



Originally published as:

Fuchs, S., Nillert, P., Ziesche, M. (2013): Kommentar zum Beitrag 'Auswirkungen von Messunsicherheiten bei der Korngrößenanalyse auf die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes' von Matthes et al. (2012) in Grundwasser 17(2), 105–111. - Grundwasser, 18, 1, 55-57, 10.1007/s00767-012-0216-y

## **Kommentar zum Beitrag „Auswirkungen von Messunsicherheiten bei der Korngrößenanalyse auf die Berechnung des Durchlässigkeitsbeiwertes“ von Matthes et al. (2012) in Grundwasser 17(2), 105–111**

**Sven Fuchs · Peter Nillert · Michael Ziesche**

Die kritische Betrachtung der Siebkornanalyse, die Ermittlung der bei den Laborarbeiten potenziell auftretenden Fehlerspannweiten sowie die Kenntnis der daraus resultierenden Unsicherheiten bei der Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes mittels (semi-)empirischer Verfahren sind von Bedeutung für die Anwendung dieser Methode in der Hydrogeologie. Die Auseinandersetzung mit dieser Thematik ist unerlässlich, jedoch weist die vorliegende Untersuchung Schwächen in Methodik und Auswertung auf, die im Ergebnis zu fehlerhaften Schlussfolgerungen führen und nicht unwidersprochen bleiben können.

Die Autoren schreiben (S. 106), dass bislang „weder der Grad der Reproduzierbarkeit, noch die Auswirkungen der in der Praxis unvermeidbaren Messunsicherheit bei der Korngrößenanalyse auf die errechneten  $k_f$ -Werte“ Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtung waren. Tatsächlich existieren jedoch diverse Arbeiten zu dieser Thematik. Beispielsweise durch den VEB Hydrogeologie (Brandt 1975 und Referenzen darin) zur Technologie der Siebanalyse, welche sich dezidiert mit der Reproduzierbarkeit der Siebung und den resultierenden Fehlern auf die  $k_f$ -Wert-Bestimmung auseinandersetzt. Erhellend in diesem Zusammenhang sind ebenfalls die veröffentlichten Berichte der Firma Retsch (z.B. Pitsch 2003, Retsch 2004). Weitergehende Arbeiten u. a. zur Reproduzierbarkeit von Siebanalysen wurden z. B. durch Stolle et al. (1985), Staudinger et al. (1986), Meyer (1998), Allen & Davis (1989) sowie Thieme (1994) publiziert.

Die Autoren (Matthes et al. 2012) weisen zutreffend auf die Bedeutung der Korngrößenanalyse für die hochauflösende (kleinskalige) Betrachtung von  $k_f$ -Werten in der hydrogeologischen Praxis hin. Für die angepasste Bemessung von Filterausbau und Schüttkorngrößen der Hinterfüllung bei der Errichtung von Brunnen und Grundwassermessstellen ist die Kenntnis der kleinräumigen  $k_f$ -Wert-Varianz entlang des Bohrlochs von besonderer Relevanz. Das rezent geltende DVGW-Regelwerk sowie die geltenden DIN-Normen (e. g. DIN 18123:1996) repräsentieren hierzu den anerkannten Stand der Technik. Bei der Parametrisierung hydrogeologischer Modelle ist jedoch immer deren räumliche Größe und die diesbezügliche Repräsentanz der aus Siebanalysen und hydraulischen Tests abgeleiteten  $k_f$ -Werte zu beachten

(z. B. Diem et al. 2010) und eine einfache Übernahme in hydrogeologische Modelle nicht sinnvoll.

Die Autoren übernehmen für Ihre Sensitivitätsanalyse einen Datensatz inkl. statistischer Auswertung der VDLUFA-Ringuntersuchungen (Enquete 86-89). Für die zusammengestellten Siebwerte wurden Toleranzgrenzen (nach DIN 38402-45:2003) berechnet und Daten mit einem kumulativen Siebdurchgang zwischen 95 und 105 % zur Auswertung herangezogen. Die Proben können nach dem Symbolschlüssel Geologie verallgemeinert als „Sand, schwach bis stark schluffig, schwach tonig“ (86\_1, 87\_2, 88\_1) oder aber als „Schluff, tonig bis stark tonig, schwach sandig“ (87\_1, 88\_2, 89\_1, 89\_2) klassifiziert werden.

Die Eignung des von den Autoren verwendeten VDLUFA-Datensatzes für Sensitivitätsuntersuchungen der verschiedenen Berechnungsformeln von  $k_f$ -Werten ist grundsätzlich in Zweifel zu ziehen. Die VDLUFA-Daten weisen den Sandanteil der Proben ( $0,063 < d < 2,0$  mm) nur als Gesamtheit aus, welche die Autoren willkürlich ausschließlich dem Korngrößenspektrum 0,2–0,63 mm „Mittelsand“ zuordnen. Die bei dieser Zuordnung zwischen Schluff und Mittelsand fehlende Feinsandfraktion widerspricht der in der überwiegenden Mehrzahl glazifluviatiler, fluviatiler und limnischer Sedimente anzutreffenden annähernden Normalverteilung der Korngrößen und führt zu einer Verzerrung der Kornsummenkurven sowie zur Fehleinschätzung der maßgebenden Korndurchmesser. Je nach Sandanteil der Proben ergeben sich Fehler für  $d_{10}$ ,  $d_{20}$ ,  $d_{50}$

und d60, die in Proben mit hohem Sandanteil methodisch bedingt am größten ausfallen (siehe die größten Fehler für die Ungleichkörnigkeit in Tab. 3).

Darüber hinaus sind die gewählten Siebsatzweiten von besonderer Bedeutung, da der Feinkornanteil maßgeblich die resultierende Durchlässigkeit bestimmt. In der Praxis wird bei einer qualifizierten Siebanalyse daher, anders als im VDLUFA-Datensatz, ein an das Sediment angepasster Siebsatz verwendet, welcher gerade im unteren Bereich der Kornsummenlinie (d5 bis d30) verdichtet wird, um eine gut aufgelöste Erfassung dieser Siebdurchgangswerte zu erreichen. Ohne eine ausreichende Anzahl von Sieben im relevanten Kornspektrum einer Sedimentprobe lassen sich die maßgebenden Korndurchmesser nicht mit der notwendigen Genauigkeit ermitteln, die für die von den Autoren durchgeführten statistischen Betrachtungen und den Methodenvergleich der  $k_f$ -Wert-Berechnungen erforderlich ist.

In den gültigen Regelwerken (DVGW-Merkblatt W 113: 2001; DIN 66165-1 und DIN 66165-2:1987) ist festgelegt, dass der Siebverlust (Differenz aus Einwaage und Gesamttrückwaage) nicht größer als 1 % sein darf und es andernfalls einer erneuten Messung bedarf. Ein im Rahmen der vorliegenden Arbeit akzeptierter Siebverlust von  $\pm 5\%$  verletzt dieses Kriterium deutlich und führt zu methodisch bedingt erhöhten Messwert-Unsicherheiten. Diese fließen in die berechnete Vergleichsstandardabweichung ein, was von besonderer Bedeutung ist, da sich die Toleranzwerte nach DIN 38402-45 als Produkt von ‚Zu-Score‘ und ‚Relativer Vergleichsstandardabweichung‘ (Variationskoeffizienten) berechnen. Methodisch bedingte Unsicherheiten führen zu größeren Variationskoeffizienten und resultieren in weiteren Toleranzgrenzen, welche schließlich deutlich höhere Fehlerspannbreiten der berechneten  $k_f$ -Werte erzeugen.

Fachlich fragwürdig ist auch die Art der weiteren statistischen Auswertung der wirksamen Korndurchmesser. Die Autoren nutzen die oberen und unteren Toleranzgrenzen, um die prozentuale Differenz zwischen Min- und Max-Werten bezogen auf den Min-Wert zu berechnen. Damit wird den Toleranzgrenzen, welche gerade keine Ausreißer mehr sind, in ungeeigneter Weise ein Referenzcharakter für die Qualität der Siebdurchgangswerte (SD) sowie der resultierenden wirksamen Korndurchmesser und der  $k_f$ -Werte zugewiesen. Die berechneten Toleranzgrenzen der SD liegen nach Durchsicht der einzelnen Enquete-Berichte zwischen 8 und 29 % (relative Abweichung, absolute Differenzen im Bereich zwischen 1 und 4 %) über bzw. unter den maximalen oder minimalen registrierten Siebwerten. Ein relevantes Maß für die Reproduzierbarkeit der Siebergebnisse stellt eher der relative Fehler resultierend aus dem Verhältnis von Toleranzgrenzen und Erwartungswert dar. Diese weisen eine deutlich geringere Variabilität auf und sind mit im Schnitt  $20 \pm 16\%$  (RMSE  $6 \pm 11\%$ ) weniger als halb so groß, wie die durch die Autoren berechneten  $49 \pm 42\%$ .

Die Autoren schreiben zur Auswertung der Ringversuche, dass *„die jeweiligen Formeln auf alle Proben angewandt [wurden], auch wenn diese außerhalb des designierten Anwendungsbereichs der Formeln lagen ...Darauf folgte der Vergleich der errechneten  $k_f$ -Werte“*.

Die Verwendung von empirischen Berechnungsformeln außerhalb der dezidierten Bildungs- und Anwendungsbereiche führt zu invaliden Berechnungsergebnissen. Die Gültigkeit einer statistischen (Regressions-)Beziehung ist streng genommen auf die während der Ableitung verwendeten Probenbereiche beschränkt. Im günstigsten Fall kann davon ausgegangen werden, dass bei einem zu prüfenden Probensatz vergleichbarer Art (ähnlicher Lockersedimenttyp) eine Anwendung in zu erwartenden Fehlergrenzen möglich ist. Außerhalb der durch die Ableitungssituation definierten Anwendungsgrenzen besitzen empirische Zahlenwertgleichungen ohne entsprechende Beleguntersuchungen schlicht keine überprüfbare Aussagekraft.

Die erkannte Missachtung der Anwendungsgrenzen, aber kritiklose Anwendung der empirischen Berechnungsverfahren durch die Autoren erschließt sich erst durch die Feststellung, dass für keine der sieben Proben die Anwendung der empirischen Berechnungsverfahren nach Hazen, Beyer, USBR oder Seelheim zulässig ist. Einzig das Verfahren nach Kaubisch ist für die drei sandigen Proben anwendbar, verletzt jedoch das Pelitkriterium ( $10 < P < 60$ ) für die tonigen Schluffproben. Die Missachtung der Anwendungsgrenzen führt in der vorliegenden Untersuchung zu einem unbekanntem zusätzlichen, möglicherweise auch nicht-linearen Fehlerterm, welcher in die berechneten  $k_f$ -Werte einfließt. Das Ziel, die aus der Messunsicherheit resultierende Fehlergröße des  $k_f$ -Wertes abzuleiten, ist gerade dadurch nicht mehr erreichbar.

In Zusammenfassung der dargelegten Kritik sowie der vorliegenden Daten müssen die berechneten  $k_f$ -Wert-Spannweiten und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen als fehlerhaft beurteilt werden. Die erläuterten Unzulänglichkeiten und

methodischen Fehler schließen aus, die Messunsicherheit von Korngrößenanalysen und die daraus resultierende Qualität von empirischen  $k_f$ -Wert-Berechnungen beurteilen zu können.

Die Schlussfolgerung der Autoren, dass „die Ermittlung von  $k_f$ -Werten aus Korngrößenanalysen nicht für die räumlich hochaufgelöste Einschätzung der Variabilität der hydraulischen Leitfähigkeit in hochheterogenen geologischen Medien geeignet ist“, ist auf Grundlage der von den Autoren dargelegten Untersuchungen nicht haltbar.

## Literatur

- Allen, T., Davies, R.: Evaluation of instruments for particle size analysis. In: 4. Europäisches Symposium Partikelmeßtechnik (PARTEC), Nürnberg, S. 17–46 (1989)
- Brandt, G.: Petrophysikalische Untersuchungsmethoden am Lockergestein. 1. Teilthema: Technologie der Siebanalyse. Bericht zum PWT-Thema Nr. 1340007, VEB Hydrogeologie (1975)
- Diem, S., Vogt, T., Hoehn, E.: Räumliche Charakterisierung der hydraulischen Leitfähigkeit in alluvialen Schotter-Grundwasserleitern: Ein Methodenvergleich. Grundwasser **15**(4), 241–251 (2010)
- DIN EN ISO 18123: Bestimmung der Korngrößenverteilung. Deutsche Norm, Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, 12 S. (1996) DIN 66165-1 und DIN 66165-2: Grundlage für Siebanalyse (1987)
- DIN 38402-45: Ringversuche zur externen Qualitätskontrolle von Laboratorien (2003)
- DVGW: Arbeitsblatt W 113: Bestimmung des Schüttkorndurchmessers und hydrogeologischer Parameter aus der Korngrößenverteilung für den Bau von Brunnen, 18 S. (2001)
- Meyer, H.-J.: Untersuchung der Reproduzierbarkeit von Wurfsiebmaschinen. Schüttgut **4**, 1 (1998)
- Pitsch, H.: Reproducible sieving in the shortest possible time. Report, Retsch Anwendungstechnik, 7 S. (2003)
- Retsch: Das 1 × 1 der optimalen Siebanalyse. [http://www.retsch.it/dltmp/www/5929-c18d9f9ec6df/af\\_sieving%20basics\\_2004\\_de.pdf](http://www.retsch.it/dltmp/www/5929-c18d9f9ec6df/af_sieving%20basics_2004_de.pdf). Abruf am 13.04.2012
- Staudinger, G., Hangl, M., Pechtl, R.: Quick optical measurements of particle distribution in a sedimentation apparatus. Part. Syst. Charakt. **3**, 158–162 (1986)
- Stolle, W., Griepentrog, P., Henke, M.: Untersuchung zur Reproduzierbarkeit von Siebanalysen bei der Vibrationsprüfsiebung. Freib. Forsch.hefte A **700**, 217–229 (1985)
- Thieme, C.: Untersuchungen der Reproduzierbarkeit von Siebergebnissen bei Labor-Wurfsiebmaschinen unter Berücksichtigung der Beschleunigung. Dissertation, FH Düsseldorf (1994)