

Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern – Aktuelle Methoden, Anwendungen und Auswerteansätze

Hans-Peter Koschitzky¹, Carsten Leven², Thomas Ptak³



¹Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 70550 Stuttgart
koschitzky@iws.uni-stuttgart.de, www.vegas.uni-stuttgart.de



²Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, ZAG, Universität Tübingen,
Hölderlinstr. 12, 72076 Tübingen
carsten.leven-pfister@uni-tuebingen.de, www.geo.uni-tuebingen.de



³Geowissenschaftliches Zentrum, GZG; Universität Göttingen
Goldschmidtstrasse 3, 37077 Göttingen
thomas.ptak@geo.uni-goettingen.de, www.uni-goettingen.de/de/8483.html



Seminar 09/2016
Hydraulische Charakterisierung ...
Landratsamt Ludwigsburg
07. Dezember 2016

Veranlassung

...wie es begann: Situation

Untergrund-Erkundung im Rahmen der Altlastenbearbeitung, für Baugrund, für wasserwirtschaftliche Fragen, z.B. auch Geothermie etc.

- zahlreiche Erkundungs- und Auswertemethoden stehen zur Verfügung und sind auch bereits in der Praxis etabliert
- aktuelle apparative Weiterentwicklungen und neue Ansätze zur Durchführung und Auswertung der letzten Jahre haben die Anwendungsmöglichkeiten und Einsatzbereiche erweitert

... Diskussion im AK Innovative ... im af Baden-Württemberg

- Zusammenfassende Darstellung in einem Statusbericht: **Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern - Moderne Anwendungs- und Auswertungsansätze**
- Zusammenstellung der modernen Erkundungs- und Auswertemethoden
- Systematische Beschreibung der Einsatzmöglichkeiten mit Beispielen aus der Praxis
- Anwendung ermöglicht es verschiedenartige, oft komplexe Grundwasserleiter besser beschreiben und charakterisieren zu können
- Schaffung verbesserte Grundlagen für die Auslegung und Überwachung von In-situ-Sanierungsmaßnahmen oder für die Planung und den Betrieb geothermischer Anlagen

→ **Information, Wissenstransfer, Überzeugungsarbeit, Einsatzhäufigkeit erhöhen**

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg

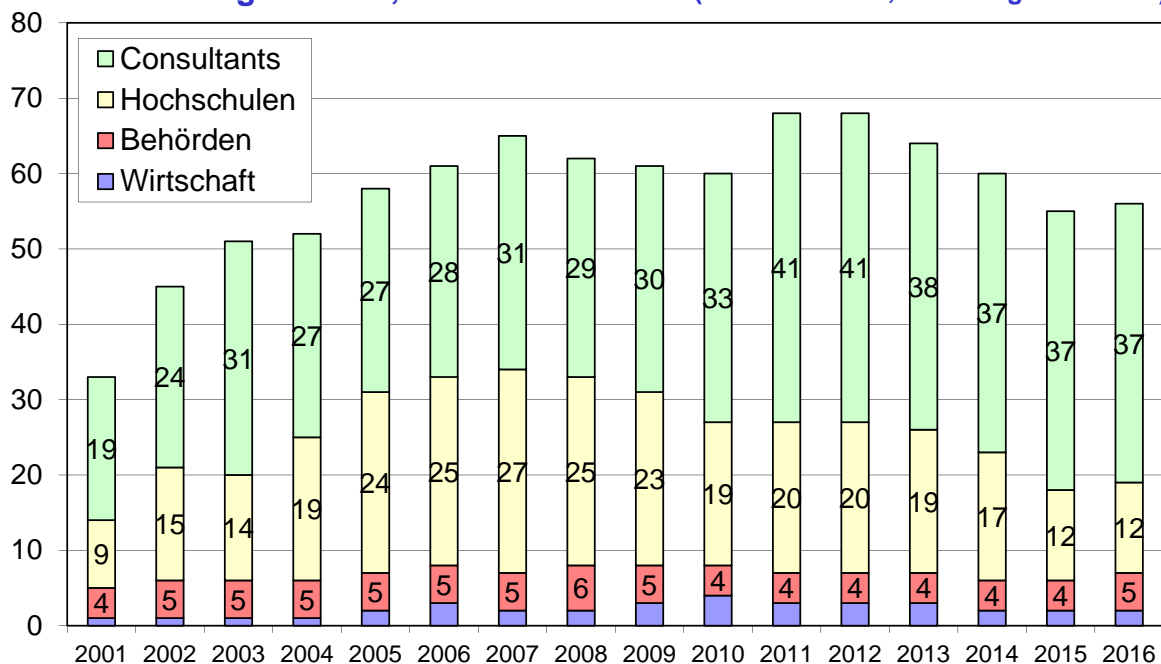


Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

2

Mitglieder 56, davon 37 aktiv

2 - 3 Sitzungen / Jahr, ca. 20 Teilnehmer (46 in 19 Jahren, 1. Sitzung 17.12.1997)



© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg Kos /
07. Dezember 2016 af MV
.3

Von der Idee zum Produkt

altlastenforum

Baden-Württemberg e.V.

Flächenrecycling, Boden- und Grundwasserschutz

Arbeitskreis Innovative Erkundungs-,
Sanierungs- und Überwachungsmethoden

➤ Erste Idee

40. Sitzung im Frühjahr 2014: Diskussion über die Bedeutung hydraulischer Charakterisierung von Grundwasserleiter für verschiedene umwelt- und ingenieurgeologische Fragestellungen

- ✓ Idee und Inhalt für Statusbericht im AK vorgestellt
 - diskutiert → Autorenteam gebildet → Ausarbeitung der Inhalte
 - Diskussion und Abstimmung im AK → Erstellung Statusbericht
 - Verabschiedung finaler Entwurf im AK (46. Sitzung, 30.09.2016)
 - Fertigstellung und Lektorat durch unabhängige Personen
 - Freigabe durch AKÖ und Vorstand des af
 - ➔ Drucklegung November 2016
- ✓ Fertigstellung Dezember 2016

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

4

Das „Produkt“ – der Statusbericht af Heft 17

Heft 17 (Dezember 2016)

Arbeitskreis Innovative Erkundungs-,
Sanierungs- und Überwachungsmethoden

Im Statusbericht werden die Grundlagen
und der aktuelle Entwicklungsstand von
Methoden, Anwendungen und
Auswertansätze zur hydraulische
Charakterisierung von
Grundwasserleitern mit Beispielen aus
der Praxis vorgestellt und erläutert



© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Fortbildungsverband
Boden und Altlasten
Baden-Württemberg

Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

5

Ziel des Seminars



Fortbildungsverband
Boden und Altlasten
Baden-Württemberg

...heute:

Information, Wissenstransfer → Überzeugungsarbeit...

- Überblick über die Methoden und neue Entwicklungen
- spezifische Einsatzmöglichkeiten aber auch –grenzen aufzeigen
- Anhand von Anwendungsbeispiele verdeutlichen
- Fragen / Diskussion auch bzgl. behördlicher Akzeptanz

→ Diskussion mit Ihnen

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Fortbildungsverband
Boden und Altlasten
Baden-Württemberg

Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

6

- **Problemstellung, Zielsetzung und Aufbau**
- **Definitionen und Grundsätze**
 - grundlegende Überlegungen zu Skalen- bzw. Maßstabsbeziehungen beim Einsatz hydraulischer Untersuchungsmethoden
 - tabellarischen Zusammenfassung der Methoden und deren Einsatzbereiche
- **Methodenbeschreibung / Auswertestrategien**
 - Pumpversuche: Hydraulische Tomographie und diagnostische Plots
 - Slugtests: „normale“ und Multilevel-Slugtests
 - Direct-Push-Methoden: Injektionslogging, Permeameter, DP-basierte Slugtests
 - Flowmeter-Untersuchungen: Hydraulischer Kurzschluss, vertikale Durchlässigkeitsverteilung
 - ➔ Beschreibung von Entwicklungsstand, Methodenvarianten und alternative Methodenanwendungen sowie Einsatzmöglichkeiten für verschiedene Anwendungsbereiche

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

7

Problemstellung, Definitionen und Grundsätze

- Wozu hydraulische Methoden zur Charakterisierung von Grundwasserleiter, komplexe Erkundungsaufgaben, ...
- Auflösungsvermögen, Untersuchungsvolumen, Anwendungs- und Auswertestrategie, Skalen- und Maßstabsbeziehung, Erkundungsmaßstab...
- ➔ **Fragestellungen definiert die Größe des zu untersuchenden Volumens des Grundwasserleiters und die erforderliche räumliche Auflösung der Untersuchung**
- ➔ **Beide entscheidend für die Auswahl der Methode**

Skalenbeziehungen und Charakteristika der vorgestellten Methoden zur hydraulischen Charakterisierung von Grundwasserleitern

Thomas Ptak, GZG, Geowissenschaftlichen Zentrum, Universität Göttingen

Aquifererkundung bei schwierigen geologischen Gegebenheiten - Erwartung und Anforderungen eines Auftraggebers

Dipl.-Geol. Erwin Stefan Hiesl, Deutsche Bahn AG, Karlsruhe

© VEGAS



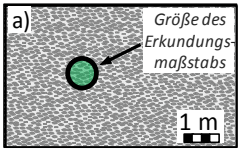
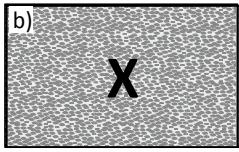
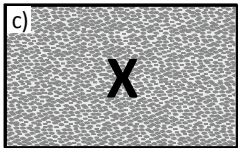
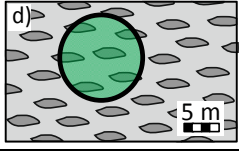
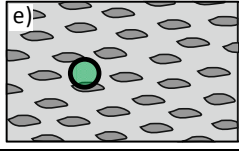
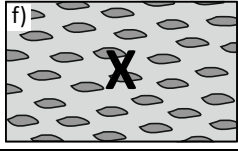
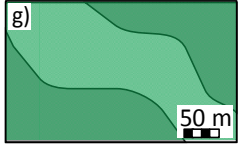
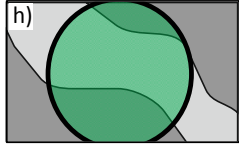
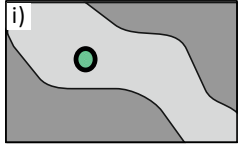
Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

8

Grundsätze: Skalenbeziehungen

	$E > H$	$E \approx H$	$E < H$
homogen $H \ll U$	a)  a) <i>Größe des Erkundungsmaßstabs</i> 1 m	b)  b) X	c)  c) X
lokal heterogen $H < U$	d)  d) 5 m	e)  e)	f)  f) X
regional heterogen $H > U$	g)  g) 50 m	h)  h)	i)  i)

Skalenbeziehungen und Charakteristika der vorgestellten Methoden zur hydraulischen Charakterisierung von Grundwasserleitern

Thomas Ptak, GZG, Geowissenschaftlichen Zentrum, Universität Göttingen

Aquifererkennung bei schwierigen geologischen Gegebenheiten - Erwartung und Anforderungen eines Auftraggebers

Dipl.-Geol. Erwin Stefan Hiesl, Deutsche Bahn AG, Karlsruhe

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

9

Methodenbeschreibung: Pumpversuche (1)

Pumpversuche: diagnostische Plots

- Besondere Auswertestrategie für Pumpversuche basierend auf der Betrachtung der zeitlichen Änderung des gemessenen Absenkungs- oder Druckverlaufs
 - Aufzeigen charakteristischer Verläufe für verschiedene Grundwasserleitertypen bzw. von Einflüsse nicht-idealen Grundwasserleiter- oder Brunnenbedingungen
- ➔ **Rückschlüsse auf die Eigenschaften des Grundwasserleiters, hydraulische Kenngrößen bestimmen und nicht-ideale Bedingungen von einer weitergehenden Datenanalyse eliminieren**

Auswertung von Pumpversuchen mit diagnostischen Plots

Uwe Hekel, HPC AG, Rottenburg

© VEGAS



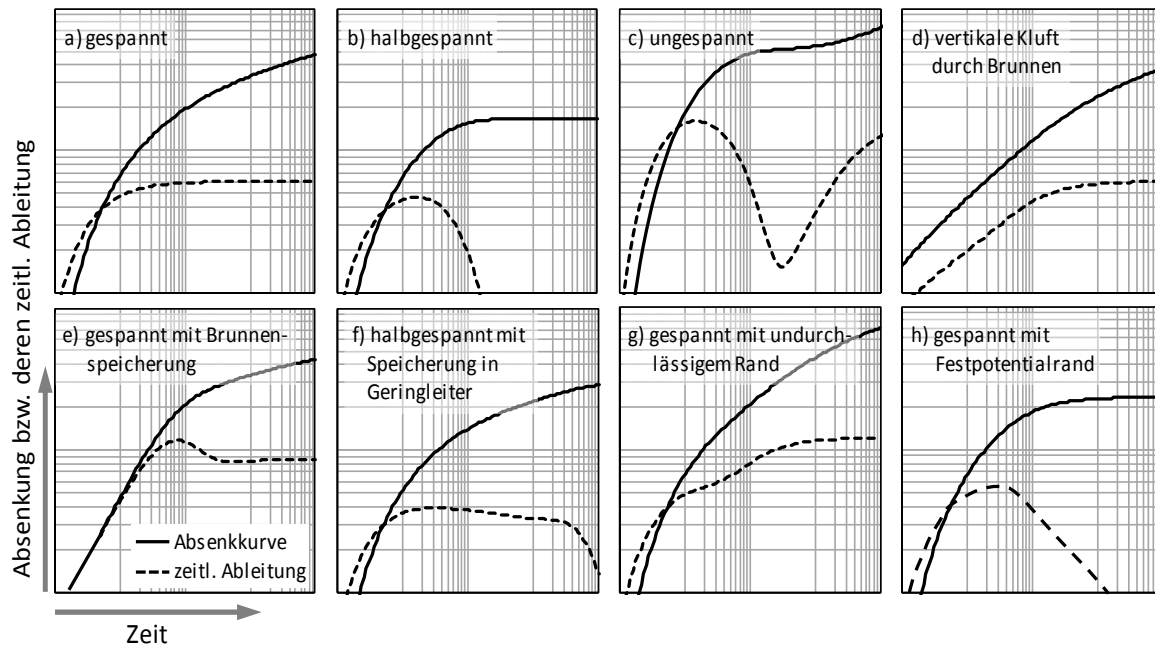
Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

10

Methodenbeschreibung: PV (1) Diagnostische Plots



Auswertung von Pumpversuchen mit diagnostischen Plots
Uwe Hekel, HPC AG, Rottenburg

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

11

Methodenbeschreibung: Pumpversuche (2)

Pumpversuche: Hydraulische Tomographie

- PV: eines der wichtigsten Verfahren zur Charakterisierung hydraulischer Eigenschaften von Grundwasserleitern
 - Beobachtetes Zeit-Absenkungsverhalten wird mit Typkurvenverfahren ausgewertet oder mittels numerischer Grundwasserströmungsmodelle die hydraulischen Eigenschaften von Grundwasserleitern bestimmt
 - In der Regel wird ein integraler Wert der hydraulischen Parameter ermittelt
- ➔ **Hydraulische Tomographie ermöglicht die heterogene Verteilung der hydraulischen Eigenschaften von Grundwasserleitern festzustellen und räumlich detailliert aufzulösen**

Hydraulische Tomographie, Fallbeispiele und Quantifizierung von Parameterunsicherheiten

Anneli Guthke, BoSS Consult, Stuttgart, Carsten Leven, ZAG, Universität Tübingen

© VEGAS



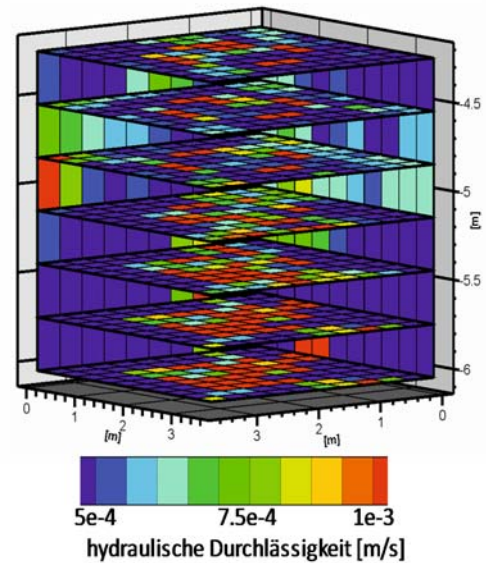
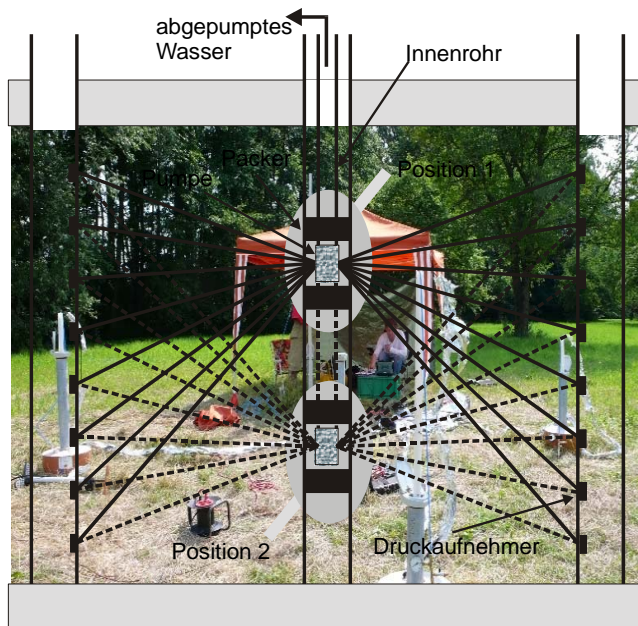
Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

12

Methodenbeschreibung: PV (2) Hydraulische Tomographie



Hydraulische Tomographie, Fallbeispiele und Quantifizierung von Parameterunsicherheiten

Anneli Guthke, BoSS Consult, Stuttgart, Carsten Leven, ZAG, Universität Tübingen

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

13

Methodenbeschreibung: Slugtests und Direct-Push

Slugtests: „normale“ und Multilevel-Slugtests, DP-basierte Methoden

- Analyse der zeitlichen Änderung des Wasserstandes in einer Grundwassermessstelle als Reaktion auf eine schlagartige Störung des Ruhewasserspiegels
 - In vollverfilterten Grundwassermessstellen oder unverrohrten Bohrlöchern, in Multilevel- bzw. teilverfilterten Messstellen oder temporären Direct-Push-Messstellen
 - Direct-Push-Methoden: DP-basierte Slugtests, Injektions-Logging oder Permeametermessungen
- ➔ **Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit im Nahbereich einer Grundwassermessstelle**
- ➔ **tiefenhorizontierte Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit**

Slug-Tests und hydraulische Direct-Push-Methoden

Carsten Leven, ZAG, Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg

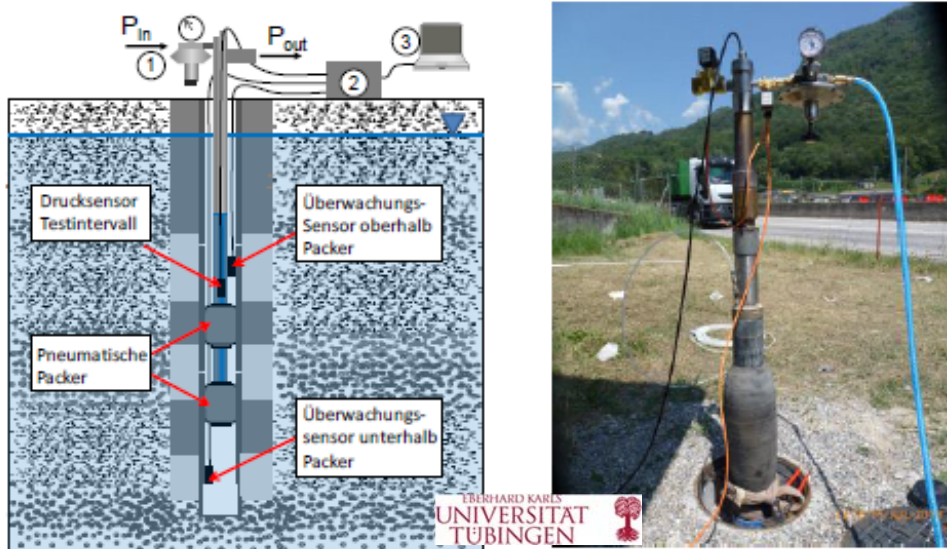


Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

14

Methodenbeschreibung: Slugtests und Direct-Push

- als Multilevel-Tests in vollverfilterten Messstellen



Slug-Tests und hydraulische Direct-Push-Methoden

Carsten Leven, ZAG, Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

15

Methodenbeschreibung: Flowmeter

Flowmeter-Untersuchungen

- Bestimmung vertikal gerichtete Strömungsgeschwindigkeiten in Grundwassermessstellen durch:
 - passiv: vertikale Potentialunterschiede im Grundwasserleiter oder
 - aktiv: erzeugt durch Grundwasserentnahme
- Grundlage für die Ermittlung verschiedener Eigenschaften eines Grundwasserleiters bzw. einer Grundwassermessstelle
- passiver Anregungszustand: hydraulischer Kurzschluss in einer Messstelle
- aktiver Anregungszustand: Zuflussverteilung bzw. Vertikalprofil der hydraulischen Durchlässigkeit
- vertikale Verteilung von Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser

Anwendungsmöglichkeiten von Flowmetermessungen

Peter Halla, Berghof GmbH, Tübingen

© VEGAS



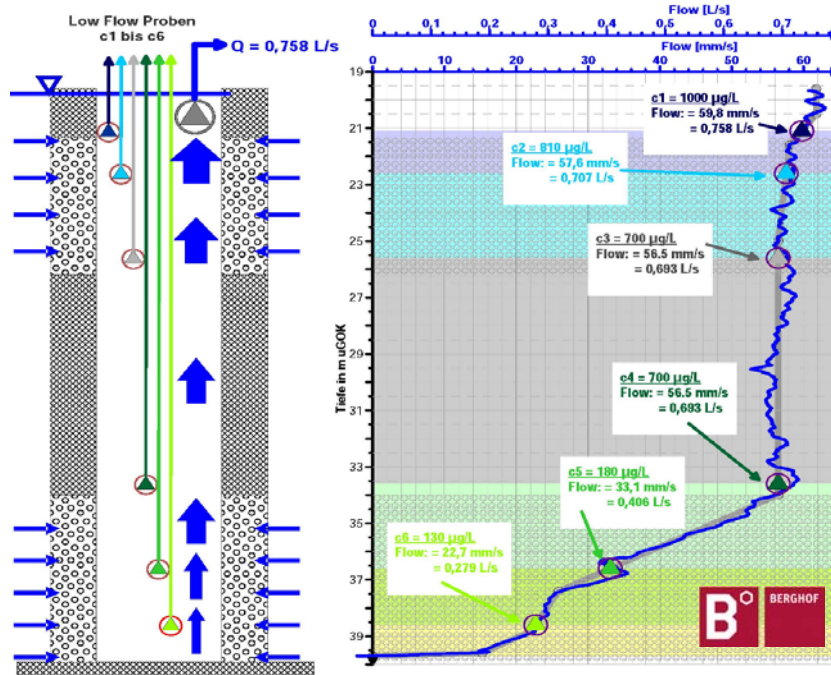
Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016

16

Methodenbeschreibung: Flowmeter



Anwendungsmöglichkeiten von Flowmetermessungen
 Peter Halla, Berghof GmbH, Tübingen

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
 Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
 LRA Ludwigsburg
 07. Dezember 2016

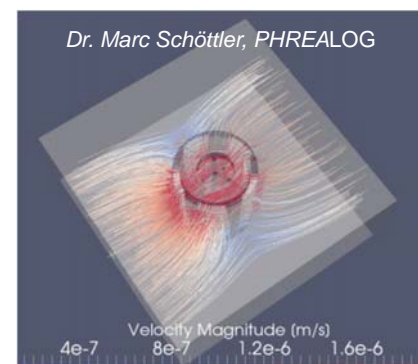
17

Beispiele: Geophysik und optische Methoden

- Geophysikalische Bohrlochmessungen
- Bestimmung von Grundwasserströmungen mit optischen Methoden in einer Grundwassermessstelle

Geophysikalische Bohrlochmessungen als sinnvolle
 Erweiterung hydraulischer Erkundungen: Fallbeispiele
 Andre Voutta, Grundwasserhydraulik, Herrenberg

Optische Methoden zur Detektion und Quantifizierung
 von Grundwasserströmungen
 Marc Schöttler, PHREALOG, Baden-Baden



© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
 Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
 LRA Ludwigsburg
 07. Dezember 2016

18

Danke für Ihr Interesse und
Ihre Aufmerksamkeit

Haben Sie Fragen

koschitzky@iws.uni-stuttgart.de

Dr.-Ing. Hans-Peter Koschitzky, Technischer Leiter

VEGAS, Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung, Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 61, 70569 Stuttgart, Tel.: 0711 685-64716, Fax: 0711 685-67020

© VEGAS



Hydraulische Charakterisierung von Grundwasserleitern –
Der neue Statusbericht des af Baden-Württemberg



Seminar 09/2016
LRA Ludwigsburg
07. Dezember 2016