Frank Eger
Diplom-Restaurator für Steinobjekte

Konservierungskonzept

für die Epitaphe auf dem historischen Friedhof der Stadt Ravensburg

Balingen, den 26.10.2015

Inhaltsverzeichnis

1. Objekt 3
1.1 Objektbeschreibung 3
1.2 Gesteinsbeschreibung 4
2. Schadensanalyse an den Steinepitaphen 5
2.1 Gesteinsspezifische Schadensbilder 5
3. Untersuchungsbericht zur Salzbelastung an den Epitaphen 13
4. Schadenskartierung 15
5. Konservierungskonzept 17
5.1 Konservierungskonzept für die Steinepitaphe aus Molassesandstein 17
Alte Steinergänzungsmörtel/Kittungen/Schlämmen 19
Vorfestigung 19
Rissverklebung 20
Hinterfüllung von Schalen 20
Vernadelung von Rissen 20
Anböschungen und Kittungen 21
Festigung 22
Antragung von Steinergänzungsmörtel 22
Retusche und Überarbeitung alter Steinergänzungsmörtel 23
Wiederaufbau und Neuverfugung 23
5.2 Konservierungskonzept für den Steinepitaph aus Kalkstein 24
Alte Steinergänzungsmörtel/Klttungen/Schlämmen 26
Rissverklebung 26
Hinterfüllung von Schalen 27
Vernadelung von Rissen 27
Anböschungen und Kittungen 27
Antragung von Steinergänzungsmörtel 28
Retusche und Überarbeitung alter Steinergänzungsmörtel 29
Wiederaufbau und Neuverfugung 29
6. Kostenschätzung 30

1. Objekt

1.1 Objektbeschreibung

Ort: Stadt Ravensburg
Objekte: 26 Steinepitaphe an der ehemaligen Friedhofsmauer
Standort: Ravensburg, Baden-Württemberg

Beschreibung:
Die Steinepitaphe aus vorwiegend Molassesandstein und Kalkstein stehen längs der ehemaligen Friedhofsmauer bzw. sind an ihr befestigt und in die Nischen eingemauert. Es handelt sich dabei um Steinepitaphe ehemaliger Ravensburger Bürger ab dem frühen 15. Jahrhundert bis zu klassizistischen Grabmälern aus dem 19. Jahrhundert. Die Grabsteine wurden bereits vor einigen Jahren restauriert. Es sind mindestens zwei Restaurierungsphasen feststellbar.

1.2 Gesteinsbeschreibung

Das verwendete Gesteinsmaterial ist als Molassesandstein anzusprechen. Der Begriff Molasse entstammt vermutlich dem lateinischen „mollis“ – weich, dem mhd. malen und dem indogerm. mel – zerreiben, zermalen, mahlen, und wird heute in der Geologie für die „weichen“ Ablagerungsgesteine nördlich der Alpen gebraucht, die sich bis ins Tertiär in einem riesigen Becken im Voralpenland der heutigen Schweiz, Deutschlands und Österreichs niedergeschlagen haben.
Der Molassesandstein ist ein glaukonitführender Plattensandstein der oberen Meeresmolasse aus dem Bodenseeraum (Tertiär). Neben den Brüchen bei Hof Forst kommt als Herkunftsort vor allem Rohrschach und Entlebuch (Schweiz) in Betracht, aber auch die Brüche um Überlingen wurden stets genutzt. Die Brüche auf der Schweizer Bodenseeseite haben auch heute noch überregionale Bedeutung.
Neben einer kieseligen Bindung zeigt er des Weiteren auch kalkhaltige und vor allem tonmineralhaltige Bestandteile.

Der Kalkstein ist als Adneter Marmor anzusprechen. Ist jedoch im petrologischen Sinne ein Kalkstein und kein Marmor. Dieses Gestein zählt zu den sogenannten Riffkalken und Knollenkalken.
Die Bezeichnung dieses Natursteins als Marmor hat historische Wurzeln und kann deshalb weiter verwendet werden. Es handelt sich um ein Gestein, dessen Verwendung eine lange geschichtliche Tradition im Mitteleuropa vorzuweisen hat. Durch seine unterschiedliche Farbgebung und sein Dekor war es als Denkmalgestein sehr begehrt. Das Gesteinsvorkommen befindet sich in Adnet, einer Gemeinde im Salzburger Land im Bezirk Hallein in Österreich. Die Marmorbrüche stellen eine eigene Ortslage dar. Entstanden ist das Gestein als Ablagerungen im Mesozoikum aus Kalkschalen und Skeletten abgestorbener Tiere sowie Kalkgerüste von Pflanzen im Meer; die sogenannten Riff- und Korallenkalke entstanden in der Trias. Letztere werden in Adnet als *Tropfmarmore* bezeichnet.
Dieser Kalkstein besteht ganz überwiegend aus Calcit, den Kristallisationsformen des Calciumcarbonat (kohlensaures Calcium $CaCO_3$). In mehr oder minder schwankenden Anteilen kommen Eisenoxide vor, wie Hämatit, das rötlich bis rot oder Limonit, das das Adneter Gestein gelb bis braun färbt.
Der Kalkstein zeigt am Epitaph einige kleinere Risse und Auswaschungen, hat sich ansonsten jedoch sehr gut erhalten. Die frühere Politur ging verloren und somit auch die eigentliche intensive Farbgebung des Steinmaterials.

2. Schadensanalyse an den Steinepitaphen

2.1 Gesteinsspezifische Schadensbilder

Aufgrund der direkten und indirekten Bewitterung (direkte Beregnung) sind an den Sandstein-Epitaphen vor allem Feuchteschäden durch hygrisches Quellen und Schwinden des Steingefüges (Dilatation und Kontraktion), sowie Schäden durch Schadsalze festzustellen.

Das verwendete Steinmaterial zeigt unterschiedliche Schadensphänomene. Es kommt dabei hauptsächlich zu Gesteinsablösungen parallel zur Steinschichtung[1]. Die Verwitterungsanfälligkeit von Molassesandstein im Allgemeinen, ist vor allem auf die Anwesenheit von quellfähigen Tonmineralen und den hohen Feinporenanteil des Gefüges zurückzuführen. Der Molassesandstein zeigt dabei eine hohe Wasseraufnahme mit ausgeprägtem Quellverhalten und einer nur sehr langsamen Trocknung. Die Karbonatanteile führen zur Bildung von Gipskrusten[2].

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem Tonmineralgehalt des Steins und der hygrischen Dilatation. Nach SCHUH (1987) wird Wasser durch Hydratation der austauschbaren Kationen an die Tonminerale angelagert. Dieses wird bei weiterem Wasserangebot durch osmotischen Druck zwischen die einzelnen Tonlagen gezogen und weitet diese auf. Es kommt zur beträchtlichen Vergrößerung der Tonmineraloberfläche[3]. Diese Vorgänge passieren bereits durch Einlagerung von Wasser im Luftfeuchtebereich. Die zeitliche und in der Steintiefe örtlich versetzte Veränderungen dieser Zustände, führt dabei zu gegenläufigen Gesteinskontraktions- bzw. Dilatationsprozessen benachbarter Gesteinszonen, welche sich zu oberflächennahen Spannungen aufbauen können, die dann über entsprechend häufige Klimawechsel zur Schädigung des Gesteins an der Oberfläche führen. Die entsprechenden Schäden sind an den Epitaphen abzulesen.

Nach KOWNATZKI (1997) bedeutet der hohe Anteil von Mikroporen bei Sandsteinen eine Verlangsamung der kapillaren Wasseraufnahme. Das Wasser verdunstet dann, bedingt durch die Kleinstporen im Innern, und diffundiert dann an die Oberfläche des Werksteins. Dieser ebenfalls verlangsamte Wasserabgabeprozeß und der so erhaltene hohe Feuchtegehalt, bietet ausreichend lang Feuchtigkeit und Zeit für entsprechende Lösungsprozesse bzw. Hydratation und Einlagerung in Tonmineralschichten.

---

[1] Kownatzki,R. (1997), S. 216
[2] Untersuchungsbericht MPA Stuttgart, 10.03.2008
[3] Schuh,H. (1987), S. 29

Verwitterung durch Salz- bzw. Eissprengung infolge Kristallisations- und Hydratationsdruck sind hier ebenfalls zu nennen. Dabei sind Wechselwirkungen mit der hygrischen Dehnung der Tonminerale aufgrund von Veränderungen der Quellbeträge zu beobachten. Die ungleichmäßige Salzbelastung führt zu unterschiedlichem Ausdehnungs- und Kontraktionsverhalten des Gesteins.

Einwanderung von Salzen durch im Boden gelöste Schadsalze bzw. durch verwendete Zemente des Putz- und Mauermörtels der Mauer konnten ebenfalls augenscheinlich festgestellt werden. Schadsalze gehen je nach Luft-/Materialfeuchtegehalt im Stein in Lösung bzw. kristallisieren sie unter immenser Volumenszunahme im Steingefüge aus, welches so auf Dauer immer weiter aufgelockert und zerstört wird.

Es wurden Gesteins- und Mauerwerksproben an die Materialprüfanstalt Baden Württemberg zur Analyse gesendet. Die Untersuchungsergebnisse bestätigten den Verdacht (siehe hierzu Untersuchungsbericht MPA).
Da die einzusetzenden Steinfestigungsmittel auf Kieselsäureethylestheresterbasis (KSE) in salzhaltigem Stein nicht oder nur unzureichend funktionieren bzw. unkontrolliert ausreagieren. muss im Vorfeld geklärt werden, in welchem Maße, welche Schadsalze vorhanden sind und ob es hierzu Möglichkeiten einer Minimierung des Salzgehaltes im Stein vor einer kostenintensiven Steinkonservierungsmaßnahme gibt. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Molassesandsteine die oben genannten Schadensmechanismen sehr deutlich ausprägen.

Des Weiteren ist teilweise ein sehr starker flächiger biogener Bewuchs an den Epitaphen festzustellen. Alle Epitaphe aus Molassesandstein zeigen ein flächiges leichtes Absanden der Steinoberfläche, hierbei lösen sich einzelne Körner oder zusammenhängende Kornaggregate.

Abbildung 1
Leicht abschuppende Steinoberfläche und defekte Fugenmörtel.

Abbildung 2
Abschuppende, lasierte Oberfläche und starke Riss- und Hohlstellenbildung.

Abbildung 3

Verschmutzungen, Flecken und Kittungen einer früheren Steinkonservierungsmaßnahme.

Abbildung 4

Farbfassungsreste (Graffiti?!), abschuppende und aufplatzende Steinoberfläche.

Abbildung 5

Rissbildung zur Gesteinsschichtung (Textur) und kleinteilige Schuppen- und Schalenbildung.

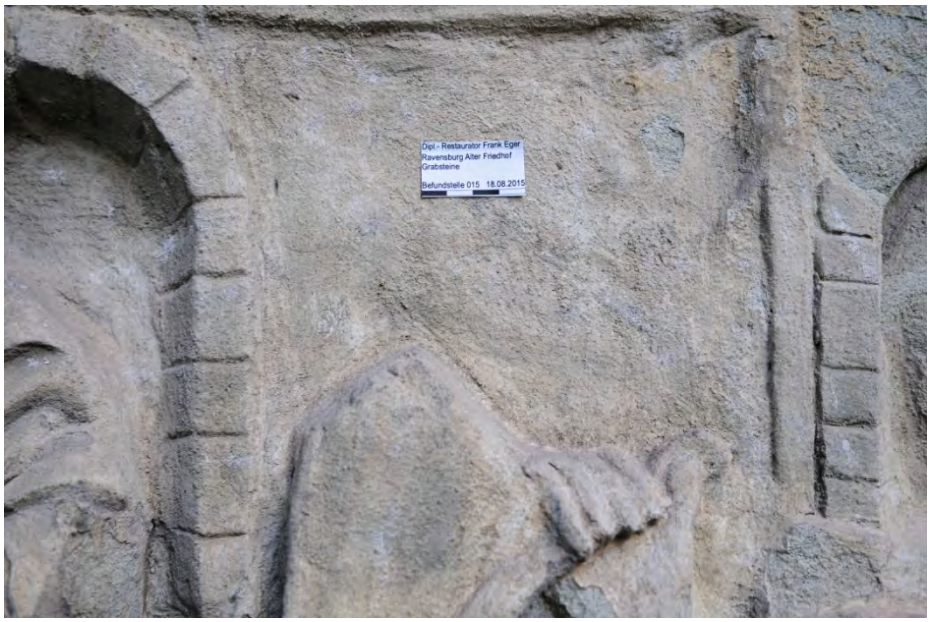

Abbildung 6

Großflächige Mörtelüberformung, welche teilweise hohlliegt.

Abbildung 7

Riss- und Schalenbildung, sowie Steinergänzungsmörtel und Kittungen von zwei unterschiedlichen Restaurierungsphasen.

Abbildung 8

Epitaph aus Kalkstein. Kalksteintypische Rückwitterung/Rissbildung und großflächige Steinergänzung.

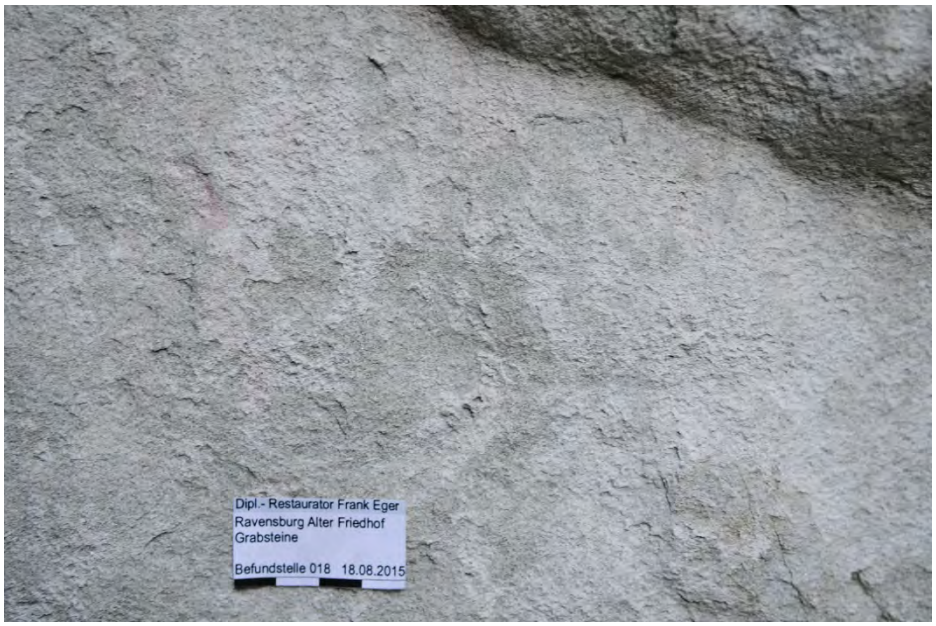

Abbildung 9

Großflächige Überschlämmung der abschuppenden Steinoberfläche mit Restauriermörtel.

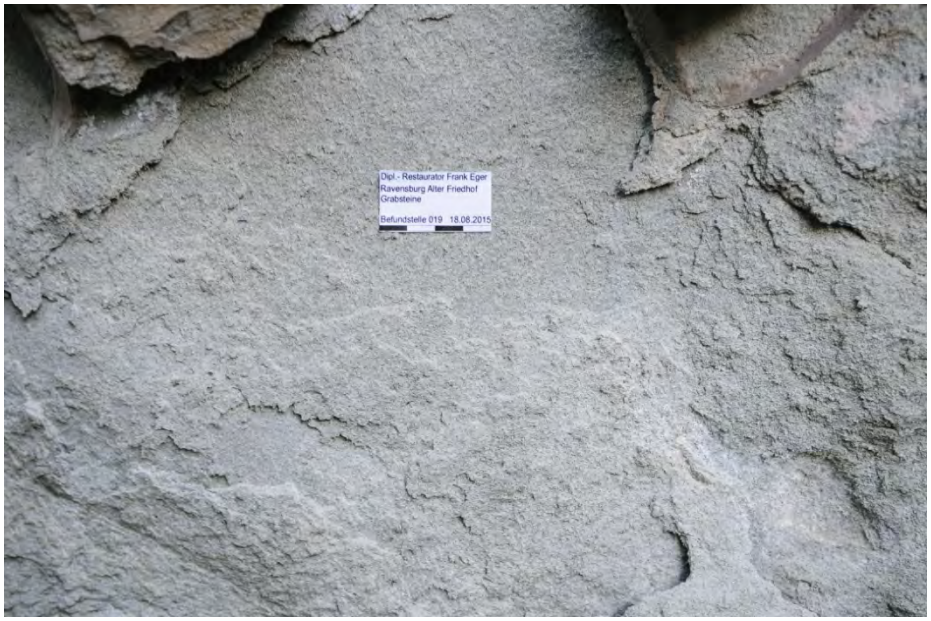

Abbildung 10

Stark abschuppenden, hohlliegende Bereiche, welche teilweise keine originale Steinoberfläche mehr zeigen.

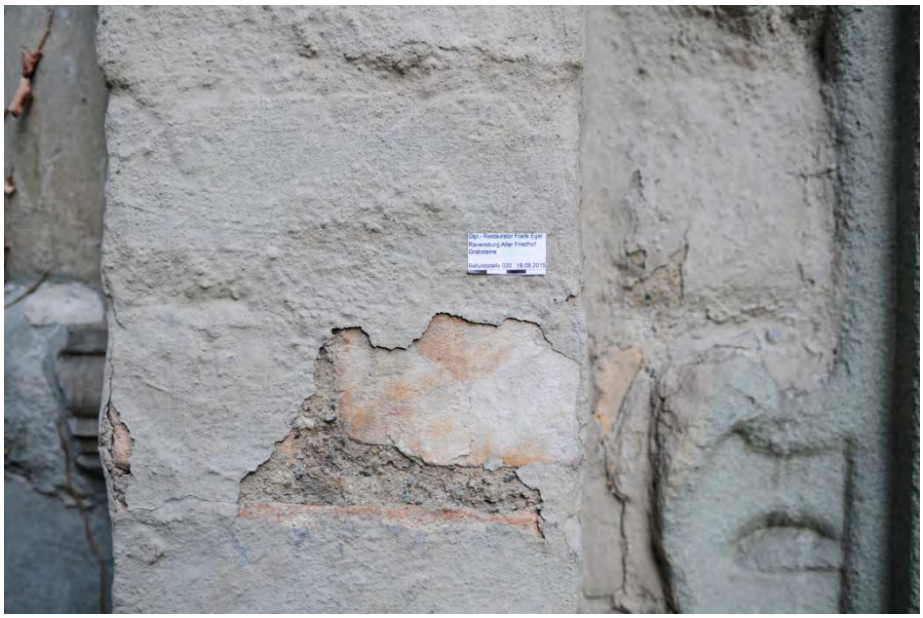

Abbildung 11

Ziegelmauerwerk mit Zementmörtel und sich ablösender Putzbeschichtung.

3. Untersuchungsbericht zur Salzbelastung an den Epitaphen

Zur Bestimmung bauschädlicher Salze wurden Materialproben entnommen und an die MPA Stuttgart gesendet. Im dortigen Labor wurden sie in demineralisiertem Wasser eluiert. Die wässrigen Auszüge wurden anschließend qualitativ und quantitativ mit Ionenchromatografie auf gelöste Anionen und Kationen untersucht. Der Untersuchungsbericht der MPA findet sich im Anhang.

Probe 1 Molassasandstein fein-schuppig:
Die Probe ist gering bis mäßig mit Chloriden belastet. Die Nitratbelastung liegt mit 0,2 M% bereits im mäßig bis stark belasteten Bereich.
Bei Sulfatgehalten wird in der Regel eine höhere Grenze toleriert. Mit 0,31 M% Sulfat liegt die Konzentration in einem Bereich von gering bis mäßig belastet.
Durch die Kationenbestimmung kann hier von Kalziumsulfat neben Kaliumnitrat, Kaliumkalziumnitrat und geringen Konzentrationen an Natriumchlorid ausgegangen werden.

Probe 2 Molassesandstein großes Stück:
Die untersuchte Probe ist nur gering mit bauschädlichen Salzen kontaminiert.
Auch können hier Karbonate, wie Kaliumkarbonat, nicht ausgeschlossen werden.

Probe 3a Mörtel Mauerwerk:
Chloride sind in geringer bis mäßiger Konzentration vorhanden. Hier wird Natriumchlorid vorliegen.
Die Belastung mit Nitraten ist als mäßig bis stark einzustufen. Die Kationenbestimmung weist auf Kalziumnitrate und Kalziumkaliumnitrate hin.
Sulfate liegen hier mit 0,87 M% in einem Bereich, der als stark belastet einzustufen ist, vor.

Probe 3b Ziegel Mauerwerk:
Chloride sind in geringer bis mäßiger Konzentration vorhanden. Hier wird Natriumchlorid vorliegen.
Die Belastung mit Nitraten ist als mäßig einzustufen. Die Kationenbestimmung weist auf Kalziumnitrate und Kalziumkaliumnitrate hin.
Sulfate liegen hier mit 0,31 M% in einem Bereich, der als mäßig belastet einzustufen ist, vor.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sich teilweise eine sehr deutliche Salzbelastung feststellen lässt, welche ursächlich vermutlich durch den Kontakt und die Vermauerung der Epitaphe im Mauerwerk herrührt.

Von der MPA wird deshalb für eine Steinkonservierung der Grabsteine mit höheren Konzentrationen an Nitrat- und Chloridsalzen eine Salzreduzierungsmaßnahme mit Hilfe mineralischer Kompressenanträge empfohlen. Hierzu sollten in Abstimmung mit der MPA weitere Proben untersucht und die Machbarkeit einer ausreichenden Entsalzung mittels mineralischer Kompressen im Vorfeld der geplanten Konservierungsmaßnahmen untersucht werden. Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass ein Ausbau der Epitaphe (und hinterlüfteter Wiedereinbau mit zusätzlicher Horizontal- und Vertikalsperre) für eine erfolgreiche Entsalzung und Steinkonservierungsmaßnahme unumgänglich sein wird!

4. Schadenskartierung

Kartiert wurde mittels metigo MAP 4.0 auf angefertigten, entzerrten und maßstäblichen Fotoplänen in DIN A3.
Es wurde versucht alle relevanten Schäden dezidiert darzustellen. es ist hier jedoch zu beachten, dass die Kartierung auf diesen Unterlagen nur zur Lokalisierung des Bestandes und der Schäden dient. Aufgrund der starken Verschmutzung und Vermoosung/Bewuchs ist eine event. notwendige Massenermittlung anhand der Flächen nicht bzw. nur sehr ungenau zu erstellen.
Auf eine flächige Kartierung des biogenen Bewuchses wurde verzichtet und oben im Text genannt. Ebenso wurde das großflächig vorliegende Schadensphänomen der gesteinsoberflächlichen Absandung einzelner Kornaggregate nicht dargestellt.

Im Folgenden sollen kurz die Kartierungsthemen erläutert werden:

Altergänzungen:
Es konnten mindestens zwei frühere Steinkonservierungsphasen an den Epitaphen festgemacht werden. Dabei wurden die Epitaphe auch mittels Steinergänzungsmörtel punktuell an Fehlstellen reprofiliert, an offen Schalen und Schuppen mittels Kittungen geschlossen bzw. auch großflächig mit Mörtelschlämme überzogen. Diese Altergänzungen liegen teilweise hohl, bzw. haben Risse.

Ausbrüche:
Teilweise gingen über die Jahrhunderte Ecken und Kanten des Epitaphs durch mechanische Einwirkungen verloren.

Hohlstellen:
Dort wo sich durch Ablöung von Steinsubsanz oder sich durch Rissbildungen parallel zur Gesteinsschichtung Hohlstellen ergeben.

Abschiefern:
Deutlich sichtbare Abwitterung der Steinoberfläche.

Verschmutzungen:
Verschmutzung der Gesteinsoberfläche durch Fettflecken, Überschütten mit nicht identifizierten Flüssigkeiten und Graffitis.

Risse:
Rissbildung mit oder gegen die Gesteinsschichtung.

Defekte Fugen:
Fugen welchen sich an den Flnken vom Steinuntergrunf gelöst haben, bzw. viel zu starr als Zementfugen ausgeführt wurden.

Salze:
Sichtbare Salzkristalle bzw. Salzrasen an der Steinoberfläche.

5. Konservierungskonzept

5.1 Konservierungskonzept für die Steinepitaphe aus Molassesandstein

Grundsätzlich sollte das Konservierungskonzept an entsprechend großflächigen Musterflächen erprobt werden. Hierbei könnten dann diverse Konservierungsmethoden und Rezepturen auf ihre Eignung überprüft werden. Anhand der so festgestellten Parameter, könnte die Vorgehensweise und der Umfang dann entsprechend festgelegt, die benötigten Massen ermittelt und relativ genau die Kosten kalkuliert werden.
Um die wetterunabhängige und durchgängige Bearbeitung des Objektes zu gewährleisten, sollte ein entsprechender Regenschutz am Objekt ausgebildet werden.

Im Folgenden stellt der Verfasser für die zu konservierenden Epitaphe ein Konzept vor, welches an Musterflächen erprobt werden sollte.

Während der Bearbeitung ist darauf zu achten, dass der Baum- und Buschbewuchs des Parks nicht durch Konservierungstechniken, Konservierungsmaterialien oder anderem Bauschutt kontaminiert wird.

Für die Steinkonservierung an Molassesandstein haben sich seit Jahrzehnten Bindemittel auf Kieselsolbasis und Steinfestigungsmaterialien auf Basis von Kieselsäureestern bewährt.
Die Verwendung von Kieselsolen bzw. mineralischen Konservierungsmaterialien zeigte jedoch in der Vergangenheit an einigen Objekten die Mobilisierung von Manganen im Gestein. Dies kann zu Braunverfärbungen an den Steinoberflächen führen. Es ist in Abstimmung mit der MPA Baden-Württemberg und der Bauleitung im Vorfeld an Musterstellen zu ermitteln, ob es an den Epitaphen ebenfalls zu Manganmobilisierungen kommt. In diesem Falle sind alternative Konservierungsmaterialien auszuprobieren und zu verwenden.

Das Konservierungskonzept ist inhaltlich auf dem Stand vom 26.10.2015 und noch nicht mit den noch durchzuführenden Beprobungen/Untersuchungen bezüglich Entsalzung modifiziert!

Ausbau der Epitaphe:

Der Ausbau der Epitaphe aus dem Salz kontaminierten Mauerwerk kann erst erfolgen, sofern temporäre Notsicherungsmaßnahmen wie Kaschierungen mit Gewebetüchern, Netzen, temporäre Sicherungen mittels Schmelzkleber oder temporären Kittungen auf Kieselsolbasis. Der Ausbau selber hat vorsichtig zu erfolgen. Schäden an den Epitaphen sind unbedingt zu vermeiden. Die Epitaphe sind dann entsprechend gesichert und gepolstert auf Paletten ins Atelier zu verbringen. Die Klimatisierung der Räumlichkeiten ist in Absprache mit Dr. Grüner (MPA Baden-Württemberg) abzustimmen. Eine zu starke, zu schnelle Trocknung der Werksteine ist unbedingt zu vermeiden. Im Vorfeld ist die Einbausituation jedes Epitaphes fotografisch und messtechnisch exakt zu erfassen. Vor allem die mehrteiligen Epitaphe sind entsprechend exakt zu vermessen und zu nummerieren.

Eventualposition Entsalzung:

Es ist aufgrund der Objektsituation eventuell zu vermuten, dass die Grabsteine mit Schadsalzen kontaminiert sind. Um den Aufwand einer Entsalzung einschätzen zu können, sollten vorab durch ein Fachlabor an jedem Epitaph Gesteinsproben/Probekompressen auf den Salzgehalt untersucht werden.

Die Entsalzung ist als dauernasse Zellstoffkompresse mit Aqua Dest. (mit event. Zugaben von gewaschenem Sand und Bentonit zur Verbesserung der Haftung) durch zu führen. Die Dauer und Anzahl des Kompressenauftrags ist abhängig vom Entsalzungserfolg (der durch ein Fachlabor analysiert und kontrolliert werden muss – z.B. Dr. Grüner, MPA Stuttgart oder gleichwertig). Erfahrungsgemäß sollten die Entsalzungskompressen mindestens 5 Tage auf der Steinoberfläche verbleiben. Das Austrocknen und Abfallen bzw. Beregnen der Kompressen ist durch entsprechend anzubringende Folien zu verhindern. Damit der Transport der Salzionen gewährleistet werden kann, sind die Kompressen ständig mit Aqua Dest. nachzunässen und der Kontakt zum Stein durch abklopfen zu sichern. Es sind nach jedem Zyklus jeweils Kompressenproben (10 x 10 cm) zu entnehmen, entsprechend luftdicht einzupacken und direkt im Anschluss durch das untersuchende Labor nasschemisch, quantitativ zu analysieren. Die Beprobungsstellen sind mit der Bauleitung festzulegen und in der Kartierung kennzuzeichnen. Das Abfallmaterial ist entsprechend zu entsorgen. Die Arbeiten sind vor der Festigung auszuführen.

Alte Steinergänzungsmörtel/Kittungen/Schlämmen

Gut funktionierende, intakte und optisch nicht störende Steinergänzungen sollten in Abstimmung mit der MPA und der Bauleitung belassen werden. Teilweise zu helle Ergänzungen müssen farblich nachretuschiert und eingepasst werden. Hohlliegende oder zu starre Steinergänzungen, die am Steinuntergrund zu erkennbaren Schäden führen sind abzunehmen. Des Weiteren sind Steinergänzungen, die nicht auf den Fugenverband der Werksteine eingehen, mittels Trennschleifscheibe im Fugenbereich nachzuschneiden und anschließend wieder mit geeignetem Trasskalkmörtel auszufugen. Notwendige neue Antragungen von Steinergänzungsmörtel siehe unter Antragung von Steinergänzungsmörtel.

Vorfestigung

Die Vorfestigung erfolgt an Teilbereichen der Epitaphe, wo die Tragfähigkeit des geschädigten Steinmaterials nicht ausreicht, um die erforderlichen Maßnahmen, insbes. Kittungen, Schlämmungen und Schalenhinterfüllungen durchzuführen. Als Festiger soll Steinfestiger 300 verdünnt mit Ethanol 1:1 bzw. 1:2 zur Anwendung kommen. Die Herstellerangaben bezüglich des Verarbeitungsklimas ist genau zu beachten. Dies betrifft sowohl Angaben zur Temperatur als auch Angaben zur Luftfeuchtigkeit. Der gefestigte Stein muss trocken und frei von kondensierenden Niederschlägen sein. Das Objekt ist nach erfolgter Festigung mehrere Tage vor Regen und zu starker Sonneneinstrahlung zu schützen. Der Festiger muss in den behandelten Bereichen bis zur Sättigung angeboten werden. Nach Abschluss der Festigung ist die Oberfläche mit Ethanol abzuwaschen um überschüssigen Festiger aufzunehmen. Die Vorfestigung muss so zeitig erfolgen, dass die Reaktion bis zu den weiteren Arbeiten weitestgehend abgeschlossen ist.

Reinigung:

Die Reinigung der Epitaphe von biogenem Bewuchs und anderen Verschmutzungen, erfolgt manuell mittels kleiner Bürsten, Holzspatel, Skalpelle und Heißdampfgerät. Der Wassereintrag ist dabei auf ein Minimum zu reduzieren, da durch die intensive Zufuhr von Feuchtigkeit eine Stimulation der Mikroflora, auch im Gesteinsinneren, zu erwarten ist. Außerdem wäre die reichliche Zufuhr von Wasser ein weiterer Stressfaktor durch erneute Dilatationen des Gesteins und eventuelle Salzausblühungen.

Rissverklebung

Die Risse sollen diffusionsfähig geschlossen werden. Dabei kommen Injektionskieselsäureestermörtel auf der Basis von Kieselsol mit geeigneten Quarz- und Mineralmehlen als Zuschlag in Frage. Vor der eigentlichen Rissverfüllung sind die zu verfüllenden Bereiche mittels Ethanol vorzunetzen. Kunststoffe (Epoxidharze) sind, wenn überhaupt, dann nur punktuell zu Klebungen anzuwenden. Die Risse werden oberflächlich unter Freihalten von Einspritzöffnungen mit Syton X30-gebundenem Kitt oder Schmelzkitten verschlossen (die Schmelzkitte sind rückstandsfrei zu entfernen). Anschließend werden Packer (System Kaiser) mit Heißleim auf die Oberfläche aufgeklebt. In diese wird nach Erstarrung des Klebers die Verfüllmasse eingespritzt. Die Masse muss während der ersten Stunden mehrfach nachgefüllt werden, um Materialverluste auszugleichen. Nach Aushärten müssen die Packer vorsichtig abgenommen werden und die Einspritzlöcher gekittet werden. Es ist damit zu rechnen, dass dieser Vorgang mehrfach wiederholt werden muss, eventuell durch vorsichtig zu setzende Bohrlöcher. Die Oberfläche der Risse ist abschließend mit Kieselsol gebundenen Massen (siehe Anböschung / Kittung)deckend zu verschließen. Die Arbeiten sind vor der Festigung auszuführen und anschließend nachzufestigen.

Hinterfüllung von Schalen

Die Schalenverfüllung erfolgt exakt nach dem Vorgehen der Risshinterfüllung. Im Zuge der Vorfestigung muss die Mürbezone der Schalen gefestigt werden. Die sich hieraus ergebenden Wartezeiten müssen eingehalten werden. Die Schalen werden abgeklopft um den Umfang der Hohlstellen zu bestimmen. Die Schalen sind teilweise unter Freihalten von Einspritzöffnungen mit Syton X30-gebundenem Kitt zu verschließen. Vor der eigentlichen Verfüllung sind die Bereiche mittels Ethanol vorzunetzen. Dann werden bei ansonsten nicht zugänglichen Schalen (geschlossen, keine Einfüllmöglichkeit der Hinterfüllmasse) in geeigneter Anzahl 3-4mm Löcher gebohrt, damit die Bereiche gefüllt werden können. Die Arbeiten sind vor der Festigung auszuführen und anschließend nachzufestigen.

Vernadelung von Rissen

An gefährdeten Schalen und Rissen muss eine Vernadelung mit V4A-Stahlnadeln erfolgen. Hierzu werden mit geeigneten Steinbohrer Löcher gebohrt und mittels geeignetem Luftdruck und Ausblaspistolen ausgeblasen. Die Vernadelung muss, je nach statischer Notwendigkeit, mit möglichst

feinen Stiften erfolgen. Sie dürfen nicht an die Oberfläche treten. Die Oberfläche ist wie unter Anböschung / Kittung beschrieben zu schließen. Die Vernadelung ist mittels Steinsilikatkleber zu verkleben. Es muss darauf geachtet werden, dass dadurch keine flächigen Klebungen entstehen und dass vor allem eingefüllter Steinsilikatkleber nicht die Steinoberfläche verschmutzt. Eine entsprechende Absperrung der Steinoberfläche mit Flüssiglatex oder Cyclododekan ist vorzunehmen und nachher wieder rückstandsfrei zu entfernen.
Die Nadeln sind hinreichend dicht zu setzen, um sicherzustellen, dass keine Teile abfallen können. Die entstandenen Löcher sind mit Syton X30 Mörteln zu schließen. Die Arbeiten sind vor der Festigung durchzuführen.

Anböschungen und Kittungen

Durch die Anböschungen und Kittungen sollen offenstehende Schalen, Schuppen und Risse geschlossen werden. Dabei soll eine erneute Einlagerung von Staub und Schmutz, welcher sich zusammen mit Feuchtigkeit zu Schmutzplomben verbindet, verhindert werden. Regen und Tauwasser werden über die geschlossene Oberfläche ebenfalls effektiv abgeleitet. Des Weiteren werden Schalen und Schollen wieder kraftschlüssig an den Steinuntergrund angebunden.
Die zu verwendende Anböschmasse muss in ihren physikalisch-mechanischen Parametern dem Molassesandstein angepasst sein.
Als Bindemittel wird Syton X30 verwendet. Als Zuschlag dienen in ihrer Sieblinie (in Anlehnung an eine Fuller-Idealsieblinie) exakt angepasste Quarzsande und Steingranulat aus Molassesandstein. Die Mischung der einzelnen Korngrößen muss auf den Anwendungszweck als Anbösch- bzw. Kittmasse abgestimmt sein, um eine optimale Wirkung des Bindemittels zu gewährleisten. Die exakte farbliche Einstimmung erfolgt durch licht- und kalkstabile Pigmente, die in der Abstimmung der Sandmischung zu berücksichtigen sind. Die Pigmentzugabe darf nicht mehr als 2,5% bezogen auf die Gesamtmenge betragen. Die Kittungen dürfen nicht über die Grenzen der schadhaften Bereiche hinaus aufgetragen werden. Musterantragungen zur Abstimmung der Art und Farbe sind anzufertigen und mit der Bauleitung abzustimmen. Die Arbeiten sind vor der Festigung auszuführen und anschließend nachzufestigen.

Schlämme:

Die Fixierung von Schuppen und absandenden Bereichen erfolgt durch Einmassierung (mittels Pinsel) des oben beschriebenen Anböschmörtels in die Oberfläche. Die überschüssige Feinmörtelmasse wird dann mit einem Schwamm wieder abgenommen, so dass nur eine Anlagerung als Kittung an den Schuppen und Schalen zurückbleibt.

Festigung

Die Steinfestigung erfolgt flächig über die Werkstücke bzw. partiell über die kieselgebundenen Kittungen und Schlämmen. Als Festiger soll Steinfestiger 300 zur Anwendung kommen. Der Steinfestiger 300 ist im ersten Arbeitsschritt zuerst mit 2 Teilen Verdünnung : 1 Teil KSE (verdünnt in Lösungsmittel: Ethanol), im zweiten Arbeitsschritt 1:1 und abschließend den Steinfestiger 300 pur einzusetzen. So werden ausreichende Eindringtiefen gewährleistet. Die Herstellerangaben bezüglich des Verarbeitungsklimas sind genau zu beachten. Dies betrifft sowohl Angaben zur Temperatur als auch Angaben zur Luftfeuchtigkeit. Der gefestigte Stein muss trocken und frei von kondensierenden Niederschlägen sein. Vor der Festigung sind angrenzende Flächen durch geeignete Maßnahmen so zu schützen, dass dort kein Festiger aufgebracht wird. Die gefestigten Flächen sind nach erfolgter Festigung 2 Wochen vor Regen und zu starker Sonneneinstrahlung zu schützen. Der Festiger muss in entsprechenden Intervallen, den behandelten Bereichen bis zur Sättigung angeboten werden. Nach Abschluss der Festigung ist das jeweilige Werkstück einer einmaligen kompletten abschließenden Festigung zu unterziehen um Randbildungen zu vermeiden. Anschließend ist die Oberfläche mit Ethanol abzuwaschen um überschüssigen Festiger aufzunehmen. Die Witterung, Temperatur und die Luftfeuchtigkeit sind während aller Festigungsmaßnahmen und in einem Zeitraum von 2 Wochen danach im Bautagebuch festzuhalten.

Antragung von Steinergänzungsmörtel

Für die Antragungen wird ein für Molassesandstein angepasster Steinrestauriermörtel verwendet. Alle Herstellerangaben bezüglich Verarbeitung, Mindestdicke und Nachbearbeitung sind zu beachten. Die Antragungen werden nach der Festigung ausgeführt. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass bei der Antragung keine Hydrophobieeffekte mehr nach der Festigung an der Steinoberfläche auftauchen dürfen. Der Mörtel muss auf Null auslaufbar sein, ein Ausarbeiten der anzutragenden Stellen ist zu vermeiden.

Die anzutragenden Stellen sind gut vorzunässen und auch nach dem Antragvorgang gut feucht

zu halten. Die Antragstellen sind entsprechend vorzubereiten. Auskragende oder überhängende Teile sind ausreichend mit Einbauteilen aus V4A in Form von Draht, Stiften, Bolzen oder Gewindestäben zu bewehren. Gesamtlängen von Armierungseisen dürfen wegen der thermischen Ausdehnung (z.B. unter Sonneneinstrahlung) 10 cm nicht überschreiten und sollten im Durchmesser so dünn als möglich gehalten werden. Sämtliche Halteanker der Bewehrung, müssen spannungsfrei eingebaut werden. Spreizdübel sind nicht zulässig. Bei der Antragung soll der Mörtel reichlich aufgetragen werden. Die Antragstellen werden am Tag nach dem Antragvorgang gekratzt, d.h. die oberste überstehende Mörtelschicht wird mit dem Spatel abgetragen. Die Oberfläche wird entsprechend dem Original bzw. der Umgebung vorsichtig bearbeitet. Die Antragungen sind während des Abbindens vor direkter Sonneneinstrahlung und sonstiger schädigender Bewitterung zu schützen. Der Antragmörtel ist genau nach der Umgebung farblich einzustellen. Dies geschieht dadurch, dass mehrere(ca. 3 - 4) Farbmischungen nach Proben exakt farblich abgestimmt werden. Diese Stammmischungen werden dann auf das jeweilige Werkstück bezogen miteinander gemischt. Weitere Pigmentzugaben sollen unterbleiben. Musterantragungen zur Abstimmung der Art und Farbe sind anzufertigen und mit der Bauleitung abzustimmen.

Retusche und Überarbeitung alter Steinergänzungsmörtel

Die noch intakten und event. am Objekt verbleibenden Altergänzungen sind dort, wo sie sich farblich nicht mehr einfügen einzuretuschieren. Die Retusche ist ausreichende Zeit nach der Festigung anzubringen. Hierfür kommen Acrylat gebundene Retuschen zum Einsatz. Um die Farbe optisch und in der Struktur dem Steinmaterial anzupassen sind passende Steinmehle und Sande hinzuzufügen. Die Retusche ist auf den alten intakten Steinergänzungsmörtel zu beschränken. Alle Herstellerangaben sind einzuhalten. Eventuell notwendige Flankenkittungen sind wie unter "Kittungen" aufgeführt durchzuführen und abschließend ebenfalls zu überfestigen.

Wiederaufbau und Neuverfugung

Der Wiederaufbau der konservierten Epitaphe soll hinterlüftet ohne direkten Kontakt mit der Rückwand erfolgen. Die im Vorfeld vor dem Abbau ermittelten Maße sind dabei wieder zu beachten! Eventuell sind entsprechende Halteanker in Edelstahl auszuführen. Eine Vertikal- und Horizontalisolierung des Epitaphs ist mittels Walzblei vorzusehen und einzubauen.
Alle Fugen des Mauersteinverbandes sind auf ihre Funktion hin zu untersuchen. Alle starren und risshaltigen Zementfugen sind zu entfernen und mit Trasskalkmörtel neu zu verfugen. Originalfu-

genmörtel sind zu konservieren.
Die neu zu verfugenden Bereiche sind entsprechend vorzunässen und auch nach dem Fugenantrag ausreichend feucht zu halten. Direkter Sonneneintrag ist entsprechend zu verhindern. Der Fugenmörtel ist nach der partiellen Festigung der Mauersteine einzubringen. Der eingesetzte Fugenmörtel sollte sulfatbeständig sein und hinsichtlich Farbe und Struktur zum Stein-/und Fugenbestand passen. Farbmuster sind vorab anzulegen und mit der Bauleitung abzusprechen. Das Material soll sorgfältig verdichtet eingebaut werden.

5.2 Konservierungskonzept für den Steinepitaph aus Kalkstein

Grundsätzlich sollte das Konservierungskonzept an entsprechend großflächigen Musterflächen erprobt werden. Hierbei könnten dann diverse Konservierungsmethoden und Rezepturen auf ihre Eignung überprüft werden. Anhand der so festgestellten Parameter, könnte die Vorgehensweise und der Umfang dann entsprechend festgelegt, die benötigten Massen ermittelt und relativ genau die Kosten kalkuliert werden.
Um die wetterunabhängige und durchgängige Bearbeitung des Objektes zu gewährleisten, sollte ein entsprechender Regenschutz am Objekt ausgebildet werden.

Im Folgenden stellt der Verfasser für den zu konservierenden Epitaph ein Konzept vor, welches an Musterflächen erprobt werden sollte.

Während der Bearbeitung ist darauf zu achten, dass der Baum- und Buschbewuchs des Parks nicht durch Konservierungstechniken, Konservierungsmaterialien oder anderem Bauschutt kontaminiert wird.

Das Konservierungskonzept ist inhaltlich auf dem Stand vom 26.10.2015 und noch nicht mit den noch durchzuführenden Beprobungen/Untersuchungen bezüglich Entsalzung modifiziert!

Ausbau des Epitaphs:

Der Ausbau des Epitaphs aus dem Salz kontaminierten Mauerwerk kann erst erfolgen, sofern temporäre Notsicherungsmaßnahmen wie Kaschierungen mit Gewebetüchern, Netzen, temporäre Sicherungen mittels Schmelzkleber oder temporären Kittungen auf Kieselsolbasis. Der Ausbau selber hat vorsichtig zu erfolgen. Schäden am Epitaph sind unbedingt zu vermeiden. Er ist entsprechend gesichert und gepolstert auf Palette ins Atelier zu verbringen. Die Klimatisierung der Räumlichkeiten ist in Absprache mit Dr. Grüner (MPA Baden-Württemberg) abzustimmen. Eine zu starke, zu schnelle Trocknung des Steins ist unbedingt zu vermeiden. Im Vorfeld ist die Einbausituation des Epitaphs fotografisch und messtechnisch exakt zu erfassen

Eventualposition Entsalzung:

Es ist aufgrund der Objektsituation eventuell zu vermuten, dass der Grabstein mit Schadsalzen kontaminiert ist. Um den Aufwand einer Entsalzung einschätzen zu können, sollten vorab durch ein Fachlabor Gesteinsproben/Probekompressen auf den Salzgehalt untersucht werden.

Die Entsalzung ist als dauernasse Zellstoffkompresse mit Aqua Dest. (mit event. Zugaben von gewaschenem Sand und Bentonit zur Verbesserung der Haftung) durch zu führen. Die Dauer und Anzahl des Kompressenauftrags ist abhängig vom Entsalzungserfolg (der durch ein Fachlabor analysiert und kontrolliert werden muss – z.B. Dr. Grüner, MPA Stuttgart oder gleichwertig). Erfahrungsgemäß sollten die Entsalzungskompressen mindestens 5 Tage auf der Steinoberfläche verbleiben. Das Austrocknen und Abfallen bzw. Beregnen der Kompressen ist durch entsprechend anzubringende Folien zu verhindern. Damit der Transport der Salzionen gewährleistet werden kann, sind die Kompressen ständig mit Aqua Dest. nachzunässen und der Kontakt zum Stein durch abklopfen zu sichern. Es sind nach jedem Zyklus jeweils Kompressenproben (10 x 10 cm) zu entnehmen, entsprechend luftdicht einzupacken und direkt im Anschluss durch das untersuchende Labor nasschemisch, quantitativ zu analysieren. Die Beprobungsstellen sind mit der Bauleitung festzulegen und in der Kartierung kennzuzeichnen. Das Abfallmaterial ist entsprechend zu entsorgen. Die Arbeiten sind vor der Festigung auszuführen.

Alte Steinergänzungsmörtel/Kittungen/Schlämmen

Gut funktionierende, intakte und optisch nicht störende Steinergänzungen sollten in Abstimmung mit der MPA und der Bauleitung belassen werden. Teilweise zu helle Ergänzungen müssen farblich nachretuschiert und eingepasst werden. Hohlliegende oder zu starre Steinergänzungen, die am Steinuntergrund zu erkennbaren Schäden führen sind abzunehmen. Des Weiteren sind Steinergänzungen, die nicht auf den Fugenverband der Werksteine eingehen, mittels Trennschleifscheibe im Fugenbereich nachzuschneiden und anschließend wieder mit geeignetem Trasskalkmörtel auszufugen. Notwendige neue Antragungen von Steinergänzungsmörtel siehe unter Antragung von Steinergänzungsmörtel.

Reinigung:

Die Reinigung des Epitaphs von biogenem Bewuchs und anderen Verschmutzungen, erfolgt manuell mittels kleiner Bürsten, Holzspatel, Skalpelle und Heißdampfgerät. Der Wassereintrag ist dabei auf ein Minimum zu reduzieren, da durch die intensive Zufuhr von Feuchtigkeit eine Stimulation der Mikroflora, auch im Gesteinsinneren, zu erwarten ist.

Rissverklebung

Die Risse sollen diffusionsfähig geschlossen werden. Dabei kommen Injektionmörtel auf der Basis von Acrylaten mit geeigneten Quarz- und Mineralmehlen als Zuschlag in Frage. Die Risse werden oberflächlich unter Freihalten von Einspritzöffnungen mit Schmelzkitten verschlossen (die Schmelzkitte sind rückstandsfrei zu entfernen). Anschließend werden Packer (System Kaiser) mit Heißleim auf die Oberfläche aufgeklebt. In diese wird nach Erstarrung des Klebers die Verfüllmasse eingespritzt. Die Masse muss während der ersten Stunden mehrfach nachgefüllt werden, um Materialverluste auszugleichen. Nach Aushärten müssen die Packer vorsichtig abgenommen werden und die Einspritzlöcher gekittet werden. Es ist damit zu rechnen, dass dieser Vorgang mehrfach wiederholt werden muss, eventuell durch vorsichtig zu setzende Bohrlöcher. Die Oberfläche der Risse ist abschließend mit Acrylat gebundenen Massen (siehe Anböschung / Kittung) deckend zu verschließen.

Hinterfüllung von Schalen

Die Schalenverfüllung erfolgt exakt nach dem Vorgehen der Risshinterfüllung. Die Schalen werden abgeklopft um den Umfang der Hohlstellen zu bestimmen. Die Schalen sind teilweise unter Freihalten von Einspritzöffnungen mit Heißleim zu verschließen. Dann werden bei ansonsten nicht zugänglichen Schalen (geschlossen, keine Einfüllmöglichkeit der Hinterfüllmasse) in geeigneter Anzahl 3-4mm Löcher gebohrt, damit die Bereiche gefüllt werden können.

Vernadelung von Rissen

An gefährdeten Schalen und Rissen muss eine Vernadelung mit V4A-Stahlnadeln erfolgen. Hierzu werden mit geeigneten Steinbohrer Löcher gebohrt und mittels geeignetem Luftdruck und Ausblaspistolen ausgeblasen. Die Vernadelung muss, je nach statischer Notwendigkeit, mit möglichst feinen Stiften erfolgen. Sie dürfen nicht an die Oberfläche treten. Die Oberfläche ist wie unter Anböschung / Kittung beschrieben zu schließen. Die Vernadelung ist mittels angepasstem Epoxidharz zu verkleben. Es muss darauf geachtet werden, dass dadurch keine flächigen Klebungen entstehen und dass vor allem eingefülltes Harz nicht die Steinoberfläche verschmutzt. Eine entsprechende Absperrung der Steinoberfläche mit Flüssiglatex oder Cyclododekan ist vorzunehmen und nachher wieder rückstandsfrei zu entfernen.
Die Nadeln sind hinreichend dicht zu setzen, um sicherzustellen, dass keine Teile abfallen können. Die entstandenen Löcher sind mit Acrylat-Mörteln zu schließen.

Anböschungen und Kittungen

Durch die Anböschungen und Kittungen sollen offenstehende Schalen, Schuppen und Risse geschlossen werden. Dabei soll eine erneute Einlagerung von Staub und Schmutz, welcher sich zusammen mit Feuchtigkeit zu Schmutzplomben verbindet, verhindert werden. Regen und Tauwasser werden über die geschlossene Oberfläche ebenfalls effektiv abgeleitet. Des Weiteren werden Schalen und Schollen wieder kraftschlüssig an den Steinuntergrund angebunden.
Die zu verwendende Anböschmasse muss in ihren physikalisch-mechanischen Parametern dem Molassesandstein angepasst sein.
Als Bindemittel wird Acrylat verwendet. Als Zuschlag dienen in ihrer Sieblinie (in Anlehnung an eine Fuller-Idealsieblinie) exakt angepasste Quarzsande und Steingranulat aus Kalkstein Die Mischung der einzelnen Korngrößen muss auf den Anwendungszweck als Anbösch- bzw. Kittmasse

abgestimmt sein, um eine optimale Wirkung des Bindemittels zu gewährleisten. Die exakte farbliche Einstimmung erfolgt durch licht- und kalkstabile Pigmente, die in der Abstimmung der Sandmischung zu berücksichtigen sind. Die Pigmentzugabe darf nicht mehr als 2,5% bezogen auf die Gesamtmenge betragen. Die Kittungen dürfen nicht über die Grenzen der schadhaften Bereiche hinaus aufgetragen werden. Musterantragungen zur Abstimmung der Art und Farbe sind anzufertigen und mit der Bauleitung abzustimmen.

Schlämme:

Die Fixierung von Schuppen und absandenden Bereichen erfolgt durch Einmassierung (mittels Pinsel) des oben beschriebenen Anböschmörtels in die Oberfläche. Die überschüssige Feinmörtelmasse wird dann mit einem Schwamm wieder abgenommen, so dass nur eine Anlagerung als Kittung an den Schuppen und Schalen zurückbleibt.

Antragung von Steinergänzungsmörtel

Für die Antragungen wird ein für Kalkstein angepasster Steinrestauriermörtel verwendet. Alle Herstellerangaben bezüglich Verarbeitung, Mindestdicke und Nachbearbeitung sind zu beachten. Der Mörtel muss auf Null auslaufbar sein, ein Ausarbeiten der anzutragenden Stellen ist zu vermeiden.

Die anzutragenden Stellen sind gut vorzunässen und auch nach dem Antragvorgang gut feucht zu halten. Die Antragstellen sind entsprechend vorzubereiten. Auskragende oder überhängende Teile sind ausreichend mit Einbauteilen aus V4A in Form von Draht, Stiften, Bolzen oder Gewindestäben zu bewehren. Gesamtlängen von Armierungseisen dürfen wegen der thermischen Ausdehnung (z.B. unter Sonneneinstrahlung) 10 cm nicht überschreiten und sollten im Durchmesser so dünn als möglich gehalten werden. Sämtliche Halteanker der Bewehrung, müssen spannungsfrei eingebaut werden. Spreizdübel sind nicht zulässig. Bei der Antragung soll der Mörtel reichlich aufgetragen werden. Die Antragstellen werden am Tag nach dem Antragvorgang gekratzt, d.h. die oberste überstehende Mörtelschicht wird mit dem Spatel abgetragen. Die Oberfläche wird entsprechend dem Original bzw. der Umgebung vorsichtig bearbeitet. Die Antragungen sind während des Abbindens vor direkter Sonneneinstrahlung und sonstiger schädigender Bewitterung zu schützen. Der Antragmörtel ist genau nach der Umgebung farblich einzustellen. Dies geschieht dadurch, dass mehrere(ca. 3 - 4) Farbmischungen nach Proben exakt farblich abgestimmt werden. Diese Stammmischungen werden dann auf das jeweilige Werkstück bezogen miteinander gemischt. Weitere Pigmentzugaben sollen unterbleiben. Musterantragungen zur Ab-

stimmung der Art und Farbe sind anzufertigen und mit der Bauleitung abzustimmen.

Retusche und Überarbeitung alter Steinergänzungsmörtel

Die noch intakten und event. am Objekt verbleibenden Altergänzungen sind dort, wo sie sich farblich nicht mehr einfügen einzuretuschieren. Hierfür kommen Acrylat gebundene Retuschen zum Einsatz. Um die Farbe optisch und in der Struktur dem Steinmaterial anzupassen sind passende Steinmehle und Sande hinzuzufügen. Die Retusche ist auf den alten intakten Steinergänzungsmörtel zu beschränken. Alle Herstellerangaben sind einzuhalten. Eventuell notwendige Flankenkittungen sind wie unter "Kittungen" aufgeführt durchzuführen und abschließend ebenfalls zu überfestigen.

Wiederaufbau und Neuverfugung

Der Wiederaufbau des konservierten Epitaphs soll hinterlüftet ohne direkten Kontakt mit der Rückwand erfolgen. Die im Vorfeld vor dem Abbau ermittelten Maße sind dabei wieder zu beachten! Eventuell sind entsprechende Halteanker in Edelstahl auszuführen. Eine Vertikal- und Horizontalisolierung des Epitaphs ist mittels Walzblei vorzusehen und einzubauen.

6. Kostenschätzung

(Stand: 25.10.2015, vorläufige reine Kostenschätzung, vorbehaltlich einer noch durchzuführenden Reinigung, Anlegen von Musterflächen und einer Maßnahmenkartierung mit exakter Massenermittlung!!)
Die verwendeten Einheitspreise basieren auf den derzeit marktüblichen Preisen. Je nach Interesse der anbietenden Firmen können diese auch höher oder niedriger liegen. Es wurde versucht die Kosten kostendeckend mit Puffer zu fassen.

Es ist hier deutlich darauf hinzuweisen, dass es einige Epitaphe gibt, an welchen die komplette originale Steinoberfläche zurückgewittert ist oder diese nur noch als defekte Steinergänzung aus Mörtel besteht. Inwieweit es sinnvoll ist, diese Grabsteine noch konservierend zu behandeln muss vor Ort zusammen mit dem Eigentümer und dem Landesamt für Denkmalpflege abgewogen und entschieden werden.

Aufwand Steinkonservierung

Epitaph 01	2.197,00
Epitaph 02	5.154,00
Epitaph 03	6.402,00
Epitaph 04	2.266,00
Epitaph 05	1.517,00
Epitaph 06	2.189,00
Epitaph 07	5.682,00
Epitaph 08	4.430,00
Epitaph 09	3.470,00
Epitaph 10	3.326,00
Epitaph 11	11.099,00
Epitaph 12	2.370,00
Epitaph 13	14.651,00
Epitaph 14	14.315,00
Epitaph 15	8.639,00
Epitaph 16	5.584,00
Epitaph 17	5.872,00
Epitaph 18	4.528,00
Epitaph 19	2.819,00
Epitaph 20	3.468,00

Epitaph 21		3.710,00
Epitaph 22		3.061,00
Epitaph 23		5.442,00
Epitaph 24		2.892,00
Epitaph 25		1.788,00
Epitaph 26		6.352,00
Gesamt Netto	EUR	133.223,00
Eventualposition Entsalzung	EUR	39.512,00
Eventualposition Ausbau/Einbau	EUR	42.142,00
Gesamtkosten Netto	EUR	214.877,00
MwSt 19%	EUR	40.826,63
Gesamtkosten Brutto	EUR	255.703,63

Materialprüfungsanstalt
Universität Stuttgart
Postfach 801140 · D-70511 Stuttgart

MPA STUTTGART
Otto-Graf-Institut
Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart

Untersuchungsbericht

Ravensburg; Alter Friedhof - Grabsteine
Untersuchung der Salzbelastung an 2 Steinproben und einer Mauerwerksprobe

Auftraggeber:	Frank Eger Diplom-Restaurator Dorfbachstrasse 10 72336 Balingen - Ostdorf
Auftrags-Nr. (Kunde):	
Auftrags-Nr. (MPA):	**902 XXXX 000 /Lz**
Prüfgegenstand:	**Stein- und Mauerwerksproben**
Prüfspezifikation:	siehe Bericht
Eingangsdatum des Prüfgegenstandes:	Oktober 2015
Datum der Prüfung:	
Datum des Berichts:	20.10.2015
Seite 1 von	5 Textseiten
Beilagen:	0
Anlagen:	0
Gesamtseitenzahl:	5
Anzahl der Ausfertigungen:	3

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.
Veröffentlichung des vorliegenden Berichtes (auch auszugsweise) ist nur mit schriftlicher Genehmigung der MPA Universität Stuttgart zulässig.

1 Aufgabenstellung

Von Diplom-Restaurator Frank Eger erhielten wir, das Otto-Graf-Institut der MPA, Universität Stuttgart, Proben vom Alten Friedhof in Ravensburg zur qualitativen und quantitativen Untersuchung auf leichtlösliche, bauschädliche Salze. Bei den uns zugeschickten Proben handelt es sich um zwei Steinproben aus Molassesandstein und einer Mauerwerksprobe aus Ziegel und Mörtel.

Folgende Proben wurden uns zugeschickt, die Probenbezeichnung erfolgte im Labor des Referats 54120.

Probe 1 Molassesandstein, kleinere Stücke bis ca. 4 cm und stark schuppig.

Probe 2 Molassesandstein, größeres Stück bis ca. 10 cm Durchmesser, an den Rändern geringere Stärke als in der Mitte. Mittig ca. 5 cm stark.

Probe 3 Mauerwerksprobe aus Ziegel und Mörtel bestehend. Ziegel und Mörtel wurden separat auf leichtlösliche, bauschädliche Salze untersucht, hierzu erfolgte eine weitere Probenbezeichnung in : **Probe 3a** Mörtel und **Probe 3b** Ziegel.

.

2 Durchgeführte Untersuchungen

Zur Bestimmung bauschädlicher Salze wurden die Materialproben in demineralisiertem Wasser eluiert. Die wässrigen Auszüge wurden qualitativ und quantitativ mit Ionenchromatografie auf gelöste Anionen und Kationen untersucht. Die Anionenbestimmung wurde mit einem Dionex ICS 1500, die Kationenbestimmung mit dem System 881 IC Compact Pro von Metrohm, durchgeführt.

Geltende Norm ist die DIN EN ISO 10304 - 1

3 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der Bestimmung der Anionen- und Kationen- Konzentrationen sind in nachstehenden Tabellen dargestellt.

Tab. 1: Angaben in **M.-%**, bezogen auf die eingewogene Materialprobe.

Probenbe-zeichnung	**Probenbe-schreibung**	**F^-**	**Cl^-**	**NO_3^-**	**SO_4^{2--}**
Probe 1	Molassesandstein Kleinere Stücke, schuppig	<0,01	0,02	0,21	0,67
Probe 2	Molassesandstein Größeres Stück	<0,01	<0,01	<0,01	0,14
Probe 3a	Mauerwerk Mörtel	<0,01	0,03	0,42	0,87
Probe 3b	Mauerwerk Ziegel	<0,01	0,02	0,18	0,31

Tab. 2: Angaben in **M.-%**, bezogen auf die eingewogene Materialprobe

Probenbe-zeichnung	**Probenbe-schreibung**	**Natrium$^+$**	**Kalium$^+$**	**Magnesium^{++}**	**Kalzium^{++}**
Probe 1	Molassesandstein Kleinere Stücke, schuppig	0,02	0,05	0,02	0,31
Probe 2	Molassesandstein Größeres Stück	0,01	0,04	< 0,01	0,04
Probe 3a	Mauerwerk Mörtel	0,05	0,07	< 0,02	0,56
Probe 3b	Mauerwerk Ziegel	0,04	0,10	0,01	0,11

Die Salzbelastung bei Natursteinen, Ziegeln und Mörteln wird nach folgenden Grenzen (in Anlehnung an WTA - Merkblatt E 3-13-01/D) beurteilt:

Chloride, Nitrate:

< 0,01 M.-% unbelastet,
0,01 – 0,1 M.-% gering bis mäßig belastet,
0,1 – 0,5 M.-% mäßig bis hoch belastet,
> 0,5 M.-%: sehr hoch belastet

Sulfate:

< 0,1 M.-% unbelastet,
0,1 – 0,5 M.-% gering bis mäßig belastet,
0,5 – 1,0 M.-% mäßig bis hoch belastet,
> 1,0 M.-%: sehr hoch belastet

Probe 1 Molassasandstein fein-schuppig:

Die Probe ist gering bis mäßig mit Chloriden belastet. Die Nitratbelastung liegt mit 0,2 M% bereits im mäßig bis stark belasteten Bereich.

Bei Sulfatgehalten wird in der Regel eine höhere Grenze toleriert. Mit 0,31 M% Sulfat liegt die Konzentration in einem Bereich von gering bis mäßig belastet.

Durch die Kationenbestimmung kann hier von Kalziumsulfat neben Kaliumnitrat, Kaliumkalziumnitrat und geringen Konzentrationen an Natriumchlorid ausgegangen werden.

Probe 2 Molassesandstein großes Stück:

Die untersuchte Probe ist nur gering mit bauschädlichen Salzen kontaminiert.

Auch können hier Karbonate, wie Kaliumkarbonat, nicht ausgeschlossen werden.

Probe 3a Mörtel Mauerwerk:

Chloride sind in geringer bis mäßiger Konzentration vorhanden. Hier wird Natriumchlorid vorliegen.

Die Belastung mit Nitraten ist als mäßig bis stark einzustufen. Die Kationenbestimmung weist auf Kalziumnitrate und Kalziumkaliumnitrate hin.

Sulfate liegen hier mit 0,87 M% in einem Bereich, der als stark belastet einzustufen ist, vor.

Probe 3b Ziegel Mauerwerk:

Chloride sind in geringer bis mäßiger Konzentration vorhanden. Hier wird Natriumchlorid vorliegen.

Die Belastung mit Nitraten ist als mäßig einzustufen. Die Kationenbestimmung weist auf Kalziumnitrate und Kalziumkaliumnitrate hin.

Sulfate liegen hier mit 0,31 M% in einem Bereich, der als mäßig belastet einzustufen ist, vor.

4 Empfehlungen

Für eine Steinkonservierung der Grabsteine wird in Bereichen mit höheren Konzentrationen an Nitrat- und Chloridsalzen eine Salzreduzierungsmaßnahme mit Hilfe mineralischer Kompressenanträge empfohlen.

Alternativ ist auch eine Salzreduzierung im Badverfahren möglich

C. Luz **Sachbearbeiter**	**Dr. F. Grüner** **Abteilungsleiter**