



DR. WALTER
GOTSCHY

INGENIEUR- UND SACHVERSTÄNDIGEN-BÜRO
FÜR OPTIK, PHYSIK UND TRACERTECHNIK

EINSATZ VON TRACERVERSUCHEN IM RAHMEN DER IN-SITU ALTLASTENSANIERUNG –

HERANGEHENSWEISEN UND PLANUNGSGRUNDLAGEN

Daniel Ruech, M.Sc., Ulm (DE)

Dr. Walter Gotschy, Salzburg (AT)

AGENDA

- Einführung & Hintergrund
- Technische Ausrüstung
- Tracersubstanzen
- Planungsgrundlagen
- Versuchsverläufe
- Lessons learned
- Fragen?



Quelle: Sensatec GmbH



Quelle: Sensatec GmbH

EINFÜHRUNG & HINTERGRUND

- Tracerversuche sind bekannt aus vornehmlich hydrogeologischen oder auch hydraulischen Anwendungsgebieten, auch Leakage-Detektion sind eine mögliche Anwendung
- Liefern im Prinzip aber sehr wertvolle Informationen zur erfolgreichen Auslegung, insbesondere von in-Situ Sanierungsstrategien
 - Prüfen von zusammenhängenden oder getrennten GW-Stockwerken
 - Nachzeichnen präferenzieller Fließwege und Strecken
 - Erfassung von hydraulischen Kennparametern (Abstandsgeschwindigkeiten)
- Daraus lassen sich Pumpregime und optimale Eingabestellen sowie –raten ermitteln
- Bestehende Grundwassermodelle können kalibriert und weiter verfeinert werden
- Auch aktive Sanierungen (hier insbesondere P&T Maßnahmen) lassen sich dadurch in ihrer Effizienz steigern
- Umsetzung benötigt jedoch know-how und technische Ausstattung (je nach Fragestellung)

TECHNISCHER AUFWAND

- **Einfache Tracer-Versuche**, z.B. unter Nutzung von NaCl (deren Aussage jedoch eingeschränkt sind s.u.) lassen sich mit standardisierter Probennahme (PN) -Ausrüstung und geeignetem Eingabeinventar (IBC Behälter, etc.) unproblematisch umsetzen
- **Spezifischere Tracer-Versuche** (hier insbesondere Einsatz von fluoreszierenden Tracer-Substanzen) erfordern höheren Technisierungsgrad, insbesondere im Falle einer **In-Situ** plus **Online-Erfassung** der Tracer-Konzentrationen, sowie deren Übermittlung per **Datenfernübertragung** (DFÜ)



Quelle: RUB Ruhr-Universität Bochum

IN-SITU / ONLINE - TRACERVERSUCH

– Vorteile der In-Situ / Online-Erfassung:

- ❖ Hohe zeitliche und räumliche Auflösung
- ❖ Erfassung kurzzeitiger Tracer-Durchgänge
- ❖ Erfassung unterschiedlicher Fließwege (z.B. Horizonte)
- ❖ Keine Verwechslung von Proben

– Vorteile der Datenfernübertragung:

- Überwachung Versuchsverlauf vom Büro
- Deutlich weniger Fahrten zur Messstelle
- Information zu wichtigen Begleitparametern wie Temperatur vorort, Ladezustand Akku, etc.
- Schnelle Reaktionsfähigkeit während Versuchsdauer
- Sicherung der übertragenen Messdaten (kein Datenverlust)



Quelle: Ralf Benischke, Graz

TECHNISCHE AUSRÜSTUNG

– Feldtaugliches Fluorometer, mit Lichtleitersonde

- ❖ Kompaktes, feldtaugliches Lichtleiter-Fluorometer-Gerät (32 x 40 x 15 cm)
- ❖ Lichtleiterkabel mit LL für Anregungslicht (Ex) und LL für Fluoreszenzlicht (Em)
- ❖ Ex-Lichtleiter führt Ex-Licht (z.B. blau, bei Uranin) aus Gerät zum Tracer
- ❖ Em-Lichtleiter führt EM-Licht (z.B. grün, bei Uranin) von Tracer retour zu Gerät
- ❖ Speicherung Messdaten im Gerät (mV-Werte), **Messintervall z.B. 15 min.**
- ❖ Stromversorgung über Netzteil oder externer 12V-Batterie möglich

– Datenfernübertragungs-Einheit (DFÜ)

- Separate Einheit 20 x 10 x 8 cm, Datenverbindung zu Fluorometer
- Stromversorgung über Fluorometer
- Überträgt Messdaten an Server, **Messintervall z.B. 2 h**

FELDTAUGLICHES LICHTLEITER-FLUOROMETER



Quelle: Ing. Büro Dr. Walter Gotschy

Fluorometer

Messkanal-B

Messkanal-A

Lichtleiter Kanal-A

Lichtleiter-Sonde,
Durchmesser = 25 mm

- Lichtleiter-Fluorometer, 1-6 Messkanäle, 1 Lichtleiter pro Kanal
- Stromversorgung: Netzteil oder externe 12 V Batterie
- Länge Lichtleiter: 20 m Standard, bis 50 m möglich
- Messintervall: 1s bis 24h
- Umrüstbar auf alle gängigen Fluoreszenz-Tracer
- Nachweisgrenze Uranin: ca. 5 ng/l

ZEITLICHER ABLAUF eines TRACERVERSUCHS

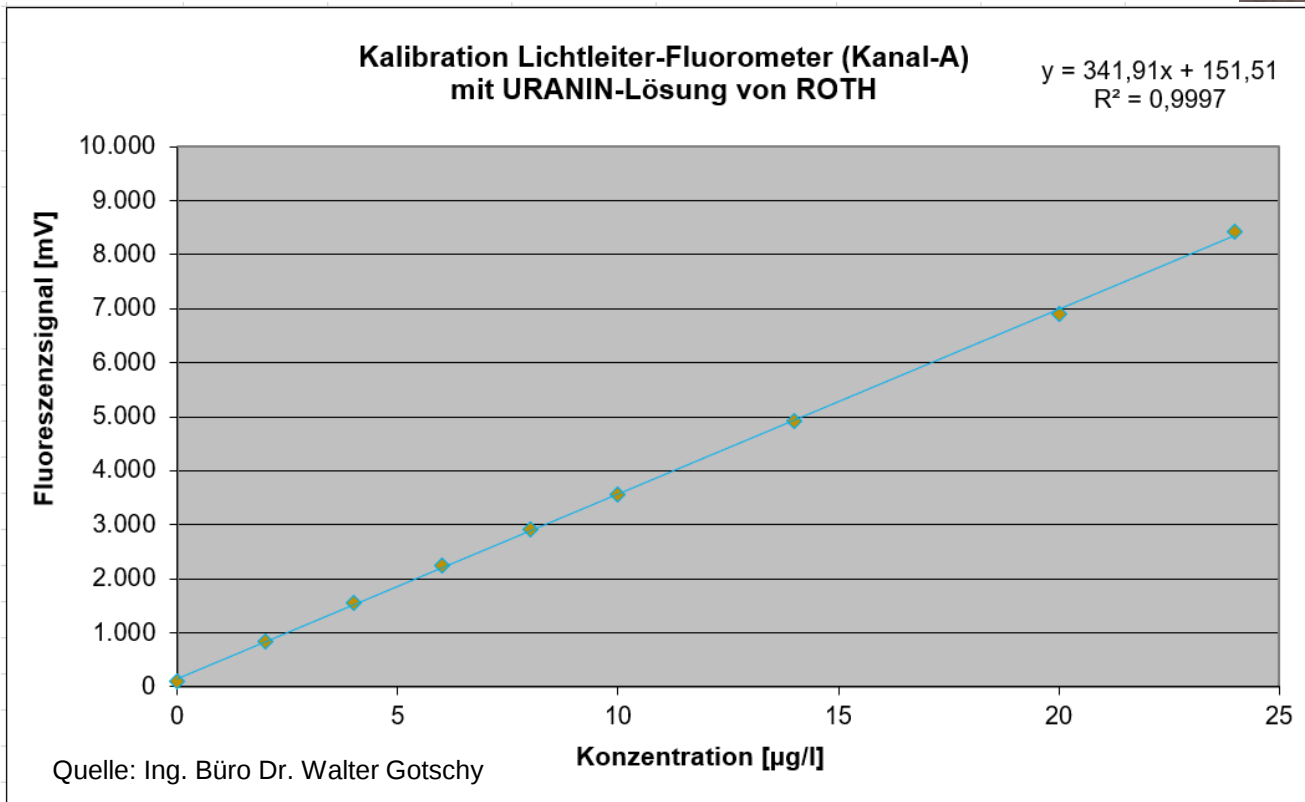
- Herstellung Stromversorgung (Stromnetz oder 12 V-Batterie)
- Beschaffung Behausung Fluorometer (gegen Witterung, Vandalismus, etc.)
- Kalibration Fluorometer mit Wasser Vorort und definierter Tracer-Konzentration (→ Tracer zeigt Abhängigkeit von pH-Wert, Trübung, Temperatur, etc.)
- Einbau Fluorometer in Messposition, Platzierung Lichtleiter in definierter Tiefe
- Anschluss DFÜ, Test Übertragung Messdaten

KALIBRATION VORORT

- Kalibration Fluorometer nach Methode der Standard-Addition
- Kalibrations-Standard, Konzentration z.B. bei Uranin: 20 mg/l
- Volumina: Kalibrationsgefäß 1l, Pipette: 1ml

Abhängigkeit der Tracer-Fluoreszenz von

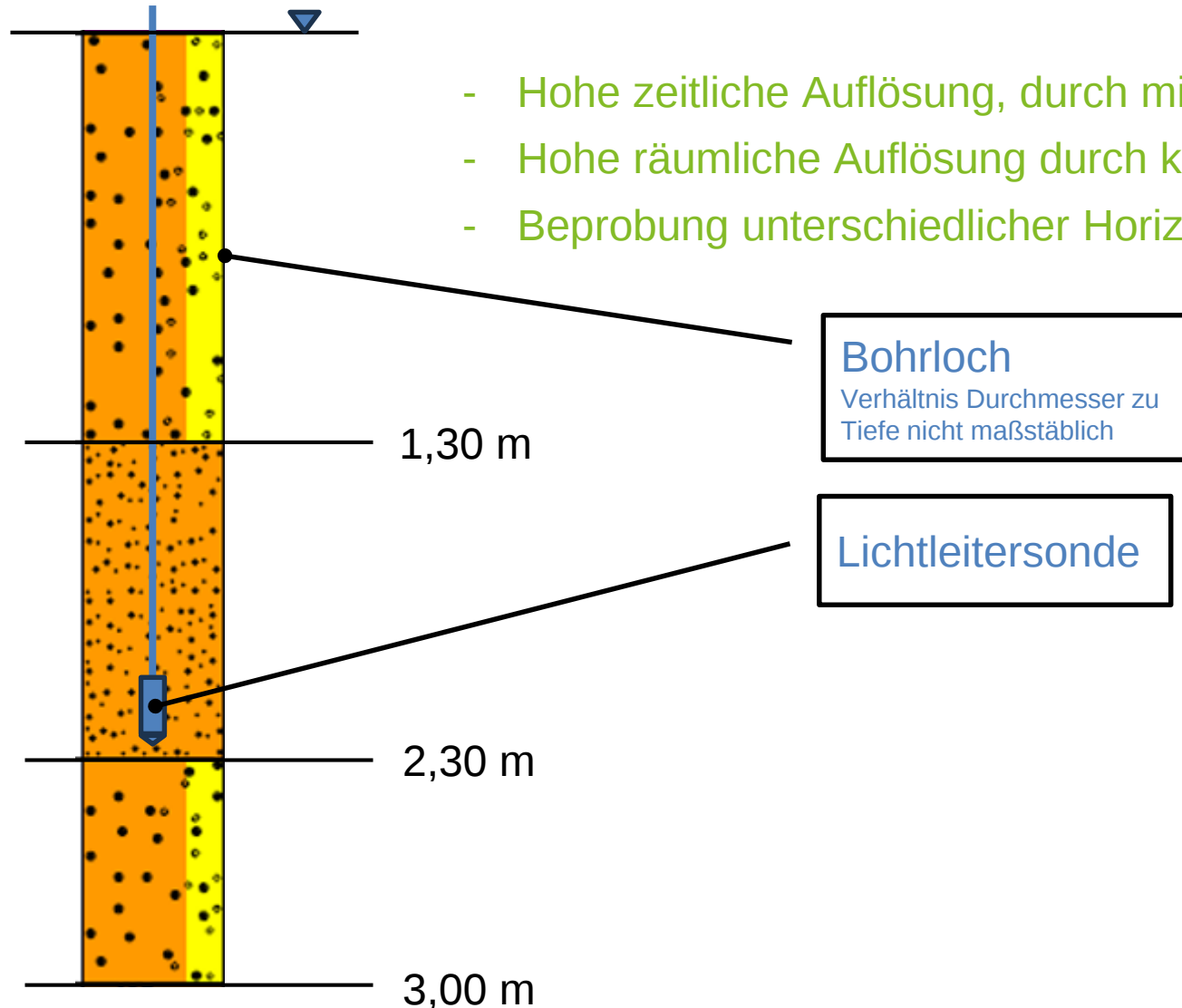
- pH-Wert des Wassers
- Temperatur
- Trübung



Quelle: Ralf Benischke, Graz

ZEITLICHE / RÄUMLICHE AUFLÖSUNG FLUORESZENZMESSUNG

- Hohe zeitliche Auflösung, durch minimales Messintervall 1 s
- Hohe räumliche Auflösung durch kompakte Lichtleitersonde
- Beprobung unterschiedlicher Horizonte möglich



TRACERSUBSTANZEN

- Ziel ist hier einen inerten bzw. konservativen Stoff auszuwählen, um Veränderungen während der Verweildauer im Untergrund auszuschließen (keine Reaktion, auch möglichst keine Adsorption)
- **Kochsalz (NaCl)**
 - Bietet prinzipiell eine sehr kostengünstige und unmittelbar verfügbare Option zur Steigerung des Leitfähigkeitspotentials (welches hier das „Tracersignal“ bildet)
 - **Einfach in der Anwendung +**
 - **Sehr kostengünstig mit rund 0,6 € je kg in Speisesalzqualität +**
 - **Leicht verfälschbar durch Hintergrundbelastung (Tausalzeinsatz!) –**
 - **Hohe Mengen erforderlich um relevante LF-Peaks zu verursachen –**

TRACERSUBSTANZEN

– Uranin ($\text{C}_{20}\text{H}_{10}\text{O}_5\text{Na}_2$)

- Konservativer Fluoreszenztracer mit großer Anwendungsbereichweite
- Einfach in der Anwendung / Dosierung, Vorbereiten von Verdünnungslösungen +
- Kostengünstig mit rund 250 € je kg in hochreiner Qualität +
- Sehr geringe Mengen nötig bei sehr guter Löslichkeit in Wasser $\pm 500 \text{ g/l}$ +
- Sehr geringe Nachweisgrenze von rund $0,001 \mu\text{g/l}$ +
- Einsatz von Feldfluorometern erforderlich –
- Abhängigkeit von pH-Wert, Trübung -

TRACERSUBSTANZEN

- **Amidorhodamin G ($C_{20}H_{10}O_5Na_2$)**
 - Konservativer Fluoreszenztracer als Möglichkeit Betrachtung pot. getrennter Systeme
 - **Einfach in der Anwendung / Dosierung, Vorbereiten von Verdünnungslösungen +**
 - **Sehr teuer mit rund 1.600 € je kg in hochreiner Qualität -**
 - **Geringe Mengen nötig bei mittlerer Löslichkeit in Wasser ± 5 g/l**
 - **Geringe Nachweisgrenze von rund $0,01 \mu\text{g/l}$**
 - **Einsatz von Feldfluorometern erforderlich –**
 - **Abhängigkeit von pH-Wert, Trübung -**

TRACERSUBSTANZEN (1)

Name (Synonyme) chem. Formel	Colour Index (C.I.): Nummer, Name CAS-Nummer	Fluoreszenz- Maximum* Farbe	Wasserlöslichkeit	Spektralfluorime- trische Nachweis- grenzen**
Grün bis rot fluoreszierend				
Uranin (Natrium- Fluoreszein) (Sicomet) $C_{20}H_{10}O_5Na_2$	45 350, Acid yellow 73 CAS: 518-47-8	512 nm gelb/gelbgrün	> 600 g/l	2×10^{-9} g/l
Eosin $C_{20}H_6O_5Br_4Na_2$	45 380, Acid red 87 CAS: 17372-87-1	538 nm rot	gut	$2,5 \times 10^{-8}$ g/l
Rhodamin B *** $C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$	45 170, Basic violet 10 CAS: 81-88-9	576 nm violett	gut	8×10^{-9} g/l
Sulforhodamin B *** (Amidorhodamin B) (Säurerhodamin) $C_{27}H_{29}O_7N_2S_2Na$	45 100, Acid red 52 CAS: 62796-29-6	583 nm rot	ca. 10 g/l	9×10^{-9} g/l
Amidorhodamin G (Sulforhodamin G) $C_{25}H_{26}O_7N_2S_2Na$	45 220, Acid red 50 CAS:	551 nm rot	gut	7×10^{-9} g/l
Blau bis grün fluoreszierend				
Pyranin $C_{16}H_7O_{10}S_3Na_3$ $C_{16}H_8O_{10}S_3Na_2$ $C_{16}H_9O_{10}S_3Na$	59 040, Solvent green 7 CAS: 6358-69-6	512 nm grün	178 g/l	5×10^{-8} g/l
Na-Naphthionat $C_{10}H_8O_3NSNa$	schwach blau-violett CAS: 130-13-2	430 nm violett	240 g/l	8×10^{-8} g/l



Bayerisches Landesamt
für Wasserwirtschaft

Merkblatt Nr. 3.1/1

Stand: 06.06.2002

alte Nummer: 3.10-1

Ansprechpartner: Referat 22

TRACERSUBSTANZEN (2)

Quelle: aus „Einsatz künstlicher Tracer in der Hydrogeologie, Praxishilfe“
Berichte des BWG, Serie Geologie - Rapports de l'OFEG, Série Géologie - Rapporti dell' UFAEG, Serie Geologia Nr. 3- Bern, 2002

Bezeichnung (Synonyme in Klammern)	Co- lour Index C.I.	Spektrum Anregung / Emission [nm] ¹	Toxikologi- sche Bewer- tung ²	Nachweis- grenze ++++ = sehr gut + = mässig	Retardation (infolge rever- sibler Sorption) - = gering --- = gross	Tracer-Rück- gewinnung ++++ = gross + = klein	Verhältnis Tra- cerqualität / Preis ³ ++++ = sehr gut + = schlecht	Besondere Eigenschaften	Bemerkungen (siehe auch Aus- führungen in Kapi- tel 2.3.2)
Uranin (Fluorescein-Natrium) (Na-Fluorescein)	45350	490 / 515	unbedenklich	++++	-	++++	++++	Oxidationsmittel können Uranin zerstören (z.B. Chlor, Ozon)	gesamthaft gese- hen bester Tracer
Eosin (Eosin gelblich) (Basacid Rot 316)	45380	512 / 537	unbedenklich	+++	--	+++	+++	hohe Lichttemp- findlichkeit	nicht gemeinsam mit Bromid einset- zen
Naphthionat (Natrium-Naphthionat) (Naphthionsäure Na-Salz)		323 / 418	unbedenklich	+	-	++	++	hoher Messunter- grund	
Amidorhodamin G (Sulforhodamin G extra)	45220	530 / 555	unbedenklich	+++	---	+	++		
Sulforhodamin B (Duasynsäure-Rhodamin B 01, Amidorhodamin B)	45100	561 / 586	ökotoxikolo- gisch bedenklich	++	---	++	++		Einsatz in Ober- flächengewässern einschränken
Rhodamin B (Basazolrot 71 L)	45170	551 / 576	nicht zu empfehlen	+++	---	+	+	sehr starke Sorption	nicht mehr ver- wenden
Rhodamin WT (Acid red 388)		558 / 583	nicht zu empfehlen	++	---	+	+		nur noch in Aus- nahmefällen ein- setzen
Pyranin	59040	460 / 512	unbedenklich	++	-	+	++	schlechte Rückge- winnung	
Duasy Duasyn Fluoreszenzgelb T		449 / 474		++	--	++	++		Produkt wird nicht mehr hergestellt
Tinopal (T-CBS-X, T-ABP flüssig)		346 / 435	unbedenklich	+	---	+	+	hoher Messunter- grund	

¹ Wellenlängen, bei welchen mit der Synchronscan-Methode das maximale Fluoreszenzsignal auftritt (je nach Gerätetyp sind leichte Abweichungen möglich).

² UMWELTBUNDESAMT 1997, Arbeitskreis «Human- und ökotoxikologische Bewertung von Markierungsmitteln in Gewässern» und BEHRENS et al. 2001.

³ Beurteilung der Tracerqualität aufgrund der Nachweismempfindlichkeit und Tracermobilität (Transportverhalten im Grundwasser)

PLANUNGSGRUNDLAGEN

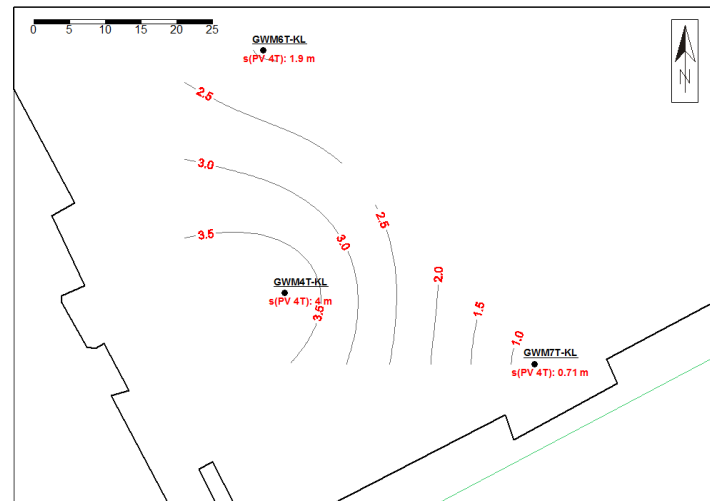
- Vorhandenes Grundwassermessstellennetzwerk
 - Identifizierung geeigneter Infiltrationsmessstellen
 - Auswahl aktiver Monitoring-Messstellen (z.B. für Fluorometer, automatisierte Probennahme-Einrichtungen, regelmäßige händische PN)
 - Auswahl passiver Monitoringmessstellen (Einbau Adsorber z.B. AK-Säckchen)
- Optimal bereits existierendes GW-Modell, minimal GW-Gleichenpläne
- Abschätzung hydraulischer Randbedingungen wie etwa:
 - Aquifermächtigkeit
 - Strömungsgeschwindigkeit (Annäherung) → Probennahmentaktung
 - Anwendung unter freien oder beeinflussten Bedingungen (forced tracer, bspw. durch P&T Betrieb)

PLANUNGSGRUNDLAGEN

- Planung von Probenahmekampagnen bzw. Ausarbeitung eines Monitoringplanes
- Empfehlung Kombination aus aktiver Komponenten und passiven Komponenten
- Eichung automatisierter PN bzw. Analyseverfahren (z.B. optisch) über Laboranalysen auf die jeweiligen Tracerstoffe
- Kombination des Tracerversuchs mit weiteren Methoden



Quelle: Sensatec GmbH



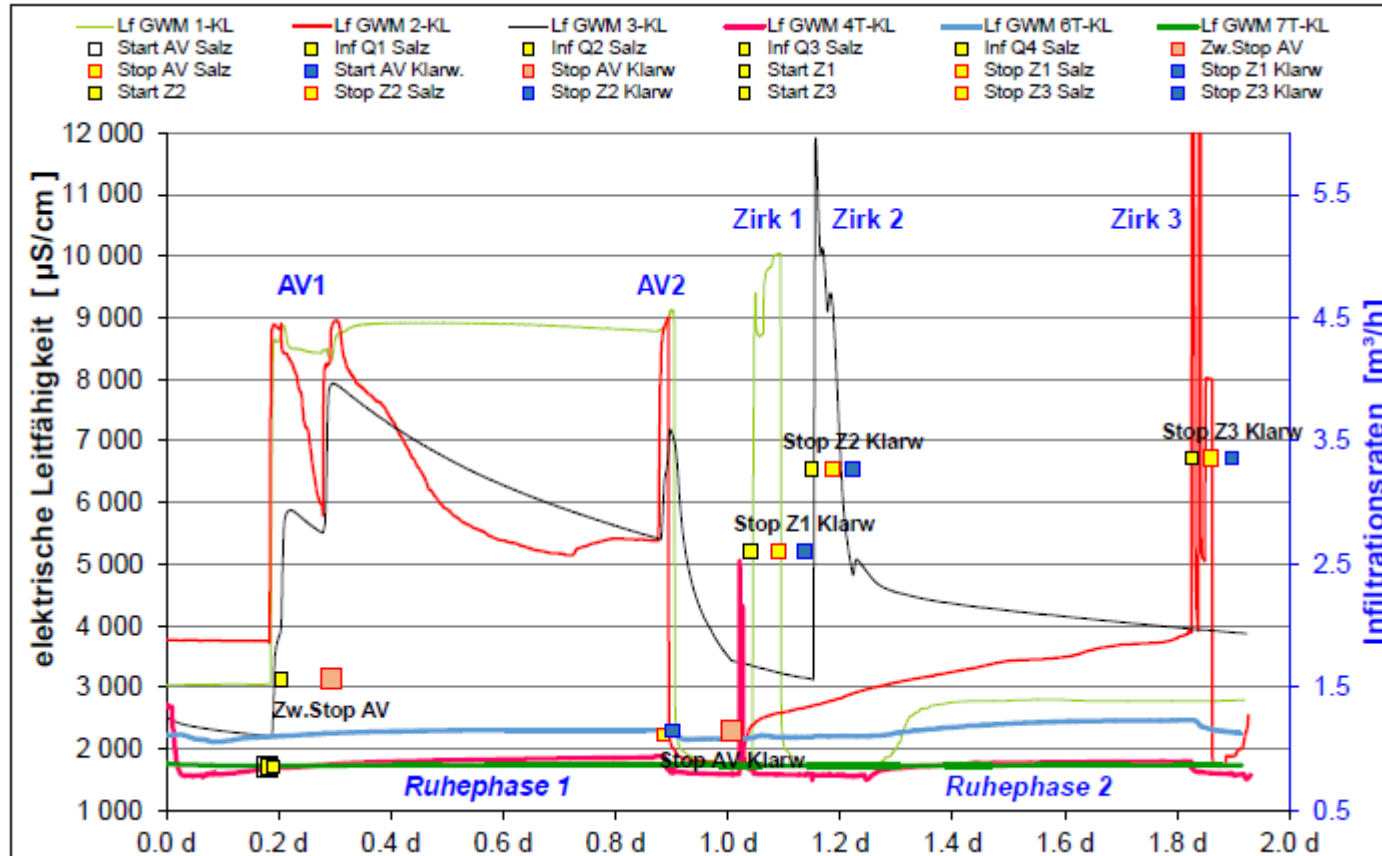
Quelle: Sensatec GmbH



Quelle: Sensatec GmbH

VERSUCHSVERLÄUFE - SALZTRACER

- Salztracerversuch mit NaCl im Festgestein und Wechsel mit Klarwasserinfiltration



Quelle: Sensatec GmbH

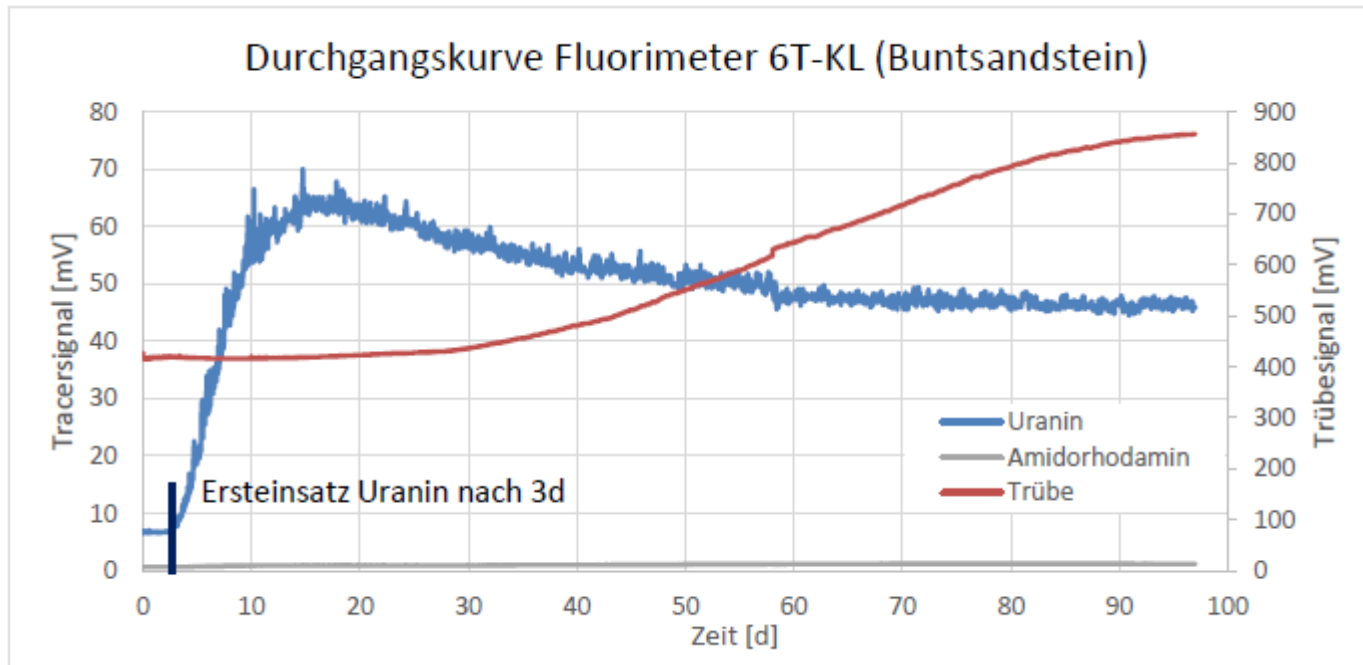
Salzlösung im Zuge
eines Zirkulations-
versuches mit
nachgeschalteter
Klarwasserinfiltration

Verbindungsnachweis
von zwei
übereinanderliegenden
Aquiferen

Dauer zwei Tage

VERSUCHSVERLÄUFE – ZWEI FLUORESCENZTRACER

– Tracerversuch mit Amidorhodamin G und Uranin



Quelle: RUB Ruhr-Universität Bochum

Messstellenzugabe im
unbeeinflussten Milieu

Detektion mittels
Fluorometern und AK

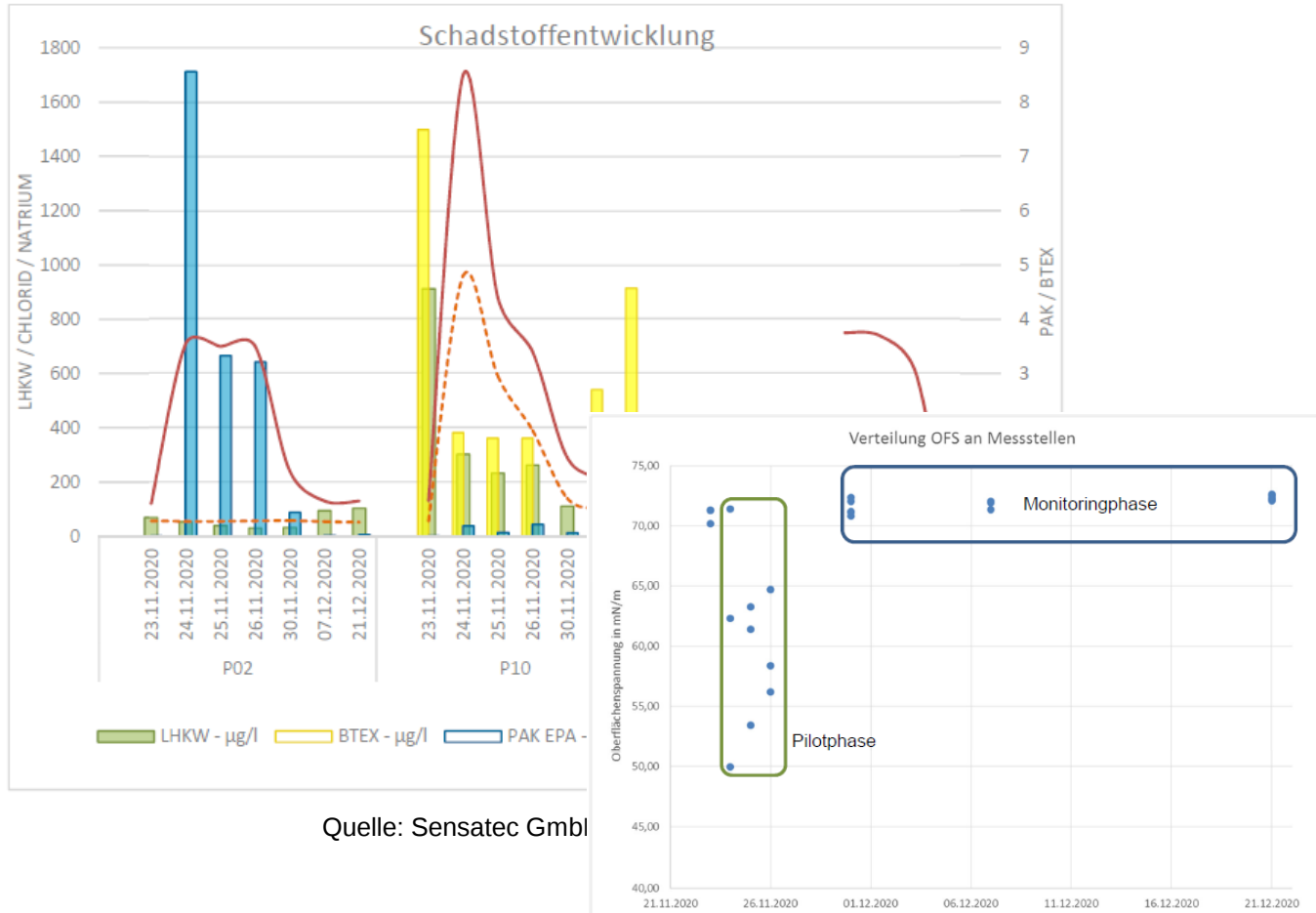
Prüfung GW
Fließrichtung, Ermittlung
kf Wert

Detektion starker
vertikaler Verbindung der
Horizonte

Dauer 3,5 Monate

VERSUCHSVERLÄUFE – SALZTRACER UND TENSID

- Versuch zur Bestimmung der OFS Änderung flankiert mit Salztracer



Messstellenzugabe im beeinflussten Milieu

Detektion mittels LF Loggern und Laboranalytik
Messung OFS im Ringtensiometer

Prüfung Absenkung Oberflächenspannung und Verbreitung von Tensidlösung vertikal und Horizontal in einem Kiesaquifer

Dauer 1 Monat

LESSONS LEARNED & OUTPUT

- Gute Versuchsplanung ermöglicht hohe Qualität der Messdaten und hohen Wiederauffindungsgrad des Tracers
- Unterschiedliche Ansätze und Kombinationen im Hinblick auf
 - Dauer
 - Tracersubstanz
 - Kombination mit weiteren (hydraulischen) FeldtestsErmöglichen weitreichende Aussagen zu sanierungsrelevanten Aspekten
- Einsatz solcher Methoden dient einer effizienten Sanierungsplanung und eines optimalen Prozessdesigns
- Umsetzung in der Vergangenheit mit Partnern aus dem Universitätsbereich, aktuell eher in der Privatwirtschaft zu suchen
- Kosten liegen zwischen geringen k € Beträgen bis in den fünfstelligen Bereich, je nach Komplexität der Fragestellung & Dauer des Versuches

FRAGEN???

VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT.

Daniel Ruech, M.Sc.

Dr. Walter Gotschy



DR. WALTER
GOTSCHY

INGENIEUR- UND SACHVERSTÄNDIGEN-BÜRO
FÜR OPTIK, PHYSIK UND TRACERTECHNIK

5421-Adnet, Waidach 116, Österreich
T: +43 664 451 2999
M: walter.gotschy@got.at



KONTAKT

Sensatec GmbH
Sanierungs- und Sensoriktechnologien

Friedrichsorter Str. 32
D-24159 Kiel

d.ruech@sensatec.de
walter.gotschy@got.at

info@sensatec.de

www.sensatec.de