

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	10
Liste der im Text verwendeten Abkürzungen	10
1. Einführung und Problemstellung	11
2. Untersuchte Gesteine	13
2.1. Auswahlkriterien	13
2.2. Geologische Herkunft und technische Verwendung als Baustein	13
2.2.1. Lindlarer Grauwacke	13
2.2.2. Lossburger Sandstein	13
2.2.3. Seedorfer Sandstein	13
2.2.4. Heilbronner Sandstein	14
2.2.5. Velpker Sandstein	14
3. Gesteinsspezifische Parameter	14
3.1. Untersuchung der sedimentologischen und diagenetisch bedingten Eigenschaften	14
3.1.1. Untersuchungsmethoden zur Erfassung der mineralogischen und Gefügeigenschaften	14
3.1.2. Modalbestand	17
3.1.3. Korngrößenverteilung	17
3.1.4. Sonstige Gefügeigenschaften	19
3.2. Untersuchung porenraumbezogener Merkmale	19
3.2.1. Porosität und Wasseraufnahme	19
3.2.2. Kapillare Wasseraufnahme	20
3.2.3. Hygroskopische Wasseraufnahme	22
3.2.4. Dampfförmiger Wassertransport	24
3.2.5. Porengrößenverteilung und Porengeometrie	27
3.3. Festigkeits- und Verformungseigenschaften unter mechanischer Beanspruchung	30
3.3.1. Dichte und Trockenrohddichte	30
3.3.2. Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit	31
3.3.3. Allgemeines zur Gesteinsverformung unter statischen und dynamischen Bedingungen	31
3.3.4. Statisch bestimmter E-Modul aus dem Biegezugversuch	32
3.3.5. Dynamisch bestimmter E-Modul mit dem GRINDOSONIC-Verfahren	32
3.4. Verformungseigenschaften unter hydrischer und thermischer Beanspruchung	37
3.4.1. Hygrische Längenänderung	37
3.4.2. Thermische Längenänderung	38
3.5. Thermophysikalisches Verhalten	40
3.6. Zusammenfassung der Ergebnisse zur Ermittlung der gesteinsphysikalischen Parameter	41
4. Temperaturverwitterung	42
5. Die Eisbildung im Porenraum von Sandsteinen und ihre Auswirkung auf das Gefüge	43
5.1. Wasser - Eigenschaften und Verhalten im Porenraum	43
5.2. Theorien zur Frostverwitterung im Spiegel der Literatur	44
5.2.1. Volumenexpansions-Modell	44
5.2.2. Hydraulischer Druck	45
5.2.3. Linearer Wachstumsdruck	45
5.2.4. "Ordered water"-Modell	45
5.2.5. Kapillardruck-Modell	46
5.2.6. Thermodynamisches Modell	47
5.2.7. "Eislinsen"-Modell	47
5.3. Simulation der Frostverwitterung im Labor und Möglichkeiten zum Nachweis von dadurch bedingten Gefüge- veränderungen	48
5.4. Vorgänge im unterschiedlich gesättigten Porenraum von Sandsteinen beim erstmaligen Gefrieren	49
5.4.1. Versuchsaufbau und Präparation der Proben	49
5.4.2. Längenänderungsverhalten teilgesättigter Proben	49
5.4.3. Längenänderungsverhalten vollgesättigter Proben	54
5.5. Anwendung der Methode der Kryopräparation zur Untersuchung der Verteilung des Eises im Porenraum	56
5.5.1. Vorbereitung der Proben	56
5.5.2. Die Methode der Kryopräparation	59
5.5.3. Untersuchungsergebnisse	59
5.6. Gefügeveränderungen bei vielfachem Gefrieren und Auftauen an unterschiedlich gesättigten Proben	61

	Seite
5.6.1.	Gefügeveränderungen an teilgesättigten Proben 61
5.6.2.	Der Einfluß des Sättigungsgrades 69
5.6.3.	Gefügeveränderungen an vollgesättigten Proben 71
5.7.	Schadensbilder an Sandsteinen im makroskopischen, mikroskopischen und ultramikroskopischen Bereich infolge der Eisbildung in ihrem Porenraum 78
5.8.	Übertragbarkeit der Laborergebnisse auf das tatsächliche Verhalten am Bauwerk 78
5.9.	Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Untersuchungen zur Eisbildung im Porenraum von Sandsteinen und ihrer Auswirkungen auf das Gefüge 81
6.	Die Salzkristallisation im Porenraum von Sandsteinen und ihre Auswirkung auf das Gefüge 82
6.1.	Salze - Art, Herkunft, Verbreitung und Verhalten im Porenraum 82
6.2.	Theorien zur Salzverwitterung im Spiegel der Literatur 83
6.2.1.	Hydrostatischer Kristallisationsdruck 83
6.2.2.	Linearer Wachstumsdruck 84
6.2.3.	Hydratationsdruck 84
6.2.4.	Kapillardruck-Modell 85
6.2.5.	"Salzfilm"-Modell 85
6.2.6.	Osmotischer Druck 85
6.2.7.	Beeinflussung hygischer und thermischer Effekte 86
6.3.	Der Kristallisationstest mit Natriumsulfat zur Simulation der Salzverwitterung im Labor 86
6.4.	Die Auswertung des Kristallisationstestes mit herkömmlichen Methoden 87
6.4.1.	Phänomenologische Betrachtung des Schadensablaufes 87
6.4.2.	Der Verlauf der Massenänderung 88
6.5.	Begleitende Untersuchungen während des Kristallisationsversuches 89
6.5.1.	Die Änderung der Porosität durch Salzeinlagerung und -sprengung während des Versuchsablaufes 89
6.5.2.	Modell zur Berechnung der Füllung des Porenraumes mit Salz 91
6.5.3.	Die Änderung des dynamischen E-Moduls während des Versuchsablaufes 92
6.6.	Mikroskopische Untersuchungen zu den Auswirkungen der Salzkristallisation auf das Gefüge von Sandsteinen 94
6.6.1.	Lichtmikroskopische Untersuchungen 94
6.6.2.	Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen 103
6.6.3.	Einsatz der Kryopräparation zur elektronenmikroskopischen Darstellung von Mirabilit 103
6.7.	Zusammenfassende Betrachtung zum Zerstörungsmechanismus des Kristallisationstestes mit Natriumsulfat 104
6.8.	Übertragbarkeit der Laborergebnisse auf das tatsächliche Verhalten am Bauwerk 105
6.9.	Zusammenfassung der Ergebnisse zu den Untersuchungen zur Salz(um)kristallisation im Porenraum von Sandsteinen und ihrer Auswirkung auf das Gefüge 105
7.	Zusammenfassung 107
8.	Literaturverzeichnis 109
 ANHANG	
I.	Verzeichnis der Tabellen 115
II.	Verzeichnis der Abbildungen 116