

# ENDBERICHT

<b>FFG Projektnummer</b>	845795	<b>eCall Antragsnummer</b>	
<b>Kurztitel</b>	Salzschäden	<b>FörderungsnehmerIn</b>	WK Österreich, Bundesinnung Bau
<b>Bericht Nr.</b>		<b>Berichtszeitraum</b>	01.04.2014 – 30.06.2015
<b>Bericht erstellt von</b>	Dr. Gabriele Eder (OFI), DI Robert Rosenberger (BI Bau)		

*Richtwert für den Umfang: 10-20 Seiten*

## 1. Ziele und Ergebnisse

Dieses F&E-Projekt der Bundesinnung Bau wurde vom österreichischen Forschungsinstitut für Chemie und Technik (OFI) und vom Umweltbundesamt bearbeitet. Es wurde antragsgemäß das Schädigungspotenzial diverser Streumittel auf verschiedene Baumaterialien für den Sockelbereich von Gebäuden getestet sowie ein beschleunigter Alterungstest entwickelt und evaluiert. Dieser wird im Rahmen einer Richtlinie veröffentlicht und der gesamten Baubranche zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse des Projekts werden bei Veranstaltungen im Herbst 2015, organisiert von der Bundesinnung Bau und der Landesinnung Bau Wien, gemeinsam mit dem OFI/Institut für Bauschadensforschung interessierten Fachleuten vorgestellt.

Highlights: Untersucht wurde die Streumittelbeständigkeit von Kunst- und Natursteinen, Wärmedämmverbundsystemen, Sanierputzen und Trassbetonputzen. Aus den Ergebnissen geht klar hervor, dass Steinmaterialien (Kalkstein, Sandstein, Granite) kaum durch den Einsatz der diversen Streusalze (Natrium-, Kalium-, Calcium und Magnesium-Chlorid sowie Natriumacetat) angegriffen werden. Verputze hingegen (in diesem Projekt wurden die Verputze ohne zusätzliche Schutzanstriche getestet) und Trasszementputz im Besonderen, weisen ein sehr hohes Schädigungspotenzial auf, da die Gefügefestigkeit der Verputze durch das Eindringen der wässrigen Salzlösungen und die parallel ablaufenden Tau-Frost-Zyklen zerstört wird. Auch der Sockelbereich aller 6 realen Schadensfälle, die von unterschiedliche Plätzen in Wien entnommen und analysiert wurden, war mit Verputzen als Außenschichten versehen. Es konnte ein beschleunigter Alterungstest entwickelt werden, der innerhalb von 20 Tagen eine Prüfung der Streumittelverträglichkeit verschiedener Materialien erlaubt.

## 2. Arbeitspakete und Meilensteine

### 2.1 Übersichtstabellen

Der Fertigstellungsgrad aller Arbeitspakete ist gegenüber dem eingereichten Bearbeitungsplan um jeweils ein Quartal verschoben. Begründung: das Projekt wurde Ende 05.2014 rückwirkend mit 01.04.2014 bewilligt und konnte daher erst real mit 06.2014 gestartet werden. Es wurde somit eine Verlängerung um 3 Monate beantragt und bewilligt, damit die Projektlaufzeit, wie im ursprünglichen Antrag geplant, volle 12 Monate betragen konnte.

Im Projektantrag wurden keine Meilensteine definiert.

	Arbeitspaket Nr. und Bezeichnung	Aktuell = Basistermin		Erreichte Ergebnisse / Abweichungen
		Anfang	Ende	
1	AP1: Analytische Erfassung von realen Schadensfällen	06.14	12.14	Schadensanalyse an 6 realen Musterproben wurde durchgeführt. Es wurden Oberflächenanalysen und Tiefenprofile von Elementen potentiell bauschädlicher Salze bestimmt.
2	AP2: Entwicklung eines beschleunigten Alterungsverfahrens („Schnelltest“)	09.14	06.15	Ein beschleunigter Alterungstest, der potentielle Salzschiiden an Baumaterialien in nur 20 Tagen aufzeigen kann, liegt vor
3	AP3: Begleitende Analytik zu AP2	10.14	06.15	Die Baumaterialien wurden vor und nach den Alterungstests analytisch charakterisiert (inkl. IC-Ergebnisse Bulkanalyse bauschädliche Salze). Die Schädigungen sind nicht chemischer Natur sondern durch physikalisch/mechanische Effekte bedingt
4	AP4: Erstellung von Korrelationen „Schnelltest“ / reale Schädigung / Schädigungsausmaß	01.15	06.15	Die Salzschiiden aus dem Realeinsatz lassen sich durch geeignete „Schnelltests“ nachstellen. Die Schädigungen sind in beiden Fällen nicht chemischer Natur sondern durch physikalisch/mechanische Effekte bedingt
5	AP5: Erarbeitung eines Maßnahmenkatalogs für die Vermeidung von Salzschiiden an Gebäudesockeln	05.15	06.15	Die Ergebnisse werden der Baubranche in Form von Fachvorträgen und Veröffentlichungen (Richtlinie) zur Verfügung gestellt.

**Tabelle 1: Arbeitspakete****2.2 Beschreibung der im Berichtszeitraum durchgeführten Arbeiten**

Im Folgenden werden die im Projekt durchgeführten Arbeiten – nach Arbeitspaketen strukturiert - beschrieben und die Ergebnisse zusammengefasst.

**AP1: Analytische Erfassung von realen Schadensfällen**

Es wurden Real-Proben (RP) von geschädigten Gebäudesockeln an 6 unterschiedlichen Gebäuden in Wien entnommen (siehe Tabelle 1).

Von den realen Proben wurde die Konzentration an bauschädlichen Salzen an der Oberfläche sowie im Tiefenprofil (Elementanalyse mittels REM-EDX) sowie in den oberflächennahen Schichten (10mm; mittels Ionenchromatographie nach Vermahlen) bestimmt. Die Ergebnisse sind in den folgenden Abbildungen 1-4 wiedergegeben. Für die bauschädlichen Salze Chloride (Cl), Nitrate (NO<sub>3</sub>) und Sulfate (SO<sub>4</sub>) sind nach Norm B3355:2015 Grenzwerte definiert – sie sind in Tabelle 3 gemeinsam mit den Werten der gemessenen Massenprozentante wiedergegeben. Nur die Realproben 2 und 3 liegen unter den Grenzwerten.

Realproben		Probennummer	Adresse
		RP1	1160 Wien, Schinnaglgasse 3-5.
		RP2	1160 Wien, Herbststr. 86
		RP3	1190 Wien, Kreindlgasse 24
		RP4	1220 Wien, Stromstr. 40
		RP5	1160 Wien, Richard Wagner Platz 19
		RP6	1150 Wien, Wohnhaus Dingelstedgasse 3 (10 Probenamen!)

Tabelle 2: Realprobenbezeichnungen

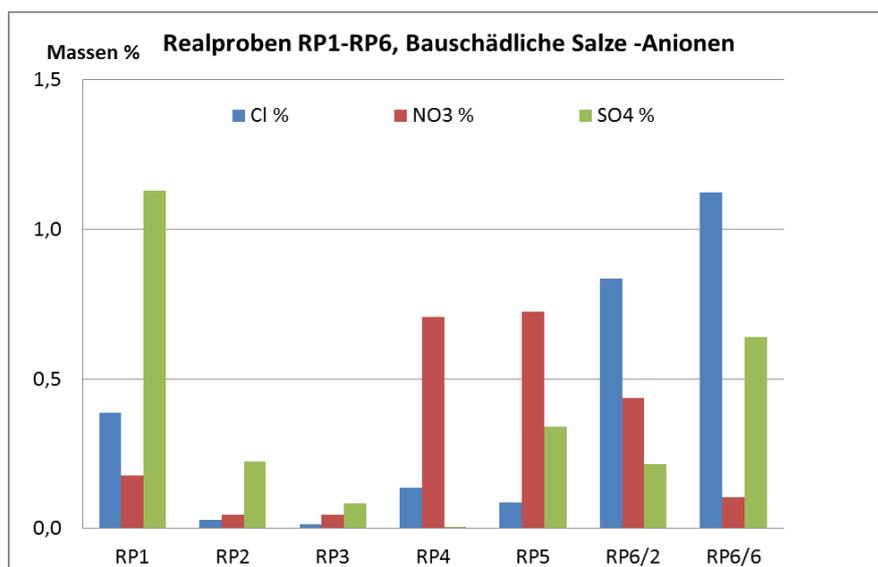
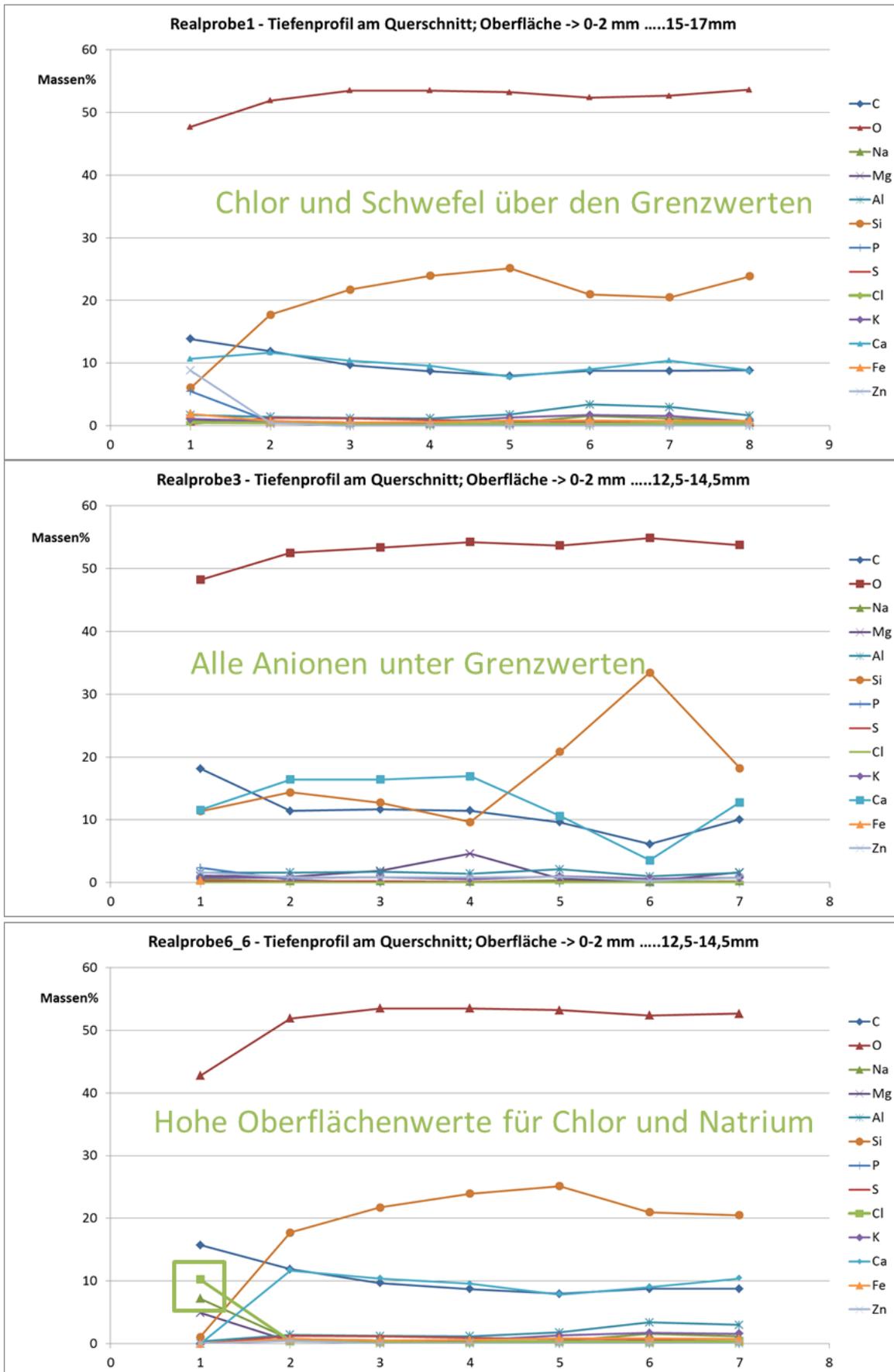


Abbildung 1: Massenprozent an bauschädlichen Salzen in der oberflächennahen (10mm) Schicht der Realproben; bestimmt mittels Ionenchromatographie.

	<b>Chlorid</b>	<b>Nitrat</b>	<b>Sulfat</b>
RP1			
RP2			
RP3			
RP4			
RP5			
RP6/2			
RP6/6			
Grenzwert Stufe 1	< 0,03	< 0,05	< 0,10
Grenzwert Stufe 2	0,03 - 0,10	0,05 - 0,15	0,10 - 0,25
Grenzwert Stufe 3	> 0,10	> 0,15	> 0,25
Stufe 1: keine Maßnahmen erforderlich			
Stufe 2: Maßnahmen im Einzelfall zu entscheiden			
Stufe 3: Maßnahmen erforderlich			

**Tabelle 3: Bewertung der Konzentrationen an bauschädlichen Salzen der Realproben nach Norm B3355: 2015**

Um den Verlauf der einzelnen Bestandteile (Elemente) als Funktion der Probtiefe erfassen zu können, wurden Querschliffe erstellt und immer 2mm-Mittelwerte mittels REM-EDX bestimmt. Exemplarisch sind die Profile von 3 Proben in Abbildung 2 wiedergegeben. In Übereinstimmung mit den oben gezeigten Analysendaten weisen die Proben RP1 und RP6\_2 erhöhte Chloridwerte (vor allem im Oberflächenbereich) auf. Da die Werte für Natrium (Na) einen parallelen Verlauf über das Querschnittsprofil zeigen, kann als Eintragsquelle eindeutig Natriumchlorid (NaCl, Kochsalz = Streumittel) identifiziert werden. Des Weiteren ist auffällig, dass in den oberflächennahen Schichten immer eine Abreicherung von Silizium (Si, von Silikaten bzw. Sand), Ca (Calcium, von Kalk) und Sauerstoff und eine Anreicherung an Kohlenstoff (C, wahrscheinlich von organischen Verschmutzungen) auftritt.



**Abbildung 3: Elementverteilung im Tiefenprofil der Realproben; 1= Oberflächenschicht (0-2mm) in Massenprozent; bestimmt mittels REM-EDX**

Mittels spektroskopischer Analysen wurden die Hauptkomponenten der Realproben wie folgt identifiziert (Tabelle 4). Es zeigt sich, dass alle realen Schadensfälle aus Verputzen mit den Hauptbestandteilen Kalk (CaCO<sub>3</sub>) und Silikaten/Sand (SiO<sub>2</sub>) bestehen – allerdings mit unterschiedlichen Mengenverhältnissen. 2 Muster (RP2 und RP4) zeigen auch deutlich Absorptionen von organischen Bindemitteln, die sehr wahrscheinlich von Anstrichen stammen.

	Hauptbestandteile
RP1	Kalk, Silikate/Sand,
RP2	Kalk, Silikate/Sand, Bindemittel (vermutlich Acrylat)
RP3	Kalk, Silikate/Sand
RP4	Kalk, Silikate/Sand, Bindemittel (vermutlich Acrylat), OH-haltige Mineralien
RP5	Kalk, Silikate/Sand
RP6	Kalk, Silikate

**Tabelle 4: Hauptbestandteile der Realproben (ermittelt mit Infrarotspektroskopie)**

**AP2+AP3: Entwicklung eines beschleunigten Alterungsverfahrens („Schnelltest“)+ begleitende Analytik**

Um die diversen Baumaterialien auf ihre Streusalzverträglichkeit prüfen zu können, wurde ein beschleunigter Alterungstest entwickelt. Zur Prüfung der Verträglichkeit wurden Muster der gängigsten Baumaterialien für den Gebäudesockelbereich (Natursteine, Kunststeine, Wärmedämmverbundsysteme (WDVS), Sanierputze, Zementputze) – Auflistung und Beschreibung siehe Tabelle 5 – mit diversen Streusalzen besprüht bzw. kontaktiert und die im Realfall vorkommenden Umweltbedingungen in künstlichen Alterungstests nachgestellt.

Bei der Entwicklung von geeigneten Prüfzyklen (kombinierte Salz- und Feuchteeinwirkung, abwechselnd mit Trockenphasen, Temperatur- und Einstrahlungsbelastung) musste sichergestellt werden, dass die Schädigungen, die an den Materialien durch die beschleunigenden Bedingungen auftreten, nach den gleichen Mechanismen ablaufen, wie unter Realbedingungen.

Baumaterialien für Gebäude- Sockelbereich / Musterprobenroben		
	Probennummer	Probenbeschreibung
	P1	Naturstein (von Fa. Breitwieser-Stein), Muschelkalk;
	P2	Kunstsandstein (Fa. Osliper Betonwerk; von Fa. Buschek)
	P3	Sanierputz, weiß auf Untergrund (von Fa. Sto)
	P4	Wärmedämmverbundsystem (von Fa. Sto)

	P5	Feuchtmauerputz PoroMent auf Untergrund (von Fa. Buschek)
	P6	Zementputz TrassZement auf Untergrund (von Fa. Buschek)
<b>Granitproben verschiedener Qualitäten (von Fa. Bamberger)</b>		
	G1	Herschenberger (ÖÖ) / K220 geschliffen
	G2	Hartberger (Ö) / poliert
	G3	Schremser FK (Ö) / poliert
	G4	Tarn (Frankreich) / geflammt
	G5	G603 (China) / poliert
	G6	G633 K220 (China) / geschliffen

**Tabelle 5: Realprobenbezeichnungen**

Zur Entwicklung dieses „Schnelltests“, der die Witterungseinflüsse mit dem chemischen Einfluss des Salzes kombiniert, wurden Parameter von beschleunigten Alterungstests, wie sie in anderen Werkstoffbranchen bzw. Anwendungsbereichen bereits eingesetzt werden (Automotive VDA233-102, VDA 621-415, PV1210; metallische Werkstoffe: ÖNORM EN ISO 9227 oder IEC 68-2-52), als Ausgangsbasis herangezogen. Allerdings stellte sich heraus, dass diese Bedingungen (Feuchtezyklen, Trockenphasen, Temperaturführung) auf die Baumaterialien zu geringe Effekte hatten und so eine Korrelation mit den realen Bauschadensbildern nicht möglich war.

Nach mehreren optimierenden Probeläufen von Schnelltests, wurde schließlich eine künstliche Alterungsprozedur ausgewählt, die auf Elementen der Norm „Festbeton Frost-Tau Prüfung ONR CEN/TS 12390-9“ beruht. Durch direkten Kontakt der Materialoberflächen mit der Streusalzlösung

während eine zyklische Änderung der Temperatur und Feuchtebedingungen ausgeführt wurde, führte zu einer Schädigung der Baumaterialien, die den realen Schadensbildern entsprechen. Die Details des beschleunigten Alterungstests, der in 20 Tagen abgeschlossen ist, sind im Folgenden beschrieben:

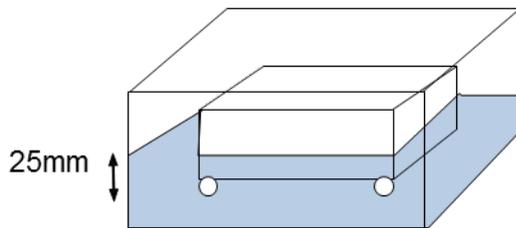
„Schnelltest zur Überprüfung der Streumittelbeständigkeit von Materialien für den Gebäudesockelbereich“

Erforderliche Geräte: Klimakammer mit einstellbarem Temperaturbereich zwischen -20°C und +20°C sowie einer regelbaren FeuchteEinstellung.

Probenkörpergröße: 10cm x 10cm

Salzlösung: 5%ige wässrige Lösung an Kochsalz (NaCl, Natriumchlorid) bzw. einem anderen Salztyps

Gefäß (Kunststoff) zur Aufnahme der Salzlösung: Probenkörper wird mit der Oberfläche nach unten auf 5mm Abstandshalter in die Salzlösung eingelegt (siehe Abbildung, Eintauchtiefe: 25mm



Das Kunststoffgefäß mit Salzlösung und Probenkörper wird in die Klimakammer gestellt und danach wird eine zyklische Veränderung von Temperatur und Feuchte durchfahren: Es werden 20 Zyklen durchgeführt, ein Zyklus dauert 22h.

Klimazyklen:

Schritt	Zeit [h]	Temperatur [°C]	Rel. Feuchte [%]		Temperatur [°C]	Rel. Feuchte [%]
1	5	+20,0	30	auf	-4,0	-
2	7	-4,0	-	auf	-18,5	-
3	4	-18,5	-	auf	-20,0	-
4	2	-20,0	-	auf	-1,0	-
5	4	-1,0	-	auf	+20	30

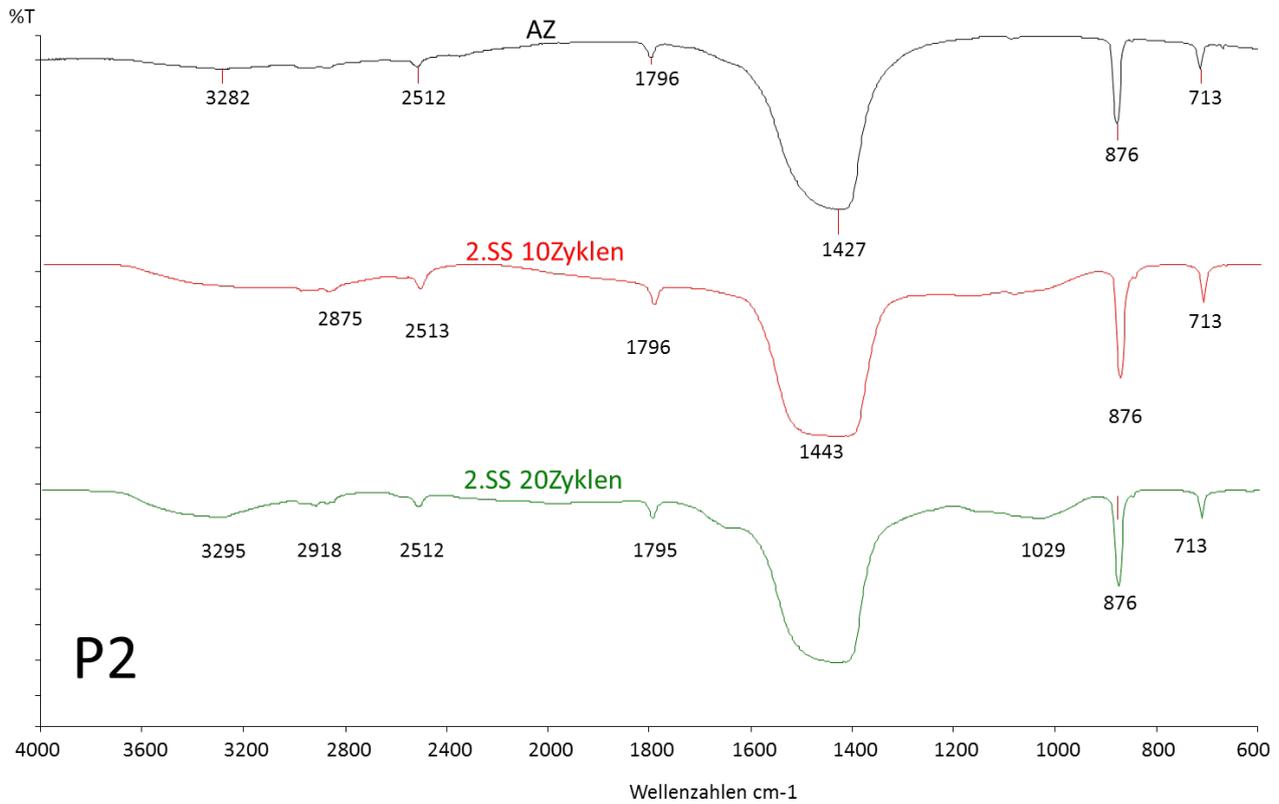
Nach dem Durchlaufen der 20 Zyklen wird der Probenkörper aus der Salzlösung gehoben und mit der Oberseite nach oben zum Trocknen aufgelegt.

Danach erfolgt

- eine visuelle Beurteilung der Oberfläche
- eine Rauigkeitsmessung der Oberfläche im Vergleich zur Originalprobe
- die Salzlösung wird filtriert und der Rückstand ausgewogen -> Maß für Gefügebrauch des Baumaterials.

So wie die real gealterten Proben, wurden auch die künstlich gealterten Proben einer intensiven analytischen Charakterisierung unterzogen. Aus den spektroskopischen Messungen (Infrarot-

Spektren der Probe P2, siehe Abbildung 4) konnte geschlossen werden, dass es zu keinem chemischen Angriff der Salzlösungen (getestet wurde das aktuell fast ausschließlich eingesetzte NaCl, sowie die potentiellen möglichen, weiteren Streusalze KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> und Natriumacetat) auf die Materialien kommt.



**Abbildung 4: IR-Spektren der Oberflächen von Probe P2 im Ausgangszustand und nach 10 und 20 Zyklen Lagerung mit NaCl-Lösung**

Die Oberfläche der Baumaterialien (siehe exemplarisch für die Proben P1, P3 und P% in Abbildung 5) zeigten (i) eine Zunahme der Rauigkeit (für die Granitproben G1-G6 in Abbildung 6) und v.a. bei den Putzproben (ii) eine Ablösung von Materialteilen (Gefügeauflösung).

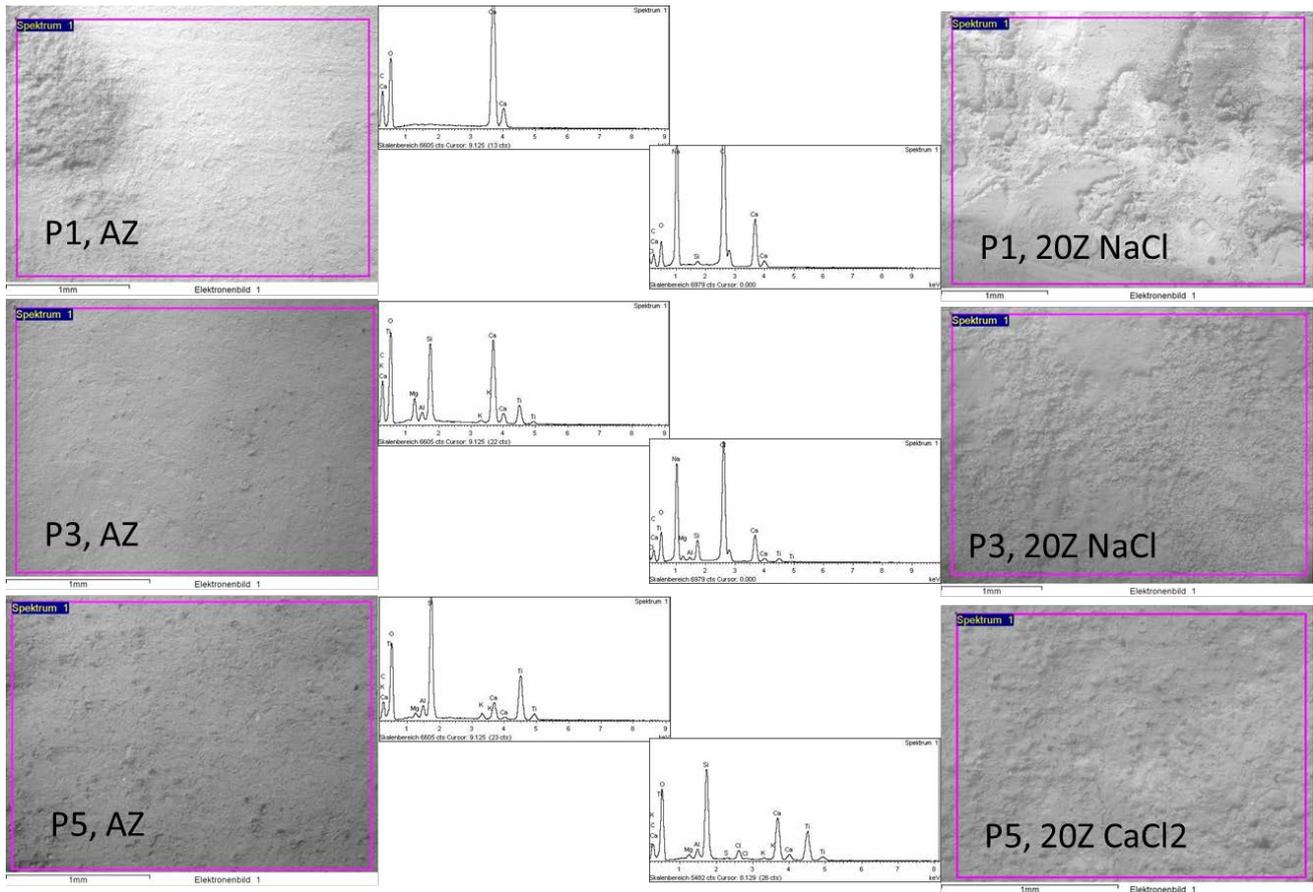


Abbildung 5: REM-Bilder und dazugehörige Elementverteilung der Oberflächen der Proben P1, P3 und P5 im Ausgangszustand und nach 20 Zyklen im Schnelltest.

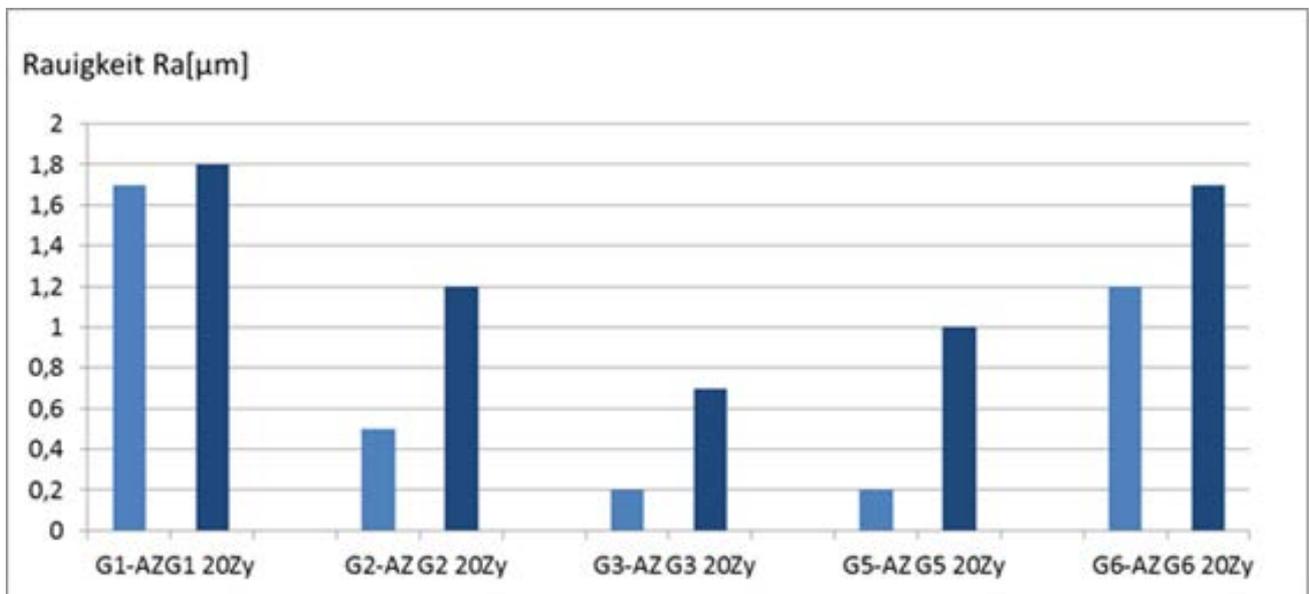
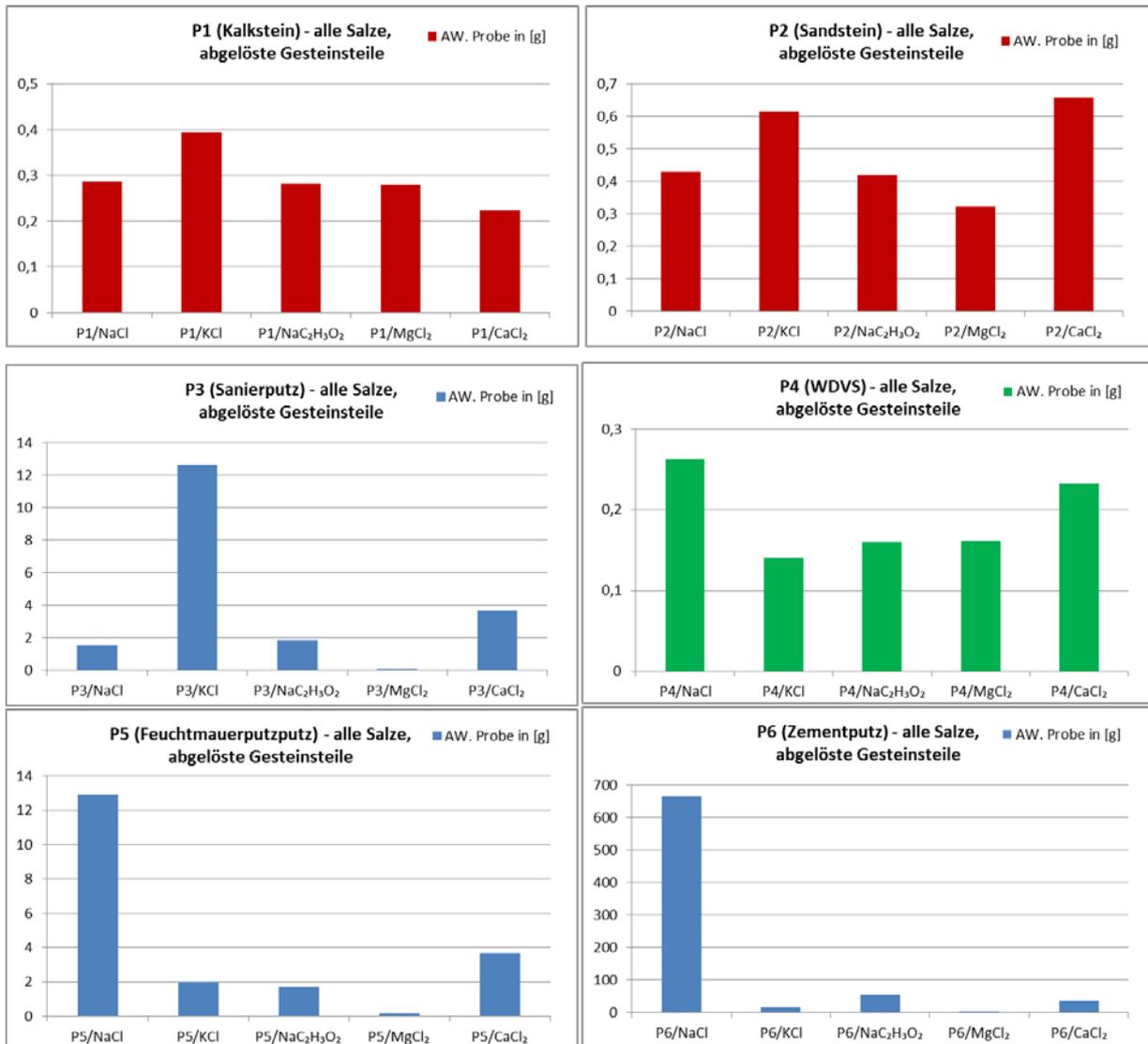


Abbildung 6: arithmetische Mittelrauhigkeit Ra der Oberflächen der Proben G1-G6 im Ausgangszustand und nach 20 Zyklen im Schnelltest.

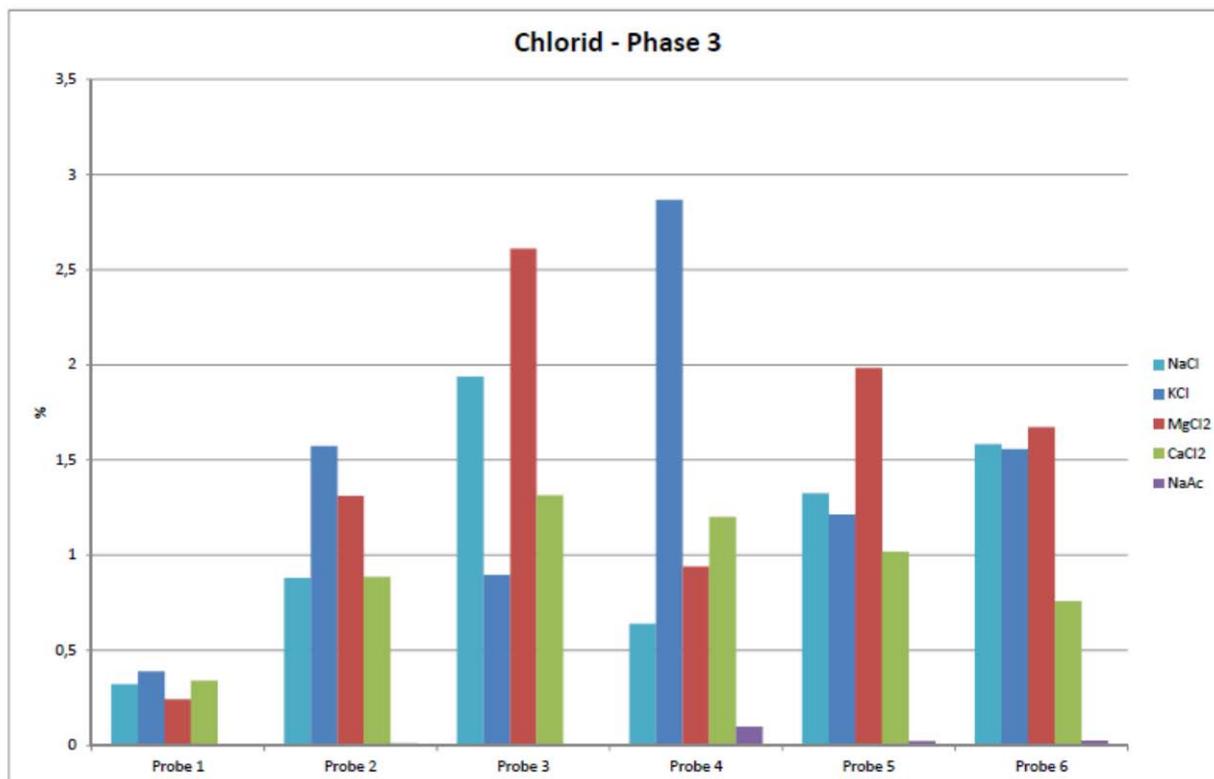
Die Ergebnisse der gravimetrischen Auswertung der abgelösten Materialteile nach 20Zyklen Schnelltest mit den unterschiedlichen Salzlösungen sind in Abbildung 7 wiedergegeben.



**Abbildung 7: Ergebnisse der gravimetrischen Auswertung der abgelösten Materialteile in [g]; Proben P1-P6 mit den unterschiedlichen Streusalzen nach 20Zyklen Schnelltest**

Aus den dargestellten Ergebnissen geht klar hervor, dass die Gesteinsproben P1 und P2 sowie auch die Granite G1-G6 nur geringe Abspregungen an Material durch den Schnelltest erfahren. Die Putzproben P3, P5 und P6 (ohne schützende Oberflächenschicht) hingegen zeigen starke Gefügeablösungen, am schlimmsten betroffen war die Probe P6 nach Lagerung mit NaCl.

Die Ergebnisse der Salzanalytik (Ionenchromatographie) der oberflächennahen Schichten nach Durchführung der Schnelltests sind in Abbildung 8 exemplarisch für Chlorid-Konzentrationen wiedergegeben. Wie bei den Real-Proben sind auch hier Chlorid-Konzentrationen >0,1 Massen% detektiert worden, was entsprechend dem Bewertungsschema der Norm B3355: 2015 „Massnahmen erforderlich“ bedeutet.



**Abbildung 8: Ergebnisse der Ionenchromatographischen Salzanalytik; Chloridkonzentrationen in Massen% der oberflächennahen Schichten der Proben P1-P6 nach Durchführung der Schnelltests (20Zyklen) mit unterschiedlichen Streusalztypen**

#### **AP4: Erstellung von Korrelationen „Schnelltest“ / reale Schädigung / Schädigungsausmaß**

Diese Resultate sind in gutem Übereinklang mit den Analysenergebnissen der realen Schadensfälle. Alle betroffenen Schäden waren auf Basis von Putzoberflächen. Es traten KEINE chemischen Schädigungen des Materials durch die Streusalzbelastung auf, sondern physikalisch/mechanische Schädigungen so wie z.B. Risse und Materialabspaltungen durch das Eindringen der Salzlösungen ins Gefüge (mehrere mm).

#### **AP5: Erarbeitung eines Maßnahmenkatalogs für die Vermeidung von Salzschäden an Gebäudesockeln**

Folgende Maßnahmen sind für die Vermeidung von Streusalzschäden im Gebäudesockelbereich erforderlich:

- Allgemein gilt, dass Baustoffe im Gebäudesockelbereich gut streusalzbeständig sind, wenn die Ablösungen vom 10x10 cm Probenkörper im „Schnelltest“ nach 20 Zyklen unter 1 g liegen.
- Wenn Natur- und Kunststeine verwendet werden, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes getestet worden sind, kann man davon ausgehen, dass diese mittel- bis langfristig streusalzbeständig sind.
- Im Gegensatz dazu müssen jedoch Sanier-, Feuchtmauer- und Zementputze sowie Wärmedämmverbundsysteme in der Spritzwasserzone mit einem hydrophoben Anstrich (Farbanstrich oder transparenter Anstrich) versehen werden, da sonst Streusalzschäden kurzfristig auftreten können. Wichtig dabei ist, dass hydrophobe Anstriche regelmäßig

(zumindest alle 3 bis 5 Jahre in Abhängigkeit der UV-Belastung) zu erneuern sind, da sie einem Abbauprozess unterworfen sind.

- Grundsätzlich ist auch eine Gefälleausbildung der an die Gebäudesockel anschließenden Geländeoberflächen weg vom Objekt unbedingt erforderlich, um ein Abfließen des Niederschlagswassers zu gewährleisten.

### **3. Projektteam und Kooperationen**

Das Projekt wurde – wie geplant und im Antrag beschrieben am OFI und UBA bearbeitet. Die Arbeitsaufteilung und Kostenstruktur blieb unverändert.

### **4. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Verwertung**

Im Juni 2015 fand ein Treffen in der Landesinnung Bau/Wien statt, bei dem das Projekt und die vorläufigen Ergebnisse vorgestellt wurden und die weiteren Verwertungsmaßnahmen besprochen wurden:

- Mit dem Endbericht wird eine Baurichtlinie mit Stand 09.2015 abgegeben (enthält detaillierte Angaben zum erarbeiteten „Schnelltest“)
- Informationsveranstaltung mit Ergebnispräsentation in der Landesinnung Bau/Wien am 21.10.2015 für alle Mitglieder der Innung
- Artikel/ Vorstellung des Projektes in der Bauzeitung: Bauzeitung 145/2014; Seite 40/41
- geplant für 10/2015: Ergebnispublikation in der Bauzeitung
- Publikation der Forschungsergebnisse auf der Webseite des Kompetenzzentrums für Bauforschung unter [www.forschung.bau.or.at](http://www.forschung.bau.or.at).

### **5. Erläuterungen zu Kosten & Finanzierung**

Die Abrechnung erfolgt mit der dafür vorgesehenen Vorlage im Excel-Format. Vom eingereichten Kostenplan wurde nicht abgewichen.

### **6. Projektspezifische Sonderbedingungen und Auflagen**

Die Verlängerung des ursprünglich vorgesehenen Projektendes per 31.3.2015 um drei Monate auf 30.6.2015 wurde von der FFG genehmigt.

### **7. Meldungspflichtige Ereignisse**

Es sind keine meldungspflichtigen Ereignisse aufgetreten.