

Institut für Diagnostik
und Konservierung an Denkmalen
in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

Bericht HAL 29/2013

DBU-Projekt

Entwicklung und modellhafte Anwendung eines innovativen Sanierungskonzepts für die beiden anthropogen umweltgeschädigten Beton-Monumentalskulpturen an der Hallenser Giebichensteinbrücke (AZ 28615)

Naturwissenschaftliche Untersuchungen - Materialentwicklung - Restaurierung

Abschlussbericht

Bearbeiter: Dr. Jeannine Meinhardt, Matthias Zötzl, Christoph Reichenbach, Henning Kersten
Anzahl der Seiten: 148 (inkl. 37 Seiten Anhang)

Halle, 29.05.2013

Arbeitsstellen in den Ländern:

Sachsen:

Schloßplatz 1
01067 Dresden

Tel.: 0351-48430-408/09/10/27
Fax.: 0351-48430-468

Internet: www.idk-info.de

Sachsen-Anhalt:

Domplatz 3
06108 Halle

Tel.: 0345-472257-21/22/23
Fax.: 0345-472257-29

e-mail: info@idk-info.de

Vorstand:

Prof. Stephan Pfefferkorn
Boje E. Hans Schmuhl
Ellen Schmid-Kamke

Geschäftsführer:

Dipl.-Ing. Uwe Kalisch

Registergericht Dresden: VR 2891

Bankverbindung:

Ostsächsische Sparkasse Dresden
Konto-Nr.: 3120 115 524
BLZ: 850 503 00

Steuer-Nr. 203 140 15097

Ust-ID: DE234216408

Inhalt

1.	Einleitung.....	4
2.	Entstehungsgeschichte der Plastiken	4
3.	Methodik und Analytik.....	27
4.	Ergebnisse.....	38
4.1	Messtechnische Begleitung der Abtrocknung	38
4.2	Untersuchungen zur Erfassung der Schädigung	40
4.2.1	Schädigung durch AKR.....	42
4.2.2	Schädigung durch Ettringit.....	43
4.2.3	Ergebnisse der Rissmessungen.....	43
4.3	Laboruntersuchungen	55
4.3.1	Untersuchungen der Stampfbetonoberfläche auf lösliche Salze.....	55
4.3.2	Ergebnisse der ESEM-Untersuchungen an einem Dünnschliff.....	58
4.3.3	Ergebnisse der RFA-Analysen an Krusten	60
4.3.4	Bestimmung des Restdehnpotentials	61
4.3.5	Druckfestigkeitsprüfungen an Originalmaterial	63
5.	Entwicklung von Restaurierungsmaterialien	64
5.1	Mineralische Injektionsmaterialien auf Basis von Feinstzementsuspensionen	64
5.2	Zusätze.....	65
5.2.1	Kunststoffzusätze.....	65
5.2.2	Lithiumionenzusätze.....	66
5.3	Voruntersuchungen Soprodur und Tricodur.....	66
5.3.1	Untersuchungen mittels Wärmeflusskalorimetrie.....	67
5.4	Injektionsmaterialien auf Basis von Feinstzementsuspensionen, Fazit aus der Diplomarbeit von Frau Tanzmann	69
5.5	Entwicklung eines Ergänzungsmörtels.....	69
5.6	Hallescher Porphy(-splitt)	72
5.7	Mansfelder Kupferschlacke	73
5.8	Quarzsand aus der Grube Köpplitz.....	75
5.9	Untersuchungen an Probekörpern, Ermittlung von Materialkennwerten	75
5.10	Schaffung einer wasserabweisenden Schutzschicht	78
6.	Rezepturen der Antragsmörtel und Schlämmen.....	78
7.	Fazit	82
8.	Restaurierungsarbeiten	83
8.1	Reinigung.....	83
8.2	Festigung.....	85
8.3	Rissverfüllung.....	87
8.4	Mörtelantragungen, Abstrahlen	95
9.	Ausblick.....	107
10.	Literaturverzeichnis	109

ANHANG - Prüfzeugnisse, Produktkennblätter

1. Einleitung

In dem vorgestellten Projekt, das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde, ist exemplarisch die Restaurierung von stark geschädigten Skulpturen aus Stampfbeton umgesetzt worden. Beide Skulpturen wiesen vor allem extrem viele Riss unterschiedlicher Dimension und fertigungsbedingte Kiesen auf, die über einen langen Zeitraum große Mengen Wassers in die Betonkörper leiteten. Als ein wesentlicher Schadensfaktor konnte die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) identifiziert werden, die den Rahmen für die Entwicklung und Auswahl der Restaurierungsmaterialien bildete. Hauptsächliches Ziel der Restaurierung war es, die Wasseraufnahme so weit wie möglich einzuschränken, um den Schadensprozessen den hauptsächlichen Reaktionspartner zu entziehen und somit eine nachhaltige Instandsetzung zu gewährleisten.

Das Projekt lag in der Obhut der Stadt Halle und wurde in Kooperation verschiedener Forschungsinstitutionen und in fachlicher Begleitung des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt realisiert.

In dem Projektzeitraum wurden drei Zwischenberichte (HAL 39/2011, 69/2012 und 46/2012) zum Stand der Untersuchungen und Restaurierungsarbeiten an die DBU gesandt. (Bezüglich der Materialrecherche, Schadensdiagnostik und Materialentwicklung wurden weiterhin der Berichte DD 44/2011 und DD 18/2012 verfasst.)

Im Rahmen des DBU-Projektes gab es weiterhin eine Kooperation mit einem Förderprojekt des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, worin zum Thema 3D Kartierung - Entwicklung eines Verfahrens zur zeitaufgelösten 3D-Kartierung von Verformungen und Schäden an Bauwerken und Bauteilen geforscht worden ist. Hierbei gab es eine Zusammenarbeit des IDK mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung und dem Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF).

2. Entstehungsgeschichte der Plastiken

Die beiden Tierskulpturen sind das Werk des Bildhauers Gerhard Marcks. Er kam 1925, nachdem das Bauhaus von Weimar nach Dessau wechselte und die Bauhaustöpferei, deren Leiter er in Dornburg war, nicht mit in das neue Domizil genommen wurde, nach Halle an die "Burg". Das Bauhaus hatte sich für seine weitere Profilierung von den das Handwerk fördernden Werkstätten getrennt. Für die "Burg" war Gerhard Marcks neben noch weiteren Lehrkräften des Bauhauses ein Zugewinn.

1926-1928 baute Paul Tiersch, der Gründer und Direktor der Werkstätten Burg Giebichenstein, die unmittelbar neben der Schule gelegene Brücke über die Saale. Sie steht in einer Reihe von halleschen Brückenbauten, die von mittelalterlichen Bauformen kommend, den neuen Baustoff Beton einsetzte, ohne auf künstlerischen Bauschmuck verzichten zu wollen. Die eigentlichen Brückenkörper waren, wie die Steinmühlenbrücke oder auch die Überformung der Klausbrücke, reine Zweckbauten, die in ihrer Formgebung ohne irgendwelche Zugeständnisse dem neuen Bauen, welches sich aus der Logik der technischen Möglichkeiten des Betons heraus entwickelte, verpflichtet fühlte. Die Aufbauten aber waren dem Jugendstil, bzw. dem Wirrwarr unterschiedlicher Stilimitationen entsprechend gestaltet. In dieser Linie ging Tiersch einen Schritt weiter und baute die Brückenbögen erstmals ohne allen Schmuck. Da er aber trotzdem Architektur und Kunst verbinden wollte und für die in eisenbewehrtem Beton gebauten Bögen (hohl aufgebaut) einen Schutz vor Hochwasser und Eisgang benötigte, setzte er ganz unabhängig vom Baukörper zwei Eisbrecher vor die Brücke. Diese Eisbrecher schuf Gerhard Marcks in Form der uns überkommenen Tierskulpturen. Die Plastiken entstanden 1928. Die unmittelbar vor die Brücke gestellten Sockel wurden massiv aus Stampfbeton gefertigt. Die Skulpturen, auch diese aus massivem Stampfbeton, wurden anschließend darauf gestellt. Ausgangspunkt war jeweils ein in eine Holzschalung per Hand gestampfter Rohblock. Dieser Block muss schon weitgehend der Endform angenähert gewesen sein. An-

schließlich wurde dann von Steinbildhauern steinmetzmäßig die genaue Form ausgearbeitet. Für beide Arbeitsgänge standen Gipsmodelle des Künstlers von 2 m Länge zur Verfügung. Diese sind im Stadtarchiv als Photos vorhanden, werden aber nicht zur Veröffentlichung freigegeben. Leider gibt es nur ganz wenig Archivmaterial über die Fertigung der Skulpturen, so dass es schwierig ist, den genauen Ablauf der Arbeiten zu rekonstruieren. Weder im Nachlass des Künstlers im Gerhard-Marcks-Haus in Bremen, noch im schriftlichen Nachlass im Germanischen Nationalmuseum in Nürnberg oder im Archiv der Hochschule für Kunst und Design Burg Giebichenstein ist nach Aussage der dortigen Mitarbeiter etwas Entsprechendes vorhanden. Nur im Stadtarchiv Halle findet sich ein Ausschreibungstext für eine Angebotsaufforderung an eine Münchner Steinbildhauerfirma (siehe Abb. 1).

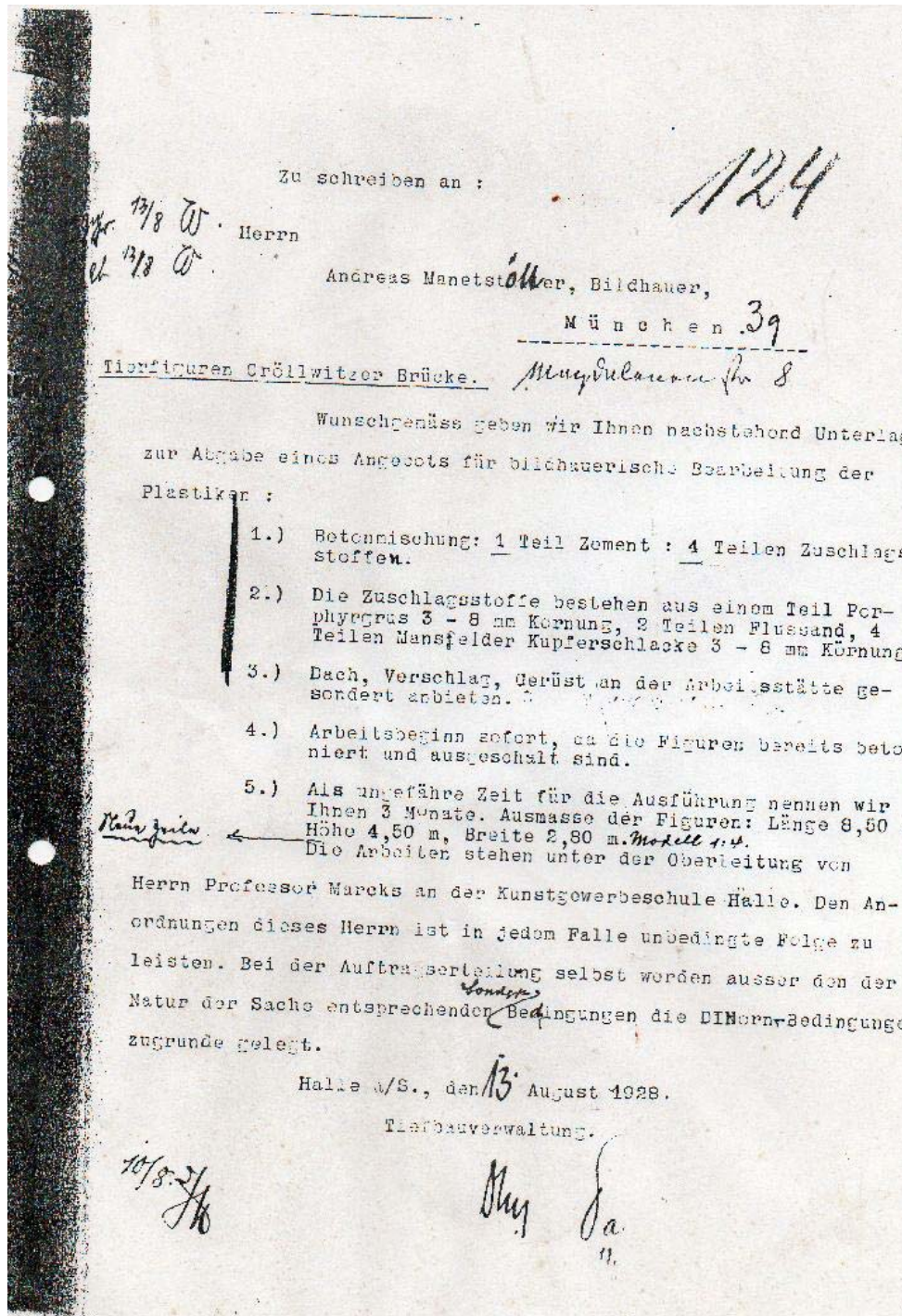


Abb. 1: Ausschreibungstext zum steinmetzmäßigen Überarbeiten der Rohblöcke

Dort sind die Rezeptur des Betons, die Tatsache, dass die Rohlinge schon fertig sind und der Termin der Fertigstellung benannt. Die Rezeptur des Betons wurde bislang immer als Vorschlag der Firma verstanden. Da diese allerdings letztlich nicht den Auftrag erhalten hat, müssen diese Angaben mit Zurückhaltung gesehen werden. Der Brief stammt jedoch von der Tiefbauverwaltung der Stadt Halle. Damit ist es eine verbindliche Mitteilung, zumal die Rohblöcke nach dieser Rezeptur schon gefertigt waren. Der Brief stammt vom 13.08.1928. Fertigstellungstermin war in drei Monaten, was auch eingehalten wurde. Da beide Figuren in einem Vierteljahr überarbeitet wurden, muss die Schalung schon dicht an der späteren Oberfläche entlang gebaut worden sein. Um größere Mengen des Materials abzarbeiten, wäre die Zeit zu knapp gewesen.

In den Beständen des Kunstmuseums des Landes Sachsen Anhalt, Moritzburg Halle sind Teile des Nachlasses von Hans Finsler, einen weiteren Lehrers der „Burg“ und Leiter der Photoklasse, erhalten. Die Abbildung 2 zeigt einen Blick durch die eben errichtete Brücke hindurch auf die Baustelle der „Kuh“ (Hans Finsler „Cröllwitzer Brücke von unten“, 1928, Signatur Ma 102).



Abb. 2: Blick durch die neue Brücke auf die Kröllwitzer Seite mit dem Gerüst, bzw. der Schalung für die Kuh (Finsler, Stiftung Moritzburg)

Man sieht ein etwas abenteuerliches Baugerüst, in welchem die Kuh erst noch im Entstehen ist. Die Plinthe ist schon vorhanden, die eigentliche Skulptur noch nicht. Das ist also der Arbeitszustand beim Erstellen des Betonrohblockes im Sommer 1928. Die Abbildung 3 ist eine Vergrößerung aus 2.

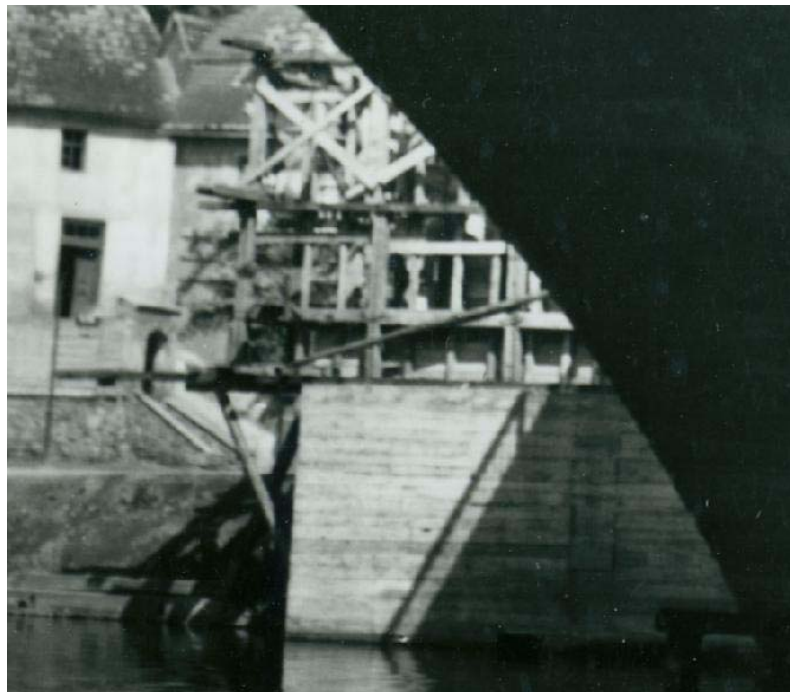


Abb. 3: Vergrößerung aus Abbildung 2

Die nächste Abbildung (4) zeigt die fertig gehauene Kuh. Das ist das früheste Photo der Kuh unmittelbar nach der Fertigstellung. Irritierend ist allerdings die Wahlwerbung für Adolf Hitler, da zwar 1928 eine Reichstagswahl stattfand, jedoch schon am 20. Mai. Nach diesem Termin macht eine solche Schmiererei eigentlich keinen Sinn.

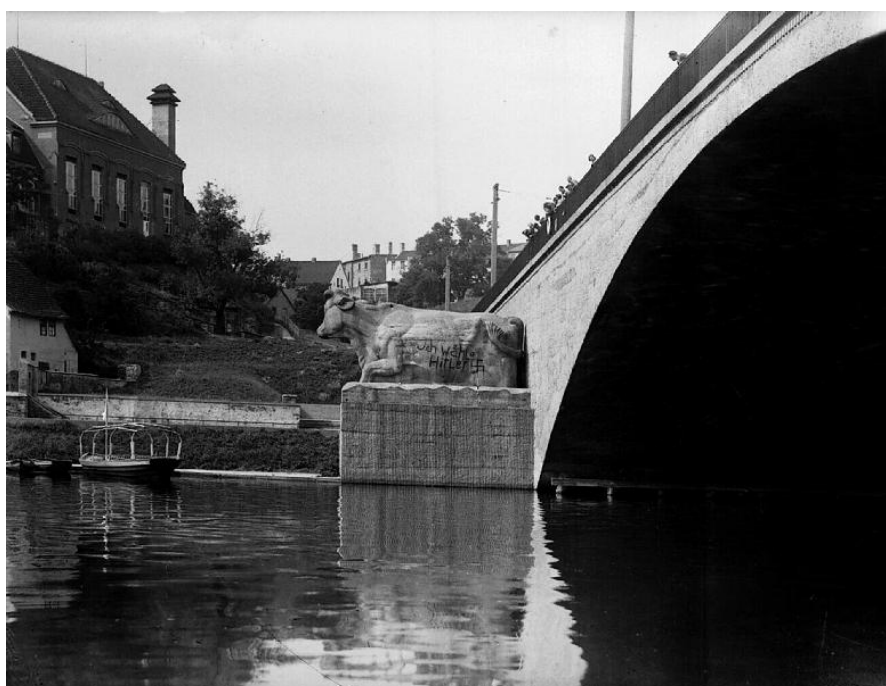


Abb. 4: Die fertig gestellte Kuh wohl Mitte bis Ende Oktober 1928 mit einer Wahlwerbung für Hitler (Archiv Burg Giebichenstein, Kunsthochschule Halle)

Die sofortige Nutzung einer neuen Arbeit von Gerhard Marcks als Möglichkeit, eine nationalsozialistische "Duftmarke" zu setzen, fand ihre Fortsetzung und ihren gleichzeitigen Höhepunkt in der Entlassung unmittelbar nach dem Amtsantritt von Adolf Hitler und ist wohl der Beginn seines später sehr gestörten Verhältnisses zu Halle. Da der Ausschreibungstext vom August 1928 datiert ist, muss die Kuh im Herbst dieses Jahres entstanden sein. Interessant in diesem Zusammenhang ist das nächste Photo in Abbildung 5, auch aus der Stiftung Landeskunstmuseum Moritzburg in Halle von Finsler, welches Teile der Überdachung des Pferdes während der Steinmetzarbeiten zeigt. Auf der gegenüberliegenden Seite ist inzwischen die Uferböschung befestigt worden. Stufen führen zur neu betonierten Bootsanlegestelle. Es ist also später aufgenommen, als das vorangegangene Photo. Die Kuh war also schon fertig gestellt, als das Pferd noch in Arbeit war.

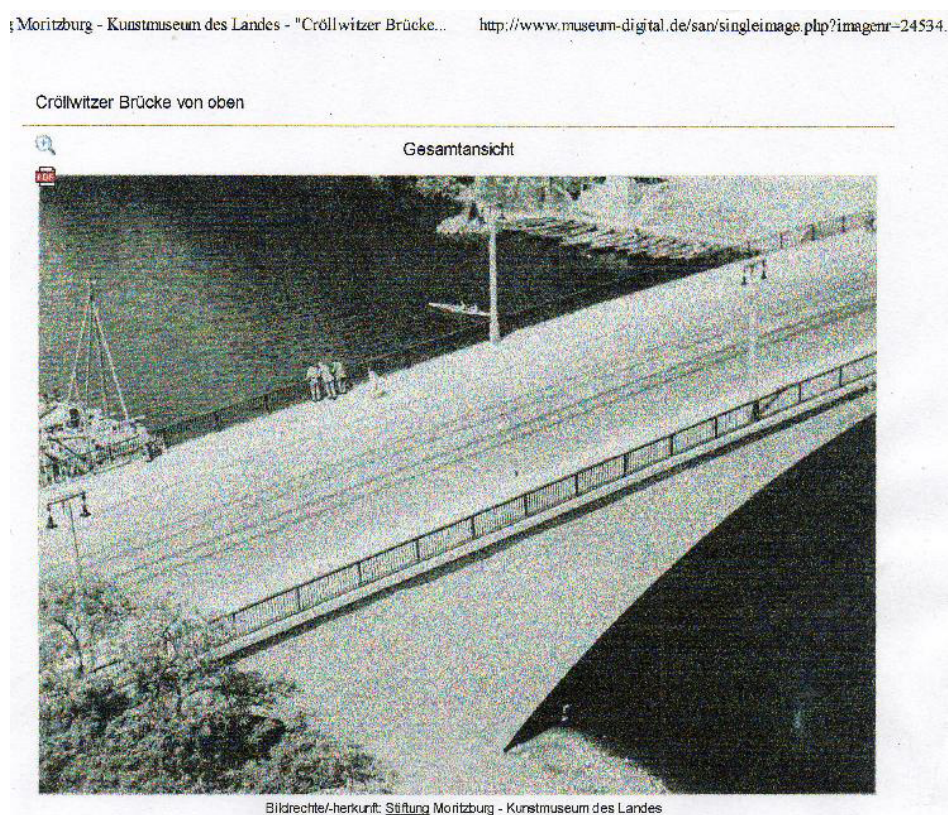


Abb. 5: Blick auf die Brücke mit Arbeitsgehäuse für das Pferd (links); am gegenüberliegende Ufer ist keine Einhausung mehr zu erkennen

Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt den Bildhauer Gobes aus Berlin, der letztendlich den Auftrag zur Bearbeitung der Rohblöcke erhielt, mit seiner Mannschaft. Das Pferd ist auf diesem Photo in einem tadellosen Zustand.



Abb. 6: November 1928, der Meister mit seinen Gesellen vor dem fertig gestellten Pferd (Stadtarchiv)

Die Zeit seit 1928 bis heute, Restaurierungen

In einer im Stadtarchiv Halle aufbewahrten Notiz, bzw. vielleicht auch dem Abnahmeprotokoll (siehe Abb. 7) bestätigt Gerhard Marcks die Fertigstellung der Tierskulpturen. Er bescheinigt die einwandfreie Ausführung der Arbeit und findet nichts daran auszusetzen. Allerdings benennt er das Problem nässender Stellen, die er mit den waagerechten Fugen zwischen den Schichten gestampften Betons in Zusammenhang bringt (BAUAKTE 660-3-b-3 Bd. X Nr. 268). Er empfiehlt eine Tränkung mit Wasserglas, um die Haltbarkeit des Materials zu erhöhen. Zwei Jahre später wendet sich das Tiefbauamt mit einer entsprechenden Anfrage an die Bauberatungsstelle des deutschen Zementbundes. In der im Archiv erhaltenen Antwort (siehe Abb. 8) wird der Anstrich mit Fluat und gleichzeitig ein Hersteller empfohlen. Der empfiehlt ein entsprechendes Produkt (siehe Abb. 9). Ob es zu einer Behandlung der Tiere mit Wasserglas gekommen ist, also eine erste Restaurierungsmaßnahme stattfand, ist nicht belegt.

U
Zahlen "6" 24. XI. 28
Wass & Frutay
1883

Zürich, am 24. XI. 28. Habe ich in Gegenwart von Herrn
Luigi Vaccaro vom Aufbaubüro und Herrn Adolph von Godes
Berlin die Skulpturen an der Giebelmauer des Kirchen-
gnostikums. Die Skulpturen sind freigelegt und künstlich
zinsweise ausgestellt. Am Material lassen sich folgende
Feststellungen auf den verschiedenen Stellen, die durch die
Entstehung sind; Goldstein ist offenbar nicht in
Block entstanden, sondern, wie die Ober- und Unterseite
ganz ausnehmend gut erhalten (verantwortlich durch Frutay)
Derselbe an der Arbeit nicht anzunehmen.
Um die Haltbarkeit der Skulpturen zu erhöhen, empfiehlt sich eine
Zerückführung mit Wasserabspülung.

Guland B. B.

Abb. III. 8. 1883

28

1883

Abb. 7: Aktennotiz von G. Marcks über die Abnahme der Skulpturen (Stadtarchiv)

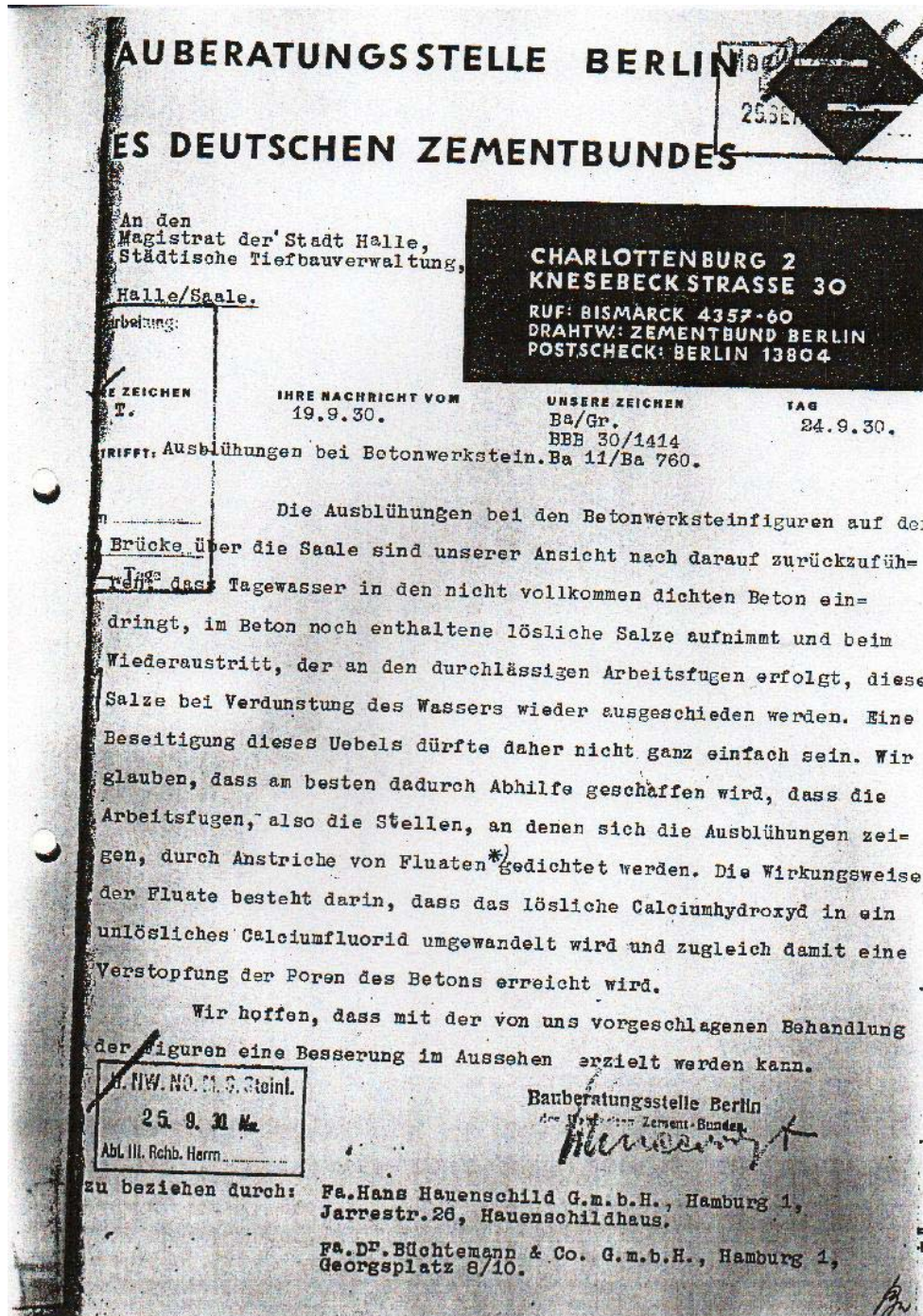


Abb. 8: Antwortschreiben der Bauberatungsstelle Berlin des deutschen Zementbundes (Stadtarchiv)

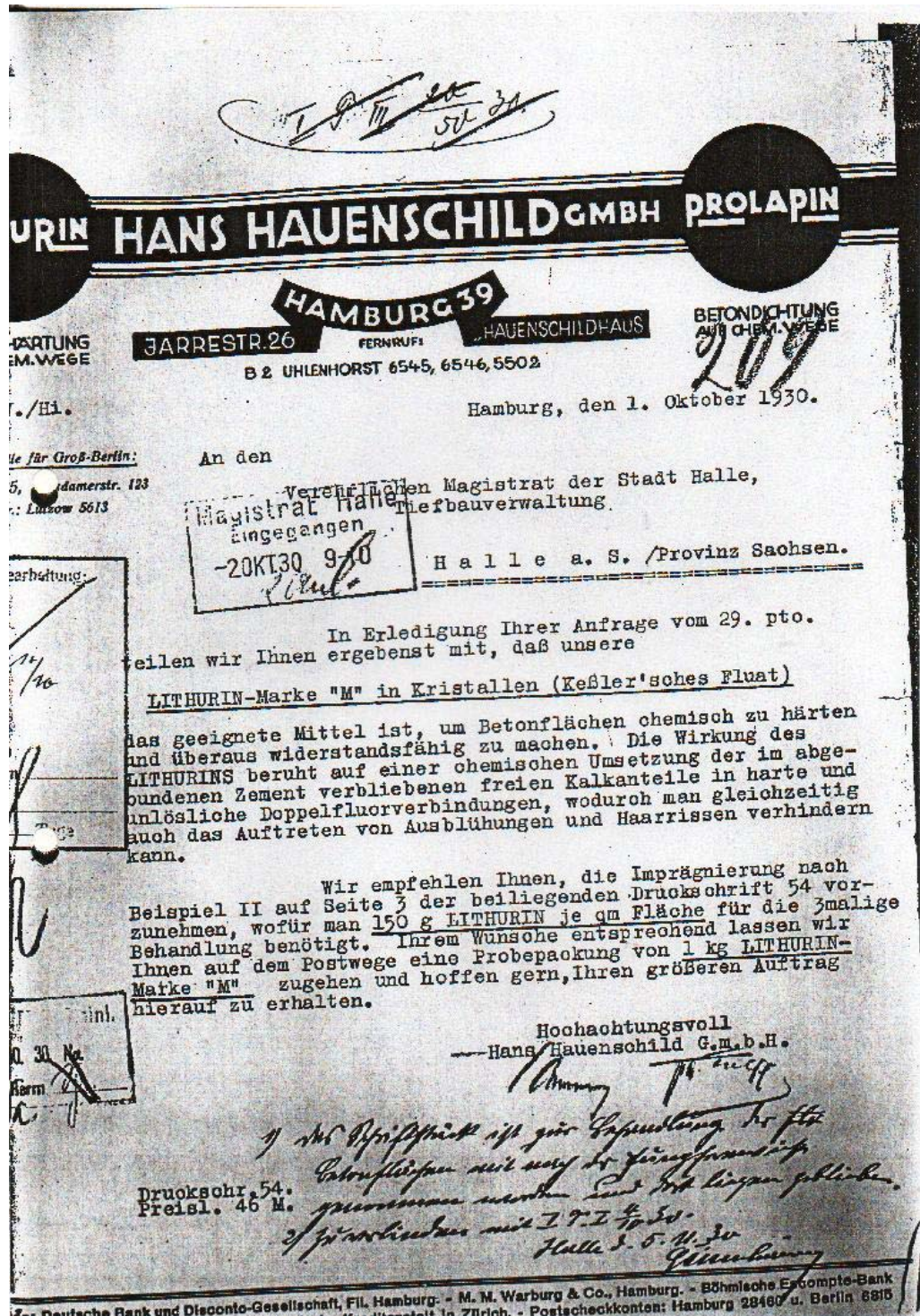


Abb. 9: Antwortschreiben der Firma Hauenschild mit der Empfehlung für ihr Produkt Lithurin- Marke M (Stadtarchiv)

Bis hierher gibt es, wenn auch nur spärliche Notizen über die Herstellung und die beginnenden Probleme der Betonskulpturen. Erst für die Sanierung der Tiere im Jahre 1995 gibt es als Bestandsaufnahme eine Schadenskartierung von 1993 und damit die ersten schriftlichen Nachrichten seit 1930. Dazwischen ist man auf, meist zufällig vorhandene Photos im Stadtarchiv, dem Archiv der Moritzburg sowie dem der "Burg" angewiesen. Hiervon nachfolgend eine Auswahl.



Abb. 10: Die erste Aufnahme der komplett fertig gestellten Brücke mit den beiden Tieren in der Zeit zwischen 1929 und 1932 entstanden; die weißen Sinterfahnen sind an der Kuh bereits zu sehen (Finsler, Stiftung Moritzburg)



Abb. 11: Austritt einer weißen Sinterfahne und zusätzlich einer braunen Substanz (Stadtarchiv, Annemarie Giegold-Schilling, vermutlich zwischen 1930 und 1932, als sie bei Finsler studierte)



Abb. 12: Es ist ebenfalls eine deutliche Stampffuge zu sehen, aus der Material austritt. Hier gab es vermutlich eine größere Pause im Stampfen, eventuell, weil nun der Kopf gestampft wurde, der keine waagerechten Fugen aufweist, sondern seiner Form entsprechend gesondert verdichtet wurde. Der Kopf der Kuh entstand wohl ebenso; die Qualität beider Köpfe ist ungleich besser als die der Körper, es gibt interessanterweise keine Fehlstellen (Giegold-Schilling, Stadtarchiv)



Abb. 13: Wohl vor 1933 wurden die Skulpturen erneut politisch genutzt, diesmal um zu verkünden, dass die HJ, Hitlers Jugendorganisation lebt; die porösen waagerechten Fehlstellen markieren sich als dunkle Streifen (Strauch, Stadtarchiv)



Abb. 14: Hier sind neben den Schmierereien die sehr ungleichmäßig gestampften Schichten sehr genau zu sehen (Strauch, Stadtarchiv)



Abb. 15: Auch hier markieren sich die Fehlstellen, die vom Stampfen herrühren als dunkle Streifen (Strauch, Stadtarchiv)

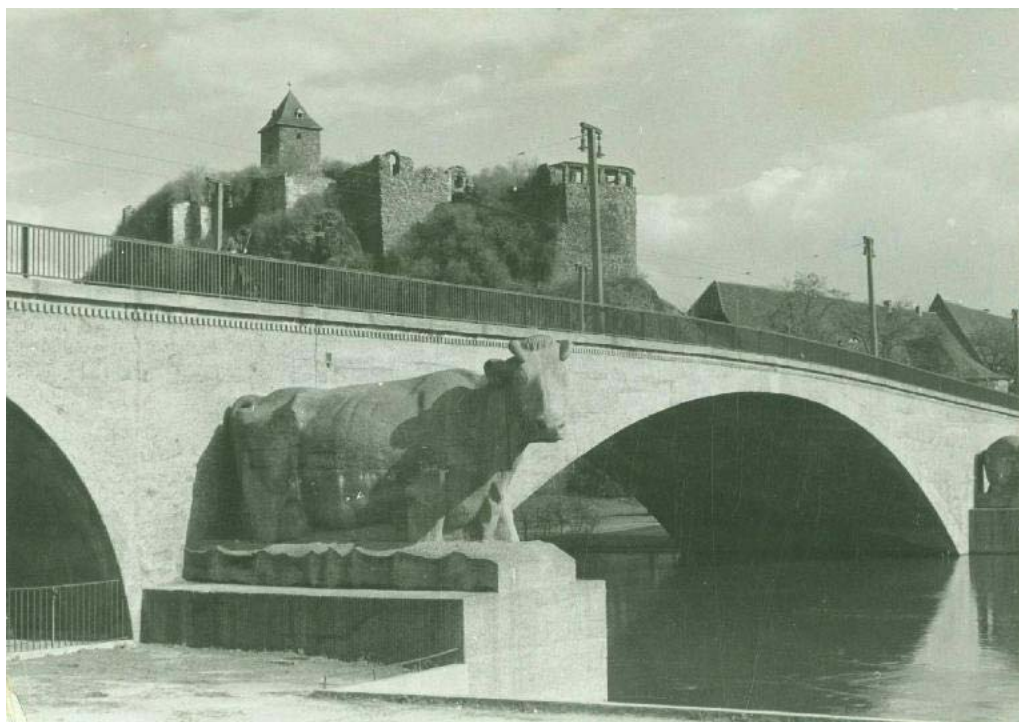


Abb. 16: Zwischen 1933 und 1945, die Tiere sind inzwischen schon etwas verschmutzt (Stadtarchiv)

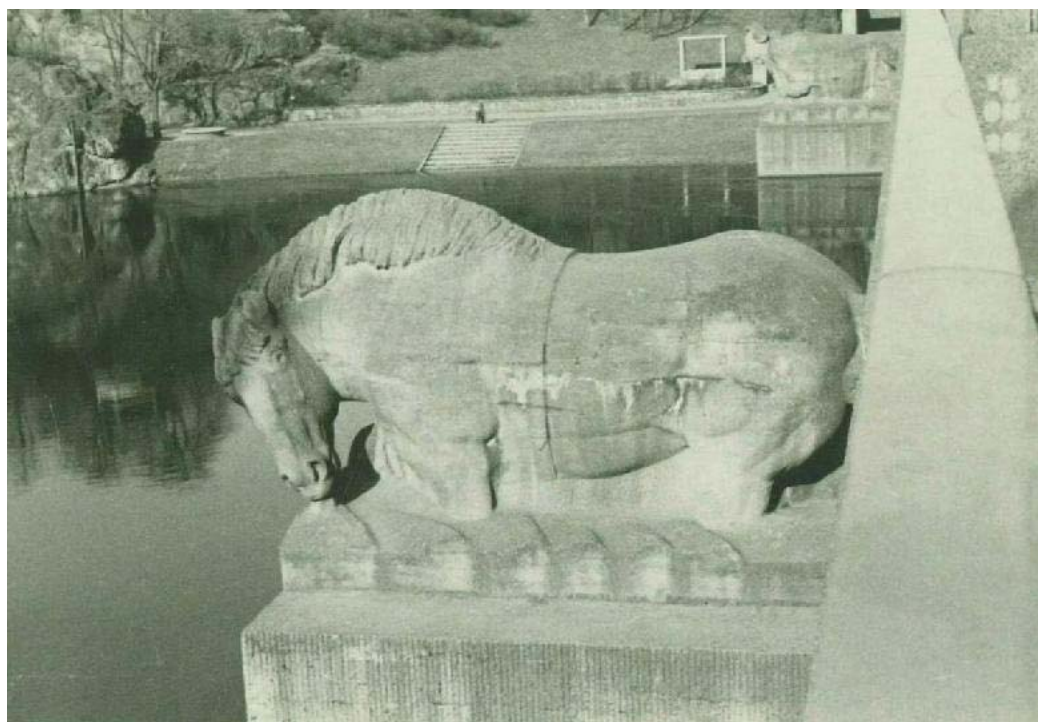


Abb. 17: Zwischen 1933 und 1945, waagerechte Sinterföhnen haben ebenso wie die Verschmutzung zugenommen (Stadtarchiv)



Abb. 18: Brücke nach der Sprengung des Hauptbogens im April 1945 durch deutsche Truppen; auf eine Beschädigung, bzw. eine notwendige Restaurierung der Skulpturen gibt es keinen Hinweis (Stadtarchiv)

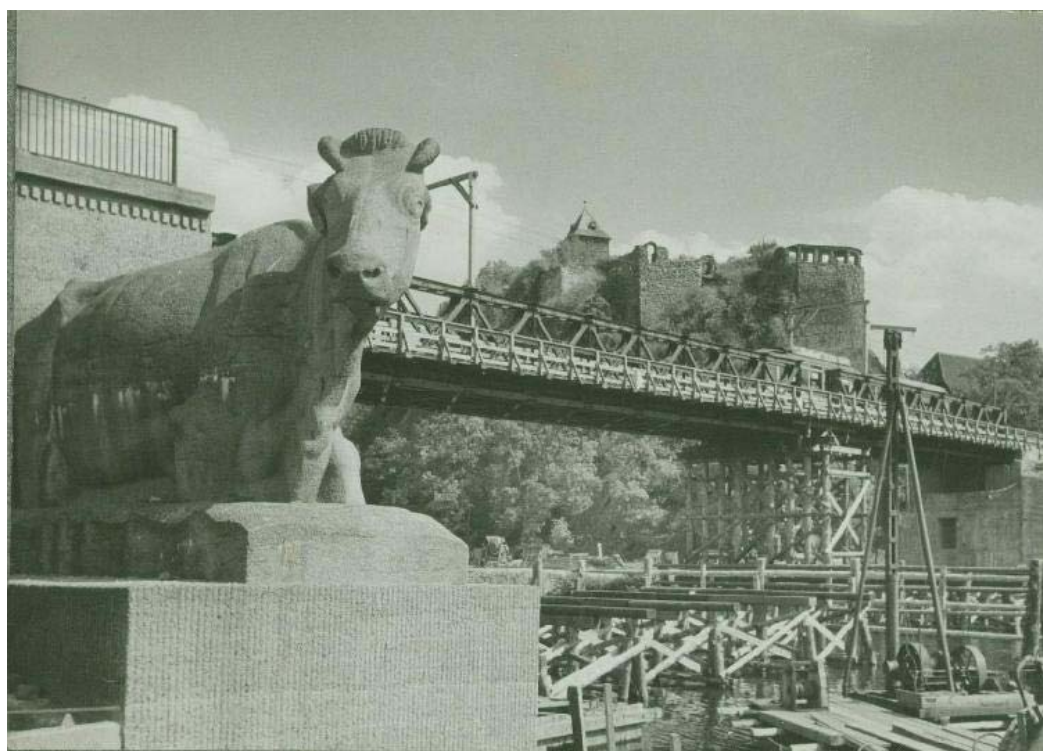


Abb. 19: Die Brücke beim Wiederaufbau 1947- 1949; abgesehen von einigen weiteren Sinterfahnen sind keine Veränderungen an der Skulptur der Kuh sichtbar (Stadtarchiv)

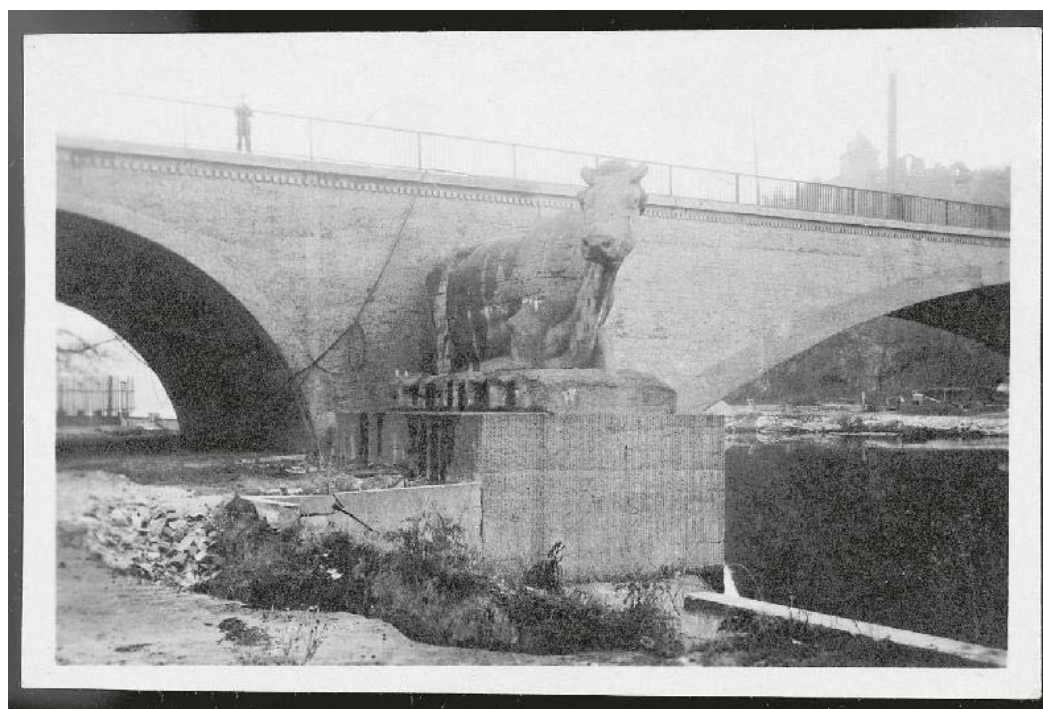


Abb. 20: Nach 1949, mit dem inzwischen wieder aufgebauten Mittelbogen; eine Erklärung für die dunkle Flüssigkeit, welche an der Kuh heruntergelaufen ist, ist nicht bekannt; die Uferbefestigung ist inzwischen zerstört (Archiv Burg Giebichenstein)

Für die Beobachtung des Zustandes der Tiere seit ihrer Herstellung ist es sinnvoll, beim Stampfen der Rohblöcke zu beginnen. Wie bereits erwähnt, gibt es keine Dokumente, welche diesen Prozess belegen. Obwohl zu der Zeit die industrielle Technologie des Betonbaus schon weit vorangeschritten war, scheint die Fertigung der beiden Skulpturen doch eher eine handwerkliche gewesen zu sein. Das deckt sich auch mit der Aussage des haleschen Bauingenieurs Dr. Leuchte, dessen Vater als Zimmermann mit an den Schalungen gebaut hat, dass der Beton mit Schubkarren über eine provisorisch errichtete Rampe von unten bis nach oben in die Schalung transportiert wurde. Die Möglichkeit, eine Mischmaschine auf der Brücke zu errichten und den Beton von oben einzufüllen, scheint man nicht genutzt zu haben. Nun ist eine mündliche Aussage zwar mit etwas Vorsicht zu behandeln, das Erscheinungsbild der Tiere deutet aber darauf hin, dass diese per Hand gestampft wurden. Es gibt eindeutige horizontale Unterbrechungen im Stampfprozess von ca. 30 cm Höhe, also der Masse Beton, die maximal in einem Arbeitsgang von Hand gestampft werden konnte. An den Fugen zwischen diesen Schichten finden sich erhebliche Fehlstellen, d. h. Stellen, welche nicht gut gestampft sind. Dort gab es von Anfang an Bereiche, in die Wasser wie in einen Schwamm weit in die Skulpturen eindringen konnte. Diese Problematik war schwerwiegender als sie Gerhard Marcks in seinem Schreiben schilderte. Vielleicht war das damals auch noch nicht abzusehen. Eine weitere Schwierigkeit entstand dadurch, dass die oberen Partien, also Rücken, Kopf, Mähne und Ohren nicht mehr in eine Schalung hinein gestampft werden konnten. Diese Bereiche wurden vermutlich frei aufgetragen und sind dementsprechend weniger verdichtet. Da sie zusätzlich auch noch kleinteiliger waren, also mit den Steinmetzwerkzeugen intensiver bearbeitet wurden, ist ihre Oberfläche weniger fest und im Laufe der Zeit deutlich tiefer zurückgewittert als die übrigen Flächen. Man muss allerdings auch zwei Vorteile der beschriebenen Vorgehensweise sehen, die wohl ausschlaggebend dafür waren, so zu arbeiten. Für das Stampfen in einzelnen Schichten bedurfte es keiner aufwendigen, den Druck der gesamten Menge an Beton aufnehmenden Schalung. Man brauchte in einer frühen "Gleitschalung" immer nur so viel vorzubauen, wie für das Stampfen notwendig war. Am nächsten Tag war der Beton so weit abgebunden, dass er keinen Druck mehr auf die Schalung ausübte. Weiterhin kam es durch das einzelne Ab-

binden der aufeinanderliegenden Betonschichten zu einer geringeren Schwundrissbildung, als es beim zeitgleichen Ausreagieren einer so großen Betonmasse von ca. 100 m³ unweigerlich der Fall gewesen wäre. Die mit einem Metalldetektor gefundenen wenigen und unsystematisch gelegten Eisen hätten, wenn sie als Bewährung gemeint waren, nichts dagegen vermocht. Die vorhandenen Abbildungen sind natürlich nicht im Hinblick auf eine frühe Schadensbildung entstanden. Man kann also weder Risse noch Fehlstellen durch unsachgemäßes Stampfen sehen. Diese beiden Fehlerquellen sind jedoch als Ursache für die Stellen anzusehen, an denen eine weiße Sinterschicht schon sehr bald nach Fertigstellung der Skulpturen austrat. Wie wir heute wissen, geschah das aber nicht zwingend und nicht überall sofort. Die ersten Sinterfahnen kommen aus waagrecht verlaufenden Rissen, d. h. aus Fehlstellen, die auf ein schlechtes Verdichten des Betons zurückgeht. Schon auf dem ersten Photo von beiden fertig gestellten Skulpturen, einer Abbildung aus der Serie von Hans Finsler sind die weißen Ausblühungen zu sehen. Leider ist die Datierung unklar. In allen Quellen wird 1928 genannt. Das kann aber nicht sein, da auf der Aufnahme die Bäume im vollen Laub stehen und der Schatten unter dem Pferdegespann vor der Brücke fast senkrecht fällt. Es muss also Hochsommer gewesen sein. Die Figuren waren aber erst im November 1928 fertig. Die Aufnahme kann also von Sommer 1929 bis Sommer 1932, als Finsler Halle verließ, entstanden sein. Das gleiche Problem besteht bei allen Photos von Finsler, aber auch bei den anderen Aufnahmen im Stadtarchiv zu konstatieren. Das ist hier nicht zu klären. Es sei nur benannt.

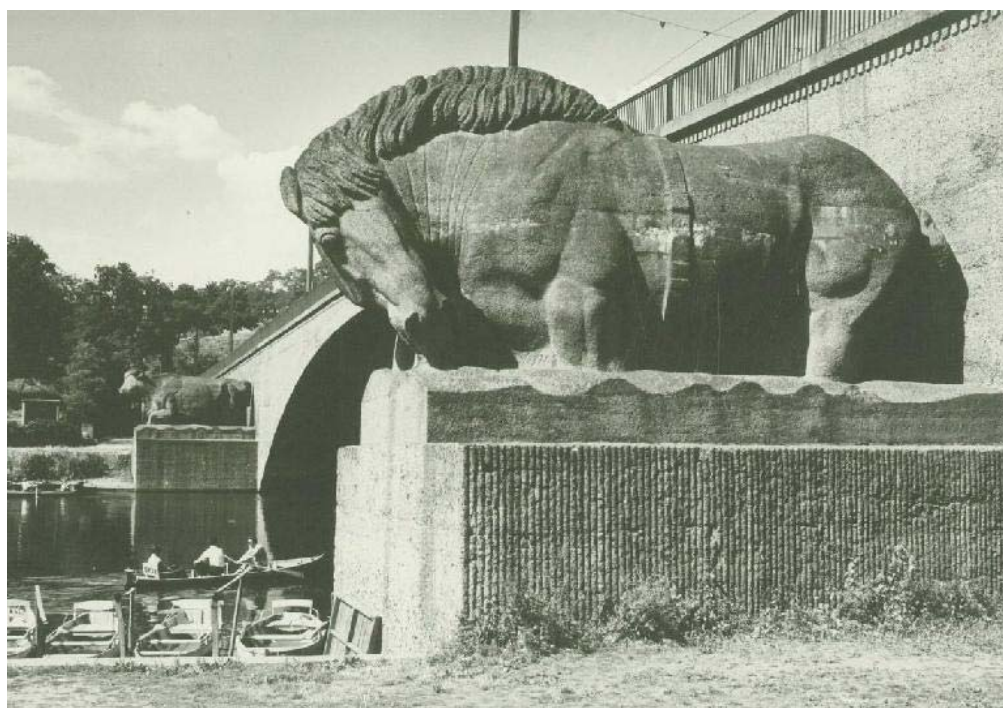


Abb. 21: Die Skulpturen in den 50er, 60er Jahren (?) (Münzberger, Stadtarchiv)



Abb. 22: Um 1960 (?), die Verschmutzung hat deutlich zugenommen (Münzberger, Stadtarchiv)

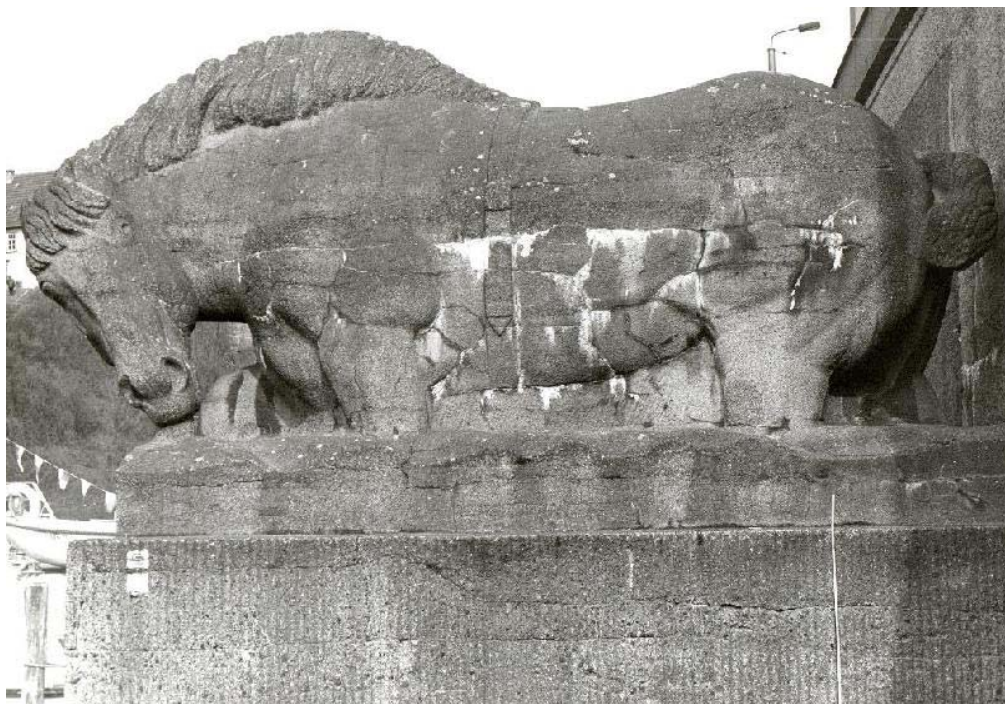


Abb. 23: Vor der Restaurierung (1993); erst jetzt sind auch senkrechte Risse deutlich zu sehen (Reichenbach)

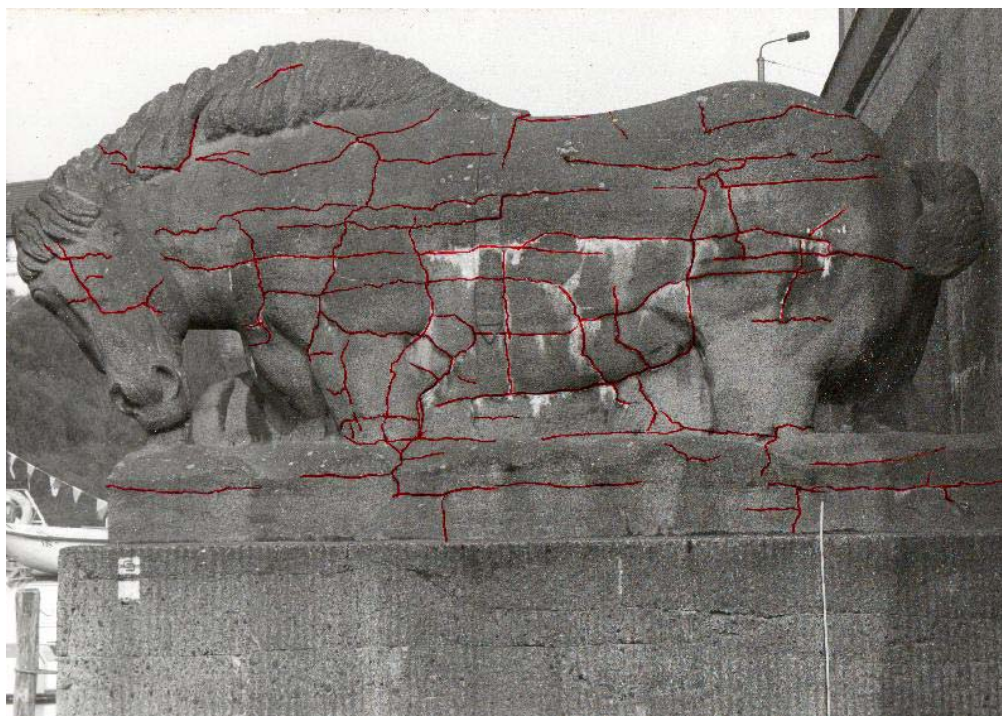


Abb. 24: Nachträgliche Risskartierung; die Zunahme der Rissbildung ist offensichtlich, vor allen, dass sich die waagerechten Risse durch senkrechte zu einem ganz kleinformatigen Raster verdichten (Reichenbach)

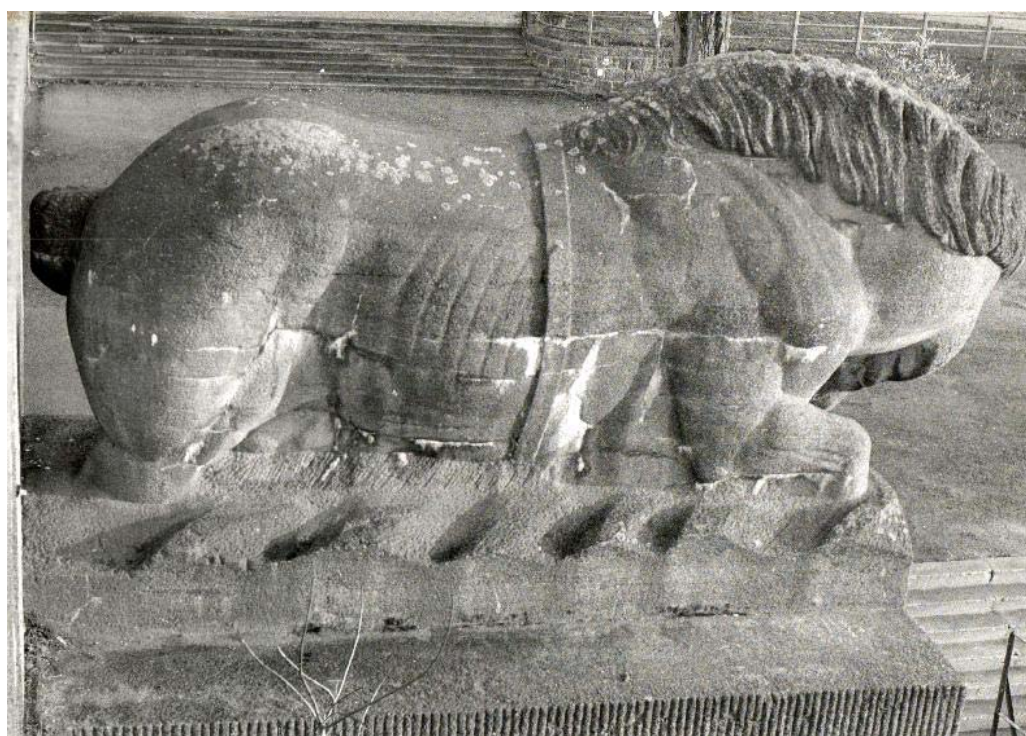


Abb. 25: 1993; Deutlich sind auf dem Rücken Moose und Flechten zu sehen, die nur wachsen, wenn der Beton so entfestigt ist, dass er einen Nährboden bildet; die Sinterfahnen sind fast ausschließlich im unteren Bereich zu finden (Reichenbach)



Abb. 26: 1993; Ungefähr die Hälfte der weißen Flächen sind Farbschmierereien (Reichenbach)



Abb. 27: 1993; Die großflächige Verwitterung der Oberfläche ist hier deutlich zu sehen. Die Kuh ist, das kann man nun deutlich sehen, viel schlechter gestampft als das Pferd; der Rohblock für die Kuh ist wohl vor dem des Pferdes gestampft worden, wie auch die steinmetzmäßige Überarbeitung zuerst geschah. Leider gibt es keine Aufnahmen der Betonskulpturen nach der Sanierungsmaßnahme 1995 (Reichenbach)

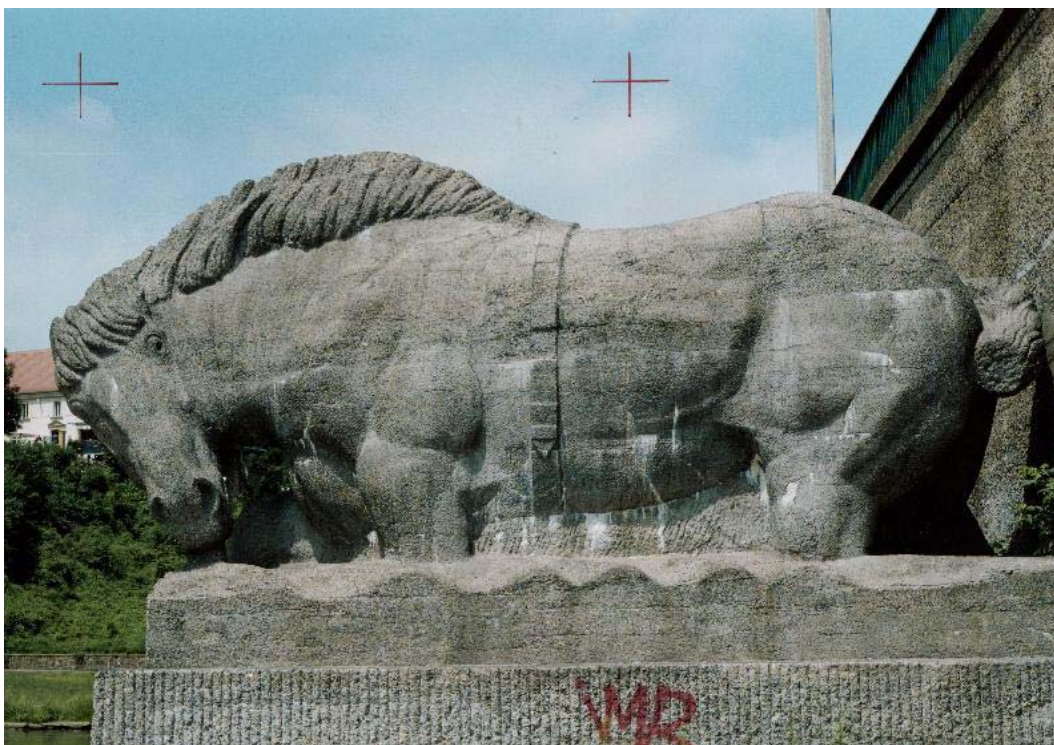


Abb. 28: Zustand 2010 (Reichenbach)

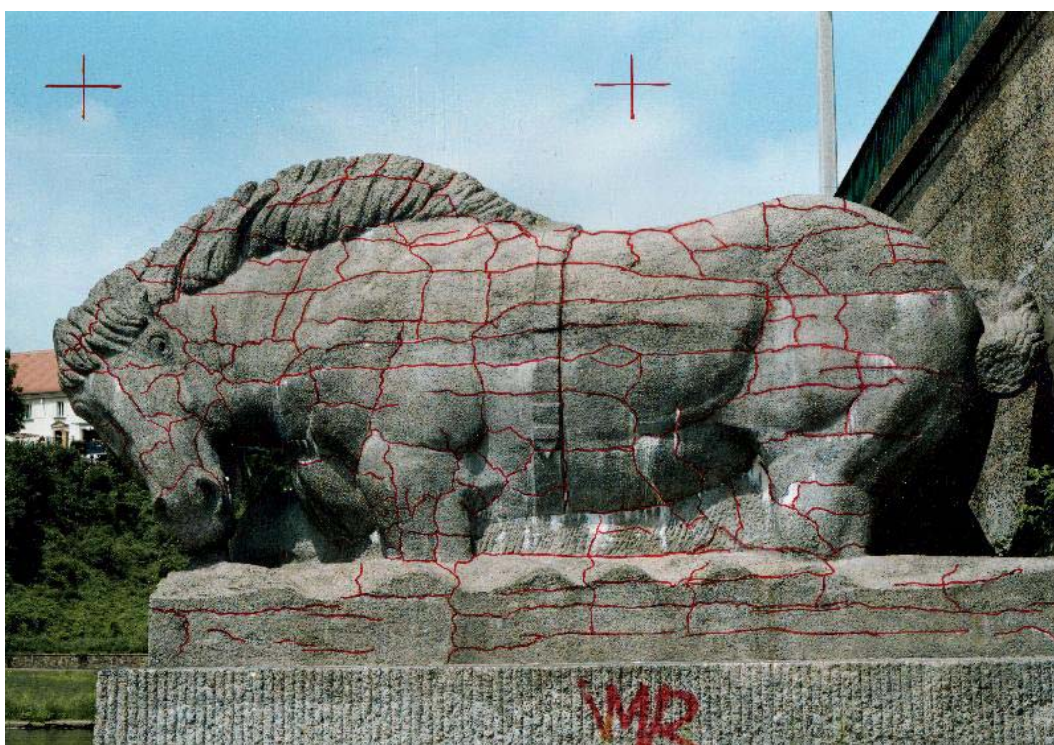


Abb. 29: Zustand 2010 mit Risskartierung; Diese wurde 2012 vom Gerüst aus gezeichnet, dadurch ist sie genauer als die von Abbildung 24. Die Risse verdichten sich zu einem immer kleinteiliger werdenden Raster (Reichenbach)



Abb. 30: Zustand 2010 (Reichenbach)



Abb. 31: Zustand 2010 (Reichenbach)



Abb. 32: Zustand 2010; Das Rissnetz auf dem Rücken ist seit 1995 deutlich dichter geworden (Reichenbach)

Die Reihe der Abbildungen seit ca. 1929 zeigt, dass sich die im Abnahmeprotokoll erwähnten "nässenden Stellen" recht schnell zu feuchtigkeitsaufsaugenden Kiesnestern entpuppten, in denen durch den Nässestau Kalk gelöst wurde, der dann durch die Risse nach außen trat. 1930 war in dem Tiefbauamt zumindest im Gespräch, diesem Problem mit Fluat zu begegnen. Ob es zu einer entsprechenden Applikation kam, ist nicht dokumentiert. An der Kuh gab es saaleseitig einige kleine Ergänzungen mit einem hellerem Mörtel, die Fehlstellen schließen sollten. Außerdem treten an beiden Tieren einige Rundeisen aus dem Beton. Sie wurden umgeschlagen, ohne sie abzutrennen. Teils hat man sie mit einer grauen Farbe gestrichen. Rostschäden sind dadurch nicht aufgetreten. An der Saaleseite der Kuh fanden sich ca. 30 cm x 30 cm große graue Farbflächen, welche irgendetwas verbergen sollten. Es gab also im Laufe der Zeit immer mal kleine Reparaturen an den beiden Objekten. Die Fehlstellen, die austretenden weißen Fahnen und das sich langsam entwickelnde Rissssystem haben als Gesamteindruck keine Bedrohung vermittelt. Erst in den 70er, und 80er Jahren begannen sich die Risse zu verdichten, bzw. erst in dieser Zeit wurden sie sichtbarer, möglicherweise durch einen beginnenden Ausbruch der Rissflanken. Dort konnte sich dann vermehrt Wasser, Schmutz und auch Bewuchs halten. Wie lange die Risse schon vorher vorhanden waren, nur noch nicht wahrgenommen wurden, ist heute nicht mehr belegbar. Im Jahre 1995, als die finanziellen Mittel für eine Restaurierung im Zusammenhang mit der Gesamtanierung der Brücke vorhanden waren, konnte auch eine solche an den Tieren begonnen werden. 1993 wurde dafür eine Schadenskartierung erstellt (Archiv des LFD). Die bei der jetzigen Maßnahme festgestellte Belastung mit AKR ist damals auch an der Brücke nicht zur Sprache gekommen. Als Schadensursache vermutete Herr Materna, als Vertreter des Landesamtes, Tausalz von der Brücke, welches über die Risse in den Rücken und von dort ins Innere der Tiere gelangte und weiter unten wieder austrat. In den Proben der weißen, austretenden Substanz fand sich allerdings nichts Entsprechendes. Die eigentlich schlüssige Vermutung von Tausalz als Schadensursache war also nicht zu belegen. Letztendlich ging es aber auch darum die Risse zu schließen, damit keine weitere Feuchtigkeit in den Beton gelangen kann. Als Verpresszement wurde ein mineralisches, sulfatresistentes Injektionsmaterial auf Basis von Feinstzementen Ombran VM 6- HS der Firma Woeller Ombran GmbH verwendet. Für die Fehlstellen und die aufgeschnittenen großen Risse am Sockel wurde laut Reve-

renzschreiben der Firma ein farbig abgestimmter Betoninstandsetzungsmörtel bereit gestellt. Die Verpressung wurde mit Erfolg durchgeführt. Die Risse sind auch heute noch gefüllt. Da man über die Risszusammenhänge keine Klarheit hatte, ließ man allerdings ein großes Rechteck am gesamten Bauch der Tiere unverpresst, um einem eventuell entstehenden Überdruck bei Verschluss aller Risse einen Ausweg zu lassen. Die gezielte Steuerung des austretenden Kalksinters hin zu den offenen Rechtecken hat allerdings nicht funktioniert. Er fand sich nach einigen Jahren auch darüber hinaus an anderen Stellen wieder. Im Frühjahr 2002 waren an den Tieren schon wieder erste Sinterfahnen und kleinere Schäden zu sehen. Nach einem vergleichsweise milden Winter zeigten sich fast überall die Risse wieder. Darüber hinaus schien es, dass sich an der stadtseitigen Schulter des Pferdes neue Risse bildeten. Ob sie neu waren, oder wegen ihrer geringen Dimension 1993 übersehen worden sind, ist nicht mehr nachprüfbar. In einem einjährigen Versuch zur Aktivität der Rissbewegungen (Bericht im Brückenbauamt Halle) wurde festgestellt, dass die Risse, egal ob Winters oder Sommers, morgens, mittags oder abends gemessen, immer weiter aufgingen. Die Vorstellung, dass es ein Ausdehnen, bzw. Zusammenziehen bei unterschiedlichen Temperaturen gäbe, hat sich nicht bestätigt.

Als Hauptschadensursache wird durch das Ingenieurbüro für Bauwerkserhaltung Weimar GmbH im Rahmen von Untersuchungen im Jahr 2003 eine frühzeitige Rissbildung infolge Schwindens mit einer kontinuierlichen Aufweitung der Risse durch das Eindringen von Wasser und Frosteinwirkung beschrieben (SCHMIDT, 2003).

Seit der Zeit gab es immer wieder Überlegungen, mit welchen Materialien man die Risse schließen könnte. In einem Versuch mit einem flexiblen Epoxydharz und einem Polyurethanharz zeigte sich, dass das Verdämmen der Risse auf der stark reliefierten Oberfläche des angegriffenen Betons problematisch ist. Die Kunstharze liefen immer wieder aus der Verdämmung heraus. Die Gefahr, die Harze würden über die Betonoberfläche laufen, in sie eindringen und dann irreversible sein, war zu groß. Die Risse wurden daraufhin mit einem Mörtel mit einem Gemisch aus flexiblen Epoxydharz und Quarzsand geschlossen. Der war farblich dem Beton sehr nahe und ließ sich recht gut verarbeiten. Die Risse wurden allerdings nicht verfüllt, sondern nur an der Oberfläche geschlossen. Dieser 2005 an zwei Probeflächen am waagerechten Balken über dem Aufgang vom Saaleufer in die Stadt und am kurzen Pferdeschwanz durchgeführte Versuch war sehr erfolgreich. Obwohl die Risse ja nur verschlossen waren, ist bis zum Beginn der Maßnahmen von 2012 kein Kalksinter wieder ausgetreten (Bericht 2005, Brückenbauamt Halle).

Als Grund für die weißen Ablagerungen wird ein Anlösen und Ausspülen des Bindemittels benannt. Durch (WEISE & HEMPEL, 2006) wird im Jahr 2005 die Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) festgestellt und als Schadensursache benannt. Es handelt sich dabei um die Reaktion von alkaliempfindlichen Zuschlägen mit den Alkalien aus dem Zement unter Bildung von quellfähigen Alkalikieselsäure-Gelen, die bei einer Feuchtigkeitzufuhr zu Treibwirkungen führen. Feuchtigkeitsschwankungen im Gefüge führen dann zur Schädigung. An den Rissenden werden damit immer wieder Reaktionen initiiert, die zur Rissaufweitung und zum Schadensfortschritt führen (WEISE & HEMPEL, 2006).

Des Weiteren liegt eine sekundäre Ettringitbildung, vermutlich durch Sulfateintrag von außen über eindringende Wässer, vor. Ihr wird aber kein hohes Schadpotential zugeschrieben (WEISE & HEMPEL, 2006).

Erst als die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gemeinsam mit der Stadt Halle die Finanzierung ermöglichte, konnte der Anlauf für eine erneute, umfassende Restaurierung der Skulpturen genommen werden. Im Rahmen des aktuellen Förderprojektes wurde die Schadensdiagnose in Ergänzung zu den bereits aus Voruntersuchungen vorliegenden Erkenntnissen weitergeführt sowie zusätzliche Untersuchungen gemacht. Des Weiteren sind im Projekt Restaurierungsmaterialien entwickelt worden. In einem ersten Schritt wurden an Hand von Zielvorgaben (IDK-Bericht DD 44/2011) geeignete Materialsysteme ausgewählt, die einerseits eine optimale Rissversorgung (Rissverfüllung, Rissverschluss) der Kunststeinfliguren gewähr-

leisten und andererseits für einen optisch minimal wahrnehmbaren Oberflächenschutz zur Verfügung stehen. Die Materialien wurden hinsichtlich ihrer Applikabilität und physikalisch-mechanischen Anpassungsfähigkeit an originale Stampfbeton-Material, ihrer Verwitterungsresistenz (z.B. Thermostabilität) und insbesondere unter Beachtung der denkmalpflegerischen Aspekte entwickelt. Dazu ist für die Materialien zum Rissverschluss eine Diplomarbeit an der FH Potsdam (TANZMANN, 2012) erstellt worden. Rezepturen für Ergänzungsmassen wurden durch den Restaurator Herrn Christoph Reichenbach in Zusammenarbeit mit dem IDK erstellt.

3. Methodik und Analytik

3.1 Mikrowellenfeuchtemessung

Untersuchungen zur Feuchteverteilung erfolgten mit der zerstörungsfreien Mikrowellentechnik. Es kam ein MOIST200-Handmessgerät der Firma hf-sensor Leipzig (GÖLLER, 1999) mit MOIST-R- und P-Messköpfen zum Einsatz. Die Feuchteuntersuchung mittels Mikrowelle beruht auf der Messung dielektrischer Verluste von Mikrowellen durch Wassermoleküle. Das Ergebnis ist von verschiedenen Faktoren, so auch von der Dichte und dem Aufbau des Materials abhängig. Für das vor Ort verwendete Baumaterial gibt es bisher keine zuverlässigen Kalibrierkurven, von der der absolute Feuchtegehalt der Probe abgetragen werden könnte. Zudem muss die Oberfläche am Messpunkt plan sein, um ein korrektes Aufsitzen des Messkopfes zu ermöglichen, und der gemessene Untergrund muss aus einer homogenen Zusammensetzung bestehen. Diese Erfordernisse wurden am Objekt nicht erfüllt. Des Weiteren ist bekannt, dass die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse mit der Mikrowellentechnik beschränkt ist. Allerdings steht im Moment für eine zerstörungsfreie Feuchtemessung keine weitere Technik in der Denkmalpflege zur Verfügung. Im Sinne einer Vergleichsmessung an identischen Messpunkten wurde daher die Mikrowelle zur Dokumentation des Trocknungsfortschrittes eingesetzt.

3.2 Qualitative und quantitative Salzanalyse

Im Vorfeld der quantitativen Analyse leicht löslicher Salze wurden mit einem standardisierten Eluationsverfahren wässrige Auszüge erstellt. Es erfolgte eine Bestimmung des Anteils der löslichen Bestandteile vom Probematerial sowie der Leitfähigkeit und des pH-Werts des Extraktes. Der pH-Wert wurde über Behrotest pH81 und die Leitfähigkeit über WTW Cond 315i/Set bestimmt. Von den Extrakten wurden mittels ionenselektiver Methode von Natrium (Na^+) und mittels Photometrie von den Kationen (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) und den Anionen (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-) die jeweiligen Konzentrationen bestimmt. Die quantitative Ionenbestimmung erfolgte mittels HACH DR/2000 Direct Reading Spectrometer; Natrium HACH Sensi-on 2. Die Analysenergebnisse der Salzuntersuchungen werden angegeben und bewertet in M.-%. Die Darstellung im Diagramm erfolgt in molaren Equivalentkonzentrationen, die sich aus den Massenkonzentrationen unter Berücksichtigung der Atom- bzw. Molekülmassen und der Ladung errechnen. Durch diese Normierung aller Ionen auf Masse und Ladung lassen sich die Konzentrationen direkt miteinander vergleichen. Bei Schadsalzuntersuchungen ist in der Regel ein kleiner Kationenüberschuss zu verzeichnen, der u. a. damit erklärt wird, dass etwaige OH^- - und CO_3^{2-} -Ionen in der Analyse nicht erfasst werden können (Steiger 1998). Tabelle 1 gibt Bewertungsgrenzwerte für bauschädliche Salze nach WTA (2001, 1999) an.

Tab. 1: Bewertungsgrenzwerte für bauschädliche Salze nach WTA (2001, 1999)

Bewertung in Ma.-%	WTA-Merkblatt E 3-13-01/D "Kompres- senentsalzung"			WTA-Merkblatt4-5-99/D "Mauerwerks- diagnostik"		
	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
"unbelastet"	<0,02	<0,01	<0,02	-	-	-
"gering"	0,1-0,02	0,03-0,01	0,05-0,02	<0,5	<0,2	<0,1
"mittel"	0,2-0,1	0,1-0,03	0,2-0,05	1,5-0,5	0,5-0,2	0,3-0,1
"hoch"	0,8-0,2	0,3-0,1	0,5-0,2	>1,5	>0,5	>0,3
"extrem"	>0,8	>0,3	>0,5	-	-	-

3.3 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

An eine Tricodur-Feinstzementprobe des Materials, das später für die Probekörperherstellung genutzt wurde, erfolgte eine Elementanalyse mittels RFA. Gemessen wurde an einem Gerät der Firma Spectra nach DIN 51418 (2008). Die Methode lässt eine Elementanalyse im Bereich Na bis U zu. Die Probe wurde geteilt, gemahlen und davon zwei Presslinge hergestellt. Die Messung der Presslinge erfolgte jeweils an Vorder- und Rückseite. Aus 4 Messwerten wurde der Mittelwert berechnet.

3.4 Polarisationsmikroskopie

Die Untersuchung an einem zuvor hergestellten Gesteinsdünnschliff erfolgte an einem Stereomikroskop BH-2 der Firma Olympus mit integrierter Polarisationsseinheit. Auf eine genormte Dicke von exakt 25 µm geschliffen sind die meisten Minerale lichtdurchlässig. Damit lassen sie sich anhand ihrer lichtoptischen Eigenschaften differenzieren. Mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie lassen sich folgende Analysen an einem Gesteinsdünnschliff durchführen: Modalbestandsanalyse (Gesteinsbestimmung), Korngrößenanalyse (Korngröße, Kornform), Einfache Gefügeanalyse (Lage und Verteilung einzelner Gesteinskomponenten), Einfache Porositätsanalyse (Abschätzung des Porenraums).

3.5 Phasenanalytische Untersuchungen mittels Röntgenpulverdiffraktometrie

Mit Hilfe der Röntgenpulverdiffraktometrie (Röntgendiffraktionsanalyse = RDA, X-ray diffraction = XRD) lassen sich alle kristallinen Bestandteile in einer Probe nachweisen. Die vorliegenden Salzproben wurden mit einem Röntgenpulverdiffraktometer der Firma Siemens (D5000) untersucht und mit der Phasenanalysesoftware EVA an der TU-Dresden ausgewertet.

3.6 Gefügeuntersuchungen mittels ESEM

Für mikroskopische Untersuchungen wurde ein Rasterelektronenmikroskop XL 30 ESEM der Firma Philips verwendet. Der ESEM-Modus ermöglicht Probeuntersuchungen außerhalb des Hochvakuums und ohne Auftrag einer Leitfähigkeitsschicht. Elementverteilungsspektren wurden mit einem EDX-Analysator der Firma RÖNTEC aufgenommen.

3.7 Thermoanalyse (Thermogravimetrie (TG) und Differenzthermoanalyse (DTA))

Bei der Differenzthermoanalyse handelt es sich um eine Methode, bei der Temperaturdifferenzen zwischen einer Probe und einer Vergleichsprobe gemessen werden, während die Probe einem vorgegebenen Temperatur-Zeit-Programm unterworfen wird. Mit diesem Verfahren lassen sich alle Reaktionen untersuchen, bei denen die Probe mit der Umgebung Wärme austauscht. Für die Messungen wurden ein TG/DTA-Gerät STA 409 PG Luxx der Firma Netzsch eingesetzt. Thermogravimetrische Untersuchungen

wurden zur Ermittlung des Gewichtsverlustes von Calciumsulfaten eingesetzt. Anhand der Gewichtsverluste kann der Entwässerungsbeginn qualitativ ermittelt werden. Mittels TG/DTG kann der Dehydrationsprozess qualitativ und quantitativ bestimmt werden.

3.8 Wärmeflusskalorimetrie

Die isotherme Wärmeflusskalorimetrie ermöglicht die Charakterisierung des Hydratationsverhaltens von Zementen. Die bei der exothermen Reaktion der Zementhydratation frei werdende thermische Energie wird gemessen und aufgezeichnet. Zum Einsatz kam ein Vierlings-Kalorimeter nach KUZEL (1982) und PÖLLMANN et al. (1991) mit einer Referenz und drei Messzellen. Die Messungen wurden an der TU Freiberg durchgeführt.

3.9 Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten (w-Wert)

Die Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme erfolgte an Mörtelprismen und Zylindern in Anlehnung an DIN EN 1925 bzw. DIN EN 480. Der Wasseraufnahmekoeffizient beschreibt die flächenbezogene kapillare Wasseraufnahme („Saugfähigkeit“) in Abhängigkeit von der Zeit.

3.10 Erfassung der Risse

Zunächst wurden alle Risse an beiden Skulpturen kartiert. In Ergänzung dazu erfolgte die Bestimmung der Risslängen an den Betonskulpturen Pferd und Kuh nach folgendem Schema:

1. Zuerst erfolgte die Berechnung der Oberfläche der Skulpturen. Dazu wurden verschiedene Geometrische Körper angenommen und deren Oberfläche berechnet.
2. Von einem annähernd orthogonalen Photo im Format A4, auf dem die Risse kartiert sind, wurde der Maßstab zum Original ermittelt.
3. Anschließend wurden auf diesem Photo 2 quadratische Flächen mittlerer Rissdichte ausgewählt. Eine Fläche entspricht 4 m² an der Originalskulptur.

Mit einem Kartenrädchen wurden die Risse innerhalb der Flächen abgefahren und so deren Längen ermittelt.

4. Anschließend erfolgten die maßstabsgetreue Umrechnung der Risslängen und die Hochrechnung auf die Oberfläche der Skulpturen.

An ausgewählten Rissen wurden über den Projektzeitraum, bis zum Beginn der Restaurierungsarbeiten, insgesamt 7 Rissmonitore aufgebracht (siehe Abb. 33). Die Messgenauigkeit dieser Monitore liegt bei 1/10 mm, bei optischer Auswertung sicherlich auch bei einem 1/20 mm.



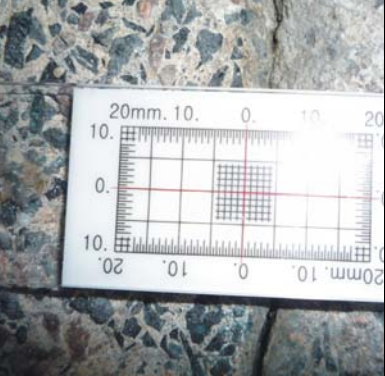


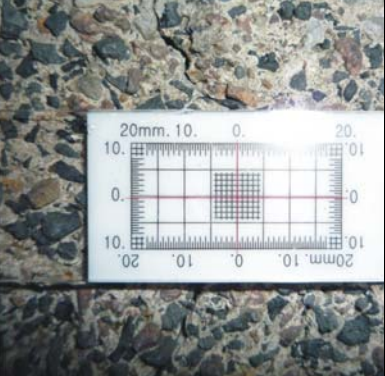

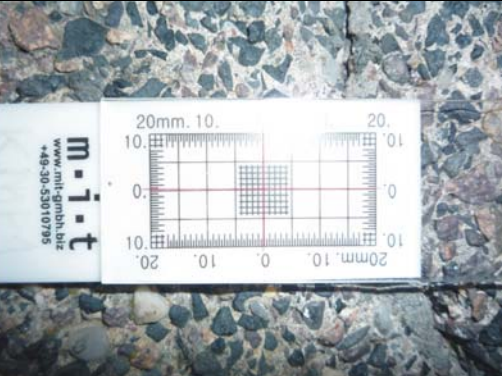


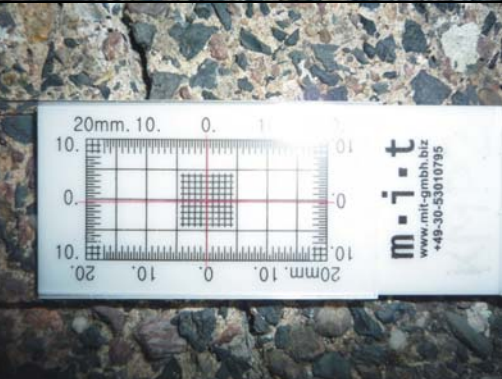

Zur Überwachung von Rissbewegungen wurden am 31. 05. 2011 am Pferd 4 und an der Kuh 3 Rissmonitore installiert und deren Nullstellung photographisch erfasst. Ein Rissmonitor an der Kuh musste aufgrund von Reinigungsarbeiten wieder entfernt werden. In dem Zusammenhang wurden verschiedenartige Risse berücksichtigt (siehe Tab. 2)


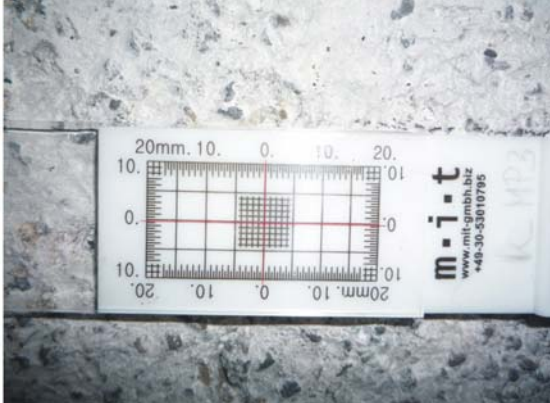


Abb. 33: Im Projekt verwendeter Rissmonitor

Tab. 2: Positionen und Abbildungen der Rissmonitore an den Skulpturen

Position	Abbildungen der Rissmonitore	
Pferd, Messpunkt 1, Nordseite		
Pferd, Messpunkt 1, Kopf		

Position	Abbildungen der Rissmonitore		
Pferd, Messpunkt 3, Südseite, verfüllter Riss			
Pferd, Messpunkt 4, hinterer Rücken			
Kuh, Messpunkt 1, Hinterkopf, verfüllter Riss			
Kuh, Messpunkt 2, Nordseite			

Position	Abbildungen der Rissmonitore	
Kuh, Messpunkt 3, linkes Vorderbein, versinterter Riss (Monitor abgenommen)		

In gewissen Zeitabständen wurden die Rissmonitore erneut photographiert. Mit einer geeigneten Bildbearbeitungssoftware erfolgten eine starke ausschnittsweise Vergrößerung der Bilder und so der Vergleich mit der Nullstellung vom 31.05 2011. Dabei muss allerdings der Wärmeausdehnungskoeffizient des Rissmonitors von ca. $70 \cdot 10^{-6} / \text{K}$ berücksichtigt werden.

Am 31.05. 2011 herrschten Temperaturen von ca. 30°C , am 17.10. 2011 dagegen nur ca. 13°C . Es ergibt sich also eine Temperaturdifferenz von 17 K. Die daraus resultierende Verschiebung der Skala beträgt ca. $120 \mu\text{m}$. Die tatsächlich ermittelte Verschiebung der Skalen der Rissmonitore ist mit ca. $20 - 50 \mu\text{m}$ weitaus geringer. Daher liegt der Schluss nahe, dass die Schrumpfung der Rissmonitore zum Teil von einer Schließungsbewegung der Risse kompensiert wird.

Zur Bestimmung des tatsächlichen Wärmedehnungsverhaltens der Rissmonitore wurde ein Referenzmonitor auf einen Untergrund mit vernachlässigbarer Wärmeausdehnung aufgebracht (siehe Abb. 34) und bei verschiedenen Temperaturen photographiert.

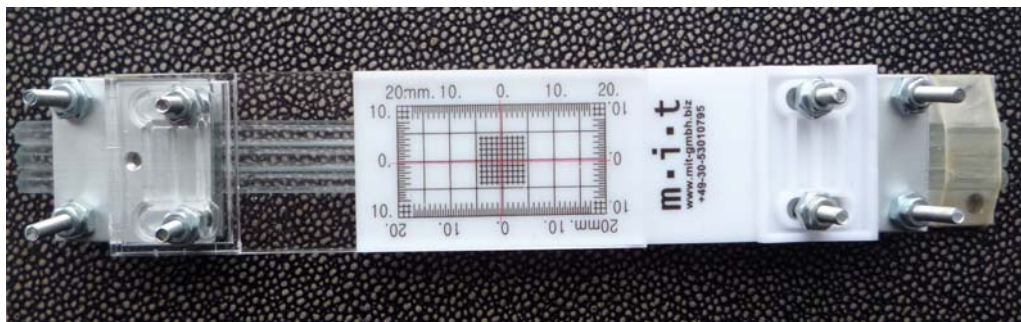


Abb. 34: Aufbau zur Ermittlung der Wärmedehnung eines Rissmonitors

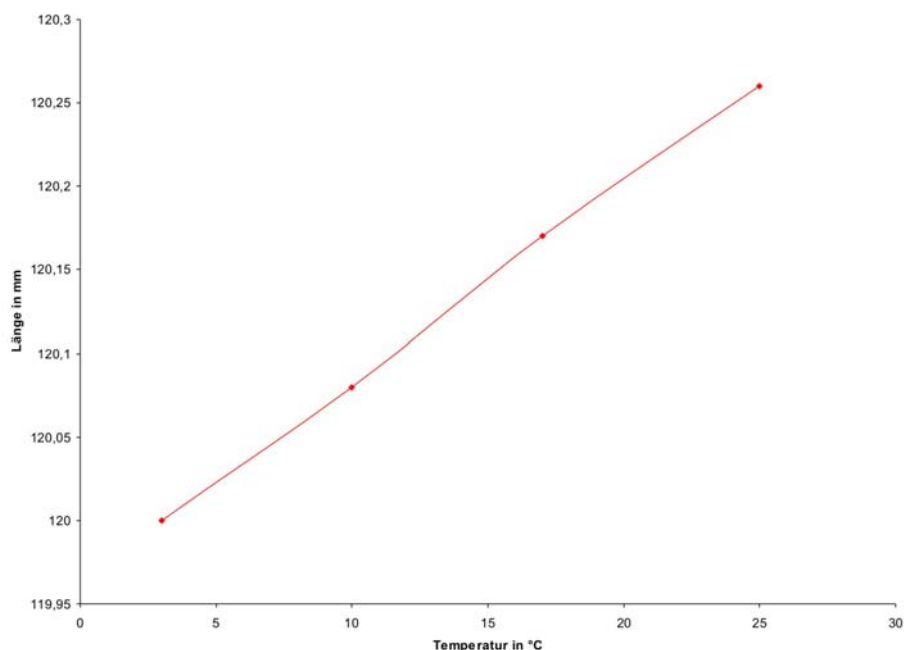


Abb. 35: Einfluss der Temperatur auf die Wärmedehnung eines Rissmonitors

3.11 Risstiefenmessung mit Ultraschalldiagnostik

Es wurden die Tiefen der Risse sowohl mechanisch als auch mit Ultraschall ermittelt. Die mechanische Risstiefenmessung erfolgte durch Einführen von sehr dünnen, relativ steifen Drähten in den Riss. Dazu fanden einzelne Fasern eines dünnen Stahlseils, sowie Akkupunktornadeln Verwendung. Die so ermittelten Risstiefen variieren von ca. 1 cm bei sehr schmalen Rissen bis ca. 8 cm bei den breitesten Rissen. Um diese Ergebnisse zu verifizieren, erfolgte eine Risstiefenmessung mittels Ultraschall an ausgewählten Polygonen des Rissnetzes (siehe Abb. 36).

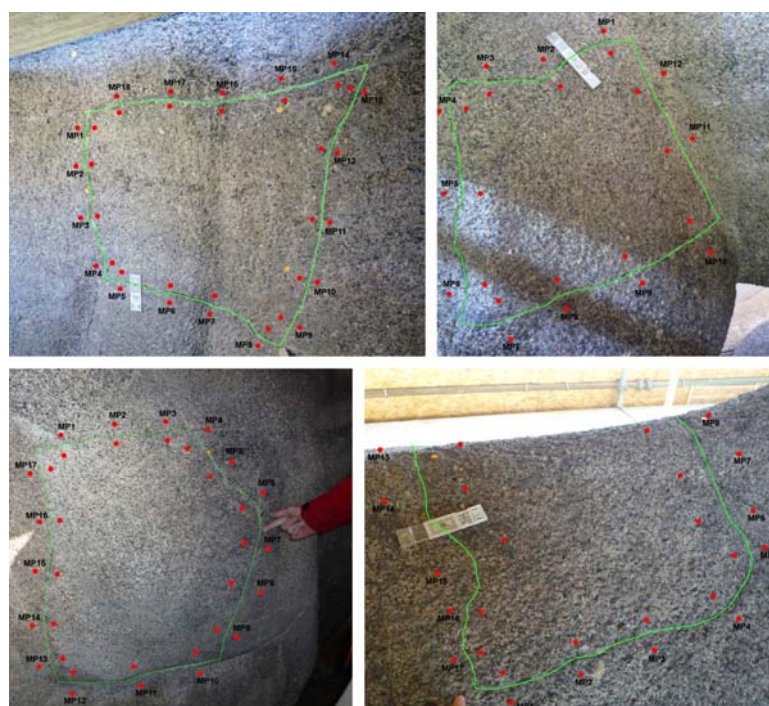


Abb. 36: Messpunkte der Risstiefenmessungen an ausgewählten Polygonen: oben links: Pferd Nordseite Rumpf, oben rechts: Pferd Südseite Wange, unten links: Kuh Südseite Brust, unten rechts: Kuh Nordseite Rücken

Eine genaue Ermittlung von Risstiefen mit Hilfe von Ultraschall erfordert ein sehr genaues Arbeiten und eine gute Ankopplung der Messköpfe auf der Materialoberfläche, da die Rissspitzensignale (Signal des Rissumlaufs) relativ schwach sind. Als Ankoppelmittel, das nach der Messung gut von der Oberfläche abgenommen werden kann und keine bleibenden Flecken hinterlässt, wird ein handelsüblicher Feinschamotteton empfohlen. Dieses Koppelmittel erhöht die Signalstärke etwa um den Faktor 100 gegenüber einer „trockenen“ Ankopplung.

Messaufbau

Für die Ultraschallmessung zur Risstiefenbestimmung werden prinzipiell ein Ultraschallgenerator (Impulserzeuger) und ein PC-Oszilloskop (Signalerfassung) mit den entsprechenden Kabelverbindungen benötigt. Hinzu kommen die Prüfköpfe (Geber und Empfänger) mit unterschiedlichen Frequenzen. Des Weiteren muss ein Vorverstärker verwendet werden, um das Signal zu verstärken.

Für jeden Messaufbau, der eine Verknüpfung von Sender, Empfänger, Koppelmittel, Kabel und den elektronischen Komponenten ist die spezifische Übergangszeit mit einem Laufzeitnormal zu bestimmen und von der ermittelten Laufzeit abzuziehen.

Da die Ankopplung auf einer Fläche erfolgt und es sich um eine Oberflächenmessung handelt, muss zunächst der rechnerische „Ankopplungspunkt“ ermittelt werden. Dazu wird in Transmission die Schallgeschwindigkeit des ungestörten Materials bestimmt. Danach wird eine Oberflächenmessung mit definiertem Abstand am ebenfalls ungestörten Material durchgeführt. Die Messung des Abstandes erfolgt zwischen Außenkante des Ultraschallgebers und Spitze des Empfängers. Anhand der so ermittelten Laufzeit und der Schallgeschwindigkeit des Materials kann der relevante Abstand ermittelt werden. Subtrahiert man nun von diesem Wert den zuvor manuell gemessenen Abstand, erhält man den Korrekturwert dieses Messkopfes. So kann der Abstand zwischen Geber und Empfänger immer genau von der Außenkante des Gebers bis zur Empfängerspitze gemessen und anschließend der Korrekturwert des Ultraschallgebers addiert werden.

Zur Risstiefenmessung müssen sich Geber und Empfänger in etwa gleichem Abstand vom Riss befinden. Die Geometrie von Geber, Empfänger und Risspitze sollte etwa der eines gleichschenkligen Dreiecks entsprechen. Die Hypotenuse des Dreiecks sollte nach Möglichkeit größer als die vermutete Risstiefe sein, um ein geeignetes Signal zu erhalten. Da die Risstiefe im Allgemeinen unbekannt ist, muss der Abstand zwischen Geber und Empfänger variiert werden, bis ein brauchbares Signal im Oszilloskop auftritt. Ist an dem Untersuchungsobjekt ein Netz von Rissen vorhanden, kann möglicherweise der empfohlene Abstand zwischen Geber und Empfänger nicht immer eingehalten werden, da man andererseits mit den Messköpfen in den Einflussbereich eines anderen Risses gelangt. In diesem Fall muss ein Kompromiss bei der Signalqualität eingegangen werden.

Durchführung der Messungen

Zunächst muss der Riss identifiziert und in seinem Verlauf nachvollzogen werden. Anschließend werden in Abhängigkeit von der Länge und Beschaffenheit des Risses oder eventuell des Risspolygons geeignete Messabstände zur hinreichenden Charakterisierung des Risses ausgewählt. In Abbildung 37 ist exemplarisch die Verteilung von Messpunkten an einem Risspolygon gezeigt.

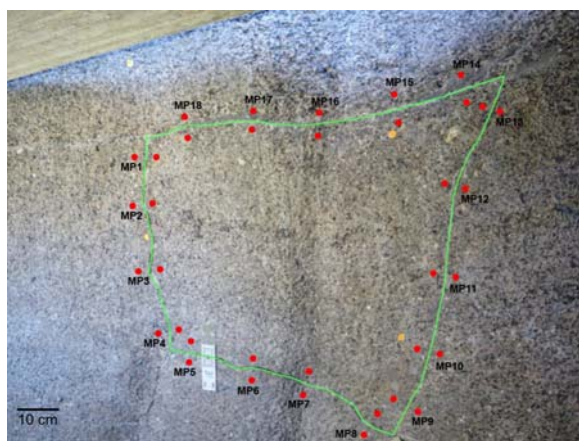


Abb. 37: Anordnung der Messpunkte zur Risstiefenmessungen an einem Polygon

Nachdem beide Messköpfe vollständig aber nicht zu dick mit Koppelmittel belegt sind und initial die spezifische Übergangszeit mit dem Laufzeitnormal bestimmt wurde, werden sie entsprechend dem vorher eruierten Messabstand zu beiden Seiten des Rissverlaufs aufgesetzt (siehe Abb. 38) und händisch ange-drückt. Bei Eingang eines deutlichen Signals im Oszilloskop wird die ermittelte Ultraschalllaufzeit [μ s] notiert oder gespeichert und mit den anderen ausgewählten Messpunkten entsprechend weiter verfahren. Mit Hinblick auf den Messaufbau der gängigen Ultraschallgeräte müssen die Messungen am Objekt von zwei kooperierenden Menschen ausgeführt werden.

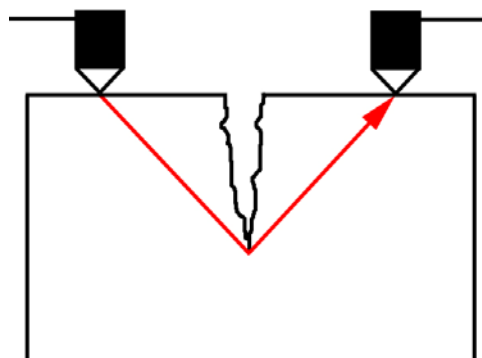


Abb. 38: Schematische Darstellung der Messköpfe in Bezug zum Riss und der angenommene Verlauf der p-Welle

Einschränkungen und Grenzen des Verfahrens

Da nie der Zustand eines Risses in der Tiefe des Materials exakt benannt werden kann, wird die Ermittlung der Risttiefe stets eine näherungsweise Bestimmung sein. Zumeist kann man als Rissform vereinfacht von einem Trichter ausgehen. Insbesondere bei Rissen, die von einer horizontalen Oberfläche in die Tiefe laufen, liegt bei ausreichender Weite eine gewisse Verfüllung nahe. Wie in Abbildung 39 schematisch gezeigt, kann es durch größere Körnchen bereits oberhalb der Risswurzel zur Schallübertragung kommen, wodurch die Risttiefe letztlich falsch ermittelt wird.

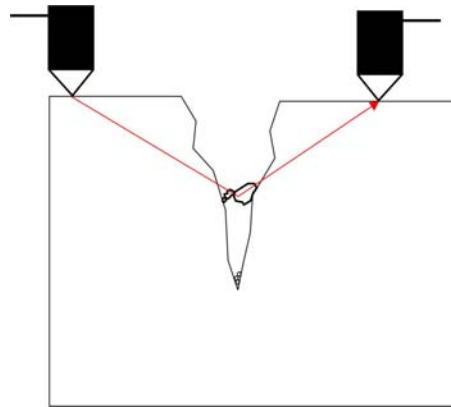


Abb. 39: Möglicher Messfehler durch Rissverfüllung mit Lockermaterial

Daher ist es unbedingt notwendig, auf der Grundlage zahlreicher Einzelmessungen den Verlauf des Risses in der Tiefe zu beurteilen. Entsprechend kann auch bei Beregung ein Wasserstand im Riss zur Ermittlung einer zu geringen Risstiefe führen.

Ein wesentlicher Messfehler liegt im Bereich des Ablesens des ersten Einsatzes der p-Welle. Da dieser relativ klein sein kann, gehört ausreichend Erfahrung dazu, die richtige Stelle im Wellenverlauf zu identifizieren. Des Weiteren ist bei älteren Fabrikaten auf den guten Ladezustand des Ultraschallgenerators zu achten, um ein verlässliches Signal zu messen. Dieser Punkt ist insbesondere bei Vergleichsmessung im Sinne eines Monitorings relevant. Hohllagen im Materialverbund führen zu Problemen bei der Messung. Selbst bei augenscheinlich intakten Bereichen ist dann eine Ankopplung mit Ultraschall nur schwierig bzw. unter starkem Druck der Messköpfe möglich. Das deutet auf eine flächenhafte Diskontinuität parallel zur Oberfläche hin.

Datenverarbeitung und Auswertung

Die Longitudinalwellengeschwindigkeit wird aus der Messstrecke und der Signallaufzeit berechnet (siehe Formel 1).

$$v_L = \frac{s}{t} \quad \text{(Formel 1)}$$

v_L Longitudinalwellengeschwindigkeit [km/s]

s Messdistanz [mm]

t Signallaufzeit [μ s], abzüglich Übergangszeit

Für die Berechnung der Risstiefe kann folgende Maske der Firma Geotron-Elektronik R. Krompholz verwendet werden (siehe Abb. 40). Das Diagramm zeigt im Überblick die indirekte Proportionalität zwischen Ultraschallgeschwindigkeit und Risstiefe. In den grünen Feldern sind die Abstände der Prüfköpfe, ansteigend von rechts nach links, klassifiziert. In die gelbe Maske wird die gemessene Ultraschalllaufzeit des Signals des Rissumlaufs, der Abstand der Prüfköpfe und die daraus errechnete Ultraschallgeschwindigkeit eingetragen. Daraus ergibt sich rechnerisch die Risstiefe.

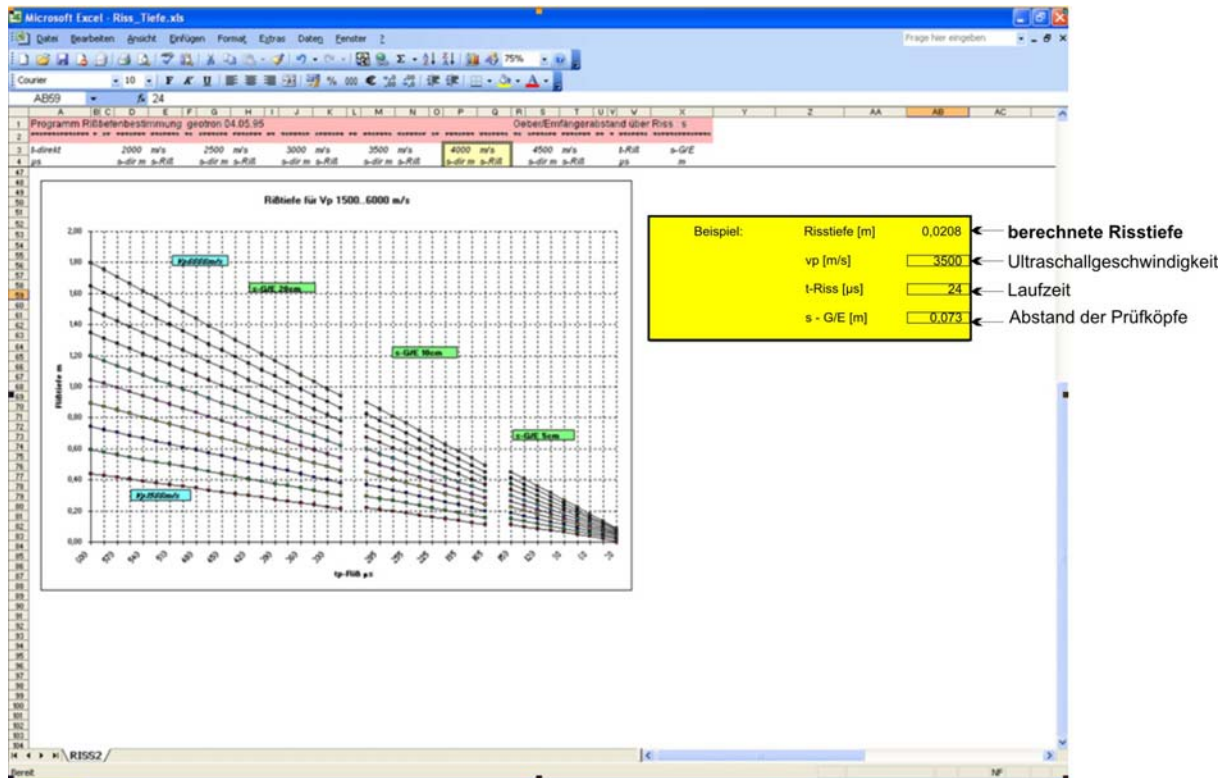


Abb. 40: Diagramm zur Abhängigkeit zwischen Ultraschallgeschwindigkeit und Risstiefe sowie die Eingabemaske zur rechnerischen Ermittlung der Risstiefe

Die Grundlage der Risstiefenberechnung liegt in der Annahme eines gleichschenkligen Dreiecks. Entsprechend Abbildung 41 handelt es sich bei der Mittelsenkrechten der Basis c bzw. die Höhe h_c um die Risstiefe.

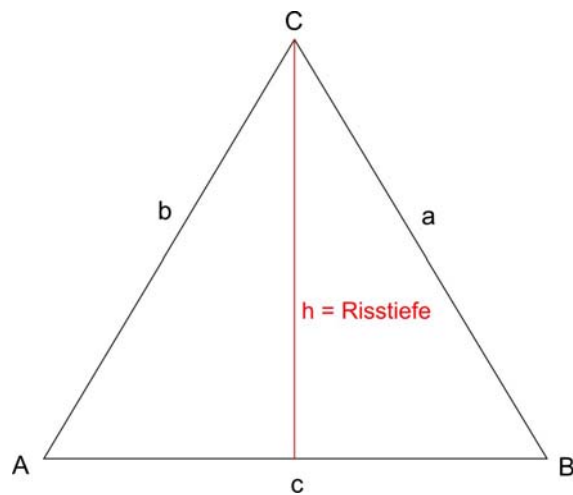


Abb. 41: Gleichschenkliges Dreieck als theoretische Grundlage zur Risstiefenberechnung

Die Höhe h_c errechnet sich nach folgender Formel (2):

$$h_c = \sqrt{a^2 - \frac{c^2}{4}} \tag{Formel 2}$$

4. Ergebnisse

4.1 Messtechnische Begleitung der Abtrocknung

Die Trocknung der beiden Skulpturen wurde im Wesentlichen zunächst durch die Einhausung erreicht. Dabei ging es insbesondere um das Fernhalten von Niederschlag. Die Trocknung wurde auch klimamess-technisch durch das IDK begleitet. Das Klima in der Einhausung folgte relativ dicht dem anliegenden Außenklima. Nach einiger Zeit der Einhausung wurde leider im Zuge eines Einbruchs in die Einhausung der Kuh der Klimadatenlogger entwendet. Danach entschied man sich, ein einfaches Gerät, insbesondere in Begleitung der restauratorischen Arbeiten, in die Einhausung zu hängen. Während der Restaurierungsmaßnahmen selbst wurden die Einhausungen mit einem Warmluftgebläse beheizt.

Mit der zerstörungsfreien Mikrowellentechnik wurden begleitend zur Abtrocknung Untersuchungen zur Feuchteverteilung durchgeführt. Die Messungen erfolgten am 21.04.2011, 17.06.2011 und 14.09.2012. Die durchgeführten Feuchteuntersuchungen haben gezeigt, dass bereits nach ca. 8 Wochen der Einhausung eine erste Trocknung der Oberfläche erfolgte. Eine sehr gute Abtrocknung konnte im September 2012 festgestellt werden.



Abb. 42: Einhausung für die Trocknung der geschädigten Skulpturen



Abb. 43: Einhausung für das Pferd

Den Pferdekörper parallel zum Sattelband von der Saalseite zur saaleabgewandten Seite umlaufend, wurden Messraster von ca. 40 cm Abstand angelegt. Die Messungen am Kopf wurden in einem Raster von ca. 30 cm Abstand durchgeführt. Ein Teil der Messergebnisse werden in den Abbildungen 44-47 präsentiert. Grundsätzlich wurde eine gute Abtrocknung festgestellt.

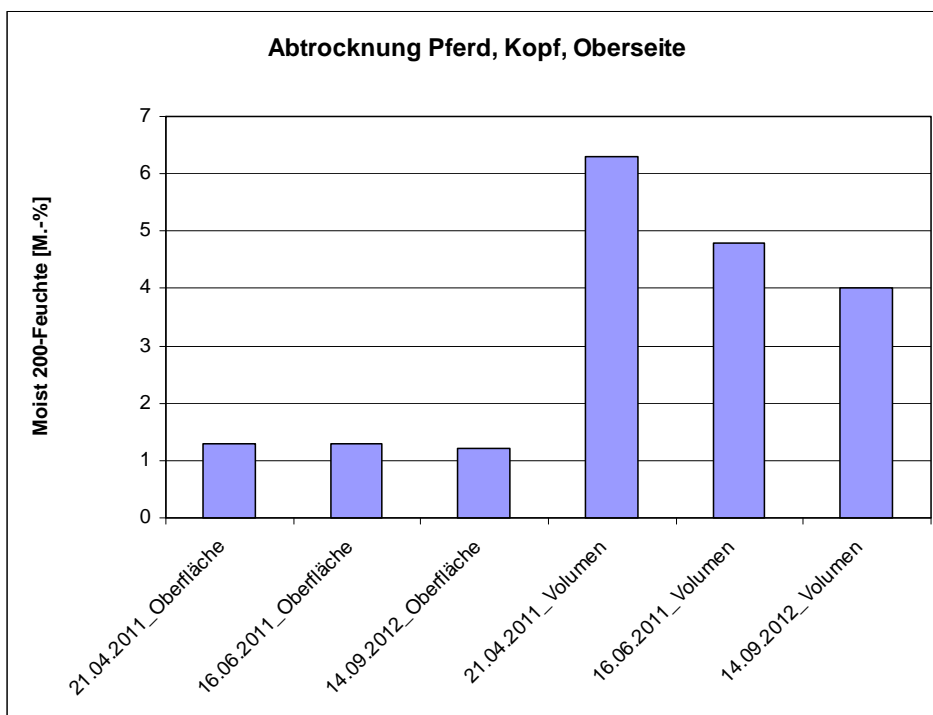


Abb. 44: Zerstörungsfreie, messtechnische Begleitung der Abtrocknung am Pferd, Kopf, Oberseite

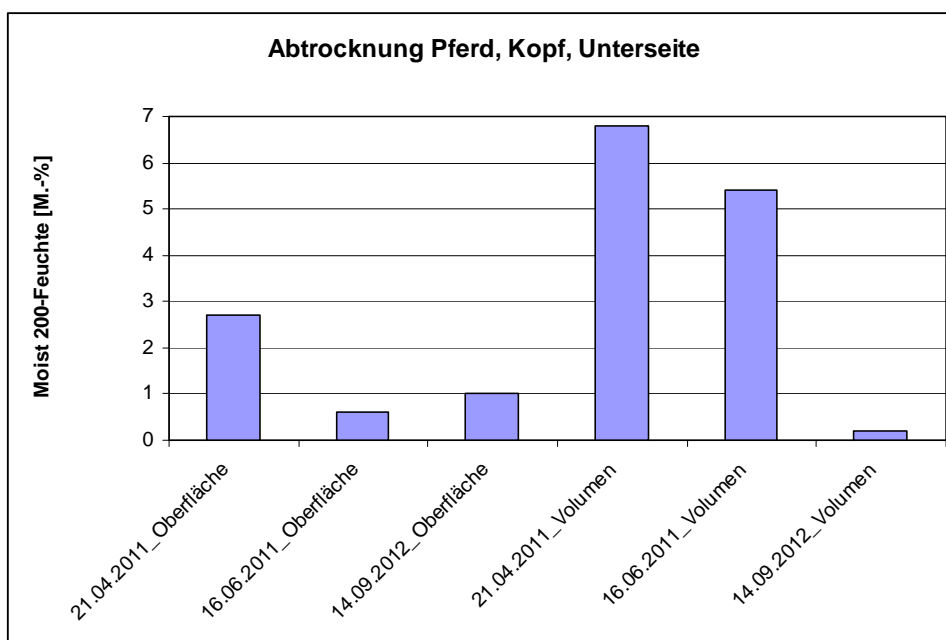


Abb. 45: Zerstörungsfreie, messtechnische Begleitung der Abtrocknung am Pferd, Kopf, Unterseite

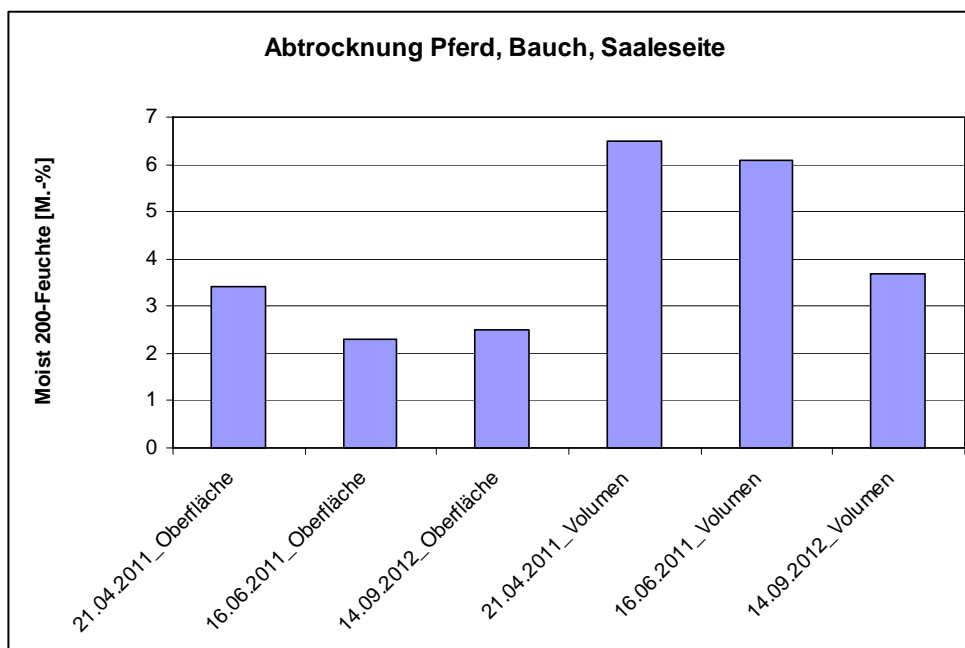


Abb. 46: Zerstörungsfreie, messtechnische Begleitung der Abtrocknung am Pferd, Bauch, Saaleseite

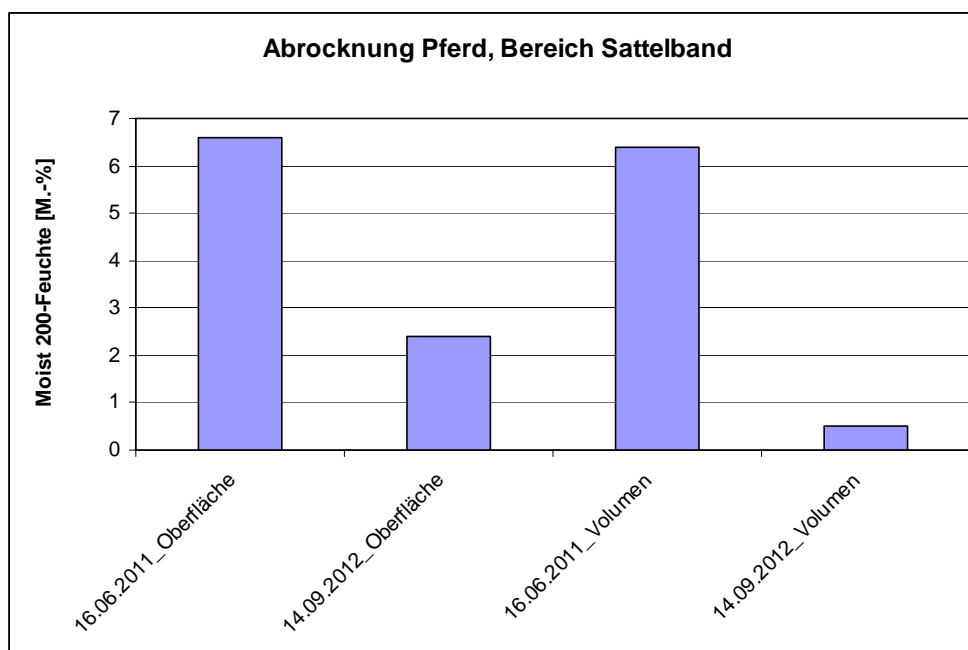


Abb. 47: Zerstörungsfreie, messtechnische Begleitung der Abtrocknung am Pferd, Profile am Sattelband

4.2 Untersuchungen zur Erfassung der Schädigung

Es wurden folgende Schäden an den Skulpturen Pferd und Kuh erfasst:

- Kiesnester mit erhöhter Wasseraufnahme (siehe Abb. 49)
- Risse mit erhöhter Wasseraufnahme
- Substanzverlust durch Schalen, Frostschäden (siehe Abb. 48)
- Bindemittelauswaschungen, Materialverlust
- AKR-Schädigung (Voruntersuchungen aus 2006)
- Ettringit-Schädigung (Voruntersuchungen aus 2006)



Abb. 48: Schalenbildung und körniger Substanzverlust

Die Wasseraufnahmemessungen an den Objekten, im Bereich vollkommen ungestörter Oberflächen, sind die w -Werte zwischen 0 und $0,1 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$. Sobald Risse erfasst werden, ist die Wasseraufnahme naturgemäß deutlich erhöht. Besonders kritisch stellten sich die Umstände auf sogenannten Kiesnestern dar (siehe Abb. 49). Hier wurde das Wasser in messtechnisch nicht erfassbarer Geschwindigkeit in den Stampfbetonkörper aufgenommen, ohne oberflächennah abzufließen. Das bedeutet, dass die in bisherigen Restaurierungsvorhaben nicht berücksichtigten Fehlstellen im Gefüge massiv schadensinduzierend waren. Daher lag im Rahmen der Restaurierung auf deren Abdichtung ein besonderer Fokus.

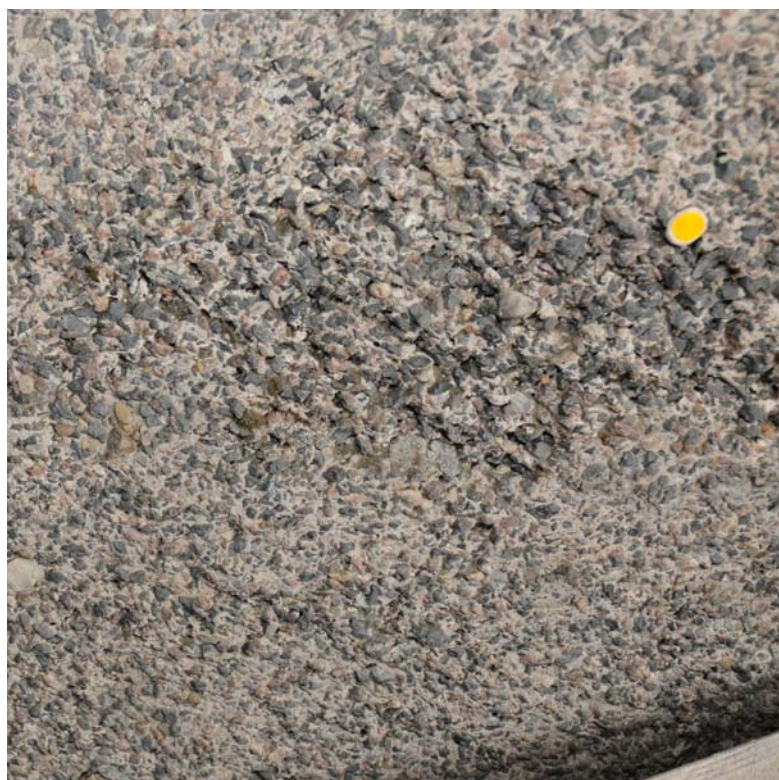


Abb. 49: Kiesnest

4.2.1 Schädigung durch AKR

Alkalien werden hauptsächlich durch den Zement oder seltener durch leicht lösliche Salze aus der Umwelt in das Materialgefüge (Porenwasser) eingetragen. Alkalisulfate entstehen bei der Klinkerherstellung bei hohen Temperaturen in der Atmosphäre des Zementdrehrohrofens. Beim Anmachen des Zements mit Wasser gehen sie sofort in Lösung und sind Bestandteil des Porenwassers. Die Untersuchung des Stampfbetons auf AKR mittels Uranyl-Methode zeigen AKR-Säume an Porphyrkomponenten im Zuschlag (siehe Abb. 50-51) (WEISE & HEMPEL, 2006). Keinen Hinweis auf AKR-Reaktivität zeigt die Mansfelder Kupferschlacke (WEISE & HEMPEL, 2006). Vermutlich führt ein erhöhter Ordnungsgrad (Rekristallisation) zu einem besseren Alkaliwiderstand. Feldspäte sind, so zeigen Untersuchungen von Qz-Porphyrzuschlägen mit hochsulfatbeständigen, alkaliarmen Zementen (HSNA-Zemente), inert gegenüber Alkaliangriff (WINKLER, 2011). Es kommt nicht zu einem Herauslösen von Alkalien aus dem Feldspatgitter, da der pH-Wert des dissoziiert vorliegenden CaOH_2 zu gering ist. Der zur AKR-Bildung führende hohe pH-Wert von ca. 14 kann nur durch von außen eingebrachte Alkaliionen in Verbindung mit Hydroxidionen ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Lieferant) erfolgen. Erst nach erfolgtem AKR-Angriff und der „Auflösung“ der niedrig kristallinen Matrix von Feldspäten kann es auch zu einer Anreicherung von Alkalien im Porenwasser kommen.



Abb. 50: aus WEISE & HEMPEL, 2006

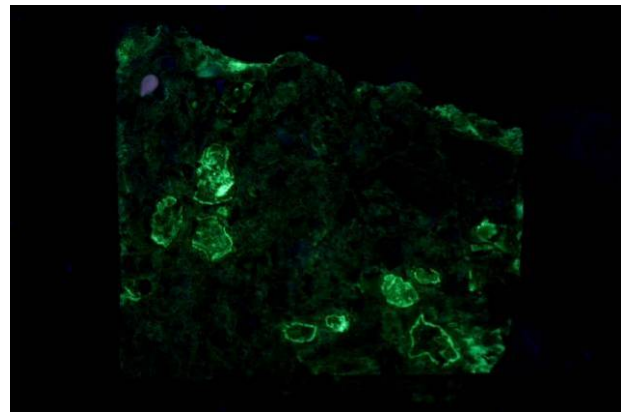


Abb. 51: UV-Licht-Aufnahme, Bruchfläche aus 15 bis 20 cm Tiefe, fluoreszierende Säume (aus WEISE & HEMPEL, 2006)

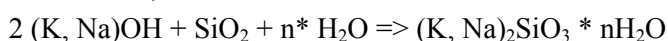
Reaktionsabfolge der AKR

1. Reaktion der Klinkermineralphasen mit Wasser führt zum Angebot von Portlandit $\text{Ca}(\text{OH})_2$
2. Alkalisulfate gehen in Lösung und bilden Alkalihydroxide (K, Na)OH



3. Dadurch steigt die Hydroxidionenkonzentration OH^- (pH-Wert) stark an.

4. Im hochbasischen Milieu reagieren Alkalihydroxide mit amorphem SiO_2 (z.B. reaktive Gläser) zu AKR-Gelen, die unter Wasser- und Ca^{2+} -Aufnahme den betonschädigenden Quelldruck aufbauen.

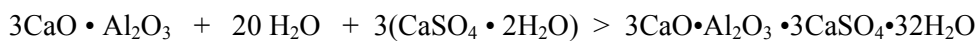


(CaO-haltig, verschiedene Hydratstufen je nach Feuchteangebot, amorph)

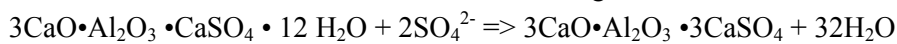
4.2.2 Schädigung durch Ettringit

Die starke Luftbelastung der vergangenen Jahrzehnte mit Schwefelverbindungen führte möglicherweise zu einer Deposition sulfatreicher Verbindungen auf den Materialoberflächen. In Niederschlagswässern gelöste Sulfate drangen vermutlich über vorhandene Risse und Schwachstellen wie Kiesnester in das Stampfbetongefüge ein und führten vermutlich zu einer Umwandlung von noch vorhandenen Calciumaluminaten zu Ettringit. Die Reaktion zu Ettringit kann auch über Monosulfat erfolgen. Die nachstehenden Formeln beschreiben zwei mögliche Reaktionen, die zur Ettringitbildung führen können. In der Bauche-mie wird der Vorgang des Eindringens sulfatreicher Wässer in den Baustoff allgemein als „Sulfatangriff“ bezeichnet.

Tricalciumaluminat + Wasser + Gips > Sulfatettringit



Monosulfat + Wasser + Sulfationen > Sulfatettringit



Die Ettringitkristallisation, auch sekundäre Ettringitbildung, verursacht eine Volumenzunahme um das 2,4 bis 8-Fache, in Abhängigkeit der Produktphasen. Infolge der Volumenvergrößerung entstehen Spannungen im Gefüge, die dann im Laufe der Zeit zur Rissbildungen im Material führen können. Über die entstandenen Risse dringt weitere Feuchtigkeit ein. Diese kann dann z.B. durch Frostsprengung zu Folgeschäden führen. Das Gefüge wird geschwächt.



Abb. 52: Ettringit, REM-Aufnahme aus WEISE & HEMPEL, 2006

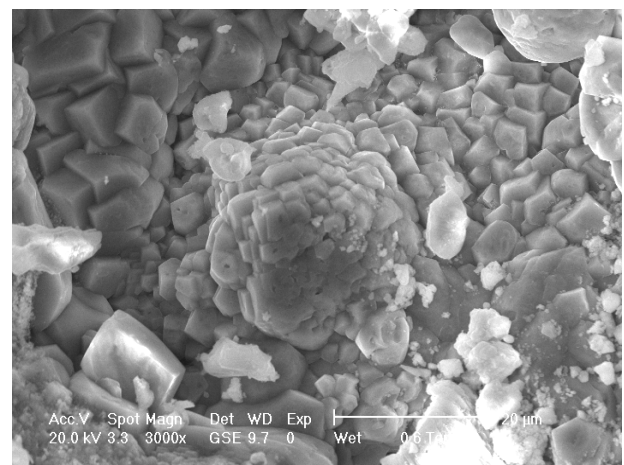


Abb. 53: Calcitkruste, REM-Aufnahme aus WEISE, 2005

4.2.3 Ergebnisse der Rissuntersuchungen

Risskartierungen

Zunächst sind von allen Seiten der Plastiken alle Risse in einer Risskartierung erfasst worden (siehe Abb. 54-58).

Die beiden Betonskulpturen „Pferd“ und „Kuh“ weisen ein relativ gleichmäßiges Netz polygonaler Risse auf. Die Polygone haben näherungsweise Durchmesser (Umkreis) von durchschnittlich 40 – 80 cm. Die Rissbreiten bewegen sich vom Haarriss bis maximal ca. 5 mm.

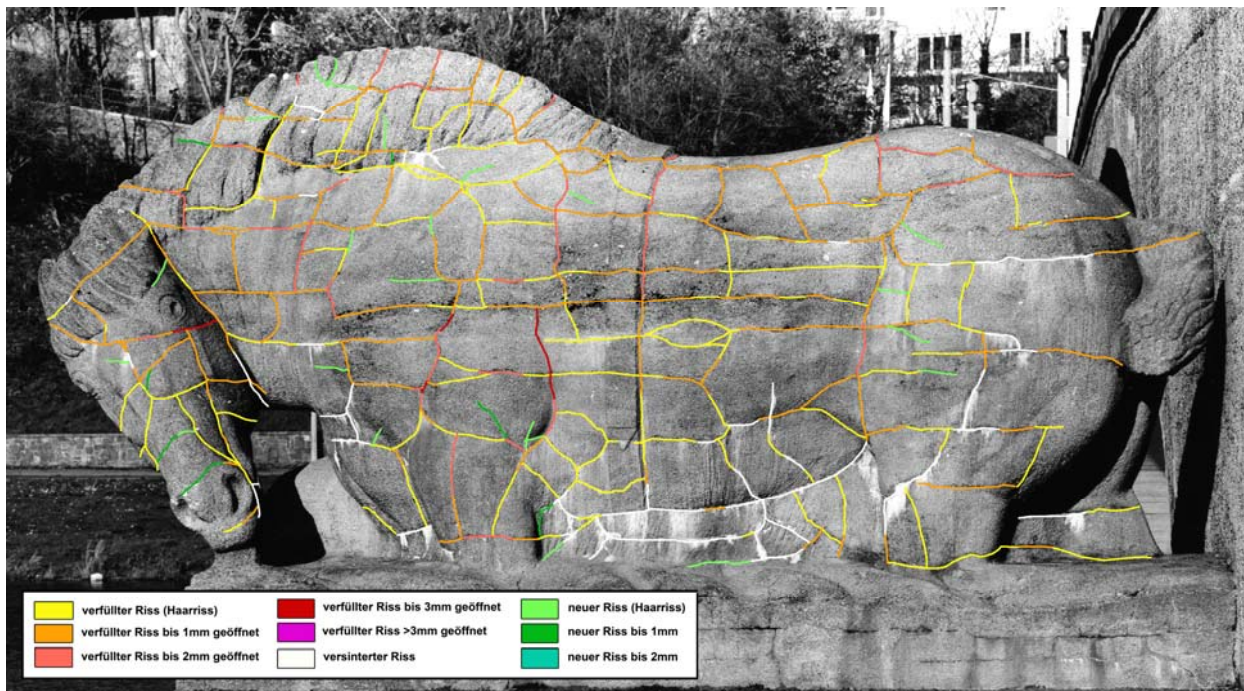


Abb. 54: Risskartierung Pferd, Südseite

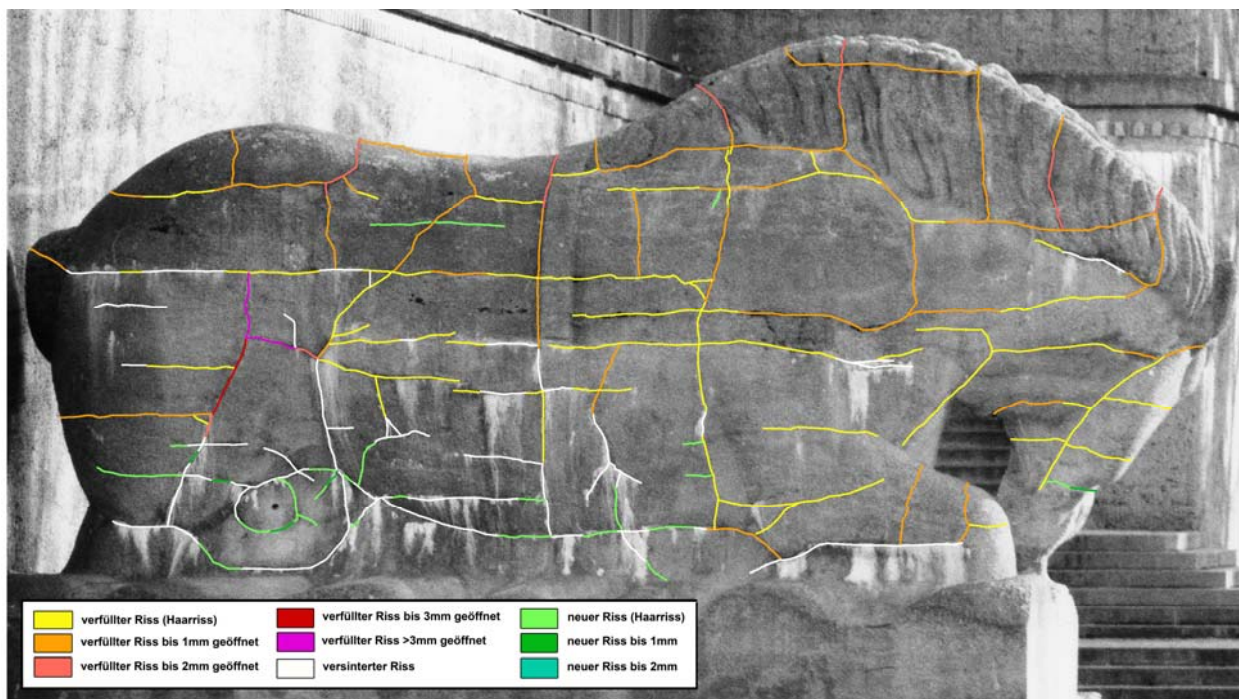


Abb. 55: Risskartierung Pferd, Nordseite



Abb. 56: Risskartierung Pferd, Rücken

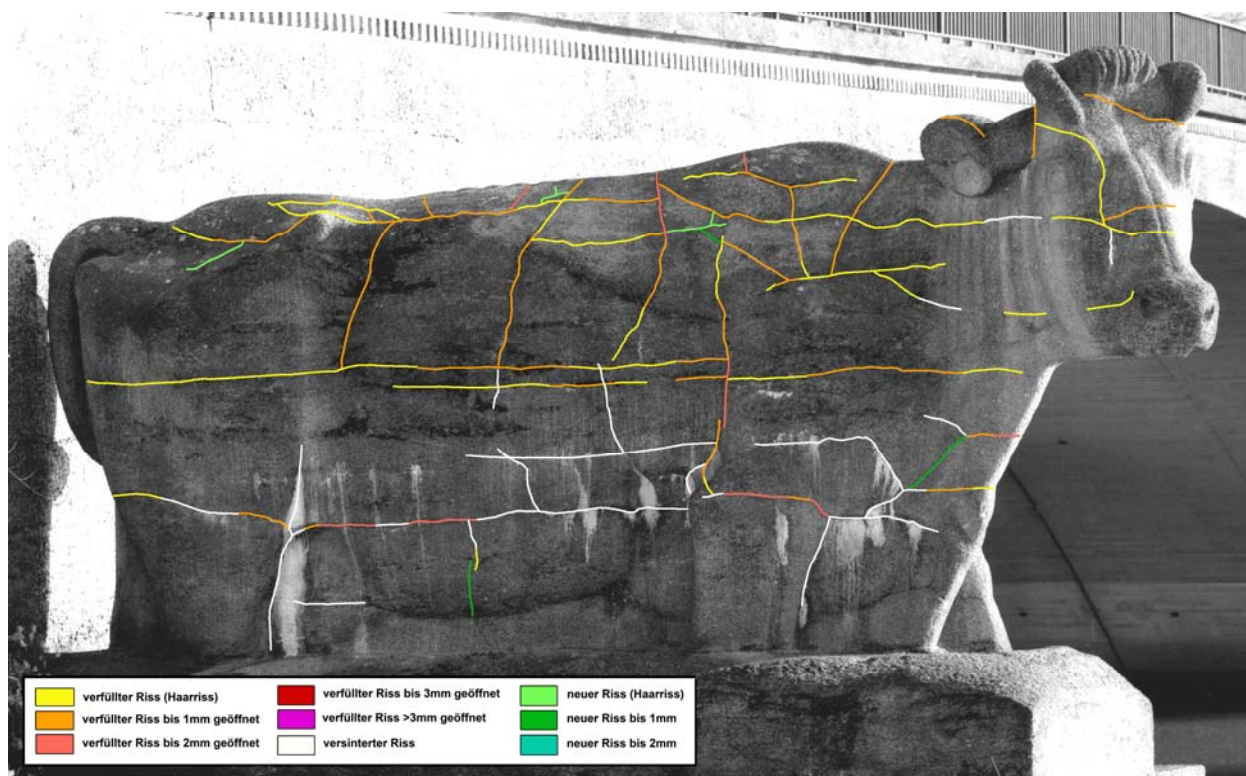


Abb. 57: Risskartierung Kuh, Nordseite

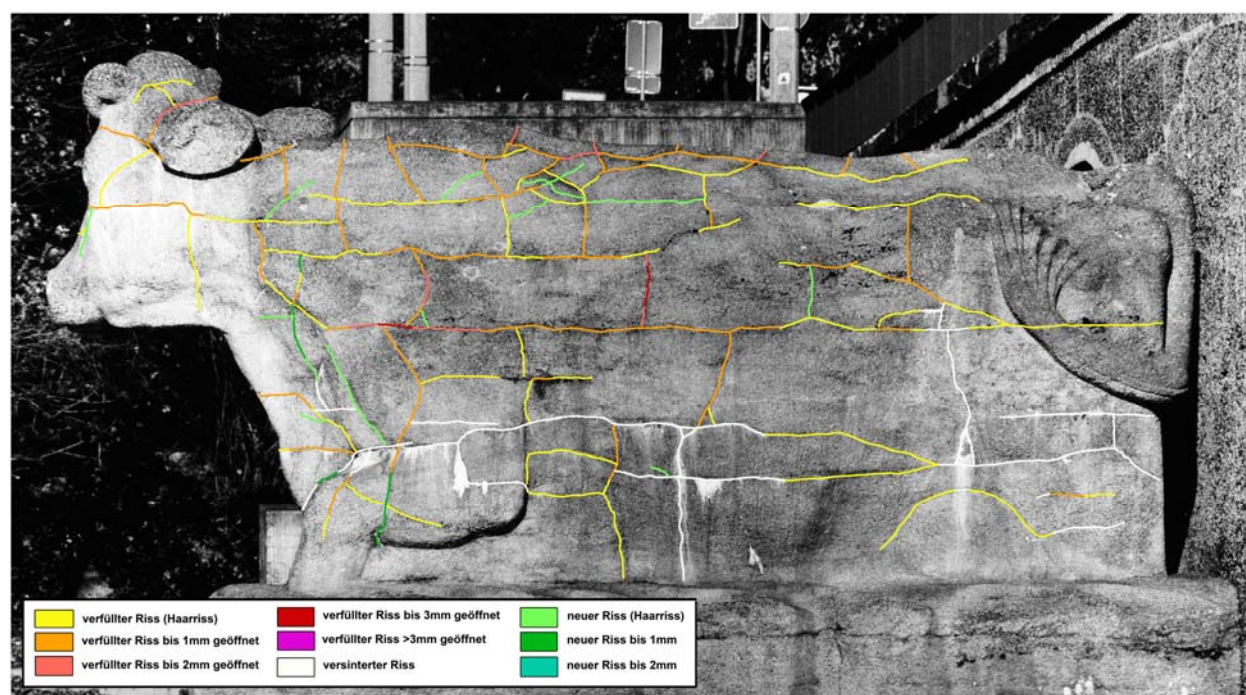


Abb. 58: Risskartierung Kuh, Südseite

Da die Risse zum Teil extrem fein waren und nur aus der Nähe wahrnehmbar sind, wurde die gesamte Oberfläche der Skulpturen im Detail photographisch erfasst. In Abbildung 59 ist die Aufteilung in einzelne Rechtecke gezeigt, die jeweils angeklickt werden können und sich ein Einzelphoto in starker Vergrößerung öffnet (siehe Abb. 60). Sollte im Nachgang bzw. auch im Sinne eines Monitorings ein spezieller Bereich von Interesse sein, beispielsweise hinsichtlich der Vorschädigung, können diese Photos als detaillierte Grundlage verwendet werden. Dennoch sollte für die Implementierung eines Monitorings in Folge der aktuellen Restaurierung unbedingt eine ausführliche photographische Erfassung durchgeführt werden.

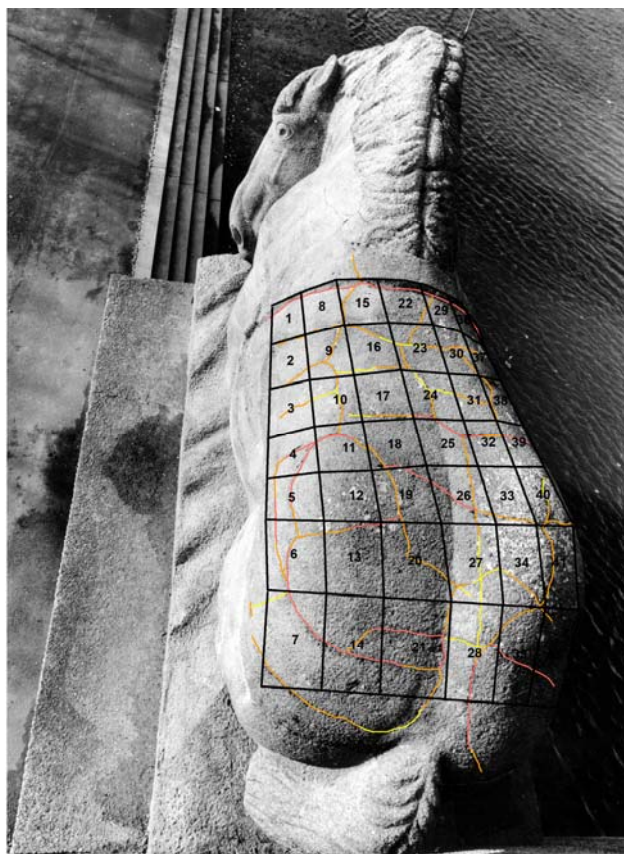


Abb. 59: Verzeichnis der Detailphotos auf dem Rücken des Pferdes



Abb. 60: Eines der Detailphotos auf dem Rücken des Pferdes (vor der Restaurierung)

Ermittlung der Risslängen

Im Kapitel Methodik wurde dargestellt, wie die Ermittlung der Risslängen vollzogen wurde. Die Oberfläche des Pferdes beträgt ca. 80m², die der Kuh ca. 75m². Der Maßstab der verwendeten Photos betrug 1 : 30,7

Die Größe der ausgewählten Flächen: $6,5 \times 6,5\text{m} \triangleq 2 \times 2\text{m}$

Für beide Plastiken ergeben sich folgende abgefahrene Risslängen:

Pferd Fläche 1+2: 73cm horizontal, 46cm vertikal, Pferd Fläche 1+2: $119\text{cm} \triangleq 36,5\text{m} \triangleq 4,6\text{m Risse/m}^2$

Kuh Fläche 1+2: 54cm horizontal, 24cm vertikal, Kuh Fläche 1+2: $78\text{cm} \triangleq 24\text{m} \triangleq 3,0\text{m Risse/m}^2$

Auf die gesamten Skulpturen hochgerechnet bedeutet das:

Pferd: 365m Risslänge

Kuh: 222m Risslänge

Es wurde jedoch davon ausgegangen, dass nur ca. die Hälfte der Risse eine für die Rissverpressung relevante Breite aufweist. Woraus sich wiederum folgende relevante Risslängen ergaben:

Pferd: ca. 180m Risslänge

Kuh: ca. 110m Risslänge

Im Zuge der Restaurierungsarbeiten ergab sich aufgrund verlegter Zugänglichkeiten der Risse noch einmal eine deutlich Reduzierung der Risslänge. Hinsichtlich der letztlich verfüllten Risslängen gibt der Restaurator C. Reichenbach 100 m für das Pferd und ca. 80 m für die Kuh an.

Außerdem wurde die Risslänge an den Plinthen bestimmt. Grundlage der Berechnungen waren folgende Flächen:

Pferd: ca. 24m^2

Kuh: ca. 24m^2

Ausgehend von den bestimmten Rissdichten, werden an den Plinthen folgende Risslängen angenommen:

Pferd: ca. 110m Risslänge

Kuh: ca. 72m Risslänge

Auch hier wird davon ausgegangen, dass nur etwa die Hälfte der Risse verpresst werden können. Es ergeben sich also folgende relevante Risslängen:

Pferd: ca. 55m Risslänge

Kuh: ca. 36m Risslänge

Ermittlung der Risstiefen

An insgesamt acht Risspolygonen wurden an den damit verbundenen Messpunkten die Risstiefen an Kuh und Pferd bestimmt (siehe Abb. 61-62).

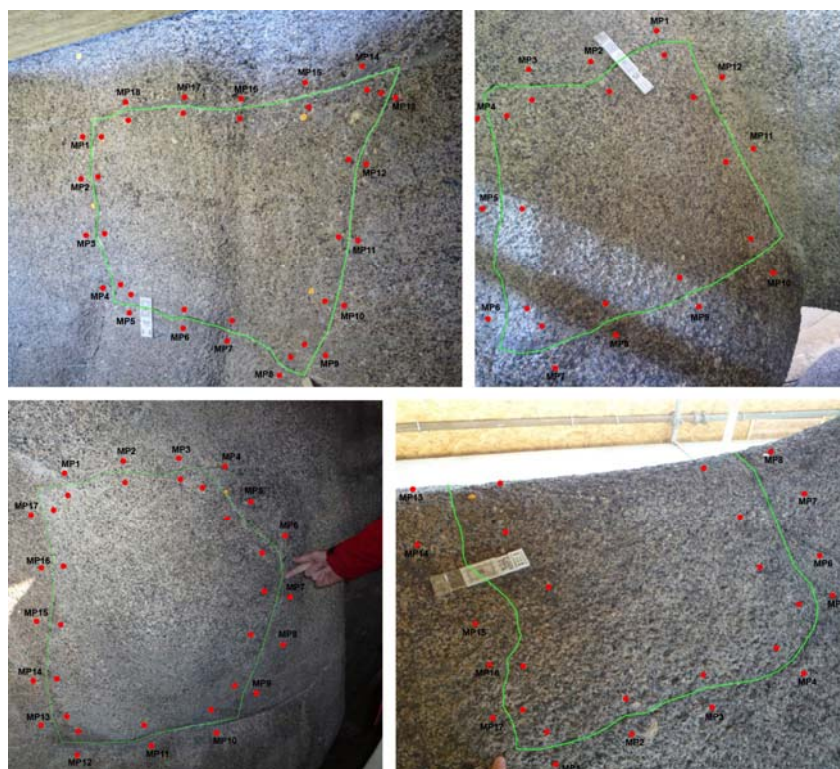


Abb. 61: Messpunkte der Risstiefenmessungen an ausgewählten Polygonen: oben links: Pferd Nordseite Rumpf, oben rechts: Pferd Südseite Wange, unten links: Kuh Südseite Brust, unten rechts: Kuh Nordseite Rücken

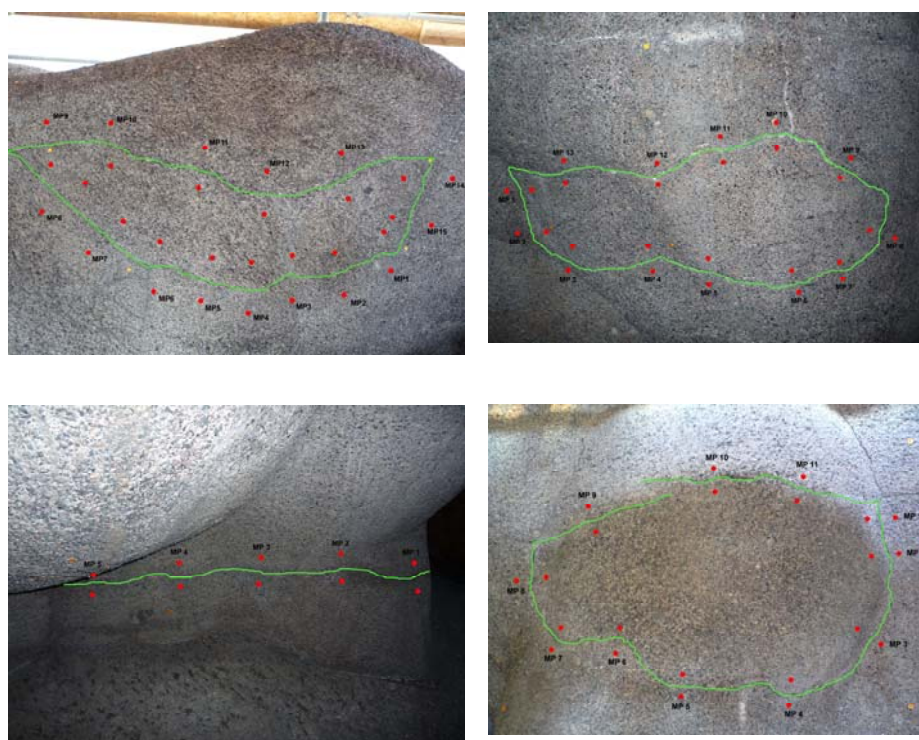


Abb. 62: Weitere Messpunkte der Risstiefenmessungen an ausgewählten Polygonen: Kuh Widerrist und südlicher Rumpf und Pferd hintere Gliedmaßen, Südseite und Rückenbereich (v.l.o.n.r.u.)

Die nachfolgenden Tabellen zeigen zunächst die Ergebnisse der vier Polygone in Abbildung 61. Im Anschluss folgen die der Polygone in Abbildung 62.

Tab. 3: Messwerte und errechnete Risstiefen: Pferd Nordseite Rumpf

Messpunkt	Abstand G/E in m	Abstand G/E korr. in m	Laufzeit	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,087	0,093	43,6	42,2	8,5
2	0,085	0,091	36,4	35,0	6,6
3	0,078	0,084	42,2	40,8	8,4
4	0,062	0,068	32,0	30,6	6,1
5	0,067	0,073	32,0	30,6	6,0
6	0,081	0,087	32,2	30,8	5,6
7	0,084	0,090	47,6	46,2	9,6
8	0,074	0,080	42,8	41,4	8,6
9	0,080	0,086	39,2	37,8	7,5
10	0,066	0,072	32,4	31,0	6,1
11	0,088	0,094	34,8	33,4	6,0
12	0,082	0,088	32,0	30,6	5,5
13	0,075	0,081	35,6	34,2	6,7
14	0,087	0,093	24,8	23,4	2,7
15	0,081	0,087	28,4	27,0	4,4
Messpunkt	Abstand G/E in m	Abstand G/E korr. in m	Laufzeit	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
16	0,087	0,093	24,4	23,0	2,5
17	0,106	0,112	30,0	28,6	3,4
18	0,077	0,083	34,4	33,0	6,3

Tab. 4: Messwerte und errechnete Risstiefen: Pferd Südseite Wange

Messpunkt	Abstand G/E in m	Abstand G/E korr. in m	Laufzeit	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,065	0,071	45,2	43,8	9,4
2	0,083	0,089	49,6	48,2	10,1
3	0,073	0,079	34,4	33,0	6,4
4					
5	0,066	0,072	43,6	42,2	9,0
6	0,072	0,078	63,2	61,8	13,6
7	0,074	0,080	24,8	23,4	3,6
8	0,071	0,077	24,8	23,4	3,7
9	0,068	0,074	37,2	35,8	7,3
10	0,074	0,080	28,8	27,4	4,8
11	0,070	0,076	28,0	26,6	4,8
12	0,050	0,056	16,0	14,6	1,8

Tab. 5: Messwerte und errechnete Risstiefen: Kuh Südseite Brust

Messpunkt	Abstand G/E in m	Abstand G/E korr. in m	Laufzeit	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,093	0,099	42,8	41,2	6,4
2	0,070	0,076	34,0	32,4	5,1
3	0,094	0,100	92,0	90,4	17,0
4	0,105	0,111	44,8	43,2	6,4
5	0,092	0,098	41,6	40,0	6,1
6	0,099	0,105	38,4	36,8	4,9
7	0,092	0,098	42,0	40,4	6,2
8	0,116	0,122	35,2	33,6	2,4
9	0,100	0,106	30,4	28,8	1,9
10	0,080	0,086	33,2	30,6	4,2
11	0,086	0,092	52,8	51,2	8,9
12	0,098	0,104	52,8	51,2	8,6
13	0,101	0,107	58,4	56,8	9,7
14	0,086	0,092	31,6	30,0	3,6
15	0,098	0,104	35,6	34,0	4,1

16	0,102	0,108	38,4	36,8	4,8
17	0,088	0,094	25,2	23,6	0

Tab. 6: Messwerte und errechnete Risstiefen: Kuh Nordseite Rücken

Messpunkt	Abstand G/E in m	Abstand G/E korr. in m	Laufzeit	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,086	0,092	30,8	28,8	3,8
2	0,071	0,077	27,6	25,6	3,7
3	0,080	0,086	36,0	34,0	5,6
4	0,092	0,098	35,6	33,6	5,0
5	0,088	0,094	49,2	47,2	8,6
6	0,176	0,198	198	196	39,5
7	0,188	0,210	210	208	42,0
8	0,155	0,177	87,2	85,2	15,4
9	0,100	0,106	64,0	62,0	11,8
10	0,109	0,115	73,6	71,6	13,7
11	0,095	0,101	48,4	46,4	8,2
12	0,075	0,081	42,8	40,8	7,5
13	0,145	0,167	88,8	86,8	16,0
14	0,137	0,159	79,2	77,2	14,0
15	0,153	0,175	79,2	77,2	13,5
16	0,070	0,076	19,2	17,2	0
17	0,075	0,081	30,4	28,4	4,3

Tab. 7: Messwerte und errechnete Risstiefen: Kuh Widerrist

Messpunkt	Abstand G/E in m	Abstand G/E korr. in m	Laufzeit	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,2	0,222	103	101,8	19,7
2	0,2	0,222	80,8	79,6	13,8
3	0,2	0,222	80	78,8	13,5
4	0,2	0,222	89	87,8	16,0
5	0,2	0,222	88	86,8	15,8
6	0,2	0,222	104	102,8	19,9
7	0,2	0,222	76	74,8	12,4
8	0,2	0,222	100	98,8	18,9
9	0,2	0,222	70,4	69,2	10,6
10	0,2	0,222	69,6	68,4	10,4
11	0,2	0,222	76,8	75,6	12,6
12	0,2	0,222	78,4	77,2	13,1
13	0,2	0,222	72,8	71,6	11,4
14	0,2	0,222	113	111,8	22,2
15	0,2	0,222	102	100,8	19,4

Tab. 8: Messwerte und errechnete Risstiefen: Kuh, südlicher Rumpf

Messpunkt	Strecke	Laufzeit	Strecke korr.	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,100	39,6	0,106	36,6	7,3
2	0,100	32,4	0,106	29,4	4,9
3	0,100	30,4	0,106	27,4	4,1
4	0,100	36,8	0,106	33,8	6,4
5	0,100	34,4	0,106	31,4	5,6
6	0,100	31,6	0,106	28,6	4,6
7	0,100	28,0	0,106	25,0	3,1
8	0,100	26,4	0,106	23,4	2,2

9	0,100	47,2	0,106	44,2	9,5
10	0,100	42,4	0,106	39,4	8,1
11	0,100	47,2	0,106	44,2	9,5
12	0,100	58,8	0,106	55,8	12,6
13	0,100	43,2	0,106	40,2	8,3

Eich: 21,6 v: 4,91

Tab. 9: Messwerte und errechnete Risstiefen: Pferd, hintere Gliedmaßen, Südseite

Messpunkt	Strecke	Laufzeit	Strecke korr.	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,200	117,0	0,222	115,8	25,7
2	0,200	119,0	0,222	117,8	26,2
3	0,200	112,0	0,222	110,8	24,4
4	0,200	88,8	0,222	87,6	18,0
5	0,200	100,0	0,222	98,8	21,1

Eich: 46,0 v: 4,83

Tab. 10: Messwerte und errechnete Risstiefen: Pferd, Rückenbereich

Messpunkt	Strecke	Laufzeit	Strecke korr.	Laufzeit korr.	Risstiefe [cm]
1	0,200	124,0	0,222	121,0	25,1
2	0,200	118,0	0,222	115,0	23,6
3	0,200	118,0	0,222	115,0	23,6
4	0,200	91,2	0,222	88,2	16,6
5	0,200	89,6	0,222	86,6	16,2
6	0,200	104,0	0,222	101,0	20,0
7	0,200	105,0	0,222	102,0	20,3
8	0,200	100,0	0,222	97,0	19,0
9	0,200	68,8	0,222	65,8	10,0
10	0,200	108,0	0,222	105,0	21,0
11	0,200	98,4	0,222	95,4	18,5

Eich: 49,0 v: 4,53

Bei der Auswertung der Messwerte wird sowohl bei der manuellen Messung als auch bei der Ultraschallmessung deutlich, dass ein gewisser Zusammenhang zwischen Rissbreite und Risstiefe besteht. Breite Risse sind entsprechen tiefer als schmale Risse. Außerdem kann festgestellt werden, dass die manuell ermittelten Risstiefen in der gleichen Größenordnung liegen wie die mit Ultraschall gemessenen Tiefen.

Eine deutliche Ausnahme bilden die Risse im Bereich des Rückens der Kuh. Dieser fällt schon rein äußerlich durch eine Schalenbildung auf. Größere Schalen liegen hier hohl oder sind bereits abgelöst. Dieser Umstand spiegelt sich auch bei den Ultraschallmessungen wider. Selbst bei augenscheinlich intakten Bereichen ist eine Ankopplung mit Ultraschall nur schwierig bzw. unter starkem Druck der Messköpfe möglich. Das deutet auf eine flächenhafte Diskontinuität parallel zur Oberfläche hin. Auffällig ist auch, dass exponierte Strukturen, wie z.B. der Widerrist am Rücken der Kuh aufgrund der Spannungen vollständig durchgerissen sind. Hier sind weitaus größere Risstiefen zu beobachten.

An den Seitenflächen der Plastiken liegen die Risstiefen zumeist um 5-8 cm Tiefe. Ganz anders steht es um die Messpunkte, die auf dem Rücken der Tiere, so zum Beispiel am Widerrist der Kuh liegen. Die Risse sind hier 20-25 cm tief. Es ist davon auszugehen, dass diese Bereiche eigentlich komplett vom Untergrund abgetrennt waren.

Kooperation mit BBR-Projekt

Wie eingangs bereits erwähnt, wurden die Skulpturen der Giebichensteinbrücke und auch die Brücke selbst in einem Förderprojekt des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR) untersucht. Dieses Projekt lief parallel zu dem BU-Projekt zur Restaurierung der Skulpturen. Daher konnten interessante Ergebnisse ausgetauscht werden. Das BBR-Projekt war zum Thema 3D Kartierung – Entwicklung eines Verfahrens zur zeitaufgelösten 3D-Kartierung von Verformungen und Schäden an Bauwerken und Bauteilen, Kooperation des IDK mit der BAM und Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF). Die Giebichensteinbrücke in Halle wurde in das Projekt mit folgenden Fragestellungen integriert:

- Untersuchung der Rissstrukturen an den Skulpturen während der Instandsetzungsarbeiten
- Untersuchung des Brückenkörpers hinsichtlich Fehlstellen und Inhomogenitäten

Konkrete Ziele des Projektes waren:

- Weiterentwicklung von 3D-Verfahren zur Risscharakterisierung
- Weiterentwicklung der aktiven Thermografie als bildgebendes Verfahren zur Risscharakterisierung
- Untersuchung großer Bauteilstrukturen zur Schadensklassifizierung
- Ergänzung des 3D-Modells um die Schadensklassifizierung und
- Entwicklung eines 3D-Kartierungssystems mit Mess-, Visualisierungs- und Monitoringtool

In Projekt 3D Kartierung sollten an Teilbereichen die Risse begleitend zur Restaurierung mit dem Tracking-Verfahren und mit der aktiven Thermografie erfasst und mit der manuellen Risskartierung verglichen werden. Ein weiterer Vergleich zur Risscharakterisierung mit aktiver Thermografie vor und nach der Injektion der vorhandenen Risse mit Zementleim war geplant.

Im Einzelnen wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

- Manuelle Risskartierung
- Risstiefenbestimmung mit Ultraschall entlang ausgewählter Risspolygone
- Erfassung ausgewählter Rissbereiche mit dem 3D-Trackingverfahren
- Untersuchung ausgewählter Rissbereiche mit aktiver Thermografie
- Untersuchung eines Einzelbereiches mit aktiver Thermografie vor und nach der Rissinjektion

Messstellen:

- Gesamtes Pferd
- Gesamte Kuh
- Schulterbereich der Kuh
- Rückenbereich der Kuh

Nachfolgend sind zwei Beispiele der Untersuchungsergebnisse dargestellt.

In Abbildung 63 ist beispielhaft eine Datenfusion aus der trackingbasierten 3D-Risskartierung des Schulterbereichs der Kuh mit einer Photographie dieses Bereichs gezeigt.



Abb. 63: Datenfusion der 3D-Risskartierung mit einer Photographie des Messbereichs (BBR-Projekt)

Des Weiteren sei noch ein Beispiel für eine aktive IR-Thermographie vom Rücken der Kuh dargestellt. (Eine Puls-Phasen Auswertung wurde durchgeführt und die Daten wurden mit einem Kantenfilter bearbeitet um eine verbesserte Darstellung der Risse zu erreichen.)

Schon direkt nach der Anregung sind in einigen Bereichen Teile des Risses erkennbar. Im weiteren Verlauf der Wärmeausbreitung werden Temperaturkanten sichtbar, die das Vorhandensein von schräg einlaufenden Rissen anzeigen. Obwohl die Anregung auch über den Bereich hinaus erfolgte, der durch den Riss begrenzt ist, bleibt diese Struktur auch zu späteren Zeitpunkten sehr klar abgegrenzt sichtbar. Offenbar kann die Wärme in diesem durch den Riss begrenzten Bereich schlechter in die Skulptur diffundieren. Dieser gestörte Wärmetransport wird noch deutlicher, wenn man ein Thermogramm betrachtet, das etwa 70 min nach der Anregung aufgenommen wurde (siehe Abb. 64 a und b).

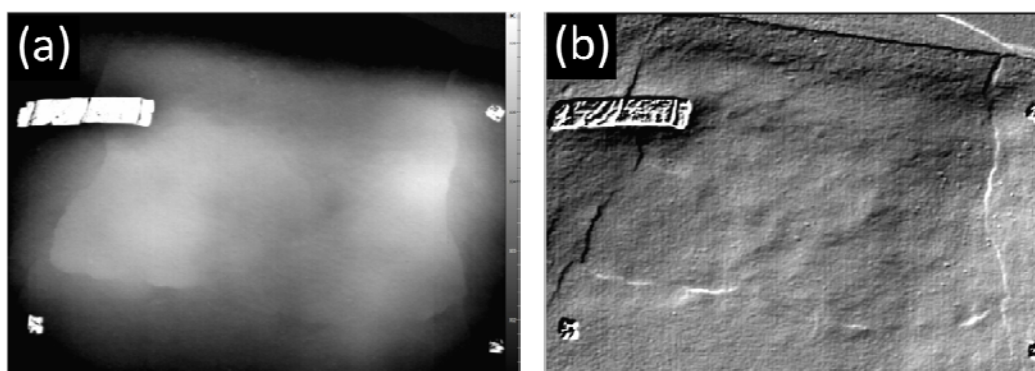


Abb. 64: Thermogramm nach 70 min Abkühlung

Die Struktur ist auch jetzt noch deutlich wärmer als die umgebenden Bereiche. Dies weist daraufhin, dass die hier schräg einlaufenden Risse sehr tief in das Material reichen oder dass sich unter Umständen sogar die gesamte Struktur von der Skulptur gelöst hat und keine feste Verbindung mehr besteht.

Entsprechendes konnte mit den Ultraschalluntersuchungen in dem DBU-Projekt verifiziert werden.

4.3 Laboruntersuchungen

4.3.1 Untersuchungen der Stampfbetonoberfläche auf lösliche Salze

Kompresenapplikation

Eine Belastung der Tieroberflächen mit leicht löslichen Salzen wurde als Möglichkeit der Schadensbeschleunigung diskutiert. Die Salze hätten in Form von Tausalz-Sprühnebel oder als Spritzwasser von der Straße über die Brücke auf die Skulpturoberflächen gelangen können. Daher wurde zerstörungsfrei vorgegangen und an Hand von je einer Musterfläche auf Pferd und Kuh Kompresen appliziert (siehe Abb. 65) und nach Abtrocknung dieser der aufgenommene Gehalt löslicher Salze bestimmt.



Abb. 65: Kompresse auf dem Rücken des Pferdes

Die Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend dargestellt. Eine Probenbeschreibung gibt Tabelle 11.

Tab. 11: Übersicht der Feuchte- und Salzproben, die dem Mauerwerk entnommen wurden.

Probennummer	Entnahmeort, Profiltiefe	Material	Analyse
HAL_GB_Pferd	Pferd, Rücken	Zellstoffkompresse	An- und Kationenbestimmung
HAL_GB_Kuh	Kuh, Rücken	Zellstoffkompresse	An- und Kationenbestimmung

In Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Anteile an wasserlöslichen Bestandteilen dargestellt. Es werden sehr geringe Flächenbelastungen mit löslichen Salzen festgestellt.

Tab. 12: Ergebnisse der Basisuntersuchungen (Σ^* wasserlösl. Bestandteile = Gesamtsalzgehalt aus dem Trockenrückstand)

Probe	Einwaage [g]	abgedeckte Fläche [cm ²]	Σ wasserlösl. Bestandteile [g/m ²]
HAL_GB_Pferd	19,25	100	4

HAL_GB_Kuh	27,17	100	8
------------	-------	-----	---

Es wurden weiterführende Untersuchungen zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Schad-salzionengehalte im Kompressenmaterial durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Tabelle 13 als Flächen-belastung aufgeführt und in den Abbildung 66 und 67 graphisch dargestellt. Die Probe HAL_GB_Kuh fällt durch deutliche Kaliumgehalte auf. Weitere auffällige An- und Kationenwerte werden nicht festge-stellt. Chloridionen werden mit einer als unauffällig einzustufenden Flächenbelastung von 0,03 g/m² in den Kompressen nachgewiesen.

Tab. 13. Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Salzanalysen an Kompressen in g/m²

Probe	Anteile an löslichen Ionen in Anteile der löslichen Ionen in g/m ²						
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
HAL_GB_Pferd	0,027	0,006	0,010	0,012	0,019	0,025	0,022
HAL_GB_Kuh	<0,01	<0,005	0,088	0,016	0,016	0,028	0,017

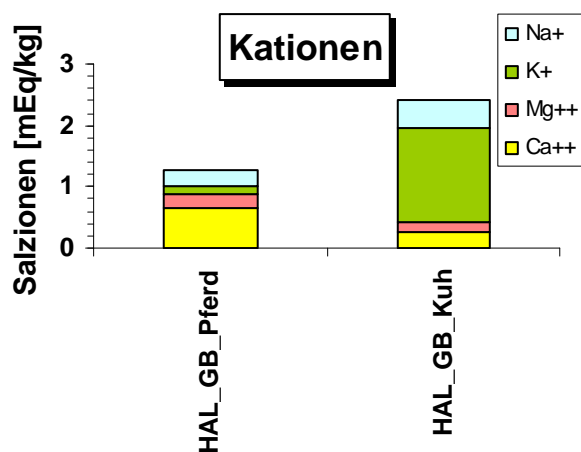


Abb. 66: Kationenverteilung im Kompressenmaterial

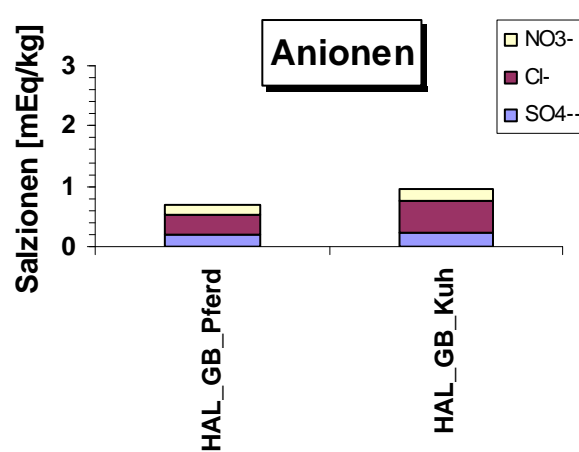


Abb. 67: Anionenverteilung im Kompressenmaterial

Untersuchungen an Schalen und Krusten

Strukturell entfestigte Bereiche und schalige Ablösungen von Schollen auf den Rücken der Tierskulpturen (Risskrakelee) mit zum Teil vollständig abgelösten Schollen auf dem Kuhrücken wurden festgestellt. Hier wird, neben der AKR als Schadensursache, die schädigende Einflussnahme von Tausalz diskutiert. Dadurch, so die Vermutung, könnten zusätzlich leicht lösliche Schadsalze am Schadensprozess teilhaben. Eine umweltbedingte Vergipsung der Oberfläche, die zu einer Überfestigung dieser führt, wurde ebenfalls diskutiert. Des Weiteren sind nach Archivrecherchen zwei Schreiben bekannt, die auf das Vorhaben einer frühen Festigung der Oberflächen beider Skulpturen hinweisen. Gerhard Marks empfiehlt in einem Schreiben vom 24.11.1928, das im Rahmen der Bauabnahme entstand, nach Benennung des Schadens (Austritt von Feuchte und Bindemittelfahnen aus waagerechten Fugen) eine Behandlung der Tierskulpturen mit Alkaliwasserglas. Ein Schreiben des Deutschen Zementbundes von 1930 beschreibt die Empfehlung von Vogelfluat für die Oberflächenbehandlung. Ein Begleitschreiben zum Eingang einer Materialprobe ist ebenfalls überliefert (Bauakte 660-3-b-3 Bd. X Nr. 268, 1930). Ob beide Chemikalien nacheinander oder nur Alkaliwasserglas oder Vogelfluat eingesetzt wurden, kann analytisch nicht belegt werden. **Der bei beiden Salzuntersuchungen an der Kuh festgestellten Kaliumgehalt (gering) könnte jedoch auf eine Kaliwasserglasbehandlung hinweisen.** Von einer starken Abgewitterung der Oberflächenbe-

handlung ist nach solch einem langen Zeitraum ebenfalls auszugehen. Beide Chemikalien könnten jedoch zu einer oberflächennahen Verfestigung und in Folge dieser zur Schalenbildung geführt haben, die in besonderem Maße bei der Kuh festgestellt wurden. Für weiterführende Untersuchungen zur Schadensursache wurde eine im hinteren Teil des Kuhrückens abgängige Schale beprobt (siehe Abb. 68 und 69) und auf das Vorhandensein von Schadsalzgehalten untersucht.



Abb. 68: Halle, Giebichensteinbrücke, Kuh, Rücken, starke Schäden durch Abschalungen

Abb. 69: Halle, Giebichensteinbrücke, Kuh, Rücken, starke Schäden durch Abschalungen

Ergebnisse der Schadsalzanalyse

Für Schadsalzuntersuchungen wurde das Schalenmaterial fein gemahlen und analysiert. Die Ergebnisse der am 13.07.2011 durchgeführten Untersuchungen werden nachfolgend dargestellt. Eine Probenbeschreibung gibt Tabelle 14. In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Basisuntersuchungen dargestellt. Der pH-Wert liegt mit 9,15 unterhalb der für Beton angegebenen durchschnittlichen Größe von ca. 12,5. Eine Passivierung von Bewehrungselementen ist unterhalb von pH 10 nicht mehr gegeben. Der Anteil der Summe an wasserlöslichen Bestandteilen ist mit 0,16 Ma.-% sehr gering.

Tab. 14: Übersicht der Feuchte- und Salzproben, die dem Mauerwerk entnommen wurden.

Probennummer	Entnahmeort, Profiltiefe	Material	Analyse
HG_KM1	Kuh, Rücken, Schale	Stampfbetonschale	An- und Kationenbestimmung

Tab. 15: Ergebnisse der Basisuntersuchungen an Bohrmehlproben

Probe	Tiefenstufe [g]	Lf ₂₅₀ [µS/cm]	pH [-]	∑ wasserlösl. Bestandteile [M%]	Feuchte [M%]
HG_KM1	4,999	61	9,15	0,16	-

Die Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Salzanalyse werden in Tabelle 16 dargestellt. Die gemessenen Anionen liegen im Bereich der Nachweisgrenze. Der Calcium- und Kaliumionengehalt ist mit ca. 0,03 Ma.-% gleich hoch. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher Löslichkeiten werden demnach geringe Kaliumionengehalte festgestellt.

Tab. 16: Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Salzanalysen an den Bohrmehlproben

Probe	Anteile an löslichen Ionen in M. %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
Tiefenprofil 0-1,5 cm							
HG_KM1	0,025	0,005	0,033	<0,005	0,015	<0,01	<0,01

4.3.2 Ergebnisse der ESEM-Untersuchungen an einem Dünnschliff

Aus einem Teil der abgelösten Stampfbetonschale wurde ein Dünnschliff (siehe Abb. 70 und 71) angefertigt. Dieser wurde mittels Rasterelektronenmikroskopie (ESEM) untersucht.



Abb. 70: Halle, Giebichensteinbrücke, Kuh, Rücken, Abschalungen, Markierung des beprobten Bereichs

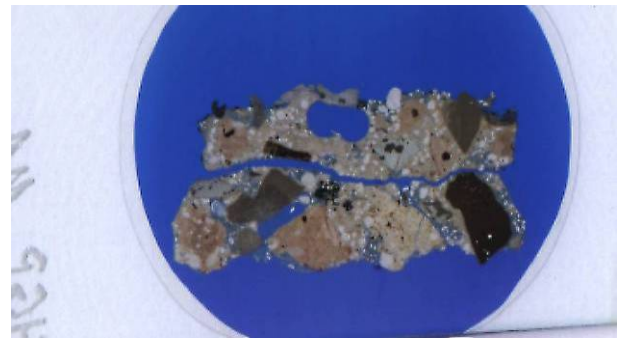


Abb. 71: Halle, Giebichensteinbrücke, Kuh, Rücken, Abschalungen, Dünnschliff, 47 x 27 mm

Die ESEM-Untersuchungen zeigten in den Kantenbereichen zwischen Ober- und Unterschale Säume aus AKR-Gelen und Calcit (siehe 72-75). Des Weiteren wurden im Dünnschliff Ettringit-Anreicherungen festgestellt (siehe Abb. 76 und 77). Oberflächennahe Natriumanreicherungen, die auf die Anwendung von Wasserglas schließen lassen oder einen Tausalzeinfluss begründen würden, konnten nicht festgestellt werden. Damit werden zum derzeitigen Stand der Untersuchungen die Ursachen der Schalenbildung hauptsächlich in den schädigenden Treibwirkungen der AKR-Gele sowie der Ettringite gesehen. Es wurden ausschließlich kaliumhaltige AKR-Gele festgestellt.

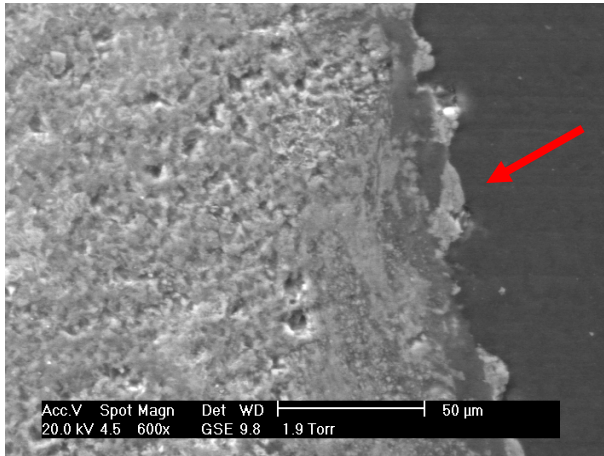


Abb. 72: Kuh, Rücken, Doppelschale, Randbereich zwischen beiden Schalen, weiße und graue Säume, EDX-Spektren (Abb. 74 und 75)

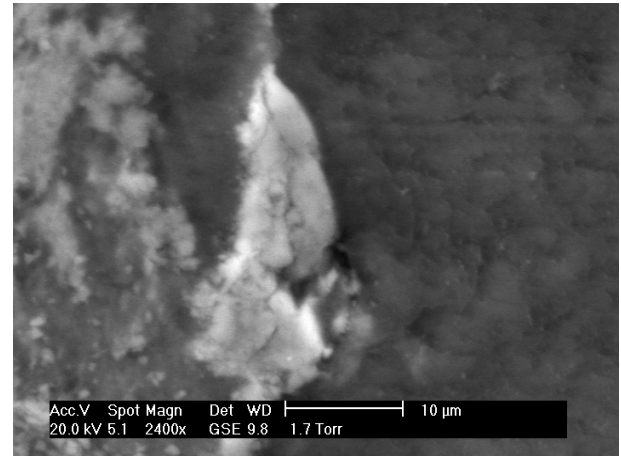


Abb. 73: Kuh, Rücken, Doppelschale, Randbereich zwischen beiden Schalen, weiße und graue Säume, EDX-Spektren (Abb. 74 und 75)

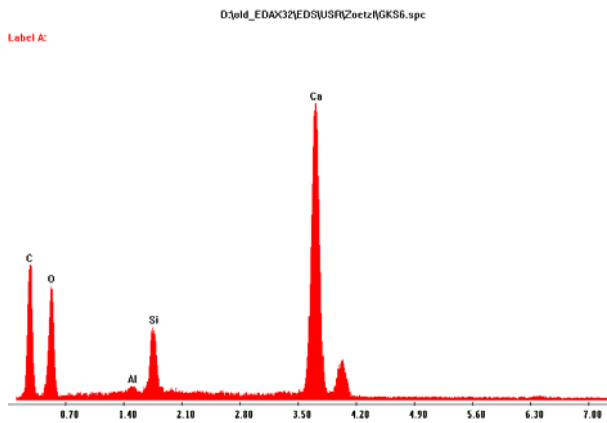


Abb. 74: Kuh, Rücken, Doppelschale, Randbereich zwischen beiden Schalen, EDX-Spektrum, weißer Bereich aus 72 und 73

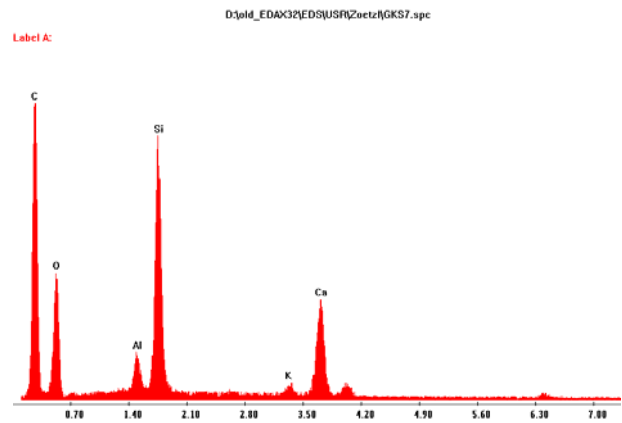


Abb. 75: Kuh, Rücken, Doppelschale, Randbereich zwischen beiden Schalen, EDX-Spektrum, grauer Bereich aus Abb.72 und 73

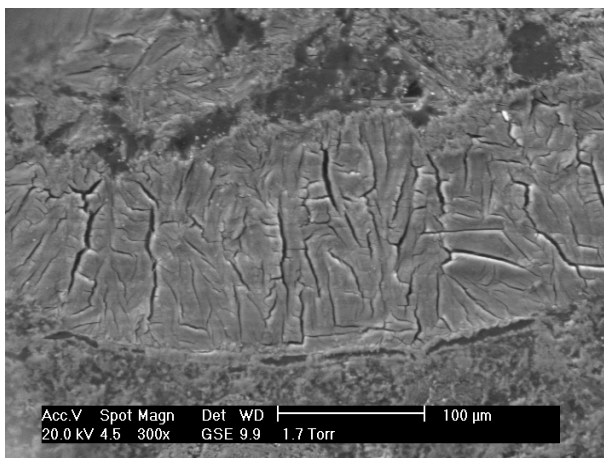


Abb. 76: Kuh, Rücken, obere Schale, Unterseite, ESEM - Bild, Bildmitte Ettringitkristalle

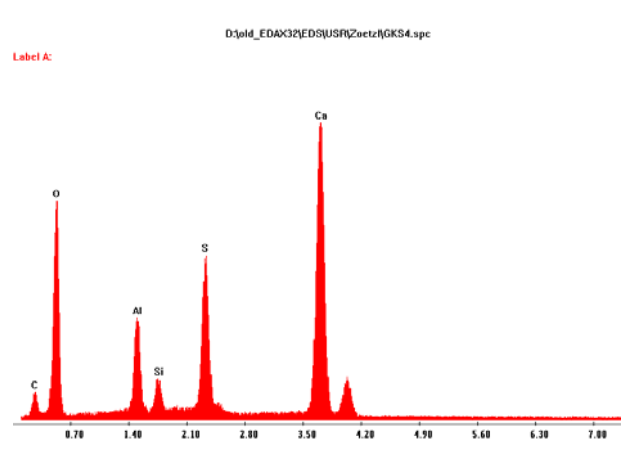


Abb. 77: Kuh, Rücken, obere Schale, Ettringit-EDX-Spektrum aus Abb.76, Bildmitte

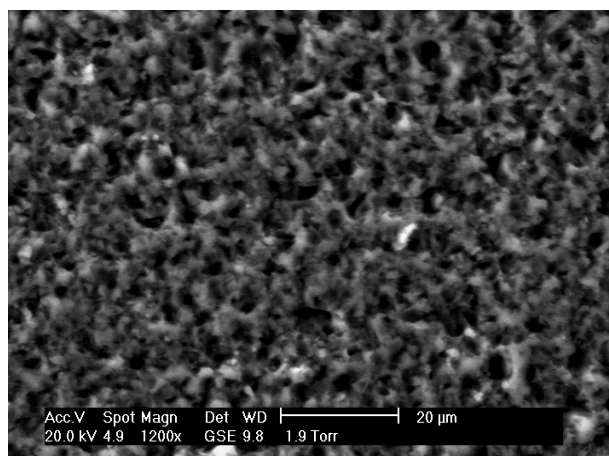


Abb. 78: Kuh, Rücken, Schale, Zuschlag, EDX-Spektrum, Oberfläche eines Quarzkorns

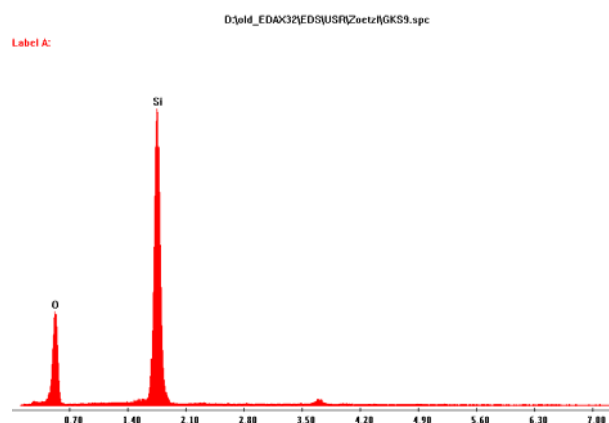


Abb. 79: Kuh, Rücken, Schale, Zuschlag, EDX-Spektrum der Quarzkornoberfläche aus Abb. 78

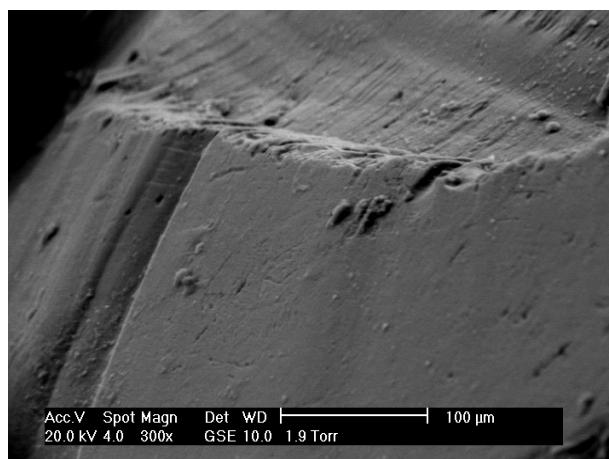


Abb. 80: Kuh, Rücken, Schale, Schlackezuschlag

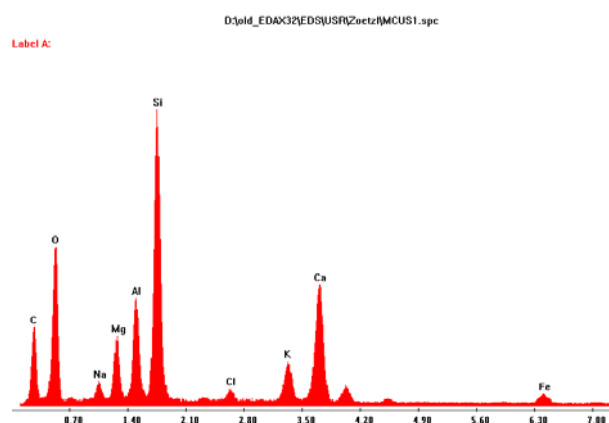


Abb. 81: Kuh, Rücken, Schale, Schlackezuschlag, EDX-Spektrum der Schlacke aus Abb.80

4.3.3 Ergebnisse der RFA-Analysen an Krusten

Die RFA-Analyseergebnisse einer Mischprobe der aus Rissen austretenden Weißschleier und Krusten (siehe Abb. 82), allgemein auch als Kalksinter bezeichnet, lassen auf Calciumcarbonat als Hauptphasenbestand schließen. Deutliche Kaliumgehalte, die auf AKR-Gele hinweisen, konnten nicht festgestellt werden. Für die RFA-Analysen wurden zwei Proben hergestellt und jede Probe von beiden Seiten gemessen. Aus den Ergebnissen wurde ein Mittelwert berechnet.



Abb. 82: 1Kuh, Straßenseite, Austritt von Feuchte, ausgewaschenes Bindemittel, nach RFA-Analysen Calcit CaCO_3 (CaO: 56,03 Ma.-%, CO_2 : 43,97 Ma.-%)

Tab. 17: Ergebnisse der RFA-Analysen

Na₂O	MgO	Al₂O₃	SiO₂	P₂O₅	SO₃	Cl	K₂O
%	%	%	%	%	%	%	%
< 0,25	< 0,046	0,051	0,103	0,032	0,128	0,035	0,025

CaO	Fe₂O₃	SrO	Summe	Glühverlust
%	%	%	%	%
53,055	0,023	0,519	54,031	45,969

4.3.4 Bestimmung des Restdehnpotentials

Um das Potential der durch die Alkali-Kieselsäure-Reaktion noch zu erwartenden Dehnungen abschätzen zu können, erfolgten Dehnungsmessungen an dem in einer Nebelkammer eingelagerten Bohrkernabschnitt in der Betonprüfstelle der HTW Dresden. Im Vorfeld wurde durch das IDK ein Bohrkern mit einem Durchmesser von 5 cm in einem versteckten Bereich des unteren Pferdebauchs (Nordseite) entnommen (siehe Abb. 83) (denkmalrechtliche Genehmigung liegt vor). Die Durchführung dieser Messungen orientierte sich an den Empfehlungen für die Schadensdiagnose des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Zeitschrift „beton“, Heft 3/2003). Die Abweichung von dieser Empfehlung besteht insbesondere in dem geringeren Durchmesser des angelieferten Bohrkerns, die mit einer Verkürzung der Messbasis (50 mm statt 100 mm) berücksichtigt wurde. Für die Dehnungsmessungen wurden mit 3 Edelstahlschellen insgesamt 4 Messstrecken entlang von 2 sich gegenüberliegenden Mantellinien eingerichtet.

Bedingt durch die in der Nebelkammer vorhandenen Klimabedingungen (Lufttemperatur = 40°C, relative Luftfeuchte ≈ 100 %) wird der Ablauf der Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton erheblich beschleunigt. Der Maximalwert für die durch eine AKR ausgelösten Nachdehnungen ist bei dieser Prüfung im Zeitraum bis ca. 280 Tage zu erwarten (siehe Abb. 84). In der Anlage befindet sich das Protokoll zu den Dehnungsmessungen. Das nachfolgende Diagramm verdeutlicht den Dehnungsverlauf.



Abb. 83: 2Pferd, Nordseite, Bauchbereich, Bohrkernentnahme

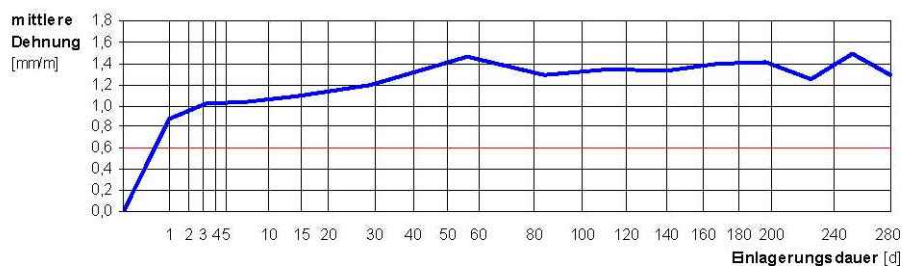


Abb. 384: Dehnungsverlauf während der Nebelkammerlagerung

Zum Beginn der Einlagerung zeigt sich deutlich ein relativ steiler Anstieg der Dehnung. Ein wesentlicher Teil dieser Anfangsdehnung wird erfahrungsgemäß durch die Wasseraufnahme (Feuchtedehnung) des Probekörpers hervorgerufen; der weitere Verlauf ist wesentlich flacher und erreicht nach einer Einlagerungsdauer von ca. 50 Tagen quasi einen stationären Zustand. Hierbei muss angemerkt werden, dass eine große Streuung zwischen den an den 4 Einzelmessstrecken aufgezeichneten Dehnungen vorhanden ist, die auf eine Verkrümmung des Bohrkernabschnitts während der Nebelkammerlagerung hindeutet.

Als Grenzwert zwischen der Feuchtedehnung und der Dehnung für eine betonschädigende AKR gilt eine Längenänderung von 0,6 mm/m. Dieser Wert wurde im Mittel um 0,9 mm/m deutlich überschritten.

Im Anschluss an die Nebelkammerlagerung erfolgte die Lagerung der Proben bei Raumklima. Auf der Grundlage einer abschließenden Dehnungsmessung konnte der genaue Anteil der Feuchtedehnung bzw. der Anteil an irreversiblen Dehnungen bestimmt werden. Das nachfolgende Diagramm verdeutlicht den für diese Betrachtung genutzten Zusammenhang zwischen der Masseänderung und der Längsdehnung des Probekörpers (siehe Abb. 85).

Diagramm 2:
Mittlere Dehnung in Abhängigkeit von der Masseänderung

Mittelwert der irreversiblen Dehnung: 1,19 mm/m

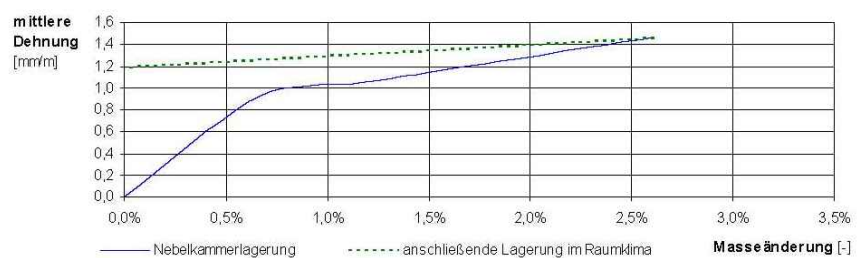


Abb. 4 85: Mittlere Dehnung in Abhängigkeit von der Masseänderung, Mittelwert der irreversiblen Dehnung: 1,19 mm/m

Wie aus den oben stehenden Diagrammen ersichtlich ist, lassen sich die bei der Nebelkammerlagerung ausgelösten Dehnungen zu etwa 20% auf die Feuchtedehnung des Betons zurückführen; der durch Treiberreaktionen (vermutlich AKR) verursachte Anteil an irreversiblen Dehnungen beträgt demzufolge 1,2 mm/m.

Dagegen stehen Ergebnisse früherer Dehnungsuntersuchungen an zwei Bohrkernen, die von einem Erliegen der AKR ausgehen.

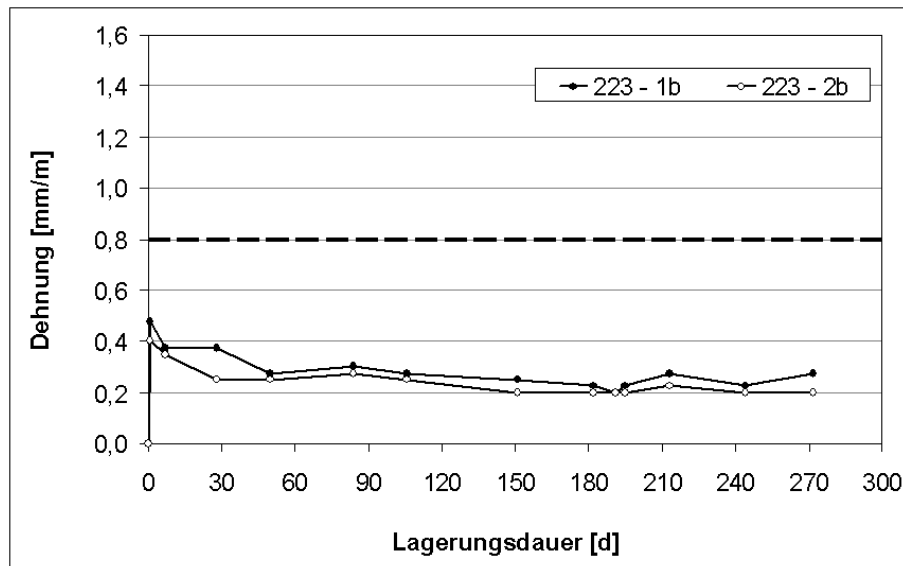


Abb. 86: 5Dehnungsverlauf während der Nebelkammerlagerung

4.3.5 Druckfestigkeitsprüfungen an Originalmaterial

Im Anschluss an die Nebelkammerlagerung sind aus dem Bohrkernabschnitt zwei Probekörper mit einem Verhältnis von Durchmesser: Höhe = 1 herausgearbeitet worden. Anschließend wurden die Druckflächen planparallel geschliffen. Nach einer mehrtägigen Lagerung bei Raumklima erfolgten die Druckfestigkeitsprüfungen auf einer Prüfmaschine der Genauigkeitsklasse 1. In der Anlage ist das Prüfzeugnis hierzu enthalten.

Die ermittelten Druckfestigkeiten liegen zwischen 41,3 N/mm² und 41,5 N/mm². Eine vergleichende Betrachtung der Druckfestigkeitsergebnisse kann allerdings nicht erfolgen, da keine Erkenntnisse über die Druckfestigkeit von nicht in die Nebelkammer eingelagerten Proben vorliegen.

5. Entwicklung von Restaurierungsmaterialien

Für die Restaurierung folgender Schädigungsschwerpunkte wurden Materialien benötigt:

- die Rissverfüllung
- den Rissverschluss und Rissverdümmung
- die strukturelle Festigung
- Antragungen und Ergänzungen von Fehlstellen
- Schalenhinterfüllungen im Rückenbereich der Skulpturen
- Oberflächenschutz/ wasserabweisende Einstellung der Stampfbetonoberfläche

Dazu wurden innerhalb des Projekts folgende Materialien entwickelt:

- Injektionsmaterial zur Rissinjektion (beim Pferd insgesamt 100 m Risse, Kuh ca. 80 m)
- Material zur oberflächennahen Rissabdichtung
- Materialien für die Ergänzung von rückgewitterten Bereichen und Verschluss der Kiesnester (ca. 5-6m²)
- Material zur Einbettung freiliegender Zuschläge
- Material zur Schaffung einer wasserabweisenden Schutzschicht

Für die Rissverfüllung wurde ein mineralisches Injektionsmaterial entwickelt und die physikalischen und mechanischen Eigenschaften angepasst. Dabei sollte eine deutliche Zufuhr von Alkalien ausgeschlossen werden. Es erfolgten Voruntersuchungen. Des Weiteren erfolgte die Auswahl und Modifizierung eines flexiblen Materials zur Rissverdümmung und Rissabdichtung.

Nach historischem Vorbild (Stampfbetonanalyse und Auswertung hist. Quellen) erfolgte die Entwicklung von Antrags- und Ergänzungsmassen mit abgestuften Sieblinien und unter Berücksichtigung der vorhandenen AKR und unter Verwendung AKR - unempfindlicher Zuschläge und bei Vermeidung eines Alkali-eintrags durch das Bindemittel. Alle Rezepturbestandteile (Porphyry, Schlacke, Sand, Bindemittel) wurden auf Alkaligehalte und lösliche Salze untersucht. Die Herstellung von Probekörpern erfolgte für die Bemusterung. Die Mörtelmischung und die Einzelzuschläge wurden in Anlehnung an die AKR - Richtlinie untersucht und/oder bewertet.

Unter besonderer Berücksichtigung der historisch geprägten Oberflächengestaltung wurde auf der gesamten Oberfläche zum Schutz vor einem weiteren Feuchtigkeitseintrag ein wasserabweisender, aber wasserdampfdiffusionsoffener Oberflächenschutz appliziert.

Für alle Materialien wurden Musterflächen angelegt und durch das Landesamt für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt und die Untere Denkmalschutzbehörde begutachtet.

5.1 Mineralische Injektionsmaterialien auf Basis von Feinstzementsuspensionen

Der große Vorteil mineralischer Injektionsmassen gegenüber anderen Injektionsmaterialien wie Epoxidharzen besteht in der Möglichkeit einer sehr guten Anpassung des Wärmedehnungskoeffizienten an den des Stampfbetons der Skulpturen. Des Weiteren lassen sich die Haftzugfestigkeiten ebenfalls gut auf das Originalmaterial abstimmen. Die Anwendung von HSNA-Zementen verhindert einen zusätzlichen Eintrag von Alkalien und eine erneute Bildung von AKR-Gelen. Untersuchungen von <http://www.vdz.de/AKR> zeigen, dass das Ausmaß der Schädigung unabhängig davon ist, ob die Alkalien in Form von Natrium

oder Kalium vorliegen. Im Oberflächenbereich der Risse sollte ein flexibles Material zur Rissabdichtung den Eintritt von Feuchtigkeit verhindern helfen.

Für die Entwicklung eines Materials für die Rissverfüllung wurde an der FH Potsdam, Studiengang Restaurierung, im Rahmen einer Diplomarbeit von Frau Tanzmann (TANZMANN, 2012) auf Basis einer mineralischen, modifizierten und an die Materialeigenschaften des Stampfbetons angepassten Feinstzementsuspension ein Material entwickelt und Untersuchungen zum Einsatz eines flexiblen Materials zur Rissabdichtung, das sich gleichzeitig als Verdämmmaterial zur Rissverfüllung eignet, durchgeführt.

5.2 Zusätze

Ziel der Zugabe von Betonzusatzstoffen ist es, die ursprünglichen Eigenschaften der Zementsuspension TRICODUR derart zu verändern, dass sie den gestellten Anforderungen (Anforderungskatalog) möglichst nahe kommen. Aufgrund der befürchteten Rissbewegungen steht hier der Versuch im Vordergrund, das E-Modul möglichst zu senken, ohne dabei zu viel an Festigkeit zu verlieren. Die Rissinjektion soll so an Dauerhaftigkeit und Standzeit gewinnen. Nur so kann eine erneute Wasserzufuhr in den Stampfbeton verhindert werden. Davon ausgehend werden Füllstoffe und Zusätze, die zur Erhöhung der E-Moduli führen, aus den Untersuchungen ausgeschlossen. Dies betrifft die von SIMON (2004) verwendeten Mischungen aus Kalk-, Marmormehlen und Plastorit. Plastorit 00 von KREMER soll trotz dessen zur Verminderung der Rissneigung und als Anti-Absetzmittel zur Anwendung kommen. Gleichzeitig wird sein Einfluss auf physikalische Kennwerte und Verarbeitungseigenschaften beobachtet.

5.2.1 Kunststoffzusätze

Die Zugabe einer hochpolymeren Kunststoffdispersion kann helfen, eine Reihe erwünschter Eigenschaften in den Zementsuspensionen zu erzielen. E-Modul, Druckfestigkeiten, μ -Wert und Wasseraufnahmekoeffizient können gesenkt werden, während die Biege- und die Haftzugfestigkeit ansteigen (WINNEFELD & KNÖFEL, 1996).

Es werden Polymere wie Styrolbutadiene und Styrolacrylate zugesetzt (Zement-Taschenbuch). KARTEN (2003) beschreibt eine gewisse Erhöhung des Wasserrückhaltevermögens und verweist darauf, dass auf Grund der hohen Alkalität nur verseifungsbeständige Kunststoffe wie PVP, geeignete Mischpolymerisate von PVAC/PVC und Polyacrylate als Zusätze verwendet werden sollten.

Durch die Zugabe von Polymeren werden sowohl die Frisch- als auch die Festbetoneigenschaften verändert. Laut DIMMIG-OSBURG wird die Ausbildung von Mikrofilmen innerhalb der Zementmatrix angestrebt, um sowohl die mechanischen Kennwerte als auch die Dauerhaftigkeit positiv zu beeinflussen. Dazu muss die Verarbeitungstemperatur über der Mindestfilmbildungstemperatur (MFT) liegen. Durch die Zugabe von Kunststoffdispersionen zu Zementen können im Einzelnen folgende positive Effekte erzielt werden:

- Anstieg der Biegezugfestigkeit mit gleichzeitigem Abfall des E-Moduls
- Auskleidung von Poren, Verstopfen von Kapillaren, Erzeugung von Kugelporen
- Verhinderung des Eindringens schädlicher Substanzen
- Verbesserung der Frost-Tausalz-Beständigkeit und des Frostwiderstandes

Nach etwa 3 Tagen entspricht die Zusammensetzung der Porenlösung des PCC im Wesentlichen der eines üblichen Portlandzementes (DIMMIG-OSBURG (2007)).

In Anbetracht dessen, dass sich die Risse an den Betonplastiken bis heute bewegen, liegt insbesondere in der Senkung des E-Moduls der zementgebundenen Injektionsmassen durch eine Kunststoffzugabe, eine Möglichkeit, mit dieser Problemstellung erfolgreich umzugehen (TANZMANN, 2012).

Nach DIMMIG-OSBURG (2002) ist für die Dauerhaftigkeit die Dichtigkeit ausschlaggebend, die bestimmt, in welchem Maße Gase und Flüssigkeiten wie gelöste Chloride, Sulfate und Schwefelsäure, aufgenommen werden können. Bestimmend sind hier der w/z- Wert, die Nachbehandlung mit Feuchtigkeit, die Zementsorte sowie der Polymer- Zementwert. Veränderungen der Kennwerte konnten nicht auf Polymerarten, sondern nur auf die Additive zurückgeführt werden. Bei Temperaturwechseln ist die Steigerung der Elastizität der Mörtel durch die Modifizierung von Bedeutung. Die Polymerfilme wirken wie eine Bewehrung und können Spannungen aufnehmen. Innerhalb der Diplomarbeit wurden von Frau Tanzmann folgende Polymerdispersionen als Zusatz untersucht:

- TRICODUR B-Komponente „Si“ basiert auf dem Copolymerisat Styrol-Butadien und soll die Verarbeitungseigenschaften von Tricodur optimieren.
- Kunststoffdispersion K9 von KREMER Pigmente. Vom Hersteller wird eine besonders hohe Flexibilität und Bindekraft sowie Alkalibeständig beschrieben.
- MOWILITH® DM 778. Copolymerisat-Dispersion basierend auf Acryl und Methacrylsäureestern. Vom Hersteller KREMER Pigmente wird diese zu Anwendungen im Zusammenhang mit mineralischen Mörteln empfohlen.

5.2.2 Lithiumionenzusätze

Das Quellvermögen der bei der AKR entstehenden Alkalisilikate ist stark von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängig ist (VDZ-Tätigkeitsbericht 2003-2005). Durch die Zugabe von Lithium kann dieses Quellen offenbar vermindert werden. Beschrieben werden z. B. Betonversuche unter Zumischung von Lithiumnitrat und Lithiumhydroxid. Die Zugabemenge ist danach direkt abhängig vom Alkaligehalt des verwendeten Portlandzementes (VDZ-Tätigkeitsbericht 2003-2005). Anhand von Betonuntersuchungen (Nebelkammerlagerung) wurden eine deutliche Verringerung der Dehnung sowie eine Verhinderung der Rissbildung festgestellt. Untersuchungen der Porenlösung zeigten, dass Lithiumionen, gegenüber Natrium- und Kaliumionen, bevorzugt in Alkalikieselgele eingebaut werden. Derzeit werden die Lithiumverbindungen auf Grund hoher Kosten in Deutschland nicht eingesetzt (VDZ-Tätigkeitsbericht 2003-2005).

Bei einigen ausgewählten Injektionsmaterialrezepturen wurde durch Frau Tanzmann (Tanzmann, 2012) innerhalb der Diplomarbeit untersucht, inwieweit sich die Zugabe des Lithiumhydroxides auf die Eigenschaften der Zementsuspension auswirkt. Beobachtet wurden die Auslaufzeiten, pH-Werte, Sedimentationsverhalten sowie seine Einflussnahme auf den Wasserdampfdiffusionswiderstand und den w-Wert.

5.3 Voruntersuchungen Soprodur und Tricodur

Für einen Einsatz zur Rissinjektion wurde der Fokus auf die Feinstzement-Injektionsmassen Soprodur und Tricodur gelegt. Der einzusetzende Feinstzement sollte keine zusätzlichen Alkalien in die AKR-geschädigten Stampfbetonkörper eintragen, um das erneute Eintreten einer AK-Reaktion zu vermeiden. Es wurde daher erforderlich, den wirksamen Alkaligehalt zu ermitteln.

Um die freilöslichen Alkalien in Zement beurteilen zu können, wurden Soprodur und Tricodur einer Salzanalyse im Eluatverfahren unterzogen. Die Ergebnisse werden in Tabelle 18 dargestellt. Danach kann eine Eignung von Tricodur festgestellt werden. Nach Angaben des Herstellers basiert die Feinstzementsuspension Tricodur auf einem Hochofenzement CEM III/C mit einem Hüttensandanteil zwischen 81-95 %. Es handelt sich um einen Normalzement mit hohem Sulfatwiderstand (HS-Zement) nach DIN 1164-10. Der Na-Äquivalent-Anteil ist hier $\leq 2,00$ M.-%. Auf Grund der höheren Belastung mit löslichen Alkalien und Sulfat wird der Einsatz von Soprodur nicht weiter verfolgt.

Tab. 18: Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Salzanalysen an den Feinstzementproben

Probe	Anteile an löslichen Ionen in M. %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
Soprodur	1,650	0,100	0,425	0,026	1,425	0,014	<0,01
Tricodur	0,505	0,160	0,175	0,009	0,375	0,013	0,018

Tab. 19: Ergebnisse der RFA-Analyse von Tricodur

Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca
%	%	%	%	%	%	%	%	%
< 0,18	3,26	4,87	15,61	0,04	1,51	0,016	0,45	35,30

Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
%	%	%	%	%	%	%	%	%
0,74	< 0,0096	0,0077	0,23	0,34	0,0023	0,0039	0,0011	0,0017

Nb	Mo	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I
%	%	%	%	%	%	%	%	%
< 0,0011	< 0,0074	0,0015	< 0,00087	< 0,00077	0,0080	< 0,0015	< 0,0019	< 0,0035

Cs	Ba	La	Ce	Hf	Ta	W	Hg	Tl
%	%	%	%	%	%	%	%	%
< 0,0053	0,053	< 0,0097	< 0,013	0,0015	0,0079	0,00093	0,00034	< 0,00024

Pb	Bi	Th	U
%	%	%	%
0,00047	< 0,00032	0,0012	0,0010

5.3.1 Untersuchungen mittels Wärmeflusskalorimetrie

Der Einfluss der Zugabe von Zusätzen Lithiumhydroxid und Acrylat auf das Hydratationsverhalten des Feinstzements wurde mittels Wärmeflusskalorimetrie untersucht. Die Tabelle 20 beschreibt die Rezeptureinwaagen. Die Proben wurden außerhalb des Kalorimeters mit einem W/Z-Wert von 0,63 angemischt, in Messtiegel abgefüllt, anschließend ins Messgerät eingebaut und ca. 45 Stunden gemessen. Die Präparationsstechnik durch externes Anmischen sichert realistische Hydratationsbedingungen.

Die Ergebnisse werden in Abbildung 87 dargestellt. Eine durch Lithiumionenzugabe verursachte Reaktionsbeschleunigung wird nicht festgestellt. Sichtbar wird eine allerdings schon im Messfehlerbereich liegende, geringfügige Absenkung der Peakintensitäten.

Nach Zugabe von Acrylat sind ein deutlich reduzierter Wärmefluss und eine Verschiebung des Wärmeflussmaximums zu späteren Reaktionszeiten, eine Verzögerung, feststellbar. Es werden auch geringfügige Veränderungen im Kurvenverlauf festgestellt.

Tab. 20: Übersicht der wärmeflusskalorimetrisch untersuchten Rezepturen

Probennummer	Entnahmeort, Profiltiefe
Rezeptur Tri	Zement: 100g Wasser: 63g
Rezeptur Tri L_ü	Zement: 100g Wasser: 63g Lithiumhydroxid im Überschuss: 0,1g
Rezeptur Tri AC17	Zement: 100g Wasser: 63g Acrylat: 28,5g

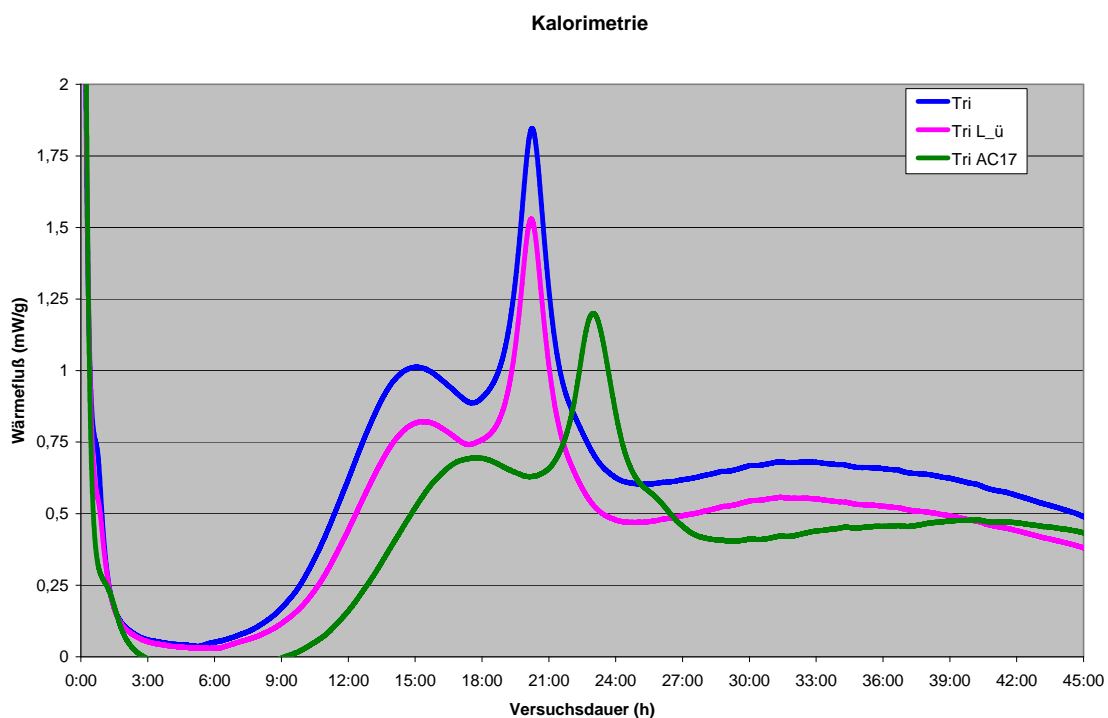


Abb. 87: Wärmeflusskalorimetrische Messungen an Tricodur und modifizierten Proben

In den Arbeiten von DIMMIG-OSBURG (2002) DIMMIG-OSBURG, GIELER (2007) und DIMMIG-OSBURG et al. (2011) wird die Beeinflussung des Hydratationsprozesses von Portlandzement durch Zugabe von Kunststoffdispersionen beschrieben: Danach ist die Ausbildung der Mikrostrukturen der organischen Matrix durch unterschiedliche Prozesse und Interaktionen von nebeneinander erhärtender anorganischer und organischer Matrix geprägt. Großen Einfluss auf die Ausbildung der Mikrostruktur nehmen die organischen Additive des polymeren Zusatzes.

Die Interaktionen zwischen Zement und Kunststoff bestehen hauptsächlich aus Adsorptionsreaktionen, Agglomerationen und der Behinderung der Hydratation. Unmittelbar nach dem Mischen beginnen die Polymere, sich auf den Zementpartikeln anzulagern. Der Adsorptionsgrad der inneren Zementoberfläche hängt erheblich von der Kunststoffteilchengröße ab. Ist die Belegung der Zementoberfläche besonders hoch, so werden Stofftransportvorgänge (Wassertransport), nämlich die Hydratationsprozesse, behindert (DIMMIG-OSBURG, GIELER, 2007). Im Modell kann man sich vorstellen, dass sich kleine Dispersionssteilchen relativ dicht und mehrlagig auf der Zementoberfläche anlagern können. Ein Großteil der Teil-

chen verbleibt in der flüssigen Phase und letztendlich an den Porenwandungen und in Zwickelbereichen der Mörtelstruktur. Ist die Mindestfilmtemperatur (MFT) ausreichend niedrig, so verschmelzen die Teilchen, die nicht adsorbiert wurden, schon kurze Zeit nach dem Mischen zu Filmen. Relativ große Dispersionsteilchen hingegen sind nicht in der Lage, derartig dichte Umhüllungen auszubilden. Dementsprechend werden die Transportvorgänge (Hydratationsprozesse) nur unerheblich beeinflusst. Durch den Wasserentzug der Dispersion und durch die beginnende Hydratation kommt es zur Verdichtung der Teilchen. Es bilden sich Hydratphasen, die die Polymerfilme durchdringen, so dass eine Mischung aus organischer und anorganischer Bindemittelmatrix entsteht. Die Mikrostruktur der organischen Matrix wird in den ersten 24 Stunden geprägt. Die Nachbehandlung (Feuchtezufuhr) beeinflusst hauptsächlich die Strukturausbildung der anorganischen Matrix.

5.4 Injektionsmaterialien auf Basis von Feinstzementsuspensionen, Fazit aus der Diplomarbeit von Marie Tanzmann

Es sollte versucht werden, eine Mikrozementsuspension möglichst an die Anforderungen anzupassen, die durch das Objekt vorgegeben wurden. Erstes Auswahlkriterium war dabei ein niedriger wirksamer Alkaligehalt, um die AKR durch Aufbau eines alkalischen Milieus nicht neu zu initiieren. Nach eingehenden Recherchen, die durch vergleichende Analysen (Pkt. 5.2.6.) untermauert wurden, stellte sich heraus, dass TRICODUR auf einem CEM III / C-Zement basiert, welcher als HS/Na-Zement eingestuft wird und sich somit im vorliegenden Fall eignet. Eine weitere Möglichkeit wäre die Verwendung von Mikrodur R von Dyckerhoff gewesen. Aufgrund aktueller Untersuchungen muss man davon ausgehen, dass sich die Risse momentan noch bewegen. Deshalb wurde im Rahmen der Arbeit versucht, TRICODUR durch Zugabe von Kunststoffdispersionen zu „flexibilisieren“. Dies orientierte sich an Untersuchungen an sogenannten PCC (polymermodifizierten Zementen). Durch die Zugabe des Füllstoffes Plastorit konnten die Biegezugfestigkeiten erhöht und die Auslaufzeiten, die durch die Dispersion verlängert werden, verbessert werden. Die Zugabe der Dispersionen führte zu einer gewissen Abnahme der E-Moduli und Zunahme der Haftzugfestigkeiten, was positiv eingeschätzt wird. Mikrozementsuspensionen verfügen von Natur aus aufgrund ihres relativ hohen w/z-Wertes über höhere Kapillarporenvolumina als sie beim Stampfbeton vorliegen. Der niedrigere w-Wert wird mit einem hohen Anteil von Mikroporen erklärt, der die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme stark dezimiert. Des Weiteren kommt es bei den Zementen zu einer sehr hohen hygrischen Dehnung, die aber auf das junge Alter der CEM III – Zemente zurückgeführt wird und mit zunehmendem Alter abnehmen wird. Aus dem Vergleich der getesteten Zementsuspensionen ergaben sich zwei Favoriten: TRI AC 23 P7 und TRI AC (neu) 17, die den gestellten Anforderungen am nächsten kamen und somit zur Anwendung empfohlen werden können. Dabei TRI AC (neu) 17 nicht das komplette Untersuchungsprogramm durchgeführt wurde (2.Probereihe), wäre zumindest eine Untersuchung der Haftzugfestigkeiten sinnvoll.

5.5 Entwicklung eines Ergänzungsmörtels

Der Originalmörtel wurde nachgestellt und in dem Erscheinungsbild der jeweiligen Oberflächenumgebung angepasst. Die Ergebnisse einer Mörtelanalyse (Weise) dienten als Vorlage. Eine Quelle (BAUAKTE 660-3-B-3 BD. X NR. 124, 1928) gibt die Rezeptur mit einem Bindemittel-Zuschlag-Verhältnis von 1:4 und eine Zuschlagzusammensetzung von 1 Teil Porphyrgrus (3 bis 8 mm), 2 Teilen Flusssand und 4 Teilen Mansfelder Kupferschlacke (3 bis 8 mm) vor. Die Ergebnisse der Mörtelanalyse bestätigen nur die Art der Zuschläge nach den Angaben der BAUAKTE 660-3-B-3 BD. X NR.124 (1928). Es wurden fol-

gende Korngrößen festgestellt: Quarzsand 0 - 4 mm, Porphyrsplitt 0 - 8 mm und Schlacke 0 - 16 mm. Die ermittelten Ergebnisse weichen damit deutlich von den Quellenangaben ab (WEISE & HEMPEL, 2006). Die Verwendung von HSNA-Zementen verhindert einen zusätzlichen Eintrag von Alkalien in das Betongefüge und damit eine erneute Bildung von AKR-Gelen. Zudem liegt eine hohe Sulfatbeständigkeit vor. HS/NA-Zementmörtel sind oft sehr dunkel, da im Zementklinkermineralbestand Calciumaluminat durch die dunkelbraunen bis dunkelgrauen Calciumaluminatferrate/Calciumferrate ersetzt werden (ZÖTZL, 2002). Um den hellbeigen Originalfarbton der Stampfbetonmatrix zu berücksichtigen, wurde für die Ergänzungsrezeptur ein HS/NA-Weißzement gesucht. Weißzemente sind in der Regel keine HS/NA-Zemente. AALBORG WHITE®, ein Weißzement mit einem niedrigen Alkaligehalt und einem hohen Sulfatwiderstand, wird aus extrem reinem Kalksandstein und fein gemahlenem Sand hergestellt (AALBORG WHITE®-Datenblatt und Herstellerangaben). AALBORG WHITE®-Zement entspricht den Anforderungen der amerikanischen Norm ASTM C 150-02 für Typ I, II, III und V-Zementen sowie Zement mit niedrigem Alkaligehalt. Der Tricalciumaluminatgehalt (C_3A -Gehalt) eines Typ-V-Zements darf höchstens 5 % betragen (<http://www.aalborgwhite.de>).



Abb. 88: Herstellung von Ergänzungsmörtel-Materialproben unterschiedlicher Farbigkeit und Zusammensetzung für die Bemusterung durch den Restaurator Herrn Reichenbach

Für die Ermittlung von Materialkennwerten wurden die Probekörper Haftzug-, E-Modul-, Wasseraufnahme- und Wasserdampfdiffusionswiderstandsuntersuchungen unterzogen.

Zusätzlich wurde eine Probe des Zements einer Untersuchung zugeführt. Die Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Salzanalyse am Eluat werden in Tabelle 19 dargestellt. Die gemessenen Alkaliionen liegen im Bereich der Nachweisgrenze. Der Sulfationengehalt, notwendig für die Abbinde- und hydraulische Bindemittel, ist normal und mit unauffällig zu bewerten.

Tab. 19: Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Salzanalysen an den Bohrmehlproben

Probe	Anteile an löslichen Ionen in M. %						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
AALBORG WHITE®	1,800	0,050	<0,005	0,006	0,175	0,011	<0,01

Die Alkaliempfindlichkeit des feinkristallinen Porphyrs, der nach Angaben in der Bauakte vermutlich vom Petersberg stammt, ist nicht gegeben, wie auch die Uranyluntersuchungen zeigen. Eine Zulassung des derzeit am Petersberg abgebauten und angebotenen Porphyrsplitts nach Alkalirichtlinie Teil 3 besteht nicht. Der farblich ähnliche Löbejüner Porphyrt hat auf Grund seines allgemein als grobkristallin bezeichneten Gefüges (rekristallisierte Matrix) die Zulassung nach Alkalirichtlinie Teil 3 und wurde für die Rezepturierung der Ersatzmassen verwendet. Da keine Aussagen für den Köpflitzer Quarzsand vorlagen, wurde dieser nach Alkalirichtlinie auf Alkalibeständigkeit geprüft und bestätigt.

Des Weiteren wurde die komplette Grundrezeptur, bestehend aus Zuschlägen (Mansfelder Kupferschlacke, Porphyrt und Quarzsand), Weißzement und hochhydraulischem Kalk, zur Sicherheit (trotz Anwendung alkalireduzierter Zemente) im Schnellprüfverfahren, in Anlehnung an Alkalirichtlinie Teil 3, geprüft und bestätigt. Abbildung 89 zeigt die Ergebnisse der Balkentests nach 13 Tagen Lagerung unter Testbedingungen. Am 13. Tag wird eine sehr geringe Dehnung von 0,1 mm/m festgestellt. Damit wird der Richtwert von 1,0 mm/m (bezogen auf die Probezusammensetzung nach Testvorschrift) weit unterschritten.

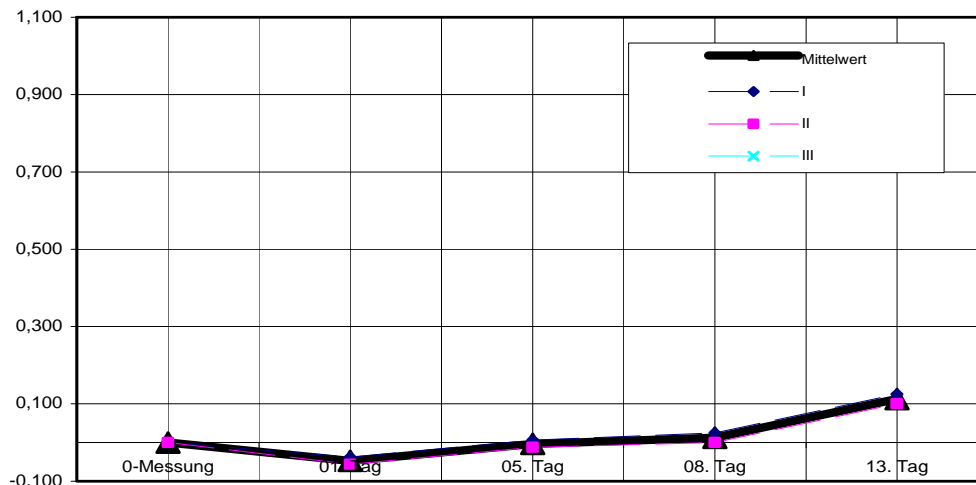


Abb. 89: Ergebnisse der Balkentests der Grundrezeptur im Schnellprüfverfahren in Anlehnung an Alkalirichtlinie Teil 3

5.6 Hallescher Porphyrt(-splitt)

Die permokarbonischen Vorkommen in der Halleschen Mulde (BEYSCHLAG & FRITSCH, 1899) werden auch als Hallescher Vulkanitkomplex (Vulkanitgebiet) bezeichnet (SCHWAB, 1970), da die vulkani-

schen Ablagerungen eindeutig dominieren (EIGENFELD, 1999). Die Vulkanite prägen das Landschaftsbild und sind im Stadtbild Halles und der Umgebung häufig als Baumaterial anzutreffen. Der Begriff Porphy steht für eine Gefügebezeichnung und ist heute nicht mehr exakt. Geologisch korrekt bezeichnet, handelt es sich um Rhyolithe. Traditionell ist allerdings die Bezeichnung Hallescher Porphy allgemein noch in Verwendung. Man unterscheidet beispielsweise den oberen und unteren halleschen Porphy (EIGENFELD, 1999 und SCHWAB, 1977) (siehe Abb. 90).

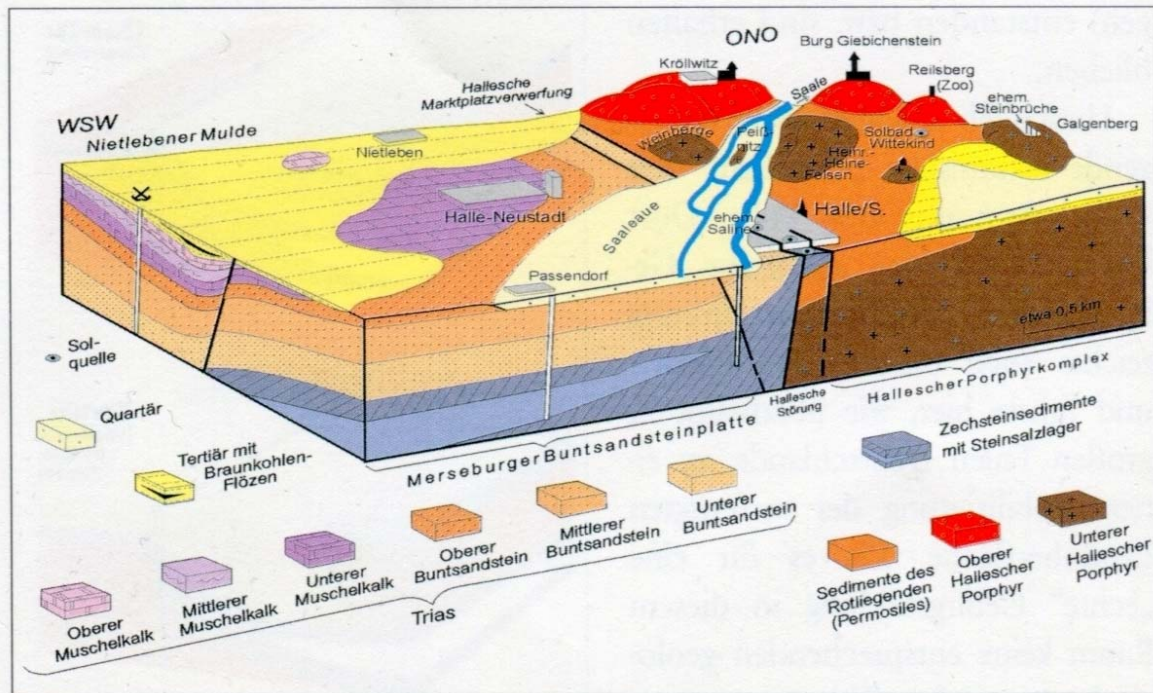


Abb. 90: 6 Tektonik und Landschaftsformen beiderseits der Halleschen Marktplatzverwerfung im Stadtgebiet von Halle, nach Wagenbreth und Steiner (1982)

Die Porphyre werden weiter in grobkristallin (Vorkommen um Löbejün), mittelkristallin (Vorkommen um Schwarz) und feinkristallin (Vorkommen am Petersberg) unterschieden.



Abb.91: Zuschläge: Mansfelder Kupferschlacke, Porphyrsplitt, Quarzsand



Abb. 92: Stamfbetongefüge, Anschliff, untere Bildkante entspricht 4 cm

5.7 Mansfelder Kupferschlacke

In der Rohhütte Helbra wurden die erzhaltigen Bereiche des Mansfelder Kupferschiefers mit basischen Zuschlägen und Koks zu Kupfer und Schlacke geschmolzen. Der Kupferstein wurde in der Hettstedter Raffinerie zu Kupfer weiterverarbeitet, die Schlacke glutflüssig durch Haldensturz verkippt. Mansfelder Kupferschlacke wurde und wird in vielen Bereichen eingesetzt und wurde im Rahmen von Forschungsprojekten immer wieder untersucht.

TEWELDE (2004) gibt den Phasenbestand von Mansfelder Kupferschlacke nach XRD-Untersuchungen mit Diopsid, Clinoenstatit, Augit, Magnetit, Leucit und untergeordnet Melilith, Chalkosin und Bornit an.

Tab. 20: Chemische Zusammensetzung der Mansfelder Kupferschlacke (aus TEWELDE, 2004)

Chemische Zusammensetzung							
Oxidgehalte [Gew. %]		Elementgehalte [Gew. %]		Oxidgehalte [mg/kg]		Elementgehalte [mg/kg]	
SiO ₂	49,1	Si	23,0	V ₂ O ₅	1410	V	790
CaO	17,4	Ca	12,4	Cr ₂ O ₃	1110	Cr	762
Al ₂ O ₃	13,5	Al	7,1	SrO	1000	Sr	845
MgO	6,7	Mg	4,0	SnO ₂	329	Sn	259
Fe ₂ O ₃	5,1	Fe	3,6	PbO	257	Pb	238
K ₂ O	3,7	K	3,1	ZrO ₂	213	Zr	158
Na ₂ O	1,4	Na	1,0	CoO	136	Co	107
TiO ₂	0,8	Ti	0,5	MoO ₃	108	Mo	72
BaO	0,4	Ba	0,4	UO ₂	96	U	85
MnO	0,4	Mn	0,3	NiO	91	Ni	71
ZnO	0,3	Zn	0,3	Ga ₂ O ₃	51	Ga	38
P ₂ O ₅	0,3	P	0,1				
SO ₃	0,3	S	0,1				
CuO	0,2	Cu	0,2				
Gesamt = 99,6%							

Das Originalmaterial, der Stampfbeton der Skulpturen, enthält matt und glasig aussehende Schlackekomponenten (siehe Abb. 93). Die für die Verwendung im Ergänzungsmaterial einzusetzende Schlacke muss frei von reaktivem Belit sein, da Belitgehalte ein Zerrieseln der Schlacken verursachen können. Exemplarisch wurden matte und glasig aussehende Schlackeproben mittels XRD auf Belitgehalte untersucht. Tabelle 21 gibt den ermittelten Phasenbestand an. In beiden Proben wurden keine Belitbestandteile nachgewiesen (siehe Abb. 94 und 95).



Abb. 93: Mansfelder Kupferschlacke (Glas)

Tab. 21: Ermittelter Phasenbestand der Röntgenproben

Probe	Phasenbestand
Schlacke, matt (rekristallisiert)	Diopsid und Fassaite (2 Pyroxene der Diopsidgruppe)
Schlacke, Glas	hoher Glasanteil und Diopsid

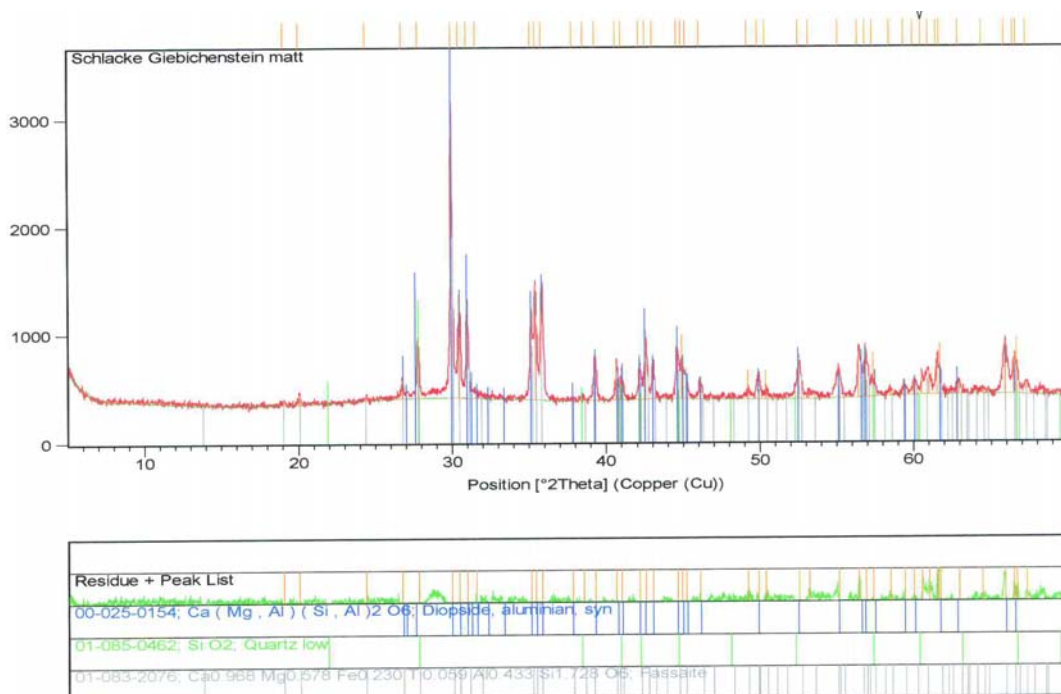


Abb. 94: XRD-Diffraktogramm, Mansfelder Kupferschlacke, Schlacke (rekristallisiert), Phasenbestand: Diopsid und Fassaite (2 Pyroxene der Diopsidgruppe), kein Belit!

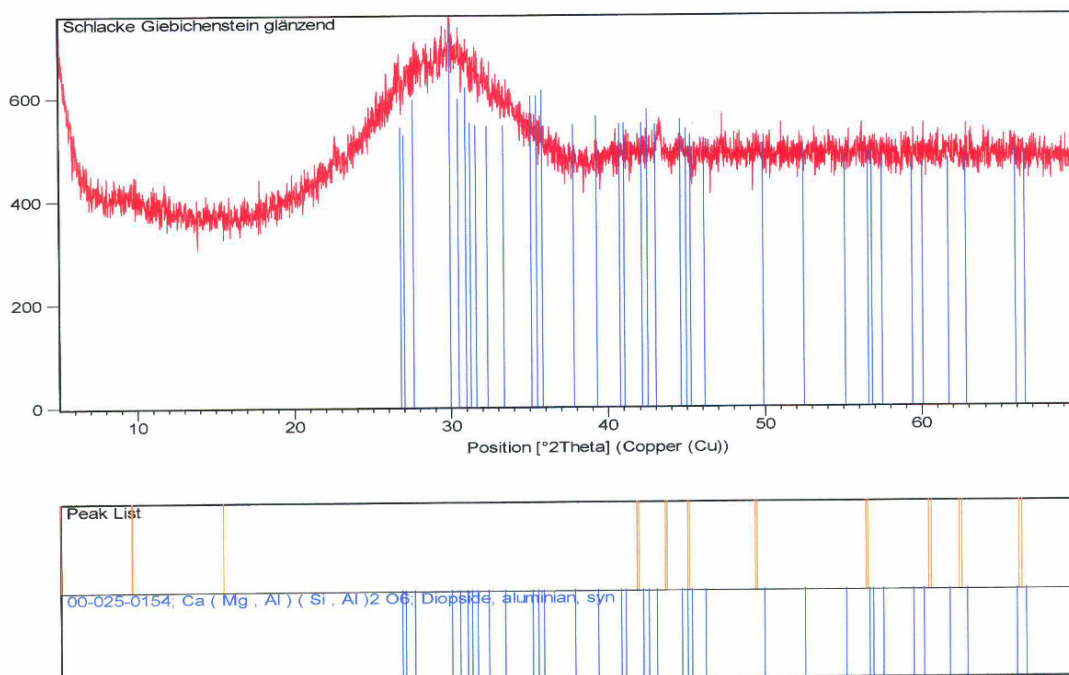


Abb. 95: XRD-Diffraktogramm, Mansfelder Kupferschlacke (Glas), Phasenbestand: Schlacke: hoher Glasanteil, Diopsid

5.8 Quarzsand aus der Grube Köplitz

Der verwendete Quarzsand wurde einem Schnellprüfverfahren in Anlehnung an Alkalirichtlinie Teil 1 unterzogen und die Alkalibeständigkeit bestätigt. In der Anlage kann das Prüfprotokoll eingesehen werden.

5.9 Untersuchungen an Probekörpern, Ermittlung von Materialkennwerten

Zur Ermittlung von Materialkennwerten wurden für Probekörper unterschiedlicher Rezeptur Haftzug-, dynamische E-Modul-, kapillare Wasseraufnahme- und Wasserdampfdiffusionswiderstandsuntersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse der E-Modul-Messungen und der kapillaren Wasseraufnahme werden in den Tabellen 22-26 angegeben. Die Rezepturen wurden durch Variation der Bestandteile und unter Berücksichtigung der Materialkennwerte und des Erscheinungsbildes (Vorgaben der Denkmalpflege) an das Originalmaterial angepasst. Dabei wurde versucht, möglichst durch Verwendung natürlicher Rohstoffe eine dem heutigen Erscheinungsbild angepasste Farbigkeit zu erzielen.

Tab. 22: Ergebnisse der Bestimmung der dynamischen E-Moduli an Rezepturen mit Zement im Bindemittel

Mörtelbezeichnung	Dynamischer E-Modul in kN/mm ²
BK Pferd (Bohrkern Pferd)	31,63
Probe A	39,14
Probe B	40,33
Probe C	40,39
Probe D	39,58
Probe E	25,43

Tab. 23: Ergebnisse der Bestimmung der dynamischen E-Moduli an Rezepturen mit Zement und zum Teil mit hydraulischem Kalk im Bindemittel

Mörtelbezeichnung	Dynamischer E-Modul in kN/mm ²
Probe G	27,27
Probe I	20,98
Probe K	21,25
Probe Q	27,16
Probe R	36,80

Tab. 24: Ergebnisse der dynamischen E-Moduli an Rezepturen mit Zement und zum Teil mit hydraulischem Kalk im Bindemittel

Mörtelbezeichnung	Dynamischer E-Modul in kN/mm ²
Probe 85	15,39
Probe 86	15,83
Probe 87	9,79
Probe 88	11,06
Probe 89	13,72
Probe 95	15,17

Probe 96	12,96
Probe 97	16,63
Probe 98	15,08
Probe 99	14,79
Probe 100	30,49
Probe 101	18,31
Probe 103	20,98

Tab. 25: Ergebnisse der Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme

Mörtelbezeichnung	Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert 30 min in $\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}$
BK Pferd	0,21
Probe G	0,52
Probe I	1,51
Probe K	1,06
Probe Q	1,75
Probe R	0,48

Tab. 26: Ergebnisse der Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme

Mörtelbezeichnung	Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert 30 min in $\text{kg/m}^2 \cdot \sqrt{\text{h}}$
Probe 85	1,27
Probe 86	1,65
Probe 87	3,07
Probe 88	0,73
Probe 89	0,80
Probe 95	1,41
Probe 96	2,25
Probe 97	1,18
Probe 98	1,33
Probe 99	1,23
Probe 100	0,81
Probe 101	0,75
Probe 103	0,29

Des Weiteren wurde durch Herrn Reichenbach versucht, auf Basis einer mineralischen Schlämme (Probe 99) unter Verwendung originaler Zuschläge (Schlacke, Porphyr und Sand) sowie durch Veränderung der Rezeptur und unter Zugabe eines Zinkstearats einen wasserabweisenden Oberflächenabschluss zu finden. Die Ergebnisse der E-Modul-Messungen und der kapillaren Wasseraufnahme werden in den Tabellen 27 und 28 angegeben.

Tab. 27: Ergebnisse der Bestimmung der dynamischen E-Moduli von Schlammproben mit Zinkstearat

Mörtelbezeichnung	Dynamischer E-Modul in kN/mm ²
Probe 111	10,06
Probe 112	11,62
Probe 113	11,43

Tab. 28: Ergebnisse der Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme von Schlammproben mit Zinkstearat

Mörtelbezeichnung	Wasseraufnahmekoeffizient w-Wert 30 min in kg/m ² ·√h
Probe 111	2,93
Probe 112	2,05
Probe 113	2,67

An drei miteinander kombinierten Antragsmassen und der Schlämme wurden Haftzuguntersuchungen unter Verwendung von Würfelproben durchgeführt (siehe Abb. 96 und 97). Tabelle 29 zeigt die Ergebnisse der Haftzuguntersuchungen.

Tab. 29: Zusammensetzung der Probekörper und Ergebnisse der Haftzuguntersuchungen

Mörtelbezeichnung	Aufliegender Mörtel	Untergrund	Haftzugfestigkeit an Würfeln kN/mm ²	Bruchbild [% Mörtel % Schlämme]
104	100	103 (dem Original nachgestellt)	1,03	zwischen Mörtel und Untergrund
105	101	103 (dem Original nachgestellt)	1,73	10 % Mörtel, 90 % im Untergrund
106	100	101	1,67	im Untergrund
107	99	103 (dem Original nachgestellt)	1,75	im Untergrund
108	99	100	1,40	im Untergrund
109	99	101	2,03	im Untergrund
110	99	103 (dem Original nachgestellt, wie 107, beiden Materialien wurden nicht nass in nass, sondern mit zeitlichem Abstand aufeinander gebracht)	2,11	im Untergrund



Abb. 96: Probekörper für die E-Modulmessungen und die Untersuchungen zur Wasseraufnahme



Abb. 97: Zweisteinproben, Probekörper für die Haftzuguntersuchungen

5.10 Schaffung einer wasserabweisenden Schutzschicht

Unter besonderer Berücksichtigung der historisch geprägten Oberflächengestaltung wurde auf der gesamten Oberfläche zum Schutz vor einem weiteren Feuchtigkeitseintrag ein wasserabweisender, aber wasserdampfdiffusionsoffener Oberflächenschutz appliziert. Abbildung 98 zeigt die Anlage von Musterflächen mit unterschiedlich pigmentierten Silikonharzschlämmen durch den Restaurator Herrn Reichenbach.



Abb. 98: Anlage von Musterflächen mit unterschiedlich pigmentierten Silikonharzschlämmen

6. Rezepturen der Antragsmörtel und Schlämmen

Von den Antragsmörteln und Schlämmen wurden zahlreiche Proben erstellt, die zunächst hinsichtlich der optischen Eigenschaften von den Projektbeteiligten geprüft und bewertet wurden (Farbe und Struktur). Bei entsprechender Eignung folgten an diesen Materialmischungen Kennwertbestimmungen (Wasseraufnahme, E-Modul), um die Verträglichkeit mit dem Originalmaterial zu prüfen. Nachfolgend sind nur die Rezepturen dargestellt, die im Projekt letztlich appliziert worden sind.

Rezeptur	Art	Zuschlag	Bindemittel
99.	Schlämme	0,5 Sand Köplitz 0-0,25 mm 0,25 Porphyr 0-0,25 mm 0,75 Schlacke 0-0,25 mm Eisenoxyd ocker	Zement Hydraulischer Kalk

		Eisenoxyd schwarz	
100.	Antragsmörtel	2 Sand Köplitz 0-0,5 mm 1,0 Porphy 0-1 mm 3 Schlacke 0-2 mm Eisenoxyd ocker Eisenoxyd schwarz	Zement Hydraulischer Kalk
101.	Antragsmörtel	2 Sand Köplitz 0-2 mm 1 Porphy 0-2 mm 3 Schlacke 0-4 mm Eisenoxyd ocker Eisenoxyd schwarz	Zement Hydraulischer Kalk
103	Antragsmörtel	2 Sand Köplitz 0-2 mm 1 Porphy 0-2 mm 3 Schlacke 0-4 mm Eisenoxyd ocker Eisenoxyd schwarz	Zement Hydraulischer Kalk

In den nachfolgenden Abbildungen sind die für die Bemusterung erstellten Mörtelproben dargestellt (siehe Abb. 99-110).



Abb. 99: Mörtelproben 1-9



Abb. 100: Mörtelproben 10-18



Abb. 101: Mörtelproben 19-33



Abb. 102: Mörtelproben 34-42



Abb. 103: Mörtelproben 43-51



Abb. 104: Mörtelproben 52-60



Abb. 105: Mörtelproben 61-69



Abb. 106: Mörtelproben 70-78

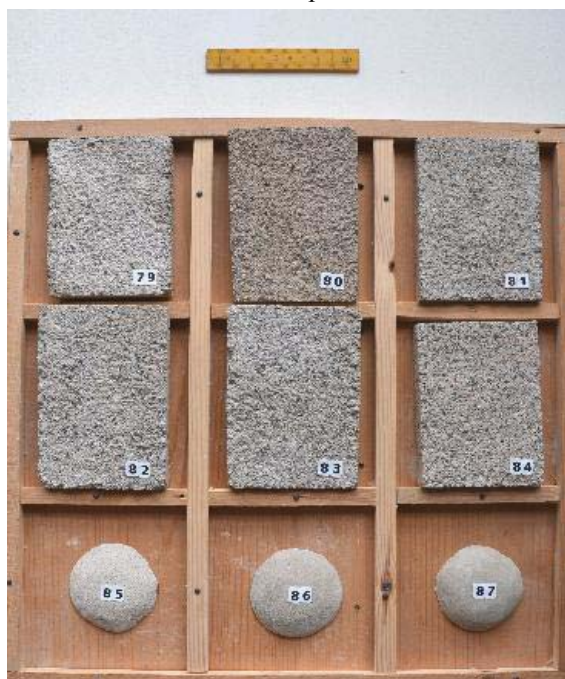


Abb. 107: Mörtelproben 79- 87



Abb. 108: Mörtelproben 88- 96

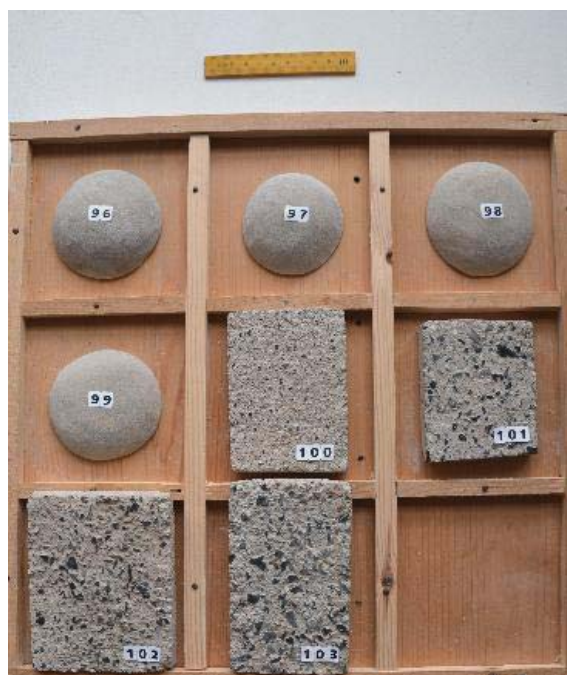


Abb. 109: Mörtelproben 97-103



Abb. 110: Probekörper für Haftzugfestigkeit

7. Fazit

Mittels Dehnungsmessungen wurde ein Restdehnpotential des Stampfbetons am Pferd bestimmt. Es lassen sich verschiedene Ursachen feststellen und benennen, die zu den heute sichtbaren Schäden an den Stampfbetonskulpturen führten. Direkt nach dem Abbinden der Skulpturen traten Schwindrisse auf, die sich vor allem auf die Stampffugen konzentrierten (Schreiben von Gerhardt Marcks). Diese Vorschäden und stark hydrophile Bereiche mit Kiesnestern führten zum Eintritt von Wasser in das Stampfbetongefüge. Damit stand ein Hauptreaktionspartner für die AKR- und Ettringitschädigung zur Verfügung. Ein Alkalieintrag über NaCl-basierte Tausalze wird ausgeschlossen. Eine geringe Anreicherung von Kaliumionen wird festgestellt. Diese könnten auf eine Behandlung mit Kaliwasserglas oder eine Belastung mit Kalilaugesprühnebel hindeuten. Vermutlich durch Sulfateintrag von außen über eindringende Wasser erfolgte eine Ettringitschädigung, der aber kein hohes Schadpotential zugeschrieben wird. Weitere Schäden erfolgten durch Frost und Bindemittelauswaschungen.

Materialien für die Rissverfüllung und den Rissverschluss wurden entwickelt. Der Originalmörtel wurde in unterschiedlich angepassten Rezepturen nachgestellt und in dem Erscheinungsbild der jeweiligen Oberflächenumgebung angepasst. Es konnten Ergänzungen erfolgen und die freiliegenden Zuschläge eingebunden werden. Die Ergebnisse einer Mörtelanalyse und historische Quellen dienten als Vorlage. Die Verwendung von HSNA-Zementen verhindert einen zusätzlichen Eintrag von Alkalien in das Betongefüge und damit eine erneute Bildung von AKR-Gelen. Zudem liegt eine hohe Sulfatbeständigkeit vor. Für die Ermittlung von Materialkennwerten wurden die Probekörper Haftzug-, E-Modul-, Wasseraufnahme- und Wasserdampfdiffusionswiderstandsuntersuchungen unterzogen und die Rezeptur an das Original angepasst. Zusätzlich wurden die Einzelkomponenten der Rezepturen untersucht sowie auf bestehende Zertifikate zurückgegriffen und die Baustellenmischung einer Prüfung in Anlehnung an AKR-Richtlinie, Teil 3, unterzogen.

8. Restaurierungsarbeiten

8.1 Reinigung

Die nun folgenden Ausführungen beschäftigen sich hauptsächlich mit der praktischen Umsetzung der nach den im Bericht von Matthias Zötzl und Dr. Jeannine Meinhardt, IDK Halle und Dresden genauer definierten weiterführenden wissenschaftlichen Vorarbeiten, anschließenden Restaurierung. Für diese Restaurierungsarbeiten, aber auch zur Trocknung wurde für die Tiere je eine Einhausung um die Rüstung herum gebaut (siehe Abb. 111). Diese waren später auch zu heizen. Gleich zu Beginn der Arbeiten, noch vor dem Bau dieser Einhausungen, erfolgte die Nassreinigung beider Skulpturen (Kärcher). Ziel war es, den groben aufliegenden Schmutz und den Bewuchs von Moos und Flechten zu beseitigen (siehe Abb. 112). Es verblieb aber noch recht viel Schmutz in der Oberfläche, der sehr hartnäckig in den Tiefen des abgewitterten Materials saß. Dieser konnte später nur mit einem Sandstahlgerät entfernt werden (siehe Abb. 114). Das Betonmaterial ist so stabil, dass es keinen Schaden dadurch nahm. Bei der Reinigung wurden auch die weißen Sinterschichten entfernt. Die manchmal bis zu 4 cm starken Schichten (siehe Abb. 113) waren manuell am leichtesten zu entfernen, erst die unmittelbar der Betonoberfläche aufliegende Schicht ließ sich nur mit dem Sandstrahl entfernen. Ein Problem sind die mit dem gesinterten Material gefüllten Risse. Diese ließen sich nur bis zu einer sehr geringen Tiefe öffnen. Interessant ist überhaupt, dass in den 15 Jahren seit der ersten Restaurierung schon wieder eine solche Menge aus den Rissen ausgetreten ist und eben teilweise auch aus den Rissen, welche vorher verpresst wurden. Die Reste alter Ergänzungen wurden, soweit sie störend waren und sie waren fast alle störend, mit Steinwetzwerkzeug beseitigt (siehe Abb. 115).



Abb. 111: Einhausung für das Pferd



Abb. 112: Pferderücken mit Moos und Flechten, d. h. Betonoberfläche, die schon so weit entfestigt war, dass sich Kleinorganismen darauf entwickeln konnten



Abb. 113: Massive Sinterschicht



Abb. 114: Reinigung mit Sandstrahl, die linke Hälfte ist gereinigt

8.2 Festigung

Beim genaueren Betrachten der Risse vom Gerüst aus zeigte sich, dass diese gar nicht so weit aufgegangen waren wie erst vermutet. Das Problem waren die Rissflanken. Diese waren im großen Stile ausgebrochen (siehe Abb. 116). Vor allem die während der Maßnahme von 1995 geschlossenen Rissflanken waren zu großen Teilen heraus gefallen. Das ging wohl auf eine Entfestigung der Rissflanken zurück. Damit der Schaden sich nicht wiederholt, wurden diese mit Steinfestiger Funcosil 300 der Firma Remmers gefestigt (siehe Abb. 117). Die Festigung betraf also nicht die gesamte Fläche, sondern nur die gestörten Rissflanken, bzw. stark entfestigte Bereiche wie die Mähne beim Pferd, Kopf, Hörner, Ohren bei der Kuh (siehe Abb. 118).



Abb. 115: Reste einer Antragung im Zusammenhang mit der Rissverpressung von 1995, links davon ist sie schon ausgebrochen; der Riss ist eigentlich nur geringfügig wieder aufgegangen



Abb. 116: Auch originales Material ist aus den Rissflanken heraus gebrochen, die Flanken selbst sind porös



Abb. 117: Auf die gereinigte Oberfläche wurde der Festiger mehrmals aufgetragen



Abb. 118: Auf die gereinigte Oberfläche wurde der Festiger mehrmals aufgetragen, hier auf der Mähne des Pferdes

8.3. Rissverfüllung

Innerhalb des Rissystems gibt es unterschiedliche Ausprägungen, die allerdings ineinander übergehen und von außen auch nicht ganz genau zu benennen sind. Es gibt größere Risse, welche als senkrechte Linien zwischen den großen Formen des Bauches und der Vorder- und Hinterbeine entlang laufen. Sie sind wohl im Zusammenhang mit dem Reaktionsprozess der gesamten Tiere zu sehen. Diese sind deutlich breiter als alle anderen und sind auch viel tiefer, was sich später beim Verfüllen zeigte. Sie nehmen viel mehr Material auf. Im Prinzip sind das vier Risse pro Tier. Die zweite Gruppe sind die, welche als waagerechte Linien die Stampffugen markieren. Obwohl aus diesen Bereichen durch die dort anliegenden Fehl-

stellen sehr zeitig die Sinterfahnen austraten, haben sich die Risse vermutlich erst später gebildet. So lese ich zumindest die frühen Photos. Die diese Waagerechten verbindende, vorwiegend senkrecht verlaufende dritte Gruppe hat sich ja wohl erst in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt. In den Bereichen, in denen der Beton nicht mehr in eine Schalung gestampft werden konnte, sondern frei angetragen werden musste, sind auch die Risse deutlich größer und tiefer. Inwieweit all diese Rissformen in der Anlage schon sehr zeitig vorhanden, später jedoch erst auf den Photos sichtbar waren, oder erst seit sie sichtbar wurden tatsächlich auch entstanden, ist unklar. Soweit eine Kurzbeschreibung der Risse. (Detaillierte Messungen siehe Kapitel Risserfassung).

Nach dem Festigen konnte deren Verfüllung beginnen. Dafür wurden in die Risse Löcher gebohrt (siehe Abb. 119). Nachdem auf der rauen Betonoberfläche das Aufbringen von Packern schlecht funktionierte, da der Verfüllmörtel immer wieder unter der Verdämmung hervor lief, wurde auf sie ganz verzichtet. Ein 6 mm starker, ca. 10 cm langer Plastischlauch erfüllte die gleichen Anforderungen (siehe Abb. 120-121). Auf das Verdämmen mit Heißkleber, bzw. Silikonkautschuk wurde im Laufe der Arbeiten an der Kuh ebenfalls verzichtet, da die gefüllten Risse ohnehin mit einem rissüberbrückendem Polymer-Zementgemisch von MC Bauchemie Bottrop, Zentrifix F 92 verschlossen wurden, um dem Verfüllmaterial eine flexible Abdeckung zu geben. Also konnte es auch gleich als Verdämmstoff benutzt werden. Das Zentrifix braucht als Verdämmung nun nicht entfernt zu werden. Damit die über die gesamten Tiere aufzubringende Schlämme auf diesem Material hält, wird das aufgetragene Zentrifix mit dem Trockenmaterial der Schlämme 99 besandet. So ergibt sich eine griffige, aufgeraute Oberfläche. Man spart mit dieser Maßnahme einen Arbeitsgang und ein Material ein. Das Polymer-Gemisch ließ sich unproblematisch auftragen. Nach einer Probe mit Druckluft, um die Dichtheit des Systems zu prüfen, einigen Nachbesserungen, einer weiteren Dichtheitsprobe mit Wasser, wiederum mit Nachbesserungen, konnte man das Verfüllen beginnen. Das Zentrifix hat sich nirgendwo gelöst und seine Aufgabe gut übernommen. Trotzdem ist an einigen Stellen der Verfüllmörtel ausgetreten. Das Entfernen eines mineralischen Materials stellte auf der Betonfläche kein Problem dar. Es hatte den Anschein, dass der Mörtel sogar besser als Wasser lief. Das Verfüllen erfolgte mit einer handelsüblichen Einwegspritze (siehe Abb. 122). Vor dem Einfüllen mussten die Risse mit Wasser gefüllt werden. Dies musste so lange vor dem eigentlichen Füllen geschehen, dass das Wasser die Rissumgebung benässt hatte, aber auch vom Beton aufgesogen wurde, damit der Riss für den Feinzement frei war. Nach Vorgaben der Arbeitsgruppe hat Frau Marie Tanzmann den Verpressmörtel im Rahmen ihrer Diplomarbeit an der Fachhochschule Potsdam unserer Problematik angepasst. Aus mehreren Feinstzementen entwickelte sie eine Rezeptur auf Tricodurbasis (Firma Sika Deutschland GmbH). Um eine höhere Flexibilität des Materials zu erzielen, damit es besser auf die möglicherweise weiterhin zu erwartenden Rissbewegungen reagieren kann, hatte sie den Zement mit dem Acrylat K9 vergütet (Vertrieb Farbmühle Kremer, Aichstedten). Im Rahmen des Projektes wurde dieses Produkt später gegen das verwandte Mowilith (ebenfalls Farbmühle Kremer) ausgetauscht. Mit dem Acrylat K9 wurde im Projekt ein Fließtest gemacht, der gut verlief, allerdings konnte man zwischen den Glasscheiben sehen, dass bei den Proben viele Luftbläschen im Material verblieben. Diese sind beim Anrühren, möglicherweise aber auch beim Abbinden entstanden. Daher entschied man sich, in Absprache mit dem Landesamt und der Denkmalbehörde der Stadt Halle, das Acrylat K 9 gegen Mowilith D 778 (beide Farbmühle Kremer, Aichstedten) zu ersetzen. Als Problem erwies sich allerdings die Lieferung des Produktes. In der Zeit unseres Arbeitens hatte der Hersteller seine Lieferung an Zwischenhändler nur noch in so großen Mengen angekündigt, welche für den Handel mit Kleinstmengen unwirtschaftlich sind. Es gelang jedoch, noch Restmengen zu finden. Für eine spätere Anwendung steht dieses Produkt nicht mehr zur Verfügung. In das Pferd haben wir 1850 ml und in die Kuh 1600 ml Verpressmörtel eingefüllt (123-128).



Abb. 119: Risse mit 6 mm großen Bohrlöchern für die Einfüllschläuche



Abb. 120: Einfüllschläuche während der Vorbereitungsarbeiten am rechten Gesäß des Pferdes



Abb. 121: Entsprechende Stelle zu Abb. 120, mit den eingesetzten Schläuchen



Abb. 122: Entsprechende Stelle beim Einfüllen des Verpressmörtels; Der Riss wurde inzwischen mit Zentrifix verdämmt.



Abb. 123: Entsprechende Stelle mit verdämmten und gefüllten Rissen



Abb. 124: Der Rücken der Kuh während der Verfüllung, hier wurde noch zusätzlich zu Zentrifix noch ein Silikonkautschuk als Verdämmung aufgebracht, was außer einem Mehraufwand keine verbesserte Abdichtung ergab



Abb. 125: Der Rücken des Pferdes während der Verfüllung der Risse



Abb. 126: Entsprechend am Hinterkopf der Kuh



Abb. 127: Entsprechende Stelle - ein verdämmter und verfüllter Riss



Abb. 128: Entsprechende Stelle - verdämmt und verfüllt; die Bohrlöcher sind inzwischen auch gefüllt



Abb. 129: Eine große Fehlstelle am Hals der Kuh, in der Mitte ist noch die Ergänzung von 1995 zu sehen



Abb. 130 Entsprechende Stelle wie Abb. 129, ohne die Ergänzung; sehr entfestigt mit Hohlräumen



Abb. 131: Entsprechende Stelle wie Abb. 130, nach der Festigung und Vorbereitung zum Verfüllen der Hohlräume



Abb. 132: Entsprechende Stelle wie Abb. 131, nach dem Verfüllen; Endergebnis Abb. 140

8.4 Mörtelantragungen, Abstrahlen

Nach dem Verfüllen der Risse standen als nächster Schritt die Antragungen mit den in den Versuchsreihen entwickelten Restauriermörteln an. Die Vorstellung nach den Probeflächen war, die großen anzutragenden Fehlstellen systematisch mit der Schlämme 99 beginnend, über den feinen Mörtel 100 zu 101, um am Ende mit dem groben Mörtel 103 eine Oberfläche zu erzielen, welche der Struktur des Originalbetons sehr ähnlich käme. Dieses stufenweise aufgebaute Material sollte die originalen Zuschlagstoffe völlig einbinden. Sie wären kaum noch zu sehen gewesen. An der entsprechenden Probefläche an der Pferdemaähne konnte man allerdings sehen, dass die Gefahr bestand, dass die Oberfläche frei interpretiert und verändert werden könnte. Blieb man mit dem Mörtel unterhalb der Spitzen der Zuschlagstoffe, so bestand zwar die Möglichkeit, dass die Verwitterung zu Teilen formbestimmend würde, die die Oberfläche lebendig erscheinend lassende Zufälligkeit spontaner Formerfindungen während der steinmetzmäßigen Überarbeitung blieb aber erhalten. Außerdem gab es ein weiteres Problem. Da die Schlämme 99 in der Wasseraufnahme höher war, als die Restauriermörtel, schien es besser, den Mörtel 100 aufzuschlämmen und danach dann die gröberen Mörtel einzuarbeiten. Die Schlämme 99 sollte, indem sie die gesamte Oberfläche überzog, die kleineren Fehlstellen einbinden und abdichten, gleichzeitig aber auch ein farblich homogenes Farbbild ergeben. Zwischen den tieferen Kiesnestern, den flächigen Auswitterungen wie an der Pferdemaähne und fast noch intakten Flächen gab es keine klare Abgrenzung. Die Übergänge waren so fließend, dass dieses mehr theoretische Konzept am Objekt nicht im Detail umgesetzt wurde. Deswegen entschloss man sich in Absprache mit allen Projektbeteiligten, auf Schlämme und Mörtel 100 zu verzichten, dafür aber den Mörtel 101 etwas dünnflüssiger einzustellen, damit aber die gesamten Figuren zu überziehen. Nur an tieferen Fehlstellen wurde der gröbere Mörtel 103 verwendet. Die etwas gröber fraktionierten Zuschlagstoffe dieser beiden Mörtel bieten somit eine bessere Angleichung an die Originaloberfläche. Aufgetragen, oder besser in die Oberfläche eingerieben wurden die Mörtel mit einer kleinen Wurzelbürste. Nach dem Aushärten des Materials wurde die Oberfläche soweit mit dem Sandstahlgerät zurück gearbeitet, dass die im neuen Mörtel eingebetteten Zuschlagstoffe wieder wie beim Original zu sehen waren.



Abb. 133: Aufbringen des Mörtels 101 mit der Wurzelbürste (Detail)



Abb. 134: Aufbringen des Mörtels 101 mit der Wurzelbürste



Abb. 135: Aufbringen des Mörtels 101 mit der Wurzelbürste



Abb.136: Anschließend wurden die Tiere in feuchte Tücher und Folie gepackt



Abb. 137: Die linke Hälfte des Bildes zeigt den aufgetragenen Mörtel 101, die rechte Hälfte den Zustand nach dem Sandstrahlen



Abb. 138: Oberfläche nach dem Sandstrahlen



Abb. 139: Oberfläche nach dem Sandstrahlen (Detail)



Abb. 140: Die fertig abgestrahlte Ergänzung am Hals der Kuh, siehe Abb. 132

Nachdem die Oberfläche der Tiere in einem zufriedenstellenden Zustand war, wurde auf beide eine abschließende Schlämme aufgetragen, um eine einheitlich wasserabweisende, jedoch einigermaßen diffusionsoffene Oberfläche von Originalbeton und Anstrichmörtel zu erzielen. Dazu wurden Probeflächen angelegt, die hauptsächlich hinsichtlich des optischen Eindrucks geprüft worden sind. Zusätzlich sind alle Musterflächen hinsichtlich der kapillaren Wasseraufnahme getestet worden. Eine hydrophobierende Imprägnierung wurde bewusst ausgeschlossen, da weiterhin mit einer Rissbewegung gerechnet werden muss und ein geschlossener Film daher nicht gewährleistet werden kann.

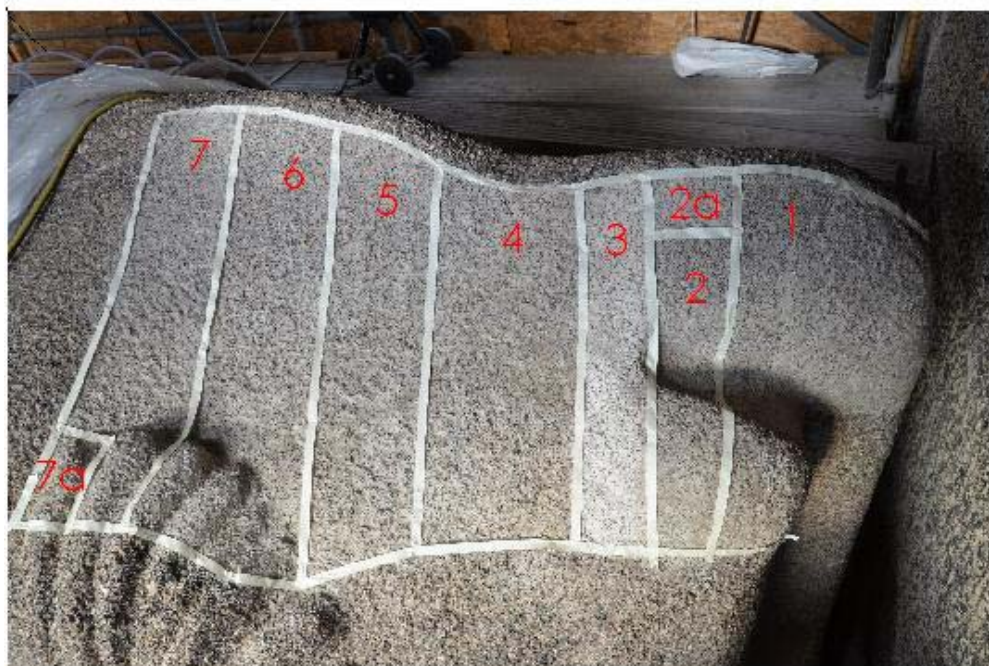


Abb. 141: Probefläche der Antragungen mit den Mörteln M 101 und M 103 in verschiedenen Varianten, ungestrahlt, gestrahlt und mit Schlämme 99

- | | | |
|----|---|--|
| 1 | M 101 mit vielen tieferen Antragungen M 103 | gestrahlt |
| 2 | M 101 mit vielen tieferen Antragungen M 103 | mit Schlämme 99, gestrahlt |
| 2a | M 101 mit vielen tieferen Antragungen M 103 | mit Schlämme 99, nicht gestrahlt |
| 3 | M 101 mit vielen tieferen Antragungen M 103 | nicht gestrahlt |
| 4 | M 101 mit wenig Antragungen | gestrahlt |
| 5 | M 101 mit wenig Antragungen | wenig gestrahlt |
| 6 | M 101 mit wenig Antragungen | intensiv gestrahlt, mit Schlämme 99 |
| 7 | M 101 mit wenig Antragungen | intensiv gestrahlt, mit Schlämme 99, diese wenig gestrahlt |
| 7a | M 101 mit wenig Antragungen | intensiv gestrahlt, mit Schlämme 99, diese wenig gestrahlt, mit Retusche |

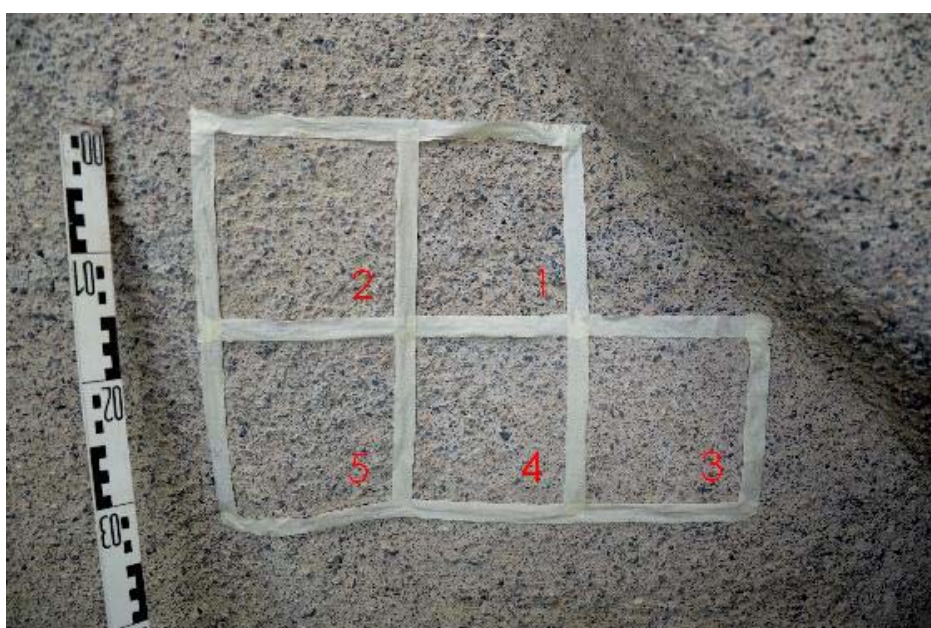


Abb. 142: Probeflächen mit verschiedenen Schlämmen, nachträglich gestrahlt

- 1 originale Oberfläche M 101
- 2 Schlämme 99 mit 5 % Stearatanteil
- 3 Raiasil Schlämme beige mit 5 % Stearatanteil, 0,1 % Eisenoxyd schwarz
- 4 Raiasil Schlämme beige mit 5 % Stearatanteil, 0,2 % Eisenoxyd schwarz
- 5 Raiasil Schlämme beige mit 5 % Stearatanteil, 1,0 % Eisenoxyd ocker

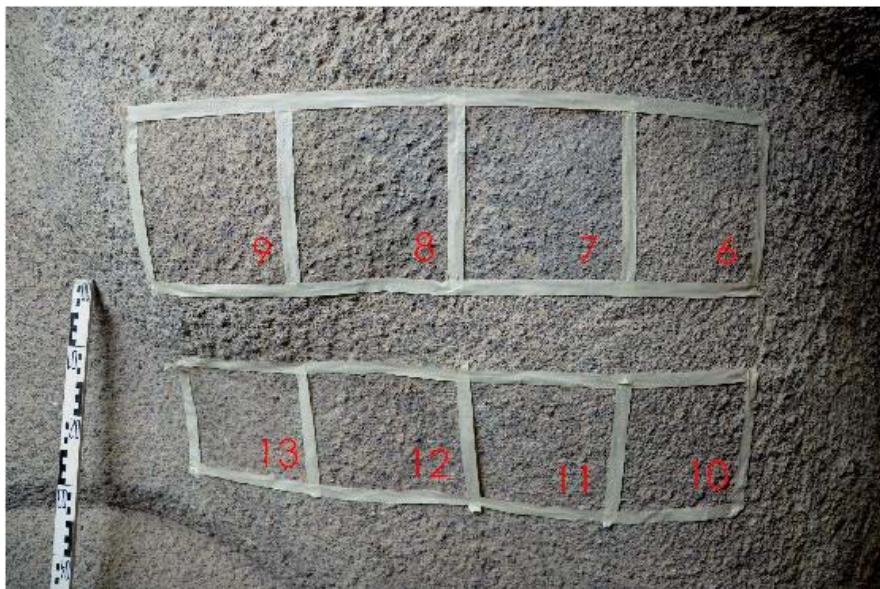


Abb. 143: Probeflächen mit der Historic-Schlämmmasur von Remmers mit verschiedenen Pigmentanteilen

- 6 Remmers ohne Pigment
- 7 Remmers 0,5 % Eisenoxyd schwarz
- 8 Remmers 0,1 % Eisenoxyd schwarz , 0,5 % Eisenoxyd ocker
- 9 Remmers 0,1 % Eisenoxyd schwarz , 2,0 % Eisenoxyd ocker

Die Probeflächen 10-13 sind in der gleichen Weise pigmentiert, aber deutlich dünner aufgetragen. Da die Proben 2 bis 5 zu gering wasserabweisend waren, fiel die Entscheidung auf die Historic- Schlämmmasur von Remmers. Bei der Probereihe 6-13 fiel dann die Entscheidung zugunsten der unpigmentierten Flächen 6 und 10. Ausgangspunkt war die unpigmentiert gelieferte Schlämmmasur.



Abb. 144: Schlammprobe 6 von Abb. 142; diese unpigmentierte Schlämme wurde als Überzug für die gesamte Kuh favorisiert

Es zeigte sich jedoch, dass diese Entscheidung nur funktioniert, wenn man die Schlämme sehr dünn aufträgt. Da hat man allerdings das Problem einer sehr geringen Materialstärke, was bedeutet, dass die Schlämme relativ schnell abwittert. Trägt man die unpigmentierte Schlämme nur etwas stärker auf bildet sich ein Weißschleier. Mit einem deutlich reduzierten Pigmentanteil von 0,03 % Eisenoxyd schwarz und 0,1 % Eisenoxyd ocker konnte man dem begegnen. Trotz eines stärkeren Auftrages gibt es keine weißen Schleier. Bei einem noch stärkeren Auftrag nimmt man jedoch die Materialität der Zuschlagstoffe nicht mehr wahr und es entsteht der Eindruck eines billigen Anstrichs.



Abb. 145: Detail der fertig gestellten Skulptur der Kuh mit gefüllten Rissen, mit dem Fehlstellen ausfüllenden und die gesamte Oberfläche überdeckenden Mörtel sowie der abschließenden Schlämmasur



Abb. 146: Ein weiteres Detail der fertig gestellten Skulptur der Kuh mit gefüllten Rissen, mit dem Fehlstellen ausfüllenden und die gesamte Oberfläche überdeckenden Mörtel sowie der abschließenden Schlämmasur



Abb. 147: Südliche Seite der Kuh mit gefüllten Rissen, mit dem Fehlstellen ausfüllenden und die gesamte Oberfläche überdeckenden Mörtel sowie der abschließenden Schlämmlasur



Abb. 148: Detail des fertig gestellten Pferdes



Abb. 149: Überblick über das fertig gestellte Pferd



Abb. 150: Nördliche Seite über das fertig gestellte Pferd



Abb. 151: Beide Tiere nach der Restaurierung von der Stadtseite aus



Abb. 152: Pferd nach der Restaurierung



Abb. 153: Pferd nach der Restaurierung von der Nordseite aus



Abb. 154: Beide Tiere von der Nordseite aus



Abb. 155: Kuh nach der Restaurierung von der Südseite



Abb. 156: Kopf der Kuh nach der Restaurierung

9. Ausblick

Aktuell sind beide Plastiken in einem sehr guten Zustand. Wie bei allen Restaurierungsarbeiten ist auch in diesem Falle nicht davon auszugehen, dass sich diese Situation über eine Vielzahl von Jahren unverändert erhält, ohne dass man sich um die beiden Skulpturen kümmern muss. Die einfachste und wirkungsvollste Lösung ist auch hier das Monitoring. Zu diesem Zweck sollten die restaurierten Oberflächen zunächst komplett photographisch erfasst werden, um nah an der eigentlichen Restaurierungsmaßnahme eine Bezugsgrundlage für eventuell auftretende Veränderungen zu schaffen. An ausgewählten Stellen, die sich im Vorfeld der Restaurierung als besonders kritisch erwiesen haben, sollten Referenzflächen eingerichtet

werden, die anfangs möglichst jährlich fachmännisch inspiziert werden. Gegebenenfalls, bei minimaler Dynamik der Verwitterung, könnte man den Monitoringintervall auch auf zwei Jahre ausdehnen. Die als Oberflächenabschluss aufgetragene Silikonharzschlämme kann im Sinne einer Wartung der Objekte bei entsprechender Abwitterung auch erneuert werden.

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes.



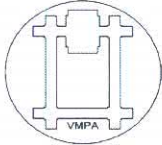
Abb. 157: Dr. Paul Bellendorf mit Uwe Kalisch bei einem Besuch der geförderten Restaurierungsobjekte im September 2012. Einhausung der Kuh mit einem permanent angebrachten Poster zur Projektdarstellung für die Passanten.

10. Literaturverzeichnis

- BAUAKTE 660-3-b-3 Bd. X Nr. 124, Stadtarchiv Halle, Brief der Tiefbauverwaltung Halle an den Bildhauer Manetstöller vom 13.08.1928
- BAUAKTE 660-3-b-3 Bd. X Nr. 268, Stadtarchiv Halle, Brief der Bauberatungsstelle Berlin des Deutschen Zementbundes an die Tiefbauverwaltung Halle vom 24.09.1930
- BONZEL, J.; KRELL, J. UND SIEBEL, E. (1986) Alkalireaktion im Beton. beton 36 H. 9, S. 345/349, und 10, S. 385/389.
- DAfStb (2005) Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton - AKR - Richtlinie, Technische Regel
- Deutscher Ausschuss für Stahlbeton; DAfStb (2007) Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie). Ausgabe Februar 2007
- DIMMIG-OSBURG, A. (2002) Die Mikrostrukturausbildung von kunststoffmodifizierten Mörteln im frühen Stadium der Erhärtung; in: Tagung Bauchemie in Siegen, GDCh- Fachgruppe Bauchemie, 27. und 28. September 2007, Siegen
- DIMMIG-OSBURG, A. (2002) Einflüsse von Polymeren auf die Mikrostruktur und die Dauerhaftigkeit kunststoffmodifizierter Mörtel (PCC), in: BETON 52 (2002, Nr.12), S.597
- DIMMIG-OSBURG, A. et al. (2011) Einsatz von polymermodifiziertem Beton im Brückenbau - Teil 1. in: BFT international 77 (2011, Nr.6), S. 42 -55
- DIMMIG-OSBURG, A.; GIELER; R.P. (2006): Kunststoffe für den Bautenschutz und die Bauinstandsetzung. Der Baustoff als Werkstoff. Basel 2006
- DIN EN 480-5:2005-12, Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel - Prüfverfahren - Teil 5: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme; Deutsche Fassung EN 480-5:2005
- DIN EN 12504-4:2004-12: Prüfung von Beton in Bauwerken – Teil 4: Bestimmung der Ultraschallgeschwindigkeit; Deutsche Fassung EN 12504-4:2004
- DIN EN 14579:2005-01: Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Geschwindigkeit der Schallausbreitung; Deutsche Fassung EN 14579:2004
- EIGENFELD, F. (1999) Das Permokarbon von Halle und Umgebung. Sonderband zur VFMG-Sommertagung in Halle. S. 145-155
- GERDES, A. und SCHWOTZER (2011) Die Botonsäule „elements interchangeable“ (1961) von Hans Arp, Einführung – Problemstellung –Restaurierung, in Patitz, G., Grassegger, G., Wölbart, O. (Hrsg.): Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassung sowie Sanierungsbeispiele. Natursteinsanierung Stuttgart 2011, Fraunhofer IRB-Verlag, S.99 ff.
- GIEBSON, C., SEYFARTH, K., LUDWIG, H.-M. (2011) Alkali-Kieselsäure-Reaktion, Ursachen, Schäden und vorbeugende Maßnahmen. WTA-Publications, Heft 35, S.95-117
- GÖLLER, A. (1999) Feuchtemessung im Raster - ein neues Konzept der Feuchtemessung in Bauwerken. erscheint in Bautenschutz Bausanierung 06/99
- GÖLLER, A., HANDRO, A., HEINRICH, D., LANDGRAF, J., SCHNIEBER, M., WAGNER, J. (1999) Leckageortung und Detektion von Feuchteverteilungen mit den MOIST-Geräten. Proc. DGZfP-Fachtagung „Bauwerksdiagnose“, München, 21.-22.01.99
- GÖLLER, A., HANDRO, A., LANDGRAF, J. (1999) A new microwave method for moisture measurement in building materials. Proc. 3rd Workshop on Electromagnetic Wave Interaction with Water, USDARS, Athens, Georgia, USA, 12.-13.04.99
- GÖLLER, A.; HANDRO, A.; HEINRICH, D.; LANDGRAF, J.; SCHNIEBER, M.; WAGNER, J. (1999) Handheld-Mikrowellen-Feuchtemeßgeräte der MOIST-Serie - ein neues Konzept der Materialfeuchtemessung. Proc. DGZfP-Fachtagung „Bauwerksdiagnose“, München, 21.-22.01.99

- HOBBS, D. W. (1988) Alkali Silica Reaction in Concrete. Thomas Telford, London 1988.
- HOTZ, T. (2011) Die Botonsäule „elements interchangeable“ (1961) von Hans Arp, Prävention am Bau – Methoden und Ergebnisse, in: Patitz, G., Grassegger, G., Wölbart, O. (Hrsg.): Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassung sowie Sanierungsbeispiele. Natursteinsanierung Stuttgart 2011, Fraunhofer IRB-Verlag, S. 109 ff.
- <http://www.aalborgwhite.de>
- <http://www.vdz.de/AKR>
- IDK-Bericht (2008) Analytische Begleitung der Hydrophobierung des aus Stampfbeton bestehenden Reitersreliefs in der Kuppelhalle des Völkerschlachtdenkmals in Leipzig.
- KARSTEN, R. (2003) Bauchemie. Mit Ursachen, Verhütung und Sanierung von Bauschäden. Heidelberg
- KRELL, J. (1983) Alkalireaktion im Beton. beton 33 H. 8, S306/307
- KUZEL, H.-J. (1968) Ersatz von Al^{3+} durch Cr^{3+} und Fe^{3+} in $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot nH_2O$ und $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot nH_2O$. In: Zement-Kalk-Gips 21 (1968) 12, S. 493-499
- KUZEL, H.-J. (1982) Ein einfaches Wärmeleitungskalorimeter mit hoher Empfindlichkeit. Fortschritte der Mineralogie, Bh. 60(1), 128-129
- KUZEL, H.-J. (1984) Ein leistungsfähiges Wärmeleitungskalorimeter, TIZ-Fachberichte, 108, 1, 46-51
- KUZEL, H.-J. (1994) Ettringitbildung in Zementstein durch Reaktionen mit CO_2 . In: Beton-Instandsetzung (1994) 1, S. 41-48
- LOCHER, F.W. & SPRUNG, S. (1973) Ursache und Wirkungsweise der Alkalireaktion. beton23 H. 7, S. 303/306, und H. 8, S. 349/353.
- Merkblatt B4 „Merkblatt für das Ultraschall-Impuls-Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile“ der DGzfp (1999) überarbeitete Auflage, 18. S.
- PFEFFERKORN, S. Weise, S. (2008) Häufige Schadreaktionen in Betonen historischer Bauwerke und Denkmale. in: Denk-mal an Beton! Berichte zu Forschung und Praxis in der Denkmalpflege. S. 34 ff.
- PÖLLMANN, H. (1984) Die Kristallchemie der Neubildungen bei Einwirkung von Schadstoffen auf hydraulische Bindemittel. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- PÖLLMANN, H. UND KUZEL, H.-J. (1993) Heat Flow Calorimetric Measurements With A New Semiconductor Based Calorimeter - ICAM'93 Proceedings
- PÖLLMANN, H., KUZEL, H.-J. UND MEYER, H.W. (1991) Heat-Flow Calorimetry in Cement Chemistry - Construction and Application of a low cost, high sensitive Calorimeter. - Proc. 13th Int. Conf. Cem. Micr., pp. 254-272, Tampa 1991
- PÖLLMANN, H.; AUER, ST.; KUZEL, H.-J.; WENDA, R. (1993) Solid Solution of Ettringites. Part II: Incorporation of $B(OH)_4$ and CrO_2^- in $3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3 CaSO_4 \cdot 32 H_2O$. In: Cement and Concrete Research 23 (1993) 2, S. 422-430
- PÖLLMANN, H.; KUZEL, H.-J.; WENDA, R. (1989) Compounds with Ettringite Structure. In: Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen (1989) 2, S. 133-158
- PÖLLMANN, H.; KUZEL, H.-J.; WENDA, R. (1990) Solid Solution of Ettringites. Part I: Incorporation of OH^- and CO_3^{2-} in $3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3 CaSO_4 \cdot 32 H_2O$. In: Cement and Concrete Research 20 (1990) 6, S. 941-947
- REICHENBACH, C. (2005) Bericht über die Messungen der Rissbreiten am Pferd, sowie über weitere Untersuchungen am Betonbalken. unveröffentlicht
- REICHENBACH, C. (2011) Einige Gedanken über Kuh und Pferd zur Diskussion. unveröffentlicht
- SCHMIDT, T. (2003) Untersuchungsbericht Projekt 01429.01, Ing-büro f. Bauwerkserhaltung Weimar
- SCHWAB, M. (1977) Zur paläotektonischen Entwicklung in des Halleschen Permosilesgebietes (nordöstlicher Saaletrog). Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften. 1, 69-84

- SCHWAB, M., KNOTH, W. & BORG, G. (1998) Classic Rotliegend und Zechstein in the Mansfeld and Halle Region. Epicontinental Triassic Intern. Symp. Halle. Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften. Reihe B, 6, 63-85, Halle
- SIMON, G. (2004) Die Erhaltung der Stahlbetonkonstruktion des Erbbegräbnisses Wissinger auf dem Südwest-Kirchhof in Stahnsdorf. Untersuchungen zur Auswahl einer geeigneten Injektionsmasse zur Schließung von Rissen, Diplomarbeit, 116 S.
- STARK, J., FREYBURG, E., SEYFARTH, K., GIEBSON, C., ERFURT, D. (2010) 70 years ASR with no end in sight? - Part 2 (70 Jahre AKR und kein Ende in Sicht? - Teil 2) ZKG INTERNATIONAL 63 (2010) Nr. 5, S. 55 - 70
- STARK, J., WICHT (2001) Dauerhaftigkeit von Beton - Der Baustoff als Werkstoff. S. 174, S.288, 2001
- STARK, J.; BELLMANN, F.; NOBST, P.; WICHT, B. (2010) Sulfatangriff auf Beton Schriftenreihe des F. A. Finger-Instituts für Baustoffkunde Nr. 5 Hrsg.: Bauhaus-Universität Weimar, F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde 2010
- STARK, J.; FREYBURG, E.; SEYFARTH, K.; GIEBSON, C.; ERFURT, D. (2010) 70 years ASR with no end in sight? - Part 1 (70 Jahre AKR und kein Ende in Sicht? - Teil 1) ZKG INTERNATIONAL 63 (2010) Nr. 4, S. 86 - 95
- STEIGER, M., NEUMANN, H.-H., GRODTEN, T., WITTENBURG, C., DANNECKER, W. (1998) Salze in Natursteinmauerwerk - Probennahme, Messung und Interpretation. In R. Sneath, Ed. Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung II, Stuttgart, S. 61-91.
- TANZMANN, M. (2012) Rissinjektion an AKR geschädigtem Beton am Beispiel der Giebichensteinbrücke in Halle (Saale). Untersuchungen zur Auswahl einer geeigneten Injektionsmasse auf Basis von Feinstzementsuspensionen. unveröffentl. Diplomarbeit, FH Potsdam, 130 S.
- TEWELDE, M. (2004) Speichermineralbildung und Alinitherstellung aus MVAFlugasche, Mansfelder Kupferschlacke und Kalksteinmehl, Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 85 S.
- VDZ. Zement-Taschenbuch: Düsseldorf 2008
- VDZ-Tätigkeitsbericht 2003-2005: <http://www.vdz.de/AKR>
- WAGENBRETH, O. & STEINER, W. (1982) Geologische Streifzüge. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig
- WEISE, S. & HEMPEL, S. (2006) Untersuchungen an Kunststein – Ursachen der Schäden an den Skulpturen der Giebichensteinbrücke in Halle (Saale) in 10 Jahre IDK – Praxisorientierte Forschung in der Denkmalpflege. Hrsg. Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.
- WEISE, S. (2008) Halle/Saale, Skulpturen an er Giebichensteinbrücke. Gefügemorphologische Untersuchungen zur Schadensursache. Unveröffentl. IDK-Bericht DD 26/2008
- WINKLER (2011) Materialprüfanstalt Schleswig-Holstein, Arbeitsgruppe Alkali-Richtlinie (AlkR), persönliche Mitteilungen
- WINNEFELD, F; KNÖFEL, D. (1996): Modifizierung von Kalkmörteln zur Fugenreparatur von Ziegelmauerwerk . In: Jahresberichte Steinzerall - Steinkonservierung 1994 - 1996
- WTA-Merkblatt „Kunststeinrestaurierung“ 3-16-09/D
- ZÖTZL (2002) Diadochiebeziehungen im System $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ -, $\text{Ca}_2\text{Mn}_2\text{O}_5$ -, $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_5$ “, unveröffentl. Diplomarbeit, MLU Halle-Wittenberg, S. 48 ff.
- ZÖTZL, M. (2011) Halle, Giebichensteinbrücke, Pferd und Kuh, Materialrecherchen für die Restaurierung und Beurteilung von früheren Restaurierungsmaßnahmen an den Skulpturen der Giebichensteinbrücke in Halle an der Saale, IDK-Bericht DD44/2011, 11 S.
- ZÖTZL, M. (2012) Halle, Giebichensteinbrücke, Pferd und Kuh, Schadensdiagnostik und Materialentwicklung, IDK-Bericht DD 18/2012, 39 S.



Prüfzeugnis

Institut für Diagnostik und Konservierung an
Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.
Schlossplatz 1
01067 Dresden

Prüfzeichen: 2979

Prüfung der Haftzugfestigkeit von Mörtel

DIN 18555-6:1987:11

Bauwerk: Giebichensteinbrücke
Material: Ergänzungsmörtel
Prüfflächen: Würfelpföben
Hersteldatum: 2012-04
Prüfdatum: 2012-05-26
Kleber: MG-Spezialkleber (Methacrylsäuremethylester)
Prüfgerät: EASY M
Stempeldurchmesser: 50 mm
Bauteiltemperatur: 23 °C

Prüf- körper	Lage der Schicht- grenze (zwischen Mörtel und Untergrund) [mm]	Bruchbild						Abriss- tiefe (Mittel- wert) [mm]	Bruch- kraft <i>F</i> [kN]	Haftzug- festigkeit β_{HZ} [N/mm ²]			
		Flächenanteile			Kohäsionsversagen						Adhäsionsversagen		
		im Kleber	im Mörtel	im Unter- grund	zwischen Stempel und Kleber	zwischen Kleber und Mörtel	zwischen Mörtel und Unter- grund				[%]	[%]	[%]
104	43	-	-	-	-	-	100%	43	2,03	1,03			
105	41	-	10%	90%	-	-	-	42	3,40	1,73			
106	46	-	-	100%	-	-	-	53	3,28	1,67			
107	35	-	-	100%	-	-	-	39	3,44	1,75			
108	34	-	-	100%	-	-	-	44	2,74	1,40			
109	41	-	-	100%	-	-	-	46	3,99	2,03			
110	42	-	-	100%	-	-	-	46	4,14	2,11			
Mittelwert										1,67			
Variationskoeffizient										22%			

Die Angaben über das Bauwerk, Bauteil und Baustoff wurden vom Auftraggeber übernommen. Das Prüfzeugnis gilt nur in Verbindung mit dem Auftrag und darf nur ungekürzt wiedergegeben werden.

Das Prüfzeugnis besteht aus 1 Seite.

Prof. Dr.-Ing. Ch. Grieger
Prüfstellenleiter

Hochschule für Technik und
Wirtschaft Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur
VMPA anerkannte Betonprüfstelle
VMPA-B-2012

Th. Thiel
Th. Thiel (M.Sc.)
Wiss.-Mitarbeiter

Überwachungs- und Zertifizierungsstelle

Dr. Moll GmbH & Co. KG, Sattlerstraße 42, 30916 Isernhagen
Telefon 0 5136/80 06-60, Telefax 0 51 36/80 06-74
http://www.dr-moll.de, e-mail: webmaster@dr-moll.de

Dr. Moll

Zertifikat über die werkseigene Produktionskontrolle

1367-0086-01B-CPD-12.2004

Gemäß der Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte -89/106/EWG- (Bauproduktenrichtlinie – BPR), geändert durch die Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 22. Juli 1993 -93/68/EWG-, umgesetzt in Deutschland durch das Bauproduktengesetz – BauPG vom 28. April 1998, wird hiermit bestätigt, dass das Bauprodukt

Gesteinskörnungen für Beton

hergestellt durch den Hersteller

SH Natursteine GmbH & C. KG
Bahnhofstraße 7
06193 Löbejün

im Herstellwerk

Löbejün

einer werkseigenen Produktionskontrolle durch den Hersteller unterzogen wurde und dass die anerkannte Stelle eine Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle und eine laufende Überwachung, Beurteilung und Anerkennung der werkseigenen Produktionskontrolle durchgeführt hat.

Dieses Zertifikat bestätigt, dass alle Vorschriften des Anhangs ZA der Norm

DIN EN 12620 (einschl. Alkali-Richtlinie),

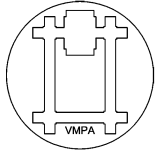
die die Bescheinigung der Konformität und die Leistungseigenschaften des Produkts betreffen, angewendet wurden.

Dieses Zertifikat gilt solange, wie sich die Festlegungen in der oben angeführten harmonisierten Norm nicht ändern und die Herstellbedingungen im Werk oder in der werkseigenen Produktionskontrolle sich nicht wesentlich verändert haben.

Isernhagen, den 10.09.2010




Dr. Martin Schmid
Geschäftsführer
(Leiter der Überwachungs- und Zertifizierungsstelle)



Prüfbericht

P 2895

über: Dehnungsmessungen an einem Bohrkern im Zusammenhang mit einer Nebelkammerlagerung

Bauwerk: Giebichensteinbrücke in Halle (Saale), Pfeilerfigur

Antragsteller: IDK Halle

Institut für Diagnostik und Konservierung
an Denkmälern in Sachsen und Sachsen Anhalt e.V.
Domplatz 3
06108 Halle (Saale)

Datum des Auftrages: 2011-09-21

Antragsache: Durchführung von Dehnungsmessungen im Zusammenhang mit der Einlagerung in einer Nebelkammer

Ursprungsnachweis: Die Untersuchungen wurden durch das Baustofflabor der HTW Dresden ausgeführt.

Ergebnisse: Die Ergebnisse sind auf den folgenden Seiten dargestellt. Der Bericht umfasst 5 Seiten und enthält 2 Anlagen mit 2 Seiten.

Anzahl der Exemplare: 2

Verteilung: Auftraggeber 1x, Auftragnehmer 1x

Dresden, 2012-08-30

Prof. Dr.-Ing. Grieger

Leiter der Prüfstelle

Th. Thiel (M.Sc.)

Wiss.-Mitarbeiter

Inhaltsverzeichnis

1	Problemstellung	3
2	Untersuchungen und Ergebnisse	3
2.1	Visuelle Beurteilung des Bohrmaterials	3
2.2	Nebelkammerlagerung und Dehnungsmessungen	3
2.3	Druckfestigkeitsprüfungen im Anschluss an die Nebelkammerlagerung	4

Anlagen

1	Prüfzeugnis - Dehnungsmessungen	1 Seite
2	Prüfzeugnis - Druckfestigkeitsprüfungen	1 Seite

1 Problemstellung

Es bestand die Aufgabe, an dem angelieferten Bohrkern Dehnungsmessungen im Zusammenhang mit einer Nebelkammerlagerung durchzuführen.

2 Untersuchungen und Ergebnisse

2.1 Visuelle Beurteilung des Bohrmaterials

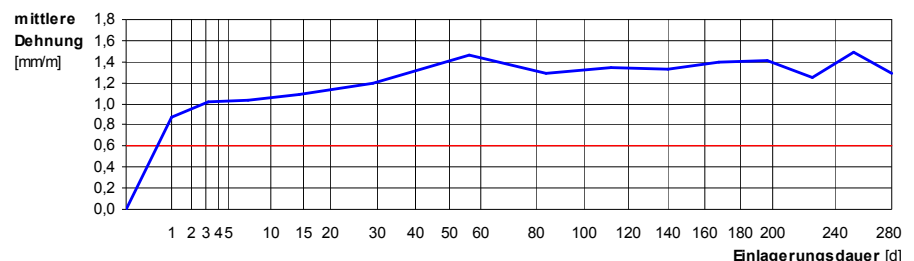
Die Mantelfläche dieses Bohrkernes (Durchmesser 44 mm) zeigt einen Grobmörtel mit einem Splitt-Größtkorn von ca. 5 mm. Die Farbe der Splittkörner variiert zwischen dunkelgrau, hellgrau und rotbraun. Verdichtungsmängel wurden nicht entdeckt.

2.2 Nebelkammerlagerung und Dehnungsmessungen

Um das Potential der durch die Alkali-Kieselsäure-Reaktion noch zu erwartenden Dehnungen abschätzen zu können, erfolgen Dehnungsmessungen an dem in einer Nebelkammer eingelagerten Bohrkernabschnitt. Die Durchführung dieser Messungen orientierte sich an den Empfehlungen für die Schadensdiagnose des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton¹. Die Abweichung von dieser Empfehlung besteht insbesondere in dem geringeren Durchmesser des angelieferten Bohrkerns, die mit einer Verkürzung der Messbasis (50 mm statt 100 mm) berücksichtigt wurde. Für die Dehnungsmessungen wurden mit 3 Edelstahlschellen insgesamt 4 Messstrecken entlang von 2 sich gegenüberliegenden Mantellinien eingerichtet.

Bedingt durch die in der Nebelkammer vorhandenen Klimabedingungen (Lufttemperatur = 40°C, relative Luftfeuchte \approx 100 %) wird der Ablauf der Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton erheblich beschleunigt. Der Maximalwert für die durch eine AKR ausgelösten Nachdehnungen ist bei dieser Prüfung im Zeitraum bis ca. 280 Tage zu erwarten. In der Anlage 1 befindet sich das Protokoll zu den Dehnungsmessungen. Das nachfolgende Diagramm verdeutlicht den Dehnungsverlauf.

Diagramm 1:
Dehnungsverlauf während der
Nebelkammerlagerung



¹ Zeitschrift „beton“, Heft 3/2003

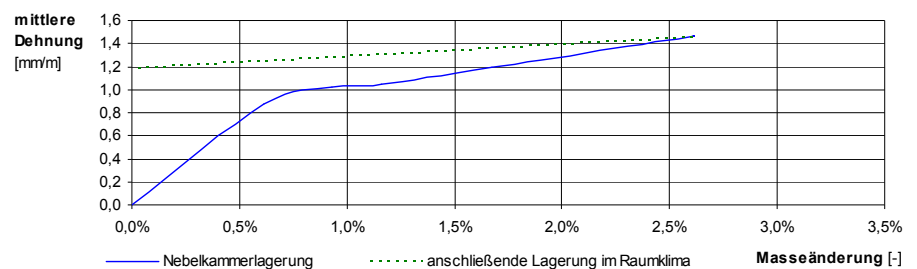
Zum Beginn der Einlagerung zeigt sich deutlich ein relativ steiler Anstieg der Dehnung. Ein wesentlicher Teil dieser Anfangsdehnung wird erfahrungsgemäß durch die Wasseraufnahme (Feuchtedehnung) des Probekörpers hervorgerufen; der weitere Verlauf ist wesentlich flacher und erreicht nach einer Einlagerungsdauer von ca. 50 Tagen quasi einen stationären Zustand. Hierbei muss angemerkt werden, dass eine große Streuung zwischen den an den 4 Einzelmessstrecken aufgetragenen Dehnungen vorhanden ist, die auf eine Verkrümmung des Bohrkernabschnitts während der Nebelkammerlagerung hindeutet.

Als Grenzwert zwischen der Feuchtedehnung und der Dehnung für eine betonschädigende AKR gilt eine Längenänderung von 0,6 mm/m. Dieser Wert wurde im Mittel um 0,9 mm/m deutlich überschritten.

Im Anschluss an die Nebelkammerlagerung erfolgte die Lagerung der Proben bei Raumklima. Auf der Grundlage einer abschließenden Dehnungsmessung konnte der genaue Anteil der Feuchtedehnung bzw. der Anteil an irreversiblen Dehnungen bestimmt werden. Das nachfolgende Diagramm verdeutlicht den für diese Betrachtung genutzten Zusammenhang zwischen der Masseänderung und der Längsdehnung des Probekörpers.

Diagramm 2:
Mittlere Dehnung in Abhängigkeit von der Masseänderung

Mittelwert der irreversiblen Dehnung: 1,19 mm/m



Wie aus den oben stehenden Diagrammen ersichtlich ist, lassen sich die bei der Nebelkammerlagerung ausgelösten Dehnungen zu etwa 20% auf die Feuchtedehnung des Betons zurückführen; der durch Treiberreaktionen (vermutlich AKR) verursachte Anteil an irreversiblen Dehnungen beträgt demzufolge 1,2 mm/m.

2.3 Druckfestigkeitsprüfungen im Anschluss an die Nebelkammerlagerung

Im Anschluss an die Nebelkammerlagerung sind aus dem Bohrkernabschnitt zwei Probekörper mit einem Verhältnis von Durchmesser : Höhe = 1 herausgearbeitet worden. Anschließend wurden die Druckflächen planparallel geschliffen. Nach einer mehrtägigen Lagerung bei Raumklima erfolgten die Druckfestigkeitsprüfungen auf einer Prüfmaschine der Genauigkeitsklasse 1. In der Anlage 2 ist das Prüfzeugnis hierzu enthalten.

Die ermittelten Druckfestigkeiten liegen zwischen $41,3 \text{ N/mm}^2$ und $41,5 \text{ N/mm}^2$. Eine vergleichende Betrachtung der Druckfestigkeitsergebnisse kann allerdings nicht erfolgen, da keine Erkenntnisse über die Druckfestigkeit von nicht in die Nebelkammer eingelagerten Proben vorliegen.

Prüfzeugnis - Dehnungsmessungen

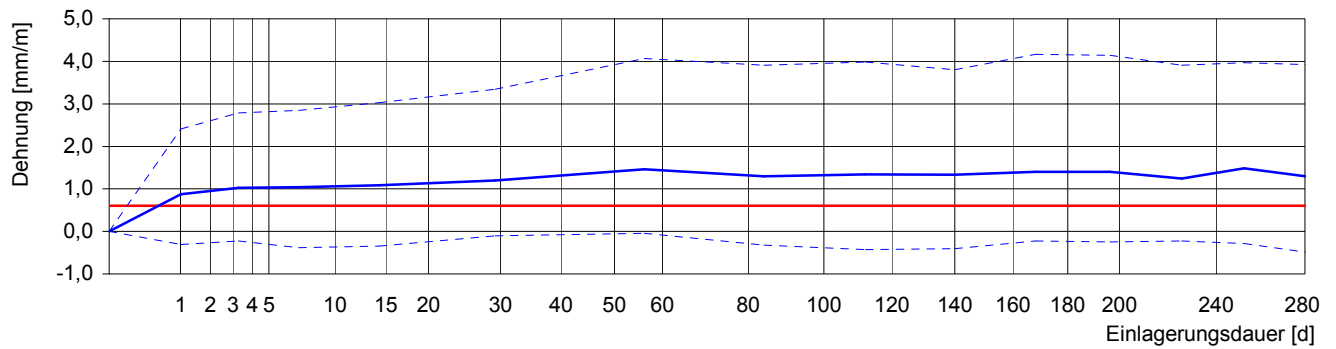
Messungen an Betonproben im Zusammenhang mit einer Nebelkammerlagerung

Bauwerk: Giebichensteinbrücke (Pfeilerfigur)
Probekörper: 1

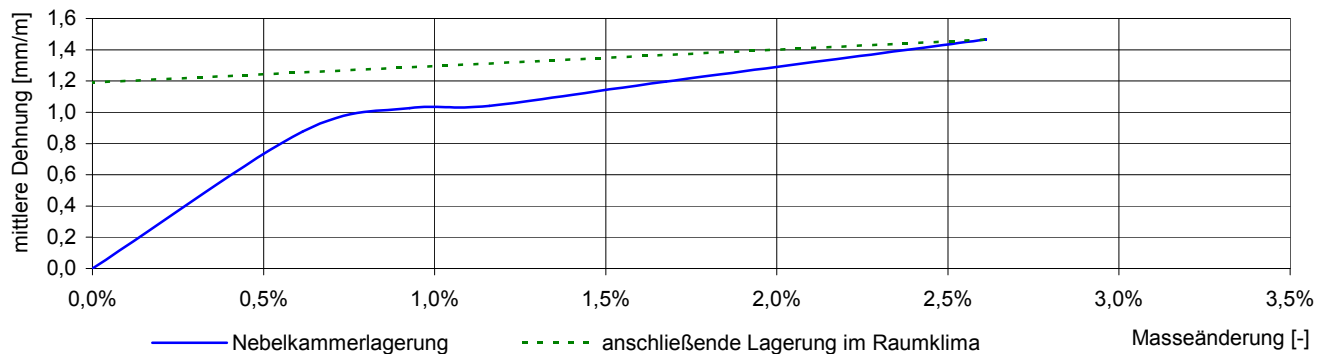
Durchmesser	44,4 mm	Nebelkammer:	
Länge	108,4 mm	Lufttemperatur	40°C
Masse	387,4 g	relative Luftfeuchte	100%

Messzeitpunkt [Datum]	Zeitraum [d]	Masse		Abstand zwischen den Messbolzen						Dehnung		
		absolut [g]	relativ [-]	"oben"			"unten"			Minimalwert [mm/m]	Maximalwert [mm/m]	Mittelwert [mm/m]
				A [mm]	B [mm]	C [mm]	A [mm]	B [mm]	C [mm]			
2011-10-10	-1	387,39	0,03%	50,688	49,185	-	51,522	50,183	-	-0,10	0,06	-0,02
2011-10-11	0	387,28	0,00%	50,688	49,182	-	51,525	50,188	-	0,00	0,00	0,00
2011-10-12	1	389,66	0,61%	50,710	49,167	-	51,575	50,309	-	-0,30	2,41	0,88
2011-10-14	3	390,87	0,93%	50,713	49,171	-	51,579	50,328	-	-0,22	2,79	1,03
2011-10-18	7	391,77	1,16%	50,719	49,163	-	51,581	50,331	-	-0,39	2,85	1,04
2011-10-25	14	391,65	1,13%	50,720	49,165	-	51,578	50,340	-	-0,35	3,03	1,09
2011-11-09	29	393,77	1,68%	50,720	49,177	-	51,572	50,356	-	-0,10	3,35	1,20
2011-12-06	56	397,38	2,61%	50,728	49,180	-	51,579	50,392	-	-0,04	4,06	1,47
2012-01-03	84	396,83	2,47%	50,730	49,166	-	51,565	50,384	-	-0,33	3,91	1,30
2012-01-31	112	397,20	2,56%	50,739	49,161	-	51,566	50,388	-	-0,43	3,99	1,34
2012-02-28	140	396,75	2,45%	50,738	49,162	-	51,574	50,379	-	-0,41	3,81	1,33
2012-03-27	168	398,64	2,93%	50,725	49,171	-	51,573	50,397	-	-0,22	4,16	1,40
2012-04-24	196	398,71	2,95%	50,727	49,170	-	51,574	50,396	-	-0,24	4,14	1,41
2012-05-23	225	398,76	2,96%	50,725	49,171	-	51,554	50,384	-	-0,22	3,91	1,24
2012-06-19	252	397,52	2,64%	50,736	49,168	-	51,593	50,387	-	-0,28	3,97	1,49
2012-07-17	280	395,51	2,13%	50,726	49,158	-	51,576	50,385	-	-0,49	3,93	1,29
2012-08-13	307	387,81	0,14%	50,724	49,150	-	51,572	50,381	-	-0,65	3,85	1,20

zeitlicher Verlauf der Dehnung während der Nebelkammerlagerung



Dehnung in Abhängigkeit von der Masseänderung (bezogen auf den Zustand beim Beginn der Nebelkammerlagerung)



irreversible Dehnung (nach der Nebelkammerlagerung) **1,19 mm/m**

Bemerkung: die grau unterlegten Felder kennzeichnen die Lagerung bei Raumklima

Prüfzeugnis - Druckfestigkeitsprüfungen

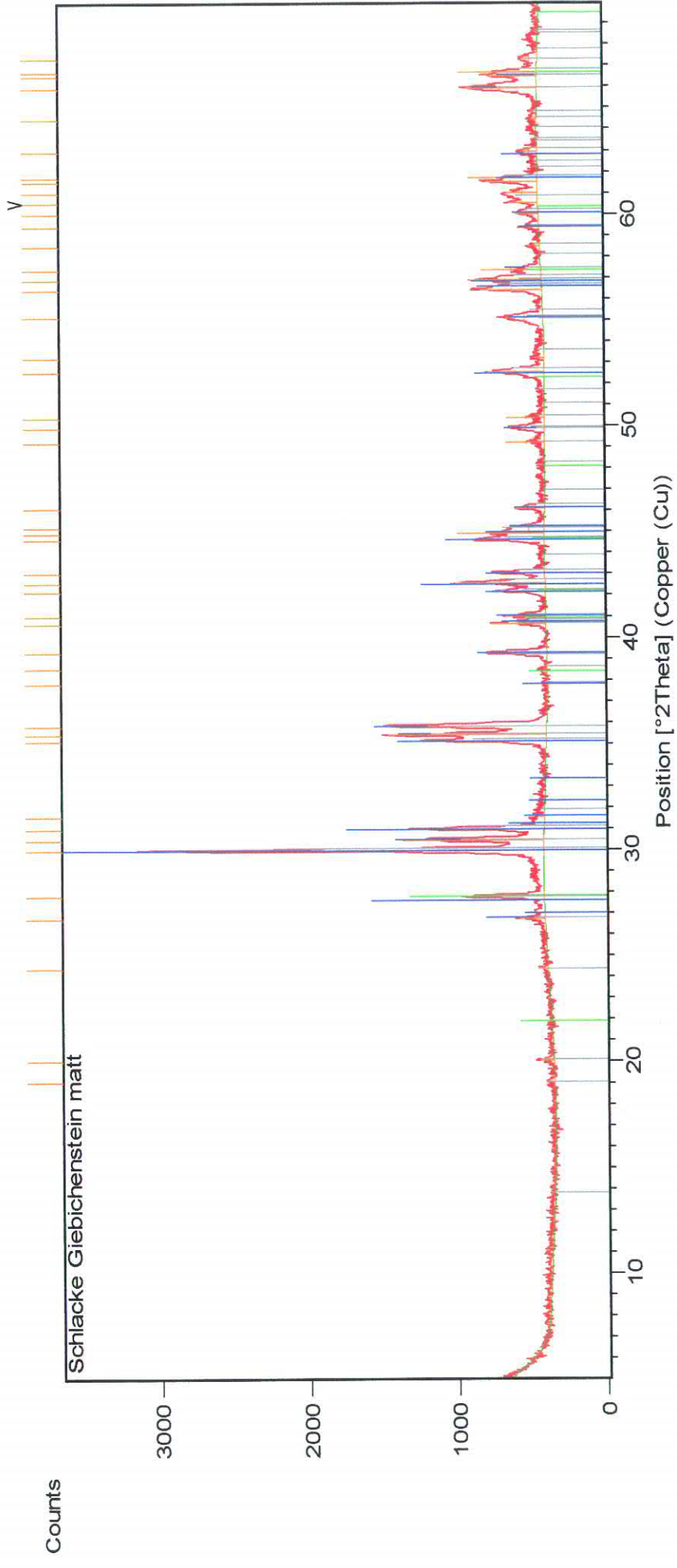
Prüfung von Beton in Bauwerken - Bestimmung der Druckfestigkeit

DIN EN 12504-1:2009

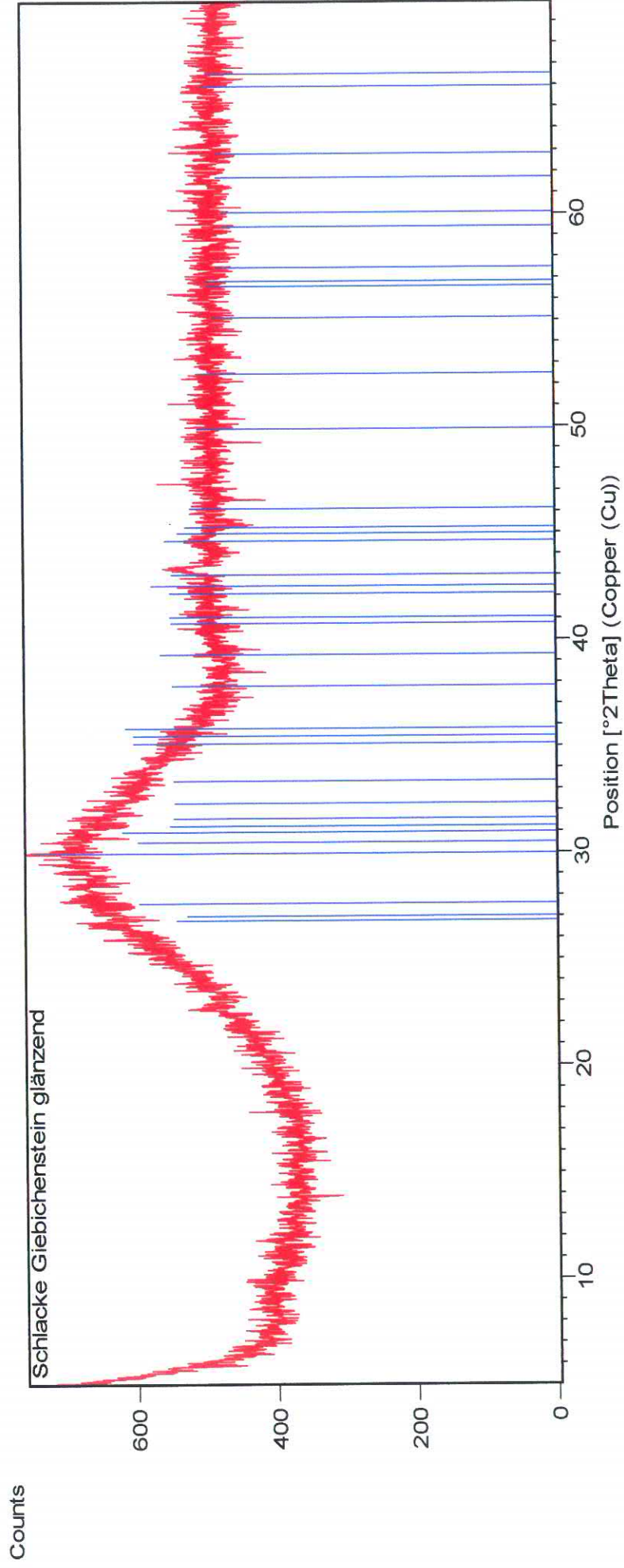
Bauvorhaben: Giebichensteinbrücke in Halle (Saale)
Bauteil: Pfeilerfiguren
Material: Beton
Herstelldatum: nicht bekannt
Probeneingang: 2011-09-21
Prüfdatum: 2012-08-15
Betonalter: nicht bekannt
Oberflächenzustand: lufttrocken

Prüfkörper	Abmessungen		Masse	Roh- dichte	Bruch- kraft	Druck- festigkeit	äquivalente Druckfestigkeit ¹	
	Durch- messer	Höhe					am Zylinder (\varnothing 150 mm; h = 300 mm)	am Würfel (Kantenlänge = 150 mm)
	d_m [mm]	z_m [mm]	m [g]	D [kg/m ³]	F [kN]	f_{is} [N/mm ²]	f_{cyl} [N/mm ²]	f_{cube} [N/mm ²]
1	44,3	44,7	164	2.380	72,0	46,7	33,7	41,3
2	44,3	42,7	156	2.370	73,0	47,4	33,9	41,5
Mittelwert				2.380			33,8	41,4
Variationskoeffizient				0%			0%	0%

¹⁾ unter Berücksichtigung der geometrischen Verhältnisse am Bohrkernabschnitt



Residue + Peak List	
00-025-0154; Ca (Mg , Al) (Si , Al) ₂ O ₆ ; Diopside, aluminian, syn	
01-085-0462; Si O ₂ ; Quartz low	
01-083-2076; Ca _{0.968} Mg _{0.578} Fe _{0.230} Ti _{0.059} Al _{0.433} Si _{1.728} O ₆ ; Fassaité	



Peak List

Reference	Phase
00-025-0154	Ca (Mg , Al) (Si , Al) ₂ O ₆ ; Diopside, aluminian, syn

DEKLARATION – Oktober 2011 *Ersetzt Februar 2010*

 Die Downloadversion des Deklarationsblattes finden Sie auf www.aalborgportland.dk

AALBORG WHITE®

made in Denmark

Gemäß der harmonisierten Norm EN 197-1:2000, mit dem Recht auf Verwendung des CE-Kennzeichens zertifiziert die Zertifizierungsgesellschaft Bureau Veritas Certification hiermit:

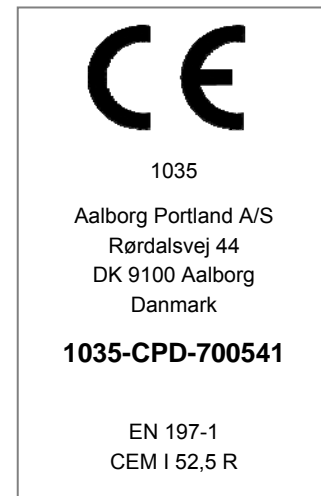
 AALBORG WHITE® Zement
 Portland Zement CEM I 52,5 R
 EC-Zertifikat Nr.: 1035-CPD-700541

Das Qualitätsmanagementsystem von Aalborg Portland ist durch Bureau Veritas Certification zertifiziert gem. EN ISO 9001:2008.

 Die Zertifizierung kann auf: www.bureauveritas.dk verifiziert werden.

Die vorliegende Deklaration umfasst die Eigenschaften, die der harmonisierten Zementnorm EN 197-1 mit Ergänzung der Druckfestigkeit nach einem Tag und sieben Tagen sowie der Reflexion, der Rohdichte, C₃A-gehalt und dem Alkali- und Chromatgehalt entsprechen müssen.

Für alle Eigenschaften wurde ein Intervall in einer Weise errechnet, dass die Wahrscheinlichkeit, nach der ein Wert außerhalb des Intervalls liegt, weniger als 5% beträgt.



Eigenschaft	Festgelegtes Intervall	Forderung gem. EN 197-1
Druckfestigkeit, 1 Tag	18 - 24 MPa	Keine
Druckfestigkeit, 2 Tage	36 - 44 MPa	≥ 30 MPa
Druckfestigkeit, 7 Tage	54 - 66 MPa	Keine
Druckfestigkeit, 28 Tage	68 - 78 MPa	≥ 52,5 MPa
Abbindezeit	80 - 140 min	≥ 45 min
Ausdehnung	≤ 2 mm	≤ 10 mm
Glüverlust	≤ 1 %	≤ 5,0 %
Unlöslicher Rückstand	≤ 0,3 %	≤ 5,0 %
SO ₃	1,8 - 2,3 %	≤ 4,0 %
Chlorid	≤ 0,04 %	≤ 0,10 %
C ₃ A	≤ 5 %	Keine
Alkaligehalt	≤ 0,3 %	Keine
Wasserlösliches Chromat	≤ 2 mg/kg	≤ 2 mg/kg
Y-Reflexion, (DIN 5033)	85 - 89,5 %	Keine
Rohdichte	3090 - 3190 kg/m ³	Keine



Produktname:	Portlandcementer	Seite:	1/10
Überarbeitet am:	2011-05-05	Druckdatum:	2011-08-24
Produkt Nr.:		SDS-ID:	DE-DE/1.1

ABSCHNITT 1: BEZEICHNUNG DES STOFFS BZW. DES GEMISCHS UND DES UNTERNEHMENS

1.1. Produktidentifikator

Produktname: Portlandcementer

BASIS® cement
ABC cement
BASIS® AALBORG CEMENT®
MESTER® AALBORG CEMENT®
RAPID® cement
RAPID® AALBORG CEMENT®
LAVALKALI SULFATBESTANDIG cement
GRÅ CEMENT 42,5
HVID cement til specielle anvendelser
Aalborg White®
ELEMENT cement

Verpackungsgröße: 25 kg, 1000 kg, 1500 kg, Big bags, Bulk

1.2. Relevante identifizierte Verwendungen des Stoffs oder Gemischs und Verwendungen, von denen abgeraten wird

Verwendung: Bindemittel für natürliche und künstlich hergestellte Zuschlagmaterialien als Sand, Kies und Steine bei der Herstellung von Mörtel, Putz und Beton. Die Produkte mit Ausnahme weissen Zementes durchlaufen einen Anti-Chromkzem Prozess, der sichert, dass die von EU geforderten Maximalwerte für lösliches Chrom (VI) in Zement von 2 mg/kg mindestens 2 Monate unter normalen und trockenen Lagerungsverhältnissen eingehalten werden. Die Haltbarkeit wird bei losem Zement vom Lieferungsdatum und bei gepacktem Zement vom Packungsdatum gerechnet. Für gepackten Zement ist die Haltbarkeit mit 10 bis insgesamt 12 Monaten verlängert, falls die Folie der Palette ungebrochen ist. Der weisse Zement ist Chrom neutral, da keine chromhaltigen Rohmaterialien in der Produktion verwendet werden. Für weissen Zement gibt es keine Fristen die Einhaltung der Anforderungen.

1.3. Einzelheiten zum Lieferanten, der das Sicherheitsdatenblatt bereitstellt

Lieferant: Aalborg Portland
Rørdalsvej 44
DK-9100 Aalborg, Denmark.
Tel: +45 9816 7777
Fax: +45 9810 1186
cement@aalborgportland.com
www.aalborgportland.dk

Verantwortlich für das Sicherheitsdatenblatt. Fragen an den Inhalt dieser Sicherheitsdatenblatt sind zu richten an:

SDS_info@dhigroup.com

1.4. Notrufnummer

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname:	Portlandzement	Seite:	2/10
Überarbeitet am:	2011-05-05	Druckdatum:	2011-08-24
Produkt Nr.:		SDS-ID:	DE-DE/1.1

ABSCHNITT 2: MÖGLICHE GEFAHREN

2.1. Einstufung des Stoffs oder Gemischs

Das Produkt ist eingestuft:

67/547/EWG: Xi;R37/38-41

GHS/CLP: Eye Dam. 1;H318 – Skin Irrit. 2;H315 – STOT SE 3;H335

Für Menschen: Staub kann den Hals und die Atemwege reizen und Husten hervorrufen. Bei regelmäßigem Einatmen von Staub über einen längeren Zeitraum besteht das Risiko von Lungenschädigungen. Staub oder Spritzer von der Mischung kann zu dauerhaften Augenschäden führen. Staub wirkt reizend auf feuchter Haut. Länger dauernder Kontakt mit nassem Zement/Gebrauchsmischung kann zu Ätzungen der Haut führen.

Für Umwelt: Es ist nicht zu erwarten, dass das Produkt Umweltschäden verursachen kann. Bei Vorhandensein von Wasser härtet das Produkt in eine feste Masse auf, die nicht biologisch abbaubar ist.

2.2. Kennzeichnungselemente



GEFAHR

H315	Verursacht Hautreizungen.
H318	Verursacht schwere Augenschäden.
H335	Kann die Atemwege reizen.
P102	Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen.
P260a	Staub nicht einatmen.
P280f	Schutzhandschuhe, Augen- und Gesichtsschutz tragen.
P305/351/338	BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.
P313	Ärztlichen Rat einholen/ärztliche Hilfe hinzuziehen.
P501a	Inhalt/Behälter gemäß lokalen Vorschriften entsorgen.

Enthält: Kalziumoxyd. Bei Mischung mit Wasser bildet sich Kalziumhydroxyd, das ätzend auf Haut und Augen wirkt.

2.3. Sonstige Gefahren

PBT/vPvB: Nicht relevant.

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname: Portlandzement Seite: 3/10
Überarbeitet am: 2011-05-05 Druckdatum: 2011-08-24
Produkt Nr.: SDS-ID: DE-DE/1.1

ABSCHNITT 3: ZUSAMMENSETZUNG/ANGABEN ZU BESTANDTEILEN

3.2. Gemische

Das Produkt enthält: Zement .

Folgende Stoffe müssen gemäß der Gesetzgebung deklariert werden:

67/547/EWG:

%:	CAS-Nr.:	EG-Nr.:	REACH-Reg.-Nr.:	Chemischer Name:	Einstufung:	Anm.:
60-100	65997-15-1	266-043-4	-	Portlandzement	Xi;R37/38-41	
1-5	7778-18-9	231-900-3	01-2119444918-26-	Kalziumsulfat	-	

GHS/CLP:

%:	CAS-Nr.:	EG-Nr.:	REACH-Reg.-Nr.:	Chemischer Name:	Einstufung:	Anm.:
60-100	65997-15-1	266-043-4	-	Portlandzement	STOT SE 3;H335 Skin Irrit. 2;H315 Eye Dam. 1;H318	
1-5	7778-18-9	231-900-3	01-2119444918-26-	Kalziumsulfat	-	

Referenzen: Der vollständige Text aller R-Sätze und Gefahrenhinweise befindet sich in Abschnitt 16.

ABSCHNITT 4: ERSTE-HILFE-MAßNAHMEN

4.1. Beschreibung der Erste-Hilfe-Maßnahmen

Einatmen: Die Person an die frische Luft bringen, in Ruhe halten und nicht unbeaufsichtigt lassen. Bei Unwohlsein die Notaufnahme aufsuchen, das Sicherheitsdatenblatt mitbringen.

Hautkontakt: Kontaminierte Kleidung sofort ausziehen und die Haut mit Wasser und Seife waschen. Im Falle von Ausschlag, Wunden oder anderen Hautbeschwerden: Arzt aufsuchen und Sicherheitsdatenblatt mitbringen.

Augenkontakt: Augen nicht reiben. Sofort mit viel Wasser bis zu 15 Minuten lang ausspülen. U.U. Kontaktlinsen entfernen und Augen weit öffnen. Hört die Reizung nicht auf: Auf dem Weg zur Notaufnahme das Spülen fortsetzen, Sicherheitsdatenblatt mitbringen.

Verschlucken: Mund sofort ausspülen und viel Wasser oder Milch trinken. Die Person nicht unbeaufsichtigt lassen. Niemals Erbrechen hervorrufen. Beim Erbrechen den Kopf nach unten halten. Sofort die Notaufnahme aufsuchen, Sicherheitsdatenblatt mitbringen.

4.2. Wichtigste akute und verzögert auftretende Symptome und Wirkungen

Symptome/Wirkungen: Siehe Abschnitt 11 für weitere Informationen zu Gesundheitsbeeinträchtigungen und Symptomen.

4.3. Hinweise auf ärztliche Soforthilfe oder Spezialbehandlung

Ärztliche Nicht bekannt.

Soforthilfe/Spezialbehandlung

:

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname:	Portlandzement	Seite:	4/10
Überarbeitet am:	2011-05-05	Druckdatum:	2011-08-24
Produkt Nr.:		SDS-ID:	DE-DE/1.1

ABSCHNITT 5: MAßNAHMEN ZUR BRANDBEKÄMPFUNG

5.1. Löschmittel

Geeignete Löschmittel: Bei der Wahl des Löschmittels mögliche andere Chemikalien berücksichtigen.

5.2. Besondere vom Stoff oder Gemisch ausgehende Gefahren

Besondere Gefährdungen: Löschwasser, das mit dem Produkt in Kontakt gewesen ist, kann ätzend sein.

5.3. Hinweise für die Brandbekämpfung

Besondere Schutzausrüstung für die Brandbekämpfung: Wahl von Atemschutzgerät bei Feuer: Die generellen Maßnahmen des Arbeitsplatzes beachten.
Bei Risiko für Kontakt mit dem Löschwasser chemikalienresistente Schutzkleidungen tragen.

ABSCHNITT 6: MAßNAHMEN BEI UNBEABSICHTIGTER FREISETZUNG

6.1. Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen, Schutzausrüstungen und in Notfällen anzuwendende Verfahren

Personenbezogene Vorsichtsmaßnahmen: Einatmen von Staub vermeiden. Kontakt mit Augen sowie länger dauernden Hautkontakt vermeiden. Arbeitsvorgänge benutzen, die Staubbildung minimieren.

6.2. Umweltschutzmaßnahmen

Umweltschutzmaßnahmen: Das Produkt nicht in die Umwelt werfen, sondern nach Absprache mit den örtlichen Behörden auf sammeln und abliefern.

6.3. Methoden und Material für Rückhaltung und Reinigung

Verfahren zur Reinigung: Abfall mit einem Staubsauger aufsaugen. Falls dies nicht möglich ist, den Abfall mit einem Schaufel, Besen o.ä. auf sammeln.

6.4. Verweis auf andere Abschnitte

Referenzen: In Bezug auf persönliche Schutzausrüstungen Abschnitt 8 beachten.
Betreffend Entsorgung Abschnitt 13 beachten.

ABSCHNITT 7: HANDHABUNG UND LAGERUNG

7.1. Schutzmaßnahmen zur sicheren Handhabung

Handhabung: Regeln für den hygienischen Umgang mit Chemikalien beachten. Verbreitung von Staub vermeiden. Einatmen von Staub vermeiden. Kontakt mit Augen sowie andauernden Hautkontakt vermeiden. Verschmutzte Kleidung ausziehen.

Technische Maßnahmen: Arbeitsvorgänge benutzen, die Staubbildung minimieren.

Technische Anforderungen: Mechanische Belüftung könnte erforderlich sein. Reichliches Wasser und eine Augenspülflasche müssen leicht erreichbar sein.

7.2. Bedingungen zur sicheren Lagerung unter Berücksichtigung von Unverträglichkeiten

Technische Maßnahmen bei Lagerung: Keine besondere Anforderungen.

Lagerbedingungen: Das Produkt trocken und in geschlossenen Originalbehältern aufbewahren. Geöffnete Verpackungen sollten nach Gebrauch dicht verschlossen werden und schnellst möglich aufgebraucht werden. Bei Lagerung unter feuchten Verhältnissen wird die Chromatneutralisierung abnehmen.

7.3. Spezifische Endanwendungen

Spezifische Endanwendung(en): Nicht relevant.

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname: Portlandzement
Überarbeitet am: 2011-05-05
Produkt Nr.:

Seite: 5/10
Druckdatum: 2011-08-24
SDS-ID: DE-DE/1.1

ABSCHNITT 8: BEGRENZUNG UND ÜBERWACHUNG DER EXPOSITION/PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNGEN

8.1. Zu überwachende Parameter

Grenzwerte am Arbeitsplatz:

<u>CAS-Nr.:</u>	<u>Chemischer Name:</u>	<u>Als:</u>	<u>Grenzwerte:</u>	<u>Art:</u>	<u>Anm.:</u>	<u>Referenz:</u>
65997-15-1	Portlandzement (Staub), Einatembare Fraktion	-	5 mg/m ³	AGW	-	TRGS 900
7778-18-9	Calciumsulfat, Alveolengängige Fraktion	-	6 mg/m ³	AGW	-	TRGS 900
-	Allgemeiner Staubgrenzwert, Alveolengängige Fraktion	-	3 mg/m ³	AGW	2(II)	TRGS 900
-	Allgemeiner Staubgrenzwert, Einatembare Fraktion	-	10 mg/m ³	AGW	2(II)	TRGS 900

8.2. Begrenzung und Überwachung der Exposition

<u>Technische Maßnahmen:</u>	Für ausreichende Ventilation sorgen. Grenzwerte einhalten und Einatmen von Staub auf ein Mindestmaß beschränken.
<u>Persönliche Schutzausrüstung:</u>	Persönliche Schutzausrüstung muss in Übereinstimmung mit den geltenden CEN Normen und in Zusammenarbeit mit dem Lieferanten von persönlicher Schutzausrüstung gewählt werden.
<u>Atenschutz:</u>	Bei staubiger Arbeit: Immer ein geeignetes Atemschutzgerät mit Partikelfilter, Typ P2 tragen.
<u>Handschutz:</u>	Schutzhandschuhe tragen. Nitrilhandschuhe werden empfohlen. Andere Typen von Schutzhandschuhen können von dem Handschuhlieferanten empfohlen werden.
<u>Augenschutz:</u>	Bei Kontaktgefahr: Schutzbrille bzw. Gesichtsschutz tragen.
<u>Hautschutz:</u>	Immer Spezialschutzkleidung tragen. Kopfschutz oder Schutzhelm tragen in Verbindung mit spritzender Arbeit.
<u>Hygienemaßnahmen:</u>	Nach Abschluss der Arbeit, die verseuchte Kleidung ausziehen und den Körper gründlich mit Wasser und Seife waschen.
<u>Umweltexpositions-kontrollen:</u>	Keine Daten vorhanden.

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname:	Portlandcementer	Seite:	6/10
Überarbeitet am:	2011-05-05	Druckdatum:	2011-08-24
Produkt Nr.:		SDS-ID:	DE-DE/1.1

ABSCHNITT 9: PHYSIKALISCHE UND CHEMISCHE EIGENSCHAFTEN

9.1. Angaben zu den grundlegenden physikalischen und chemischen Eigenschaften

Aussehen: Zement grau

Geruch: Geruchfrei.

pH-Wert: Gebrauchsfertige Zubereitung: ungef. 13

Siedepunkt: Nicht relevant.

Flammpunkt: Nicht relevant.

Explosionsgrenzen: Nicht relevant.

Relative Dichte: Keine Daten vorhanden.

Löslichkeit: Mischbar mit Wasser.

9.2. Sonstige Angaben

Sonstige Angaben: Nicht relevant.

ABSCHNITT 10: STABILITÄT UND REAKTIVITÄT

10.1. Reaktivität

Reaktivität: Keine bekannte.

10.2. Chemische Stabilität

Stabilität: Stabil unter normalen Temperaturverhältnissen. Der Inhalt von Chromat reduzierendem Mittel wird allmählich vermindert.

10.3. Möglichkeit gefährlicher Reaktionen

Gefährliche Reaktionen: Keine bekannte.

10.4. Zu vermeidende Bedingungen

Zu vermeidende Bedingungen/Stoffe: Das Produkt härtet zu einer harten Masse bei Kontakt mit Wasser und Feuchtigkeit.

10.5. Unverträgliche Materialien

Unverträgliche Materialien: Nicht bekannt.

10.6. Gefährliche Zersetzungsprodukte

Gefährliche Zersetzungsprodukte: Keine besondere.

ABSCHNITT 11: TOXIKOLOGISCHE ANGABEN

11.1. Angaben zu toxikologischen Wirkungen

Einatmen: Staub kann den Hals und die Atemwege reizen und Husten hervorrufen.

Hautkontakt: Staub wirkt reizend auf feuchter Haut. Wiederholter oder länger andauernder Hautkontakt kann bei empfindlichen Personen zu allergischen Reaktionen führen.

Augenkontakt: Staub oder Spritzer von der Gebrauchsmischung können zu dauernden Augenschäden führen. Sofortige Erste-Hilfe ist erforderlich.

Verschlucken: Aufgrund der Form des Produktes wenig wahrscheinlich. Einnahme kann kräftige Reizwirkungen in Mund, Speiseröhre und Magen-Darm-Kanal verursachen.

Langzeitwirkungen: Bei regelmäßigem Einatmen von Staub über einen längeren Zeitraum besteht das Risiko von Lungenschädigungen.

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname:	Portlandcementer	Seite:	7/10
Überarbeitet am:	2011-05-05	Druckdatum:	2011-08-24
Produkt Nr.:		SDS-ID:	DE-DE/1.1

ABSCHNITT 12: UMWELTBEZOGENE ANGABEN

12.1. Toxizität

Ökotoxizität: Es ist nicht zu erwarten, dass das Produkt für die Umwelt schädlich ist.

12.2. Persistenz und Abbaubarkeit

Abbaubarkeit: Das Produkt reagiert mit Wasser zu einem festen, nicht löslichen Reaktionsprodukt, das nach den vorliegenden Informationen nicht abbaubar ist.

12.3. Bioakkumulationspotenzial

Bioakkumulationspotential: Daten bzgl. Bioakkumulation liegen nicht vor.

12.4. Mobilität im Boden

Mobilität: Keine Daten vorhanden.

12.5. Ergebnisse der PBT- und vPvB-Beurteilung

PBT/vPvB: Nicht relevant.

12.6. Andere schädliche Wirkungen

Andere schädliche Auswirkungen: Keine bekannte.

ABSCHNITT 13: HINWEISE ZUR ENTSORGUNG

13.1. Verfahren der Abfallbehandlung

Abfall und Reste entsprechend der örtlichen behördlichen Vorschriften entsorgen. Der Abfall ist als gefährlicher Abfall klassifiziert. Daran denken dass ausgehärtetes Material normalerweise nicht als chemischer Abfall betrachtet wird.

Restmengen: Abfallschlüssel-Nr.: 10 13 06

Leere Verpackung: Abfallschlüssel-Nr.: 15 01 01

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname: Portlandzement
Überarbeitet am: 2011-05-05
Produkt Nr.:

Seite: 8/10
Druckdatum: 2011-08-24
SDS-ID: DE-DE/1.1

ABSCHNITT 14: ANGABEN ZUM TRANSPORT

Unterliegt nicht den internationalen Regeln bzgl. Transport von Gefahrgut (IMDG, ICAO/IATA, ADR/RID).

14.1. UN-Nummer

UN-Nr.: -

14.2. Ordnungsgemäße UN-Versandbezeichnung

Proper Shipping Name: -

14.3. Transportgefahrenklassen

Class: -

14.4. Verpackungsgruppe

PG: -

14.5. Umweltgefahren

Marine pollutant: -

Umweltgefährdende -

Substanz:

14.6. Besondere Vorsichtsmaßnahmen für den Verwender

Besondere Keine bekannte.

Vorsichtsmaßnahmen:

14.7. Massengutbeförderung gemäß Anhang II des MARPOL-Übereinkommens 73/78 und gemäß IBC-Code

Massengutbeförderung: Nicht relevant.

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname:	Portlandcementer	Seite:	9/10
Überarbeitet am:	2011-05-05	Druckdatum:	2011-08-24
Produkt Nr.:		SDS-ID:	DE-DE/1.1

ABSCHNITT 15: RECHTSVORSCHRIFTEN

15.1. Vorschriften zu Sicherheit, Gesundheits- und Umweltschutz/spezifische Rechtsvorschriften für den Stoff oder das Gemisch

Besondere Bestimmungen: Als Hauptregel ist die Arbeit mit diesem Produkt Personen unter 18 Jahren untersagt. Der Benutzer ist in der Ausführung der Arbeit den gefährlichen Eigenschaften dieses Produktes sowie den notwendigen Sicherheitsmaßnahmen gründlich zu unterweisen.

Wassergefährdungsklasse: WGK 1, schwach wassergefährdend. Einstufung gemäß VwVwS, Anhang 4.

Nationale Vorschriften: Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission, mit Änderungen.
Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung-GefStoffV) vom 23. Dezember 2004 (mit Änderungen).
Bekanntmachung 220 zu Gefahrstoffen. Sicherheitsdatenblatt. September 2007.
TRGS 900 Arbeitsplatzgrenzwerte, Ausgabe: Januar 2006, mit Änderungen.
TRGS 613 - Ersatzstoffe, Ersatzverfahren und Verwendungsbeschränkungen für chromathaltige Zemente und chromathaltige zementhaltige Zubereitungen
Ausgabe: Oktober 2002.
TRGS 907 Verzeichnis sensibilisierender Stoffe - Ausgabe Oktober 2002.
Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender Stoffe in Wassergefährdungsklassen (Verwaltungsvorschrift wassergefährdende Stoffe VwVwS). Vom 17. Mai 1999, mit Änderungen.
Gesetz zum Schutze der arbeitenden Jugend (Jugendarbeitsschutzgesetz - JArbSchG.) vom 12 April 1976 (mit Änderungen).
Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis AVV - Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. Dezember 2001 mit Änderungen.

15.2. Stoffsicherheitsbeurteilung

CSA-Status: Nicht relevant.

SICHERHEITSDATENBLATT

Produktname:	Portlandcementer	Seite:	10/10
Überarbeitet am:	2011-05-05	Druckdatum:	2011-08-24
Produkt Nr.:		SDS-ID:	DE-DE/1.1

ABSCHNITT 16: SONSTIGE ANGABEN

Der Benutzer ist in der Ausführung der Arbeit zu unterweisen und muss mit dem Inhalt dieses Sicherheitsdatenblattes vertraut sein.

Wortlaut der R-Sätze und
Gefahrenhinweise:

R37/38	Reizt die Atmungsorgane und die Haut.
R41	Gefahr ernster Augenschäden.
H315	Verursacht Hautreizungen.
H318	Verursacht schwere Augenschäden.
H335	Kann die Atemwege reizen.

Die Auskünfte dieses Sicherheitsdatenblattes gründen auf Auskünfte, die am Datum der Erstellung in unserem Besitz waren und sind unter der Voraussetzung erteilt, dass das Produkt unter den angegebenen Verhältnissen und in Übereinstimmung mit der auf der Verpackung und/oder in relevanter technischer Literatur spezifizierten Verwendungsweise verwendet wird. Jeder andere Gebrauch dieses Produktes, eventuell in Kombination mit anderen Produkten oder Prozessen, geschieht auf eigene Verantwortung des Benutzers.

Ausgearbeitet von DHI - Environment and Toxicology, Agern Allé 5, DK-2970 Hørsholm, Denmark.
www.dhigroup.com.



AALBORG WHITE®

White Cement – Made in Denmark



Use

AALBORG WHITE® cement gives you the opportunity to choose among all the colours of the spectrum when producing your concrete or dry mix.

- White concrete is obtained by mixing AALBORG WHITE® cement with pure, light sand and white aggregates like white granite, white marble or crushed calcined flint.
- Light grey concrete is obtained by mixing with ordinary aggregates or with grey portland cement.
- Coloured concrete is obtained by mixing with pigments.

AALBORG WHITE® cement is often used in white or coloured dry mix for facings. AALBORG WHITE® is also perfect in concrete for panels, balconies, cornices, ornaments, paving stones and flags, sculptures, in terrazzo, for swimming pools and in light pointing mortar.

The light-reflecting properties of AALBORG WHITE® provide traffic with additional safety when you produce kerbs, road-markings, medium barriers, tunnel linings and tunnel ramps.

Product

AALBORG WHITE® cement made in Denmark is a rapid hardening portland cement with high early (2 days) and standard (28 days) strengths, produced of extremely pure limestone and finely-ground sand.

AALBORG WHITE® cement made in Denmark is characterised by the white colour, the high consistency, the extraordinarily low content of alkali (Na_2O), high sulphate resistance (low C_3A -content) and a chromate content ≤ 2 mg/kg.

Product Certificate

AALBORG WHITE® cement made in Denmark operates under a quality management system which complies with the requirements of EN ISO 9001:2000, registered with Dancert.

AALBORG WHITE® cement made in Denmark has an EC-certificate according to the European cement standard EN 197-1:2000.

AALBORG WHITE® cement made in Denmark conforms to local standards on all markets.

AALBORG WHITE® cement made in Denmark complies with the requirements of the American ASTM C 150-02a for type I, II, III and V cement as well as for low alkali cement.

Type V cement must contain less than 5% tricalciumaluminate (C_3A). Furthermore, AALBORG WHITE® cement made in Denmark is product certified by the Danish certification body Dancert under the above-mentioned EC-certificate of conformity of cement to EN 197-1:2000, certificate no. 1073-CPD-06209.

AALBORG WHITE® cement made in Denmark is under environmental management system certified according to EN ISO 14001.

Aalborg Portland A/S

Rørdalsvej 44
P.O. Box 165
DK-9100 Aalborg

Phone: +45 98 16 77 77
Fax: +45 98 10 11 86
E-mail: sales@AalborgWhite.dk
Internet: www.AalborgWhite.com

AALBORG WHITE® is a trade mark registered by Aalborg Portland A/S

White Cement – Made in Denmark

Product data

AALBORG WHITE® made in Denmark	
Type	CEM I 52.5 R
Strength class	52.5 R
C ₃ A	4-5%
Alkali content	0.2 - 0.3%
Expansion (mm)	0 - 2
L.O.I.	0 - 1.0%
SO ₃	1.8 - 2.3%
Chloride	0 - 0.02%
γ-Reflection	85.0 - 89.5%

Density and setting	
Specific density (kg/m ³)	3120-3180
Bulk density (kg/m ³)	1100
Initial set (min)	85-130

Cement strength				
	1 day MPa	2 days MPa	7 days MPa	28 days MPa
	18-24	34-42	55-67	70-79

»As per Oct. 2005«

AALBORG WHITE®

is available in:
20 kg paper bags
25 kg paper bags
40 kg paper bags
42.8 kg paper bags
50 kg paper bags
Big bags of approx. 1500 kg
and in bulk by cement
trucks, railway wagons
or vessel.

Aalborg Portland A/S

Rørdalsvej 44
P.O. Box 165
DK-9100 Aalborg

Phone: +45 98 16 77 77
Fax: +45 98 10 11 86
E-mail: sales@AalborgWhite.dk
Internet: www.AalborgWhite.com

Mix Designs

Alkali content

AALBORG WHITE® cement made in Denmark has a low equivalent alkali content (acid-soluble alkalis). By most national standards the cement can be described as a low-alkali cement.

Sulphate resistance

AALBORG WHITE® cement made in Denmark is cement with high sulphate resistance by most national standards, as the content of the cement clinker mineral C₃A is below 5%.

Chromate content

AALBORG WHITE® cement made in Denmark has a low content of chromate of ≤ 2 mg/kg.

From Cement to Concrete

Water

Use clean water e.g. tap water.

Aggregates

The aggregates have a major effect on the appearance of the finished concrete surface. The aggregates should therefore be selected, stored and used in an appropriate way so as to meet the aesthetic demands to the finished concrete surface. The mix of the aggregates should be kept as constant as possible in order to avoid differences in shade of the finished concrete surface.

Admixtures

All admixtures should be colourless to avoid discoloration of the white or light concrete.

Air entraining agents are known to reduce the tendency of efflorescence.

Such admixtures that act upon the setting and hardening should also be used in accordance with usual guidelines. To ensure the requested white colour it is recommended always to make trial mixes.

Constructions and casting

The constructions should be of a design that is suitable for repelling pollution from percolating water and dirt.

Particular care must be exercised in the choice of basic materials, casting materials, mixing and casting processes, curing, and finishing.

From Cement to Mortar

AALBORG WHITE® is often used as binder in various types of mortar and together with lime in a lime-cement mortar. Tools used for mixing the mortar should be stainless in order to preserve the white colour.

Storage

AALBORG WHITE® cement can be stored for at least six months, if kept indoor under suitable and dry conditions. Care should be taken to avoid moist.

Do not store cement bags directly on the ground or on a floor or even with direct contact to an outer wall.

We recommend that cement bags are stacked on a counterfloor 10-20 cm above the regular floor or on pallets. The cavity below the counterfloor should be ventilated to keep the bags dry.

Cement that has been stored for a long time should be examined by e.g. trial

castings prior to use. If the cement contains stony lumps it should not be used, as the strength cannot be guaranteed.

Service

Our AALBORG WHITE® Technical Team is here for you, should you require assistance in respect to mix designs or to the use of our AALBORG WHITE® cement. For further information on our products please visit our homepage www.AalborgWhite.dk

Health and Safety

Contact with cement mixed with water or body fluids (e.g. sweat or eye fluid) or with concrete or mortar should be avoided as it may cause irritation, dermatitis or burns. If such contact occurs, the affected area should be washed without delay with plenty of clean water. In case of eye contact rinse immediately with clean water and seek medical advice.

Typische Testergebnisse - August 2011

AALBORG WHITE[®] *Made in Denmark*

Erstes Halbjahr 2011

Der Zement trägt das CE-Kennzeichen und wird als CEM I 52,5 R bezeichnet und ist durch die Zertifizierungsgesellschaft Bureau Veritas Certification mit dem EC-Zertifikat Nr. 1035-CPD-700541 versehen.

Physikalische Eigenschaften

Druckfestigkeit (EN 196-1)		24
1 Tag	MPa	43
2 Tage	MPa	61
7 Tage	MPa	73
28 Tage	MPa	118
Abbindezeit (Vicat)	min	1
Ausdehnung	mm	392
Feinheit (Blaine)	m ² /kg	87
Hellbezugswert (DIN 5033)	%	3130
Rohdichte	kg/m ³	1100
Schüttdichte	kg/m ³	

Chemische Eigenschaften der Klinker

SiO ₂	%	26
Al ₂ O ₃	%	2,2
Fe ₂ O ₃	%	0,4
CaO	%	70
Zusammensetzung nach Bogue – ASTM		
C ₃ S	%	77
C ₂ S	%	15
C ₃ A	%	5
C ₄ AF	%	1

Chemische Eigenschaften des Zements

SO ₃	%	2,2
MgO	%	0,7
Na ₂ O – Äquivalent	%	0,2
Cl ⁻	%	0,01
Glühverlust	%	0,6
Unlöslicher Rückstand	%	0,1
Wasserlösliches Cr ⁶⁺	mg/kg	≤ 2



® Mowilith DM 778

Technical Data Sheet

Version 4 - Issue 2010/01

Characteristics

Mowilith DM 778 is a non-plasticized aqueous polymer dispersion based on acrylic and methacrylic acid esters.

General Features

Mowilith DM 778 has a good cement and lime compatibility and is mainly used as binder for the following possible application areas from the building sector:

- Fillers, putties and levelling grouts
- Modification of mortars and floor screeds
- Bonding layers and slurries
- Ceramic tile adhesives
- Flexible mineral sealings
- Lime finishes
- Adhesion promoting primers

Stabilization

Surfactants

Mowilith DM 778 serves as adhesion promoting, but also as blocking primer for the pre-treatment of screed mortars. The modification of mortars and screeds with Mowilith DM 778 (in additions of 5 – 30 % of dispersion relative to cement) leads to a strong plasticizing effect and supports the early development of high tension strengths.

In combination with fillers and extenders pasty building adhesives (e. g. ceramic tile adhesives) with good adhesion and high water resistance can be formulated.

Supply Specification	Method*	Unit	Value
Solids content (130 °C; 30 min)	ISO 3251	%	47 – 49
Brookfield viscosity (25 °C; 4/20)	ISO 2555	mPas	2500 – 6500
pH value	ISO 976		7.5 – 8.5

Further Typical Properties**	Method*	Unit	Value
Particle size		µm	approx. 0.1
Minimum film forming temperature	ISO 2115	°C	approx. 20
Glass transition temperature	ISO 16805	°C	approx. 31
Appearance of polymer film			slightly opaque, tack-free

* In accordance to this standard. Further details regarding the test method can be made available on request.

** These data are solely to describe the product. They are not subject to constant monitoring or part of the specification.

Your future is our focus...worldwide.

When using Mowilith DM 778 in cement based systems (e. g. fillers, levelling compounds or putties) the mechanical properties such as abrasion resistance, elasticity and bonding strength are improved.

The addition of Mowilith DM 778 to lime finishes improves their workability and leads to water-resistant surfaces.

For those systems where Mowilith DM 778 is the only binder it is necessary to work with a suitable coalescing agent to ensure a homogeneous and crack-free film formation at lower temperatures.

Mowilith DM 778 must be stirred homogeneously before use.

Preservation and Storage

The dispersion contains some initial preservatives to prevent attack by micro organisms. In order that the product is also sufficiently protected against microbial contamination during further storage in opened drums, tanks or other storage facilities a suitable preservative should be added despite our preliminary preservation measures and the tanks and pipework should be kept adequately clean.

Mowilith DM 778 has a minimum shelf life of 6 months from the dispatch date, provided the product is stored hygienically at temperatures between 5 and 35 °C, avoiding frost and direct sunlight. Furthermore it must be ensured that already opened drums and containers are always tightly closed. For bulk storage, additional conditions like the addition of preservatives or frequent stirring are technically applicable and recommended.

To remove any skins or lumps that could have been formed during longer storage of the dispersion due to its film forming nature a filtration or sieve process is recommendable before further processing.

The technical data ascertained by our quality control laboratory at the time of product release may vary according to the storage time and storage conditions and may deviate from the original values.

Product Safety and Environmental Protection

The usual protective measures employed during the handling of aqueous polymer emulsions should be observed. Further product safety information can be obtained from our material safety data sheet which is available on request.

Produktdaten	vom 01.07.2010 bis 21.12.2010
Produktionsort	SOCLI • F-65370 Izaourt
Bezeichnung	natürlicher hydraulischer Kalk
Zusammensetzung	natürlicher hydraulischer Kalk NHL 5
Referenznorm	NF EN 459-2

<u>Physikalische Eigenschaften</u>	Einheit	Durchschnitt- Werte	Normenbezug	
			min.	max.
Rückstand bei 90 μ	%	4,9	-	15
Rückstand bei 200 μ	%	1,1	-	5
Raumbeständigkeit	mm	0,2	-	2
Schüttgewicht	kg/dm	0,818	-	-
Rohdichte	g/cm ³	2,68	-	-
spez. Oberfläche (Blain)	cm ² /g	8497	-	-
Freies Wasser	%	0,97	-	2
<u>Mechanische Eigenschaften</u>				
Erstarrungsbeginn	Minuten	397	60	-
Erstarrungsende	Minuten	412	-	900
Druckfestigkeiten 7 Tage	MPa (N/mm ²)	2,61	2	-
Druckfestigkeiten 28 Tage	MPa (N/mm ²)	6,19	5	20
<u>Chemische Eigenschaften</u>				
SO ₃	%	0,97	-	3
Freier Kalk	%	17,6	3	-

Calcia Chaux pure

NHL 5 CE



Ordre	: 03 DO 01
Version	: 02
Page	: 1/1

NHL 5 CE Chaux Naturelle Pure

FICHE PRODUIT du 01/07/2010 au 31/12/2010

<u>Site de Production:</u>	SOCLI 65370 Izaourt
<u>Appellation:</u>	Chaux Hydraulique Naturelle
<u>Composition:</u>	Chaux Hydraulique Naturelle NHL 5
<u>Norme d'essais de Référence:</u>	NF EN 459-2

<u>Propriétés Physiques</u>	Unités	Caractéristiques moyennes	Conformité normative	
			Mini	Maxi
Refus à 90µ	%	4,9	-	15
Refus à 200µ	%	1,1	-	5
Expansion à la pastille	mm	0,2	-	2
Masse Volumique Apparente	kg / dm ³	0,818	-	-
Masse Volumique Réelle	g / cm ³	2,68	-	-
Surface Spécifique Blaine	cm ² / g	8497	-	-
Eau Libre	%	0,97	-	2
<u>Propriétés Mécaniques</u>				
Début de Prise	mn	397	60	-
Fin de Prise	mn	412	-	900
Résistances Mécaniques à 7 jours	MPa	2,61	2	-
Résistances Mécaniques à 28 jours	MPa	6,19	5	20
<u>Propriétés Chimiques</u>				
SO ₃	%	0,97	-	3
Chaux libre	%	17,6	3	-



Technisches Merkblatt Artikelnummer 6471

Historic Schlämmmasur

Feinsandige, halblasierende Schlämme auf Basis natürlicher Inhaltstoffe.

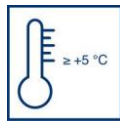
Zur Erstellung von rauen Lasuranstrichen unter Beibehalt der natürlich-mineralischen, farblichen und plastischen Untergrund-Optik.



Wasserbasiert



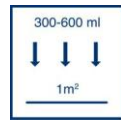
Für außen



Verarbeitungstemperatur
≥ +5 °C



Streichen/Rollen



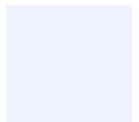
Einbringmenge
je Arbeitsgang



Frostfrei u. kühl
lagern/ vor
Feuchtigkeit
schützen/ Gebinde
verschließen



Lagerdauer



Anwendungsgebiete

Remmers Historic Schlämmmasur eignet sich aufgrund seiner Produktkenndaten als wasserabweisende, wasserdampfdurchlässige Beschichtung für raue Lasuranstriche auf mineralischen Baustoffen, z. B. auf Natursteinen und Putzen. Auch als füllender, lasierender Zwischenanstrich zur Egalisierung von unterschiedlichen Rauigkeiten und (Mikro-)Rissen geeignet. Zur Überarbeitung von plastischen, thermoplastischen und elastischen Anstrichsystemen nicht geeignet.

Diese Systeme sind vorher mit Remmers Graffiti Entferner vollständig zu entfernen.

Produkteigenschaften

Historic Schlämmmasur wurde primär für denkmalgeschützte Objekte, vor allem im Bereich "Naturstein" konzipiert. Das Produkt zeichnet sich durch eine geringe Deckkraft unter Beibehalt eines real beschichtenden Charakters aus, was somit zwei Eigenschaften / Vorteile zur Folge hat:

Produktkenndaten

Bindemittel:	siliciumorganisch vergütete Co-polymere
Pigmente:	anorganische, alkalibeständige, absolut lichtechte Oxidpigmente TiO ₂ -frei
Füllstoffe:	anorganisch, rein mineralisch, teilweise feinsandig
Dichte:	ca. 1,4 g/cm ³ , je nach Farbton
Viskosität:	roll- und streichfähig
pH-Wert:	8 - 9

Produktkenndaten der Beschichtung:

Wasserdampfdurchlässigkeit nach DIN 52615:	s _d -Wert: < 0,25
Materialaufwand von 250 ml/m ² entspricht:	ca. 180 µm Trockenschicht
Wasseraufnahmekoeffizient nach DIN 52617:	w-Wert: < 0,1 kg/m ² * h ^{0,5}
Glanzgrad:	matt, mineralischer Charakter, feinsandige, raue Struktur
Witterungsbeständigkeit:	sehr gut
Farbtöne:	Sonderfarbtöne (keine intensiven Farbtöne möglich)
Art.-Nr.: 6471	

- a) Da das Farbsystem auf der Oberfläche aufliegt, wird der Aufbau der hydrophoben Wirkung auf der Oberfläche und nicht in der Tiefe des behandelten Untergrundes erzielt. Somit ermöglicht Historic Schlämmmasur den Aufbau einer Wasserabweisung auch auf solchen mineralischen Untergründen, bei denen die Behandlung mittels einer in die

Tiefe eingetragenen, hydrophobierenden Imprägnierung mit negativen Begleiterscheinungen (z. B. Schlieriger Schilfsandstein: Erhöhung des Quellmaßes) verbunden ist bzw. bei denen der Einsatz einer hydrophobierenden Imprägnierung abgelehnt wird.

- b) Gleichzeitig wird mittels Historic Schlämmasur eine nur so gering deckende ("lasierende") Schlämme aufgebracht, dass der Untergrund nach dem Auftrag weiterhin durchscheint. Das "Totstreichen" strukturierter bzw. gefärbter Untergründe wird somit vermieden.

Historic Schlämmasur besitzt des Weiteren folgende wichtige Eigenschaften:

- hohe Wasserdampfdurchlässigkeit
- hohe Dichtigkeit gegen flüssiges Wasser (Schlagregen und Spritzwasser)
- keine Durchnässung bei extremer Witterungsbelastung
- keine Quellerscheinungen
- Die mit Historic Schlämmasur geschützten Baustoffe nehmen bei Niederschlägen nur sehr wenig Wasser auf und können diese geringen Wassermengen in den Trockenperioden leicht wieder abgeben. Dadurch bleibt der Baustoff weitgehend trocken und Feuchteschäden unterbleiben.
- spannungsarm
- leichte Verarbeitung
- gering alkalisches Beschichtungssystem
- keine Flecken- und Ansatzbildung
- unbegrenzte Farbtonvariabilität im Bereich historischer Farben
- raues, griffiges, mattes Aussehen, auch in Abhängigkeit vom Untergrund
- mineralähnlicher Charakter
- hohe Witterungsbeständigkeit
- auf bewitterten tragfähigen Altanstrichen applizierbar
- umweltgerecht
- nicht ätzend

Untergrund

- Der Untergrund muss trocken, sauber, tragfähig, frei von losen Teilen, Bewuchs, Staub-, Schalmittel-, Öl- und Fettrückständen sein. Nicht festhaftende Anstriche und Beschichtungen sorgfältig entfernen. Abgewitterte Beschichtungen mit einem Hochdruckreiniger reinigen.
- **Grundierung**
Je nach Objektsituation und Aufgabenstellung können folgende Produkte / Produktsysteme zum Einsatz kommen. Der Verbrauch richtet sich jeweils nach der Untergrundbeschaffenheit und der zur Lösung der gegebenen Aufgabenstellung einzusetzenden Applikationstechnik:
 - Antihygro (Art.-Nr.: 0616),
 - Produkte aus der KSE Familie (z. B. Remmers KSE 300),
 - Produkte aus dem KSE-Modul-System (z. B. KSE 300 E),
 - "herkömmliche" Grundierungen (z. B. Grundierung SV: verfestigend und hydrophobierend; Tiefengrund: verfestigend),
 - Historic Lasur (Art.-Nr.: 6475).
- **Spachtelung**
Im Bedarfsfall können mit Remmers Siliconharz Spachtel (Art.-Nr.: 0565) unebene Flächen ausgeglichen bzw. Risse verschlossen werden (vergl. TM).

Verarbeitung

Die Verbrauchswerte richten sich zum einen nach der zu lösenden Aufgabenstellung und zum anderen nach der Saugfähigkeit und Struktur des Untergrundes. Unter Berücksichtigung dieser Parameter ist Historic Schlämmasur (evtl. in Kombination mit Historic Lasur; Art.-Nr: 6475) in der Regel ein bis zweimal aufzutragen.

Da das optische Erscheinungsbild einer Lasur naturgemäß untergrundabhängig ist, muss / kann der gewünschte Farbton (nur) anhand einer geeigneten Probefläche ermittelt werden. Der exakte Verbrauch muss durch Probeflächen ermittelt werden. Bei der Anstrichausführung VOB, Teil C, Abs. 2 und 3 beachten. Größere, zusammenhängende Flächen nass in einem Zug beschichten, um Ansätze zu vermeiden. Zwischen den einzelnen Arbeitsgängen ist eine Trocknungszeit von mindestens 6 Stunden je nach äußeren Bedingungen einzuhalten. Vor direkter Sonneneinstrahlung und Regen gemäß der Regeln des Handwerks schützen. Nicht bei Temperaturen unter + 5 °C verarbeiten.

Arbeitsgeräte, Reinigung

Flächenstreicher, Deckenbürsten, Pinsel und Lammfellroller. Pinsel, Geräte und Farbspritzer in frischem Zustand mit Wasser reinigen.

Lieferform, Verbrauch, Lagerung

Lieferform:

Kunststoffgebinde 5 l und 15 l

Verbrauch:

- Erste Beschichtung: ca. 0,25 bis 0,4 l/m²
- Zweite Beschichtung (evtl.): ca. 0,20 l/m²

Lagerung:

Im Originalgebinde bei kühler jedoch frostfreier Lagerung mind. 12 Monate

Sicherheit, Ökologie, Entsorgung

Nähere Informationen zur Sicherheit bei Transport, Lagerung und Umgang sowie zur Entsorgung und Ökologie können dem aktuellen Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Vorstehende Angaben wurden aus unserem Herstellerbereich nach dem neuesten Stand der Entwicklung und Anwendungstechnik zusammengestellt.

Da Anwendung und Verarbeitung außerhalb unseres Einflusses liegen, kann aus dem Inhalt des Merkblattes keine Haftung des Herstellers abgeleitet werden. Über den Inhalt des Merkblattes hinausgehende oder abweichende Angaben bedürfen der schriftlichen Bestätigung durch das Stammwerk.

Es gelten in jedem Fall unsere allgemeinen Geschäftsbedingungen. Mit Herausgabe dieses technischen Merkblattes verlieren vorangegangene ihre Gültigkeit.

6471 TM-12-06 TK-JEn-Ke



Tricodur®

Feinstzement-Injektion

Produkt- beschreibung

Mineralische, 1-komponentige Injektionssuspension auf Feinstbindemittelbasis

Anwendungsgebiete:

Mit der Injektionssuspension Tricodur werden Hohlraum- und Fehlstellenverfüllungen in Beton und Mauerwerk durchgeführt. Es können trockene, feuchte und wasserführende Risse kraftschlüssig verpresst werden.

Produktmerkmale/ Vorteile:

- Einfache und sichere 1-komponentige Verarbeitung
- Kornbereich $d_{95} < 9,5 \mu\text{m}$
- Hohe Eindringtiefe in feine Risse im Beton

Produktdaten

Farbton: Grau

Lieferform 6 x 5 kg pulverförmige Komponente im Kunststoffbeutel

Lagerfähigkeit: 12 Monate ab Herstellungsdatum

Lagerbedingungen: Bei trockener Lagerung in unbeschädigter und ungeöffneter Originalverpackung und vor direktem Sonnenlicht geschützt bei Temperaturen zwischen + 5°C und + 25°C

Technische Daten

Chemische Basis: Modifizierter Ultrafeinstzement

**Frischrohichte der
Suspension:** ~ 1,70 g/ml

**Auslaufzeit
Marsh Trichter** Ca. 40 Sekunden nach dem Mischen / ca. 43 Sekunden nach 30 Minuten

Korngröße: Ultrafeinstzement mit $d_{95} < 9,5 \mu\text{m}$

Mechanische Eigenschaften

Druckfestigkeit:	> 20 N/mm ² nach 2 Tagen > 30 N/mm ² nach 7 Tagen > 35 N/mm ² nach 28 Tagen
-------------------------	--

Verarbeitungsbedingungen

Untergrundtemperatur:	Min. + 5° C, max. + 35° C
------------------------------	---------------------------

Lufttemperatur:	Min. + 5° C, max. + 35° C
------------------------	---------------------------

Untergrundfeuchtigkeit:	Beton mattfeucht. Trockenen Beton mit Wasser vornässen.
--------------------------------	---

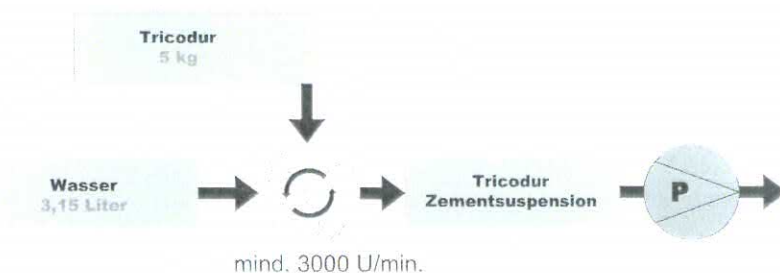
Verarbeitungshinweise

Mischungsverhältnis:	Zusammensetzung für den W/B = 0,63 Wasser: 3,15 kg (Liter) Tricodur: 5,00 kg (1 Beutel)
-----------------------------	---

Ergiebigkeit:	5 kg Tricodur [®] + 3,15 Liter Wasser = ca. 5 Liter Zementsuspension
----------------------	---

Verarbeitungszeit:	~ 60 Minuten bei + 20° C
---------------------------	--------------------------

Mischanweisung/ -dauer:	Die Mischung muss mit geeignetem Mischgerät hochtourig (mind. 3000 U/min.) aufgerührt werden. Als Mischreihenfolge wird empfohlen 3,15 kg Wasser im Mischgefäß vorzulegen und anschließend 5 kg Tricodur [®] (1 Beutel) bei niedriger Umdrehungszahl kontinuierlich einzustreuen. Nach vollständiger Zugabe wird die Umdrehungszahl auf min. 3000 U/min erhöht. Die Mischzeit sollte mindestens 5 Minuten nach vollständiger Zugabe von Tricodur [®] betragen.
--------------------------------	---



Verarbeitungsmethode /-gerät:	Das Injektionsgut kann mit handelsüblichen, für Feinstzementinjektion konzipierten hochtourigen Mischanlagen (mind. 3000 U/min.) und Injektionspumpen der Fa. DESOI verarbeitet werden. Injektionsdruck 3 – 8 bar.
--------------------------------------	---

Wichtige Verarbeitungshinweise:	Sind die Risse, Fugen, Oberflächen etc. vollständig verdämmt und ist die Verdämmung ausgehärtet, kann mit der Injektion begonnen werden. Hohlräume: Der Injektionsvorgang beginnt bei vertikalen Flächen an der tiefsten Stelle eines Hohlraums am Bauteil, bei horizontalen Flächen an einem der Enden. Über einen Einfüllstutzen wird so lange injiziert, bis das Füllgut am nächsten Einfüllstutzen austritt. Von hier aus wird dann weiter injiziert. Risse: Der Injektionsvorgang wird an senkrechten Flächen von unten nach oben ausgeführt. Die Ausführungen der Hohlräume gelten sinngemäß.
--	---

Gerätereinigung:	Alle Geräte unmittelbar nach Gebrauch mit sauberem Wasser reinigen. Ausgehärtetes Material kann nur mechanisch entfernt werden.
-------------------------	--

Generelles: Der Injektionsdruck beträgt max. 8 bar. Während der Injektion ist die Suspension in Bewegung zu halten. Eine Nachinjektion ist erforderlich und erfolgt während der Verarbeitbarkeitsdauer des zuvor injizierten Materials über die gleichen Packer. Grundsätzlich müssen alle Injektionspumpen, Druckmanometer und Packersysteme für das Niederdruckverfahren und Zementsuspensionen geeignet sein. Die Verdämmung sowie die gesetzten Packer können nach einem Tag entfernt werden.

Wichtige Hinweise

Gefahrenhinweise: **GISCODE: ZP 1**
Nähere Beschreibung zum Giscode und entsprechende von Gisbau erstellte Betriebsanweisungen erhalten Sie bei Wingis Online unter <http://www.wingis-online.de/wingisonline/>
Hautkontakt mit Flüssigharzen kann zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen und Allergien führen.
Beim Umgang mit nicht ausreagierten Flüssigharzen ist der direkte Hautkontakt unbedingt zu vermeiden!
Zur Auswahl der geeigneten Schutzbekleidung empfehlen wir unsere Infodatenblätter
– „Hinweise zum Tragen von Schutzhandschuhen beim Umgang mit Sika Produkten“ (Kennziffer 7511).
– Hinweise zum Arbeitsschutz (Kennziffer 7510), die Sie im Internet unter www.sika.de, Rubrik "Produktsicherheit" (Nachhaltigkeit) erhalten können.
Für den Umgang mit unseren Produkten sind die wesentlichen physikalischen, sicherheitstechnischen, toxikologischen und ökologischen Daten den stoffspezifischen Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen. Die einschlägigen Vorschriften, wie z.B. die Gefahrstoffverordnung, sind zu beachten.

Datenbasis: Alle technischen Daten, Masse und Angaben in diesem Datenblatt beruhen auf Labortests. Tatsächlich gemessene Daten können in der Praxis aufgrund von Umständen außerhalb unseres Einflussbereiches abweichen.

Rechtshinweise: Die vorstehenden Angaben, insbesondere die Vorschläge für Verarbeitung und Verwendung unserer Produkte, beruhen auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen im Normalfall, vorausgesetzt die Produkte wurden sachgerecht gelagert und angewandt. Wegen der unterschiedlichen Materialien, Untergründe und abweichenden Arbeitsbedingungen kann eine Gewährleistung eines Arbeitsergebnisses oder eine Haftung, aus welchem Rechtsverhältnis auch immer, weder aus diesen Hinweisen, noch aus einer mündlichen Beratung begründet werden, es sei denn, dass uns insoweit Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt. Hierbei hat der Anwender nachzuweisen, dass er schriftlich alle Kenntnisse, die zur sachgemäßen und erfolgversprechenden Beurteilung durch Sika erforderlich sind, Sika rechtzeitig und vollständig übermittelt hat.
Der Anwender hat die Produkte auf ihre Eignung für den vorgesehenen Anwendungszweck zu prüfen. Änderungen der Produktspezifikationen bleiben vorbehalten. Schutzrechte Dritter sind zu beachten. Im übrigen gelten unsere jeweiligen Verkaufs- und Lieferbedingungen. Es gilt das jeweils neueste Technische Merkblatt, das von uns angefordert werden sollte, oder im Internet unter www.sika.de heruntergeladen werden kann.



Sika Deutschland GmbH
Kornwestheimer Str. 107
70439 Stuttgart
Telefon (07 11) 80 09-0
Telefax (07 11) 80 09-321

Rieter Tal
71655 Vaihingen/Enz
Telefon (0 7042) 109-0
Telefax (0 7042) 109-180





Zentrifix CR *finish*

Gebrauchsfertiges, rissüberbrückendes Polymer - Quarz - Gemisch

Produkteigenschaften

- Auf wässriger Basis, wasserverdünnbar bis 5 %
- Witterungs- und UV-stabil
- Nachbehandlungsfrei, trocknet matt auf
- Wasserdampfdiffusionsoffen und karbonatisierungsbremsend
- Verarbeitbar im Roll-, Spachtel- und Spritzverfahren
- Zertifiziert nach EN 1504 Teil 2

Anwendungsgebiete

- Anwendbar auf Beton, Leichtbeton, Porenleichtbeton und Altanstrichen
- Fassaden, Balkone, Loggien, Attika etc.
- REACH-bewertete Exp.szenarien: Wasserkontakt periodisch, Inhalation periodisch, Verarbeitung
- Prinzip 1, 2 und 8; Verfahren 1.2, 2.2 und 8.1 (EN 1504-9)

Verarbeitungshinweise

Untergrundvorbereitung

Siehe Merkblatt „Allgemeine Verarbeitungshinweise für Oberflächenschutzsysteme“.

Verarbeitung

Zentrifix CR *finish* ist gebrauchsfertig und vor der Verwendung sorgfältig aufzurühren. Das Material wird entweder mit einer Kurzflorwalze im Kreuzgang gleichmäßig aufgerollt, gespachtelt oder mit einer variabel einstellbaren Schneckenpumpe mit einer Fördermenge von ca. 1 Liter/Minute gespritzt. Bitte beachten Sie außerdem den MC-Ausrüstungsplaner oder fordern Sie unsere Beratung an.

Zentrifix CR *finish* darf nicht bei Regen, hoher Luftfeuchtigkeit, Frost oder Frostgefahr verarbeitet werden. Frisch aufgebrachte Schichten sind vor Tau, Regen und Frost zu schützen. Direkte Sonneneinstrahlung ist zu vermeiden.

Regelaufbau

Im ersten Arbeitsgang wird auf den vorbereiteten Untergrund eine Grundspachtelung mit dem Hartgummireibebrett aufgebracht. Wird diese Grundspachtelung aufgespritzt, so ist diese Schicht in den Untergrund einzuarbeiten. Im zweiten Arbeitsgang wird auf die tragfähige Grundspachtelung ein weiteres mal Zentrifix CR *finish* aufgespachtelt oder aufgespritzt. Als Schlussbeschichtung wird Zentrifix CR *finish* - verdünnt mit 5 % Wasser - gerollt. Die Mindestauftragsmengen sind einzuhalten.

Eventualposition/Kratzspachtelung

Erfordern die vorhandenen Poren, Lunker und Rautiefen das Aufbringen einer Kratzspachtelung, so kann diese ebenfalls mit Zentrifix CR *finish* ausgeführt werden. Zentrifix CR *finish* ist dazu vorher mit Quarzsand H 32, Körnung 0,1 bis 0,3 mm in Gewichtsteilen, Mischungsverhältnis 1 zu 1, aufzufüllen. Wird eine derartige Kratzspachtelung ausgeführt, so ersetzt diese die Grundspachtelung im Regelaufbau.

Weitere Systemaufbauten

Siehe Tabelle „Technische Eigenschaften“.

Oberflächenbearbeitung

Gespachtelte Schlussbeschichtungen können mit einem leicht angefeuchtetem Modler/Flächenstreicher und im Rollverfahren hergestellte Schlussbeschichtungen mit Kunststoff- oder Schaumstoffstrukturwalzen bearbeitet werden. Die Flächen sind dann in einer Richtung abzurollen. Im Spritzverfahren hergestellte Flächen können spritzrauh bleiben oder ebenfalls mit einem Modler/Flächenstreicher bearbeitet werden.

Überarbeitungszeiten, Regenfestigkeit

Siehe Tabelle „Technische Eigenschaften“.

Besondere Hinweise

Zentrifix CR *finish* ist in vielen Farbtönen lieferbar. Geringfügige Abweichungen von der MC-Farbkarte sind möglich.



Technische Eigenschaften Zentrifix CR *finish*

Kenngröße	Einheit	Wert*	Bemerkungen
Dichte	kg/dm ³	1,53	
Festkörpervolumen	%	62	
Viskosität			strukturviskos
Diffusionswiderstand gegen Wasserdampf	m	0,67	
Kohlendioxid	m	> 1.000	
Rissüberbrückungsklasse		I _T bis II _T	Je nach Schichtdicke
Rissüberbrückung statisch	mm	ca. 1,0 ca. 1,4	Bei 1,0 mm Trockenschichtdicke Bei 1,5 mm Trockenschichtdicke
Verbrauch Regelaufbau**	g/m ²	ca. 700 - 800 ca. 1.000 ca. 400	Grundspachtelung Zwischenbeschichtung Schlussbeschichtung
Verbrauch Variante 1**	g/m ²	ca. 700 - 800 ca. 1.600	Grundspachtelung Schlussbeschichtung
Verbrauch Variante 2**	g/m ²	ca. 700 - 800 ca. 700 - 800 ca. 700 - 800	Grundspachtelung 1. Rollbeschichtung 2. Rollbeschichtung
Überarbeitbarkeit	Stunde Stunden	1 24	Grundspachtelung/Beschichtung Beschichtung/Beschichtung
Verbrauch Eventualposition**	g/m ²	1.000 - 1.500	Kratzspachtelung
Regenunempfindlichkeit	Stunden	ca. 24 bis 48	Je nach Witterung
Verarbeitungsbedingungen	°C % K	≥ 5 - ≤ 30 ≤ 85 3	Luft-/Material-/Untergrundtemperatur Relative Luftfeuchtigkeit Über der Taupunkttemperatur

Produktmerkmale Zentrifix CR *finish*

Lieferung	20 kg Eimer
Lagerung	Originalverpackt mind. 12 Monate. Trocken, kühl und frostfrei lagern.
Gebindeentsorgung	Gebinde restlos entleeren. Beachten Sie hierzu unser Informationsblatt zur Verpackungsverordnung „Das MC-Entsorgungskonzept für restentleerte Transport- und Verkaufsverpackungen“. Dieses senden wir Ihnen auf Wunsch gerne zu.
EU-Verordnung 2004/42 (Decopaint-Richtlinie)	RL2004/42/EG All/j (75/40 g/l) max 1 g/l VOC

*Alle technischen Kennwerte wurden bei + 23 °C und 50 % rel. Luftfeuchte ermittelt.

**Die Verbrauchswerte sind von der Rauigkeit, dem Saugvermögen und der Untergrundart abhängig. Zur Bestimmung der objektspezifischen Verbrauchsmengen empfiehlt sich das Anlegen von Probeflächen.

Anmerkung: Die in diesem Merkblatt gemachten Angaben erfolgen aufgrund unserer Erfahrungen nach bestem Wissen, jedoch unverbindlich. Sie sind auf die jeweiligen Bauobjekte, Verwendungszwecke und die besonderen örtlichen Beanspruchungen abzustimmen. Dies vorausgesetzt, haften wir für die Richtigkeit dieser Angaben im Rahmen unserer Verkaufs- und Lieferbedingungen. Von den Angaben unserer Merkblätter abweichende Empfehlungen unserer Mitarbeiter sind für uns nur verbindlich, wenn sie schriftlich bestätigt werden. In jedem Fall sind die allgemein anerkannten Regeln der Technik einzuhalten.

Ausgabe 07/10. Diese Druckschrift wurde technisch überarbeitet. Bisherige Ausgaben sind ungültig und dürfen nicht mehr benutzt werden. Bei technisch überarbeiteter Neuauflage wird diese Ausgabe ungültig.

②