

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorbemerkungen .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einführung in die Problematik.....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Fallbeispiele und ihre geologische Interpretation .....</b>	<b>4</b>
3.1	Vorbemerkungen .....	4
3.2	Schloß Heidecksburg .....	4
3.3	Abteikirche Neresheim.....	9
<b>4</b>	<b>Grundformen der hydromechanischen Bodenverformung .....</b>	<b>16</b>
4.1	Suffosion .....	17
4.2	Erosion.....	18
<b>5</b>	<b>Möglichkeiten der Sanierung .....</b>	<b>22</b>
<b>6</b>	<b>Grundlegende Überlegungen zur Entwicklung eines alternativen Stabilisierungsverfahrens.....</b>	<b>26</b>
6.1	Die chemischen Grundlagen des Gelierprozesses .....	26
6.2	Phasenmodell.....	32
6.3	Modellvorstellung dränfähige Stabilisierungsinjektionen (DRÄNSTAB-Verfahren) ...	35
6.4	Ausbreitung von Wasserglas in der ungesättigten Bodenzone.....	39
6.4.1	Grundüberlegungen .....	39
6.4.2	Quantitative Zusammenhänge .....	44
6.4.2.1	Radiale Ausbreitung .....	44
6.4.2.2	Vertikale Ausbreitung .....	48
6.4.2.3	Zeitliche Absickerung des Einpreßmittels in der ungesättigten Bodenzone .....	49
6.4.2.4	Quantifizierung des Einpreßvolumens.....	59
6.4.2.5	Behandlungsdauer .....	61
6.4.2.6	Injektionsdrücke.....	63
6.5	Härtereinpressung.....	66
6.6	Schlußfolgerungen.....	67

<b>7</b>	<b>Verifizierung der theoretischen Überlegungen durch experimentelle</b>	
	<b>Untersuchungen .....</b>	<b>71</b>
7.1	Experimentelle Untersuchungen .....	71
7.1.1	Versuche an Bodenelementen .....	71
7.1.2	Versuche an Großproben.....	83
7.1.2.1	Versuche mit einer Einpreßstelle in einem Injektionshalbzylinder .....	83
7.1.2.2	Versuch an einer Großprobe mit 3 Verpreßstellen .....	92
7.1.2.3	Visualisierung der Wirkung des DRÄNSTAB-Verfahrens .....	103
7.2	Erprobung des DRÄNSTAB-Verfahrens unter realen Bedingungen .....	107
7.2.1	Injektionstechnik und Anordnung der Einpreßstellen.....	107
7.2.2	Versuchsdurchführung und Ergebnisse .....	109
<b>8</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung der durchgeführten Untersuchungen .....</b>	<b>113</b>
<b>9</b>	<b>Beurteilung der Umweltverträglichkeit des DRÄNSTAB-Verfahrens.....</b>	<b>114</b>
<b>10</b>	<b>Denkbare Anwendungsbereiche des DRÄNSTAB-Injektionsverfahrens .....</b>	<b>119</b>
10.1	Anwendungsbereich Baudenkmäler.....	120
10.2	Anwendungsbereich Dammbau .....	121
<b>11</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>124</b>
<b>12</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>126</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Beispiel für überdeckten Karst (MOLEK, 1997; verändert).....	2
Abb. 2.2:	Beispiel für Bodendeformation (hier: Erdfall) infolge der hydromechanischen Wirkungen des Wassers innerhalb der Deckschichten eines überdeckten Karstes.....	3
Abb. 3.1:	Gründungssituation und Schadensprozeß der Heidecksburg/Thüringen (Schemazeichnung) .....	6
Abb. 3.2:	Zu Spalten erweiterte Klüfte in einem Stollen im Zechsteinkalk unterhalb des Schloßberges der Heidecksburg (aus HEISE & SCHLEUSSNER, 1993). .....	7
Abb. 3.3:	Starke Ribbildung an der "Alten Wache" der Heidecksburg.....	8
Abb. 3.4:	Die Klosteranlage in Neresheim (Blick von SW).....	10
Abb. 3.5:	Beispiel für die Bauwerksschäden an der Abteikirche Neresheim vor der Sanierung 1973 (Ribbild nördliches Querschiff; aus: PIEPER, 1983) .....	10
Abb. 3.6:	Maßgebende Merkmale des Standortes der Abteikirche Neresheim (schematisch) .....	11
Abb. 3.7:	Ergebnisse von Bewegungsmessungen an der NW-Ecke der Abteikirche in Neresheim (VOGEL & KAST, 1994).....	11
Abb. 3.8:	Bunte Brekzie mit matrix-gestütztem Gefüge im Bereich der Abteikirche in Neresheim (Bohrkernaufnahme) .....	12
Abb. 3.9:	Bunte Brekzie im Bereich der Abteikirche in Neresheim mit Grieslage des Weißjura $\zeta$ (Schurtaufnahme).....	13
Abb. 3.10:	Geologischer Profilschnitt durch den Bereich der Abteikirche in Neresheim (Profil überhöht und schematisiert).....	13
Abb. 3.11:	Korngrößenverteilung der einzelnen Bereiche innerhalb der Lockergesteinsdeckschichten ("Bunte Brekzie") in Neresheim.....	14
Abb. 3.12:	Grundwasserhöhengleichen (Isolinien) der „hängenden“ Wässer innerhalb der Bunten Brekzie im Bereich der Abteikirche Neresheim .....	15
Abb. 4.1:	Schematische Darstellung der Suffosion bei Erdstoffen mit Einzelkorngefüge ....	17
Abb. 4.2:	Schematische Darstellung der Haupttypen der Kontaktsuffosion und Erosion (nach BUSCH ET AL., 1993). .....	18
Abb. 4.3:	Schematische Darstellung der Erosion nichtbindiger Erdstoffe: a) äußere Erosion; b) innere Erosion; c) Fugenerosion; d) Kontakterosion (BUSCH ET AL., 1993). .....	18
Abb. 4.4:	Junge, quartäre Ablagerungen: Beispiele für extrem erosions- und suffosionsanfällige Lockergesteinsablagerungen.....	20
Abb. 5.1:	Grund- und Sickerwasseraufstau infolge einer Baugrundstabilisierung mittels herkömmlicher Verfahren (schematisch). .....	25
Abb. 6.1:	Phasendiagramm des Systems $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ (MÜLLER-KIRCHENBAUER & SAVIDIS, 1982).....	27
Abb. 6.2:	Hydrolyse der Polykieselsäureketten.....	28
Abb. 6.3:	Kolloidteilchen mit Hydrathülle .....	29
Abb. 6.4:	Brückenbildung durch Neutralisationswirkung der zugegebenen Kationen .....	30
Abb. 6.5:	Abhängigkeit der Viskosität und Dichte einer Wasserglaslösung von ihrem Wasseranteil $w_{\text{WG}}$ .....	31
Abb. 6.6:	Spezifische Oberflächenenergie ( $\sigma^*$ ) von Wasserglas (für seine Grenzschicht gegen Luft) im Vergleich zu Wasser, in Abhängigkeit von der Temperatur. ....	33

Abb. 6.7:	Wasserglas verdrängt als besser benetzende Phase Wasser auf den Kornoberflächen.....	33
Abb. 6.8:	Joosten-Verfahren: Modell der Ausbreitung von Wasserglas und $\text{CaCl}_2$ und Gelbildungsreaktion im Porenraum:.....	34
Abb. 6.9:	Ausbreitung des Wasserglases unter Einfluß der Schwerkraft unmittelbar nach Beendigung der Wasserglasinjektion.....	37
Abb. 6.10:	Gelbildung an den Wänden der Porenkanäle und in den Porenzwickeln (schematisch) .....	38
Abb. 6.11:	Dränfähige Stabilisierungsinjektionen: Modell der Ausbreitung von Wasserglas und $\text{CaCl}_2$ sowie der Gelbildung im Porenraum: .....	39
Abb. 6.12:	Beispiel für die Ausbreitung eines newtonschen Injektionsfluides von einer punktförmigen Einpreßstelle aus bei konstanter Einpreßrate $Q$ , im ungesättigten Untergrund (dargestellt: Druckentwicklung im Porenraum, Sickenetz unter stationären Abströmbedingungen) .....	41
Abb. 6.13:	Abfolge von Sättigungsprofilen bei der Verpressung eines Injektionsmediums in der ungesättigten Bodenzone, mit anschließender Absickerung nach unten (schematisch).....	43
Abb. 6.14:	Ausbreitung eines Injektionsmediums in der ungesättigten Bodenzone.....	45
Abb. 6.15:	Form eines stabilisierten Bodenkörpers bei zopfförmigem Abfließen des Injektionsmediums infolge eines niedrigen $Q/k_{\text{WG}}$ – Verhältnisses (Versuch im Injektionshalbzylinder; s. Kap. 7.1.2.1) .....	45
Abb. 6.16:	Abhängigkeit der maximal erzielbaren lateralen Reichweite ( $r_{\text{max}}$ ) von der Durchlässigkeit des Bodens für Wasserglas ( $k_{\text{WG}}$ ) und der Einpreßrate ( $Q$ ).....	46
Abb. 6.17:	Minimal erforderliche Einpreßzeit $t_{\text{erf}}$ in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit ( $k_{\text{WG}}$ ) und der Einpreßrate ( $Q$ ); $n = 0,30$ .....	47
Abb. 6.18:	Geometrie des benetzten Bodenkörpers (Schemazeichnung).....	48
Abb. 6.19:	Tiefenreichweite ( $T$ ) des Wasserglases in Abhängigkeit vom Einpreßvolumen ( $V$ ) und der Porosität ( $n$ ); (Beispiel: $\text{FK} = 200 \text{ l/m}^3$ ). .....	50
Abb. 6.20:	Vereinfachtes Schema zur vertikalen Absickerung eines Einpreßmittels in der ungesättigten Zone .....	51
Abb. 6.21:	Beispiele für die Abhängigkeit der Dauer der Ausbreitung $t_e$ einer Wasserglaslösung in der ungesättigten Zone bei unterschiedlichen Durchlässigkeiten vom Porenanteil ( $n$ ) und von der Feldkapazität ( $\text{FK}$ ); hier: $h_0=0,30\text{m}$ .....	53
Abb. 6.22:	Ausbreitung eines Injektionsmittels in der ungesättigten Bodenzone bei unterschiedlichen $Q/k$ -Verhältnissen (links: zopfförmiges Absickern bei geringem $Q/k$ -Verhältnis; rechts: kugelförmige Ausbreitung bei hohem $Q/k$ -Verhältnis; dargestellt: Sättigungsfront; vgl. hierzu auch Abb. 6.14 und Abb. 6.15).....	54
Abb. 6.23:	Beispiel für das vertikale Absickern von Wasser (links) bzw. einer Wasserglaslösung (rechts) in einem ungesättigten Erdstoff (Tiefe: $0 - 27 \text{ cm}$ : Porenraum anfangs gesättigt): Ergebnisse der Simulation mit Hilfe des FE-Programmpaketes HYDRUS_2D (Zeit: $t$ ; $n = 0,37$ ). .....	57
Abb. 6.24:	Beispiele für die vertikalen Ausbreitungsgeschwindigkeiten einer Wasser- bzw. Wasserglasfront in Erdstoffen unterschiedlicher Durchlässigkeit. ....	59
Abb. 6.25:	Diagramm zur Bestimmung des erforderlichen Einpreßvolumens ( $V$ ) und der dabei erzielbaren radialen Ausbreitung ( $r$ ), ausgehend von einer gewünschten Tiefenwirkung ( $T$ ), bei bekannter Porosität ( $n$ ) und zuvor ermittelter Feldkapazität ( $\text{FK}$ ) des Bodens (Beispiel hier: $n = 0,35$ ; $\text{FK} = 200 \text{ l/m}^3$ ). .....	60

Abb. 6.26:	Beispiel für tiefenmäßig gestaffelte Einpressung (Beispiel hier: $k = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$ ; $d_1 > d_2$ bei jeweils gleichem Wasserglas-Einpreßvolumen). .....	62
Abb. 6.27:	Beispiel für den Überdruck ( $p$ ) im Boden in Abhängigkeit von der Entfernung zur Einpreßstelle, bei unterschiedlichen Einpreßraten und nach Einpressen eines bestimmten Wasserglasvolumens .....	65
Abb. 6.28:	Beispiel für den Einfluß des Einpreßvolumens ( $V_{\text{mom}}$ ) auf den Einpreßdruck im Boden (mit konstanter Einpreßrate von $Q = 0,25 \text{ l/min}$ ). .....	66
Abb. 6.29:	Überdruck unmittelbar an der Austrittsstelle in Abhängigkeit von der Einpreßrate bei unterschiedlichen Durchlässigkeiten ( $k_w$ ) des Bodens ( $n=0,35$ ; $V_{\text{mom}}=10 \text{ l}$ ) .....	68
Abb. 6.30:	Schema zur empfohlenen Vorgehensweise für die Bemessung der DRÄNSTAB-Injektionskörper (die eckigen Klammern verweisen auf die entsprechenden Formeln).....	70
Abb. 7.1:	Korngrößenverteilung der verwendeten Probenmaterialien .....	72
Abb. 7.2:	Versuchsaufbau für die Versuche an den Bodenelementen zur Bestimmung der Feldkapazitäten .....	73
Abb. 7.3:	In den Versuchen ermittelte Feldkapazitäten der Probenmaterialien bei unterschiedlichen Wassergehalten ( $w_{\text{WG}}$ ) des verwendeten Wasserglases (oben), sowie die entsprechenden Sättigungsgrade bei Feldkapazität ( $S_{\text{FK}}$ ), in Abhängigkeit vom Wassergehalt der Wasserglaslösung (unten).....	74
Abb. 7.4:	Abhängigkeit der Feldkapazität von der Zähigkeit (Viskosität) der verwendeten Wasserglaslösung .....	75
Abb. 7.5:	Abhängigkeit der Feldkapazität unterschiedlicher Probenmaterialien für Wasserglas in Abhängigkeit von deren spezifischen Oberflächen O (Bestimmung der spez. Oberfläche nach BEYER, 1967).....	76
Abb. 7.6:	Abhängigkeit der Feldkapazität der Probenmaterialien von der wirksamen Korngröße $d_w$ .....	76
Abb. 7.7:	Abhängigkeit der einaxialen Festigkeiten der stabilisierten Prüfkörper von der Verdünnung des Wasserglases (Abschergeschwindigkeit bezügl. Ausgangsprobenhöhe: $0,2\% / \text{min}$ ; Probenbezeichnung vgl. Tab. 7.1).....	78
Abb. 7.8:	Schnittbild durch Porenraum (schematisch) .....	79
Abb. 7.9:	Abhängigkeit der Festigkeit von der Feldkapazität von stabilisierten Probekörpern mit einer Wasserglaslösung Bé 37/40 ( $w_{\text{WG}} = 63,6 \text{ M}\%$ ).....	79
Abb. 7.10:	Abhängigkeit der Durchlässigkeitsverringerng ( $\alpha$ ) von der Größe der Feldkapazität ( $\text{FK}_{\text{WG}}$ ) .....	81
Abb. 7.11:	Abhängigkeit der Durchlässigkeitsverringerng $\alpha$ vom Korndurchmesser bei $10\%$ Siebdurchgang ( $d_{10}$ ).....	81
Abb. 7.12:	Injektionshalbzylinder mit Plexiglasfrontscheibe (Abmessungen: $\varnothing$ : $920 \text{ mm}$ , Höhe: $1020 \text{ mm}$ ) .....	84
Abb. 7.13:	Ermittlung des erforderlichen Wasserglasvolumens für den Laborversuch (IT V2) im Injektionshalbzylinder ( $n = 0,37$ ; $\text{FK} = 122 \text{ l/m}^3$ ). .....	85
Abb. 7.14:	Berechnete Porendrücke bei Versuch IT V2 im Injektionshalbzylinder bei konstanter Verpreßrate $Q = 0,3 \text{ l/min}$ (vgl. hierzu Kap. 5.4.2.6) .....	86
Abb. 7.15:	Druckverlauf [ $p$ ] und Verpreßrate [ $Q$ ] bei Eingabe von Wasserglas (1. Injektionsphase - oben) und $\text{CaCl}_2$ - Härter (3. Injektionsphase - unten) zur Herstellung eines dränfähigen Injektionskörpers im Injektionshalbzylinder (hier: Versuch IT V2; Dauer der Ausbreitungsphase zwischen den beiden Injektionsschritten ca. $60 \text{ Minuten}$ ). .....	87
Abb. 7.16:	Beispiele für einen Injektionskörper, hergestellt im Injektionshalbzylinder.....	89

Abb. 7.17:	Weitere Beispiele für Injektionskörper mit „Finger“-Bildung.....	90
Abb. 7.18:	3D-Darstellung als Ergebnis der Vermessung eines Stabilisierungskörpers; liegende Fläche entspricht dabei der Plexiglas-Frontscheibe; Verpreßstelle bei Koordinaten 30/15 ( $V_{WG}$ : 4,8 l; $V_{CaCl_2}$ : 8 l; $n = 0,37$ ; $FK$ : 122 l/m <sup>3</sup> ). .....	90
Abb. 7.19:	Aufbau des Großversuches mit 3 Verpreßstellen (Probendurchmesser: 0,80 m). .....	93
Abb. 7.20:	Probenbehälter des Großversuches im Labor. (Durchmesser: 0,80 m, Höhe: 0,97 m, Abstand der Eingabestellen 1 – 3: 0,45 m). Anordnung der Verpreßstellen (Wasserglas:1 – 3; $CaCl_2$ : 1* - 4*). .....	94
Abb. 7.21:	Kornverteilung des Materials vom Standort des späteren Feldversuches ( $U = 29$ ). .....	94
Abb. 7.22:	Schemaskizze über die Einbaulänge der Injektionsschläuche und die Länge der Verpreßstrecken (1 – 3: Wasserglaseinpreßschläuche, 1* - 4*: $CaCl_2$ - Einpreßschläuche).....	96
Abb. 7.23:	Verpreßschlauch für Calciumchlorid (oben) und Wasserglas (unten). .....	96
Abb. 7.24:	Ermittlung der erforderlichen Wasserglas-Verpreßmenge je Eingabestelle für den Großversuch: $V_{WG,erf.} = 22$ l/Eingabestelle; $r = 0,27$ m; Bodenparameter: $n = 0,29$ $FK_{WG} = 186$ l/m <sup>3</sup> . .....	97
Abb. 7.25:	Entwicklung von Verpreßdruck ( $p$ ) und Durchfluß ( $Q$ ) während der Verpressung von Wasserglas über Schlauch 1 (vgl. Abb. 7.20).....	98
Abb. 7.26:	Entwicklung von Verpreßdruck ( $p$ ) und Durchfluß ( $Q$ ) während der Verpressung von $CaCl_2$ über Schlauch 2* .....	99
Abb. 7.27:	Entwicklung der Druckhöhen in den eingebauten Piezometerröhrchen bei Wasserglasverpressung ( $Q = 0,4$ l/min) über Eingabestelle Lanze 2.....	99
Abb. 7.28:	Entwicklung des Porendruckes beim Verpressen von Wasserglas ( $Q = 1$ l/min) über Eingabestelle Lanze 2. ....	100
Abb. 7.29:	Vergleich der berechneten mit der in den Piezometern gemessenen Überdruckentwicklung im Porenraum der Probe, beim Verpressen von Wasserglas, in Abhängigkeit von dem verpreßten Wasserglasvolumen und der Entfernung von der Eingabestelle 2.....	101
Abb. 7.30:	Freipräparierter Injektionskörper aus Laborversuch mit 3 Eingabestellen .....	102
Abb. 7.31:	Mikroskopische Aufnahme des Korngefüges des im Großversuch stabilisierten Bodenkörpers (Vergrößerung : ca. 3-fach). .....	104
Abb. 7.32:	Mikroskopische Aufnahme des Korngefüges des im Großversuch stabilisierten Bodenkörpers (Vergrößerung : ca. 5-fach). .....	104
Abb. 7.33:	Mikroskopische Aufnahme des Korngefüges des im Großversuch stabilisierten Bodenkörpers. Mit Silikatgel stabilisierte Kornkontakte sind durch Kreise markiert. (Vergrößerung: ca. 6-fach). .....	105
Abb. 7.34:	Gelbildung an den Kornkontakten (Ausschnitt ca. 15-fach vergrößert) .....	114
Abb. 7.35:	Darstellung des Untergrundaufbaus im Bereich des Standortes des Feldversuches (SANNWALD, 1997).....	107
Abb. 7.36:	Anordnung der Einpreßstellen beim Feldversuch für Wasserglas und $CaCl_2$ ).....	108
Abb. 7.37:	Grundriß des Testfeldes mit Anordnung der Einpreßstellen.....	108
Abb. 7.38:	Versuchsaufbau Feldversuch: (1) Vorratsbehälter mit Einpreßmittel; (2) Pumpe; (3) induktiver Durchflußmesser; (4) Einpreßpult; (5) Einpreßschlauch für Wasserglas; (6) Einpreßschlauch für $CaCl_2$ .....	110
Abb. 7.39:	Freilegung des verfestigten Bodenbereiches im Testfeldes.....	111
Abb. 7.40:	Im Feldversuch hergestellter dränfähiger Injektionskörper.....	111

Abb. 7.41: Verfestigter Bodenbereich mit Leerkieslage.....	112
Abb. 7.42: Versuche zur Bestimmung der Durchlässigkeit des im Feldversuch hergestellten dränfähigen Injektionsköpers.....	113
Abb. 8.1 Anwendungsbereich DRÄNSTAB-Behandlungsverfahren. ....	114
Abb. 9.1: Verlauf einer Grundwasserkontamination (nach MARTAK, 1988; aus KUTZNER, 1991) .....	117
Abb. 10.1: Möglichkeit der Stabilisierung der Lockergesteinsdeckschichten über den Klüften im Bereich der Heidecksburg (schematisch) .....	121
Abb. 10.2: Beispiel für rückschreitende Erosion unter einem Hochwasserdamm mit Quelltrichterbildung auf der Luftseite und Kanalentwicklung unterhalb einer bindigen Deckschicht (MIESEL, 1978) .....	122
Abb. 10.3: Beispiel für die Stabilisierung des geschichteten Dammuntergrundes zur Vermeidung von Kontaktflächenerosion/-suffosion.....	123

## Zusammenfassung

In Gebieten mit überdecktem Karst stehen die Ursachen von Schäden an Bauwerken häufig im Zusammenhang mit den Wirkungen des Wassers innerhalb der Lockergesteinsdeckschichten. Diese Wirkungen, die zusammenfassend als hydromechanische Bodendeformationen bezeichnet werden und zu Materialverlagerungen aus den Deckschichten in den tieferen, kavernösen Untergrund führen, können sich unter den genannten, ganz speziellen geohydraulischen Verhältnissen in Form von Senkungen oder Erdfällen an der Geländeoberfläche äußern. Die Folgen sind häufig schwerwiegenden Schäden an einer Bebauung. Aber nicht nur im o. g. Problembereich sind die hydromechanischen Wirkungen des Wassers für Schäden verantwortlich; auch in jungen fluviatilen, zumeist geschichteten Lockergesteinsablagerungen können Erosions- und Suffosionsvorgänge zu vergleichbaren Schäden an der Oberfläche führen.

Die bisher zur Verbesserung entsprechender Zustände angewandten Stabilisierungsverfahren können zwar einerseits die Stabilität des Baugrundes wesentlich verbessern; allerdings bewirken diese Verfahren andererseits gleichzeitig auch eine weitgehende Abdichtung der behandelten Bodenbereiche, so daß die natürliche Sicker- und Grundwasserbewegung nachhaltig beeinträchtigt wird. Die Folgen können von einer Durchfeuchtung der Bauwerksgründungen der betroffenen Bauwerke infolge eines Wasseraufstaus, bis hin zur Verschlechterung des Tragfähigkeitsverhaltens bindiger Bodenschichten infolge deren Durchfeuchtung reichen.

Die entwickelten dränfähigen Stabilisierungsinjektionen basieren auf dem bekannten Joosten-Verfahren, bei dem eine Wasserglaslösung und der gelbildende Härter unmittelbar nacheinander eingepreßt wurden. Dieses Verfahren diente überwiegend zu Verfestigung des Baugrundes.

Bei den daraus abgeleiteten dränfähigen Stabilisierungsinjektionen wird durch die zeitliche Trennung der Wasserglas- von der Härterinjektion dem Wasserglas die Möglichkeit gegeben, sich der Schwerkraft folgend nach unten auszubreiten. Dabei wird ein bestimmter Bodenbereich bis mindestens zu seiner Feldkapazität mit Wasserglas benetzt. Das Wasserglas verdrängt bei dieser drucklosen Ausbreitung vorhandenes Porenwasser aus den Kornwickeln und lagert sich bevorzugt selbst dort an. Die überschüssigen Lösungsanteile fließen weiter nach unten ab, wodurch der Porenraum wieder weitgehend frei wird. Durch Reaktion mit dem nach der Ausbrei-

tungszeit nachgepreßten Härter entsteht ein wasserunlösliches Silikatgel, das dann bevorzugt in den Kornwickel entstanden ist und eine nachträgliche silikatische Verkittung, d. h. eine Verstärkung der Korn-zu-Korn-Kontakte bewirkt.

Die verbleibende Durchlässigkeit ist naturgemäß wesentlich höher als bei einer vollständigen Porenfüllung durch Silikatgel. Dies bedeutet, daß die natürliche Wasserbewegung im Untergrund in geringerem Maß gestört wird. Da das Verfahren genau dort ansetzt, wo die eigentlichen Schadensprozesse ablaufen, ist es zudem als bauwerkschonend anzusehen. Mit der vorliegenden Arbeit wurden für das Verfahren die Grundlagen der Bemessung und Leistungsbewertung geschaffen.