

„Vergleich unterschiedlicher experimenteller Methoden zur Ermittlung der hydraulischen Durchlässigkeit von Gewässersohlen“

Zusammenfassung der Masterarbeit
von Dominik Richter

Aufgabenstellung:

Im Rahmen von Erkundungen zur Interaktion von Oberflächenwasser und Grundwasser an Bundeswasserstraßen wurde in der vorliegenden Masterarbeit die hydraulische Durchlässigkeit an einer Gewässersohle mit mehreren Direkten und Indirekten Methoden bestimmt und die Ergebnisse der unterschiedlichen Verfahren miteinander verglichen.

Untersuchungsgebiet war der Nedlitzer Durchstich, ein etwa 500 m langer Kanalabschnitt, der nordwestlich von Potsdam den Weißer See mit dem Jungfernsee verbindet. Durch das steigende Aufkommen an Großschifffahrt wurde in diesem Bereich eine Eintiefung der Fahrrinne nötig. Da ein Wasserwerk in unmittelbarer Nähe Trinkwasser nachweislich durch Uferfiltration in diesem Gebiet gewinnt, war es von essentieller Bedeutung vor Beginn der Baggerarbeiten an der Gewässersohle deren Funktion als hydraulischen Widerstand zu bestimmen.

Durch die Ermittlung des Durchlässigkeitsbeiwertes an einer Vielzahl von Proben, jeweils mit differenzierten Methoden, und einem Vergleich dieser Ergebnisse untereinander konnte neben den Ergebnissen der Untersuchungen selbst noch eine Empfehlung für eine standardisierte Herangehensweise zur Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit von Kolmationsschichten an einer Gewässersohle entwickelt werden.

Diese Empfehlung konnte durch Versuche mit im Labor nachgestellten Bedingungen in der vorliegenden Arbeit nochmals bestätigt werden.

Herangehensweise:

Zur Bestimmungen des Durchlässigkeitsbeiwertes in der wassergesättigten Zone gibt es mehrere Möglichkeiten. In dieser Arbeit wurden die k_f -Werte aus der Korngrößenverteilung (Indirekte Methode) sowie durch Permeameter- und In-situ-Infiltrationsversuchen (Direkte Methoden) ermittelt. Folgende Arbeitsschritte wurden in der vorliegenden Arbeit durchgeführt:

1. Um trotz der geringen Kohäsion des wassergesättigten Lockersediments aus der Gewässersohle eine ungestörte Kernentnahme für die Direkten Versuchsmethoden durchführen zu können wurde bei allen Probennahmen die Gefrierkern-Technik angewandt (siehe Abbildung 1 und 2) . Zur Vermeidung von Setzungen und Rissbildungen beim Auftauen der gefrorenen und ungestörten Proben wurden die Proben mit einer Kunststoffolie umwickelt und in einem Sandbett fixiert.

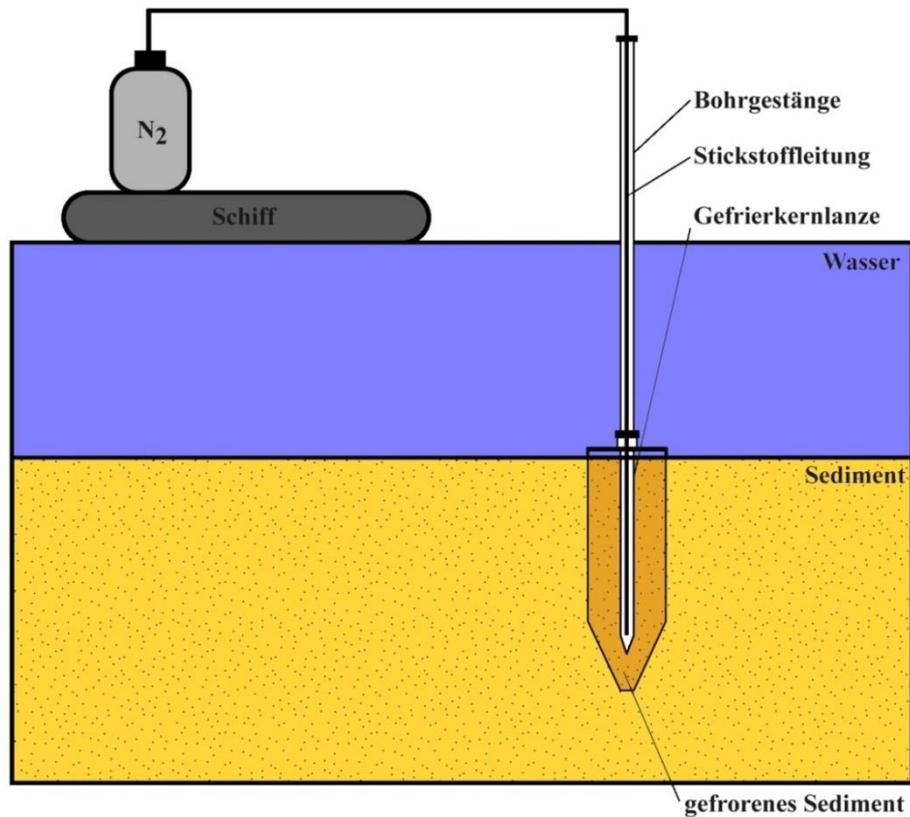


Abbildung 1: Schematische Skizze der Gefrierkernprobenahme.



Abbildung 2: Gefrorener Kern 10.

2. Von den aufgetauten Kernstücken entnommene Stechzylinderproben konnten in eine eigens entwickelt und konstruierte Vorrichtung für die Permeameterversuche (nach DIN 18130-1, 1998) eingebaut und untersucht werden.

3. Nach der Durchführung dieser Versuche wurde die Korngrößenverteilung (nach DIN 18123) der Sedimentprobe aus dem Stechzylinder bestimmt und die entsprechenden k_f -Werte nach den Verfahren von Hazen (1893), Beyer (1964), Zieschang (1964), Kozeny-Köhler (Köhler, 1965) und Wittmann (1981) errechnet.
4. Des Weiteren wurden im Untersuchungsgebiet neben der Gefrierkern-Entnahme simultan In-situ-Infiltrationsversuche durchgeführt. Durch die gemessene Änderung des hydraulischen Druckpotentials konnte mithilfe dieser Auffüllversuche ebenfalls der hydraulische Widerstand in unterschiedlichen Tiefen und an verschiedenen Stellen bestimmt werden.
5. Um genaue Aussagen über den Einfluss von Lagerung, Korngröße, Schichtung, dem TOC-Gehalt sowie einer möglichen Kolmationsschicht auf den Durchlässigkeitsbeiwert treffen zu können, wurden im Zuge dieser Arbeit weitere Versuche durchgeführt (siehe Abbildung 3). Dafür wurden im Labor die Bedingungen des Untersuchungsgebietes nachgestellt, als Gewässersohle diente im Labor homogener, unverdichteter Sand, um so die Auswirkungen der oben aufgezählten, möglichen Einflüsse auf den hydraulischen Widerstand zu untersuchen. Für einen direkten Vergleich dieser Ergebnisse mit den Resultaten des Untersuchungsgebietes wurde für diese Laborversuche die identische Versuchsreihe angewandt wie bei der Auswertung der Proben aus dem Nedlitzer Durchstich.

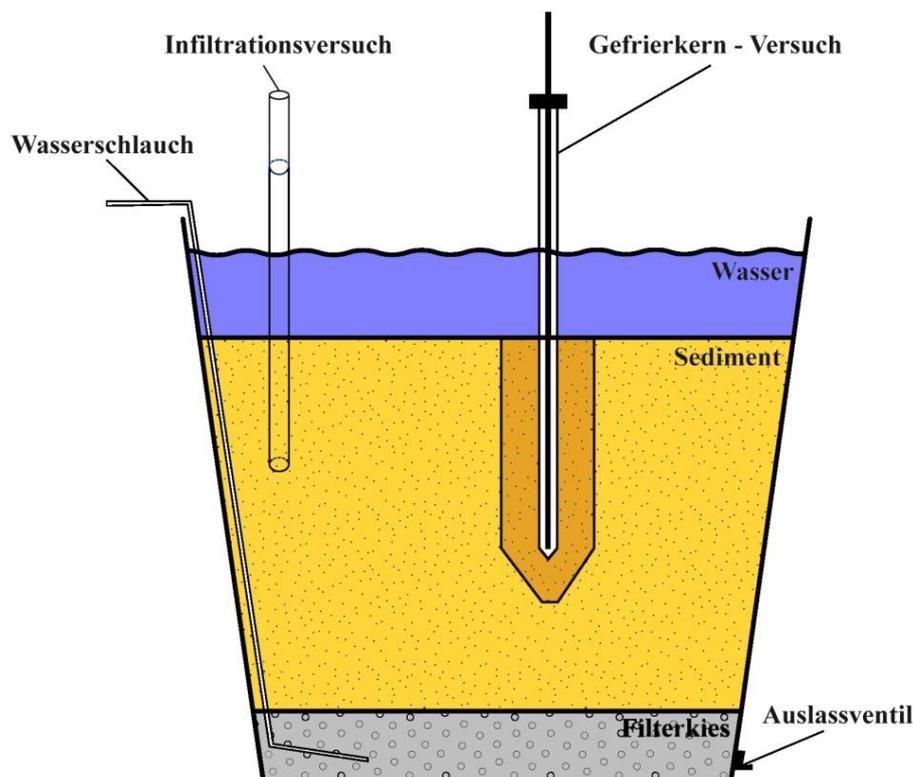


Abbildung 3: Schematische Skizze der Vergleichsversuche.

Erkenntnisse

Aus der mit unterschiedlichen Methoden erfolgten Bestimmungen des hydraulischen Widerstands an der Gewässersohle des Nedlitzer Durchstichs resultieren mehrere voneinander abweichende Ergebnisse.

In-situ durchgeführte Infiltrationsversuche liefern ein sehr genaues Ergebnis, sobald die Eindringtiefe deutlich größer ist als der Durchmesser des Rohrs. Die Resultate der Permeameterversuche an den Proben aus den Gefrierkernen decken sich dabei größtenteils mit diesen Ergebnisse. Bei der Untersuchung der Korngrößenverteilung zur Bestimmung der k_f -Werte weisen die Ergebnisse aus Infiltrations- und Permeameterversuch die geringsten Abweichungen zu den k_f -Werten nach dem Verfahren von Wittmann (1981) auf. Bei allen weiteren untersuchten Verfahren zur Bestimmung des k_f -Wertes aus der Korngrößenverteilung sind die Unterschiede zwischen den Ergebnisse der Methode nach Wittmann (1981) und den Ergebnissen der weiteren Versuche deutlich größer, teilweise sogar um bis zu eine Zehnerpotenz. Diese Resultate sind allerdings materialspezifisch und besitzen nur für die Korngrößenverteilung des Sediments an der Gewässersohle des Nedlitzer Durchstichs Gültigkeit.

Dennoch ist es durchaus möglich eine der in dieser Arbeit beschriebenen Methoden heranzuziehen und mit einer ausreichenden Anzahl an Ergebnissen aus Permeameterversuchen oder Infiltrationsversuchen auf die jeweiligen Bedingungen mit einem Korrekturfaktor anzupassen, um so den k_f -Wert trotzdem aus der Korngrößenverteilung bestimmen zu können.

Bei der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse fällt allerdings auf, dass die Berücksichtigung der Porosität der Probe, wie es bei den Verfahren nach Wittmann (1981) und Kozeny-Köhler (Köhler, 1965) der Fall ist, einen positiven Einfluss auf die Genauigkeit der Durchlässigkeitsbeiwerte hat.

Die Ergebnisse der Korngrößenverteilung zeigen, dass im oberen Bereich der untersuchten Gewässersohle im Nedlitzer Durchstich der Feinkornanteil mit zunehmender Tiefe steigt. Das bedeutet, es konnte im Untersuchungsgebiet eine fehlende Verfüllung des Grob- und Sekundärporenraums mit Feinkornpartikeln nachgewiesen werden. Diese nicht vorhandene mechanische Kolmation führt zu einer Abnahme der hydraulischen Durchlässigkeit der Gewässersohle. Durch die natürliche Fließgeschwindigkeit des Gewässers und den durch die Schifffahrt verursachten Strömungen wird vermutlich eine oberflächennahe, rezente mechanische Kolmation verhindert. Es ist sogar davon auszugehen, dass diese Prozesse eine mechanisch verursachte Dekolmation bewirken. Im Untersuchungsgebiet reichen diese Einflüsse nach den Versuchsergebnissen bis zu einer Tiefe von ca. 40 cm in der Gewässersohle. Für die Analysen dieser Messkampagne wurden Proben sowohl direkt aus der Fahrinne entnommen, als auch aus den Uferrandbereichen mit geringerer Strömung. In einem Vergleich dieser Proben konnten die beschriebenen Differenzen ebenfalls nachgewiesen werden.

Während der k_f -Wert aus der Korngrößenverteilung mit der Tiefe zunimmt, werden die k_f -Werte, bestimmt mithilfe der Direkten Verfahren, in größeren Tiefen geringer (siehe Abbildung 3). Mögliche Ursachen sind entweder die Besiedelung der Gewässersohle durch Organismen bzw. die Ablagerung von totem organischen Material, biologische Kolmation genannt, oder die physiko-chemische Kolmation, bei der die Porenräume durch Adhäsions- und Kohäsionskräfte sowie Hydratation oder Aggregation verfüllt werden oder Material ausfällt. Diese Effekte könnten bei der Messkampagne in Potsdam eine Differenz der Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen den Versuchen mit ungestörten Proben (k_f -Wert aus Infiltrationsversuch und Permeameterversuch) und Versuchen mit gestörten Proben (k_f -Wert aus Korngrößenverteilung) verursachen.

Das bedeutet, dass durch eine Siebanalyse nur eine mechanische Kolmation oder Dekolmation, wie sie im Nedlitzer Durchstich vermutlich vor allem durch die Schifffahrt erfolgt, als Einfluss auf den Durchlässigkeitsbeiwert gemessen werden kann und damit nicht den repräsentativen hydraulischen Widerstand für die Gewässersohle angibt. Der hydraulische Widerstand wird allerdings zusätzlich von der biologischen und der physiko-chemischen Kolmation beeinflusst, die nur bei Permeameter- und Infiltrationsversuchen berücksichtigt werden können.

Die Ergebnisse der im Labor durchgeführten Vergleichsversuche bestätigen diese Aussagen. Unter Verwendung des homogenen Sandes sind die Unterschiede im Gegensatz zu den Ergebnissen der Proben aus dem Nedlitzer Durchstich zwischen den Durchlässigkeitsbeiwerten aus In-situ-Infiltrationsversuchen, Permeameterversuchen und indirekten Versuchen deutlich geringer.

Bedingt durch die jeweils unterschiedlichen Randbedingungen einer Gewässersohle ist eine Siebung allein zur Bestimmung des hydraulischen Widerstands nicht zulässig. Alle Einflüsse auf die hydraulische Durchlässigkeit der Gewässersohle werden nur bei direkten Durchlässigkeitsversuchen mit ungestörten Proben berücksichtigt. Infiltrationsversuche sind zwar mit deutlich weniger zeitlichem und finanziellem Aufwand verbunden, allerdings ist es mit dieser Methode nicht möglich die Gewässersohle in der Tiefe abzurastern und so unterschiedlich durchlässige Schichten zu messen.

Eine aufwändigere Probennahme mittels Gefrierkern-Technik für die Durchführung von Permeameterversuchen an ungestörten Proben wird deswegen als sinnvollste Methode erachtet, um die hydraulische Durchlässigkeit an einer Gewässersohle zu bestimmen.

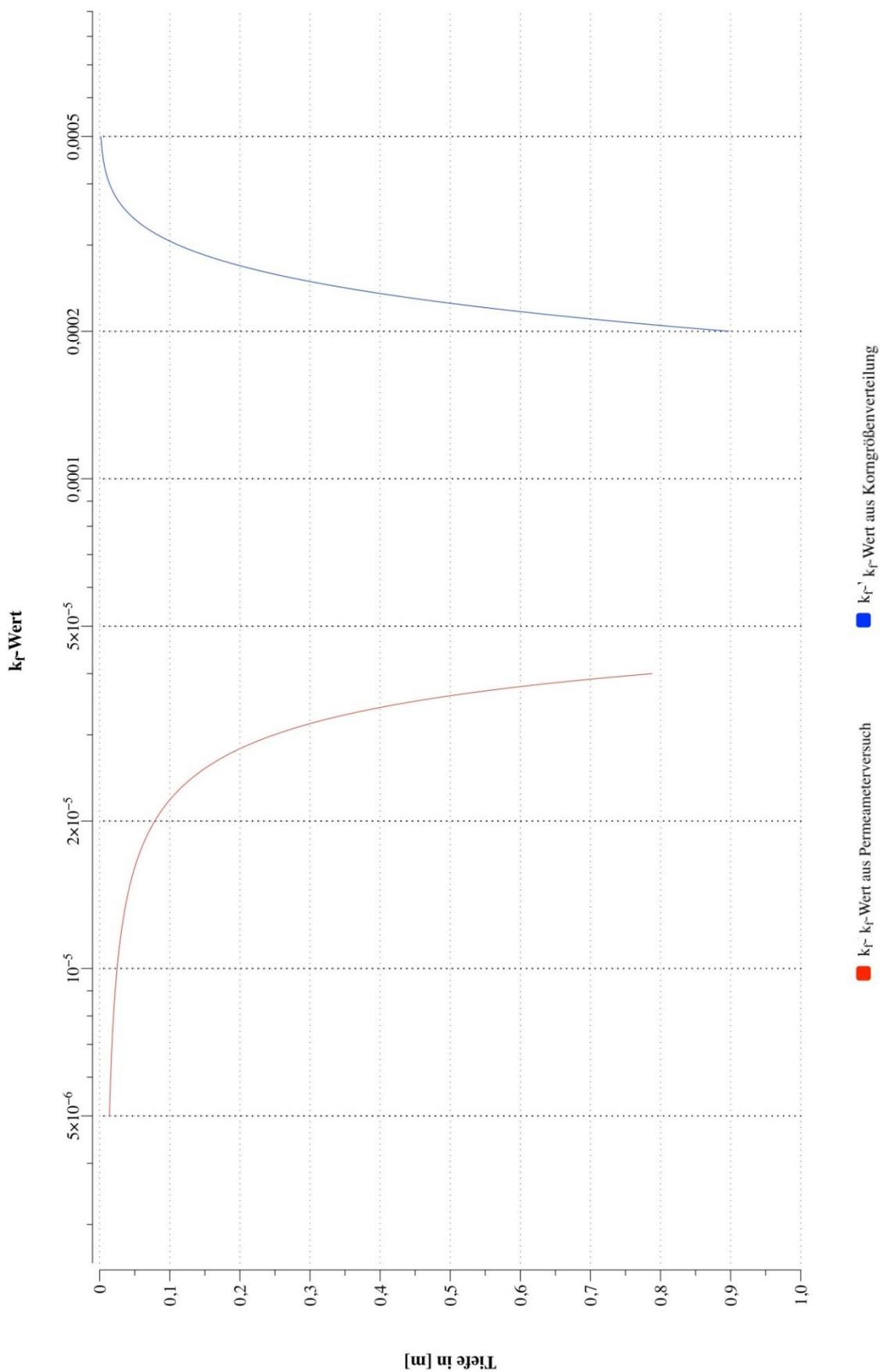


Abbildung 4: Schematischer Vergleich der k_f -Werte aus der Korngrößenverteilung (blau) und den Permeameterversuchen (rot).

Aufgrund dieser Ergebnisse sollte es Ziel sein, die Gefrierkernprobenahmetechnik als Basis für die Entnahme von ungestörten Lockersedimenten weiter zu entwickeln. Ein großer Vorteil dieser Technik ist auch die Möglichkeit sowohl direkte als auch indirekte Versuche zur Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit durchführen zu können.

Durch neu entwickelte Probenahme- und Auswertungsverfahren konnte eine genauere Bestimmung der kleinskaligen, hydraulischen Durchlässigkeit der Sohlsedimente ermöglicht werden.