmgasschweißen	30	20
	Heizelementschweißen	30	15
	Verkleben mit Heißbitumen	-	-
PIB	Quellschweißen	30	-
	Verkleben mit Heißbitumen	-	-
PVC-P	Quellschweißen	30	-
	Warmgasschweißen	20	15
	Heizelementschweißen	30	15

Tab. 5- 2: Schweißnahtverfahren abhängig von Art der Dichtungsbahn

Flächeninjektionen von der Wandinnenseite

Mit Flächeninjektionen erfolgt die Herstellung der Vertikalabdichtung für Gebäude in städtischen Gebieten, wo der Bodenaushub und die Freistellung der Außenwände nicht möglich ist. Die nachträgliche Sperrschicht wird durch Injizieren der Injektionsstoffe über innenseitig gebohrte Bohrlöcher durchgeführt. Als Injektionsstoffe können folgende Stoffe zum Einsatz kommen[17]:

- Polyurethane
- Acrylatgele
- Epoxidharzen
- Silikaten

Die Sperrschicht kann flächig in zwei Ebenen erstellt werden:

- Innerhalb des Bauteils
Die Abdichtungsebene wird als Flächenabdichtung im Bauteil ausgebildet. Die Injektionsstoffe werden über die Packer im Mauerwerk gepresst und innerhalb des zugänglichen Porenraumes verteilt.
- Vor den erdberührten Bauteilen (Schleierinjektion)
Die Injektionsstoffe werden im Niederdruckverfahren (<10 bar) durch komplett durchgebohrte Bauteile gepresst. Durch den Kontakt zwischen Injektionsstoffen und Erdreich entsteht ein elastischer dichtender Schleier.

Nach Abschluss des Verfahrens müssen die Packer entfernt und die Bohrlöcher mit quellfähigen Mörteln verschlossen werden.

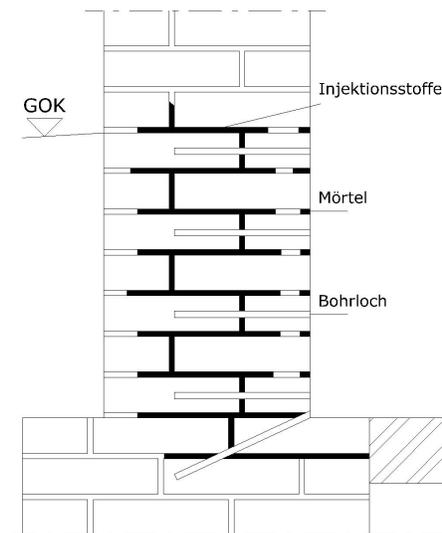


Abb. 5. 15: : Flächeninjektion - Innerhalb des Bauteils

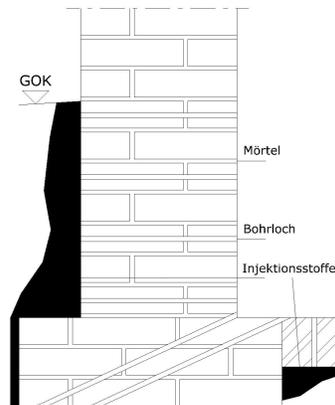


Abb. 5. 16: : Flächeninjektion - Vor den erdberührten Bauteilen

5.2.3 Schutz der Abdichtung (Schutzmaßnahmen und Schutzschichten)

Schutzmaßnahmen sind temporäre Maßnahmen, die das Ziel haben, den Schutz der Bauwerksabdichtung während der Bauarbeiten gegen schädigende Beanspruchungen zu gewährleisten. Dazu gehört Schutz vor Witterungseinflüssen, Schutz vor UV-Strahlung (bei Kunststoffmodifiziertem Bitumen) und der Schutz vor vorzeitiger Wasserbelastung.

Nach der [28] gibt es folgende Arten von Schutzlagen:

- Bahnen aus PVC-halbhart, mindestens 1mm dick
- Bautenschutzmatte und -platten aus Gummi- oder Polyethylengranulat, mindestens 6 mm dick
- Vliese bzw. Geotextilien aus Chemiefasern, mindestens 300g/m², mindestens 2 mm dick

Die Schutzschicht schützt die Abdichtung über die gesamte Dauer der geplanten Nutzungsdauer. Nachdem die nachträgliche Vertikalabdichtung fertig und vollständig trocken ist, es ist notwendig, die Abdichtung dauerhaft vor schädlichen Einflüssen und Belastungen mit einer Schutzschicht zu sichern. Die Schicht bewahrt die Abdichtung über die gesamte Dauer der geplanten Nutzungsdauer zuverlässig vor schädlichen Umwelteinwirkungen (mechanische und thermische Einwirkungen). Bei der Auswahl der Schutzschicht ist darauf zu achten, dass die Formstabil ist, dass sie keine Bewegungen, Punkt- und Linienlasten aus dem Erdreich auf die Vertikalabdichtung überträgt und dass sie widerstandsfähig gegen mechanische, thermische und chemische Einflüsse ist.

Nach der [28] gibt es folgende Arten von Schutzschichten:

- Schutzschichten aus Beton
- Schutzschichten aus Mauerwerk
- Schutzschichten aus Bitumen-Dichtungsbahnen mit Metallbandeinlage
- Schutzschichten aus Perimeterdämmplatten
- Schutzschichten aus sonstigen Stoffen (z.B. Noppenbahn)

Schutzschichten können vielseitigen Funktionen haben und gleichzeitig als Drainageelemente oder Wärmedämmung (Perimeterdämmung)dienen. Die Perimeterdämmplatten sind Wärmedämmelemente, die mit Vertikalabdichtungen auf der erdberührten Seite zur Anwendung kommen. Sie werden hauptsächlich aus extrudierten

Polystyrol-Hartschaumplatten (XPS) hergestellt. Die Montage der Perimeterdämmung auf der Abdichtungsfläche erfolgt durch Verklebung mit der Bitumenspachtelmasse oder mit Klebern auf Basis von Polyurethan. Die Verklebung erfolgt punktuell mit 6- 8 Punkten oder vollflächig, damit eine Hinterwanderung der Feuchtigkeit verhindert wird.

Mit der Noppenbahn erfolgt der Schutz von spachtelbaren Vertikalabdichtungen (Dichtungsschäumen, KMB). Die Noppenbahn besitzt eine hohe Druckfestigkeit und ist beständig gegen Chemikalien und Bakterienbefall. Beim Verlegen der Noppenbahn ist zu beachten, dass die Noppen die Abdichtung durchstanzen.

Bei der Verwendung von kunststoffmodifiziertem Bitumen wird die Noppenbahn mit einem geeigneten Kleber befestigt. Wichtig dabei ist, dass der Kleber nach vollständiger Aushärtung die Abdichtung nicht mechanisch schädigt, wie z.B. zementgebundener Mörtel, der nach Aushärtung fester als die Abdichtung ist. Für den Lastfall nicht drückendes Wasser wird die Montage mit dem Batzenklebverfahren empfohlen. Auf diese Weise wird die Schutzschicht geklebt, bis der Erddruck nach Verfüllen der Baugrube sie an die Abdichtung presst. Bei der Baugrubenverfüllung ist zu berücksichtigen, dass die Abdichtung und Schutzschicht von dem Füllmaterial nicht beschädigt werden.

5.2.4 Durchdringungen

Für den Lastfall nicht drückendes Wasser erfolgt die Abdichtung der Durchdringungen (z.B. Rohre, Kabel) mit kunststoffmodifizierten Bitumendichtbeschichtungen (KMB). Vor den Abdichtungsarbeiten muss überprüft werden, ob die Durchdringungen fest mit dem Mauerwerk verbunden sind und ob der Raum zwischen Rohr und Wand sauber verschlossen ist. Für die Untergrundvorbereitung werden die Rohre angeraut und gereinigt. Die Abdichtung erfolgt hohlkehlenartig mit KMB in einer Trockenschichtdicken von mindestens 3 mm und einer Überlappung mit der Vertikalabdichtung von 15 cm. Die Trockenschichtdicke der KMB in der Kehle darf 2 cm nicht überschreiten.

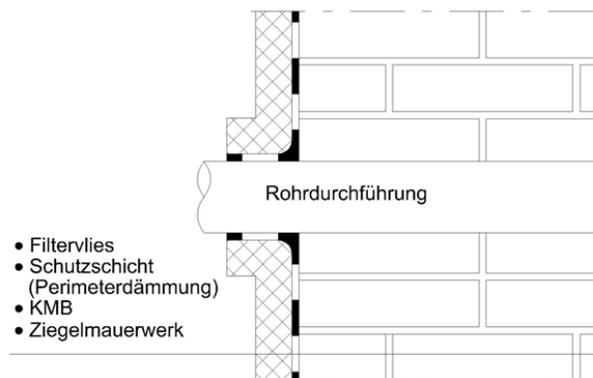


Abb. 5. 17: Durchdringungen

5.3 Flächenabdichtung von Fußboden

Die Bauwerksanalyse zeigte eine fehlende Flächenabdichtung der Fußböden in einigen Kellerräumen. Die Qualität der durchgeführten Abdichtung in einigen Bereichen (Boden mit PVC-Belägen) kann ohne weitere Prüfungen nicht beurteilt werden. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Errichtung von Flächenabdichtungen im gesamten Keller notwendig ist. Dies umfasst die Entfernung der PVC-Bodenbeläge, die mechanische

Reinigung des Bodenuntergrundes und die Herstellung eines Abdichtungsuntergrundes mit Glattstrich. Die Flächenabdichtung im Bodenbereich wird nach [11] mit folgenden Materialien durchgeführt:

- Dichtungsschlämme
- Wasserundurchlässiger Beton (WU Beton)
- Kalt verarbeitbare Bitumenemulsionen
- Flüssigkunststoffe
- Dichtungsbahnen

Bei der Verwendung von wasserundurchlässigem Beton als Flächenabdichtung ist darauf zu achten, dass seine Beschaffenheit (Expositionsklasse) der einwirkenden Beanspruchung entspricht. Dies beinhaltet die richtige Auswahl der Zusatzmittel, einen bestimmten Mindestzementgehalt und Sieblinien der verwendeten Zuschläge. Die Mindeststärke für eine feuchtigkeitsdämmende Schicht aus WU-Beton beträgt 15 cm [15].

Flächenabdichtungen aus Abdichtungsbahnen oder Spachtelmassen benötigen im Regelfall einen trockenen und ebenen Untergrund. Der Untergrund kann aus einer Betonplatte, aus Beton geringerer Betongüte, mit einer Mindeststärke von 8 cm hergestellt werden [15]. Die Dichtungsbahnen werden in diesem Verfahren vollflächig mit mindestens 10 cm Überlappung verklebt und mit einer Schutzschicht aus Heißbitumen überdeckt. Die Flächenabdichtung mit Dichtungsschlämmen wird in zwei Arbeitsgänge nach den Richtlinien der einzelnen Hersteller durchgeführt [11]. Für erdberührte Böden wird eine Flächenabdichtung empfohlen, die mit der nachträglichen Wandabdichtung feuchtigkeitsdicht nachverbunden wird. Zu beachten sind die Anschlussmöglichkeiten von Flächen- und Horizontalabdichtung.

5.4 Abdichtungsanschlüsse

Die funktionale Feuchtigkeitsabdichtung erfordert richtig ausgebildete Abdichtungsanschlüsse, womit Feuchtebrücken bzw. die Möglichkeit des Eindringens von kapillar aufsteigender Feuchtigkeit durch undichte Anschlüsse zwischen Horizontal- und Vertikalabdichtung verhindert werden. Abdichtungsanschlüsse sind von der Wasserbeanspruchung abhängig. Für den Lastfall nicht drückendes Wasser sind die Anschlüsse als reine Überlappung in die Längen, die auf die Art der nachträgliche Horizontalabdichtung abhängig sind. Abdichtungsanschlüsse bei bituminösen Abdichtungsbahnen werden mit einer Überlappung von 10 cm durchgeführt.

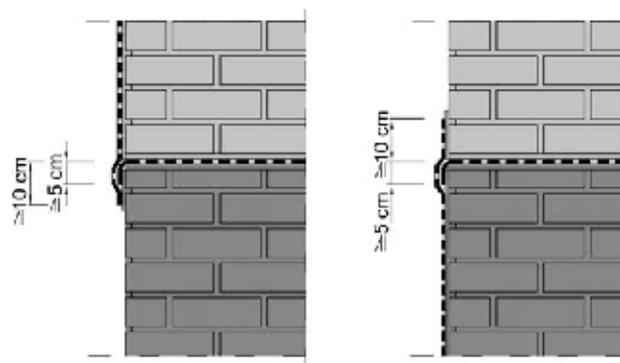


Abb. 5. 18: Abdichtungsanschlüsse: bituminöse Abdichtungsbahnen [3]

Abdichtungsanschlüsse bei starren Mauerwerksabdichtung (Stahlplatten, Kunststoffplatten) und Dichtungsbahn werden mit einer minimalen Überlappung von 5 cm und bei Spachtelmasse mit einer Überlappung von 10 cm durchgeführt. Die Überlappung bei den Abdichtungsanschlüssen mit Mauerwerksinjektion beträgt 20 cm von der letzten Lage der Bohrlöcher, und bei elektrophysikalischem Verfahren 30 cm über der negativen Elektrode.

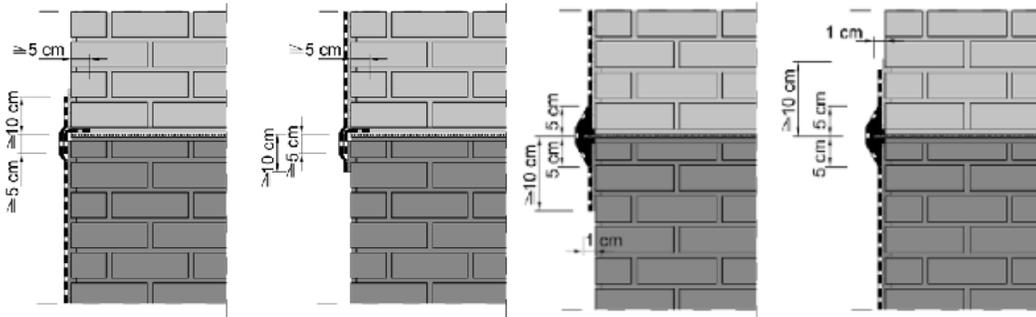


Abb. 5. 19: Abdichtungsanschlüsse:
 Abdichtungsplatten- Abdichtungsbahn
 Abdichtungsplatten- Bitumenspachtelmasse [3]

5.4 Drainage

Drainage ist eine Maßnahme für die Entwässerung des Bodens bei nichtdrückendem Wasser, die von der Kelleraußenwänden platziert wird, um das Wasser zu sammeln und zu ableiten und die Wirkung von Wasser auf ein Bauwerk zu minimieren.

Die Planung der Drainage ist von den örtlichen Gegebenheiten und den Bodeneigenschaften abhängig. So ist z. B. eine Drainage für den Lastfall nicht drückendes Wasser (bindige Böden mit geringer Wasserdurchlässigkeit) immer erforderlich und für den Lastfall Bodenfeuchtigkeit oder den Lastfall drückendes Wasser (z.B. durch Grundwassereinwirkung) nicht erforderlich. Drainage bei bindigen Böden mit geringer Wasserdurchlässigkeit reduziert die Wasserbeanspruchung auf ein Bauwerk, die letztlich zu einfacheren Abdichtungsmaßnahmen führt. Es ist auch notwendig, bei der Drainageplanung die Entwässerungsmöglichkeiten festzustellen bzw. wohin das angesammelte Wasser abgeleitet werden kann (Trennabwassersystems mit Regenwasserkanal oder die Versickerungsmöglichkeiten).

Die Drainage besteht aus[19]:

- Sickerschicht (Sand- und Kiesgemische)
- Filterschicht (Geotextilien)
- Drainagerohren
- Spül- und Reinigungsschächten
- Sammelschacht
- Einleitung in den Vorfluter

Die Dränschicht ist eine wasserdurchlässige Schicht, die zur Entwässerung der Erdoberfläche und schnellem Abfluss von Wasser im Boden dient. Die Dränschicht besteht aus zwei Komponenten (Sicker- und Filterschicht). Es müssen alle erdberührten Bauteile bedecken und mit einer Überdeckung von 15 cm unter der Geländeoberfläche

abgedeckt sein. Die Sickerschicht wird mit einem Drainagekörper oder einem Drainageelemente durchgeführt.

Ein Drainagekörper ist ein stark durchlässiges Bodenmaterial (Sand- und Kiesgemische), das einen ganzen Arbeitsraum oder nur einen Teilbereich füllt. Vorgefertigte Drainageelemente sind in verschiedenen Formen, mit oder ohne integriertem geotextilen Filtervlies hergestellt. Während der Montage sollte auf ihre Befestigung mit Klebstoffen und auf eine Möglichkeit der Abdichtungsbeschädigungen geachtet werden. Die Drainageelemente sind in folgenden Formen erhältlich:

- Drainagesteine aus haufwerkporigem Beton
- Drainageplatten aus bitumengebundenen Polystyrolkugeln (in Dicke von 45 bis 65 mm)
- Noppenbahnen aus PE-HD
- Drainagematten aus beidseitig vlieskaschiertem Polyethylen(PE)-Gitter oder Polypropylen (PP)-Filamenten
- Polystyrol-Dränplatten mit Waffelstruktur (mit wärmedämmender Wirkung)

Die Filterschicht wird mit Geotextilien durchgeführt und wirkt als einen Schutzfilter für die Sickerschicht. Ihre Funktion ist eine Verhinderung des Eindringens von im Wasser enthaltenen Bodenbestandteilen in die Sickerschicht. Dies würde die Durchlässigkeit und weiteren Abfluss von Dränagewasser reduzieren.

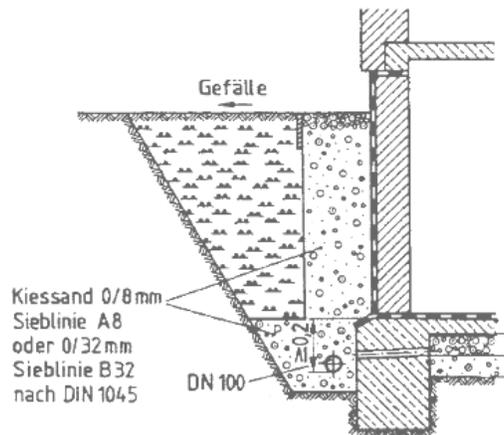


Abb. 5. 20: Möglichkeiten zur Durchführung von Drainage mit Drainagekörper nach [29]

Drainagerohre (Mindest-Nennweite DN 100) leiten anfallendes Wasser aus der Dränschicht. Sie werden aus Ton oder Kunststoff mit Wassereintrittschlitzen und porosem Gefüge hergestellt (bei Verwendung von Drainagekörper: Wassereintrittsöffnungen von maximal 1,2 mm, Wassereintrittsfläche mindestens 20 cm² je m Rohrlänge). Die Drainagerohre werden mit einer kontinuierlichen Neigung von 0,5 bis 2,0 % gelegt, und als Ringleitungen umschließen sie das gesamte Gebäude. Sie werden in einem Rohrleitungsplanum (Kies- oder Betonbett) gelegt, welches das erforderliche Gefälle aufweist.

Der Hochpunkt des Rohrscheitels muss mindestens 20 cm unter der Oberfläche der Rohbodenplatte bzw unter der nachträglichen Horizontalabdichtung liegen und darf nicht niedriger sein als die Fundamente des Gebäudes. Der Grund dafür ist die Möglichkeit der

Beschädigung von Rohrleitungen, wenn Sie in dem Lastausbreitungsbereich des Fundaments sind.

5.4.1 Bemessung und Ausführung der Drainage

Die Bemessung der Drainage erfolgt je nach Wasseraanfall und den örtlichen Verhältnissen als Regelausführung (Regelfall) oder als Einzelnachweis (Sonderfall). Die Regelausführung der Drainage ohne besondere Nachweise erfolgt unter den Bedingungen aus der Tabelle 5-3:

Einflussgröße	Richtwert
Gelände	Eben bis leicht geneigt
Durchlässigkeit des Bodens	Schwach durchlässig
Einbautiefe	Bis 3 m
Gebäudehöhe	Bis 15 m
Länge der Dränleitung zwischen Hoch- und Tiefpunkt	Bis 60 m

Tab. 5- 3: Voraussetzungen für die Regelausführung [29]

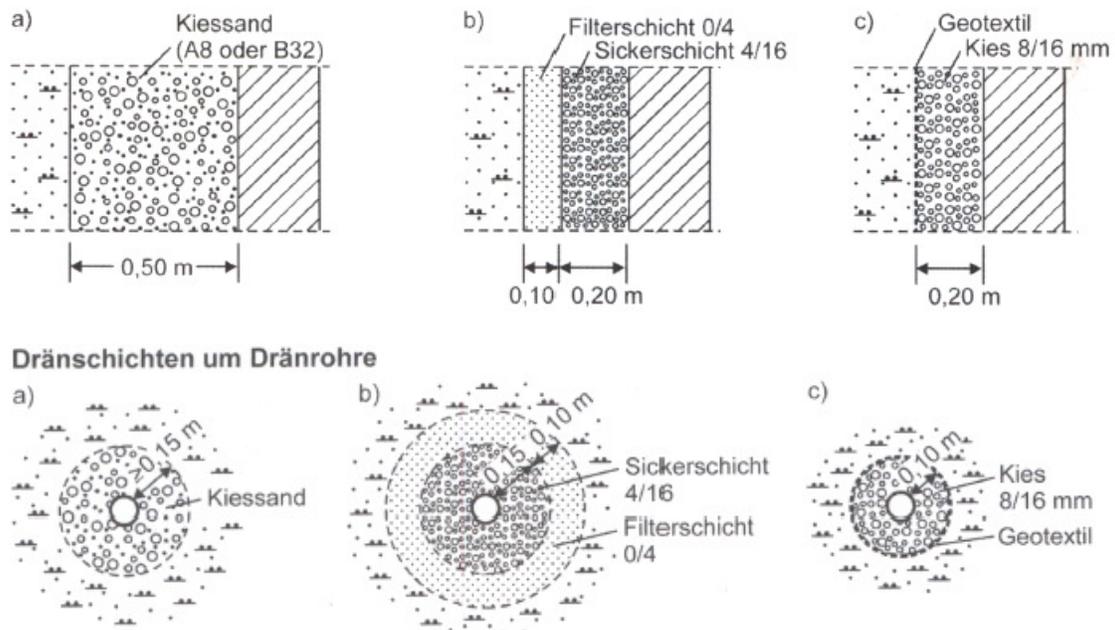


Abb. 5. 21: Regelausführung der Drainage nach [29]

Für den Fall, dass die Voraussetzungen in der Tabelle nicht erfüllt sind, ist es notwendig eine hydraulische Bemessung für den Einzelfall durchzuführen. Dabei sollte die anfallende Wassermenge bzw. Abflussspende, die Geländetopographie und der Baugrundaufbau berücksichtigt werden. Die Abflussspende ist von der Regenspende abhängig.

5.5 Mauerwerksentfeuchtung

Die Sanierungsmaßnahmen, die bisher erläutert wurden, dienen dazu, die Entstehung neuer Feuchtigkeitsschäden zu verhindern. Nach ihrer Durchführung bleibt schädliche Feuchtigkeit in den Wänden. Bei unvollständiger Sanierung, kann die restliche Feuchtigkeit aus den Wänden nach der Sanierung wieder zu Schäden an der rekonstruierten Putzoberfläche führen.

Auf problematische Bereiche, wie beispielsweise die durchfeuchteten Keller-Außenwände, wurde in der Bestandsaufnahme hingewiesen. Für die genaue Lage und das Ausmaß aller Feuchteschäden im Keller ist es notwendig, Proben aus den Kellerwänden zu nehmen und Untersuchungen durchzuführen. Dies gilt auch für die Innenwände im Keller, an denen die Feuchteschäden nicht sichtbar sind, aber wo die Anwesenheit von Feuchtigkeit in der Kernzone aufgrund kapillar aufsteigender Feuchtigkeit durchaus möglich ist.

Eine Mauerwerksentfeuchtung sollte vor der Herstellung der nachträglichen Horizontalabdichtung und einer neuen Putzoberfläche durchgeführt werden. Manche Methoden für die Durchführung einer Horizontalabdichtung sind bei erhöhtem Durchfeuchtungsgrad nicht möglich (z.B. drucklose Injektionsverfahren) und sollten daher nach der Mauerwerksentfeuchtung durchgeführt werden. Die Herstellung einer neuen Putzschicht vor der vollständigen Entfeuchtung der Wände führt zur Entstehung neuer Schäden und verlangsamt gleichzeitig die weitere Entfeuchtung. Deshalb ist es vor Beginn der Trocknung notwendig, die alte Putzschicht abzustemmen.

Die Dauer des Entfeuchtungsprozesses ist vom Durchfeuchtungsgrad, der Wandstärke und dem Entfeuchtungsverfahren abhängig.

Bei der natürlichen Austrocknung eines Mauerwerks mit großer Wandstärke wird im Laufe der Zeit nur die Oberflächenschicht ausgetrocknet, während die Kernzone feucht bleibt.

In diesem Fall kann eine Mauerwerksentfeuchtung noch für Wochen oder Monate dauern. Beispielsweise wird bei natürlicher Wandaustrocknung eines Mauerwerks mit einer Wandstärke von 90 cm und 80 % Durchfeuchtungsgrad die Kernzone nach 3 Monaten der Durchfeuchtungsgrad auf 65 % und nach einem Jahr auf 55 % reduziert [19].

Für eine komplette und rasche Sanierung ist es notwendig, die Mauerwerksentfeuchtung durch eine schrittweise Erwärmung des Mauerwerks in der Kernzone durchzuführen. Eine zu schnelle Erwärmung der Wände kann zu Temperaturspannungen führen, die weitere Schäden am Mauerwerk verursachen können. Die Lösung hierfür ist eine schrittweise Erwärmung im Inneren der Wand. Es bestehen die folgenden Methoden:

- Mikrowellentechnik
- Heizstabtechnik
- Heizstabtechnik mit konditionierter Druckluft
- Heizstabtechnik in Kombination mit Druckluft
- Vakuumtechnik

Heizstabtechnik

Für die Durchführung der Heizstabtechnik ist es erforderlich, ein Bohrlochraster an den Wandbauteilen auszuwählen. Der Abstand zwischen den Bohrlöchern sollte zwischen 25

und 40 cm liegen, die erforderliche Bohrlochtiefe sollte mindestens bis zur Mitte des Mauerwerks gehen und die Bohrlochdicke sollte von 16 bis 20 mm variieren.

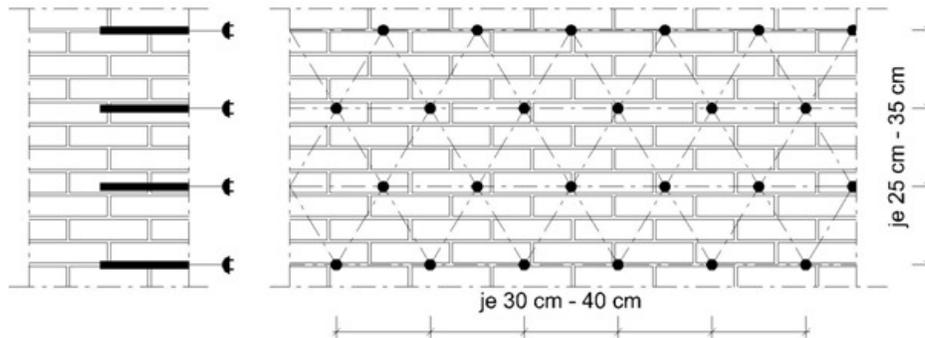


Abb. 5. 22: Bohrlochrastrer [3]

Diese Methode wird durch die Einsetzung von Heizstäben mit einer Stromleistung von 100 bis 150 Watt per Stück in die vorgebohrten Löcher im Mauerwerk durchgeführt. Durch ihre Wirkung wird eine Temperatur von 5 Grad in der 100 ° C in der unmittelbaren Umgebung bzw. 60 ° C do 80 ° C in Mauerwerkskern. Nach Abschluss des Verfahrens ist es notwendig, die Heizstäbe zu entfernen und die Bohrlöcher mit Zementmörtel zu verschließen.

Heizstabtechnik mit konditionierter Druckluft

Diese Methode wird ähnlich wie die herkömmliche Heizstabtechnik ausgeführt. Bei diesen beiden Methoden kommt dasselbe Bohrlochrastrer zum Einsatz, mit dem Unterschied, dass diese Methode weniger Heizstäbe benötigt. Stattdessen wird aus der Wand entfeuchtete Druckluft gepumpt.

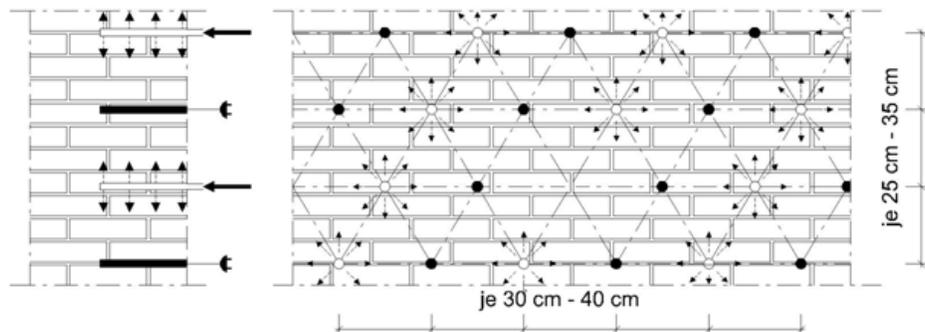


Abb. 5. 23: Bohrlochrastrer [3]

Heizstabtechnik in Kombination mit Druckluft

Bei dieser Methode wird neben Heizstäben in einem wesentlich größeren Raster zusätzlich Druckluft eingeblasen, was zu einer Entstehung von Luftdruck innerhalb des Mauerwerks führt und somit die Entfeuchtung verbessert.

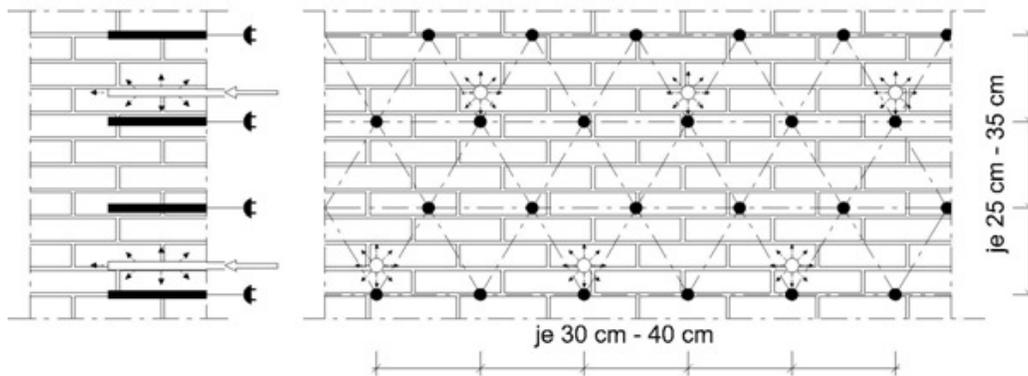


Abb. 5. 24: Bohrlochraster [3]

Mikrowellentechnik

Beider Mikrowellentechnik erfolgen die Erhöhung der Mauerwerkstemperatur und die Entfeuchtung zerstörungsfrei, ohne Bohrungen und zusätzliche Arbeiten an der Wand.

Vakuumtechnik

Mit dieser Technik kann die Entfeuchtung ohne erforderliche Aufheizung des Mauerwerks durchgeführt werden. Für dieses Verfahren ist es notwendig, Bohrlöcher im Abstand von 1 bis 3 m (der Abstand ist abhängig von der Wandstärke) in das Mauerwerk einzubohren. In die Löcher werden dann Stahlrohre oder vakuumtaugliche Leitungen eingesetzt. Die Trocknung erfolgt durch die Erzeugung eines Vakuums im Inneren der Wand, welches das Wasser in flüssigem oder dampfförmigem Zustand absaugt. Der Erfolg der Methode ist abhängig von der Dichte der Wandoberfläche.

Zusatzmaßnahmen

Es werden folgenden zusätzlichen Maßnahmen für eine rasche Entfeuchtung des Mauerwerks empfohlen:

- Sandstrahlen der Wandoberflächen (mit Aluminiumsilikat)
- Verwendung von Ventilatoren für zusätzliche Lufteinblasung. Erhöhte Strömungsgeschwindigkeit der Luft erhöht den Wasserdampfübergang von der Wandoberfläche in die Umgebungsluft
- Wenn die relative Luftfeuchtigkeit im Raum hoch ist, gibt es keine Möglichkeit, dass Raumluft Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk aufnehmen kann
- Mit der Verwendung von Heiz- und Entfeuchtungsgeräten wird die relative Luftfeuchtigkeit im Raum reduziert, was die Mauerwerksentfeuchtung verbessert.

5.6 Salzreduktion

Die Bauanalyse zeigte die Anwesenheit von Salzen im Keller. Salze sind die direkte Ursache für manche Schäden (Salzausblühung) und sie verursachen auch durch ihre hygroskopische Wirkung eine Erhöhung der Wandfeuchtigkeit im Mauerwerk. Über die Notwendigkeit einer Salzreduktion geben die Untersuchungsergebnisse der genommenen Proben Auskunft. Wenn die Tests eine erhöhte Konzentration von Salzen in den Wänden zeigen, ist es notwendig, eine Salzreduktion durchzuführen. Es bestehen folgende Methoden zur Entfernung von schädlichen Salzen [3]:

- Salzentfernung
- Salzreduzierung
- Salzbeibehaltung bzw. Salzkaschierung

5.6.1 Salzentfernung

Die Salzentfernung ist die einzige Methode, die eine vollständige Entfernung der Salze ermöglicht und die Entfernung von der Wand wird mit einer größeren Salzkonzentration durchgeführt. Aufgrund der hohen Anforderungen wird diese Methode nur in seltenen Fällen angewendet. In den meisten Fällen ist die Entfernung der schadsalzbelasteten Putzschicht eine ausreichende Sanierungsmaßnahme.

5.6.2 Salzreduzierung

Dieses Verfahren umfasst verschiedene Methoden für eine Salzreduktion. In den meisten Fällen wird die Wand bewässert, danach können im Wasser gelöste Salze aus dem Mauerwerk entfernt werden.

Es bestehen folgende Methoden für die Durchführung:

- Kompressenverfahren
Durch die Einrichtung von Kompressen, meist aus Zellulose, auf die Wandoberfläche wird eine Schicht hergestellt, die durch ihre Saugfähigkeit, Salz entfernen kann. In Abhängigkeit der Salzkonzentration ist es erforderlich, Kompressen zu entfernen und wieder neue einzusetzen.
- Injektionskompressenverfahren
Diese Methode ähnelt der Vorgehensweise beim Kompressenverfahren, mit dem Unterschied, dass hier ein Mauerwerk bewässert wird, weshalb die Salzreduzierung in einer größeren Mauerwerkstiefe vorgenommen werden kann.
- Vakuum-Fluid-Verfahren
Diese Methode umfasst ebenfalls eine intensive Bewässerung. Vakuum, das an die Wandoberfläche entsteht, saugt im Wasser gelöste Salze ab.

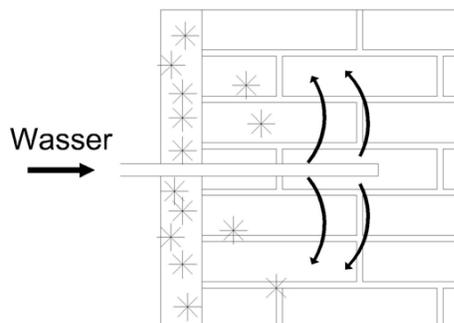


Abb. 5. 25: Salzreduktion - Injektionskompressenverfahren

- Opferputz-Verfahren
Durch den Einsatz dieses Verfahrens ist möglich, Salze aus dem Mauerwerk zu entfernen. Durch das große kapillare Saugvermögen können Opferputze Feuchtigkeit und Salze aus dem Mauerwerk aufnehmen. Wegen zunehmender Salzkonzentration und dessen Kristallisation sind Opferputze nur zur kurzzeitigen Verwendung vorgesehen und müssen nach einiger Zeit entfernt und wieder

eingesetzt werden. Der Erfolg dieses Verfahrens ist vom Durchfeuchtungsgrad abhängig.

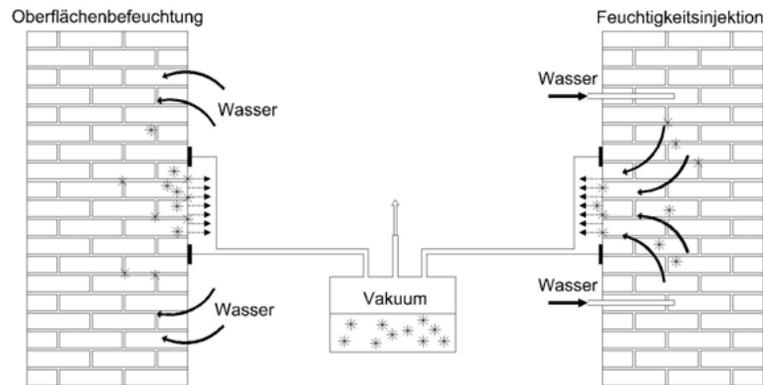


Abb. 5. 26: Salzreduktion - Vakuum-Fluid-Verfahren

- Elektrophysikalisches Verfahren

Durch Anlegen eines elektrischen Feldes von außen wandern die Salzionen zu den Elektroden und scheiden sich an der Opferanode in flüssiger Form. Als Anode werden zylinderförmige, aus einem elektrisch leitenden Kunststoffkern bestehende Elektroden mit einer semipermeablen Membran eingesetzt. Die Salze dringen in die Anode ein und sind durch die Membran verhindert zurückzuwandern. Die Elektroden sind in einem Abstand von 50 cm fest im Mauerwerk in eine Tiefe von 40 cm eingebaut. Für den Erfolg dieses Verfahrens ist eine ständige Befeuchtung erforderlich.

- Abstrahlen der Wandoberflächen

Bei dieser Methode wird die Wandoberfläche mittels Sandstrahlen bearbeitet. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Baustoffporen mit einem Aluminiumsilikat zu öffnen. Auf diese Weise können Salzlösungen leichter an die Wandoberfläche gelangen, wo sie dann entfernt werden können.

5.6.3 Salzbeibehaltung bzw. Salzkaschierung

In der Baupraxis ist es in den meisten Fällen nicht notwendig, die Salze zu entfernen. In den meisten Fällen reicht es, die Salze unter kontrollierten Bedingungen in der Wand beizubehalten. Dies bezieht sich z.B. auf ein Mauerwerk mit einem Durchfeuchtungsgrad unter 20 %. Diese Menge an Feuchtigkeit reicht nicht aus, um Feuchtigkeits- und Salzschäden auf der Putzoberfläche auftreten zu lassen. Wenn der Durchfeuchtungsgrad bei etwa 20 % liegt, wird die Verwendung von Putze ohne kapillares Saugvermögen (Sanierputze) empfohlen.

5.7 Sanierputz

Die Schäden, die im Keller entstanden sind, haben die Wandoberfläche vollständig oder teilweise beschädigt. Für die vollständige Rekonstruktion der Putzoberfläche wurde die Verwendung eines Sanierputzsystems geplant. Die Sanierputze haben eine geringe kapillare Saugfähigkeit, eine gute Wasserdampfdurchlässigkeit und ein hohes Porenvolumen. Diese Eigenschaften ermöglichen den Transport von Feuchtigkeit als Wasserdampfdiffusion und weitere Austrocknung der Wände. Dabei hat der Sanierputz

sehr wenig Einfluss auf die weitere Austrocknung der Wände. Gleichzeitig wird der Kapillartransport der Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk an die Putzoberfläche und der damit gekoppelte Salztransport reduziert.

Der Sanierputz hat die Aufgabe, durch eine erhöhte Porosität, die auskristallisierten Salze im porigen Raum einzulagern und das Auftreten von Salzschäden zu verhindern. Es ist auch wichtig, dass durch eine erhöhte Salzkonzentration, Wasserdampfdiffusion aus dem Wandkern nicht unterbrochen wird. Die Verwendung eines Sanierputzsystems ist nicht wirksam für den Lastfall drückendes Wasser, oder bei höherer Wasserbeanspruchung. Im erdberührenden Bereich (Kellerräume) wird die Verwendung eines Sanierputzsystem ohne entsprechende Vertikal- und Horizontalabdichtung nicht empfohlen.

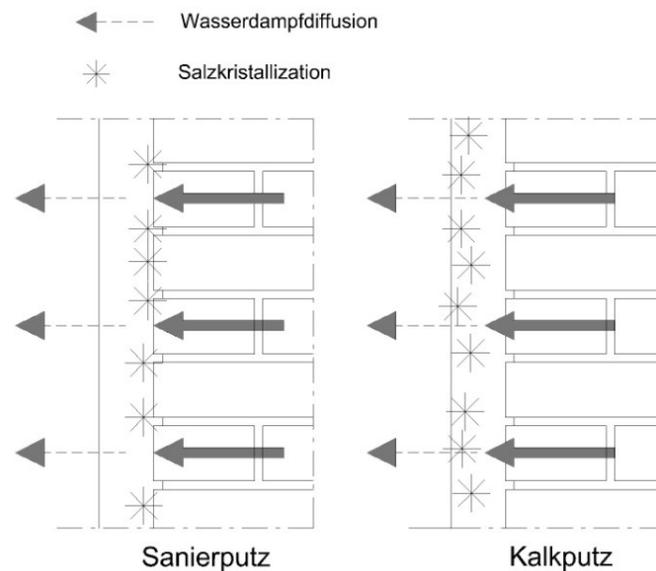


Abb. 5. 27: Wirkung von Sanierputz

Die Putzherstellung wird nach ÖNORM B 3345[4] durchgeführt. Das Sanierputzsystem besteht aus:

- Saniervorspritzer
- Sanier-Ausgleichsmörtel
- Sanierputzmörtel
- Sanier-Feinputzmörtel

Saniervorspritzer

Der Saniervorspritzer soll Haftverbund zwischen Sanierputz und Putzuntergrund sichern. Der Saniervorspritzer wird im Allgemeinen nicht deckend aufgetragen. Ein vordeckender Saniervorspritzer (mit der Abdeckung des Untergrundes >50%) ist zulässig, wenn er besondere Forderungen an die Saugfähigkeit erfüllt [4]. Die Schichtdicke darf 0,5 cm nicht überschreiten.

Sanier-Ausgleichsmörtel

Sanier-Ausgleichsmörtel wird zum Ausgleich großer Unebenheiten und Vertiefungen des Mauerwerks oder als Salzspeicher bei entsprechend hohen Salzbelastungen im Mauerwerk eingesetzt.

Sanierputzmörtel L/N

Sanierputzmörtel L ist in einem oder mehreren Arbeitsgängen mit einem Mindestputzdicken von 3 cm aufzubringen. Sanierputzmörtel N ist in einem oder mehreren Arbeitsgängen mit einem Mindestputzdicken von 2 cm aufzubringen. Bei mehrlagigen Verarbeitungen muss die Lagendicke 1 cm aufweisen. Das gilt auch, wenn Sanierputzmörtel N als Deckputz verwendet wird.

Putze, Anstriche und sonstige Beschichtungen die auf dem Sanierputz angebracht werden, dürfen die Wasserdampfdurchlässigkeit des Sanierputzsystems nicht negativ beeinflussen.

Die Anwendung eines Sanierputzsystems wird bei einem salzbelasteten Mauerwerk mit einem Durchfeuchtungsgrad von 20% empfohlen [4]. Ein höherer Durchfeuchtungsgrad (>20%) in Kombination mit einer Schadsalzkonzentration führt zu einem erhöhten Transport von Feuchtigkeit aus der Innenwand, was letztlich zu Schäden am Sanierputz führt. Deshalb sollten in der Sanierung die Untersuchungsergebnisse der entnommenen Proben berücksichtigen. Wenn sie auf einen Durchfeuchtungsgrad > 20 % hinweisen, ist es notwendig, vor der Putzherstellung in diesen Bereichen eine Mauerwerksentfeuchtung durchzuführen. Es ist allerdings zu beachten, dass während des Erhärtungszeitraumes (28 Tage) die relative Luftfeuchtigkeit nicht größer als 65% sein darf [6]. Für feuchtere Kellerräume werden Entfeuchtungsmaßnahmen empfohlen. Es ist auch auf die Salzkonzentration im Putzuntergrund zu achten. Nach [6] sind in Abhängigkeit der Salzkonzentration drei Varianten für die Herstellung eines Sanierputzsystems möglich (Tabelle 5-4).

Versalzungsgrad	Maßnahmen	Schichtdicken in mm	Bemerkungen
gering	Spritzbewurf Sanieputz	≤ 5 ≥ 20	Spritzbewurf in der Regel nicht deckend, gegebenenfalls nach Herstellervorschrift voll deckend
mittel bis hoch	Spritzbewurf Sanieputz Sanierputz	≤ 5 10 bis 20 10 bis 20	
	Spritzbewurf Porengrundputz Sanierputz	≤ 5 ≥ 20 ≥ 20	

Tab. 5-4: Maßnahmen in Abhängigkeit von Versalzungsgrad [6]

Die Anwendung eines Sanierputzsystems ist für die Sanierung von inneren- und äußeren Schäden (Putzablösungen oberhalb des Sockels) geplant. Bei der Verwendung dieses Sanierputzsystems bei äußeren Schäden ist es wichtig zu beachten, dass der Sanierputz durch seine Frostbeständigkeit auch im Sockelbereich verwendbar ist.

5.8 Kontrolle der Wirksamkeit

Die Ausführung der Sanierungsarbeiten hat durch ausgewiesene Fachfirmen zu erfolgen. Die Überwachung der Sanierungsmaßnahmen erfolgt von unabhängigen Sachkundigen. Die Sanierung wird als erfolgreich eingestuft, wenn die vorgegebenen Planungsziele in einem Zeitraum von 2 Jahren erreicht werden. In Abhängigkeit vom Bauvertrag kann dieser Zeitraum geändert werden.

Die Feststellung der Wirksamkeit W erfolgt nach [1]:

$$W = (D_v - D_n)/D_v \times 100$$

mit:

W Wirksamkeit durchgeführter Trockenlegungsmaßnahmen, in Prozent

D_v Durchfeuchtungsgrad vor Durchführung der Maßnahmen

D_n Durchfeuchtungsgrad nach Durchführung der Maßnahmen

Die Wirksamkeit der Trockenlegungsmaßnahmen ist gegeben:

- Wenn der Durchfeuchtungsgrad nach Durchführung der Maßnahmen D_n des Mauerwerks in der Kernzone höchstens 20% beträgt
- Wenn eine Wirksamkeit $W \geq 70$ % erreicht wurde
- Wenn durch aufeinander folgende Messungen eine Prognose der Wirksamkeit $W \geq 70$ % für einen definierten Zeitraum möglich ist. Wenn nicht anders vereinbart, gilt ein Zeitraum von zwei Jahren in der ÖNORM B 3355-1.

Für das Injektionsverfahren ist die Wirksamkeit gegeben, wenn die maximale kapillare Wasseraufnahme $[W_{kap}]$ von Proben in der Injektionsebene, maximal 20 % der maximalen Wasseraufnahme $[W_{max}]$ beträgt.

6 Empfohlene Sanierungsmaßnahmen

Bei der Auswahl geeigneter Sanierungsmaßnahmen werden Schlussfolgerungen aus der Bestandsaufnahme (Kapitel 3) berücksichtigt, die zeigen, dass die Schäden durch das Fehlen einer Feuchtigkeitsabdichtung verursacht wurden. Die Bestandsaufnahme zeigte auch, dass der Boden bindig und wenig durchlässig ist (Siehe Kap.3.2), was den Einfluss von Wasser auf das Gebäude erhöht. In diesem Fall bedeutet das, dass die Wassereinwirkung, wie Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser, auf ein Bauwerk mit dem Einsatz von Drainage definiert werden kann (siehe Seite 15).

Die empfohlenen Sanierungsmaßnahmen für die Volksschule St. Peter umfassen:

- Freilegung und Austrocknung der Kelleraußenwände
- Nachträgliche Horizontalabdichtung
- Nachträgliche Vertikalabdichtung
- Flächenabdichtung der Fußböden
- Drainage
- Sockelsanierungen
- Neuherstellung der Putzoberfläche im Außen- und Innenbereich
- Zusätzliche Sanierungsmaßnahmen in Abhängigkeit der Ergebnisse der Probenentnahme

6.1 Freilegung und Austrocknung der Kelleraußenwände

Die erste Sanierungsmaßnahme, mit welcher der Untergrund für die weiteren Maßnahmen vorbereitet wird, ist die Freilegung der Kelleraußenwände. Mit diesen Arbeiten wird der Untergrund von innen für die Erstellung der neuen Putzoberfläche vorbereitet und von außen der notwendige Arbeitsraum für die Durchführung der Horizontal- und Vertikalabdichtung, der Drainage und eines eventuellen Mauerwerksaustausches geschaffen.

An der Außenseite der Kellerwände wird eine neue Drainage geplant, was die Freilegung der Außenwände bis zum Fundament bzw. bis zur Kellerbodenplatte und den Aushub einer Baugrube erfordert. Aufgrund des technischen Gutachtens wird festgestellt, dass die Schule auf festem bis halbfestem Boden liegt (siehe Seite 15). Für den Aushub der Baugrube ist es erforderlich, je nach Bodenverhältnissen, auf die Böschungsneigung zu achten. Bei Steif- bis Halbfestböden ist es erlaubt, ohne zusätzliche Nachweise eine Böschungsneigung von 60° einzuhalten. Während des Bodenaushubes sollte die Baugrubensicherung beachtet werden.

Die Tiefe der Baugrube ist nach der Lage der Kellerbodenplatte auszurichten. Auf Grund der verfügbaren Pläne ist zu vermuten, dass die Baugrubentiefe zwischen 1,50 und 1,70 m liegen sollte. Alle Kelleraußenwände sind von außen erreichbar, weil es keine direkt an das Schulgebäude angrenzenden Nebengebäude gibt. Es ist geplant, den Bodenaushub maschinell mittels Bagger mit Tieflöffel abschnittsweise durchzuführen, wodurch die Standsicherheit der Außenwände nicht beeinträchtigt wird. Besondere Aufmerksamkeit sollte dem statischen Gutachten geschenkt werden. Es ist zu überprüfen, ob das Vollziegelmauerwerk der Außenwände eine zufriedenstellende Tragfähigkeit für die geplanten Sanierungsmaßnahmen aufweist.

Die Breite der Braugrube am tiefsten Punkt hängt von der für die Herstellung der Horizontalabdichtung gewählten Methode ab. Die Mindestbreite des Arbeitsraums, die für eine ungestörte Durchführung der Horizontalabdichtung nötig ist, sollte größer als 0,50 m sein. Es wird geplant, die Horizontalabdichtung in den Außenwänden mittels fahrbarer Mäuersäge mit einer Länge von 1020 mm durchzuführen [40]. Deswegen wird die Mindestbreite der Baugrube am tiefsten Punkt mehr als 1200 mm betragen.

Nach dem Bodenaushub wird geplant, alle außen und innen liegenden Kellerwände von den alten Putzschichten zu befreien und von losen Teilen zu reinigen. Das gilt nicht nur für die Kellerwände, sondern auch für die Außenwände oberhalb des Sockelbereichs. Es wird notwendig sein, die alten Putzschichten bis zu einer Höhe von 0,80 oberhalb der dokumentierten Feuchtigkeitsschäden zu entfernen (Abb. 6.1). In den Kellerräumen müssen außer der Putzschicht alle Bekleidungen (Holzbekleidung im Musikraum, siehe Seite 24) sowie die Fliesen im Gang (siehe Seite 31) entfernt werden.

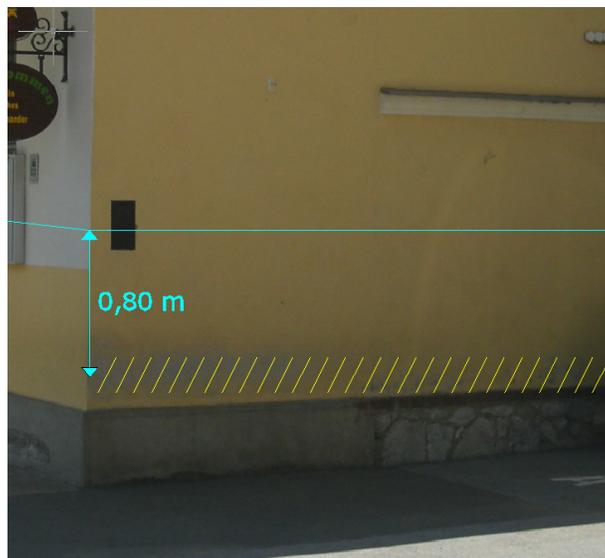


Abb. 6. 1: Bereich der Außenputzsanierung

Nach der Entfernung der alten Putzschichten wird empfohlen, das Mauerwerk einige Monate lang unverputzt zu lassen, damit die in dem Mauerwerk anwesende Feuchtigkeit zum Teil austrocknen kann. In den Kellerräumen wird es erforderlich sein, in diesem Zeitraum ein für die wirksame Austrocknung entsprechendes Raumklima mit einer niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit zu schaffen. Im Winter wird das durch leichten Durchzug und im Sommer durch den Einsatz von Entfeuchtungsgeräten sichergestellt. Der Austrocknungsprozess ist in periodischen Zeiträumen zu kontrollieren. Es wird empfohlen das Mauerwerk bis zu einem Durchfeuchtungsgrad von 20% trocknen zu lassen. Sollte das zeitlich nicht möglich sein, so sollte der Entfeuchtungsprozess beschleunigt werden (siehe Mauerwerksentfeuchtung).

In Abhängigkeit von der Feuchte- und Salzbelastung der Kellerwände wird der Einsatz von Opferputze (Opferputzverfahren) im Innenbereich (Durchfeuchtung >20%, Salzbelastung siehe Tab.4.2) empfohlen.

Mit der Freilegung der Kellerwände wird die Vorsatzschale im Musikraum auch entfernt. Wegen ihrer schädlichen Wirkung auf die Wand und das Raumklima (siehe Seite 24) ist kein Wiederbau nach dem Sanierungsabschluss geplant. Die Vorsatzschale verhindert die Zirkulation der warmen Raumluft in der Nähe der Wandoberfläche, wodurch sie kälter

bleibt als die Wandoberfläche ohne Vorsatzschale. Das resultiert in einer geringeren Austrocknung des seitlich eindringenden Wassers, wodurch die Feuchtigkeitsbelastung der Außenwände immer größer wird. Nach Entfernung der Holzschalung kann die Erwärmung der Wandoberfläche durch die Raumluftzirkulation erfolgen.

Es besteht die Möglichkeit, dass die Vorsatzschale im Musikraum zur Verbesserung der Akustik angebracht wurde. In diesem Fall sollten andere Möglichkeiten, wie die Erwärmung des Raums hinter der Vorsatzschale berücksichtigt werden. Für diese Maßnahme wird es notwendig, eine Heizquelle im Raum zwischen der Vorsatzschale und der Kellerwand zu montieren. Da die Schule eine gebäudezentrale Heizung besitzt, besteht die Möglichkeit die Heizungsleitungen in den Zwischenraum zu verlegen, wodurch die aus den Heizungsleitungen freigesetzte Wärme zur Entfeuchtung genutzt werden kann.

Ein weiteres Problem im Zusammenhang mit den Feuchtigkeitsschäden an der Holzschalung im Musikraum, ist die Kondensation der Feuchtigkeit an den Stahltreppen (siehe Seite 24, Abb.3.26), die oberhalb der Holzkonstruktion montiert wurden. Die Kondensation ist mit der Entstehung von Wärmebrücken und mit der geringeren Temperatur der Stahlterrasse verbunden. Um die Entstehung des Wasserkondensats, das weiter an der Holzkonstruktion abtropft, zu verhindern, ist es notwendig, die Treppe mit einer thermischen Trennlage (z.B. Neopren) von den kalten Außenwänden zu trennen.

6.2 Nachträgliche Horizontalabdichtung

Bei der Herstellung der Horizontal- und Vertikalabdichtung der Kelleraußenwände wird davon ausgegangen, dass die Außenwände in dem alten Teil des Gebäudes (Baujahr 1885) als Bruchsteinmauerwerk ohne durchgehende Lagerfugen durchgeführt wurden.

Die Horizontalabdichtung (siehe Seite 46) ist im Bereich des Kellerfußbodens und oberhalb des Spritzwasserbereiches (30 cm über der Geländeoberkante) an den Außenwänden geplant. Sollten die Laboruntersuchungen (siehe Kapitel 4) die Existenz von schädlicher Feuchtigkeit in den Kellerinnenwänden zeigen, ist es notwendig, auch in diesen Bauteilen eine nachträgliche Horizontalabdichtung vorzunehmen (nur im Bereich des Fußbodens).

Die obere Horizontalabdichtung dient als Schutz gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit im Fall der Beschädigung der Vertikalabdichtung. Die empfohlene Höhe für ihre Herstellung liegt oberhalb des Spritzwasserbereiches bzw. 30cm von der Oberkante des Geländes. In diesem Bereich befinden sich die Fenster der Kellerräume. Um eine durchgehende Sperrebene zu schaffen, ist es notwendig, eine Horizontalabdichtung unterhalb/oberhalb der Fenster zu errichten. Für ein Ziegelmauerwerk kann eine solche Sperrschicht, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, durchgeführt werden. Das Problem liegt jedoch im Bruchsteinmauerwerk bzw. im Sockelbereich des alten Teils des Gebäudes. Wenn es ein Bauteil darstellt, das aus denkmalpflegerischen Gründen nicht geändert werden darf, dann ist es nicht möglich, die Vertikalabdichtung von außen anzubringen. Eine mögliche Alternative ist die Herstellung von Vertikal- und Horizontalabdichtungen im Sockelbereich unter den Fenstern mit Hilfe des Maueraustauschverfahrens und Verlegung der Feuchtigkeitsabdichtungen innerhalb des Mauerwerks (Abb. 6.10).

Grundsätzlich ist bei der für die St. Peter Volksschule geplanten Horizontalabdichtung zwischen drei Arten zu unterscheiden:

- Untere Horizontalabdichtung im Kellerfußbodenbereich
- Obere Horizontalabdichtung oberhalb des Spritzwasserbereiches

6.2.1. Untere Horizontalabdichtung

Mit dem mechanischen Verfahren ist die Herstellung einer unteren Sperrschicht im Kellerfußbodenbereich geplant. Die untere Sperrschicht kann mit einigen mechanischen Verfahren (Kernbohrverfahren, Maueraustauschverfahren, Sägeverfahren) durchgeführt (siehe Seite 48) werden. Bei der St. Peter Volksschule ist die Erstellung der Horizontalabdichtung mittels Sägeverfahren geplant. Auf diese Weise ist es möglich, eine durchgehende Sperrschicht zu erstellen, womit kapillar aufsteigendes Wasser vollständig verhindert wird (siehe Sägeverfahren, Seite 48).

Die mechanische Trennung der Kellerwand ist in einer Höhe von 10 cm über der bestehenden Kellerbodenplatte geplant und wird abschnittsweise mit 50 mm Schnitthöhe mittels fahrbarer Mäuersäge erfolgen. Es ist darauf zu achten, dass die Lastübertragung nach der Trennung mittels Kunststoffkeilen (Abstand 15-25 cm) gewährleistet ist. Lose Teile werden danach aus der Trennschicht entfernt, die Trennfuge wird gereinigt und es wird eine ebene Schicht aus Zementmörtel erstellt, auf welche eine Sperrschicht mit ausreichender Überlappung von 20 cm verlegt wird. Der Rest der Trennfuge wird mit Zementmörtel gefüllt.

6.2.2 Obere Horizontalabdichtung

Die Horizontalabdichtung oberhalb des Spritzwasserbereichs (30 cm über der Geländeoberkante) erfolgt auf ähnliche Weise wie die untere Horizontalabdichtung. Da die Mauerwerkstrennung auf Fensterebene erfolgt, ist zu beachten, dass die Sperrschicht bei den Fensteröffnungen zusätzlich vollflächig mit Dichtschlämme verdichtet und darüber mit Kalkzement verputzt wird.

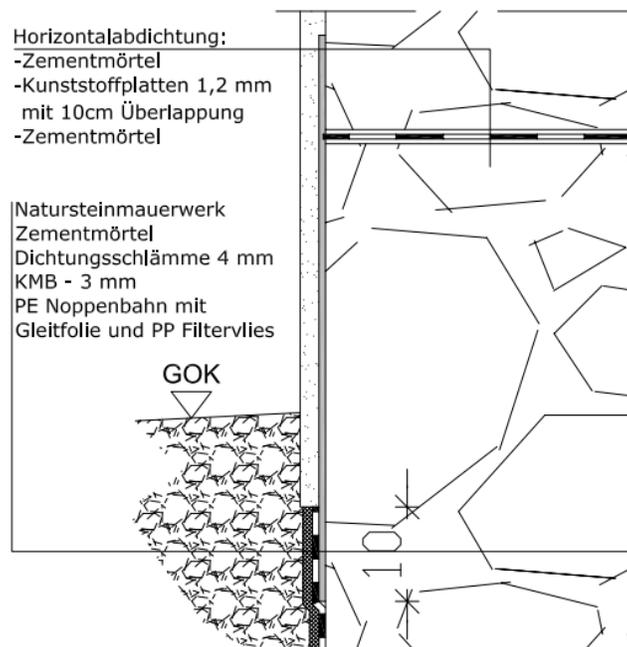


Abb. 6. 2: Sperrschicht (30 cm oberhalb GOK)

Die Sperrschicht im Natursteinsockelbereich ist zur Gänze aus Dichtschlämmen geplant und wird in dem Zusammenhang mit der Vertikalabdichtung erstellt.

6.3 Nachträgliche Vertikalabdichtungen

Die nachträgliche Vertikalabdichtung ist für den Bereich zwischen oberer und unterer Horizontalabdichtung an den Kelleraußenwänden geplant (siehe Seite 57). Dabei ist zu beachten, dass die Ausbildung der Abdichtungsanschlüsse mit ausreichender Überlappung durchgeführt wird (siehe Seite 65 und 66). Für die VS St. Peter (Wasserbelastung/Lastfall: nicht drückendes Wasser, siehe Seite 15) wird empfohlen, KMB mit einer Trockenschichtdicke von 3 mm in 2 Arbeitsgängen zu errichten. Die Untergrundvorbereitung für die KMB erfolgt wie in Kapitel 5 aufgeführt (siehe Seite 60). Die Arbeitsgänge erfolgen frisch in frisch [28]. Augenmerk sollte auf eine minimale Trockenschichtdicke bzw. auf die Reduzierung der Schichtdicke mit der Trocknung gerichtet werden. Gewebe- oder Verstärkungsanlagen sind nicht erforderlich - Lastfallbedingt nach der [28]. Es ist notwendig, die Vertikalabdichtung vor mechanischen Beschädigungen zu schützen. Zu diesem Zweck wird die Anwendung einer Polyethylen-Noppenbahn mit Gleitfolie und einem aufkaschierten Polypropylen- Filtervlies auf der äußeren Seite empfohlen. Das aufkaschierte Polypropylen-Filtervlies verhindert das Einschlüssen von Bodenfeinteilen in der Noppenbahnstruktur. Die Gleitfolie erlaubt die Bewegungen der Noppenbahn, wodurch Punktbelastungen und Beschädigungen der Abdichtung vermieden werden.

Bei der Erstellung der Vertikalabdichtung oberhalb der Geländeoberkante unterscheidet sich der Aufbau des verputzten Betonsockels von dem des Natursteinsockels. Bei dem verputzten Sockel sind die alte Putzschicht zu entfernen und der Untergrund vorzubereiten. Die Erstellung der Vertikalsperrschicht erfolgt mittels Dichtungsschlämmen (siehe Seite 57). Bei dem Natursteinsockel ist es, aufgrund des Denkmalschutzes nicht möglich die Vertikalsperrschicht von außen anzubringen. Deswegen ist es erforderlich, die Sperrschicht innerhalb der Außenwände zu errichten (siehe Sockelsanierung).

Es wird davon ausgegangen, dass der Natursteinsockel nicht in das Mauerwerk eingemauert wurde, sondern dass die Kelleraußenwände in dem alten Teil des Gebäudes als Bruchsteinmauerwerk hergestellt wurden (Bruchsteinmauerwerk). Für die Herstellung der Feuchtigkeitsabdichtung in diesem Bereich ist ein teilweiser Mauerwerksaustausch geplant (siehe Seite 52). In Rahmen dieser Arbeiten wird abschnittsweise die erste Steinschicht von außen entfernt. Die Steine werden von altem Mörtel gereinigt und vorsichtig gelagert. Über die entfernten Teile des Natursteinsockels ist eine ebene Fläche aus Kalkzement zu ziehen, worauf mineralische Dichtungsschlämme in zwei Arbeitsgängen angebracht werden. Nach der Austrocknung wird wieder Kalkzement als Schutzschicht gegen mechanische Beschädigungen angebracht. Die gereinigten Natursteine werden danach in der gleichen Reihenfolge zurückgelegt und mit entsprechendem Fugenmörtel verdichtet (siehe Sockelsanierung).

Der Mauerwerksaustausch kann genutzt werden, um noch ein Feuchtigkeitsproblem zu beheben. Bei den Fensterleibungen unterhalb der Grazer Fenster besteht auf Grund von Wärmebrücken, die durch unterschiedliche Wandgeometrie verursacht wurden, ein Feuchte- und Schimmelrisiko (siehe Seite 31). Um dieses Problem zu lösen, wird vorgeschlagen, dass Mauerwerk unterhalb der Kastenfenster zu entfernen und mit

anderem Material mit besseren thermischen Eigenschaften zu ersetzen, wodurch kein Unterschied in der Wärmeübertragung zwischen Fensterleibungen (Wandstärke 30 cm) und dem Rest der Kellerwand (60 cm) mehr bestehen würde.

Sanierungsvorschlag ist die Neuerstellung der Fensterleibungen unter Verwendung von Ytong Porenbetonsteinen (25cm, $\lambda=0,16\text{W/mK}$). Die Bestandsaufnahme weist darauf hin, dass der Sockel um die Grazer Fenster schon verputzt ist (siehe Abb. 3.13), was keine Anforderungen an den Denkmalschutz stellt, bzw. keine Neuerstellung des Natursteinsockels in diesem Bereich notwendig wird. Nach der Neuerstellung der Fensterleibungen ist geplant, den Sockel um die Fenster mit mineralischen Dichtungsschlämmen in zwei Arbeitsgänge zu verdichten und danach mit dem Sockelputz zu verputzen. Vorgesehen ist jedoch, die Vertikal- und Horizontalabdichtung innerhalb des Bauteils wegen dem Rest der Wand aus Natursteinsockel herzustellen.

Die Modellberechnung des neu geplanten Bauteils aus 30 cm Ytong-Stein wird mit dem Programm AnTherm® (Hersteller T. Kornicki) durchgeführt. Auf diese Weise wird die Auswirkung der geplanten Sanierungsmaßnahmen dargestellt.

Die U-Wert Berechnung der 30 cm Ytong-Wand erfolgt mittels ETU Gebäudeprofi (siehe Abb.6.3). Dabei wird die Verbesserung des U-Werts im Vergleich zum 30 cm bzw. 60 cm starkem Natursteinmauerwerk (siehe Seite 27) gezeigt.

Schichtenaufbau: Außenwand-Ytong 30 cm

Nr.	Bezeichnung	Dicke cm	λ W/m·K	R m²K/W	μ_1 –	μ_2 –	ρ kg/m³	C_p kJ/kg·K
1	Kalk-Zementputz	2,00	1,000	0,02	25	25	1800,0	1,12
2	YTONG Verbundstein 30 cm	30,00	0,160	1,88	5,0	5,0	600,0	1,12
3	Kalk-Zementputz	2,00	1,000	0,02	25	25	1800,0	1,12

U-Wert-Berechnung nach EN ISO 6946

Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se} = 2,09 \text{ m}^2\text{K/W}$
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_T = 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$

Wärmeübergangswiderstände

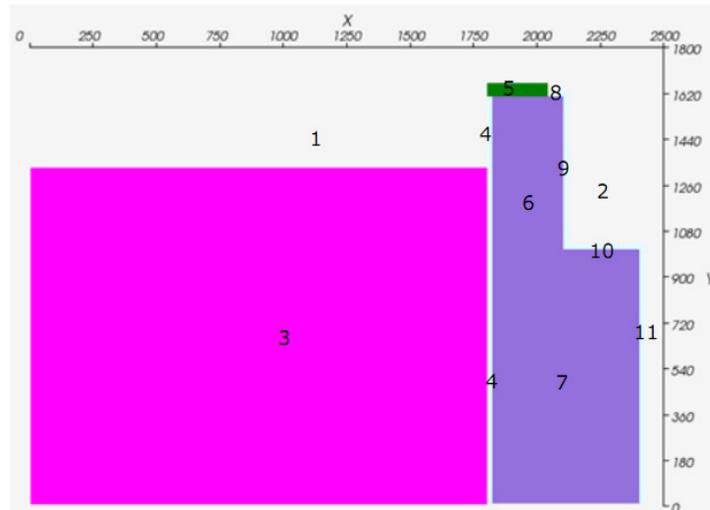
Wärmeübergangswiderstand innen R_{si}	0,13 m²K/W
Wärmeübergangswiderstand außen R_{se}	0,04 m²K/W
Wärmestromrichtung	horizontal
Bauteil grenzt an	Außenluft

Zusammenfassung

U-Wert	0,48 W/m²K
Wärmedurchlasswiderstand	1,92 m²K/W
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit CP 3cm	50,09 kJ/m²K
Wirksame Wärmespeicherfähigkeit CP 10 cm	50,09 kJ/m²K
Spezif. Bauteilmasse	252,00 kg/m²
Dicke	34,00 cm

Abb. 6. 3: U-Wert Berechnung (30 cm Ytong MWK), U-Wert = 0,48 W/m²K

Der Nachweis der Vermeidung des Risikos für Schimmelbildung und Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche wird mittels Programm Antherm® durchgeführt (Berechnungsmodell Abb. 6.4):



1. Raumzelle - (0, 0, 0) x (1800, 1650, 1000) Raum: "Aussen" Oberfläche: "EN ISO 13788:2001 Wände und Decken etc. (Beurt.v.Schimmel- u. Tauwasserbildung) Rse" $R_s=0,04$ ($\alpha=25$)
2. Raumzelle - (2042, 0, 0) x (2450, 1650, 1000) Raum: "Innen" Oberfläche: "EN ISO 13788:2001 Wände und Decken etc. (Beurt.v.Schimmel- u. Tauwasserbildung) Rsi" $R_s=0,25$ ($\alpha=4$)
3. Baustoffzelle - (0, 0, 0) x (1800, 1318,299, 1000) Bez.: "Erde (Feucht)" $\lambda=2,1$
4. Baustoffzelle - (1800, 0, 0) x (1820, 1600, 1000) Bez.: "Außenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
5. Baustoffzelle - (1800, 1600, 0) x (2042, 1650, 1000) Bez.: "Kastenfenster $U = 2,5$ W/m²K" $\lambda=0,45$
6. Baustoffzelle - (1820, 1000, 0) x (2100, 1600, 1000) Bez.: "Ytong 30 cm" $\lambda=0,16$
7. Baustoffzelle - (1820, 0, 0) x (2400, 1000, 1000) Bez.: "Natursteinmauerwerk" $\lambda=2,3$
8. Baustoffzelle - (2042, 1600, 0) x (2120, 1620, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
9. Baustoffzelle - (2100, 1000, 0) x (2120, 1600, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
10. Baustoffzelle - (2120, 1000, 0) x (2420, 1020, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$
11. Baustoffzelle - (2400, 0, 0) x (2420, 1000, 1000) Bez.: "Innenputz (Kalkzementputz)" $\lambda=1$

Abb. 6. 4: Berechnungsmodell mit Ytong Stein - Punkt 6 (Antherm®)

Randbedingungen und resultierende Oberflächentemperaturen / Grenzfeuchten d. Raumluft

	Raumtemperatur [°C]	min. Temperatur [°C]	max. Temperatur [°C]	Kondensat. rF [%]	f_{Rsi}^*
Aussen	-10,00	-9,58	-8,01	100,00 %	
Innen	20,00	11,91	16,96	59,64 %	0,73

Gewichte für den kältesten Oberflächenpunkt eines jeden Raumes

	Aussen	Innen
g(Aussen)	0,986008	0,269583
g(Innen)	0,013992	0,730417

Koordinaten (x,y,z) des kältesten Oberflächenpunktes eines jeden Raumes

	x [mm]	y [mm]	z [mm]	Temp.[°C]	f_{Rsi}^*
Aussen	0,0000	1318,2990		-9,58	
Innen	2124,0000	1020,0000		11,91	0,73

Abb. 6. 5: Randbedingungen und Berechnungsergebnisse (Antherm®)

Nach Abb.6.5 ist die Konstruktion mit YTONG Stein hinsichtlich der Vermeidung des Risikos für Schimmelbildung und Kondensation an der inneren Bauteiloberfläche in Ordnung.

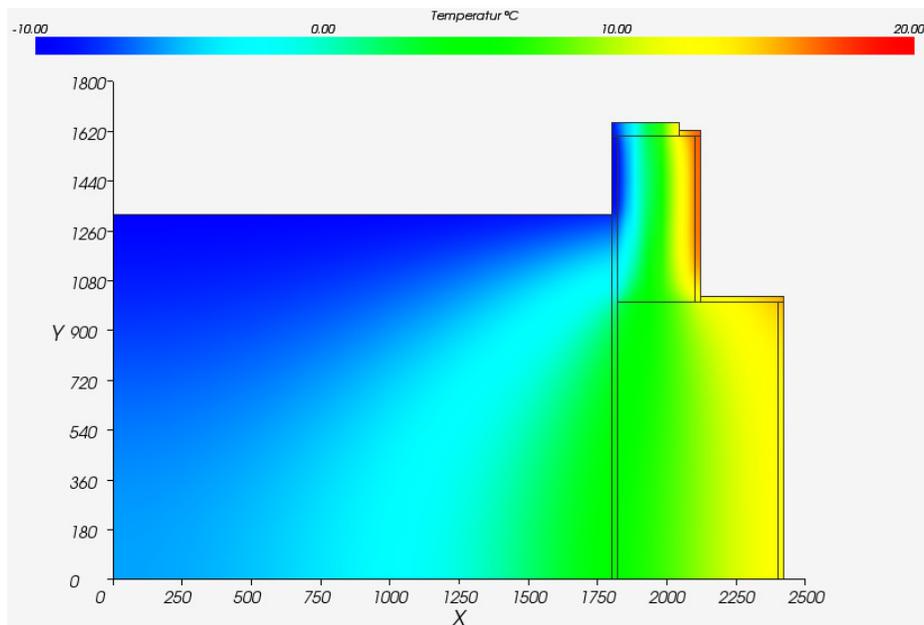


Abb. 6. 6: Wärmeverteilung bei der Außenwand mit Ytong(Antherm®)

Auf der Abbildung 6.6 ist die Wirkung der Sanierungsmaßnahmen gezeigt. Anstatt an der 30 cm Wand, tritt hier die niedrigste Oberflächentemperatur am 60 cm Natursteinmauerwerk auf, wobei kein Risiko der Kondensation und Schimmelbildung an der Wandoberfläche besteht.

6.4 Flächenabdichtung der Fußboden

Weil es beider Bestandsanalyse unmöglich war, den Kellerbodenausbau genau zu bestimmen, basiert die Erstellung der Flächenabdichtung der Fußböden auf der Annahme, dass die Betondecke eine Stärke von 8 cm aufweist. Es ist vor den Sanierungsarbeiten mit einer Schürfgrube noch zu überprüfen, ob diese Vermutung stimmt (siehe Seite 33). Damit wird auch zweifellos bestimmt, ob im beheizten Kellerbereich noch eine Feuchtigkeitsabdichtung zwischen Betonplatte und PVC-Belägen existiert und wenn ja, ob der Zustand der Abdichtung zufriedenstellend ist. Hier wird angenommen, dass es keine Abdichtung oberhalb der vorhandenen Betonplatte gibt.

6.4.1 Errichtung der Flächenabdichtung

Eine Flächenabdichtung der Fußböden ist durch die Verwendung von Polyethylen Folie geplant, die auf die bestehenden Betonböden im Keller mit mindestens 10 cm Überlappung vollflächig verklebt wird. Als Abdichtungsuntergrund kann die bestehende Kellerbetonplatte dienen (erforderliche Mindeststärke 8 cm). Der Abdichtungsuntergrund sollte davor jedoch mechanisch gereinigt werden, womit bestehende Bodenbeläge entfernt werden. Es ist auch notwendig, alle Unebenheiten im Betonboden auszugleichen. In Abhängigkeit von den Anforderungen an den Wärmeschutz, wird auf der Flächenabdichtung ein Wärmedämmschicht verlegt. Ein Estrich mit Abdeckfolie und

Bodenbelag wird darauf verlegt (Abb. 6.7). Es ist darauf zu achten, dass die Überlappung zwischen der Flächenabdichtung der Fußböden und der unteren Horizontalabdichtung ausreichend ist (10 cm).

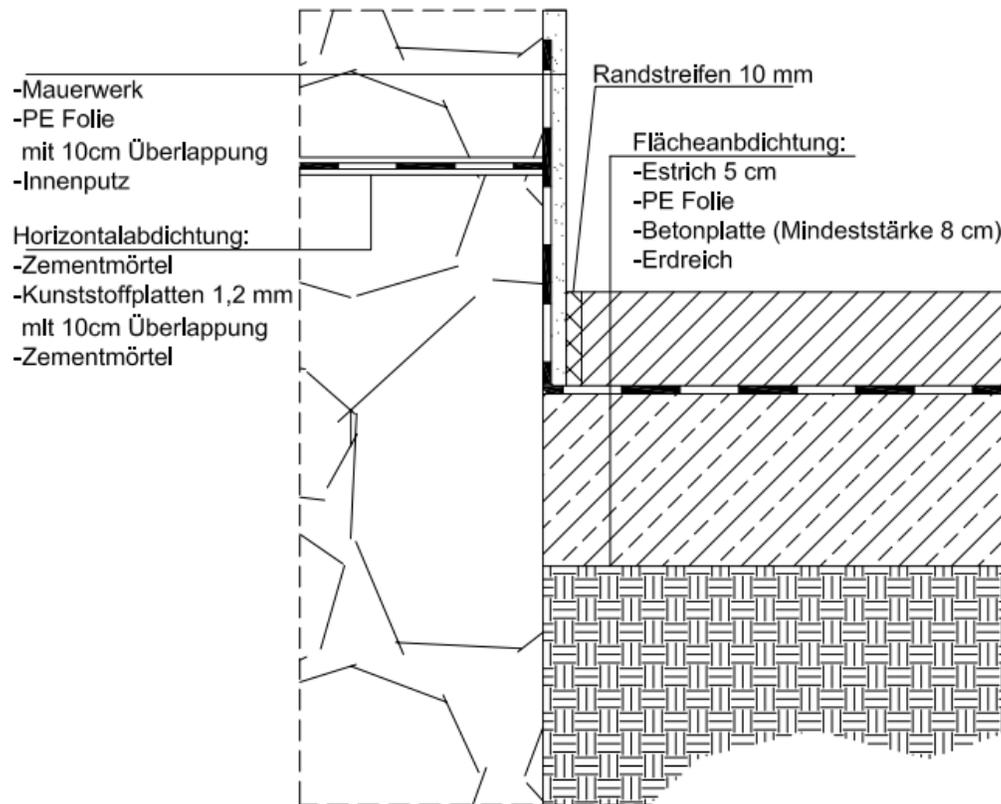


Abb. 6. 7: Flächenabdichtung von Fußboden

6.5 Drainage

Zur Reduzierung der Wasserbeanspruchung an den Kellerwänden ist eine Drainage vorgesehen. In dem geotechnischen Gutachten (Kap. 3.2) wurde festgestellt, dass der Boden um die St. Peter Volksschule ein bindiger Boden mit geringer Wasserdurchlässigkeit ist, was die Errichtung einer Drainage erforderlich macht (siehe Seite 15). Es wurde auch festgestellt, dass die Regenwasserrohre Abmessungen von DN 150 bis DN 200 aufweisen (siehe Abb. 3.7) und dass die Entwässerung in den Petersbach abfließt. Die Entwässerung der befestigten Hoffläche bzw. der Kfz-Stellplätze sollte nicht über den Regenwasserkanal erfolgen (Schmutzwasser).

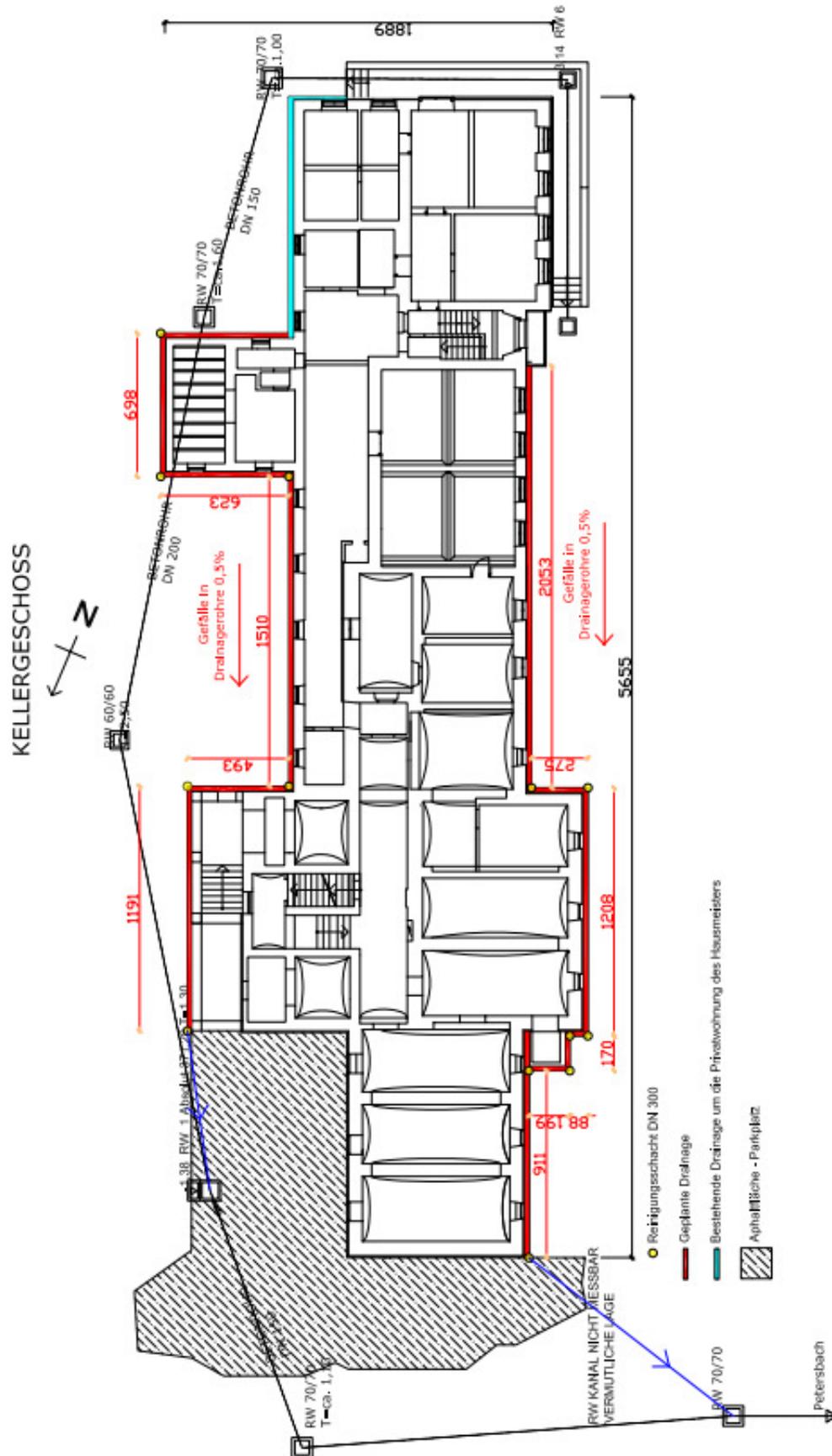


Abb. 6. 8: Geplante Drainage

Die Errichtung der Drainage erfolgt nach dem Abschluss der Abdichtungsarbeiten. Zu diesem Zweck wird die Baugrube genutzt, die für die Abdichtungsarbeiten ausgehoben wurde. Die Errichtung der Drainage erfolgt nach der Regelausführung (Regelausführung, siehe Seite 69, Tab.5-3).

Die Durchführung der Drainage erfolgt in folgenden Arbeitsschritten:

- Rohrleitungsplanum (Betonbett)
Das Rohrleitungsplanum aus Beton ist in einem Mindestabstand von 20 cm unterhalb der unteren Horizontalsperrschicht zu erstellen. Es ist darauf zu achten, dass das Betonbett nicht unterhalb der Kellerwände liegt. Das Betonbett ist mit einer Neigung von 0,5% zu errichten.
- Rohrverlegung (Mindestnennweite DN 100)
Auf das fertige Rohrleitungsplanum werden PVC-Drainagerohre (DN 100) verlegt. Zu diesem Zweck werden PVC-U Rohre mit einer Länge von 2,5 m und einer Muffenverbindung geplant.
- Spül- und Reinigungsschächte (mindestens DN 300)
- Spül- und Reinigungsschächte (mindestens DN 300) werden an Stellen der Richtungsänderung gebaut. Der Übergabeschacht (mindestens DN 1000) befindet sich am tiefsten Punkt, von wo das Dränagewasser in den Petersbach abgeleitet werden kann.
- Rohrummantelung (mindestens 15 cm dicken Schicht mit Körnung 0/32)
Die Rohre sollten mit einer mindestens 15 cm dicken Schicht mit Körnung 0/32 bedeckt werden.
- Sickerschicht (Kies 8/16)
Nach der Regelausführung (siehe Seite) wird geplant, eine Sickerschicht aus Kies 8/16 zu errichten. Die Sickerschicht sollte über eine Breite von 20 cm verfügen. Die Auffüllung der Baugrube sollte abschnittsweise und vorsichtig erfolgen. Obwohl bei der Vertikalabdichtung eine Polyethylen-Noppenbahn mit Gleitfolie und einem aufkaschierten Polypropylen- Filtervlies geplant ist, ist auf mechanische Beschädigungen zu achten. Die Sickerschichtoberfläche ist mit einer Neigung nach außen zu errichten. Damit wird die Beanspruchung des Sockelbereichs durch Spritzwasser reduziert.
- Filterschicht (Geotextilien)
Um die Rohrummantelung und die Sickerschicht ist eine Filterschicht aus Geotextilien geplant. Bei der Erstellung der Filterschicht ist es notwendig, die Geotextilien durch Verklammern oder Verkleben miteinander zu verbinden. Es ist erforderlich, eine Überlappung von 10 cm herzustellen.
- Baugrubenverfüllung
Der Rest der Baugrube wird wieder sorgfältig mit dem Erdaushub verfüllt. Bei der Verfüllung ist besonders auf mögliche Beschädigungen des Geotextils zu achten.

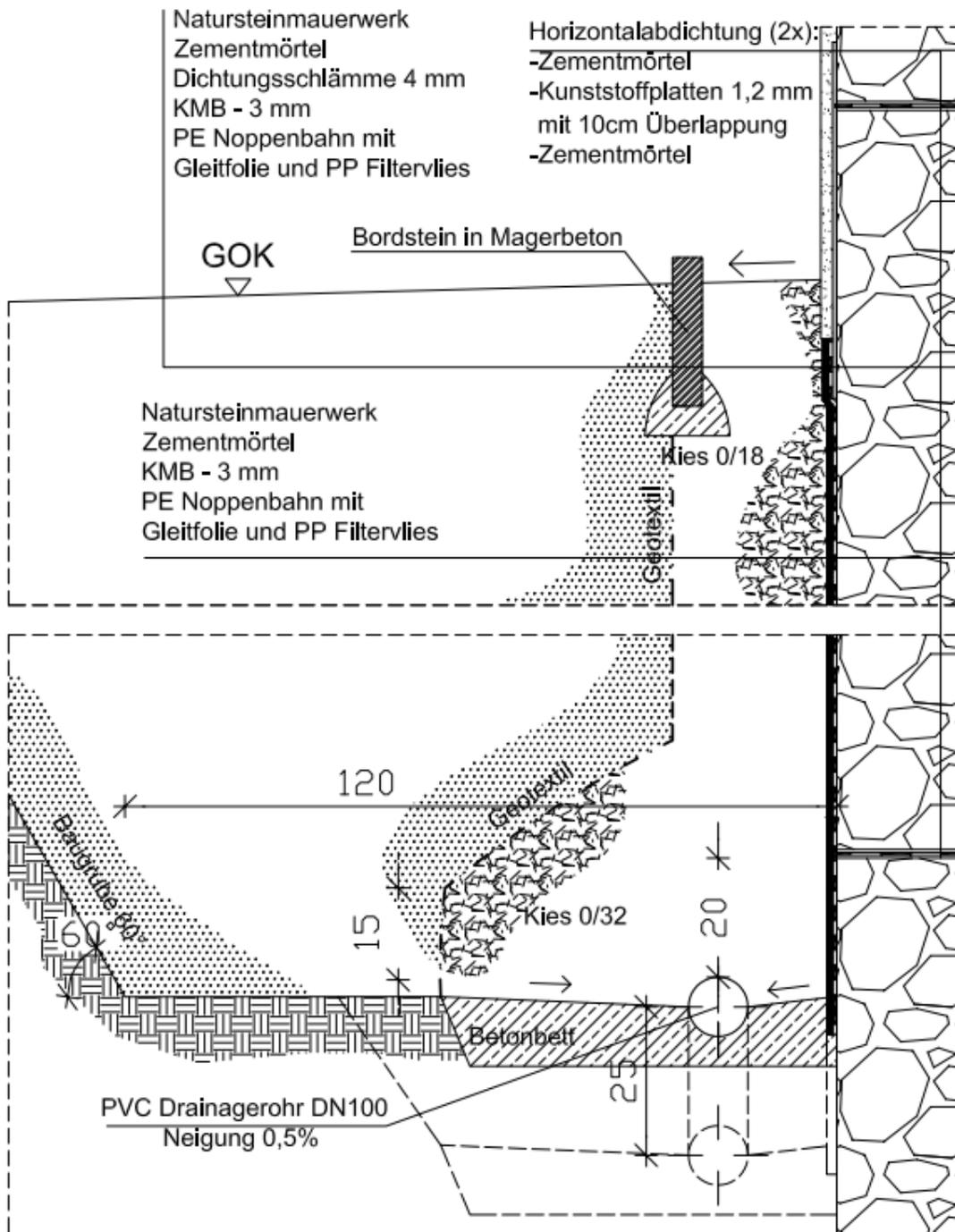


Abb. 6. 9: Schnitt Detail Drainage (verputzter Sockel)

6.6 Sockelsanierungen

Die Bestandsaufnahme zeigte die Anwesenheit von mehreren verschiedenen Arten von Gebäudesockeln (siehe Abb.3.3 und Abb.3.12):

- in dem alten Teil des Gebäudes: Natursteinsockel
- in dem neuen Teil des Gebäudes: Beton- bzw. verputzter Sockel

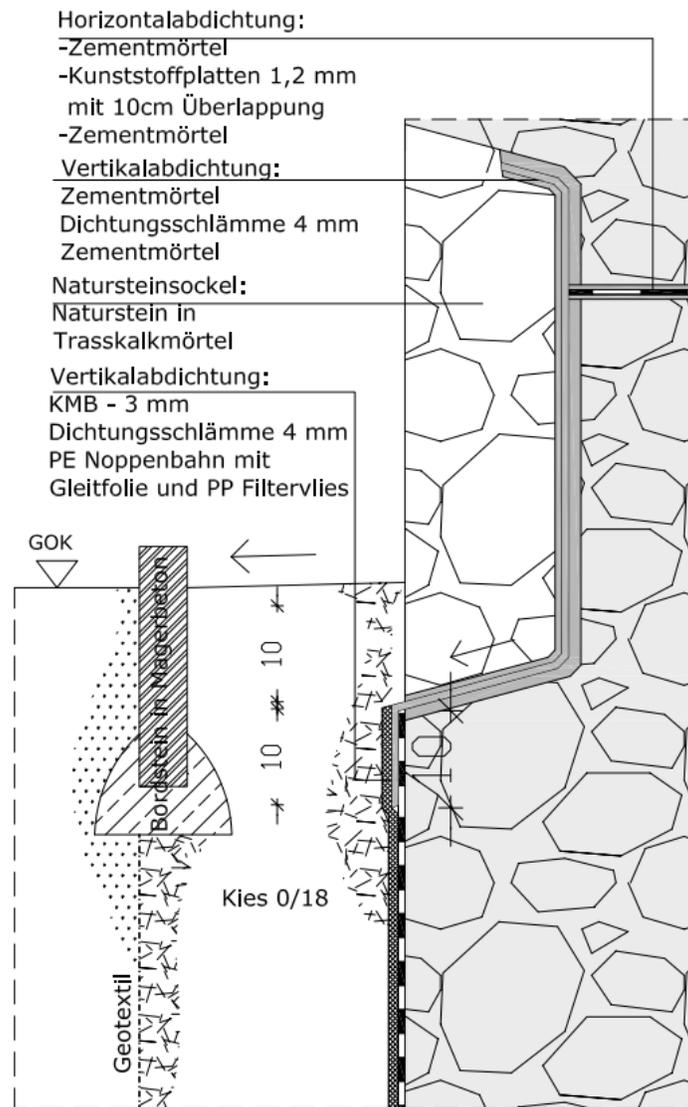


Abb. 6. 10: Sockelsanierung - Natursteinsockel

Die Bestandsaufnahme verweist auf die Schäden oberhalb des Steinsockels, die durch den kapillaren Wassertransport in den Mörtelfugen des Sockels verursacht wurden (siehe Seite 34-35). Bei einer Sanierung des Sockelbereichs ist zu beachten, dass das Fugenfüllmaterial frostfrei und beständig gegen kapillar aufsteigende Feuchtigkeit ist. Es empfiehlt sich, Trasskalkmörtel für die Fugenausbildung zu verwenden. Auf diese Weise wird kapillarer Feuchtetransport durch das großporige und gering kapillarwirkende Material stark reduziert. Der Trasskalkmörtel ist zwar nicht wasserbeständiger als dichter Zementmörtel, aber diese Abdichtungsfunktion wird nach der Sanierung von der Vertikalabdichtung (KMB) und der nachträglichen Abdichtung innerhalb des Mauerwerks im Sockelbereich übernommen. Trasskalkmörtel ist durch eine gute Verarbeitung gekennzeichnet, im Umgang damit muss auf Arbeitsschutz (keinen direkten Kontakt mit der Haut) und auf Mindestanforderungen gegen zu schnelle Austrocknung (Arbeitstemperatur über 5°C) geachtet werden. Der Trasskalkmörtel ist diffusionsoffen, was in Kombination mit diffusionsoffenen Dichtungsschlämmen eine optimale Konstruktion für die weitere Austrocknung der Außenwände darstellt.

Eine weitere Möglichkeit für die Sockelsanierung ist die Verwendung von Sockelputz. In diesem Fall sollten mineralische Dichtungsschlämme in zwei Arbeitsgängen auf den bestehenden Sockel angebracht werden. Auf den trockenen Untergrund wird danach ein Vorspritzmörtel für einen besseren Haftverbund und schließlich der Sockelputz aufgebracht. Die Mindestdicke des Sockelputzes muss 2 cm betragen [4]. Der Sockel im Erdbereich sollte mit einer KMB mit mindestens 10 cm Überlappung mit den Dichtungsschlämmen und einer entsprechenden Schutzschicht verdichtet werden. Auf diese Weise ist es möglich, den Beton- bzw. verputzten Sockel zu sanieren. Ob der Natursteinsockel auf die gleiche Weise verputzt werden darf, ist von der Denkmalbehörde abhängig. .

Von der Denkmalbehörde ist auch abhängig, ob die mit Naturstein gepflasterten Wege rund um die Schule nach der Sanierung neben dem Sockel bleiben können (siehe Abb. 3.47). Wenn das nicht erforderlich ist, könnte eine andere Möglichkeit wie z.B. ein Schotterkopf (Sickerschicht der Drainage) neben den Außenwänden die Spritzwasserbeanspruchung des Sockelbereichs reduzieren. Eine andere Möglichkeit ist, die Verlegung von Natursteinen im Sandbett. Bei allen Lösungen ist sicherzustellen, dass sie mit einer Konterneigung von der Fassade erstellt werden, damit die Spritzwasserbeanspruchung des Sockels reduziert wird.

6.7 Neuherstellung der Putzoberfläche

Für die Neuherstellung der Putzoberfläche im Außen- und Innenbereich ist es notwendig, den alten, beschädigten Putz abzustemmen. Der Putz sollte in den Kellerräumen auf der gesamten Wand entfernt werden. Abhängig von der Mauerwerksaustrocknung bzw. der Salz- und Feuchtebelastung (Durchfeuchtungsgrad $>20\%$, Salzbelastung nach Tab.4-2) ist es erforderlich, den Einsatz von Opferputzen in Betracht zu ziehen. Mit der Opferputze sollten die von Salz- und Feuchtigkeit höchstbeanspruchten Stellen mehrmals verputzt werden (Kelleraußenwände in den Bereichen der Auskristallisation).

Wegen der Belastung der Kellerwände durch Salz und Feuchtigkeit, wird der Einsatz von Sanierputz empfohlen. Abhängig von dem Erfolg der Sanierungsmaßnahmen und der übrigen Salzkonzentration, ist ein passendes Sanierputzsystem zu wählen (siehe Tabelle 5-4).

Es wird angenommen, dass der Versalzungsgrad in den Kellerwände nach den geplanten Sanierungsmaßnahmen gering sein und der Durchfeuchtungsgrad ungefähr bei 20% liegen wird.

Das Verfahren zur Herstellung eines Sanierputzsystems beginnt mit der Untergrundvorbereitung. Dies beinhaltet die Entfernung von alten Putzschichten und die mechanische Reinigung des Mauerwerks von losen Teilen und Staub. In den Kellerräumen wird die Entfernung des Altputzes an der ganzen Wandfläche empfohlen.

Vor der Anbringung des Sanierputzes, ist es erforderlich, eine Lage Saniervorspritz in einer Dicke von bis zu 5 mm anzubringen und mit einer Abdeckung des Untegrunds bis 50% zu versehen. Abhängig von dem gewählten Produkt, ist mit der Anbringung des Sanierputzes zu warten bis der Saniervorspritzer ausreichend trocken ist (24 Stunden).

Die Sanierputzmörtel sollten in einem Arbeitsgang in gleichmäßigen Schichtdicken auf den Untergrund angebracht werden. Alle Unebenheiten an der Mauerwerksoberfläche

sollten mit dem Ausgleichsmörtel ausgeglichen werden. Die erforderliche Mindestdicke für den Sanierputzmörtel beträgt 2 cm mit einzelnen Lagen von je 1 cm [6]. Nach der notwendigen Austrocknungszeit ist der Sanierputz mit diffusionsoffener Farbe zu beschichten.

Im Außenbereich muss der Putz in einer Höhe von bis zu 80 cm über der sichtbaren Schadensgrenze abgestemmt werden (siehe Abb. 6.1). Nach der Anbringung der Vertikalabdichtung und der Horizontalsperre im Sockelbereich sowie der notwendigen Sockelsanierung, ist es erforderlich, den Putzuntergrund vorzubereiten. Zu diesem Zweck wird der Putzuntergrund mechanisch gereinigt und die Fugen 2 cm tief ausgekratzt. Alle Unebenheiten an der Mauerwerksoberfläche sollten mit dem Ausgleichsmörtel ausgeglichen werden. Nach der Anbringung des Saniervorspritzes ist der Sanierputzmörtel in zwei Arbeitsgängen mit einer Mindestputzdicke von 2 cm aufzutragen. Wie im innerem Bereich ist darauf zu achten, dass die Fassadenfarbe diffusionsoffen ist.

6.8 Zusätzliche Sanierungsmaßnahmen

Zusätzliche Sanierungsmaßnahmen wie die Mauerwerkstentfeuchtung (siehe Kap. 5.5) und die Salz Entfernung (siehe Kap. 5.6) sind in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Wirksamkeitskontrolle durchzuführen. Es wird deshalb empfohlen, vor der Verputzung der Kellerwände genug Zeit für eine ausreichende Austrocknung des Mauerwerks einzuplanen. Sollte dies nicht möglich sein, ist die Montage einer automatischen Lüftungsanlage vorzusehen.

Es ist auch zu berücksichtigen, dass die Verwendung von Calcium-Silikat Platten in den Kellerräumen die wärmedämmenden und feuchtigkeitstechnischen Eigenschaften dieser verbessern kann. Die Anbringung der Calcium-Silikat Platten erfolgt auf der innere Seite der Kellerwände, damit wird auch dem Denkmalschutz der St. Peter Volksschule Rechnung getragen. Weil die Calcium-Silikat Platten diffusionsoffen sind, kann eine geringfügige Austrocknung der Kellerwände weiterhin stattfinden.

Bei einem Fensteraustausch ist auf die neuen Bedingungen nach der Sanierung zu achten. Bessere wärmedämmende Eigenschaften von neuen Fenstern in Verbindung mit nicht thermisch sanierten Gebäudehüllen führen zur Entstehung von schädlichem Kondensat und zwar nicht wie bisher an der Fensteroberfläche, sondern innerhalb der kühlen Kelleraußenwände, was zu neuen Schäden führen kann.

7 Zusammenfassung

Feuchtigkeitsschäden sind unvermeidliche Erscheinungen in den alten Gebäuden. Der Grund hierfür ist eine fehlende Feuchtigkeitsabdichtung, die eine schädliche Wassereinwirkung auf das Gebäude verhindern würde. In der Volksschule St. Peter hatte der falsch durchgeführte Ausbau der Kellerräume Einfluss auf das Auftreten von Feuchte- und Salzschäden. Die konstruktiven Arbeiten an der Erstellung der Feuchtigkeitsabdichtung wurden von keiner Kellermodernisierung gefolgt.

Vor der Entwicklung eines Sanierungsplans ist es notwendig, den Zustand des Gebäudes zu überprüfen. Mit der Bestandsaufnahme werden Baugrundbedingungen, Baugeschichte, Nutzung des Gebäudes und Feststellung von Gebäudeschäden erfasst. Baugrundbedingungen sind wichtig bei der Festlegung der Wassereinwirkung auf das Gebäude bzw. bei der Auswahl der angemessenen Feuchtigkeitsabdichtung. Ein geotechnisches Gutachten zeigt die Anwesenheit von bindigen Böden mit kleiner Wasserdurchlässigkeit, die den Einsatz einer Drainage erfordern.

Schäden wurden in den Kellerräumen und an den Außenwänden im Sockelbereich beobachtet. Im Keller wurden Schäden in Form von Salzausblühungen und Putzabplatzungen mit falschen Verdeckungsmethoden entdeckt. Das Fehlen von Schäden in bestimmten Teilen des Kellers lässt sich durch Reihen von Wartungsarbeiten erklären. Schäden wurden beim Sockel im Eingangsbereich, auf dem verputzten Sockel und oberhalb des Natursteinsockels festgestellt. Die Schäden im Sockelbereich sind möglicherweise auf die Wirkung von kapillar aufsteigender Feuchtigkeit zurückzuführen.

Die Ursache des Schadens muss mittels Laboranalyse der dem Mauerwerk entnommenen Proben überprüft werden. Die Laboranalyse umfasst die Bestimmung der Feuchtigkeit- und Salzkonzentration im Mauerwerk, mit denen es möglich ist, die Notwendigkeit und Anwendbarkeit von Sanierungsmaßnahmen zu ermitteln.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass die Schäden durch Einwirkung von Wasser und bauschädlichen Salzen aufgrund nicht vorhandener Feuchtigkeitsabdichtung entstanden sind. Der Sanierungsplan beinhaltet die Herstellung einer vertikalen und horizontalen Abdichtung als Maßnahmen, die der vollständigen Verhinderung des Eindringens von Wasser dienen. Für ihre Herstellung sind Vorbereitungsarbeiten vorgesehen, die die Freistellung der Kellerwände und Vorbereitung von Abdichtungsuntergrundumfassen. Die horizontale Sperrschicht ist in zwei Ebenen geplant, womit wird der kapillare Feuchtetransport verhindert werden soll. Die untere horizontale Sperrschicht befindet sich im Kellerfußbodenbereich und die obere oberhalb der Kellerfenster bzw. unterhalb der Kellerdecke. Der Sanierungsplan empfiehlt die Herstellung einer Vertikalabdichtung auf sämtlichen Kellerwänden bis zur Kellerdecke, wodurch eine Überlappung von Vertikal- und Horizontalabdichtung gesichert wird. Für eine vollständige Kellerabdichtung ist es erforderlich, auch eine nachträgliche Flächenabdichtung des Kellerfußbodens herzustellen.

Besondere Aufmerksamkeit sollte auf die Sockelsanierung gerichtet werden, in einer Weise, die das Auftreten von Schäden durch kapillar aufsteigende Feuchtigkeit ausschließen wird. Zur Verringerung der Wassereinwirkung ist die Ausführung einer Drainage rund um die Kellerwände erforderlich. Auf diese Weise ist es möglich, das Wasser aus dem umgebenden Erdbereich zu sammeln und weiter abzuleiten. Eine

weitere Entstehung von Schäden durch das schon in den Wänden anwesende Salz und die Feuchtigkeit kann mit flankierenden Sanierungsmaßnahmen verhindert werden. Diese Methoden umfassen Salzreduktion, Entfeuchtung der Wände und Erstellung einer neuen Putzoberfläche mit Sanierputz. Der Erfolg der Sanierungsarbeiten sollte mit der Kontrolle der Wirksamkeit über einen Zeitraum von 2 Jahren überprüft werden.

Literaturverzeichnis

- [1] ÖNORM B 3355-1: Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk, Teil 1: Bauwerksdiagnose und Planungsgrundlagen. Ausgabe: 15.01.2011
- [2] ÖNORM B 3355-2: Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk, Teil 2: Verfahren gegen aufsteigende Feuchtigkeit im Mauerwerk. Ausgabe: 15.01.2011
- [3] ÖNORM B 3355-3: Trockenlegung von feuchtem Mauerwerk, Teil 3: Flankierende Maßnahmen. Ausgabe: 15.01.2011
- [4] ÖNORM B 3345: Sanierputzsysteme für feuchtes und salzbelastetes Mauerwerk. Ausgabe: 01.06.2009
- [5] ÖNORM B 3346: Putzmörtel- Regeln für die Verwendung und Verarbeitung. Ausgabe: 01.07.2006
- [6] WTA Merkblatt 2-9-04/D: Sanierputzsysteme
- [7] WTA Merkblatt 2-10-06/D: Opferputze
- [8] WTA Merkblatt 4-3-98/D: Instandsetzung von Mauerwerk. Standsicherheit und Tragfähigkeit
- [9] WTA Merkblatt 4-4-04/D: Mauerwerksinjektion gegen kapillare Feuchtigkeit. Ersatz für WTA Merkblatt 4-4-96/D
- [10] WTA Merkblatt 4-5-99/D: Beurteilung von Mauerwerk - Mauerwerksdiagnostik
- [11] WTA Merkblatt 4-6-05/D: Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile
- [12] WTA Merkblatt 4-7-02/D: Nachträgliche Mechanische Horizontalsperre
- [13] WTA Merkblatt 4-11-02/D: Messung der Feuchte bei mineralischen Baustoffen
- [14] BONK, Michael (Hrsg.): Lufsky Bauwerksabdichtung. 7., vollst. aktualis. u. erw. Auflage, Vieweg+Teabner Verlag, Wiesbaden 2010. ISBN 978-3-8351-0226-2.
- [15] MOSCHIG, Guido F.: Bausanierung. 2., aktualisierte u. vollst. überarb. Aufl., Vieweg+Teabner Verlag, Wiesbaden 2008. ISBN 978-3-8351-0183-8
- [16] STAHR, Michael (Hrsg.): Bausanierung. 5., erweiterte und aktualisierte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2011. ISBN 978-3-8348-1406-7
- [17] WEBER, Jürgen; HAFKESBRINK, Volker (Hrsg.): Bauwerksabdichtung in der Altbausanieung. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2008. ISBN 978-3-8351-0198-2

- [18] FÖSSEL, Frank: Lexikon der Bauwerksabdichtung und Kellersanierung. Baulino Verlag, Waldshut – Tiengen 2005. ISBN 3-938537-05-1
- [19] BALAK, Michael; PECH, Anton: Mauerwerkstroekenlegung. Springer Verlag, Wien 2003. ISBN 3-211-83805-8
- [20] NEUMANN, Hans-Rudolf: Feuchteschäden und Trockenlegung von historischen Bauten. Erstausg., 1. Aufl. Fraunhofer IRB-Verl., Berlin 2004. ISBN 3-8167-6438-X
- [21] KABREDE, Hans-Axel; SPIRGATIS, Rainer: Abdichten erdberührter Bauteile. Fraunhofer IRB-Verl., Stuttgart 2003. ISBN 3-8167-6189-5
- [22] REUL, Horst: Handbuch Bautenschutz und Bausanierung. 4., überarb. und erw. Aufl. Verlag Müller, Köln 2001. ISBN 3-481-01642-5
- [23] GIEBELER, Georg: Atlas Sanierung. 1. Aufl. Verlag Birkhäuser, Basel 2008. ISBN 978-3-7643-8874-4
- [24] KNAUT, Jürgen; BERG, Alexander: Handbuch der Bauwerkstroeknung. 2., überarb. Aufl. Fraunhofer IRB-Verl. Stuttgart, 2007. ISBN 978-3-8167-7293-4
- [25] FRÖSSEL, Frank: Mauerwerkstroekenlegung und Kellersanierung. Fraunhofer IRB Verl. Stuttgart, 2001. ISBN 3-8167-4721-3
- [26] ÖNORM B 3651: Abdichtungsbahnen - Bitumenbahnen mit Glasvlieseinlage – Anforderungen. Ausgabe: 01.04.2005
- [27] ÖNORM B 7209: Abdichtungsarbeiten für Bauwerke – Verfahrensnorm. Ausgabe: 01.07.2002
- [28] DIN 18195: Bauwerksabdichtungen
- [29] DIN 4095: Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung

Internet

- [30] Entnahme von Mauerwerksproben, <http://www.bau-werke.com/BauWerke-Mauerwerksproben.htm> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [31] Darr – Trockenschrank, <http://www.hankammer.de> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [32] Mauerdurchtrennung, <http://www.trockene.beepworld.de> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [33] Chromstahlblechverfahren, <http://www.mauertrockenlegung.at> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [34] Maueraustauschverfahren, <http://www.die-heimwerkerseite.de> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [35] Drucklose Verfahren, <http://www.bautenschutz-rendsburg.de> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [36] Systeme für die Mauerwerksinjektion, <http://www.heinze.de> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [37] Fa. Georg Neu GmbH, <http://www.bau-neu.de> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [38] Fa. Karl Poglitsch, <http://www.mauertroc.com> [letzter Zugriff am 05.01.2012]
- [39] Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend – Klimadatenrechner, <http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/klimadatenrechner> [letzter Zugriff am 25.11.2012]
- [40] Prinz Kettensägentechnik, <http://prinz24.com/fahrbare-mauersaege> [letzter Zugriff am 25.11.2012]

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2. 1: Wasser am Bauwerk	7
Abb. 3. 1: Volksschule St. Peter,	11
Abb. 3. 2: Volksschule St. Peter, Ostfassade	11
Abb. 3. 3: VS. St. Peter, Fotodokumentation, Kellergeschoss außen.....	12
Abb. 3. 4: VS. St. Peter, Fotodokumentation, Kellergeschoss innen	13
Abb. 3. 5: topografische Unterlagen der Umgebung / Geländehöhen.....	14
Abb. 3. 6: Informationen aus der Baugrundkarte Graz,	15
Abb. 3. 7: Die bestehende Entwässerung von Niederschlagswasser.....	16
Abb. 3. 8: Dachboden	17
Abb. 3. 9: Grazer Fenster	17
Abb. 3. 10: Wiener Fenster	17
Abb. 3. 11: Einfachfenster	18
Abb. 3. 12: Der Plan des Gebäudes (Erdgeschoss).....	18
Abb. 3. 13: Grazerfenster	19
Abb. 3. 14: Wienerfenster (Klassenzimmer und Wohnung des Hausmeisters).....	19
Abb. 3. 15: Eingangsbereich	20
Abb. 3. 16: Beton- und Natursteinsockel	20
Abb. 3. 17: Die äußere Ecke der Wohnung.....	21
Abb. 3. 18: Drainage und Noppenbahn.....	21
Abb. 3. 19: Gewölbedecke im Keller.....	22
Abb. 3. 20: Gewölbedecke im Keller.....	22
Abb. 3. 21: Lager	22
Abb. 3. 22: Arbeitsraum	22
Abb. 3. 23: Die erdberührende Außenwand,.....	23

Abb. 3. 24: Die erdberührende Außenwand,.....	23
Abb. 3. 25: Musikzimmer.....	24
Abb. 3. 26: Schäden an der Holzverkleidung	24
Abb. 3. 27: Die Schäden oberhalb der Holzschalung.....	25
Abb. 3. 28: Stahlkellerfenster	25
Abb. 3. 29: die Schäden oberhalb der Holzschalung	25
Abb. 3. 30: Salzausblühung	25
Abb. 3. 31: Kellerklassenzimmer mit Grazer und Wiener Fenstern	26
Abb. 3. 32: U-Wert = 2,12 W/m ² K, 60 cm Naturstein-MWK	27
Abb. 3. 33: U-Wert = 2,94 W/m ² K, 30 cm Naturstein-MWK	27
Abb. 3. 34: Klimadaten für 8010 Graz [39].....	28
Abb. 3. 35 Schnitt des berechneten Bauteils	29
Abb. 3. 36: Detailangaben zu der Bauteilkonstruktionseingabe (AnTherm®).....	29
Abb. 3. 37: Graphische Darstellung der Niedrigsten Temperatur.....	30
Abb. 3. 38: Nachweis Ergebnisse.....	31
Abb. 3. 39: Fliesen an der Außenwand	32
Abb. 3. 40: Fliesen an der Außenwand	32
Abb. 3. 41: Salzausblühung	32
Abb. 3. 42: Salzausblühung	32
Abb. 3. 43: Schäden im Arbeitsraum.....	33
Abb. 3. 44: Schäden im Arbeitsraum.....	33
Abb. 3. 45: Fußboden: PVC Beläge	33
Abb. 3. 46: Schäden auf dem Sockel.....	34
Abb. 3. 47: Unterschiedliche Sockelhöhe	34
Abb. 3. 48: Verputzter- und Natursteinsockel.....	35
Abb. 3. 49: Putzabplatzungen	35
Abb. 3. 50: Betonsockel, Verputzte- und Natursteinsockel	36
Abb. 3. 51: Sockel am Eingang (Betonsockel)	36

Abb. 3. 52:Schäden am Sockel (Betonsockel)	36
Abb. 3. 53: Schäden am Sockel (Betonsockel)	36
Abb. 4. 1: Probenentnahme mit Bohrmaschine [30].....	40
Abb. 4. 2: Entnahmestelle	40
Abb. 4. 3: Feuchtigkeitsprofilen:.....	43
Abb. 4. 4: Feuchtigkeitsprofilen:.....	43
Abb. 5. 1: Horizontalabdichtung	47
Abb. 5. 2: Erfolgsquote für die Sanierung[19]	48
Abb. 5. 3: Trennung des Mauerwerks.....	49
Abb. 5. 4: Chromstahlblechverfahren [33].....	50
Abb. 5. 5.: Chromstahlblechverfahren	50
Abb. 5. 6: Überlappungsbereich [33]	51
Abb. 5. 7: Einbau mittels Presslufthammer [33]	51
Abb. 5. 8: : Kernbohrverfahren - Bohrlöcher	51
Abb. 5. 9: Maueraustausch	52
Abb. 5. 10: : Druckloses Verfahren - Bohrlochraster	54
Abb. 5. 11: : Verfahren unter Druck - Bohrlochraster.....	55
Abb. 5. 12: : Elektrophysikalisches Verfahren	56
Abb. 5. 13: : Außen und innen liegende Abdichtung nach [3].....	57
Abb. 5. 14: KMB als Vertikalabdichtung	61
Abb. 5. 15: : Flächeninjektion - Innerhalb des Bauteils.....	63
Abb. 5. 16: : Flächeninjektion - Vor den erdberührten Bauteilen.....	64
Abb. 5. 17: Durchdringungen	65
Abb. 5. 18: Abdichtungsanschlüsse: bituminöseAbdichtungsbahnen[3]	66
Abb. 5. 19: Abdichtungsanschlüsse:	67
Abb. 5. 20:Möglichkeiten zur Durchführung von Drainage.....	68

Abb. 5. 21: Regelausführung der Drainage nach [29].....	69
Abb. 5. 22: Bohrlochraster [3]	71
Abb. 5. 23: Bohrlochraster [3]	71
Abb. 5. 24: Bohrlochraster [3]	72
Abb. 5. 25: Salzreduktion - Injektionskompressenverfahren	73
Abb. 5. 26: Salzreduktion - Vakuum-Fluid-Verfahren	74
Abb. 5. 27:Wirkung von Sanierputz	75
Abb. 6. 1: Bereich der Außenputzsanierung	79
Abb. 6. 2: Sperrschicht (30 cm oberhalb GOK).....	81
Abb. 6. 3: U-Wert Berechnung (30 cm Ytong MWK), U-Wert = 0,48 W/m ² K	83
Abb. 6. 4: Berechnungsmodell mit Ytong Stein - Punkt 6 (Antherm®).....	84
Abb. 6. 5:Randbedingungen und Berechnungsergebnisse(Antherm®)	84
Abb. 6. 6: Wärmeverteilung bei der Außenwand mit Ytong(Antherm®)	85
Abb. 6. 7: Flächenabdichtung von Fußboden	86
Abb. 6. 8: Geplante Drainage.....	87
Abb. 6. 9: Schnitt Detail Drainage (verputzter Sockel)	89
Abb. 6. 10: Sockelsanierung - Natursteinsockel.....	90

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Bauschädliche Salze[23]	9
Tab. 4- 1: Eine Zusammenfassung der möglichen Probenentnahmen[10]	38
Tab. 4- 2: Wertung der Anionenkonzentration in Prozent der Masse nach[1]	45
Tab. 4-3: Wertung der Durchfeuchtungsgrade[1]	43
Tab. 5- 1: Injektionsmitteln und ihre Anwendungsverfahren	55
Tab. 5- 2: Schweißnahtverfahren abhängig von Art der Dichtungsbahn	62
Tab. 5- 3: Voraussetzungen für die Regelasführung [29]	69
Tab. 5-4: Maßnahmen in Abhängigkeit von Versalzungsgrad [6]	76