

Motivation

Die Erkundung der Fließbewegungen in Bohrungen, Brunnen und Grundwassermessstellen spielt eine zentrale Rolle für den Schutz der Wasserressourcen. Die Messung erfolgt mit einem Flowmeter und wird in der Regel manuell ausgewertet. Das Verfahren ist sehr aufwendig. Deshalb wird ein Algorithmus zur automatischen Auswertung entwickelt. Damit können die Messungen computergestützt analysiert werden, was den Anwendern wertvolle Informationen liefert und somit Kosten spart.

Messverfahren

In diesem Beispiel wird ein Impeller-Flowmeter verwendet. Während der Messung wird Wasser abgepumpt, so dass Grundwasser aus dem Grundwasserleiter einströmt. Die Sonde durchfährt die Tiefe des Bohrlochs und das Geschwindigkeitssignal des Wassers wird aufgezeichnet. Das anströmende Fluid versetzt einen Impeller in Rotation. Wenn die Sonde einen Bereich durchfährt, in dem Wasser zu- oder abfließt, ändert sich die Drehzahl entsprechend (siehe Abb. 1). Auf diese Weise können die Zuflüsse zu den Bereichen ermittelt werden.

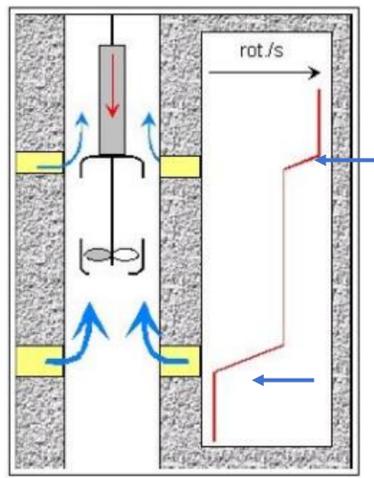


Abb. 1: Darstellung der Bohrlochmessung mit Impeller-Flowmeter und Messkurve

Datenverarbeitung

In der Praxis sind die Messkurven durch Rauschen beeinflusst. Deshalb ist es notwendig, die Rohdaten zu verarbeiten. Abb. 2 zeigt ein Messbeispiel "Bohrung 4". Die Messkurve "Flow0" stellt die Nullmessung dar, während "Flow1 & 2" die Messdaten bei Pumpenbetrieb darstellen.

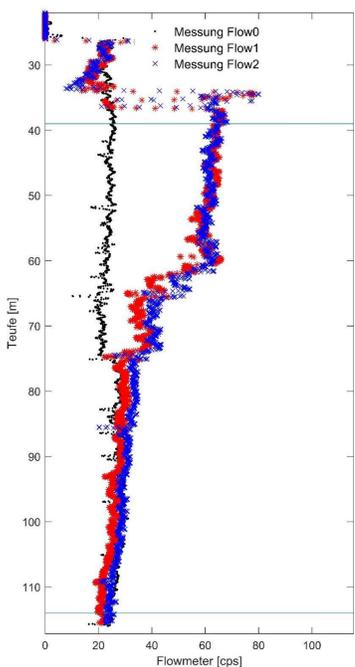


Abb. 2: Messdaten einer Bohrlochmessung

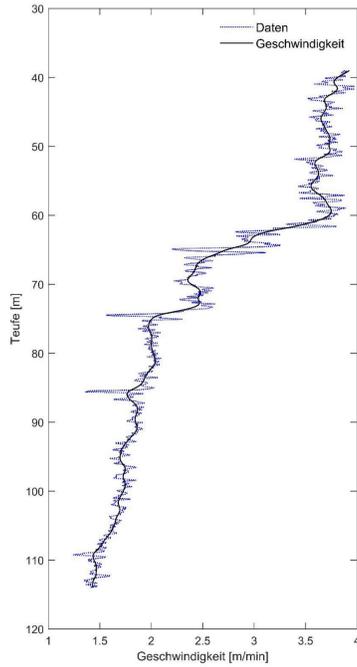


Abb. 3: Darstellung verarbeiteter Messdaten

Als Beispiel wird der Datensatz "Flow2" verarbeitet (siehe Abb. 3). Zuerst werden die Ausreißer entfernt, dann wird die Kurve mit einem Filter, z. B. einem Butterworth-Filter, geglättet.

Datenauswertung

Ziel ist es, die Zuflüsse anhand der Kurvenänderungen quantitativ zu auswerten, wofür zwei Methoden entwickelt wurden.

$$Q = Au \Rightarrow \Delta Q = A\Delta u \Rightarrow \text{Anteil} = \frac{\Delta Q}{Q_{\text{ges}}} = \frac{\Delta u}{u_{\text{ges}}} \quad (1)$$

1: Identifizierung der Steigung

Die Auswertung wird durch Steigungsänderungen der Kurve bestimmt. Der Prozess ist wie folgt (siehe Abb. 4):

- Es wird nach linearen Trends gesucht, d.h. nach Punkten, an denen sich das Wachstum ändert. Der Schwerpunkt liegt auf der Bewältigung von Störungen, die durch Kurvenschwankungen verursacht werden.
- Annäherungskurve wird erstellt und weiter optimiert.
- Berechnung der Zuflussanteile mit dem approximierten Geschwindigkeitsprofil gemäß Gleichung 1, wobei Q der Volumenstrom, A die konstante Querschnittsfläche und u die Geschwindigkeit ist.

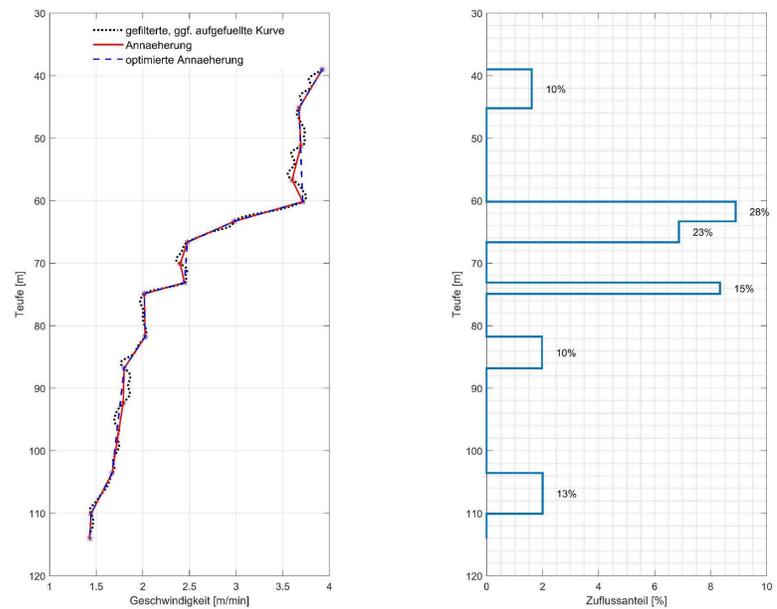


Abb. 4: Mit Methode 1 approximierte Kurve von "Flow2" und die berechneten Zuflussanteile

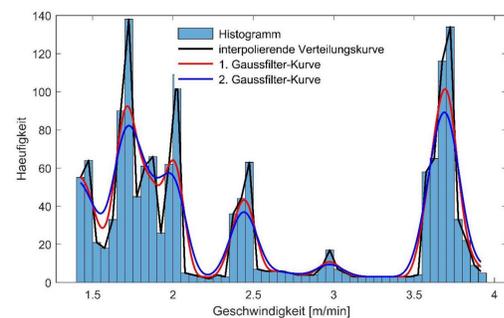


Abb. 5: Histogramm der Verteilung von Messdaten "Flow2"

2: Identifizierung der Datenverteilung

Durch die Messdatenverteilung ist es auch möglich die Änderungspunkte zu bestimmen. Wenn viele Datenpunkte im gleichen Geschwindigkeitsbereich liegen, bedeutet dies, dass in dem entsprechenden Tiefenbereich kein Zu- oder Abfluss vorhanden ist und umgekehrt, dass möglicherweise ein Zu- oder Abfluss vorhanden ist. Der Prozess ist wie folgt (siehe Abb. 5 & 6):

- Im Histogramm, das die Datenverteilung darstellt werden die Geschwindigkeitsbereiche für Spitzer und Täler mit Hilfe von Gauß-Filterkurven abgegrenzt.
- Dann können die entsprechenden Tiefenbereiche für mit / ohne Zu- und Abfluss abgeleitet werden.
- Die Kurve wird linear approximiert und die Anteile berechnet.

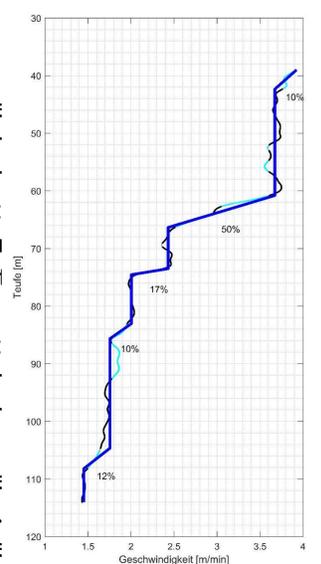


Abb. 6: Approximation der Kurve mit Methode 2 und Berechnung der Zuflussanteile

Literatur

[1] S. Zhang, M. Maurer, M. Wolf, und K. Weinberg. Rechnergestützte Auswertung von Brunnenbohrlochmessungen, bbr Leitungsbau | Brunnenbau | Geothermie, 05-2024.

Kontakt



Prof. Dr.-Ing. Kerstin Weinberg
 Universität Siegen
 Lehrstuhl für Festkörpermechanik
 Paul-Bonatz-Str. 9-11, 57076, Siegen
 Tel.: +49 271 740 2225
 kerstin.weinberg@uni-siegen.de
 www.mb.uni-siegen.de/fkm/

Michael Maurer
 BBI – Brunnen- und Bohrlochinspektion GmbH
 Salzstr. 21, 39245, Gommern
 Tel.: +49 3920050033
 info@bbi.de
 https://www.bbi.de/

Michael Wolf
 W/T Geoingenieure GbR
 Südstr. 15, 99867, Gotha
 Tel.: +49 3621893760
 wolf@wt-geoingenieure.de
 https://www.wtgeo.de/

