

# TRANSPARENTER BODEN - ERSTE ANALYSEN

**Gregor Supp, Roman Marte, Stephan Semprich**  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau, Technische Universität Graz, Österreich

## ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Poster wird ein transparenter Boden mit ähnlichen Eigenschaften wie jenen von Sand bis Feinkies vorgestellt. Ein transparenter Boden besteht aus Silica Gel oder Silica Pulver welches vollständig mit einem Porenfluid gesättigt wird (Sättigungsgrad  $S_v = 1$ ). Die Transparenz ergibt sich aufgrund des selben Brechungsindex der beiden Komponenten.

Transparente Böden eignen sich hervorragend zur Visualisierung von Boden-Bauwerks-Interaktionen. Dabei wird eine transparente Versuchsprobe von einer Laser-Lichtwand durchdrungen und mit Hilfe einer CCD-Kamera ein Speckle-Bild erfasst (Iskander, 2010). Äußere Einwirkungen verändern dieses Speckle-Bild und die Veränderung zwischen zweier Bilder - im Allgemeinen die Partikelverschiebungen entlang der Laser-Lichtwand - kann erfasst werden. Durch schichtweises Zusammensetzen der Laser-Schnitte kann ein räumliches Verschiebungsfeld reproduziert werden.

## LITERATUR

- Lackner C. (2012)** - *Prestressed reinforced soil - Concept, investigations and recommendations* Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwissenschaften, TU Graz, Österreich.
- Iskander M. (2010)** - *Modelling with Transparent Soil*. Springer Series in Geomechanics and Geoenvironment, ISSN: 1866-875
- Zhao H. (2007)** - *Development and Assessment of Transparent Soil and Particle Image Velocimetry in Dynamic Soil-Structure-Interaction*. Dissertation, Missouri University of Science & Technology, USA.
- Welker et al. (1999)** - *Applied Research Using a Transparent Material with Hydraulic Properties Similar to Soil*. Geotechnical Testing Journal, Vol. 22, No. 3, pp. 266-270, 1999.
- Mannheimer and Oswald (1993)** - *Development of Transparent Porous Media with Permeabilities and Porosities Comparable to Soils*. Ground Water GRWAAP, Vol. 31, No. 5, pp. 781-788, 1993.
- Orsi et al. (1992)** - *Use of X-Ray computed tomography in study of marine sediments*. Proc. CEO V, ASCE, College Station, pp. 968-982, 1992.
- Mandava et al. (1990)** - *NMR imaging of saturation during immiscible displacements*. AIChE Journal, Vol. 36, No. 11, pp. 1680-1686, 1990.
- Roscoe et al. (1963)** - *The determination of strains in soils by X-ray method*. Civil Engineering and Public Works Review 58, pp. 873-876, 1963.
- Morrison (1964)** - *Sand displacement and compaction around model friction piles*. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 1, No. 2, March 1964

## KONTAKT

Technische Universität Graz  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau  
Rechbauerstraße 12, 8010 Graz, Österreich  
TEL +43(0)316 873-6738, FAX +43(0)316 873-6232  
gregor.supp@TUGraz.at  
www.soil.tugraz.at

## EINLEITUNG

Die Visualisierung von Boden-Bauwerks-Interaktionen - im Allgemeinen die Verschiebung von Bodenpartikeln im Untergrund, als Reaktion auf ein Bauverfahren im Grundbau - kann maßgebend zum Verständnis von bodenmechanischen Vorgängen beitragen. In der Regel sind solche Visualisierungen nur aus Beobachtungen an Modellrändern, durch den Einsatz von Glas oder Plexiglaswänden, möglich, Morrison (1964), Lackner (2012). Räumliche Verschiebungsfelder von Boden-Bauwerks-Interaktionen lassen sich bisher nur mit Hilfe äußerst aufwendiger Methoden wie Röntgenaufnahmen (Roscoe et al., 1963), Magnetresonanz (Mandava et al., 1990) oder auch mittels Computertomographie (Orsi et al., 1992) bestimmen. Eine neue Möglichkeit der Bestimmung bieten transparente Böden, Mannheimer und Oswald (1993), Welker et al. (1999), Zhao (2007), Iskander (2010). Diese bestehen aus Silica Gel oder Silica Pulver welches vollständig mit einem Porenfluid gesättigt wird (Sättigungsgrad  $S_v = 1$ ). Die Transparenz ergibt sich aufgrund des selben Brechungsindex der beiden Komponenten, Abb. 1.

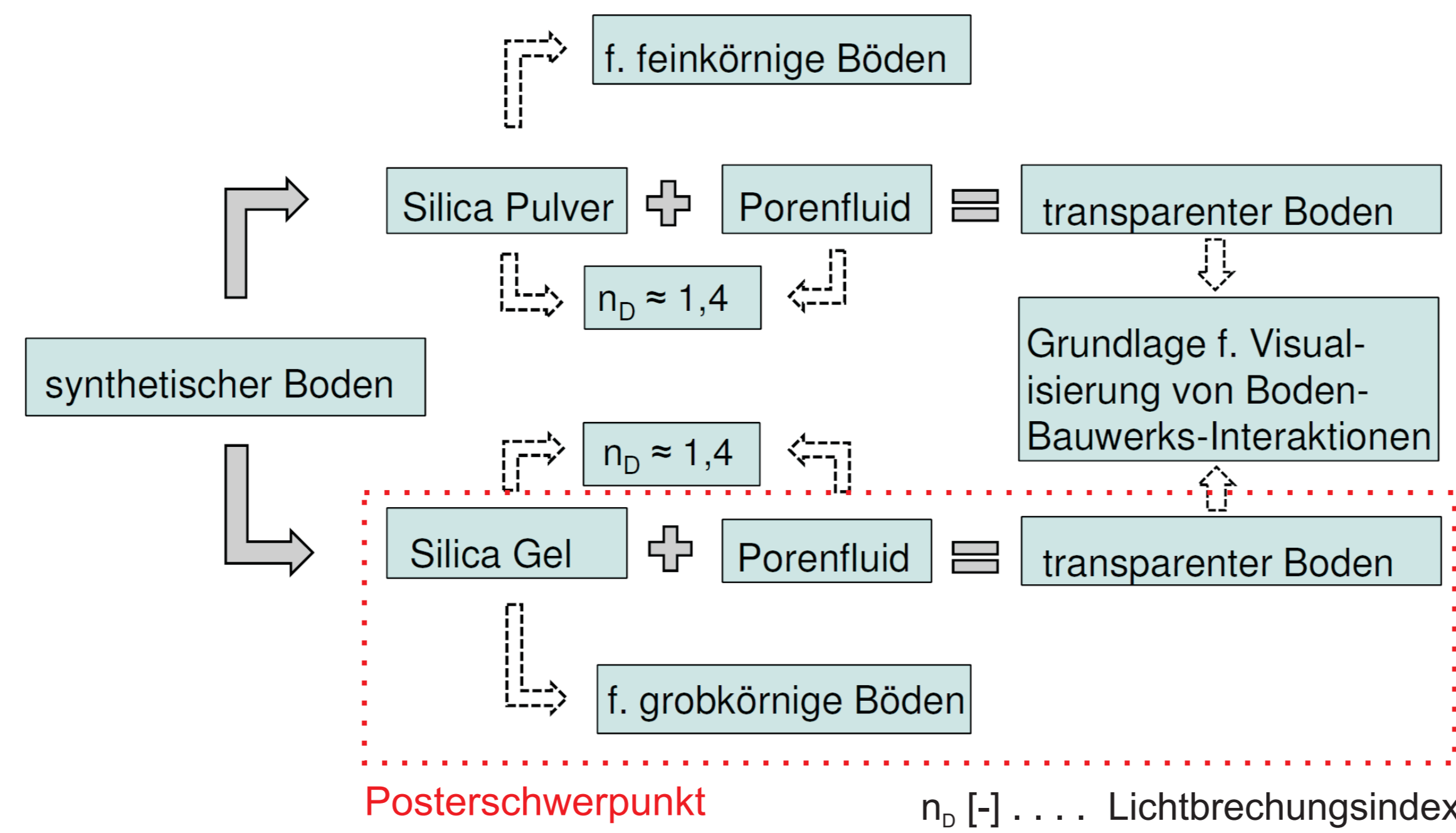


Abbildung 1: Zusammensetzung eines transparenten Bodens

## SILICA GEL

Silica Gel - auch Kieselgel genannt - ist eine granulare, poröse Form von Siliciumdioxid und wird aus in Säure getropften Wasserglas hergestellt, Iskander (2010). Durch seine stark hygroskopischen Eigenschaften wird es vorwiegend als Trocknungsmittel verwendet. Die Kornform entspricht äußerlich annähernd einer Kugel und besteht im inneren aus einem Netzwerk von Partikelketten, welche u.a. mittels Elektronenmikroskop analysiert wurden, Abb. 2. Die Partikel - Korngrößenverteilung 2 bis 5 mm - verfügen über einen offenen miteinander verbundenen Innerkorporenraum. Dieser wurde mit Hilfe eines ASAP - Systems (Accelerated Surface Area Porosimetry) quantifiziert, siehe Tab. 1.

Des Weiteren fand eine umfangreiche bodenmechanische Charakterisierung des Silica Gels statt, die ermittelten Parameter sind in Tab. 1 dargestellt.

Aus dem Ödometerversuch wurde ein Erstbelastungs Steifemodul  $E_s$  von 40 MPa ( $\sigma_N = 160 - 320$  kPa) ermittelt.

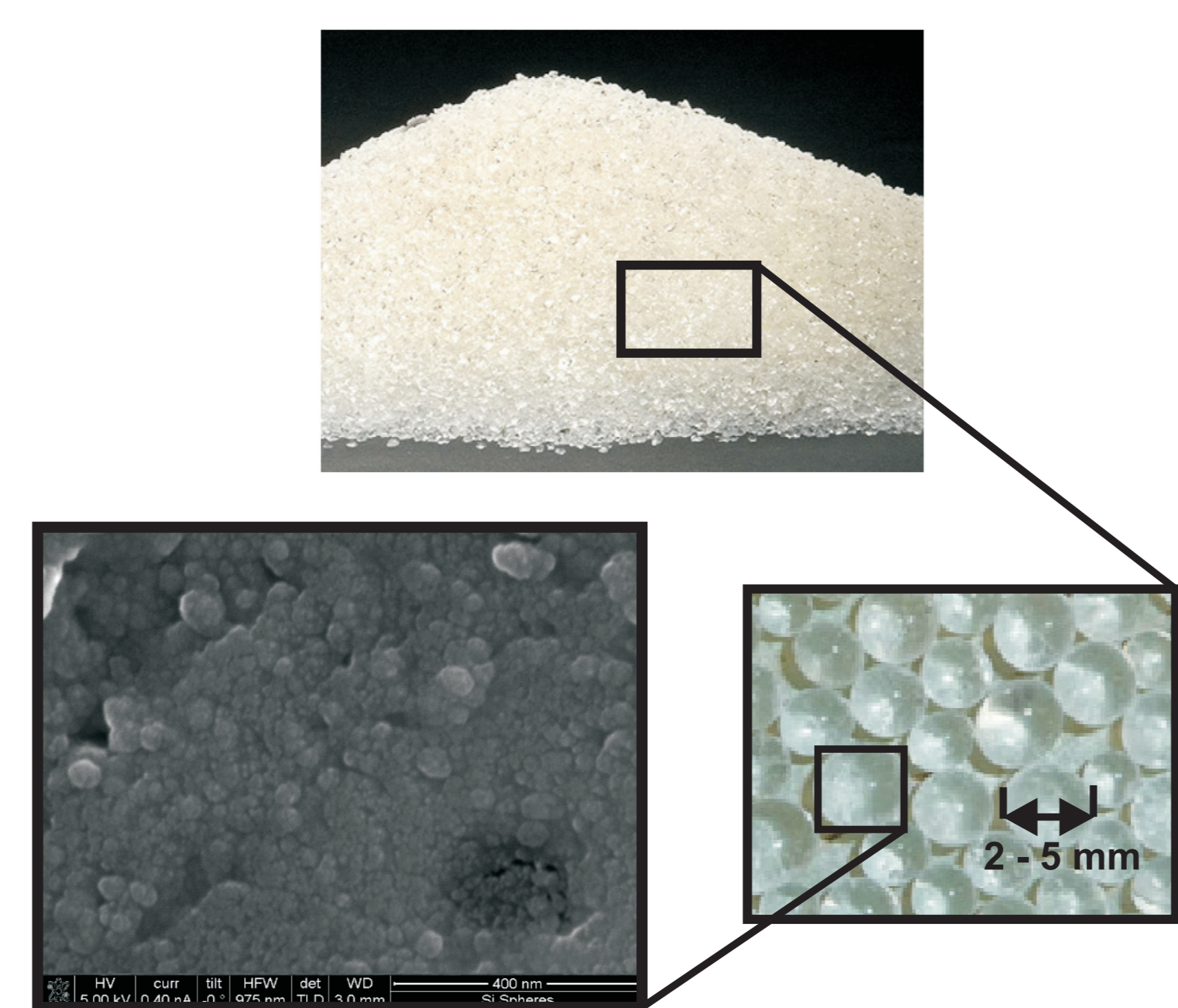


Abbildung 2: Silica Gel, in unterschiedlicher Massstabsbetrachtung

Reindichte $\rho_r$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Korndichte $\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Trockendichte $\rho_d$ [g/cm <sup>3</sup> ]
2,06	1,1	0,8
Korpporen $n_k$ [-]	Haufwerksporen $n_{HW}$ [-]	Gesamtporen $n_{Tot}$ [-]
offen: 0,34 ; geschlossen: 0,0	min: 0,26 ; max: 0,27	~ 0,61
Reibungswinkel $\phi$ [°]	Restreibungswinkel $\phi_R$ [°]	Kohäsion $c'$ [kN/m <sup>2</sup> ]
43	33	~ 0

Tabelle 1: bodenmechanische - Charakterisierung von Silica Gel, Korngrößenvert. 2 - 5 mm

## BRECHUNGSINDEX VON SILICA GEL

Der Brechungsindex  $n_D$  von Silica Gel variiert je nach Hersteller und wurde folglich experimentell quantifiziert. Dabei wurde der Brechungsindex des Porenfluids variiert und die Silica Gel-Versuchsproben vollständig damit gesättigt. Um ein Porenfluid mit einem definierten Brechungsindex herzustellen wird ein Fluid mit höherem Brechungsindex (Basisfluid) mit einem Fluid niedrigerem Brechungsindex (Sekundärfluid)

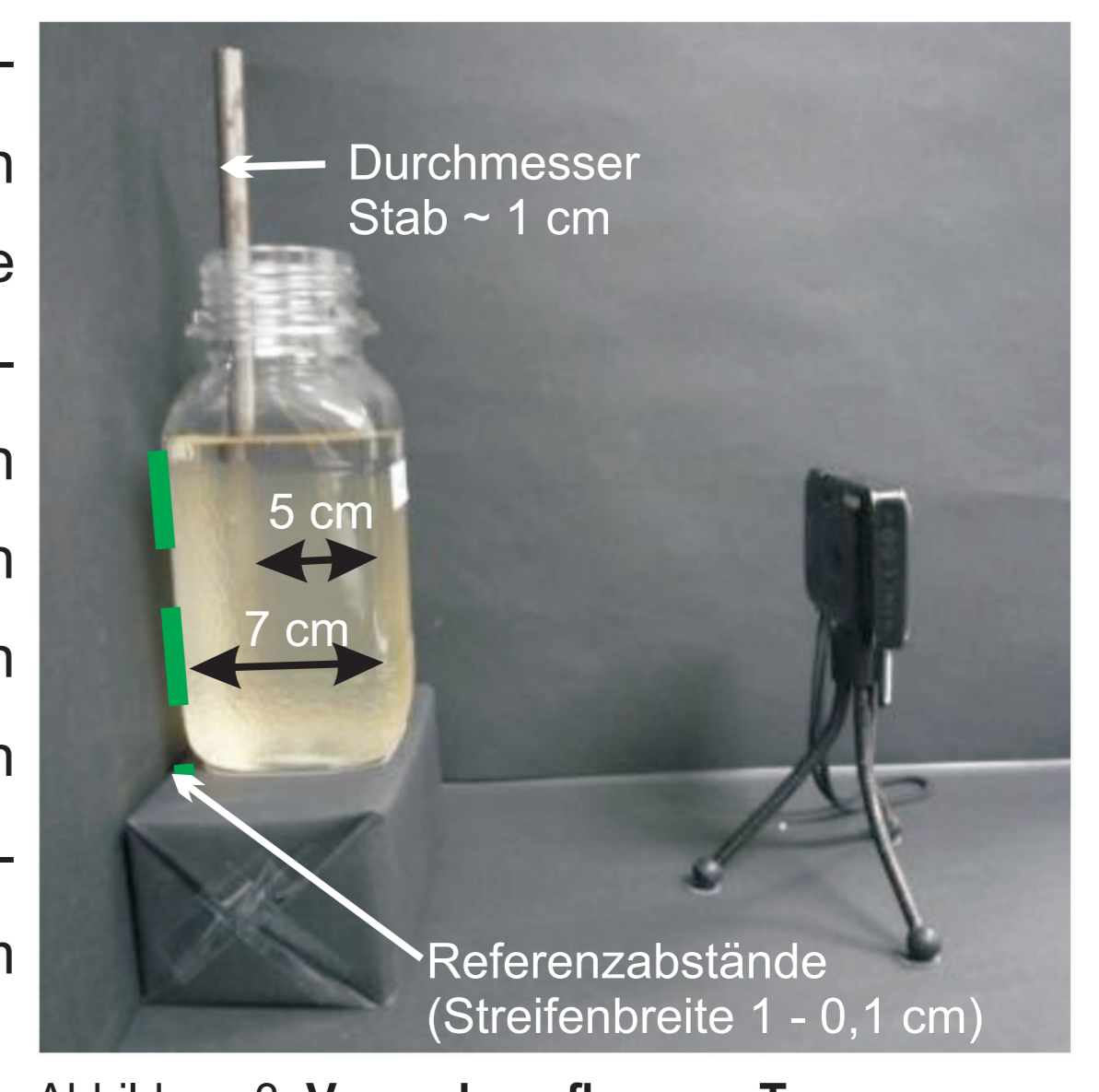


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Transparenzbewertung

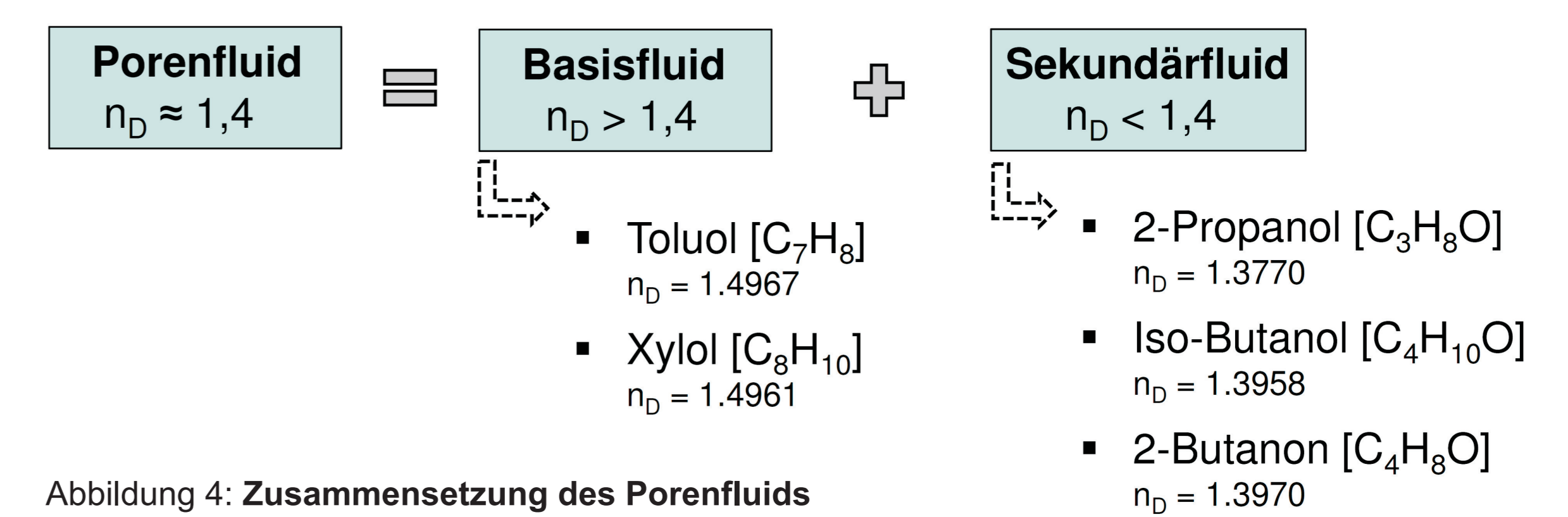


Abbildung 4: Zusammensetzung des Porenfluids

gemischt. Hierfür fanden umfangreiche und intensive Analysen mit unterschiedlichen Fluidmischungen wie Toluol oder Xylol als Basisfluid und 2-Propanol, Iso-Butanol sowie 2-Butanon als Sekundärfluid statt, Abb.4. Die erhaltene Transparenz der Probe wurde mit Hilfe von Referenzen bewertet, Abb. 3 & 5. Eine gute Transparenz konnte mit einem Brechungsindex  $n_D = 1,4290$  erzielt werden, Abb. 5.

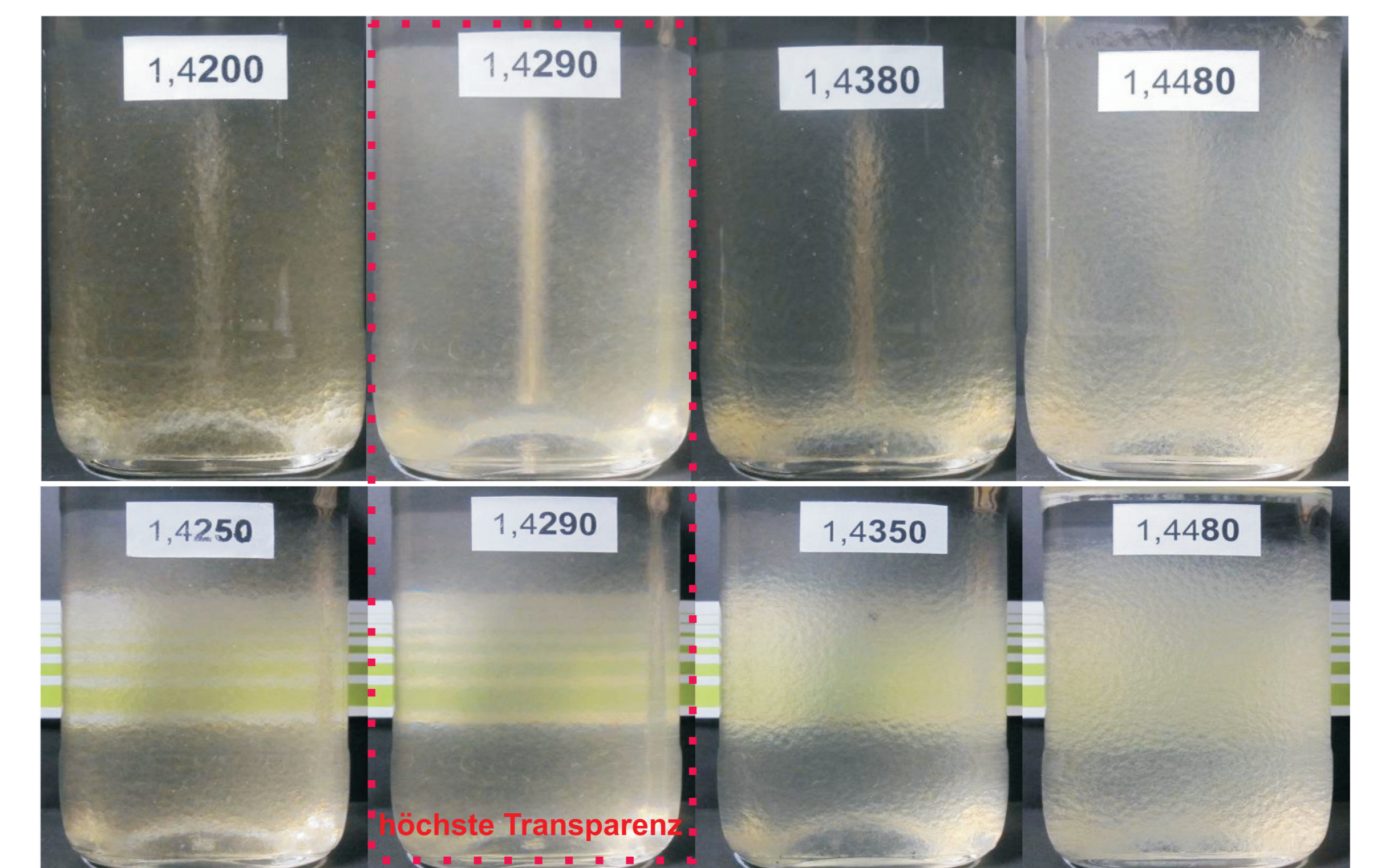


Abbildung 5: Bestimmung des Brechungsindex von Silica Gel

## PORENFLUID

Grundsätzlich muss das Porenfluid den Anforderungen der Inkompressibilität, kinematische Viskosität sowie Oberflächenspannung ähnlich wie jene bei Wasser genügen. Als am besten geeignet erweist sich eine Mischung aus Toluol (53,9 m%) und 2-Propanol (46,1 m%). Die entsprechende fluidmechanische Charakterisierung kann der Tabelle 2 entnommen werden.

Fluid	Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	pH - Wert	Brechungsindex $n_D$ [-]	Permeabilität <sup>1)</sup> $K$ [m <sup>2</sup> ]
Porenfluid	0,82	7	1,4290	8,46E-11
Wasser	1,00	7	1,3330	8,46E-11
Fluid	Oberflächensp. $\sigma$ [mN/m]	dyn. Viskosität $\eta$ [kg/s m]	kinem. Visk. $\nu$ [mm <sup>2</sup> /s]	
Porenfluid	19,76	0,0011	1,312	
Wasser	72,75	0,0010	1,004	

<sup>1)</sup> Durchströmungsmedium ist Silica Gel, siehe Tab. 1

Tabelle 2: fluidmechanische - Charakterisierung des verwendeten Porenfluids

## SCHLUSSFOLGERUNGEN / AUSBLICK

- Ein transparenter Boden konnte erfolgreich hergestellt werden.
- Die ermittelten Eigenschaften entsprechen relativ gut jener von Sand bis Kies.
- Weitere Untersuchungen - insbesondere die Visualisierung von Verschiebungsfeldern aus Ausziehversuchen von Modellpfählen - befinden sich in Bearbeitung