

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Straßer, Daniel; Lensing, Hermann-Josef; Richter, Dominik; Frank, Simon; Goldscheider, Nico**

## **Die Gefrierkernmethode - Weiterentwicklung des Erkundungsverfahrens zur geohydraulischen Charakterisierung von Sohlsedimenten**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102377>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Straßer, Daniel; Lensing, Hermann-Josef; Richter, Dominik; Frank, Simon; Goldscheider, Nico (2014): Die Gefrierkernmethode - Weiterentwicklung des Erkundungsverfahrens zur geohydraulischen Charakterisierung von Sohlsedimenten. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Aktuelle Themen der Geotechnik. Karlsruhe: Herle, Ivo. S. 123-136.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Die Gefrierkernmethode - Weiterentwicklung des Erkundungsverfahrens zur geohydraulischen Charakterisierung von Sohlsedimenten

**D. Straßer<sup>1</sup>, H.-J. Lensing<sup>1</sup>,  
D. Richter<sup>2</sup>, S. Frank<sup>2</sup>, N. Goldscheider<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

<sup>2</sup>Institut für Angewandte Geowissenschaften – Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

---

*Zur geohydraulischen Charakterisierung von Gewässersohlsedimenten wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) eine Kombination aus Gefrierkernprobenahme und nachfolgenden Laborversuchen (Permeameterversuche) an den gewonnenen ungestörten Proben durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche bestätigen die Eignung der Methode zur Bestimmung einer räumlich hochaufgelösten, tiefenorientierten, vertikalen und horizontalen Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit von Sohlsedimenten sowie deren Anisotropie.*

## 1 Einleitung

Im Zuge des Verkehrsprojekts Deutsche Einheit Nr. 17 erfolgt seit Anfang 2013 eine Vertiefung der Fahrrinne des Nedlitzer Durchstichs, einem nordwestlich von Potsdam gelegenen Teil des Sacrow-Paretzer Kanals. Die hydraulische Verbindung von Oberflächenwasser und Grundwasser ist für das komplette Ressourcenmanagement des nahegelegenen Wasserwerks, das im Wesentlichen Uferfiltrat aus dem Bereich des Nedlitzer Durchstichs fördert, von großer Bedeutung. Im Hinblick auf die Rolle der Gewässersohle als Filtermedium, insbesondere für die Wasserqualität, sind möglichst genaue Kenntnisse über deren Aufbau und geohydraulischen Eigenschaften erforderlich.

Nach Schälchli [Sch93] wirkt die Gewässersohle als Filtermedium, das bei Infiltration von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter Feinpartikel des Sickerwassers zurückhält, wodurch der Porenraum verringert, die Filterschicht verfestigt und die Durchlässigkeit reduziert wird. Dieser Prozess wird als Kolmation bezeichnet

und ist als Schlüsselgröße des Interaktionsprozesses zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser zu sehen.

Neben den Wasserinhaltsstoffen, den hydraulischen und biologischen Verhältnissen sowie Störeinflüssen (z.B. durch Schifffahrt) hat der sedimentäre Aufbau der Gewässersohle einen maßgeblichen Einfluss auf den Grad der Kolmation [Hee88]. Hierzu zählen die Korngrößenverteilung, die Porosität, die Kornoberfläche und die Morphologie sowie die hydraulische Durchlässigkeit und die Anisotropie.

Vor Beginn der Vertiefung der Gewässersohle wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) die Funktion der Gewässersohle als hydraulischer Widerstand, mit besonderem Augenmerk auf die Anisotropie, untersucht.

Zur qualifizierten Probenahme der Lockersedimente wurde die Gefrierkernmethode verwendet. Die Gefrierkernmethode ermöglicht die Gewinnung von Gefüge-intaktem, ungestörtem Probenmaterial, welches anschließend für weitere Laboruntersuchungen zur Verfügung steht. In diesem Zusammenhang wurde ein auf die Gefrierkernprobenahme aufbauendes Laborprogramm konzipiert und getestet, das es ermöglicht die hydraulische Durchlässigkeit sowie die Anisotropie der Gewässersohle räumlich hochaufgelöst und tiefenorientiert zu bestimmen.

Zur Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes von Lockersedimenten stehen verschiedene Methoden zur Verfügung (vgl. u.a. [PS75]). Man unterscheidet zwischen indirekten Verfahren, bei denen die hydraulische Durchlässigkeit ( $k_f$ ) aus der Korngrößenverteilung bestimmt wird, und direkten Verfahren, zu denen die durchgeführten Permeameterversuche zählen. Im Gegensatz zu indirekten Verfahren können durch die direkten Versuche an ungestörtem Probenmaterial Aussagen über die hydraulische Durchlässigkeit der Sedimente unter natürlichen Lagerungsbedingungen getroffen werden. Sohlsedimenteigenschaften, wie beispielsweise die Lagerungsdichte oder vorhandene Biofilme, die die natürliche hydraulische Durchlässigkeit der Sedimente verringern, können somit untersucht werden. Dass die Sedimentstruktur, z.B. durch Feinschichtung oder Einregelung, einen erheblichen Einfluss auf die Durchlässigkeit der Gewässersohle hat, zeigte u.a. bereits Chen [Ch00] bei seiner Arbeit über die Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit einer Fließgewässersohle durch Infiltrationsversuche. Weiterhin ist mit indirekten Verfahren keine Differenzierung nach horizontaler oder vertikaler Verteilung des Durchlässigkeitsbeiwertes möglich. Permeameterversuche an entsprechend orientiert entnommenen Proben bieten diese Möglichkeit. Aus diesen Gründen bietet sich eine Kombination der Gefrierkernprobenahme und der Durchführung von Permeameterversuchen zur hydraulischen Charakterisierung von Gewässersohlen an.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die für die Untersuchungen herangezogenen Proben wurden aus der Sohle des Nedlitzer Durchstichs und des Weißen Sees, Teilen des Sacrow-Paretzer-Kanals (SPK-km 19,90 bis 21,00), entnommen. Dieser ist Teil der Unteren-Havel-Wasserstraße, die die Oder und die Elbe miteinander verbindet. Das Untersuchungs-

gebiet liegt etwa 5 km nordwestlich von Potsdam im Bundesland Brandenburg (Abbildung 1).



Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets „Nedlitzer-Durchstich“.

## 2.1 Hydrologie und Hydrogeologie

In der Umgebung des Nedlitzer Durchstichs bilden holozäne Talsande den oberen Aquifer. Der Kanaldurchstich ist nicht gedichtet und steht deshalb in direktem Kontakt mit dem Grundwasserleiter. Im Zuge der Vorbereitungen für die Ausbaumaßnahmen wurden von der BAW zahlreiche Erkundungsbohrungen im Untersuchungsgebiet abgeteuf. Durch die Bohrungen konnte die obere Gewässersohle, je nach Standort, als Faulschlamm, Mutterboden oder Aufschüttungen beschrieben werden. Unterhalb dieser Schicht folgen Fein- bis Mittelsande mit z.T. schluffigen, grobsandigen und kiesigen Anteilen. Geschiebemergel tritt in den Sandschichten in linsenförmigen Einlagerungen auf. Dabei handelt es sich um stark schluffigen, schwach tonigen, z.T. schwach kiesigen, stark kalkhaltigen Sand bzw. tonigen, feinsandigen, stark kalkhaltigen Schluff. Im Bereich der Fahrrinne wurde hauptsächlich Faulschlamm, zum Teil schluffig, zum Teil sandig mit vorwiegend flüssiger bis sehr weicher Konsistenz angesprochen. Darunter liegend bildet eine Geschiebemergelschicht einen Grundwassergeringleiter. In Gutachten der Bundesanstalt für Wasserbau wird die hydraulische Durchlässigkeit der Mergelschicht mit  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s angegeben und die Durchlässigkeit der darüber liegenden Feinsande mit  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s [BAW99]. Der Nedlitzer Durchstich ist etwa 1,1 km lang, die durchschnittliche Tiefe beträgt 3,5 m. Der Wasserspiegel im Nedlitzer Durchstich liegt bei 29,2 mNN [BAW99]. Nur wenige hundert Meter südlich des Kanals befindet sich ein Wasserwerk, das aus dem weitgehend unbedeckten Grundwasserleiter über 5000 m<sup>3</sup> Wasser

pro Tag fördert. Die lokale Absenkung der Grundwasseroberfläche an den Förderbrunnen auf ca. 24 mNN führt zu einem steilen hydraulischen Gradienten zwischen Pumpbrunnen und Oberflächengewässer.

### 3 Erkundungsmethoden und Versuchsergebnisse

Während drei Messkampagnen im Zeitraum zwischen Dezember 2012 und Oktober 2013 wurden aus der Gewässersohle im Bereich des Nedlitzer Durchstichs insgesamt 44 Gefrierkerne entnommen (Abbildung 2). Nachstehend werden die Gefrierkernprobenahme, die Gewinnung von Laborproben aus den Gefrierkernen, sowie daran durchgeführte Laboruntersuchungen beschrieben.

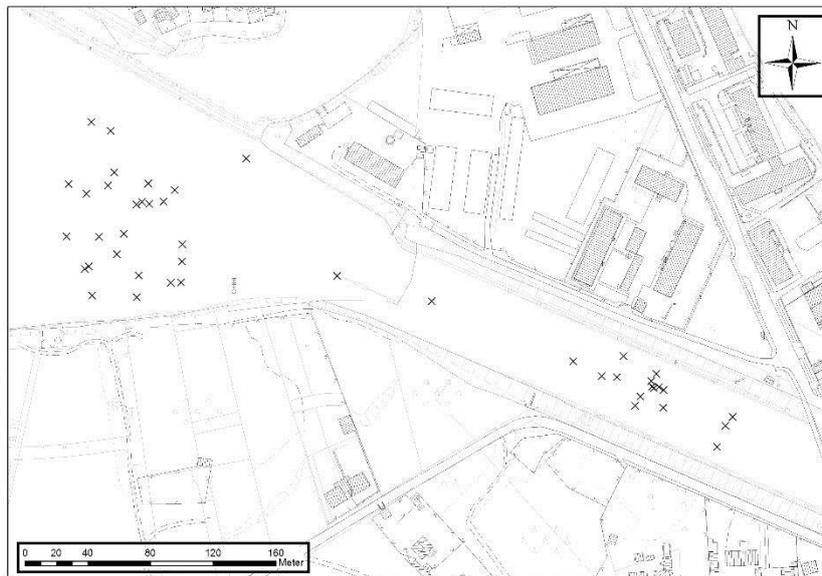


Abbildung 2: Probenahmepunkte am Nedlitzer Durchstich.

#### 3.1 Gefrierkernprobenahme

Zur Entnahme von ungestörten Proben aus Ablagerungen mit fehlender oder nur geringer Kohäsion, insbesondere aus wassergesättigten Sanden und weichen Schluffen und Tonen, sind herkömmliche Entnahmetechniken nicht geeignet. Beim Einbringen der Entnahmegерäte oder beim Herausziehen der Geräte zerfließen die Proben oder gehen verloren [SK98]. Dies kann durch das Gefrieren der Proben vor oder während der Entnahme verhindert werden.

Bereits 1948 erkannte Bishop [Bis48] die Notwendigkeit einer qualitativ hochwertigen Probenahme, als er, aufbauend auf Arbeiten von Hvorslev, folgende Anforderungen an ungestörte Proben stellte:

- ungestörte Bodenstruktur
- keine Änderung des Wassergehalts oder des Porenvolumens
- keine Änderung der Bestandteile oder der chemischen Zusammensetzung des Bodens

Eine erste Methode, einen festen Sedimentkern von Seesedimenten mit Hilfe eines Kühlmediums zu gewinnen, entwickelte Shapiro 1958 [Sha58]. Ab den 1970er Jahren wurde die Gefrierkernmethode zu einer weit verbreiteten Technik, insbesondere in der Limnologie und Paläolimnologie. Arbeiten zu diesem Thema verfasste unter anderem Swain [Swa78]. Dabei wurde die Sedimentprobe vom Kühlmittel umflossen, gefror dabei und konnte dann entnommen werden. Eine Weiterentwicklung dieser Technik stellt die Gefrierlanze dar. Das Kühlmittel zirkuliert in der innen hohlen Lanze, wodurch es zum Anfrieren des Sediments an die Außenseite der Lanze kommt. Das gefrorene Sediment kann dann mitsamt der Lanze entnommen werden. Dieses Prinzip wurde u.a. von Stocker [Sto72] beschrieben, wobei auch erstmals flüssiger Stickstoff als Kühlmittel eingesetzt wurde. Eine auf dem Aufbau von Stocker basierende Weiterentwicklung wird auch von der BAW eingesetzt.

### 3.1.1 Versuchsgrundlagen und Durchführung

Für die Probenahme in Potsdam wurde eine spitz zulaufende, innen hohle Gefrierlanze mit einem Durchmesser von 4,5 cm und einer Länge von 100 cm verwendet. Zur Gewinnung der Proben kann die Gefrierkernlanze durch mehrere Metallrohre, mit innen liegender Stickstoffleitung, bis über die Wasseroberfläche verlängert und vom Schiff aus bis zur Gewässersohle abgesenkt werden.

Beim Absenken der Lanze bis zur Gewässersohle ist darauf zu achten, die Lanze möglichst senkrecht und vorsichtig auf dieser aufzusetzen, um ein Aufwirbeln von Feinpartikeln zu verhindern. Die Gefrierkernlanze wird anschließend mit einem Fallgewicht schrittweise bis zur Strömungsschutzplatte in das Sediment eingebracht. Nach dem Einbringen wird der Verbindungsschlauch zum Stickstoffdruckbehälter an die innenliegende Stickstoffleitung angeschlossen. Der zugeführte, flüssige Stickstoff (-196°C) gelangt in die Gefrierkernlanze, verdampft dort und entweicht wieder über das Verlängerungsrohr in die Atmosphäre. Abbildung 3 zeigt schematisch das Prinzip einer Gefrierkernprobenahme.

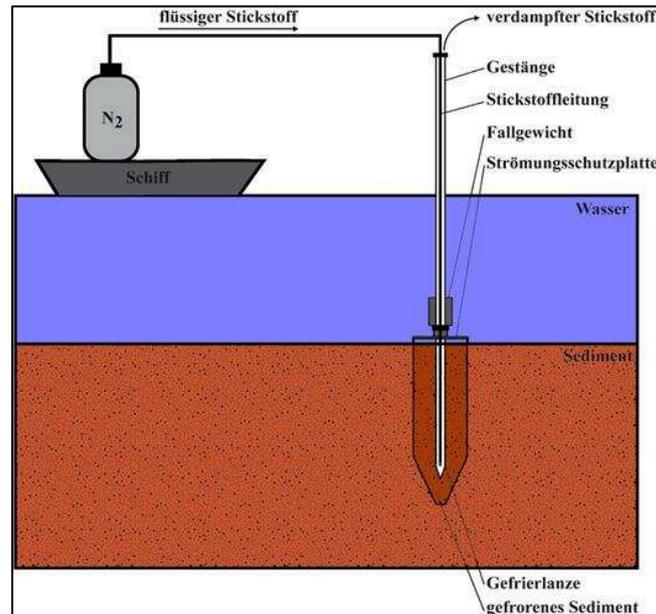


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Gefrierkernprobenahme.

Nach ca. 30 – 40 Minuten Gefrierzeit kann der an der Lanze festgefrorene Bodenkörper geborgen werden. In Abhängigkeit von der Kornverteilung der Sedimente, der Gefrierdauer, des eingestellten Stickstoffflusses und der Wassertemperatur weisen die Gefrierkerne einen Durchmesser von 20 bis max. 40 cm auf. Der Verbrauch an flüssigem Stickstoff beträgt pro Kern etwa 40 Liter [Esp14]. Nach der Entnahme der Gefrierkerne mit Hilfe eines Greifers wurden diese einer visuellen Bodenansprache unterzogen und entsprechend in Teilproben zerlegt, welche im gefrorenen Zustand aufbewahrt und für die weiterführenden Laboruntersuchungen aufbereitet wurden.

### 3.1.2 Qualität der Gefrierkernproben

Während der Messkampagne in Potsdam wurde festgestellt, dass trotz aller Vorteile, die die Gefrierkerntechnik bietet, eine komplett ungestörte Probenahme, wie in der Literatur beschrieben, nahezu unmöglich ist. Untersuchungen von Niederreiter [Nie99] zeigen, dass es schon beim Einrammen der Lanze in den Untergrund zu leichter Aufwirbelung von Feinsedimenten an der Sohloberfläche kommt. An den entnommenen Proben wurde außerdem eine von der Kornzusammensetzung der Sedimente abhängige Gefügezerstörung durch die Lanze beobachtet. Dabei wird das Sediment, das im unmittelbaren Kontakt zur Lanze steht, bei deren Einrammen mit nach unten gedrückt (Abbildung 4).



Abbildung 4: Teil einer aufgeschnittenen Gefrierkernprobe mit sichtbarer, durch Einschlagen der Lanze verursachte, Veränderung der Lagerungsverhältnisse.

Als nahezu ungestört kann so nur das Probenmaterial ab wenigen Zentimetern Entfernung von der Gefrierlanze betrachtet werden. Dies muss bei der Beprobung für weiterführende Laboruntersuchungen beachtet werden. Nach Sego et al. [Seg94] überstehen das Korngefüge und der Porenraum von reinen Sanden und Kiesen, trotz einer Volumenausdehnung des gefrierenden Wassers um ca. 9 Vol.-%, den Gefrierprozess unbeschadet. Dass das Gefrieren und Wiederauftauen keinen signifikanten Einfluss auf das Volumen und die Festigkeit eines Probenkörpers aus wassergesättigtem Sand haben, sofern das verdrängte Porenwasser beim Gefrierprozess frei abfließen kann und die Umschließungsdrücke beim Einfrieren und Auftauen erhalten bleiben, konnten Singh et al. [Sin92] zeigen. Vor diesem Hintergrund kann davon ausgegangen werden, dass es im Rahmen dieser Untersuchungen der Gewässer- und Sedimentforschung zu keinen relevanten verfahrensbedingten Fehlern bei der Probennahme gekommen ist und so bei den Laboruntersuchungen repräsentative Ergebnisse erzielt werden konnten.

### 3.2 Entnahme von Laborproben aus den Gefrierkernen

Zur Durchführung weiterführender Laborversuche müssen die im Gelände gewonnenen, tiefgefrorenen Proben aufgetaut werden. Hierzu werden die Probenstücke im noch gefrorenen Zustand mit einer Folie umwickelt und anschließend in Sand eingebettet. Der Sand und die Folie stabilisieren die Probe und halten einen Außendruck aufrecht, sodass es während des Auftauprozesses zu keinen Verformungen oder Setzungen kommt. Die Folie verhindert zusätzlich eine Vermischung der Probe

mit dem Sand und dämmt zudem ein Entweichen des noch in der Probe enthaltenen Wassers ein (Abbildung 5).



Abbildung 5: Gefrorene Sedimentpakete werden für die Durchführung von Permeameterversuchen aufbereitet.

Nach dem Auftauen der Probe können Stechzylinder in das Sediment eingedrückt werden. Je nach Orientierung des Stechzylinders konnten aus dem Sedimentkörper sowohl horizontale als auch vertikale Proben entnommen werden, wodurch weiterführend die Bestimmung der hydraulischen Anisotropie des Sedimentkörpers möglich ist. Die verwendeten Stechzylinder aus Edelstahl haben einen Durchmesser von 5 cm und besitzen am unteren Ende eine Schneide, um ein leichteres und störungsfreies Eindringen zu ermöglichen. Die Länge der verwendeten Stechzylinder beträgt ebenfalls etwa 5 cm. Bei der Probenahme muss darauf geachtet werden die Zylinder in möglichst großem Abstand zur Gefrierlanze einzudrücken, um Kontakt zu eventuell gestörten Bereichen zu vermeiden. Weiterhin ist der Zylinder zur Vermeidung möglicher späterer Randumläufigkeiten bei den Permeameterversuchen gerade und in einem Zug einzudrücken.

### 3.3 Permeameterversuche

Mit Durchflussmessungen in Permeametern kann die hydraulische Durchlässigkeit sowohl von ungestörten als auch gestörten Sedimentproben bestimmt werden. Bei Verwendung von ungestörten Lockersedimentproben geben die Versuchsergebnisse Auskunft über die hydraulische Durchlässigkeit unter natürlichen Lagerungsverhältnissen. Alle Permeameterversuche des Projekts wurden mit Proben, die hauptsächlich aus Fein- und Mittelsand bestehen, durchgeführt, weshalb nach von Soost [Soo08] eine Versuchsapparatur mit veränderlichem hydraulischem Gefälle gewählt wurde. Um einer etwaigen Bildung von Gasblasen, die zur Verstopfung

eines Teils des Porenraumes führen können, vorzubeugen wurde dazu entgastes Wasser verwendet.

### 3.3.1 Versuchsgrundlagen und Durchführung

Die Durchlässigkeitsversuche zur Bestimmung des  $k_f$ -Wertes erfolgten in Anlehnung an DIN 18130-1 [DIN98] und an die Versuchsbeschreibung von Langguth & Voigt [LV04]. Das hydraulische Gefälle wurde entsprechend dem Filtergesetz nach Darcy [Dar56] so gewählt, dass während der Versuchsdurchführung laminare Strömungsverhältnisse vorherrschen. Die Probenabmessungen und damit die Stechzylinder wurden konform zu DIN 18130-1 [DIN98] gewählt. Diese schreibt ein Verhältnis von Größtkorn zu Probendurchmesser von mindestens 1:10 und von Größtkorn zu Probenhöhe von mindestens 1:5 vor. Dadurch soll ein möglicher Einfluss von kleinskaliger Heterogenität des Probenmaterials auf das Versuchsergebnis ausgeschlossen werden. In Abbildung 6 ist eine schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zu sehen.

Eine Abweichung gegenüber der in der Norm vorgegebenen Vorgehensweise ist die Durchströmung der Probe von oben nach unten. Dies war nötig um versuchsbegleitend die Veränderung der natürlichen Lagerungsdichte durch den Wasserdurchfluss sowie den Einfluss von künstlicher Verdichtung der Probe auf den  $k_f$ -Wert zu ermitteln. Vergleichsuntersuchungen, bei denen unverdichtete, aufgesättigte Proben von unten nach oben durchströmt wurden, zeigten keine Unterschiede bezüglich der zu Beginn ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte.

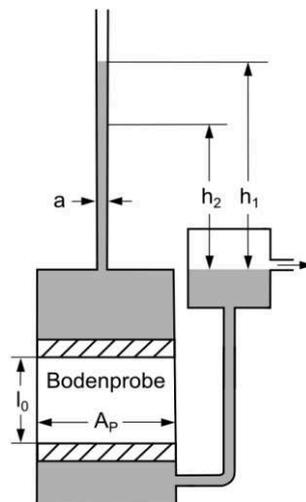


Abbildung 6: Schematischer Aufbau eines Permeameterversuchs (Probe von oben nach unten durchströmt).

### 3.2.2 Berechnungsverfahren

Nach DIN 18130-1 [DIN98] lässt sich der Durchlässigkeitsbeiwert nach folgender Formel berechnen:

$$k_f = \frac{a \cdot l_0}{A_p \cdot \Delta t} * \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \quad \text{in} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Dabei gilt:

- $a$ : Querschnittsfläche des Standrohres [ $m^2$ ]
- $l_0$ : Höhe des Probenkörpers [ $m$ ]
- $h_1$ : auf den Probenauslauf bezogener Wasserstand im Standrohr bei Versuchsbeginn
- $h_2$ : auf den Probenauslauf bezogener Wasserstand im Standrohr bei Versuchsende
- $A_p$ : Querschnittsfläche des Probenkörpers [ $m^2$ ]
- $\Delta t$ : Messzeitspanne [ $s$ ]

Da die Viskosität des Wassers temperaturabhängig ist und deshalb bei gleichem hydraulischen Gradienten die Fließgeschwindigkeit und damit der  $k_f$ -Wert von der Temperatur beeinflusst wird, wurde eine „Temperaturkorrektur“ der Werte durchgeführt, um die Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche später mit den aus der Kornverteilung berechneten Durchlässigkeitsbeiwerten und mit Literaturwerten vergleichen zu können [LV04]. Nach DIN 18130-1 [DIN98] kann der  $k_f$ -Wert auf eine Vergleichstemperatur von 10°C nach folgender Formel korrigiert werden:

$$k_{f,10^\circ C} = \frac{1,359}{1+0,0337 \cdot T+0,00022 \cdot T^2} k_f = \alpha * k_f \quad \text{in} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Dabei gilt:

- $T$ : Wassertemperatur beim Versuch [ $^\circ C$ ]
- $k_f$ : aus Versuch ermittelter Durchlässigkeitsbeiwert [ $m/s$ ]
- $\alpha$ : Temperatur-Korrekturbeiwert [-]
- $k_{f,10^\circ C}$ : Durchlässigkeitsbeiwert bei 10°C [ $m/s$ ]

## 4 Ergebnisse und Diskussion

Die an den Proben aus dem Bereich des Nedlitzer Durchstichs ermittelten Werte für die vertikale hydraulische Durchlässigkeit ( $k_{f,v}$ ) erstrecken sich über einen Bereich von  $1,95 \cdot 10^{-7}$  m/s bis  $3,46 \cdot 10^{-5}$  m/s. Für die horizontale hydraulische Durchlässigkeit ( $k_{f,h}$ ) wurden Werte zwischen  $2,55 \cdot 10^{-7}$  m/s und  $6,65 \cdot 10^{-5}$  m/s ermittelt. Die durch-

schnittliche hydraulische Durchlässigkeit beträgt in vertikaler Richtung  $9,81 \cdot 10^{-6}$  m/s und in horizontaler Richtung  $2,54 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Der ermittelte Anisotropiefaktor ( $k_h/k_v$ ) variiert für verschiedene untersuchte Schichten zwischen 0,25 und 15,9 und beträgt im Mittel 4,58. Im Allgemeinen wurde festgestellt, dass der Grad der Anisotropie mit zunehmender Tiefe jedoch abnimmt, die vertikale hydraulische Durchlässigkeit mit steigender Tiefe zunimmt. Dies kann durch eine vorhandene Kolmation der Gewässersohle im Untersuchungsgebiet erklärt werden. Speziell der oberste Bereich der Gewässersohle, bis zu einer Tiefe von etwa 10 cm, weist teilweise eine stark verringerte vertikale hydraulische Durchlässigkeit im Vergleich zu den darunter liegenden Bereichen auf.

Durch die Untersuchungen in Potsdam-Nedlitz konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus Gefrierkernprobenname und nachfolgenden Permeameterversuchen an den gewonnenen Proben ein geeignetes Werkzeug darstellt, um eine geohydraulische Charakterisierung von Gewässersohlsedimente durchzuführen.

## Literatur

- [BAW99] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU: *Baugrund- und Gründungsgutachten, Untere Havel-Wasserstraße - Sacrow-Paretzer Kanal - km 19,90 bis km 23,30*, Gutachten, 1999
- [Be64] BEYER, Wolfgang: Zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesen und Sanden aus der Kornverteilungskurve. IN: *Wasserwirtschaft-Wassertechnik* 14(1964), S. 165-168
- [Bis48] BISHOP, A.: A New Sampling Tool For Use In Cohesionless Sands Below Ground Water Level, IN: *Géotechnique* 1(1948), S. 125-131
- [Che00] CHEN, Xunhong: Measurement of streambed hydraulic conductivity and its anisotropy, IN: *Environmental Geology* 39(2000), S. 1317-1324
- [Dar56] DARCY, Henry: *Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon*, 1956
- [DIN98] DIN 18130-1: *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes*, Beuth Verlag, 1998
- [Esp14] ESPOSITO, Michael; Andrus, Ronald; Camp, William: Ground Freezing and Sampling of Pleistocene Sand near Charleston, South Carolina, IN: *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 140(2014), S. 185-193
- [Ha93] HAZEN, Allen: Some physical properties of sands and gravels, with special reference to their use in filtration, IN: *Twenty-fourth annual report state border health Massachusetts*, S. 541-556, 1893

- [Hee88] HEEGER, Dietwolf: *Untersuchungen zur Kolmationsentwicklung in Fließgewässern. Ein Beitrag zur Methodik der hydrogeologischen Erkundung*. Bergakademie Freiberg, Dissertation, 1988
- [LV04] LANGGUTH, Hans-Robert.; Voigt, Rudolf: *Hydrogeologische Methoden (2. Ausg.)*, Springer Verlag, 2004
- [Nie99] NIEDERREITER, R.: Der Freeze-Panel Sampler (Frost-Platten Sammler) - Ein neues korngößenunabhängiges Verfahren zur Entnahme gefügetakter oberflächennaher Urproben aus wassergesättigten Lockersedimenten, IN: *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 1999
- [PS75] PEKDEGER, Asaf; Schulz, Horst: Ein Methodenvergleich zur Laborbestimmung des kf-Wertes von Sanden, IN: *Meyniana* 27(1975), S. 35-40
- [Sau09] SAUEREGER, Georg: *Untersuchung von Kolmationsprozessen in der freien Fließstrecke der Lutz mittels eines physikalischen Modells*. Diplomarbeit, Technische Universität Graz, 2009
- [Sch93] SCHÄLCHLI, Ulrich: *Die Kolmation von Fliessgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen*. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Dissertation, 1993
- [SK98] SCHREINER, Matthias; Kreysing, Klaus: *Geotechnik Hydrogeologie - Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten (Bd. 4)*, Springer-Verlag, 1998
- [Seg94] SEGO, David C.; Robertson, Peter K.; Sasitharan, S.; Kilpatrick, B. L.; Pillai, V. S.: Ground freezing and sampling of foundation soils at Duncan Dam, IN: *Canadian Geotechnical Journal*, 31(1994), Nr.6, S. 939-950
- [Sha58] SHAPIRO, J.: The core-freezer - A new sampler for lake sediments, IN: *Ecology* 39(1956), S. 758
- [Sin82] SINGH, Sukhmander; Seed, Bolton; Chan, Clarence K.: Undisturbed sampling of saturated Sands by freezing, IN: *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 108(1982), Nr. 2, S. 247-264
- [Soo08] VON SOOS, Paul: *Eigenschaften von Boden und Fels - ihre Ermittlung im Labor; K. J. Witt, Grundbau Taschenbuch, Teil I: Geotechnische Grundlagen*, Ernst & Sohn, 2008
- [Sto72] STOCKER, Z. S.: A freezing core method for describing the vertical distribution of sediments in a streambed, IN: *Limnology & Oceanography* 17(1972), S. 136-138

- [Swa78] SWAIN, Albert M.: Environmental changes during the past 2000 years in north-central Wisconsin: analysis of pollen, charcoal and seeds from varved lake sediments, IN: *Quaternary Research* 10(1978), S. 55-68

