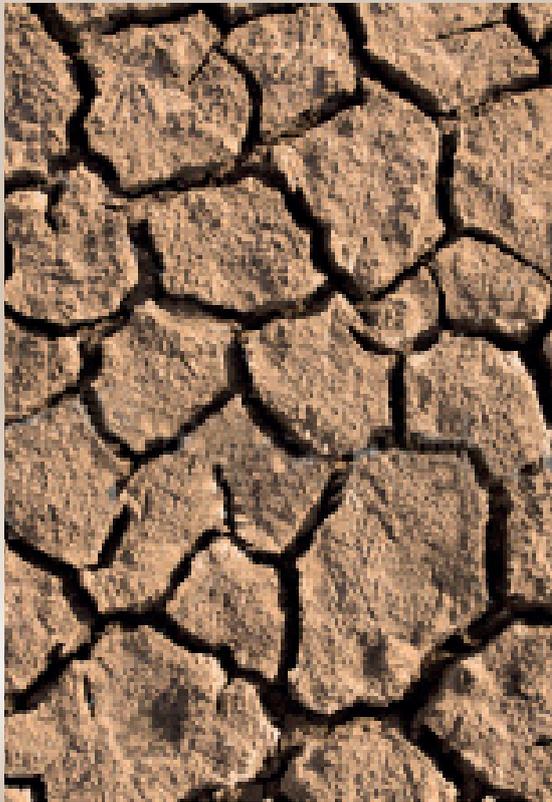


# **URETEK<sup>®</sup>**

## **DEEP INJECTIONS**



### **EUROPÄISCHES PATENT:**

angemeldet unter der Nr.: 0 851 064  
Copyright © 2010 Uretek sas.  
Alle Rechte vorbehalten.

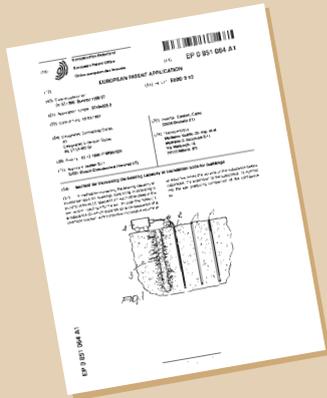
**Behandlung von quellungs-  
und schrumpfanfälligen Böden  
mit der Methode**

**URETEK<sup>®</sup> DEEP INJECTIONS**

The Uretek logo consists of a dark brown square with the word "URETEK" in white, uppercase letters. Below the square is a white wavy line that transitions into an orange shape at the bottom.

**URETEK<sup>®</sup>**

EUROPÄISCHES PATENT NR. 0.851.064



## URETEK SCHWEIZ AG

URETEK Schweiz ist seit 1995 eine Niederlassung der italienischen URETEK Srl bei Verona, die für den südeuropäischen Raum sowie Österreich, Frankreich und die Schweiz zuständig ist. Die Haupttätigkeit der URETEK Schweiz AG liegt in der Stabilisierung abgesenkter oder sich absenkender Gebäude, der Hebung von Häusern mit Fundamentplatte und in der Stabilisierung und Hebung von Industriehallenböden, Strassen und Flugpisten.

Das Wachstum der URETEK-Gruppe war stets von Investitionen in die Forschung und Entwicklung begleitet. So entstand 1996 das URETEK Deep Injections®-Verfahren, eine Methode zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Baugrundes. Dieses Verfahren wird in der ganzen Welt angewandt um alle Arten von Baugrund-Problemen mittels Tiefeninjektionen zu beheben. Nebst dem URETEK Deep Injections®-Verfahren arbeitet die URETEK-Gruppe mit den Methoden URETEK Floor Lift® und URETEK Walls Restoring®.

Dank der Effizienz der URETEK Deep Injections®-Technologie konnte die URETEK-Gruppe rasch wachsen. Um den Herausforderungen stets gewachsen zu sein, arbeitet URETEK mit viel Engagement an der Weiterentwicklung ihrer Technologien. Heute ist es dank innovativer Forschung möglich, für die verschiedensten Probleme optimal angepasste Lösungen anzubieten.

## DIE URETEK-GRUPPE

Die URETEK Schweiz AG ist die Schweizer Niederlassung einer internationalen Gruppe, deren finnischer Ursprung ins Jahr 1975 zurückführt. Die URETEK-Gruppe hat Vertretungen in über 30 Ländern. Jede der Niederlassungen ist eine unabhängige Firma. Alle Firmen wenden jedoch das gleiche Patent an, verfügen über dasselbe Fachwissen und können so untereinander aus den Erfahrungen der gesamten Gruppe ihren Nutzen ziehen.

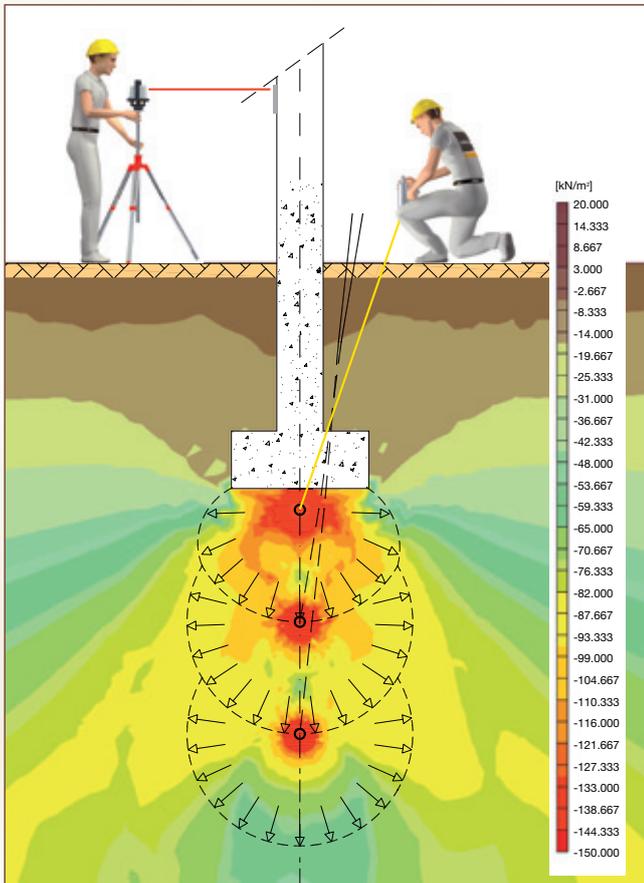


Copyright © 2006 Uretek, all rights reserved.

## INHALTSVERZEICHNIS

DIE ZWEI STUDIEN .....	3
DIE ERSTE STUDIE .....	4/5
DIE ZWEITE STUDIE .....	6/7
WIRKUNG UND GRENZEN .....	8
ABSCHÄTZUNG VON QUELLRISIKEN .....	9–11
UNTERTITEL NEU .....	12/13
ÜBERSICHT VORAUSSETZUNGEN .....	14

## URETEK<sup>®</sup> DEEP INJECTIONS



Die Wirkung von Injektionen aus expansivem Polyurethanharz (PU) beschränkt sich nicht auf die Konsolidierung des Bodens.

Die Injektionen verändern auch das Verhalten gegenüber der Austrocknung und erneuter Feuchtigkeitsaufnahme hierfür anfälliger Böden.

Zur Wirkung von Injektionen aus URETEK Expansionsharz wurden jüngst zwei Studien im Rahmen der Behandlung quellungs- und schrumpfanfälliger toniger Böden durchgeführt:

### DIE ERSTE STUDIE

«Konzeptionelles Modell einer Behandlung von unter Fundamenten gelegenen quellfähigen Tonen mit einem PU-Expansionsharz»

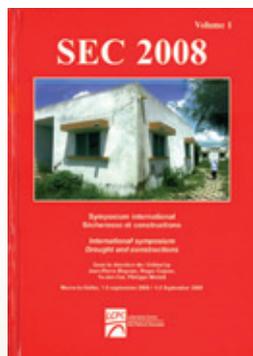
durchgeführt in Australien durch:

- Olivier Buzzi,
- Stephen Fityus,
- Yasumasa Sasaki

Centre for Geotechnical and Materials Modelling,  
School of Engineering, University of Newcastle,  
NSW2008, Australien.

Die Studien wurden beim – vom Laboratoire des Ponts et Chaussées organisierten – Symposium International sur la Sécheresse (Internationales Symposium über Trockenheit) vorgestellt, vgl. Magnan, Cojean, Cui und Mestat (Ed.): SEC 2008, Editions du LCPC, Paris 2008, S. 343.

Das Werk kann unter der Nummer +33 1.40.43.50.20 angefordert werden.



### DIE ZWEITE STUDIE

«Konsolidierung des Bodens durch Injizieren von Polyurethanharz (URETEK-Technologie) zur Eindämmung der Quellung und Schrumpfung toniger Böden»

durchgeführt in Italien durch:

- Alberto Paschetto,
  - Matteo Gabassi,
  - Gianluca Vinco,
  - Cristiano Guerra
- Università di Urbino, Italy

«**Konzeptionelles Modell zur Behandlung von unter Fundamenten gelegenen quellfähigen Tonen mit einem PU-Expansionsharz**» hat ergeben:

## Erstens

dass das Harz auch noch in Zwischenräume von gerade einmal  $\frac{1}{10}$  mm eindringt und die Verbindungsstelle zwischen Boden und Harz eine Dicke von 1 bis 3 mm erreicht.

## Zweitens

dass das Eindringen des URETEK Expansionsharzes in die Makroporen mit einer Verminderung der sog. **Permeabilität (Durchlässigkeit) der strukturierten Bodenmasse** einhergeht.

wobei darauf hingewiesen wird: «**Massgeblich verantwortlich für die Permeabilität des Planums ist nicht irgendeines der Ausgangelemente (einer strukturellen Einheit) des Bodens, sondern vielmehr die Durchlässigkeit des vorhandenen Bodens («in situ»).**

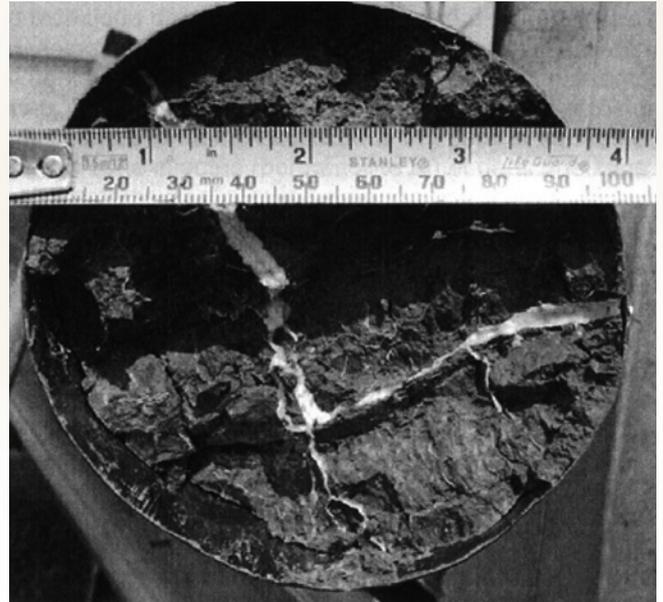
Die Berücksichtigung der Merkmale der strukturierten Masse des **vorhandenen Untergrundes ist von grösster Wichtigkeit.**

Die im Rahmen der ARGIC<sup>1</sup> vom BRGM<sup>2</sup>, vom LCPC<sup>3</sup> und von der Ecole des Mines de Paris durchgeführten und nachfolgend beschriebenen Untersuchungen **haben das Ausmass der Verhaltensunterschiede zwischen vorgefundenen und stabilisierten Böden aufgezeigt.**

## Drittens

gelangt die Studie aufgrund der nach Injektionen mit URETEK Expansionsharz durchgeführten Permeabilitätsprüfungen zum Schluss, dass «**sich durch die Injektion von Harz die makroporöse Permeabilität eines Bodens mit Faktor 50 vermindern lässt**».

Dies stellt eine **entscheidende Verbesserung** des Austrocknungs- und Wiederbefeuchtungsverhaltens des Bodens dar.



Erste Injektion ————— Zweite Injektion



Vergrößerung unter dem Mikroskop

Grenzfläche Boden-Harz

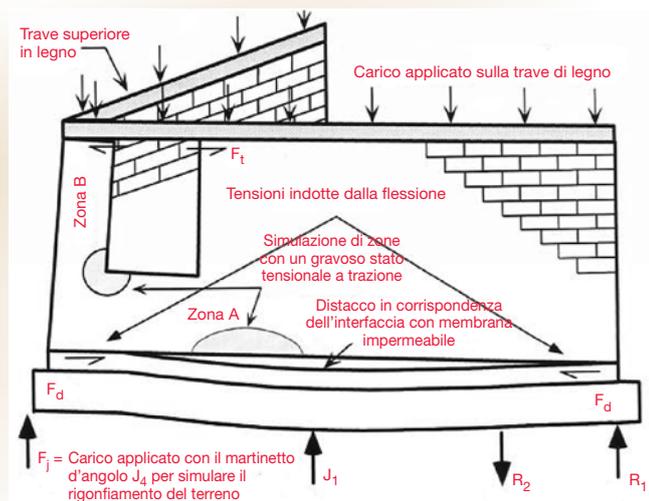
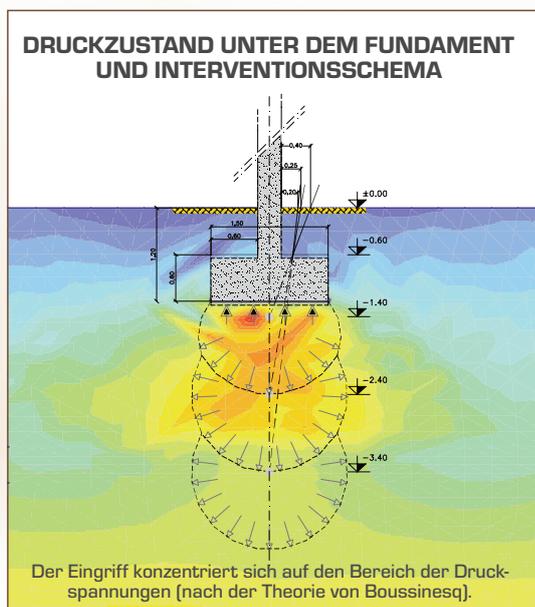
<sup>1</sup> Analyse du Retrait Gonflement et ces Incidences sur les constructions, Analyse von Schrumpfungs- und Quellungsphänomenen und deren Auswirkungen auf Bauwerke

<sup>2</sup> Bureau de recherches géologiques et minières, Büro für Geologie- und Bergbauforschung

<sup>3</sup> Laboratoire central des ponts et chaussées, Zentrallabor für den Brücken- und Strassenbau

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die im ersten Behandlungsabschnitt durchgeführten Injektionen an der Verbindungsstelle zwischen Baugrund und Fundament einhe gehen mit:

- einer Auffüllung der Leerräume genau unterhalb der Fundamente sowie einer Versiegelung dieses Bereichs,
- einer Verdichtung, die eine bessere Aufnahme der vom Hochbau ausgehenden Lasten zur Gewährleistung einer perfekten Interaktion zwischen Boden und Struktur ermöglicht: Ausgangssituation des Gebäudes (vgl. Grafik Nr. 1). Unser Verfahren gestattet somit eine perfekte Abstimmung zwischen Boden und Struktur.



Grafik Nr. 1: Reaktionen einer Mauerwerkstruktur auf differentielle Verformungen eines Fundaments. (Muniruzzaman, 1997)

Der Grad der Durchdringung durch das Harz ist unterschiedlich: Auffüllung der Schrumpfungs-, Bruch- und Verdichtungsrisse

«Konsolidierung des Bodens durch Injizieren von Polyurethanharz (URETEK-Technologie) zur Eindämmung der Quellung und Schrumpfung toniger Böden» hat ergeben:

## Erstens

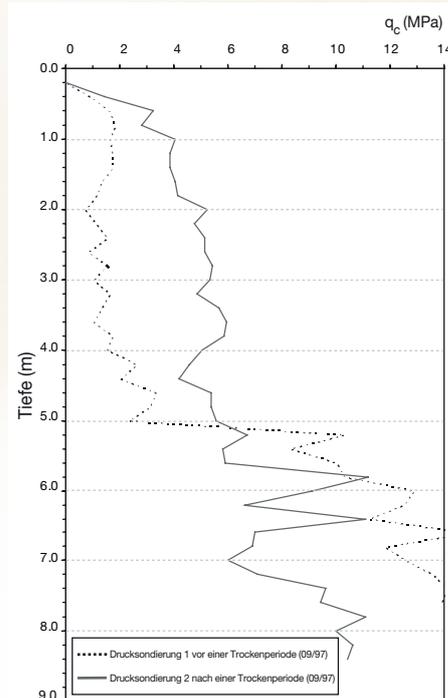
dass «die gesteigerte Dichte von durch Injizieren von URETEK-PU-Expansionsharz komprimierten Böden vor der Gefahr künftiger erheblicher Volumenschwankungen schützt».

«Die Ersetzung des Grundwassers durch das Harz vermindert durch die hierdurch bewerkstelligte Verringerung des Wassergehalts deutlich die Gefahr einer möglichen Setzung infolge neuerlicher Wasserverluste.» (S. 348 SEC 2008)

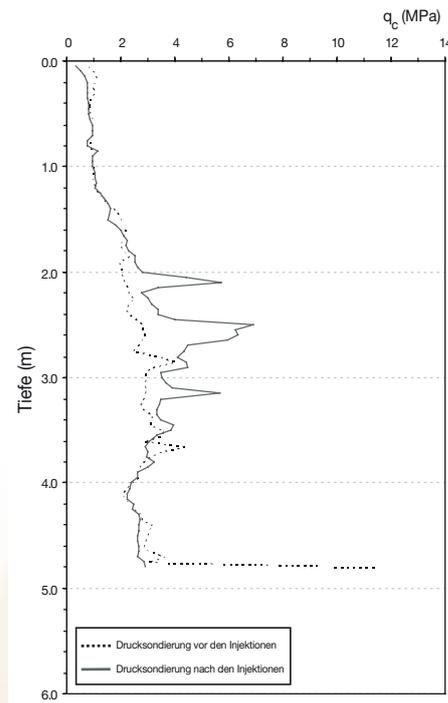
So verzeichnet man nach einer Behandlung mit URETEK Expansionsharz:

- eine gesteigerte dynamische Festigkeit des Bodens
- eine Sättigung des Bodens mit dem Harz und damit eine Verminderung von dessen natürlichem Wassergehalt  $w_{nat}$ .

Diese Effekte entsprechen genau jenen, die sich nach Zeiten starker Trockenheit beobachten lassen, mit dem Ergebnis eines deutlich verringerten Schrumpfungspotenzials bei einer späteren erneuten Trockenperiode.



Vergleich der Ergebnisse von vor und nach einer Trockenperiode durchgeführten penetrometrischen Prüfungen.



Vergleich der Ergebnisse penetrometrischer Prüfungen, die vor und nach einer Injektion von 20 kg Harz in 2,80 m Tiefe nach dem Deep Injections Verfahren von URETEK® durchgeführt wurden.

Anmerkung: Das Diagramm soll die Wirkung einer einzigen punktuellen Injektion in 2,80 m Tiefe veranschaulichen. Bei einer Behandlung unterhalb des Fundaments wird eine grosse Zahl an Injektionen vorgenommen, deren Wirkungen sich infolge von Ausstrahlungseffekten über die gesamte Höhe noch verstärken.

## Zweitens

Die Studie stellt ein Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Verminderung von Setzungen nach einer Behandlung mit RPE vor:

Gegenstand der Studie ist ein Wohngebäude in Juan-Les-Pins (Antibes, Dépt. 06 Alpes-Maritimes) in der Region Provence-Alpes-Côte d'Azur, welche eine Trockenperiode ( $i_p = 39$ ) durchlaufen hat:

Im Wissen, dass das in den Boden injizierte Harzvolumen ca.:

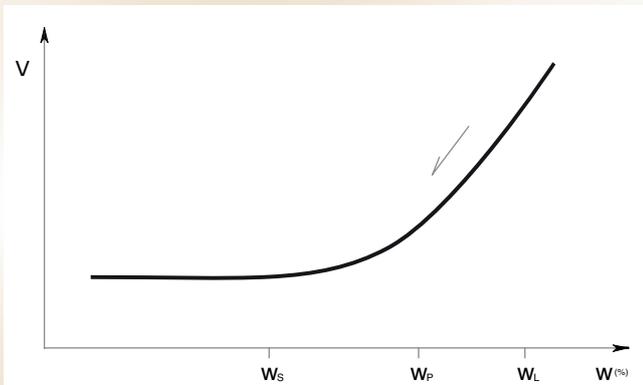
$$RV = \frac{V_r}{V} = \frac{40}{1.000} = 0,04 = 4,0\%$$

beträgt, hat die Formulierung unter Berücksichtigung des Volumens an Wasser, das durch Harz ersetzt wurde:

$$\Delta w = \frac{\Delta V_w}{V} \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_d} = 0,04 \cdot \frac{10}{17} = 0,023 = 2,3\%$$

gezeigt, dass nach der Injektionsbehandlung mit RPE URETEK bis in eine Tiefe von 3,00 m:

«anhand der Schrumpfungsprüfungskurve die Verringerung einer künftigen Setzung infolge eines erneuten Wasserverlusts sich auf 35 mm abschätzen lässt» (S. 348).



Beziehung zwischen Volumen und natürlichem Wassergehalt



Die Injektionen erfolgen stets laserkontrolliert.



## Wirksamkeit und Grenzen einer Behandlung toniger Böden mit der Methode URETEK Deep Injections®.

### Die URETEK-RPE-Injektionen haben zur Folge:

- eine Kompaktion des Untergrundes, die mit einer Verringerung der Porenziffer und einer Verdichtung des Bodens einhergeht,
- eine Auffüllung und Imprägnierung der verbliebenen Makroporen unterhalb der Fundamente sowie im Bereich der Schrumpfrisse und der Einrisse, über die Wasseradern im Boden ihren Weg nehmen,
- schliesslich eine Stauchung der Bodenstruktur bei der dreidimensionalen Expansion des Harzes, die zu einer Änderung der mechanischen und rheologischen Eigenschaften des verdichteten Bodens führt.

### Die URETEK-Expansionsharz-Behandlung bewirkt:

- eine Halbierung der Porosität des Bodens, die für die Drainage- und Befeuchtungswege sowie die Kompression/Dekompression der strukturierten Masse des vorhandenen Bodens massgeblich ist.
- eine Steigerung der Dichte des Bodens sowie eine Verminderung von dessen natürlichem Wassergehalt, was die von künftigen Trockenperioden ausgehenden Gefahren deutlich verringert,
- und folglich eine Änderung des Verhaltens der strukturierten Masse des vorhandenen Bodens, indem in erheblichem Umfang dessen Potenzial zur Austrocknung/Wiederbefeuchtung und damit zur Schrumpfung/Quellung reduziert wird.

Durch die Injektionen an URETEK-PU-Expansionsharz mit seinem aus geschlossenen Ketten gebildeten Polymer von minimaler Permeabilität in der Grössenordnung von  $10^9$  m/s lassen sich die Schwankungen des Wassergehalts und auf diese Weise die Schrumpfungs- und Quellungsphänomene der damit behandelten Baugründe in entscheidender Weise verzögern und eingrenzen.

Die weltweit und insbesondere tausendfach in Frankreich in den zurückliegenden zehn Jahren an von Austrocknung betroffenen Böden realisierten Projekte dokumentieren die Wirksamkeit der URETEK-Methode, die auch in den nachfolgend referierten Studien bestätigt worden ist.

Vor diesem Hintergrund und nach dem aktuellen Stand der Kenntnisse empfiehlt URETEK, das Verfahren lediglich bei solchen tonigen Böden anzuwenden, deren mineralischer Aufbau in besonderer Weise für Quellungen in den Zwischenschichten anfällig ist, **wenn die Höhe von deren Quellungsvermögen und die davon möglicherweise ausgehende Spannung Probleme für die Strukturstabilität aufwerfen.**

Die nachfolgend wiedergegebenen Kriterien für eine Anwendbarkeit der URETEK-Methode wurden auf Grundlage der eingangs angesprochenen wissenschaftlichen Forschungsarbeiten und der bei tausenden von Projekten gesammelten Erfahrungen formuliert.

Berücksichtigt sind darin auch die vom BRGM, vom LCPC und von der Ecole des Mines de Paris durchgeführten geotechnischen Forschungsarbeiten, die im Rahmen des ARGIC-Projekts durchgeführt wurden und auf die nachfolgend an verschiedener Stelle verwiesen wird.

## Näherungsfaktoren zur Beurteilung der Quellungsrisiken nach den jüngsten auf dem Internationalen Symposium über Trockenheit referierten Analysen (2008):

Wie wir zuvor gesehen haben, ist es somit überaus wichtig, in nachvollziehbarer Weise die Merkmale toniger Böden analysieren zu können, um in der Lage zu sein, klare Aussagen zu deren Schadenpotenzial zu treffen.

Verschiedene im Rahmen der ARGIC durchgeführte und auf dem Symposium zu Trockenperioden 2008 vorgestellte Studien haben gezeigt, dass sich auf dem Wege einer klassischen Analyse nicht immer befriedigende Resultate erzielen lassen:

Die von L. Duc, M. Makki, A. Maloula, J.-P. Magnan vom Laboratoire Central des Ponts et Chaussées Division Mécanique des Sols et des Roches et Géologie de l'Ingénieur (MSRGI) durchgeführte Studie «**Methodik der Untersuchung von Böden auf deren Anfälligkeit für Schrumpfungs- und Quellungsphänomene**», die auch im Werk SEC 2008, Magnan, Cojean, Cui und Mestat (Ed.), 2008, Editions du LCPC, Paris auf den Seiten 257 und 272 zitiert wird, hat die folgenden Punkte ins Blickfeld gerückt:

Mit dem Ziel der Entwicklung einer **Methodik zur Beurteilung der Empfindlichkeit toniger Böden gegenüber Schrumpfungs- und Quellungsphänomenen** wurde im Rahmen der Studie eine Tonprobe analysiert, bei der es sich um Ton aus Bavent (gelegentlich in der Gegend von Rouen) handelte.

Zunächst einmal wurden dabei «**die klassischen Methoden zur Analyse der Feinfraktion von Böden (plastische Eigenschaften)**» in Anwendung anerkannter Klassifizierungen berücksichtigt.

Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind in der folgenden Tabelle und im nachfolgenden Kommentar wiedergegeben:

Anwendung der Klassifizierungen auf Ton aus Bavent (F)

Klassifizierung	Parameter	Quellungsvermögen
Altmeyer (1995)*	$W_s$	kritisch
Rangaratham und Satyanarayana (1963) *	$I_s$	stark
Seed et al. (1962)	$I_p$	mittel
SNEP <sup>4</sup> -oder ASTM <sup>5</sup> -D4546-03-Klassifizierung (Methode A)	$\varepsilon_{sw}^0$	schwach
BRE <sup>6</sup> -Klassifizierung (building Research Establishment)	$I_{p1} \% < 2\mu m$	mittel
EPA <sup>7</sup> -Klassifizierung (US Environmental Protection Agency)	$A_{c1} CEC_c$	schwach
Chen (1998) **	$w_{L1} \% < 74\mu m$	stark
Williams und Donaldson (1980)	$I_{p1} \% < 2\mu m$	mittel
Holtz und Gibbs (1956)	$w_{L1} I_{p1} \% < 2\mu m$	sehr stark
Dakshanamurthy (1978)*	$w_{L1} W_s I_p$	mittel

\* zitiert von Bultel (2001) \*\* zitiert von Windal (2001)

**Hieraus ergibt sich**, dass die zur Verfügung stehenden Klassifizierungen eine Abschätzung des Quellungsvermögens weder des Tons aus Bavent (untersuchtes Beispiel) noch, allgemeiner betrachtet, der Mehrzahl der gängigen Böden zulassen, erweist es sich doch als ausgesprochen problematisch, eine solche Klassifizierung quellfähiger Böden allein anhand eines Wertes vorzunehmen, der einer indirekten Erkundungsmessung entstammt, die zumeist am stabilisierten Boden durchgeführt wird. Die Textur und ggf. die Zementation der Körner (wie etwa im Falle von Mergel) finden darin keinerlei Berücksichtigung, obwohl es sich dabei um zwei wichtige Parameter handelt, die sich im Labor nicht reproduzieren lassen, weil sie eng mit der biologischen Geschichte des Bodens verknüpft sind. Für eine zuverlässige Charakterisierung empfindlicher Böden ist daher eine Durchführung mechanischer Prüfungen zum Quellungs- und Schrumpfungsverhalten unverzichtbar.

### Wie auch zu lesen ist

«Hieraus ergibt sich, dass die zur Verfügung stehenden Klassifizierungen eine Abschätzung des Quellungsvermögens weder des Tons aus Bavent (untersuchtes Beispiel) noch, allgemeiner betrachtet, der Mehrzahl der gängigen Böden zulassen, erweist es sich doch als ausgesprochen problematisch, eine Klassifizierung quellfähiger Böden allein anhand eines Wertes vorzunehmen, der einer indirekten Erkundungsmessung entstammt, die zumeist am stabilisierten Boden durchgeführt wird.»

«Die Textur und ggf. die Zementation der Körner (wie etwa im Falle von Mergel) finden darin keinerlei Berücksichtigung, obwohl es sich dabei um zwei **wichtige Parameter** handelt, die sich im Labor nicht reproduzieren lassen, weil sie eng mit der biologischen Geschichte des Bodens verknüpft sind.»

Infolge dessen hatte die Studie die Suche nach beweiskräftigen Prüfungen der Quellungs- und Schrumpfungsmerkmale von Ton im Allgemeinen und von **Ton aus Bavent (F) im Besonderen** zum Gegenstand.

<sup>4</sup> Syndicat national de l'extrusion plastique, profilés et compounds, Branchenverband der Kunststoffindustrie

<sup>5</sup> ursprünglich American Society for Testing and Materials, internationale Normungsorganisation

<sup>6</sup> Building Research Establishment, staatliche britische Forschungseinrichtung für den Bereich bebauter Umgebungen

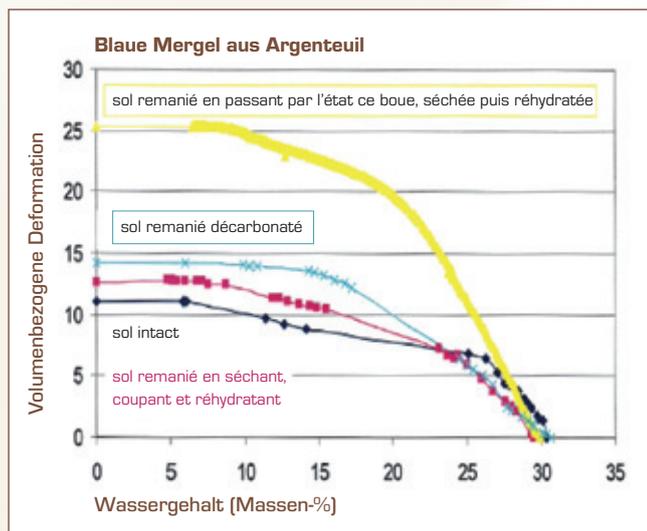
<sup>7</sup> Environmental Protection Agency, US-Umweltbehörde

Hierbei konnte gezeigt werden, dass:

- sich die Prüfungen zum freien Quellungs- und Schrumpfungsverhalten mittels eines Konsolidierungsmessers hierfür am besten eignen, jedoch zwingend an **Proben eines intakten, nicht stabilisierten Bodens durchzuführen sind.**
- die mittels eines Konsolidierungsmessers und nach Norm XP P94-091 durchgeführten Prüfungen weniger aussagekräftig sind als die Ergebnisse einer durchgeführten Prüfung, die nach der ASTM-Norm D4546-03 durchgeführt wurde (auch im vorliegenden Falle herangezogen).

... wie aus den nachfolgenden Tabellenauszügen hervorgeht:

- Aus der folgenden Tabelle lässt sich der erhebliche Unterschied der volumenbezogenen Deformation des Bodens in Abhängigkeit einer Schwankung des Wassergehalts zwischen einer Probe an **stabilisiertem (gelb) und an intaktem (dunkelblau) Boden** ersehen:



Als **Schlussfolgerung** aus den an Ton aus Bavent durchgeführten Prüfungen steht zu lesen:

«Dessen ungeachtet bestätigen all diese Daten, dass der Ton aus Bavent (F) nicht besonders quellfähig ist. Dieser Aspekt geht aus den bestehenden Klassifizierungen quellungs- und schrumpfanfälliger Böden nicht eindeutig hervor, was die Argumentation stützt, dass eine Durchführung mechanischer Prüfungen an intakten Böden zu deren Quellungs- und Schrumpfungsverhalten unverzichtbar ist. Es soll auch die Rolle ihrer Geschichte und Struktur Berücksichtigung finden, die sich nicht immer nur in den bei diesen Klassifizierungen herangezogenen Konsistenzparametern niederschlägt.»

Diese Feststellungen finden Widerhall in der von M. Audi-guier, Z. Geremew und R. Cojean durchgeführten Studie **«Relations entre les microstructures de deux sols argi-leux de la Région Parisienne et leur sensibilité au retrait gonflement»** (Beziehungen zwischen den Mikrostrukturen zweier toniger Böden aus dem Grossraum Paris und deren Quellungs- und Schrumpfanfälligkeit), in der es auf Seite 235 heisst:

Die Analyse zum Verhalten zweier toniger Böden aus dem Grossraum Paris (blauer Mergel aus Argenteuil (MBA) und grüner Ton aus Romainville (AVR), die als ausgesprochen quellungs- und schrumpfanfällig gelten, führt zur gleichen Unterscheidung zwischen intaktem und stabilisiertem Boden:

«Allerdings zeigen die beiden Formationen (MBA und AVR) ein unterschiedliches Quellungs- und Schrumpfungsverhalten je nachdem, ob sie intakt (in der vorgefundenen Form vorliegen) oder im Labor stabilisiert worden sind.»

■ **Tabelle II.** Freie Quellung des AVR und des MBA:

Bodenformen	AVR	MBA-1 27% Carbonat	MBA-2 58% Carbonat
Wassergehalt vor der Quellung (intakte Probe) in %	25	32	23
Wassergehalt nach der Quellung (intakte Probe) in %	39	36	25
Wassergehalt vor der Quellung (stabilisierte Probe) in %	27	34	24
Wassergehalt nach der Quellung (stabilisierte Probe) in %	51	56	35
Wert der freien Quellung (intakte Probe)	16	4	1,5
Wert der freien Quellung (stabilisierte Probe)	32	26	15

«Bei gleichem Wassergehalt ändert sich der Quellungswert bei AVR zwischen dem intakten und dem stabilisierten Zustand von 16 auf 32%, bei MBA-2 erhöht er sich von 1,5 auf 15%.

Der Quellungswert von MBA-1 mit seinem höheren Wassergehalt ändert sich von 4 auf 26% ... Im stabilisierten Zustand ändert sich die Empfindlichkeit um das 6,5- bis 10fache ...» (Seite 237)

<sup>8</sup> SEC 2008, Magnan, Cojean, Cui und Mestat (Hrsg.), 2008, Editions du LCPC, Paris

Es wird somit deutlich gezeigt, dass die üblicherweise verwendeten Klassifizierungen **keine realistische Prognose des Quellungsrisikos zulassen.**

In der letzten Tabelle kann gesehen werden, dass vom blauen Mergel aus Argenteuil (MBA-1), dessen realer Quellungswert 4% beträgt, in Wirklichkeit keine Gefahr ausgeht. Dies steht im Widerspruch zu dem, was die gängigen Interpretationen der Kennzahlen vermuten lassen:

$I_p = 47$ ,  $W_L = 89$ ,  $I_r = 68$ , proz. Anteil  $< 2 \mu\text{m} = 78\%$   
Methylenblau-Wert (MB) = 10, wie sich der folgenden Tabelle entnehmen lässt (Seite 236).

Tabelle I. Mineralogische, petrophysische, geophysische und geotechnische Merkmale von AVR und MBA

Bodenformen	AVR	MBA-1	MBA-2
Tone	I, K, S	I, K, S	I, K, S, faserige Tone
Carbonat-Gehalt [%]	13	27	58
Porosität [%]	42	45	40
Volumenbezogene Trockenmasse (kNm <sup>3</sup> )	15	14	16
proz. Anteil $< 2 \mu\text{m}$	78	78	82
Flie遝sgrenze WL [%]	75	89	63
Plastizitätsindex $I_p$ [%]	35	47	35
Schrumpfungswert $I_r$ [%]	59	68	47
MB	9	10	5
spezifische Oberfläche m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	188	210	110

Diese Studie macht zugleich den **Einfluss des Carbonat-Gehalts auf die Prüfungen der Bodensensibilität deutlich**, womit sich auch das unterschiedliche Verhalten der beiden Mergel MBA-1 und MBA-2 in der Tabelle I erklärt:

«[...] was MBA-1 angeht, so ist [dessen Verhalten] durch die Existenz eines **kohlensäurehaltigen Zements gehemmt, der sich im Laufe der Diagenese bildet, bei der die Körner kompaktiert werden.** Im stabilisierten Zustand werden die Informationen zur Diagenese-Geschichte des Materials teilweise vernichtet.» (Seite 238)

«Die diagenetischen Umwandlungen (Auflösung/Niederschlagsbildung) lassen Bindungen zwischen dem Ton und Carbonatgruppen entstehen, die bei einer Stabilisierung zerstört werden.» (Seite 243)

«So kann ein carbonathaltiges toniges Material, **das zu den Böden von hohem bis sehr hohem Quellungsvermögen gerechnet wird, in intaktem Zustand sehr niedrige Quellungswerte aufweisen.**» (Seite 243)

## Anwendung der Machbarkeitsstudie zur Behandlung toniger Böden mit der Methode URETEK Deep Injections®.

**Anmerkungen zu den gebräuchlichen Klassifizierungen: Diese Studien zeigen, dass die üblicherweise verwendeten Klassifizierungen für eine Qualifizierung der Baugründe bestehender Bauten wenig geeignet sind.**

Diese nach dem GTR durchgeführten Tests zur Qualifizierung von für eine Wiederverwendung anstehenden tonigen Böden (zur Schaffung von Fahrbahnbetten) erfolgen nämlich:

- anhand von stabilisierten Proben
- anhand von Proben nur eines gewissen Korngrößen-segments (bis zu 400  $\mu\text{m}$ )

Hingegen berücksichtigen sie nicht:

- die diagenetische Geschichte des Bodens und insbesondere den Einfluss des Carbonat-Gehalts, so wie die geologische Beschaffenheit des strukturierten Bodens «in situ».
- die «Bodenermüdung» infolge der Hydratations-/Dehydratationszyklen, wie dies die Studie «Comportement des sols argileux soumis à des sollicitations hydriques cycliques» (Verhalten toniger Böden, die zyklischen wasserbedingten Belastungen ausgesetzt sind) darlegt, in der festgestellt wird: **«Die Versuche haben eine Stabilisierung des Quellungs-/Schrumpfungphänomens nach vier oder fünf Zyklen erkennen lassen.»**

Die auf herkömmliche Weise durchgeführten Untersuchungen ergeben für tonige Untergründe von Bestandsbauten sehr häufig ausgesprochen pessimistische Prognosen und sind daher von geringem Nutzen, sofern man nicht die Bewertungsmatrix in erheblicher Weise verändert.

<sup>9</sup> Guide Technique Routier

<sup>10</sup> Geremew und Audiguier (Seite 246)

## Kriterien für die Anwendbarkeit der Methode URETEK Deep Injections®:

Die korrekte Beurteilung der Verformungsmerkmale eines unter einem Bauwerk vorhandenen tonigen Bodens erfordert somit eine Durchführung von Prüfungen zum freien Quellungs- und Schrumpfungsverhalten mittels eines Konsolidierungsmessers an intaktem Boden.

In Anbetracht des erforderlichen Protokolls für diese Art der Prüfung und der dafür benötigten Zeit wird bei Bodenuntersuchungen nur selten darauf zurückgegriffen. Prüfungen dieser Art werden in der Regel nur dann durchgeführt, wenn die traditionellerweise durchgeführten Untersuchungen (Zustandsgrenzen nach Atterberg, MB usw.) eine Sensibilität der vorhandenen tonigen Böden aufzeigen.

Die Ergebnisse dieser zur Beurteilung der mit der nachweislichen Sensibilität der tonigen Böden verbundenen Risiken dienenden Prüfungen werden im Anschluss unter Berücksichtigung der folgenden Aspekte bewertet:

### ■ der spezifischen Eigenschaften der Methode URETEK Deep Injections®:

Die Verdichtung des Bodens und die Verbesserung der makroporösen Permeabilität der strukturierten Masse der mit Expansionsharz behandelten tonigen Böden um das 50fache lassen es angemessen erscheinen, die Risiken in Abhängigkeit vom Plastizitätsindex als deutlich geringer einzuschätzen.

### ■ der Ergebnisse der zuvor aufgeführten geotechnischen Untersuchungen:

Die bei den Versuchen mit stabilisierten Böden erhaltenen Ergebnisse entsprechen nicht denen, die mit den Böden «in situ» erhalten werden. Die vielfach allzu pessimistischen Ergebnisse machen daher eine Anpassung der Bewertungsmatrix im Sinne einer günstigeren Risikoabschätzung erforderlich.

### ■ der gesammelten Erfahrungen in tausenden «von Austrocknung betroffenen» Ausführungen, bei denen die Methode URETEK Deep Injections® erfolgreich eingesetzt worden sind.



URETEK-Ausführung: Naturkundemuseum Paris

In diesem Zusammenhang lauten die Kriterien für eine grundsätzliche Anwendbarkeit der patentierten Methode URETEK Deep Injections® bei vorhandenen quellungs- und schrumpfanfälligen tonigen Böden:

Kenngrößen	Anwendung der URETEK-Methode
<p style="text-align: center;"><b><math>I_p \leq 40</math></b>  <b>oder</b>  <b><math>MB \leq 8</math></b></p>	<p style="text-align: center;"><b>Grundsätzlich anwendbar</b></p>

Auf Grundlage des von SOCOTEC genehmigten Pflichtenhefts erstellte Kriterien  
 (Technische Begutachtung Nr. FX2639/9 Bericht Nr. 10.1829).

Unabhängig von dessen IP-Wert ist ein Boden, der einen Carbonat-Gehalt von mehr als 20% aufweist, für eine Anwendung des Deep Injections® Verfahrens von URETEK grundsätzlich qualifiziert.

**CaCO<sub>3</sub>-Gehalt > 20% (Norm NF 94-048)**

(Dies bedeutet, dass die Behandlung mergelhaltiger Tone und von Mergel unabhängig von deren Plastizitätsindex grundsätzlich möglich ist.)

Jenseits dieses Wertebereichs ist die Anwendung des Verfahrens auf jene Fälle zu beschränken, in denen beide der folgenden Kriterien erfüllt sind:

- wenn der Quellsdruck, der vom vorhandenen Boden ausgehen kann, den von den Fundamenten ausgehenden Druck zuzüglich jenes der entspannten Erdschichten über die gesamte Höhe der Schwerpunkte des Sohldrucks nach Boussinesq übersteigt. ( $\sigma'_g < \sigma'_{v0} < \Delta\sigma'_z$ )
- wenn die Amplitude der Quellung des behandelten Bodens gross genug werden kann, um Störungen an der Struktur zu verursachen.

Die Tests sind auf Grundlage der Prüfung zum Quellungsverhalten mittels eines Konsolidierungsmessers an Proben eines intakten Bodens durchzuführen (Norm NF P 94-091).



URETEK-Ausführung: Neubau des Museums PINAULT für zeitgenössische Kunst, La Punta della Dogana in Venedig

## Übersichtstabelle über die Voraussetzungen für eine Anwendbarkeit der Methode URETEK Deep Injectons® bei von Austrocknung betroffenen Böden

Daten	Ergänzende Daten	Anwendbarkeit des URETEK-Methode
<b><math>I_p \leq 40</math> ODER <math>MB \leq 8</math></b>	Keine zusätzlichen Daten erforderlich	<b>Grundsätzlich möglich</b>
<b><math>I_p &gt; 40</math> UND <math>MB &gt; 8</math></b>	<b><math>CaCO_3 \geq 20\%</math></b> entsprechend einem Carbonat-Gehalt von mehr als 20% (beispielsweise Mergel und mergelhaltige Tone)	<b>Grundsätzlich möglich</b>
	<b><math>\sigma'_g &lt; \sigma'_{z_{vo}} + \Delta_{\sigma z}</math></b> entsprechend einem Quellsdruck, der den von den Fundamenten ausgehenden Druck zuzüglich jenes der entspannten Erdschichten nicht übersteigt	<b>Grundsätzlich möglich</b>
	Die Amplitude der Quellung reicht nicht aus, um Störungen in der Struktur hervorzurufen. Dieser Parameter ist erheblich von der Struktur abhängig. Zur Vereinfachung wird das Quellsverhältnis $R_g$ herangezogen: $R_g > 5\%$	<b>Grundsätzlich möglich</b>
	Keines der oben erwähnten Elemente	Erfordert eine technische Beschreibung zur Begründung oder die Durchführung ergänzender Prüfungen.

Gemäss Lastenheft SOCOTEC: Bericht Nr. 10.1829 – Dossier Nr. FX2639/9







**URETEK Schweiz AG**

Wylstrasse 8 - CH-6052 Hergiswil  
Tel. 041 676 00 80 - Fax 041 676 00 81  
[www.uretek.ch](http://www.uretek.ch) - [uretek@uretek.ch](mailto:uretek@uretek.ch)