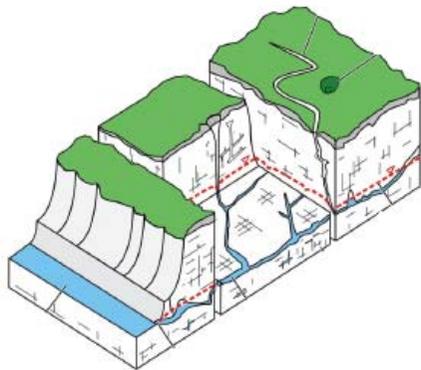
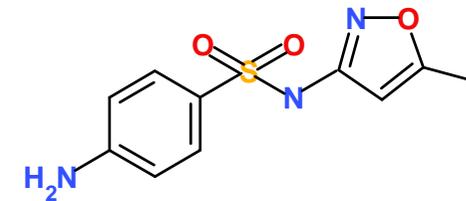


Risikomanagement von Spurenstoffen und Krankheitserregern in ländlichen Karsteinzugsgebieten



Projektlaufzeit: 01.10.2011-31.03.2015



Dr. Tobias Geyer
Dr. Olav Hillebrand
PD Dr. Tobias Licha
Dr. Karsten Nödler
Sandra Oehlmann



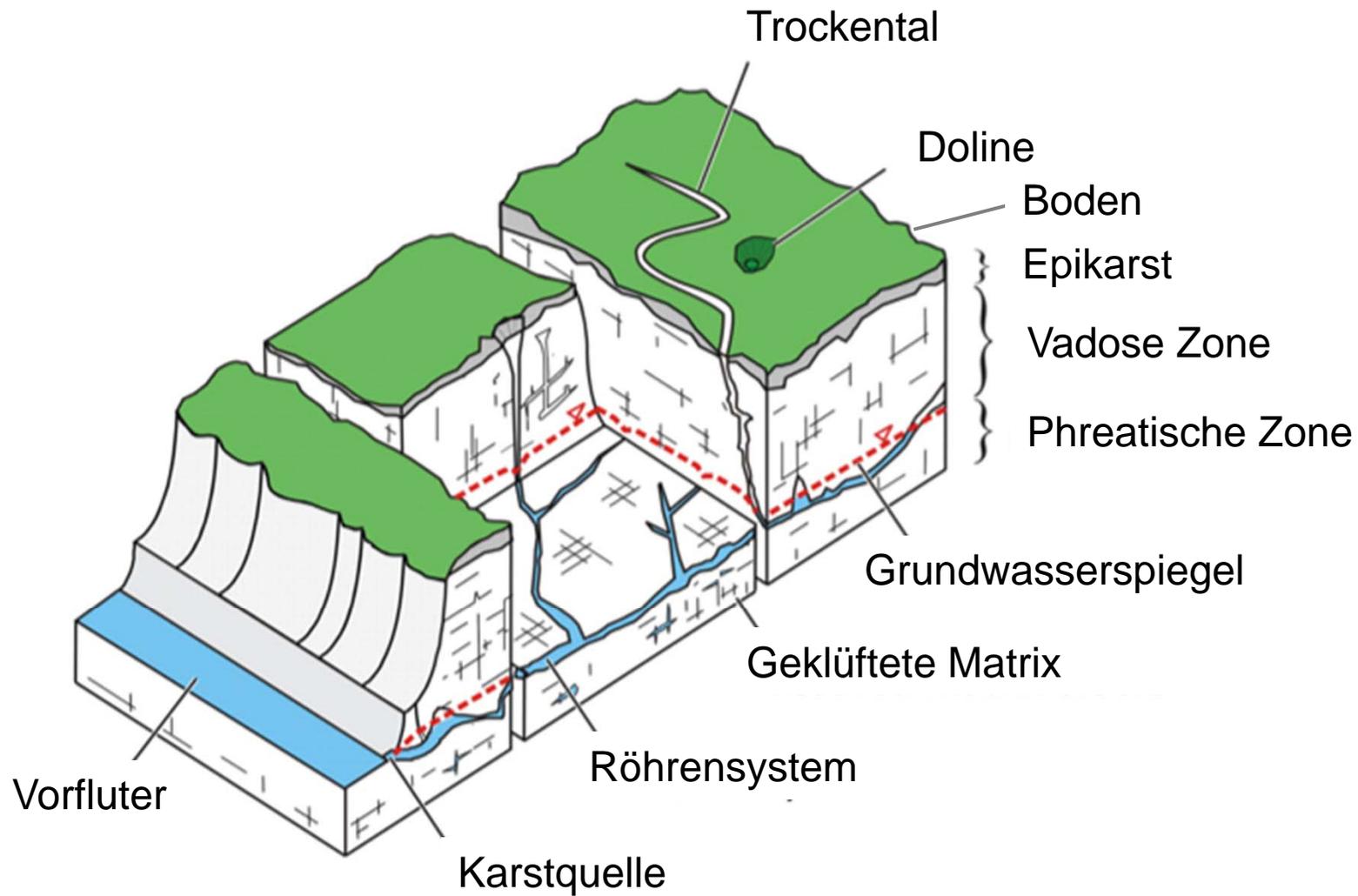
Prof. Andreas Tiehm
Claudia Stange



PD Dr. Traugott Scheytt
Ferry Schiperski
Johannes Zirlewagen

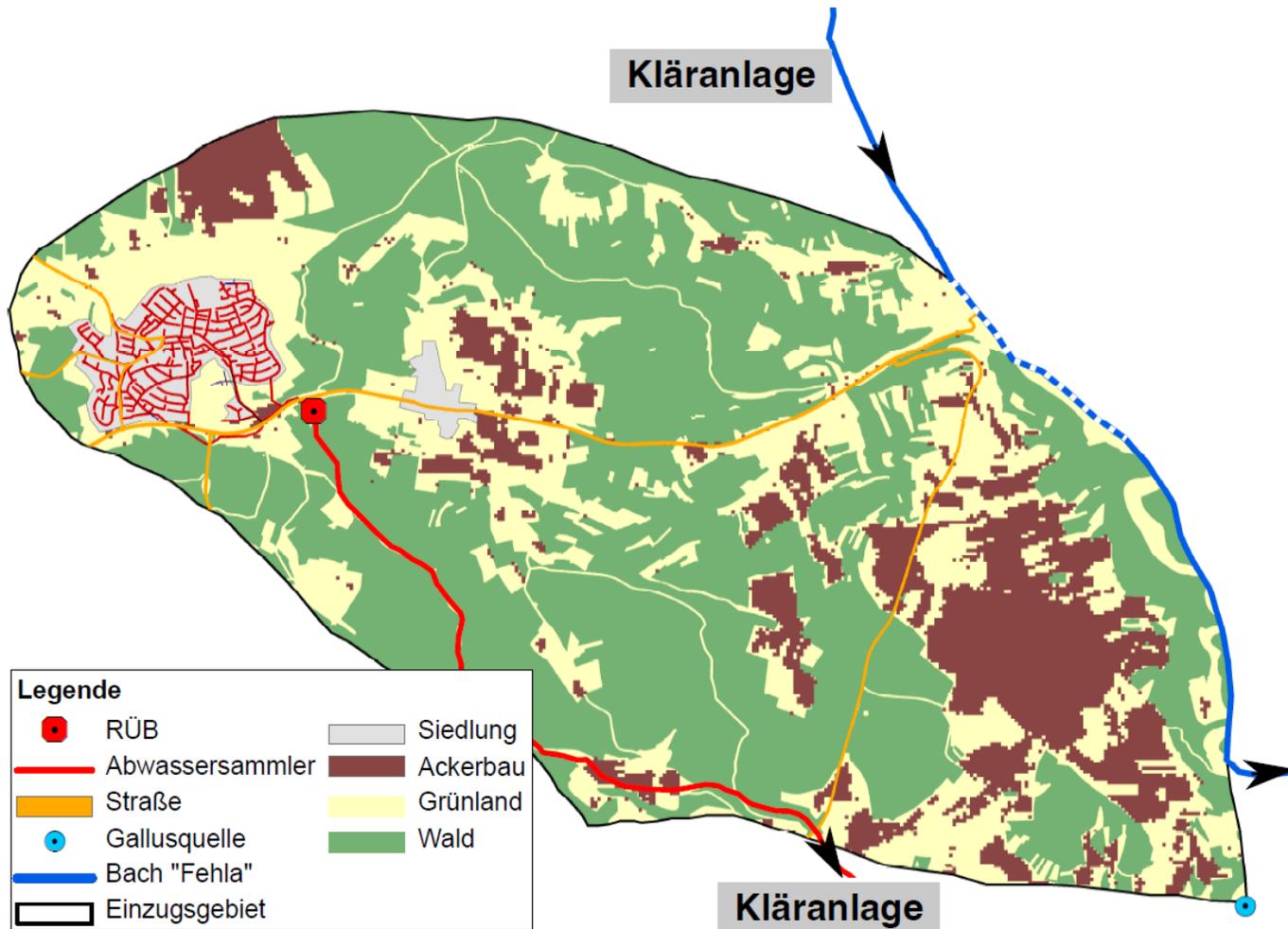
1. Gemeinsame Analyse von **Partikeln (Trübe), organischen Spurenstoffen, Hauptwasserchemie, Mikrobiologie und hydraulischen Kennzahlen. Microbial Source Tracking** eignet sich gut, um die Herkunft von Kontaminationen noch genauer zu unterscheiden. Trübe und Partikelgrößenverteilung kein zuverlässiger Indikator für Wasserqualität.
2. Bodenwasserhaushaltsmodell zur räumlich getrennten Erfassung der schnellen und langsamen Grundwasserneubildung unter Berücksichtigung von Bodeneigenschaften und Landnutzung als Werkzeug im Risikomanagement.
3. Art und Zusammensetzung der Substanzen an der Gallusquelle lassen auf Einträge und Eintragszeiten schließen. Diese stimmen mit Verweilzeitenmodell überein. Modell prognosefähig und geeignet für Szenarien.
4. Karstgrundwasserleiter haben ein Attenuationspotential.
5. Das Hochwasser 2013 hat im Vergleich zu anderen Starkniederschlagsereignissen keine zusätzliche Belastung der Gallusquelle gezeigt.
6. Ertüchtigung von RÜB und Kanalnetz war effektiv.

Schema eines Karstgebietes



[verändert nach Geyer (2008)]

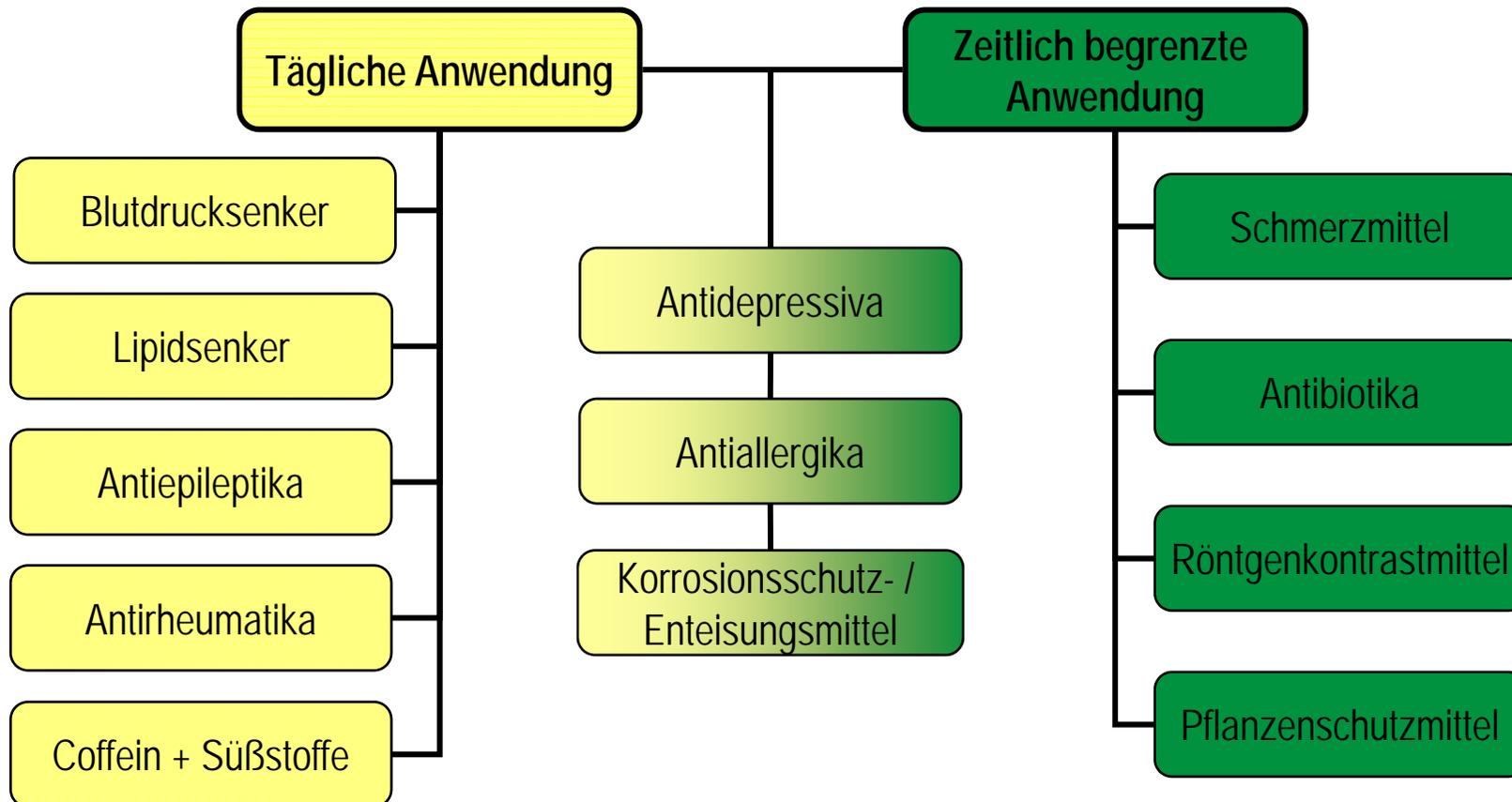
Im direkten Einzugsgebiet: keine Kläranlage, kein Gewässer



Potentielle Eintragsorte

- **Mischkanalisation** (3700 Einwohner)
- **Bach Fehla** mit hohem Anteil an behandeltem Abwasser (12000 Einwohner)
- bis 2006 wurde **Klärschlamm** auf einem Teil der Ackerflächen aufgebracht

- Zeitliche Indikatorfunktion

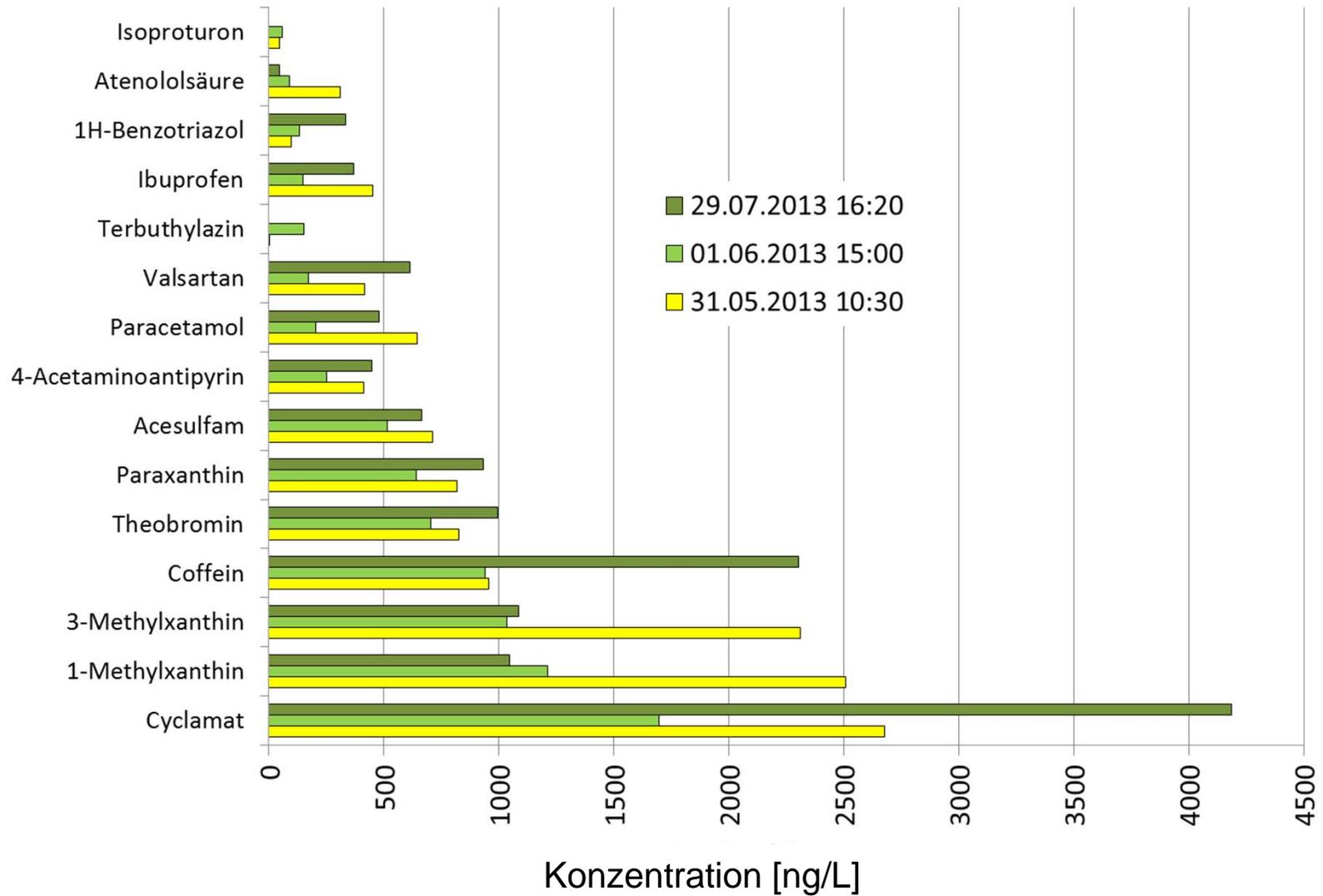


→ 58 Spurenstoffe mit Nachweisgrenzen im unteren ng/L - Bereich

- Umfangreiche Probenahme am zentralen Abwassersammler (n=64)
- Viele Spurenstoffe mit 100% Detektionshäufigkeit
- Leicht abbaubare und persistente Stoffe: nutzbar als Indikatoren

<i>Spurenstoff</i>	<i>Max*</i>	<i>Median*</i>
Cyclamat	537,0	253,6
3-Methylxanthin	184,7	88,6
1-Methylxanthin	172,1	81,3
Coffein	132,2	62,3
Paraxanthin	120,6	55,3
Theobromin	111,9	53,6
Acesulfam	111,4	41,6
4-Acetaminoantipyrin	101,9	21,5
Ibuprofen	82,3	26,1
1H-Benzotriazol	70,8	31,8
Paracetamol	68,4	24,8
Diclofenac	37,3	2,7
Theophyllin	18,7	7,3
Tolyltriazol	16,4	5,7
Atenololsäure	14,5	3,6
Metoprolol	6,8	2,3
Sotalol	6,0	1,8
Cotinin	5,8	2,8
Carbamazepin	4,4	0,6

*Konzentrationen in µg/L



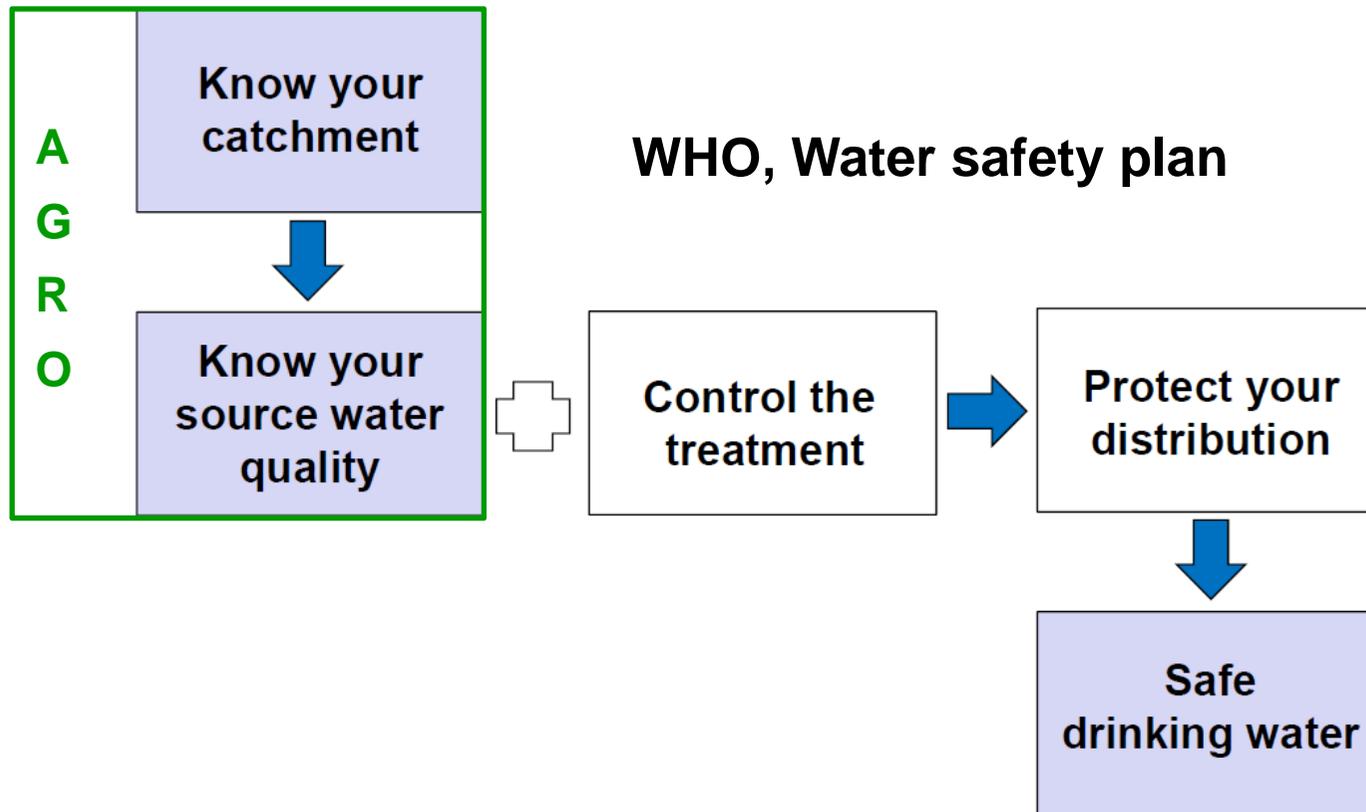
Ertüchtigung von Abwassersystem und RÜB als **technische Maßnahme** im Rahmen des Risikomanagements

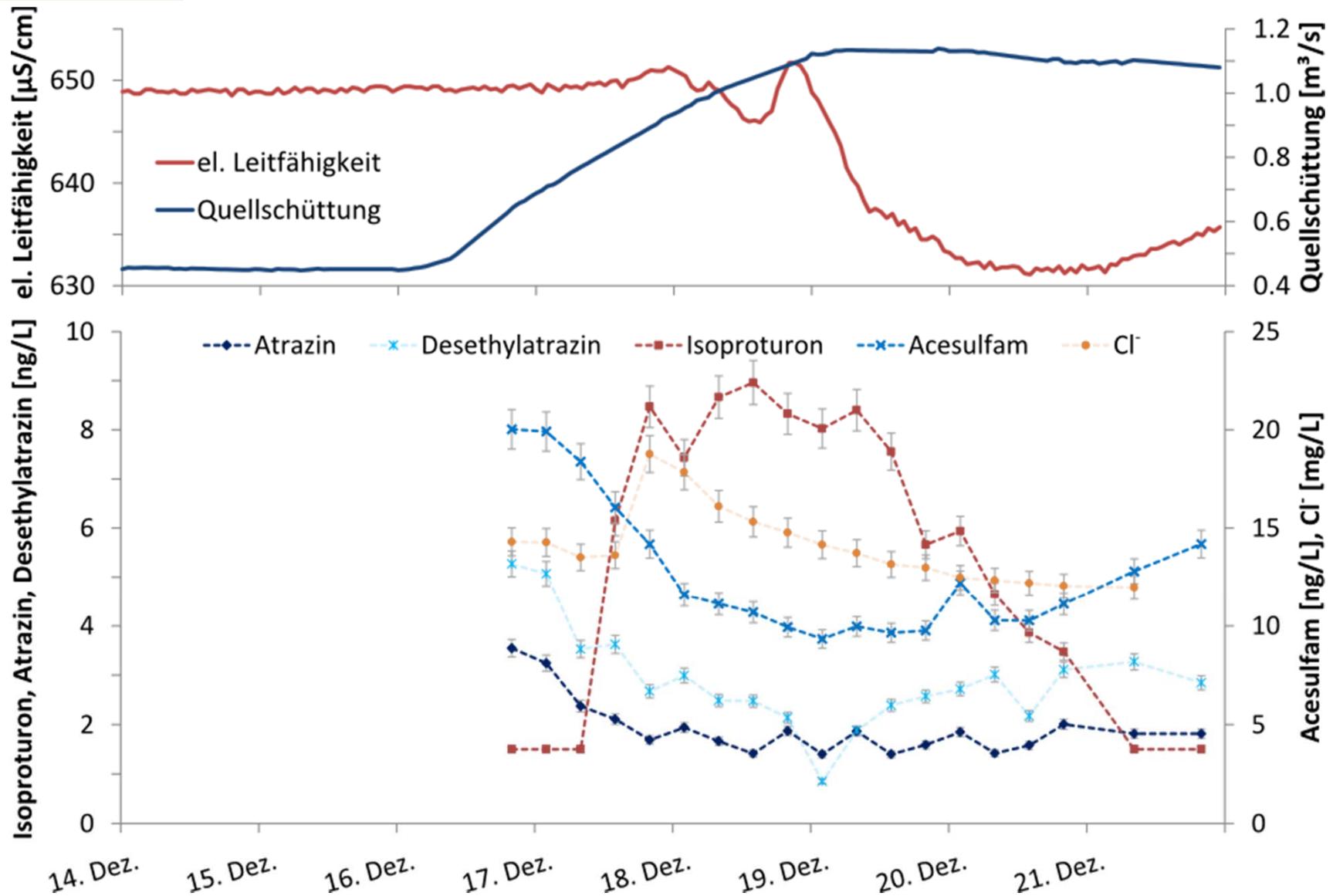
- Langzeitmonitoring des Quellwassers auf organische Spurenstoffe
25.02.2010 – 16.02.2011 → 356 Tage; 283 Proben
- Coffein: 67% Detektionsfrequenz, 123 ng/L maximale Konzentration
- 2011-heute → 193 Proben
- Coffein: 11% Detektionsfrequenz, 21 ng/L maximale Konzentration

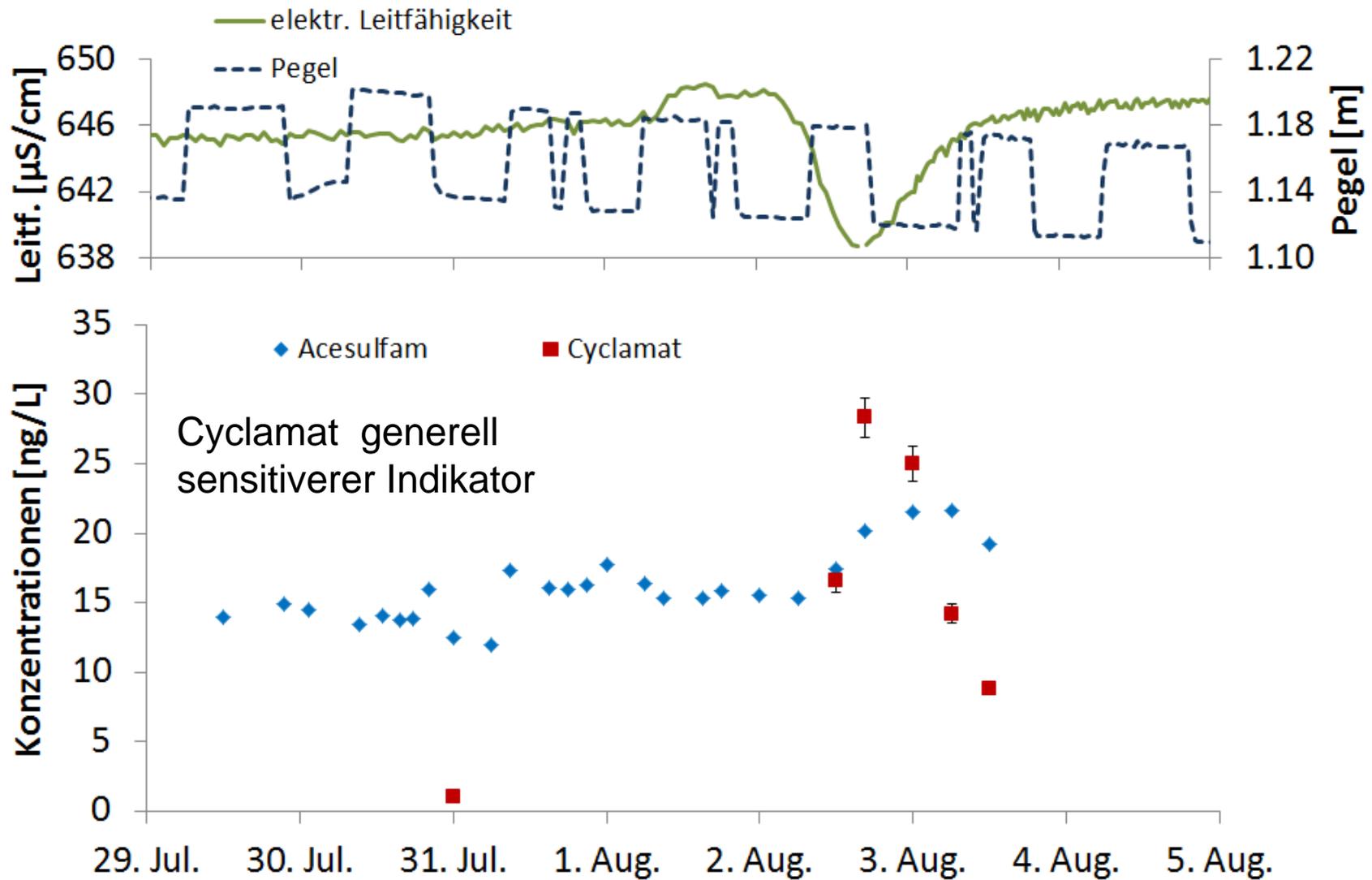
→ **Geringerer Anteil „frischen“ Abwassers in der Gallusquelle!**

Hillebrand O, Nödler K, Licha T, Sauter M, Geyer T (2012): Caffeine as an indicator for the quantification of untreated wastewater in karst systems. Water Research 46(2): 395–402.

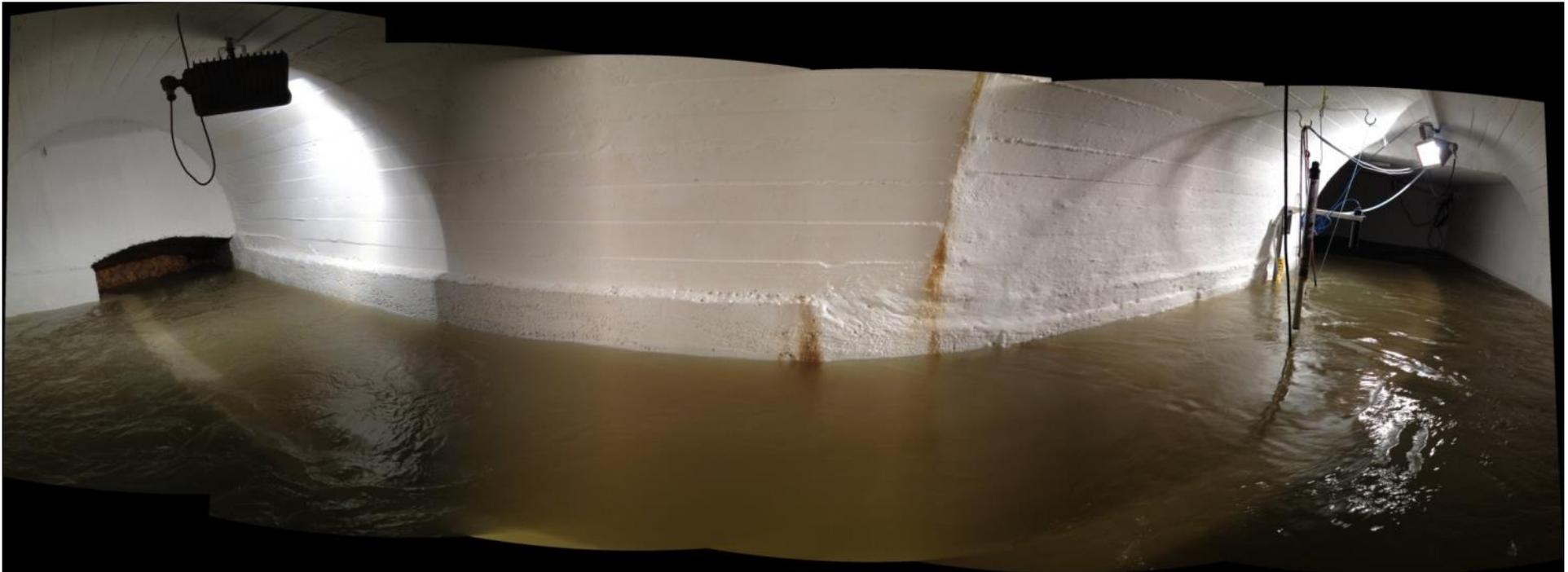
Untersuchung des Zusammenhangs zwischen biologischen, chemischen und hydrogeologischen Parametern bei verschiedenen Abflussereignissen an der Gallusquelle mit dem Ziel des nachhaltigen Rohwasserschutzes



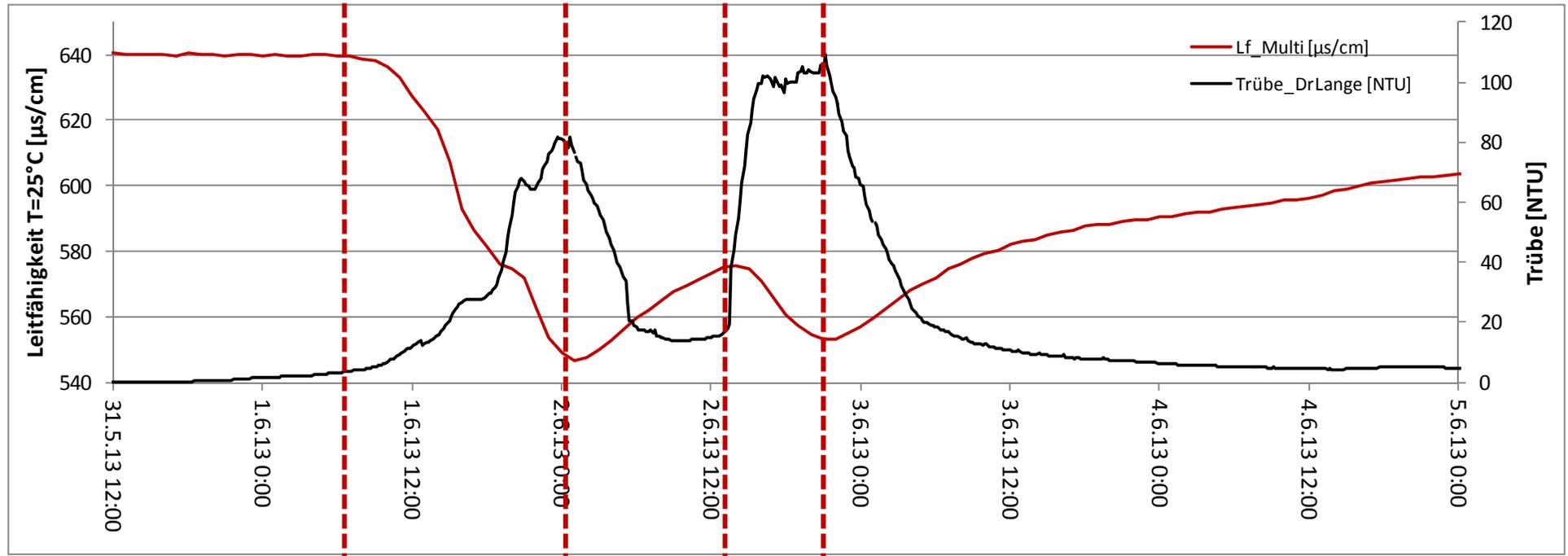




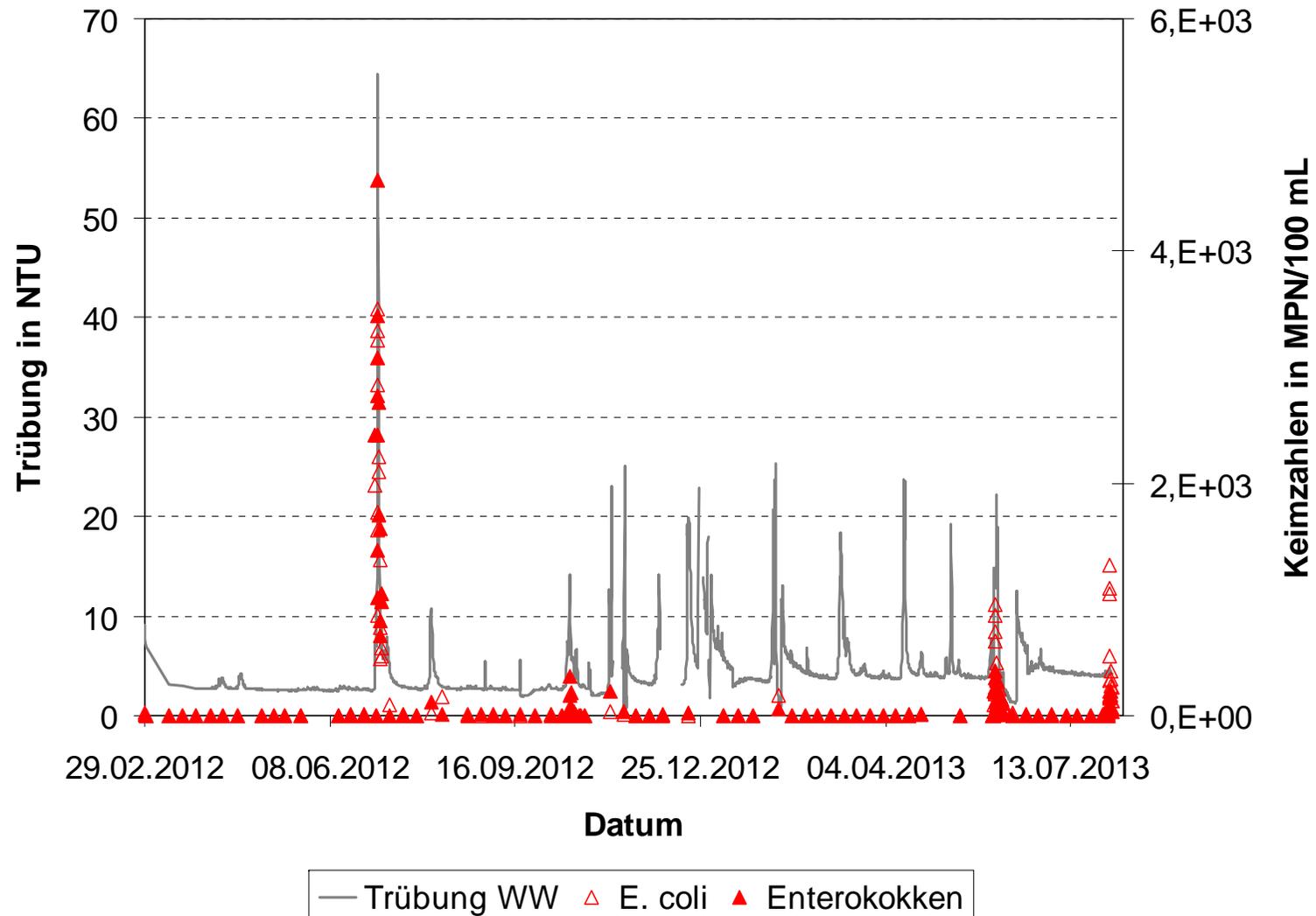
Hochwasser 2013 - makroskopisch.

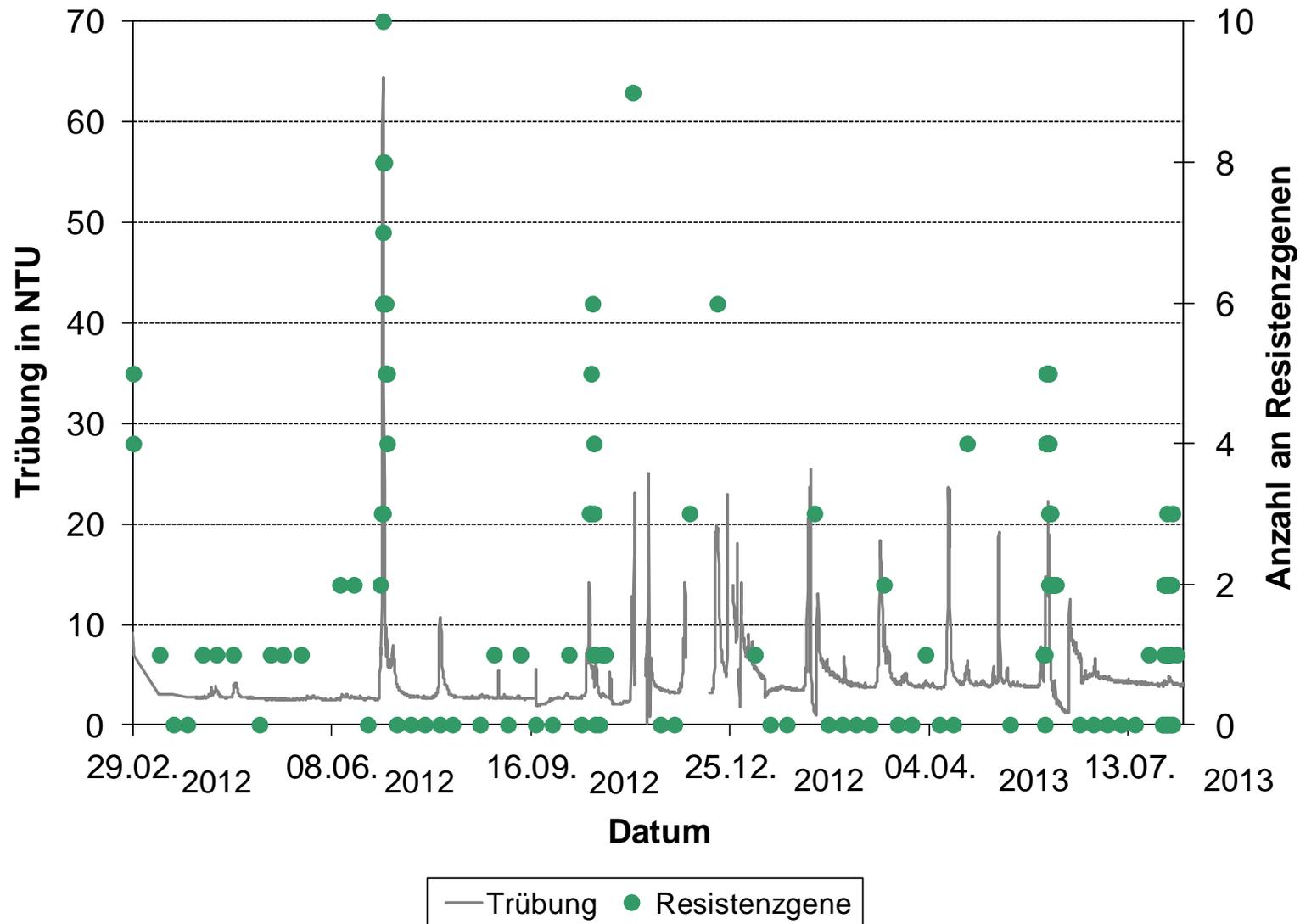


Trübewerte > 100 NTU (üblich < 0,1 NTU)

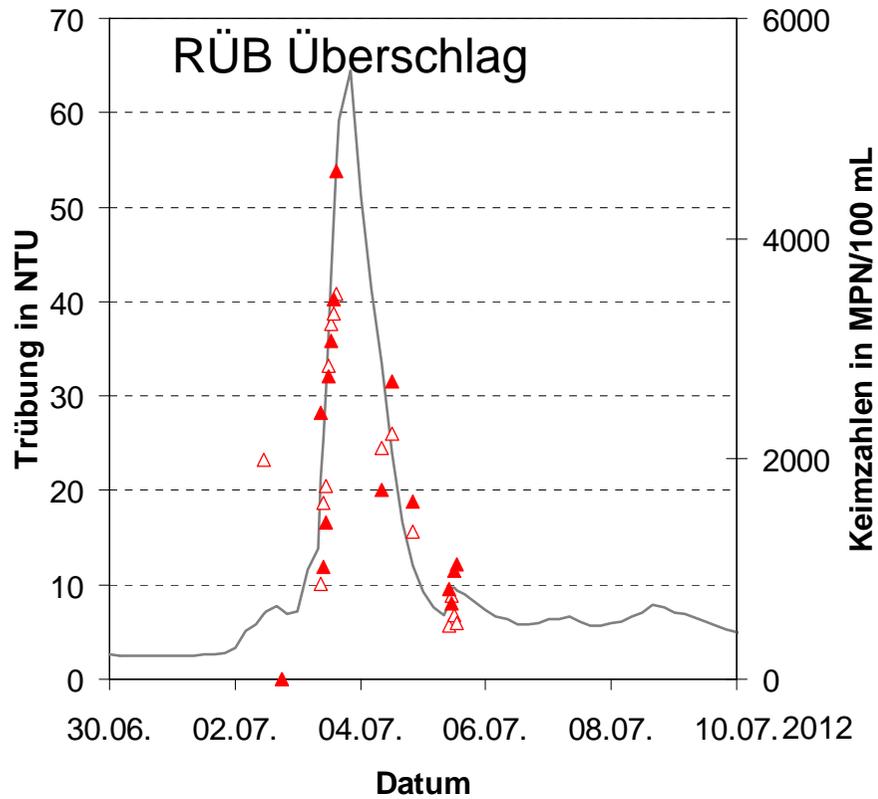


- Leitfähigkeit signalisiert schnelle Grundwasserneubildung:
 - Trübe vor schneller Grundwasserneubildung → Autochthon
 - An Peaks der schnellen Neubildungskomponente → auch Allochthon (Hinweise durch org. Spurenstoffe)

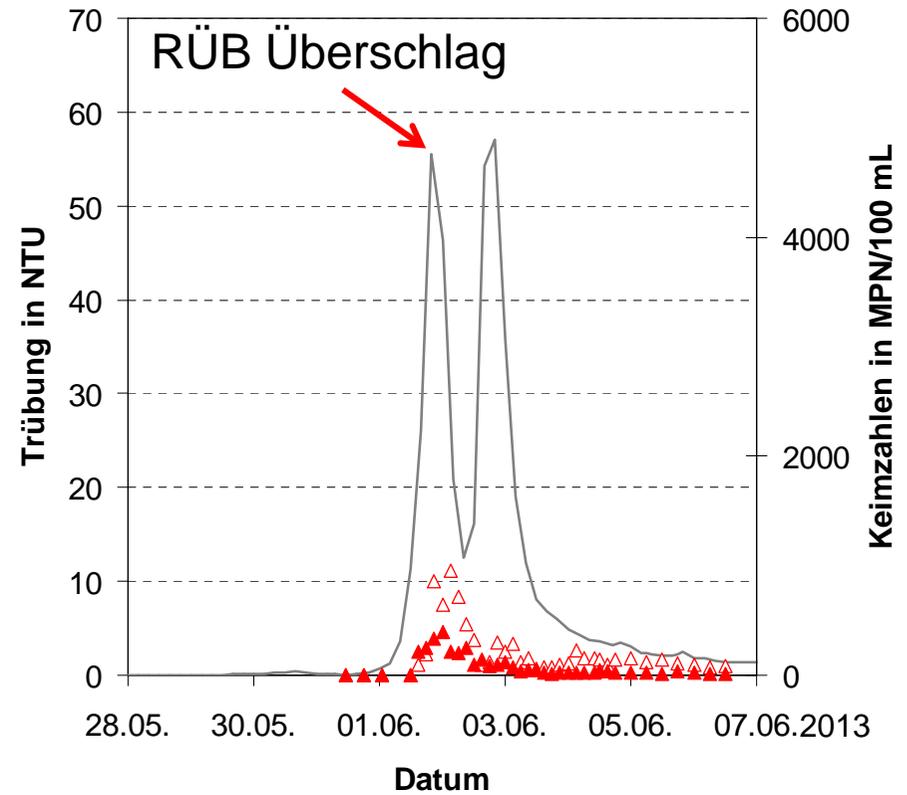




Starkregen 2012



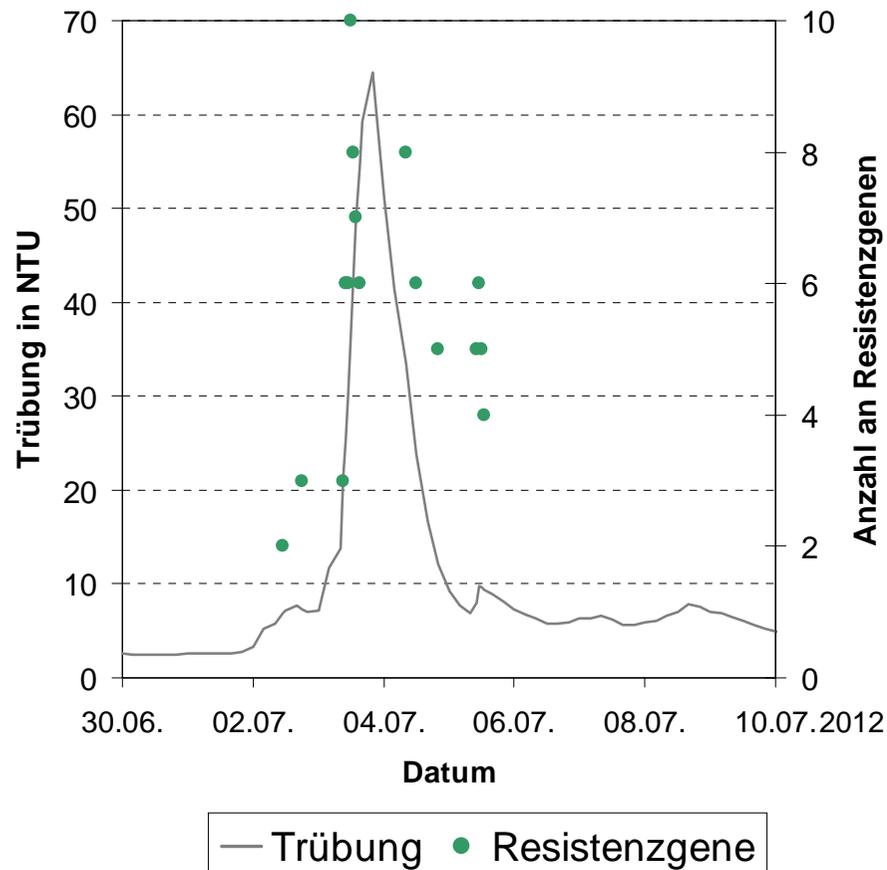
Hochwasser 2013



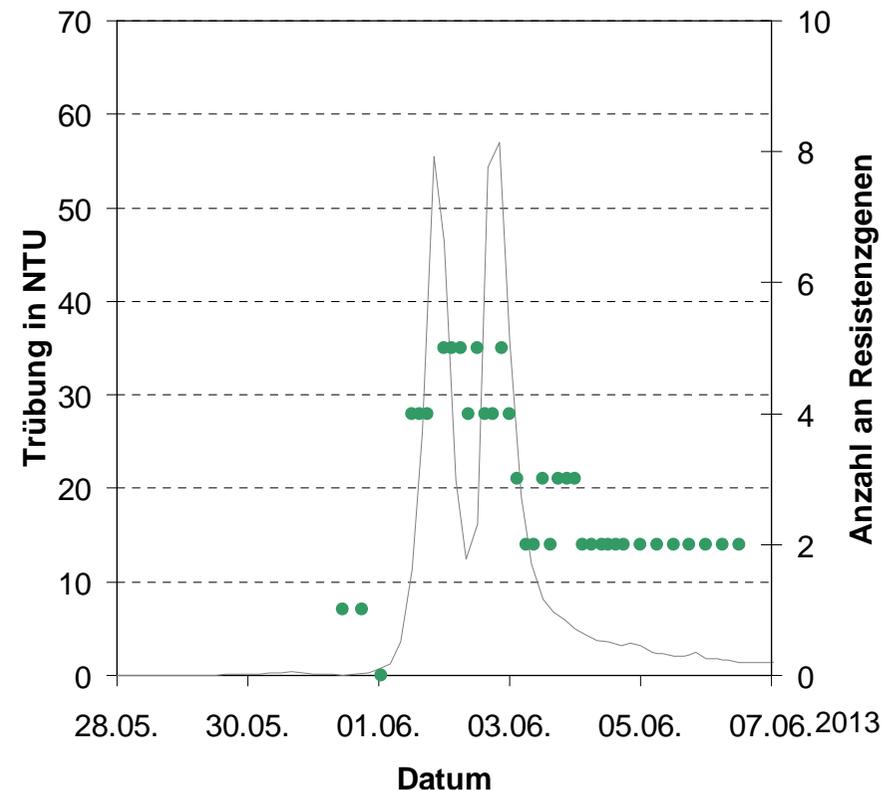
— Trübung △ E. coli ▲ Enterokokken

- Untersuchung auf 11 verschiedene Antibiotikaresistenzgene

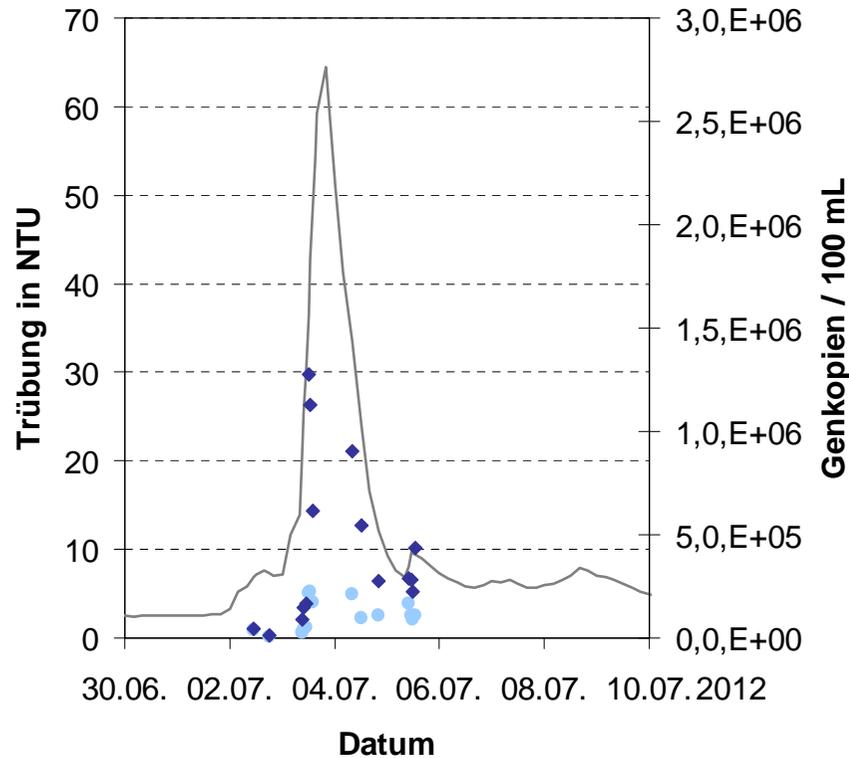
Starkregen 2012



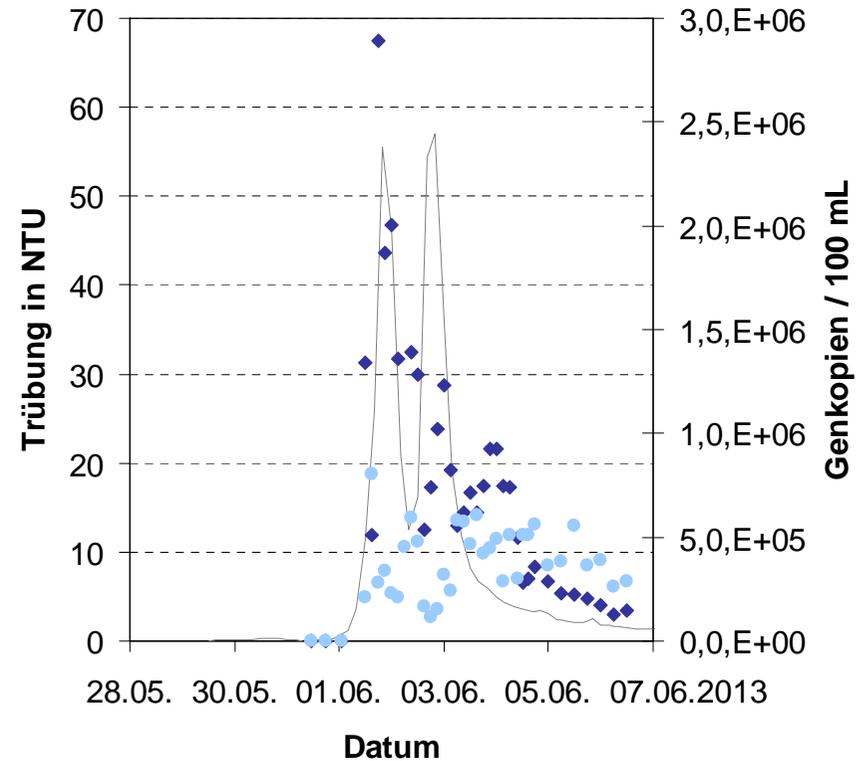
Hochwasser 2013



Starkregen 2012



Hochwasser 2013



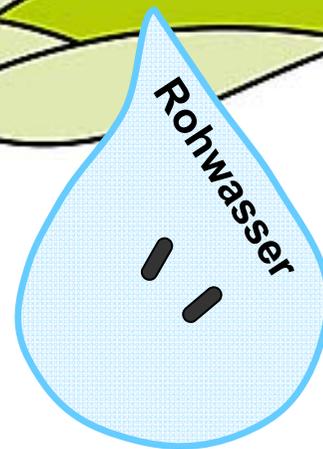
— Trübung ● *sul2* ◆ *ermB*

Sulfonamid-Resistenzgen, Makrolid-Resistenzgen



Eintrag über...

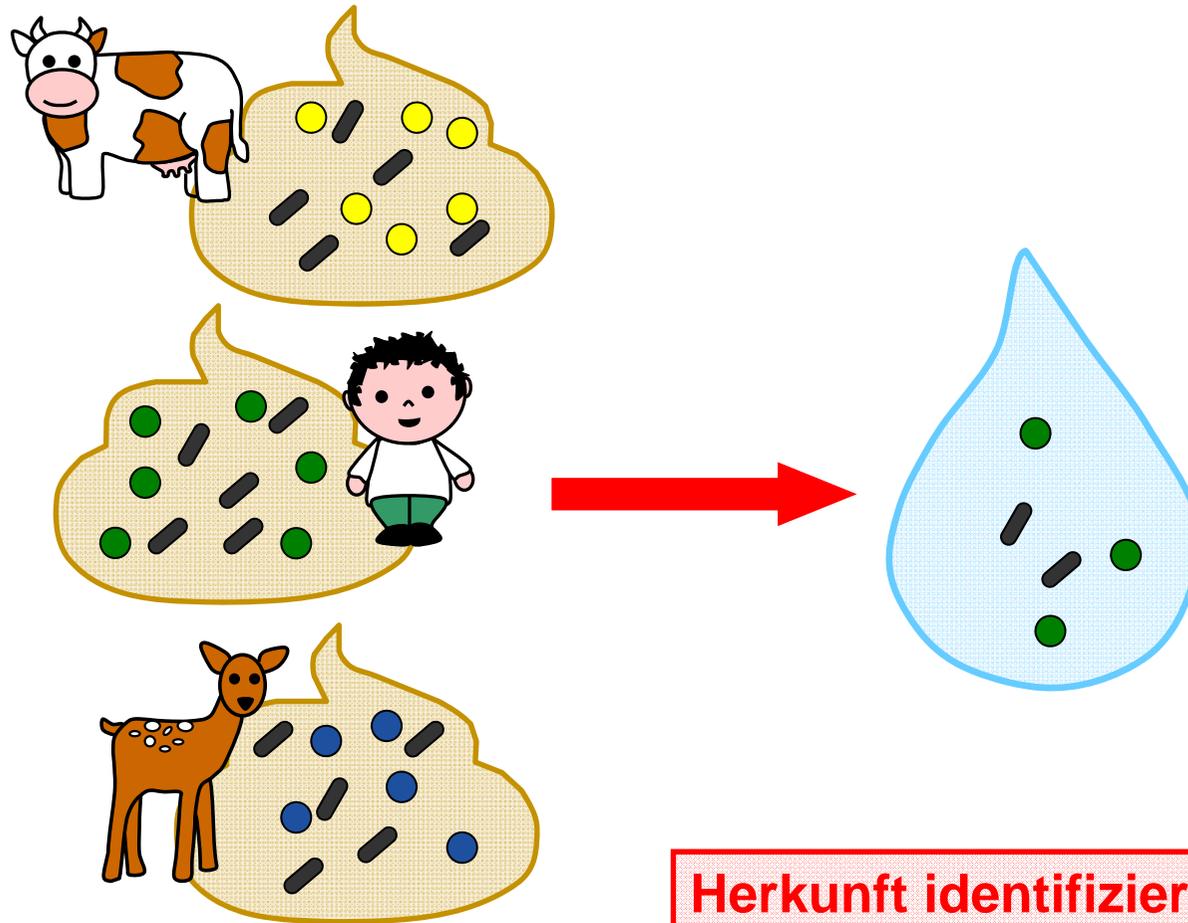
- ... Kanalisation
- ... Oberflächenabfluss
- ... Landwirtschaft (Gülle, Weide)



E. coli

-  zeigt jegliche fäkale Kontamination an
-  macht keine Aussage über Herkunft

Was ist Microbial Source Tracking?



Bacteroides-Bakterien
 wirtsspezifisch

Herkunft identifiziert!

- ➔ Zielgerichtetes Management
- ➔ Evaluierung von Maßnahmen

Etablierte Verfahren zum Nachweis von ...

... *Bacteroides*-Bakterien

- unspezifisch
- Mensch
- Wiederkäuer

... mitochondrialen DNA-Sequenzen

- unspezifisch
- Mensch
- Rind
- Huhn
- Pferd



mtDNA-Marker sind im Vergleich spezifischer,
aber *Bacteroides*-Marker sind empfindlicher.

		Hochwasser 2013	Starkregen 2012
<i>Bacteroides</i>	unspezifisch		
	Mensch		
	Wiederkäuer		
<i>mtDNA</i>	unspezifisch		
	Mensch		
	Rind		
	Huhn		
	Pferd		

Gesamter Untersuchungszeitraum

Marker	Source	Frequency	Observations
Bacteroides	Unspezifisch	✓	häufiger Nachweis
	Mensch	✓	Starkregen, Schneeschmelze, Hochwasser
	Wiederkäuer	✓	vereinzelte Befunde
mtDNA	unspezifisch	✓	häufiger Nachweis
	Mensch	✓	Starkregen
	Rind		keine Befunde
	Huhn	✓	Nachweis im Frühjahr 2012 (März-Mitte Juni) und im März 2013
	Pferd	✓	schwache Befunde von Okt.-Nov. 2012 (nicht quantifizierbar)

- Markierungsversuch, eingegebene Substanzen:

- **Referenzsubstanzen (kein Abbau)**

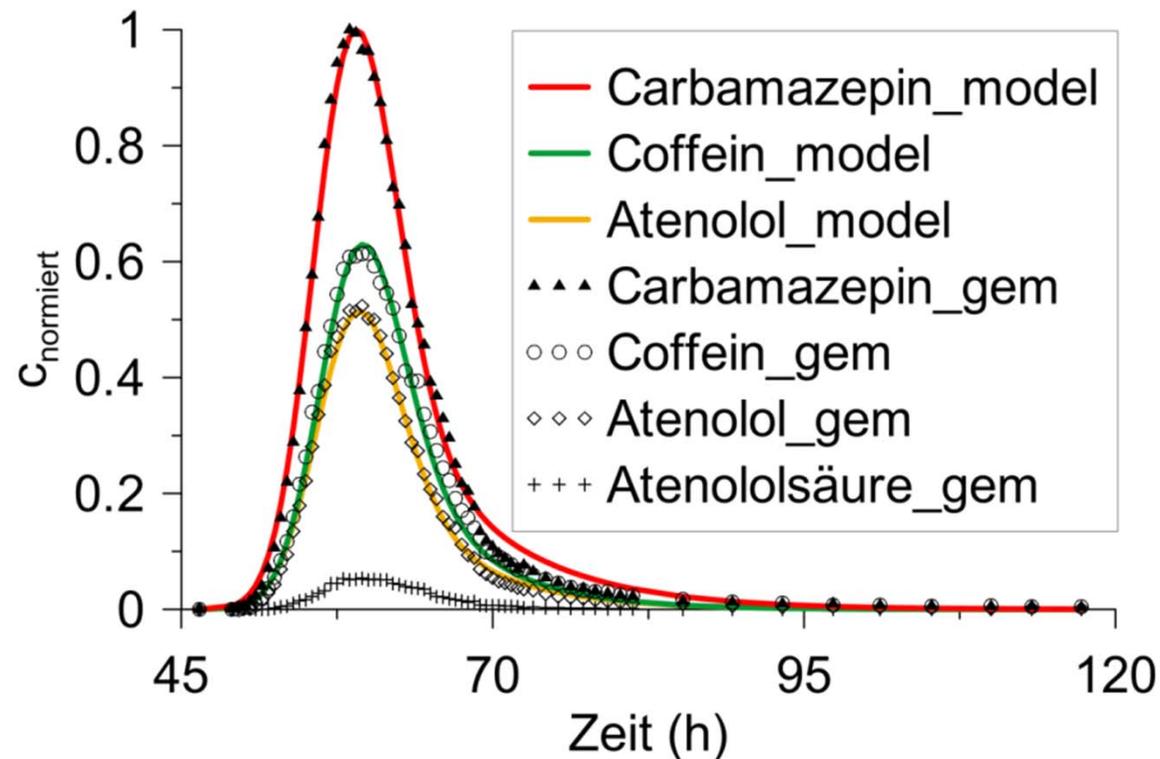
- Natriumfluorescein (700 g)
- Acesulfam K (30 g)
- Carbamazepin (10 g)

- **Testsubstanzen**

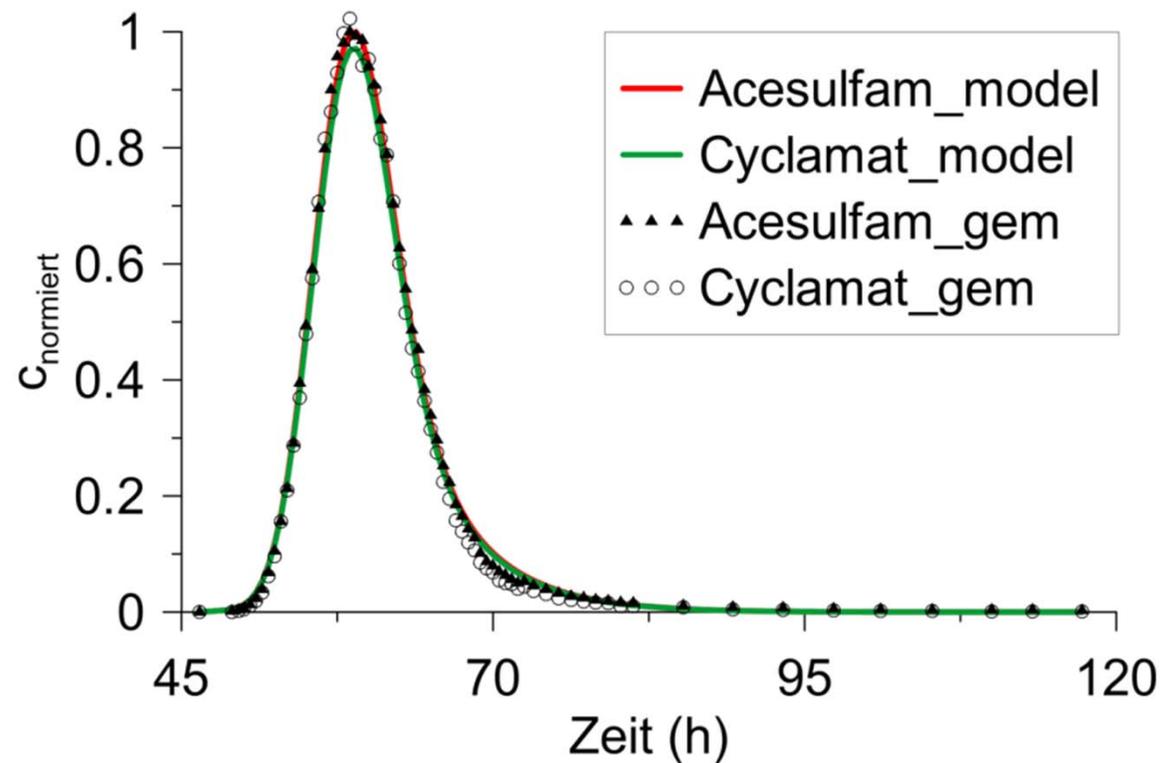
- Coffein (30 g)
- Ibuprofen (30 g)
- Natriumcyclamat (30 g)
- Paracetamol (30 g)
- Atenolol (30 g)



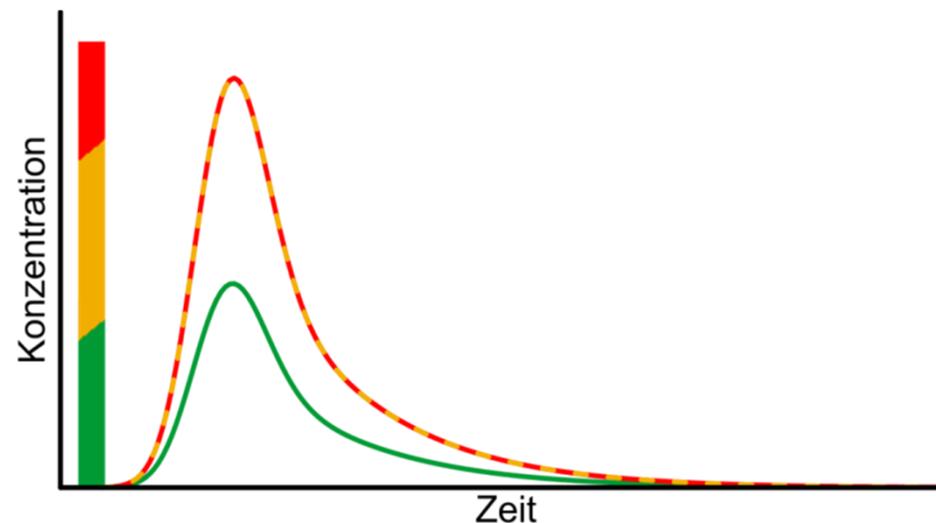
- Keine Retardation (keine Sorption im Grundwasserleiter)
- Signifikanter Abbau von Atenolol, Coffein, Ibuprofen und Paracetamol ($t_{1/2} = 38-90$ h)
- Detektion von Atenololsäure (Biotransformationsprodukt)



- Kein Abbau von Cyclamat
 - Zu 99% abbaubar in Kläranlagen (Lange et al., 2012)
 - Entfernung durch Bioabbau in Festbett-Bioreaktor nach einwöchiger Anlaufphase (Scheurer et al., 2010)



- Unerwartet hoher Abbau einiger Substanzen selbst bei schnellem Transport in Karströhren
- Reproduzierbare Halbwertszeiten (Coffein)
- Biotransformation konnte als wichtiger Prozess eindeutig identifiziert werden



Zum Nachlesen:

Hillebrand O, Nödler K, Licha T, Sauter M, Geyer T (2012): Identification of the attenuation potential of a karst aquifer by an artificial dualtracer experiment with caffeine. *Water Research* 46 (16), 5381–5388.

Hillebrand O, Nödler K, Sauter M, Licha T (2015): Multitracer experiment to evaluate the attenuation of selected organic micropollutants in a karst aquifer. *Science of The Total Environment* 506–507: 338–343.

Szenarien im Risikomanagement

Abfluss- regime	Trockenwetterabfluss		Neubildungsereignis	
Eintrag	Abwasserleckagen		Abwasserüberläufe Landwirtschaft (PBSM)	
Verweilzeit	gering ↓	hoch ↓	gering ↓	hoch ↓
Austrag (Gallusquelle)	Stoffe mit hoher Konzentration im Abwasser: Koffein, Cyclamat, Acesulfam	Stoffe hoher Persistenz: Acesulfam, Atrazin	Stoffe mit hoher Konzentration im Abwasser: Koffein, Cyclamat, Acesulfam	Stoffe hoher Persistenz (ACE, ATZ) werden verdünnt

- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Dechema
- Zweckverband Wasserversorgung Zollernalb, und insbesondere der Mannschaft des Wasserwerks Hermentingen: Peter Knaus und Thomas Wessner
- Unterstützende Behörden:
 - RP Tübingen (Ehrhart, Maier, Mayer, Klein, Vogel);
 - CVUA (Brezger, Gottesmann, Thielert);
 - LRA Sigmaringen (Ader, Fromm, Mattes, Sysel, Wieland)
 - LRA Zollernalbkreis (Brandt, Maichle)
 - Bürgermeister Bitz (Schiele), Ortsvorsteher Hermentingen (Knaus)