



WESTFÄLISCHE
WILHELMS-UNIVERSITÄT
MÜNSTER



DOC Mobilisierungsdynamik aus Feuchtgebieten – die Rollen von wechselnder Wassersättigung und Redoxbedingungen

Prof. Dr. Klaus-Holger Knorr

kh.knorr@uni-muenster.de



wissen leben
WWU Münster



Bayceer

Bayreuth Center of Ecology
and Environmental Research

ecohydrology &
biogeochemistry

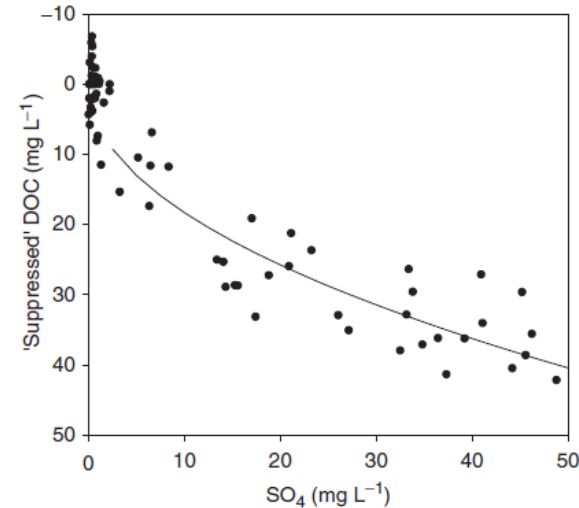
ILÖK
Institut für Landschaftsökologie

Verbreitete Erklärungsansätze für Langzeittrends

- Rückgang der Sulfatdeposition und der sauren Deposition (“Recovery from acidification”)

Sulfatzugabe in Böden verringert den DOC Austrag

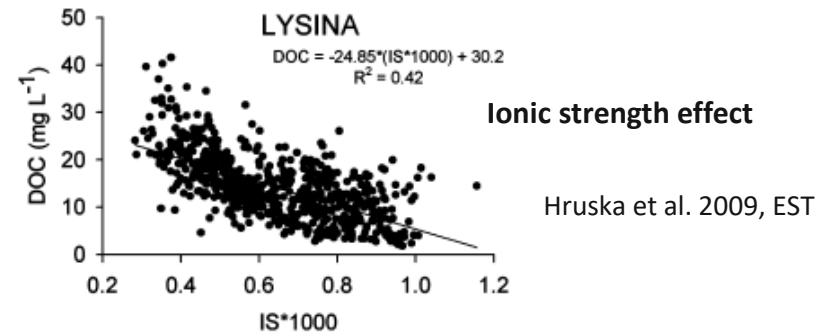
Evans et al. 2006, GCB,
 Clark et al. 2006 EST



- Geringere Ionenstärke (→ Säure)
- Temperatur, CO₂
- Störung in Feuchtgebieten, Wiedervernässung

(Glatzel et al. 2003, Geoderma)

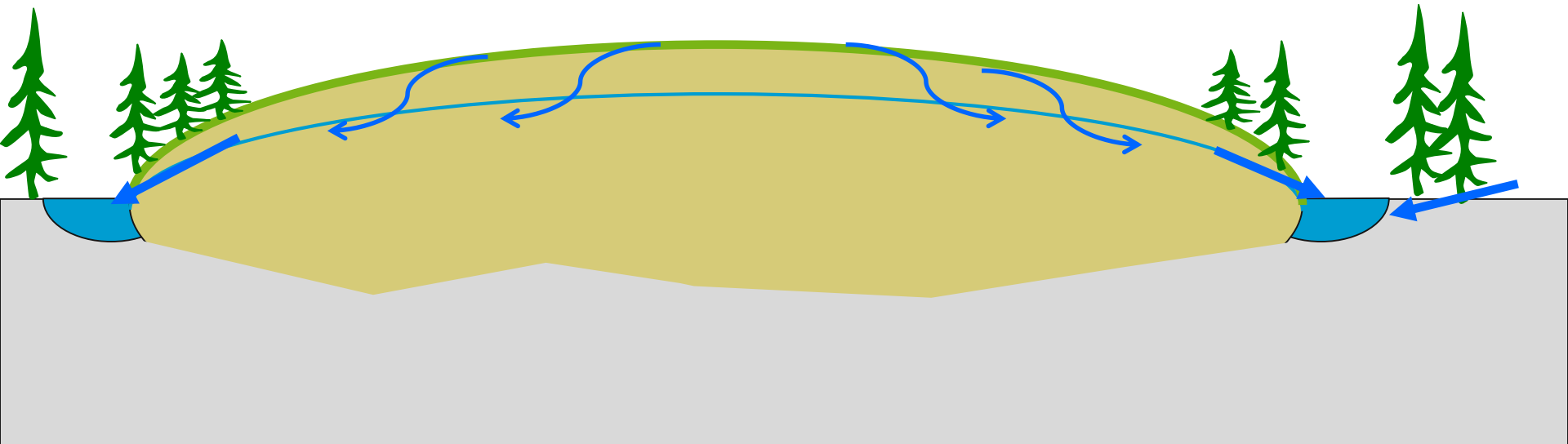
→ Gilt das auch für Kurzzeitdynamik / Ereignisse?



Kurzzeitdynamik bei Austrägen

Moore als DOC Quelle: Moorhydrologie eines **Hochmoors**

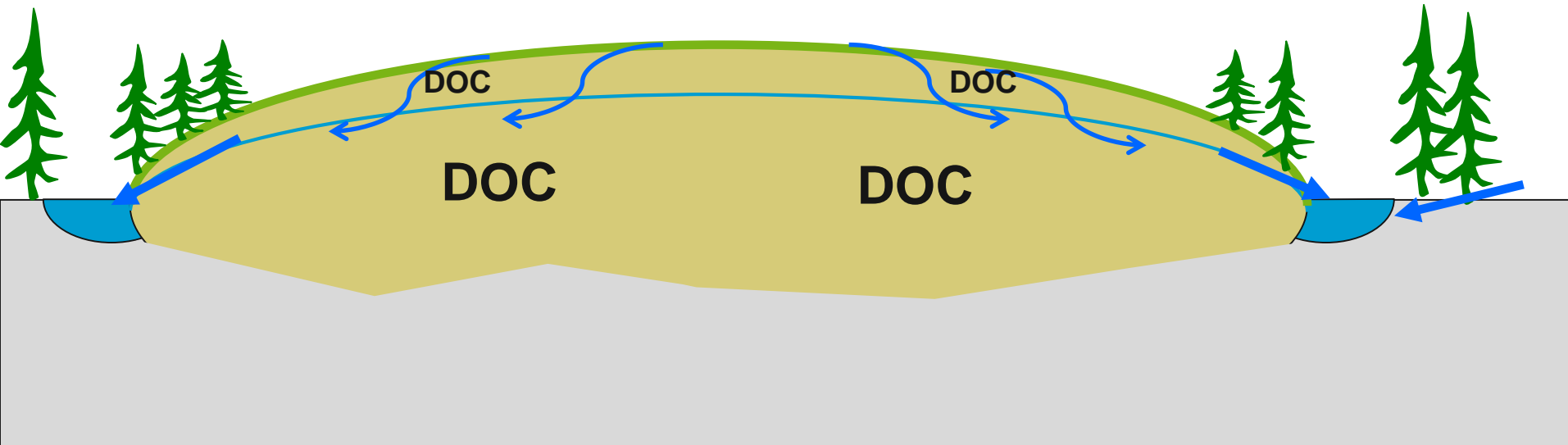
- Der Lagg oder Randsumpf umgibt das Moor und/oder leitet den Abfluss aus dem mineralischen Einzugsgebiet **um das Moor herum** (Seitenkantenlagg)
- Der Lagg nimmt das **lateral** aus dem Moor drainierende Wasser auf
- Das Wasser fließt im **durchlässigen Akrotelm** oberflächennah ab



Kurzzeitdynamik bei Austrägen

Moore als DOC Quelle: Moorhydrologie eines *Hochmoors*

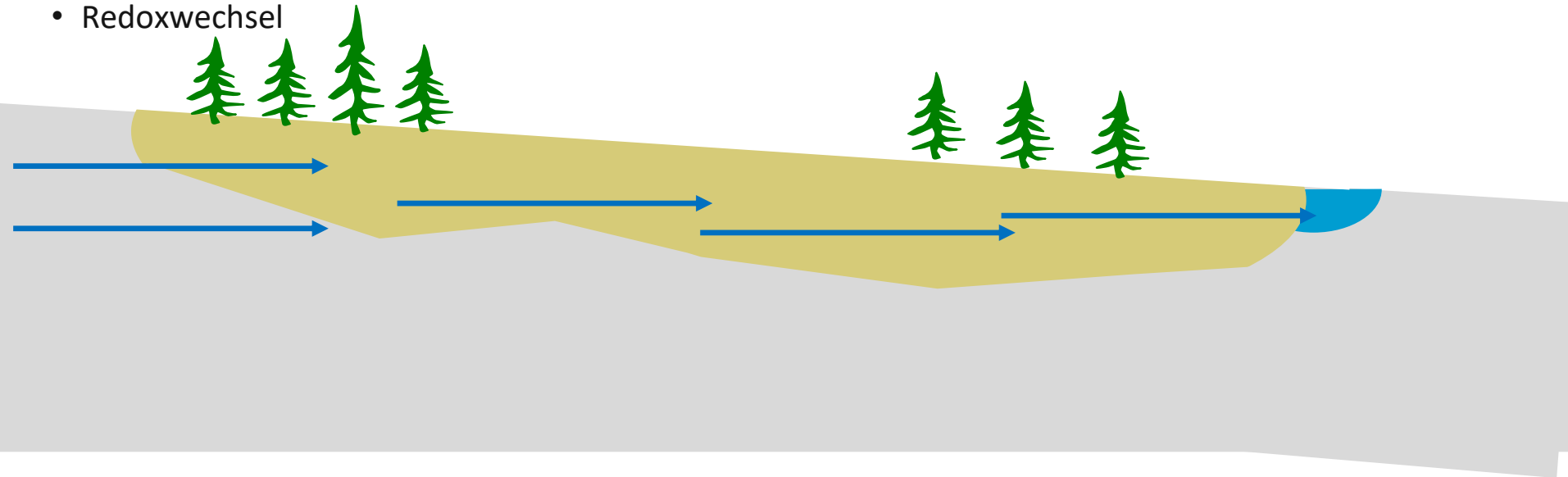
- Untersuchungen des abfließenden Wassers zeigen: aus einem Hochmoor fließt vor allem Regenwasser (Ereigniswasser), **starke Verdünnungseffekte** bei Niederschlag
- Wenig DOC im Akrotelm
- Geringe DOC Quellen!



Kurzzeitdynamik bei Austrägen

Moore als DOC Quelle: Moorhydrologie eines **Niedermoores**

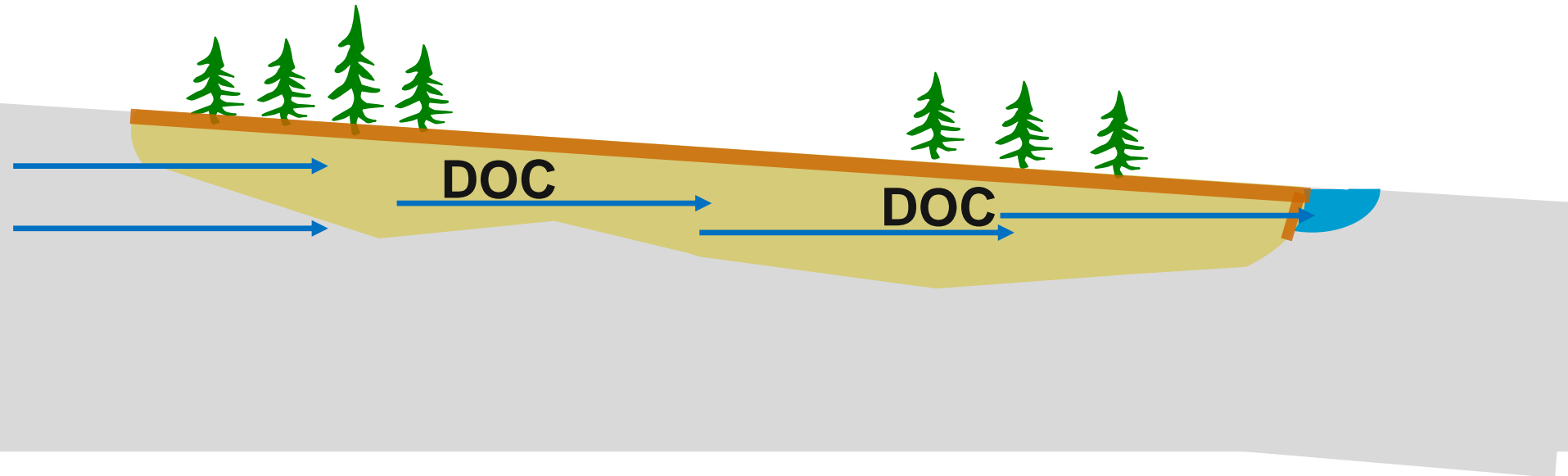
- Moorkörper ist **durchströmt**
- Mobilisierung von DOC im gesamten durchströmten Moorkörper
- **Starke Zersetzung** durch labile Streu produziert viel DOC
- **Schwankende Wasserspiegel** begünstigen Zersetzung
- Redoxwechsel



Kurzzeitdynamik bei Austrägen

Moore als DOC Quelle: Moorhydrologie eines **Niedermoores**

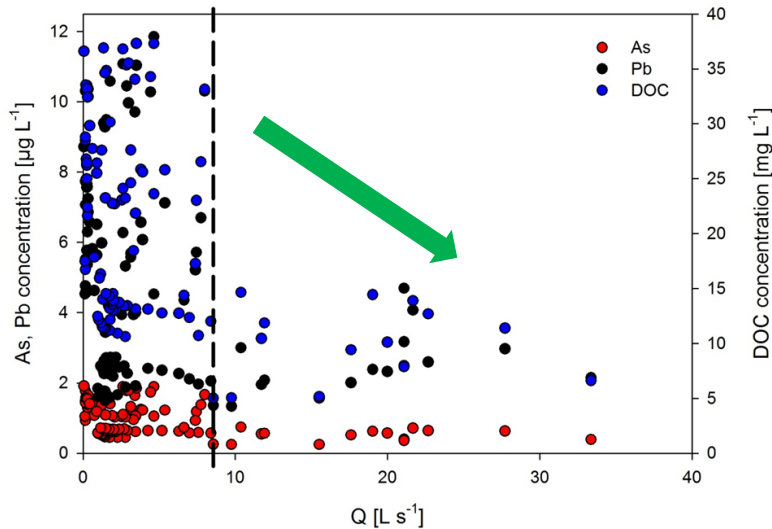
- DOC Produktion kann sehr hoch sein
- Freisetzung abhängig vom **Milieu** und der **Hydrologie**
- Ggf. starke **DOC Quellen**
- **Redoxgrenzflächen** —



DOC Austragsdynamik aus Hoch- und Niedermoor

Hochmoor

- DOC sinkt mit steigendem Abfluss (Verdünnungseffekt)

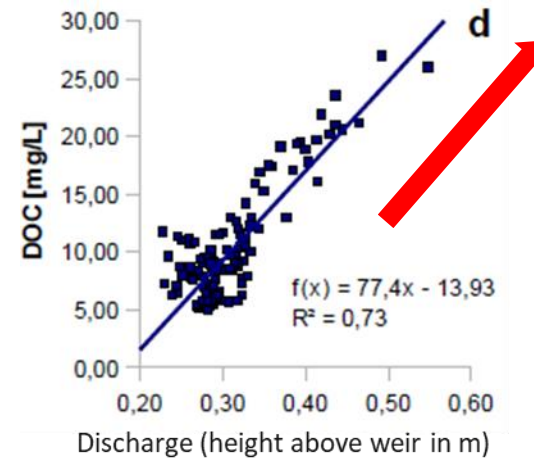


Odersprung (Hochmoor) Broder & Biester, 2015

Niedermoor,

fließgewässerbegleitende Moore

- DOC steigt mit steigendem Abfluss (Mobilisierungseffekt)



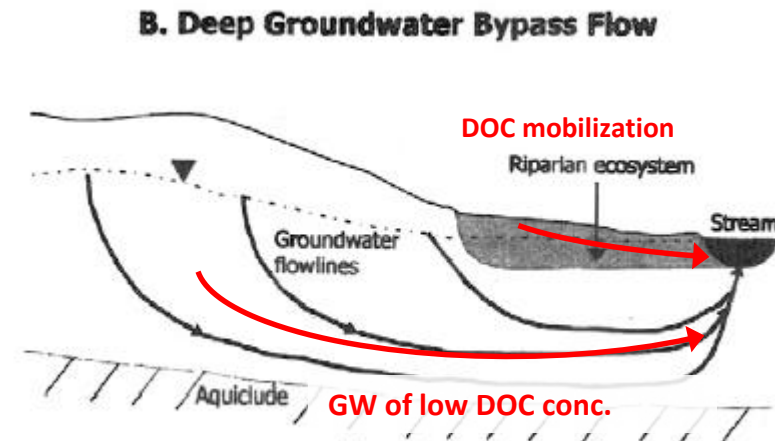
Lehstenbach (Niedermoor) unpublizierte Daten

Niedermoore als Hauptquellen, oft an Fließgewässern (Vernässungszonen, TWI, DRIP)

Austragsdynamik ist eine Kombination aus **DOC-Produktion, DOC-Mobilisierung und hydrologischer Konnektivität**

- Basisabfluss: Grundwasser, niedrige DOC-Konzentration
- Abflussereignis: Wasser aus den Moorkörpern (**Konnektivität**), hohe DOC Konzentration

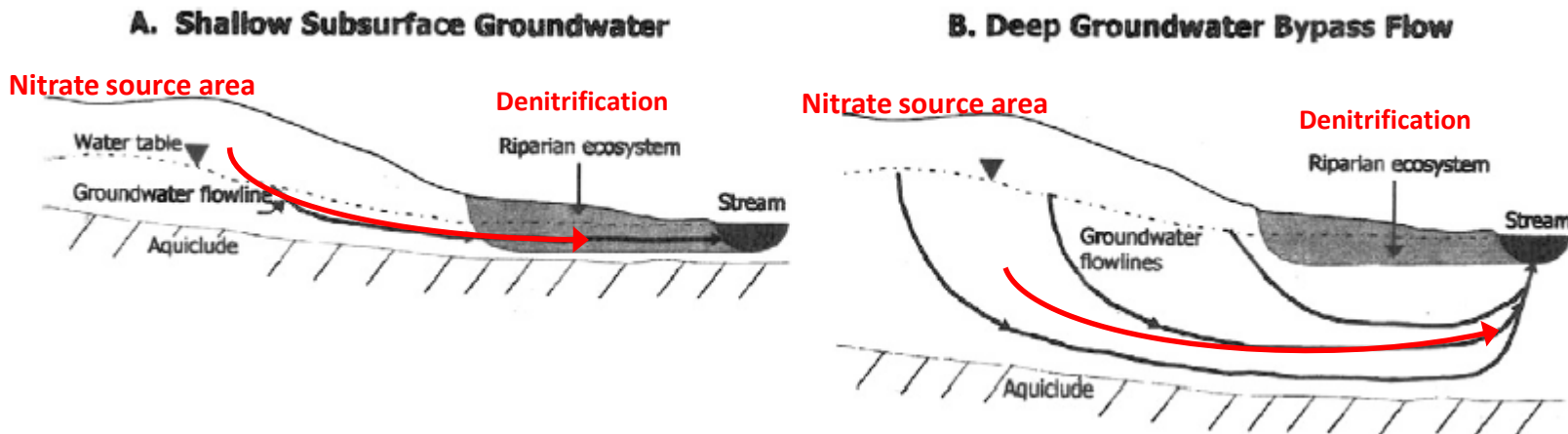
→ Mischung der Quellen erzeugt einen chemischen Hydrograph



Ranalli and Macalady 2010, J Hydrol.
(modified)

Redoxbedingungen in den Quellen: Nitrat meist invers zu DOC Dynamik

- DOC-Quellen: Niedermoore, Anmoore, mehr oder weniger stark reduzierend
- Nitratquellen: in Mittelgebirgen oft Waldböden, über GW angeschlossen (oxisch)

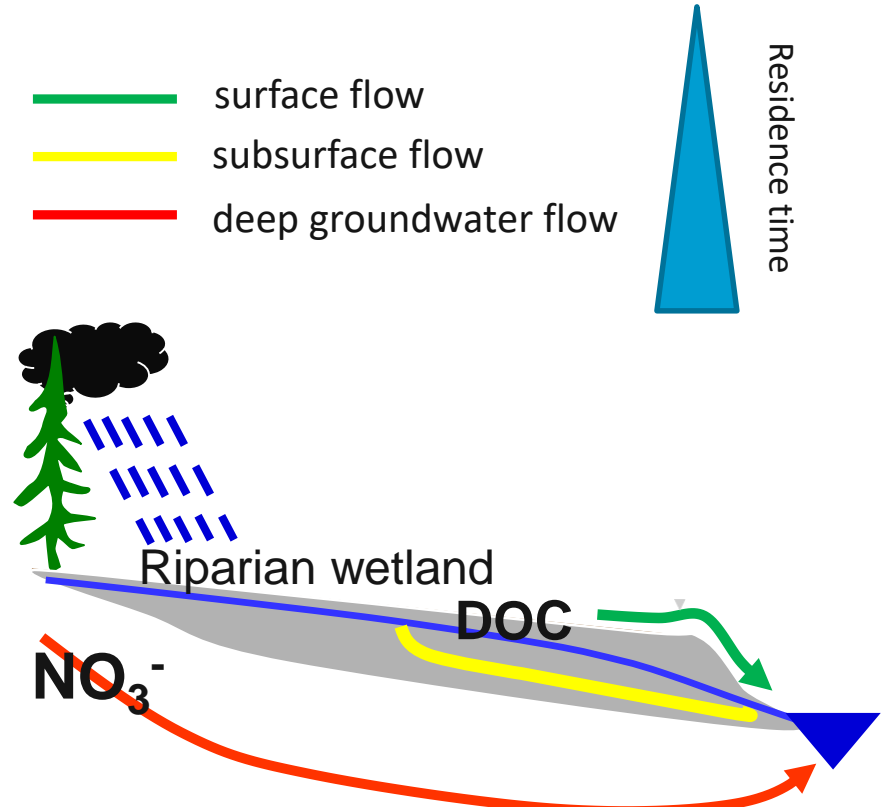
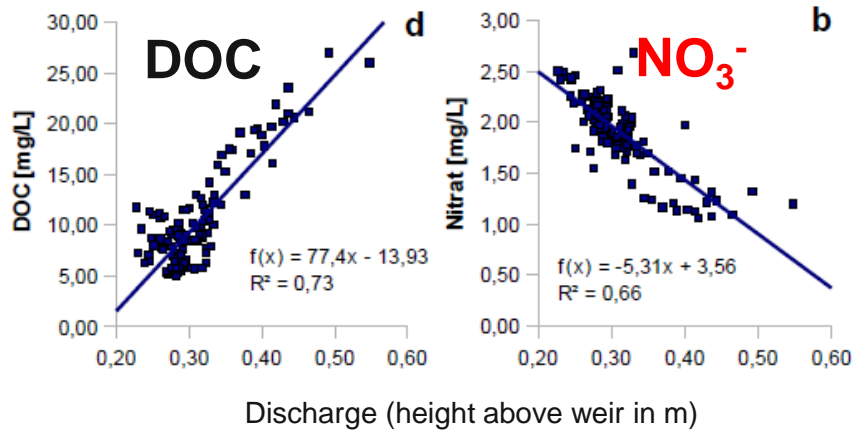


Ranalli and Macalady 2010, J Hydrol.
(modified)

- Passage durch Moore → Denitrifizierung
- Umgehung der Senke durch tieferes Grundwasser
- Es ergeben sich nitratarme, DOC-reiche Wässer aus Niedermooren, DOC-arme und nitratreiche Wässer aus tieferem Grundwasser

Fallbeispiel Lehstenbach (Fichtelgebirge)

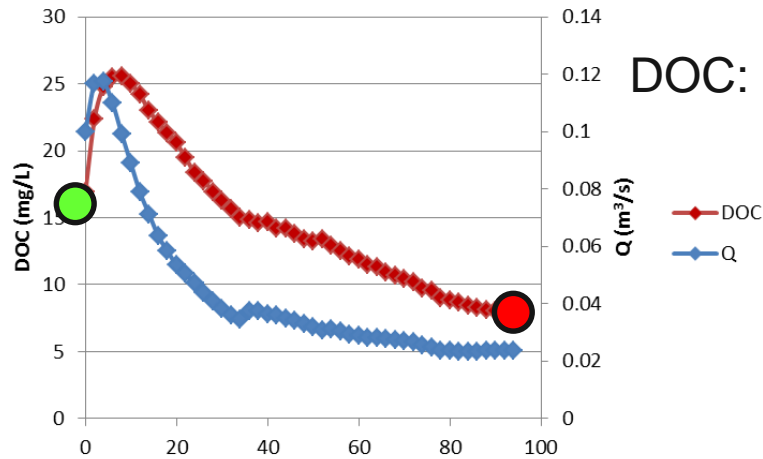
Regenereignis: DOC-Anstieg, Nitrat sinkt mit steigendem Abfluss
 → Reine Mischungsdynamik der Quellen?



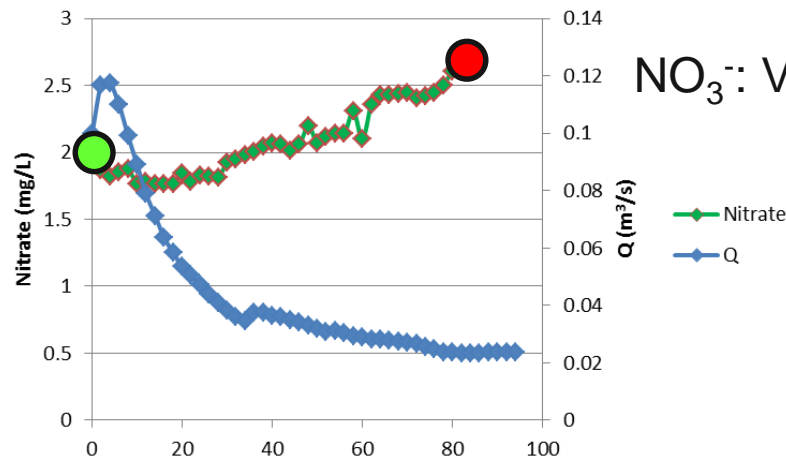
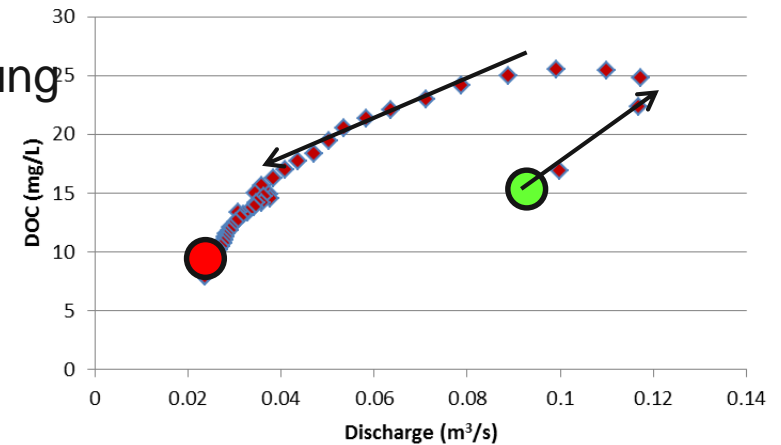
Graph: C. Blodau, M. Reichert

Typische DOC und Nitrat Austragsdynamik

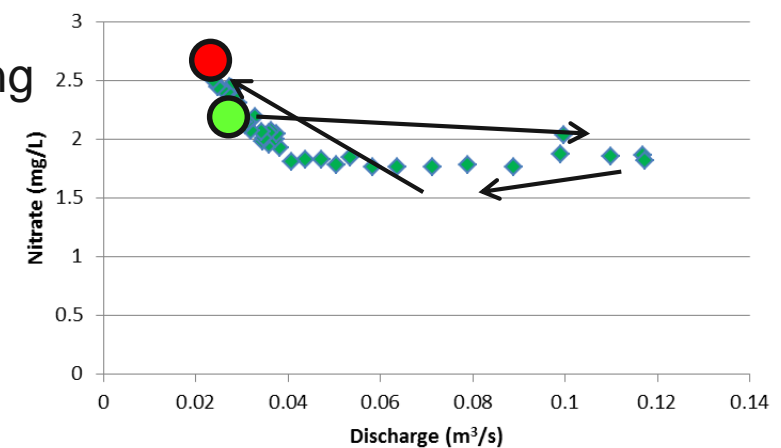
- **Feuchte Vorbedingungen** (hoher GW-Spiegel im Niedermoor)



DOC: Mobilisierung

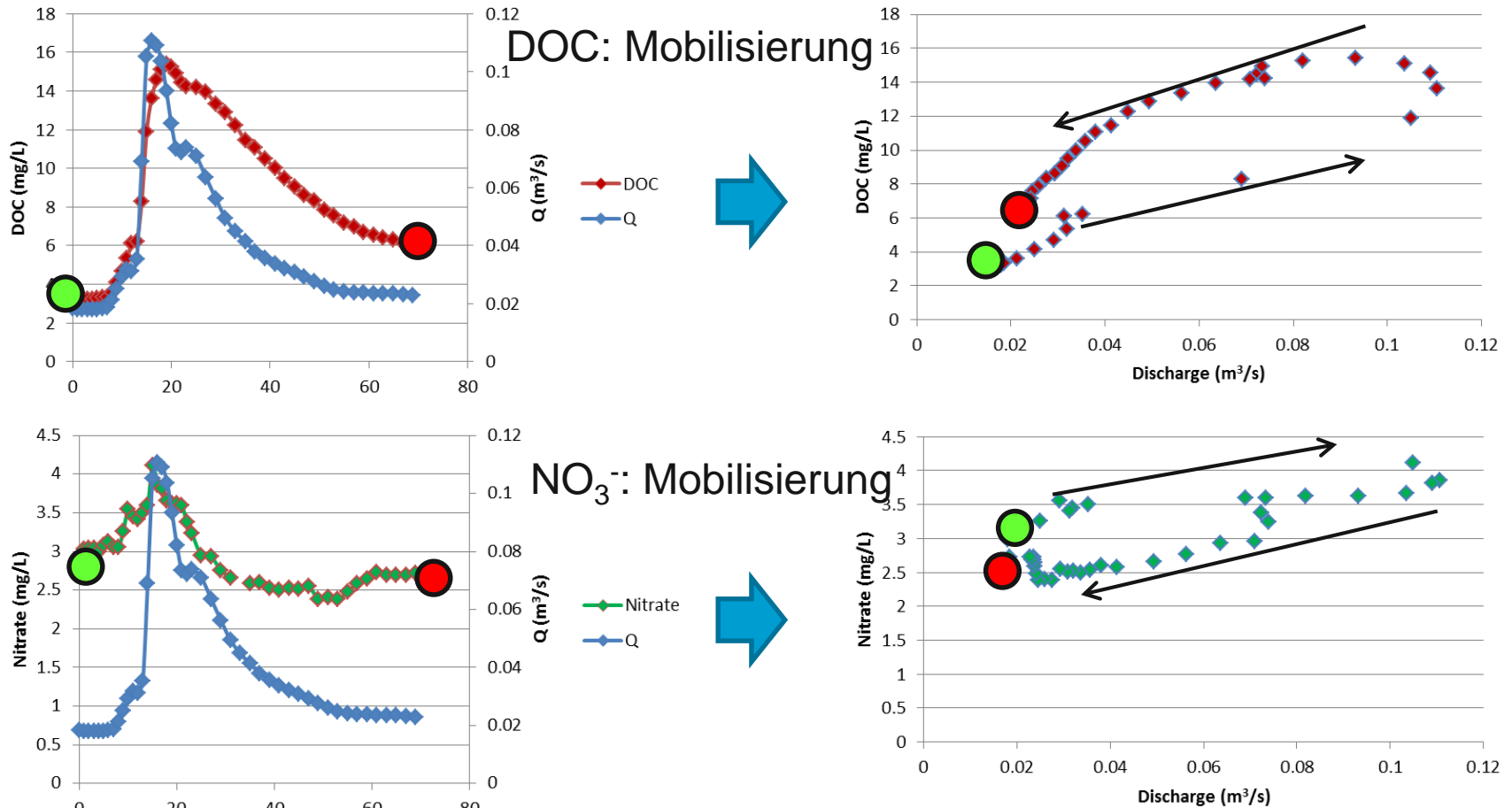


NO₃⁻: Verdünnung



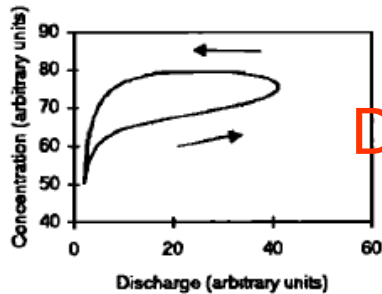
Typische DOC und Nitrat Austragsdynamik

- **Trockene Vorbedingungen** (niedriger GW-Spiegel im Niedermoor)



Unterschiedliche Austragsdynamik von Nitrat bei unterschiedlicher Feuchte: Redoxbedingungen

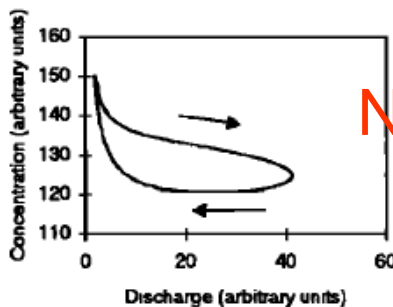
(e) A2 ($C_{so} > C_{SE} > C_G$)



DOC

- Maximum des DOC *nach* Maximum des Abflusses
 - Moorwasser verdünnt durch schnelle Oberflächenkomponente (Eventwasser)
 - Mehr DOC wenn feucht, weniger wenn trocken; aber gleiche Hysterese

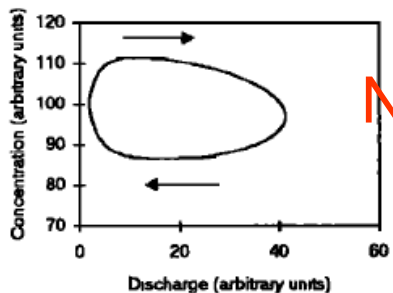
(c) C3 ($C_G > C_{SE} > C_{so}$)



Nitrat
feucht

- Nitrat Minimum *nach* Maximum des Abflusses
 - Nitratreiches GW verdünnt durch nitratärmeres Eventwasser und nitratfreies Moorwasser

(a) C1 ($C_{SE} > C_G > C_{so}$)



Nitrat
trocken

- Nitrat Maximum *vor* Maximum des Abflusses
 - Nitrate Peak durch Eventwasser (oberflächennah)
 - Mobilisierbares Nitrat aus Trockenphase

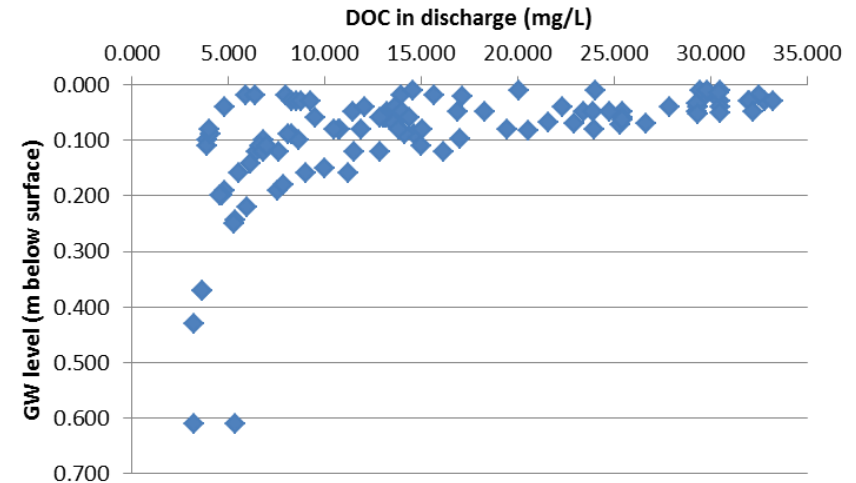
Evans and Davies 1998, WResR

& Biogeochemistry

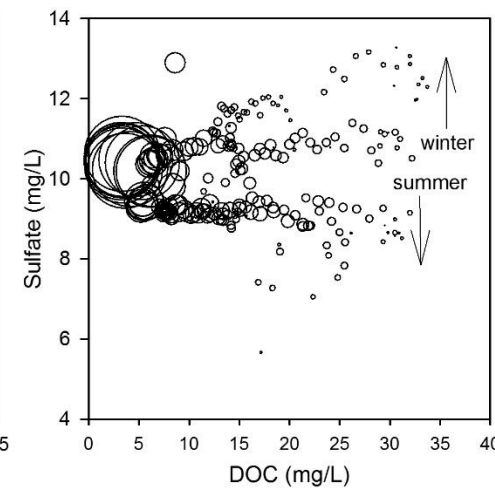
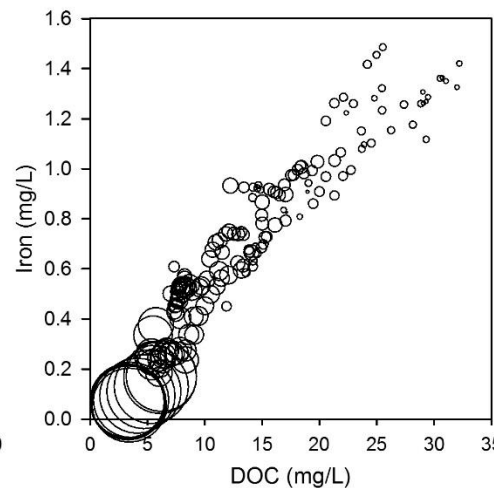
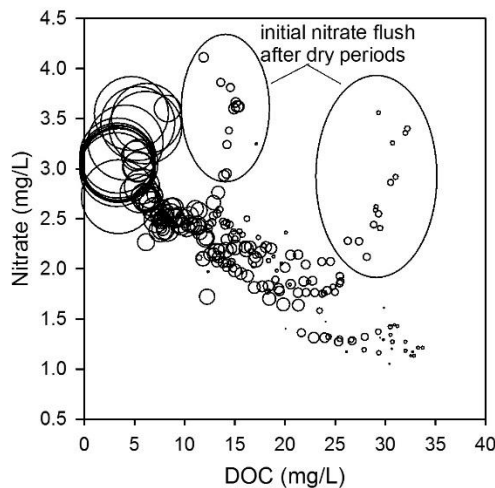
Was kontrolliert die Kurzzeitdynamik der DOC Mobilisierung? ...Redoxbedingungen?

Beobachtung:

- Hoher Wasserspiegel -> viel DOC
- Hoher Wasserspiegel -> reduzierende Bedingungen
 - Viel DOC -> Viel Eisen, wenig NO_3^-
- Für Sulfat keinen klaren Trend!
 - Benötigt stark reduzierende Bedingungen für Eliminierung!



Knorr, unpublished

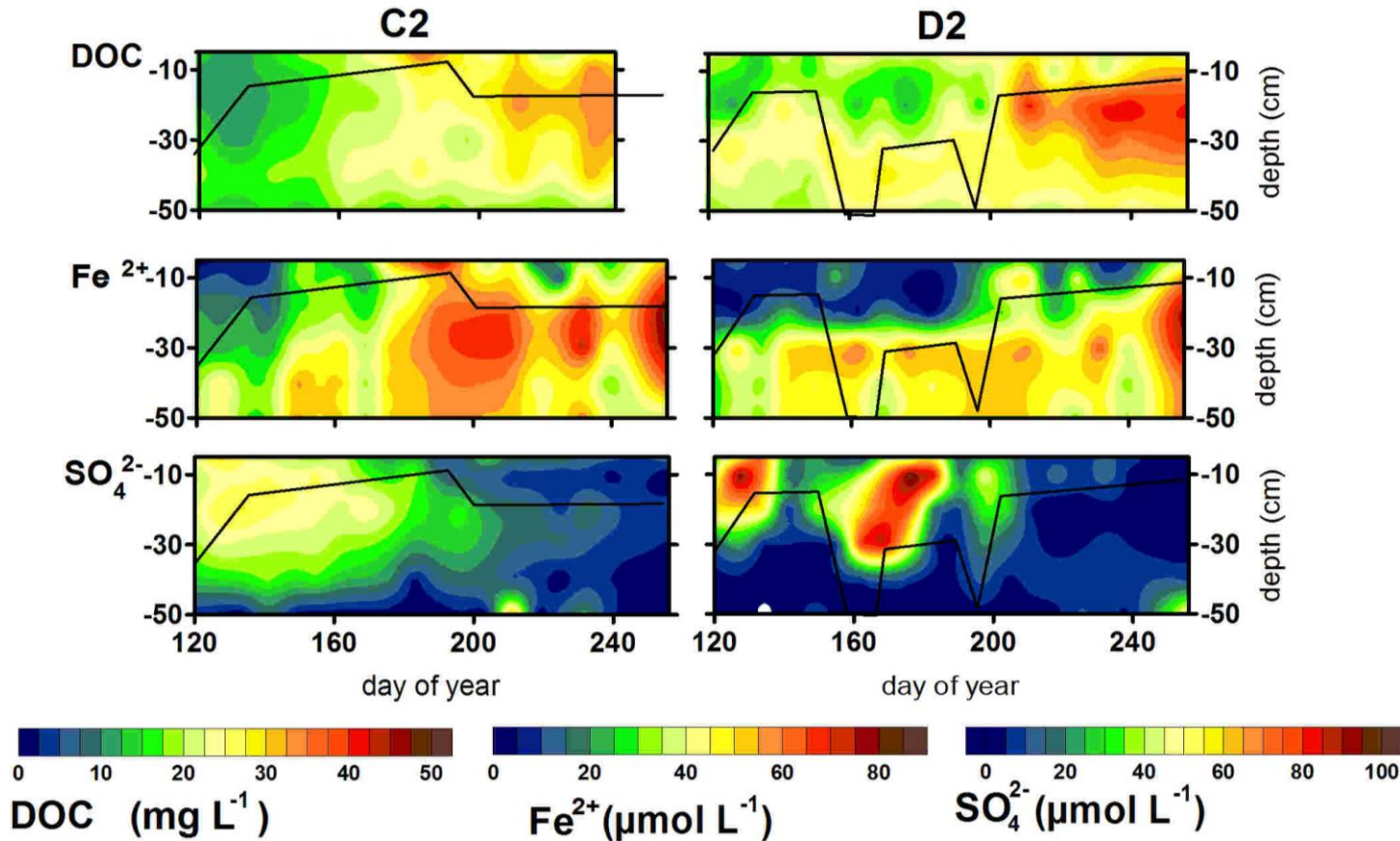


Wasserspiegel:

- hoch
- niedrig

Knorr, 2013

Prozesse in der Quelle - DOC und Redoxbedingungen: Eisen und DOC Dynamik im Porenwasser eines Niedermoores



Zusammenhänge im Porenwasser und Oberflächenwasser: wechselnde Redoxbedingungen

- Porenwasser / Moorkörper

	pH	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	DOC
pH	-	0.303**	-0.134**	-0.537**	0.405**
Fe ²⁺	N=642	-	-0.095*	-0.395**	0.776**
NO ₃ ⁻	N=679	N=638	-	0.174**	-0.110**
SO ₄ ²⁻	N=680	N=640	N=679	-	-0.440**
DOC	N=654	N=615	N=650	N=651	-

Knorr, unpublished data

Übergang zu oxidischen Bedingungen

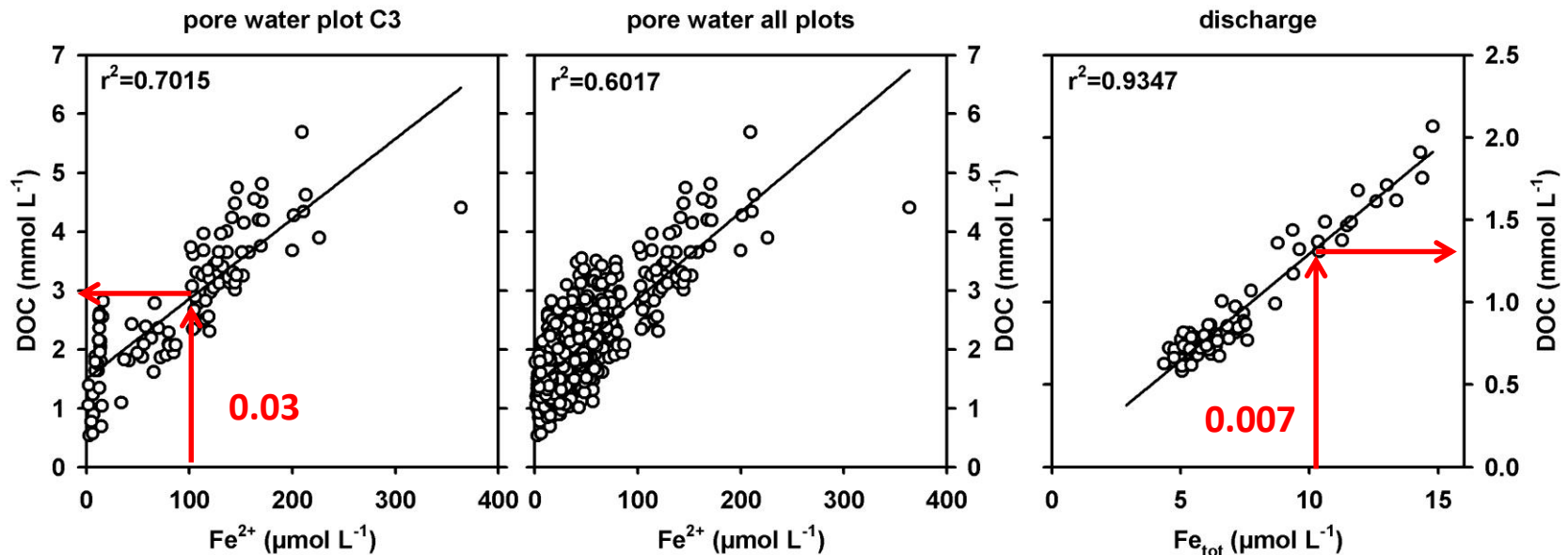
- Oberflächenwasser / Abfluss

	pH	Fe ²⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	DOC
pH	-	-0.354**	-0.099*	-0.416**	-0.418**
Fe ²⁺	N=342	-	-0.212**	0.287**	0.749**
NO ₃ ⁻	N=536	N=342	-	0.535**	-0.341**
SO ₄ ²⁻	N=536	N=342	N=536	-	0.124**
DOC	N=536	N=342	N=536	N=536	-

Bavarian Environmental Agency (LFU), unpublished data

Wird Eisen nur passiv mit DOC mobilisiert? Entkopplung des Signals am Übergang in das Oberflächenwasser!

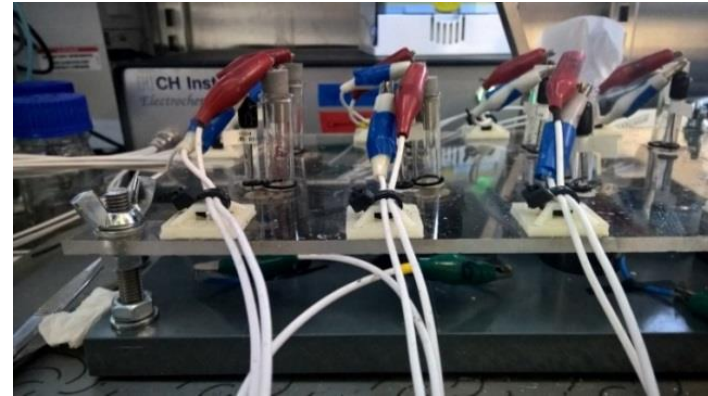
- Verhältnis Fe zu DOC
 im Porenwasser **0.041 – 0.052** → im Abfluss **0.007 (trocken) – 0.012 (feucht)**
- Verlust im Übergang Porenwasser – Oberflächenwasser (Fe-Oxidation!)
 Fe/C Ratio sinkt um 71-86 %, pH sinkt
 → Präferentielle Fällung von Eisen wegen des Redoxübergangs
 verschleiert Signal der Quelle / Mobilisierung



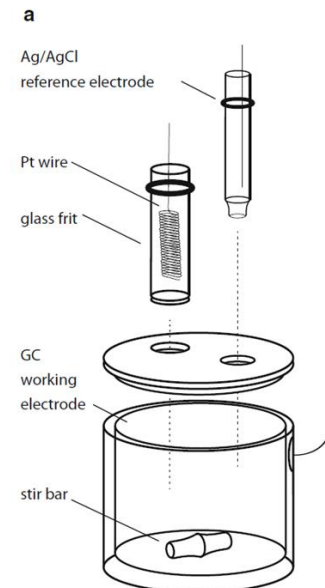
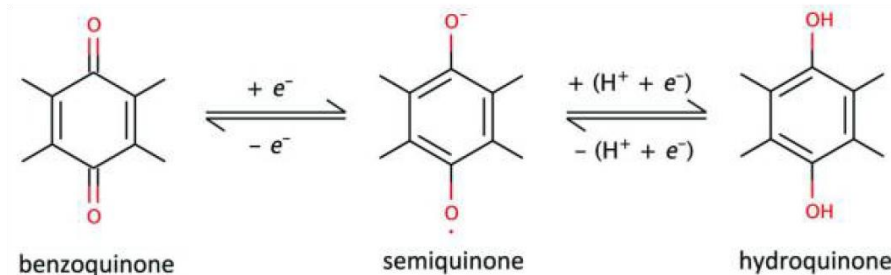
Wie kann man die Bedeutung der Redoxbedingungen nachweisen?

Messung des Redoxzustands des DOC

Wenn DOC unter reduzierenden Bedingungen mobilisiert wird, sollte es selbst **reduziert** sein

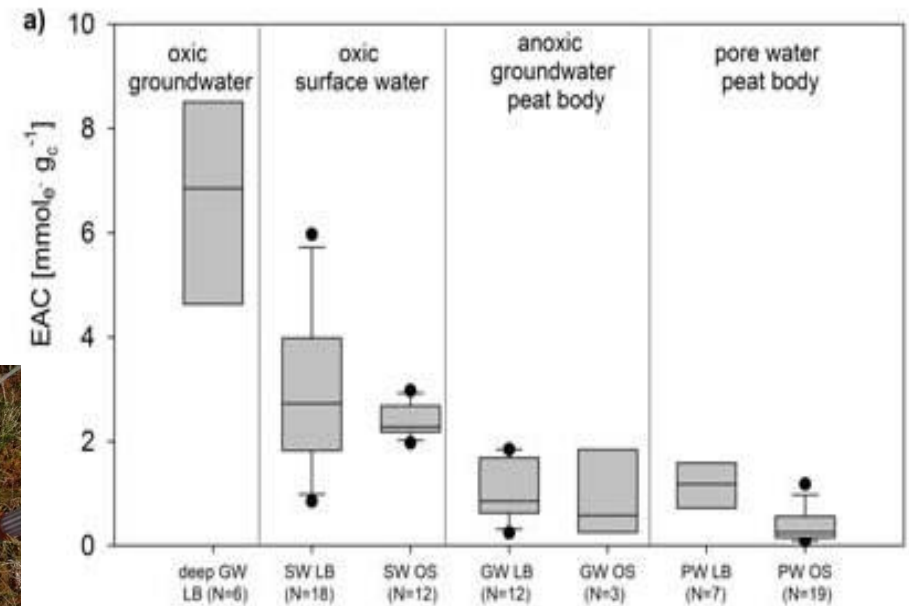


→ Einsatz einer neuen Methode zur Messung des Redoxzustands von DOC (Aeschbacher et al. 2010/2011)



Lau et al. 2014

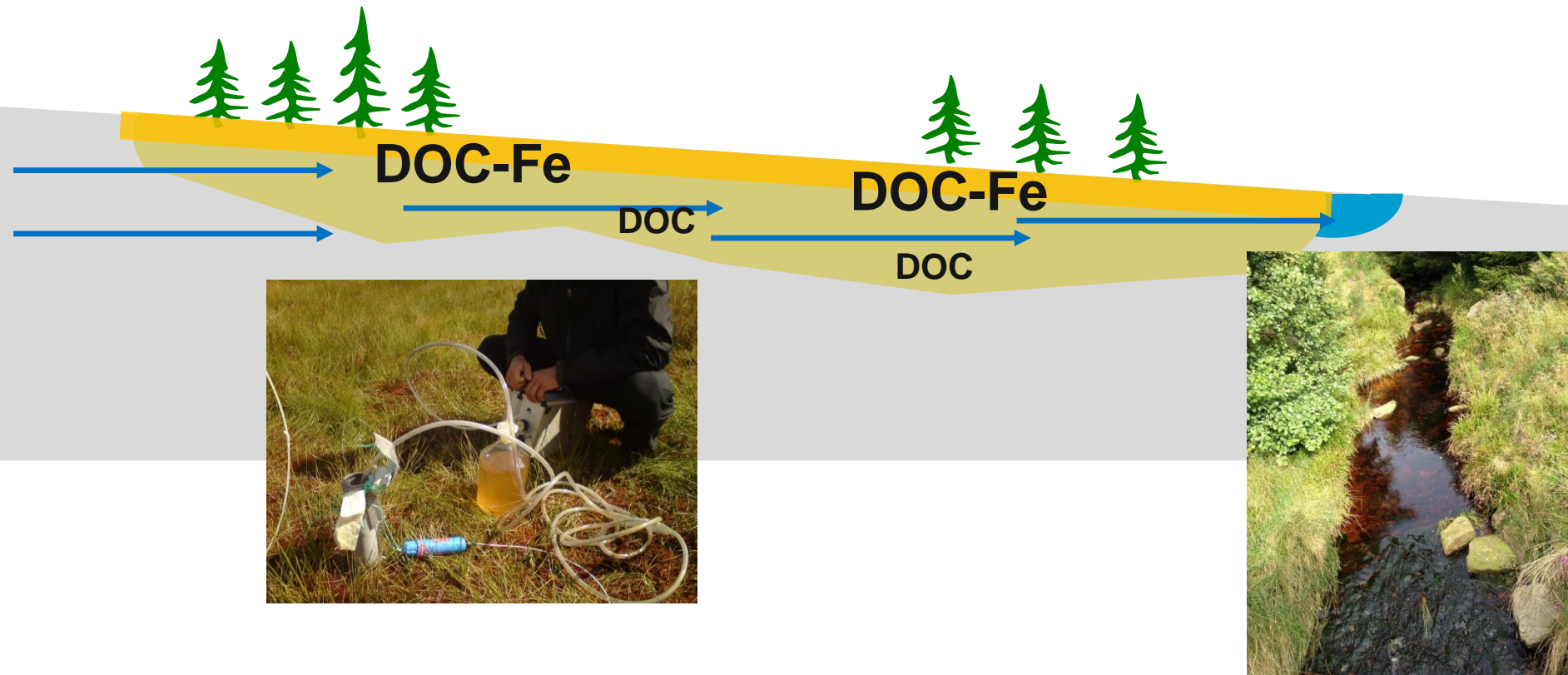
Differenzierung verschiedener DOC Quellen anhand des Redoxzustands



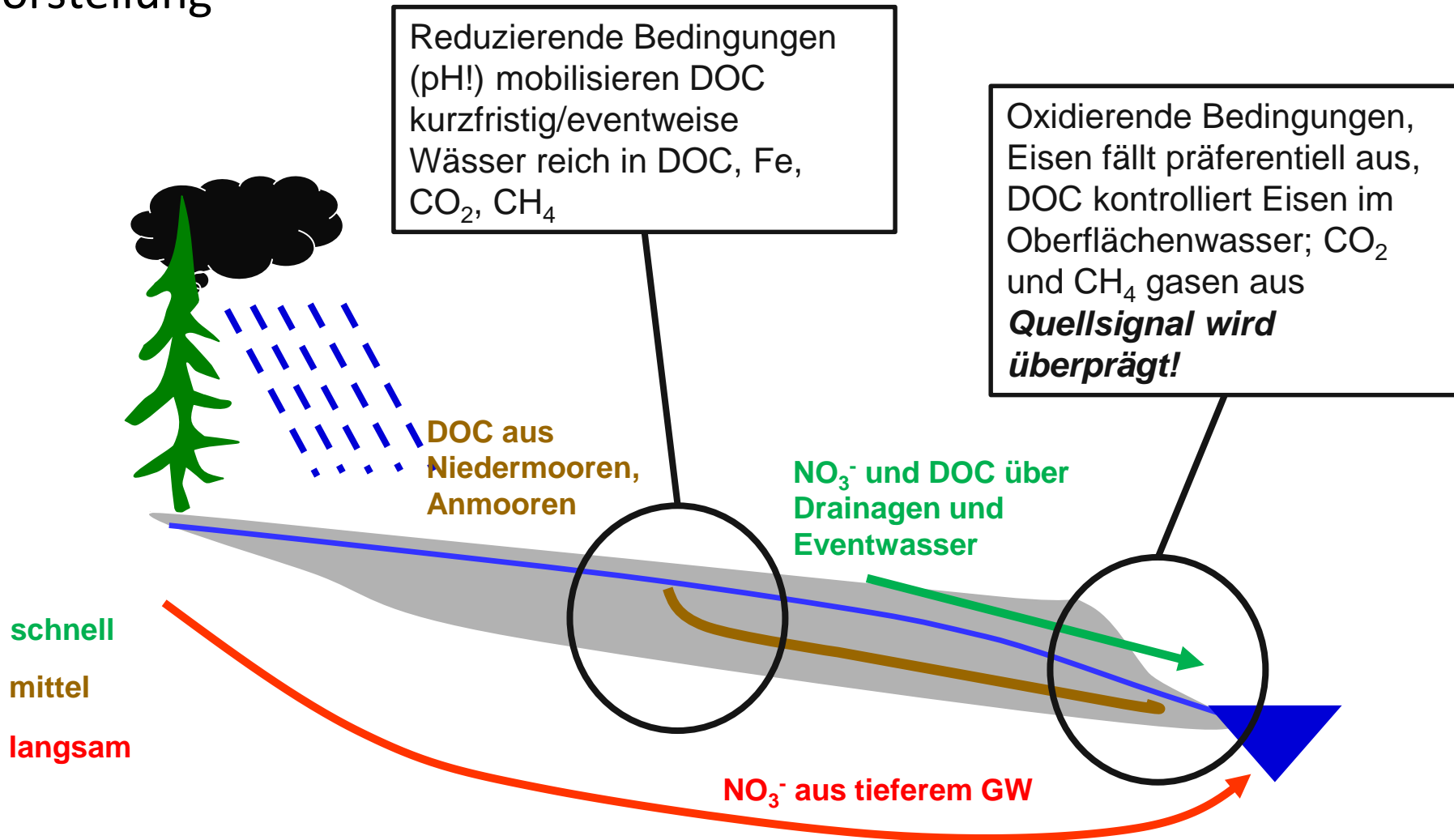
M. Schmitt, unpublished

Moore als DOC Quelle: Differenzierung der Prozesse im Moor und Signaturen im Gewässer

- Anreicherung von Eisen an Redoxgrenzfläche / Wasserspiegel (tiefer bei Drainage, Trockenheit)
- Eisenreiche, oberflächennahe Horizonte sehr reich an DOC
- Starke DOC Quellen bei reduzierenden Verhältnissen (pH!) und guter Konnektivität (hohe Wasserspiegel, Wiedervernässung, feucht-warme Bedingungen)

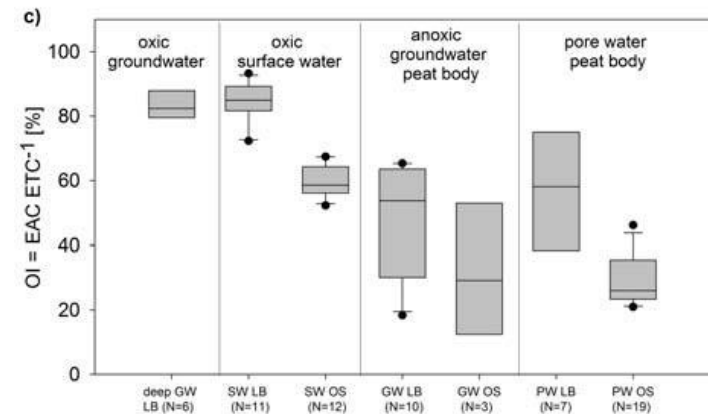
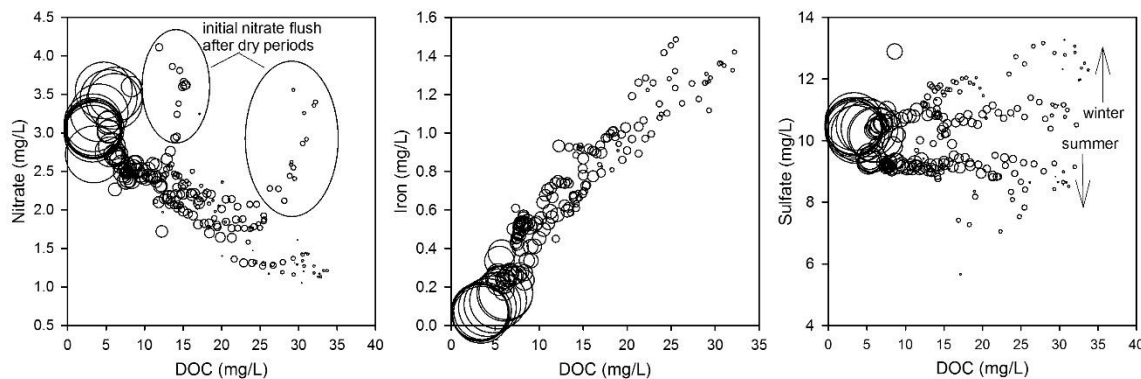


Konzeptionelle Vorstellung

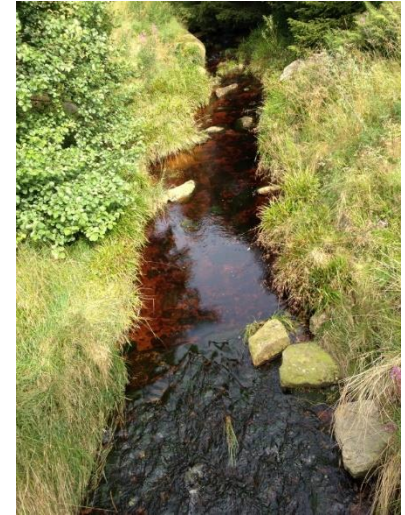


Warum sind Redoxprozesse und schwankende Wasserspiegel wichtige Faktoren der kurzfristigen DOC Mobilisierung?

- Reduktion und Oxidation von Eisen steuert die *Verfügbarkeit eines effektiven 'Flockungsmittels'*
- **Reduktion und Oxidation steuert pH**, als wichtigen Treiber der DOC-Löslichkeit
- Bedeutung der **Vorbedingungen zu einem Event (oxidierend versus reduzierend)**
- Die geringeren Zusammenhänge mit Nitrat und Sulfat legen einen **"Tipping Point" nahe um das Redoxpotential von Eisen**
- **Der Redoxzustand von DOC** belegt eine präferentielle Mobilisierung von reduziertem DOC aus Mooren
- **Wir verlieren Information über die Quellprozesse, wenn wir nur Daten aus Oberflächenwässern betrachten**



Vielen Dank!

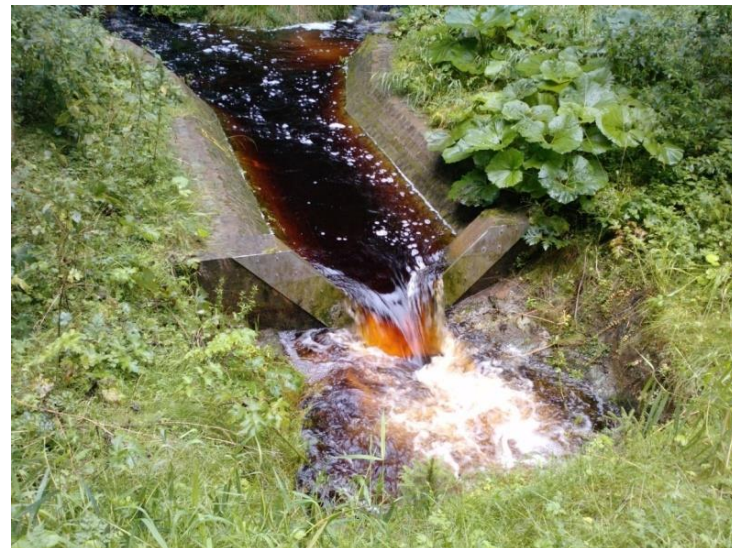


Danksagung:

DFG Forschergruppe FOR 562

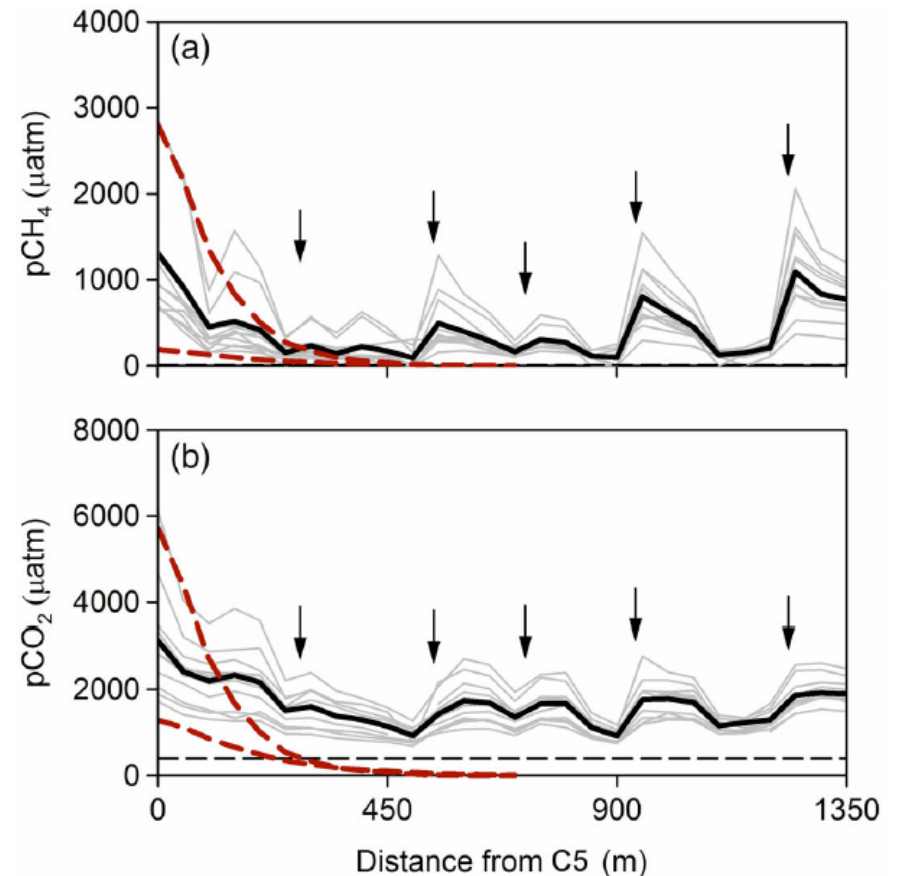
Bayerisches Landesamt für Umwelt (LFU)

Benny Selle, Michael Sander, Stefan Peiffer, Egbert
Matzner, Jan Fleckenstein, Christian Blodau,
Maximilian Lau, Markus Schmitt
AG e&b, ILÖK Labor



Spurengaskonzentrationen als Indikator der Redoxbedingungen

- DOC und Wasserinput v.a. an den DRIPs (markiert)
- Hier treten hohe Konzentrationen an CO_2 und CH_4 auf



Lupon et al. 2019, L&O

Bekannte Konzepte: Hystereseschleifen in Q-C Diagrammen

C_{SE} : C in surface event water, C_{SO} : C in soil water, C_G : C in groundwater

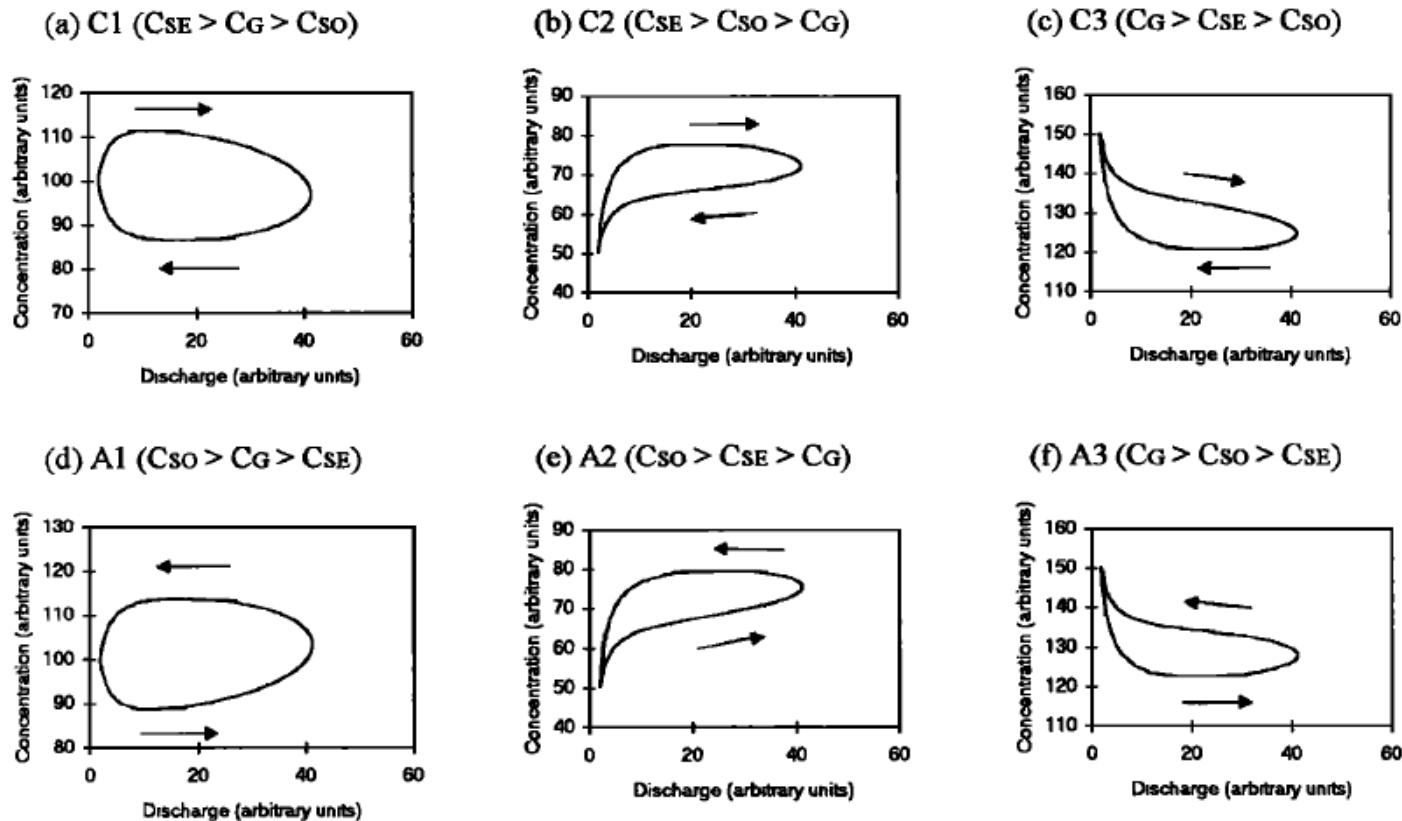
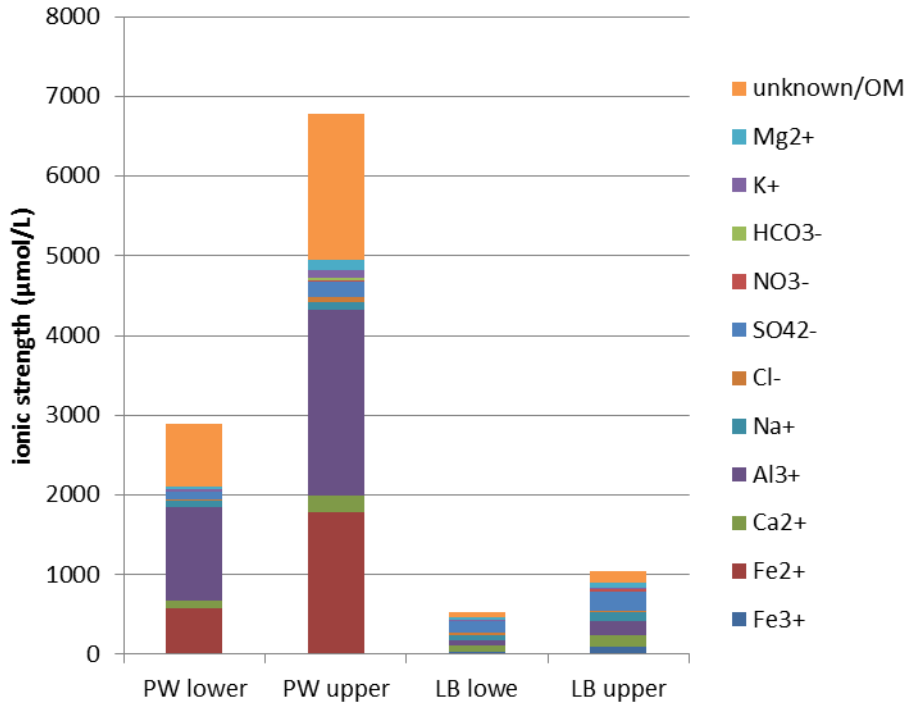


Figure 2. C/Q hysteresis loops created using hydrograph in Figure 1.

Evans and Davies 1998, WResR

Modellvorstellungen aus Langzeittrends: Ionenstärke, pH, ...

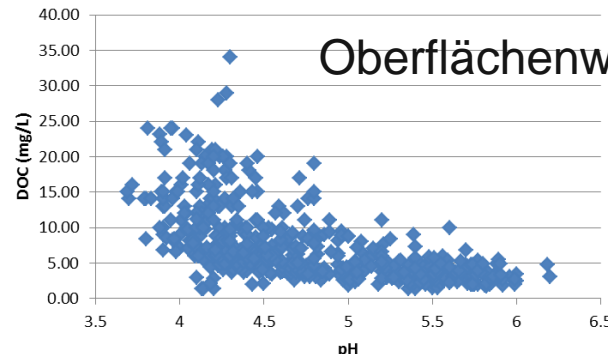
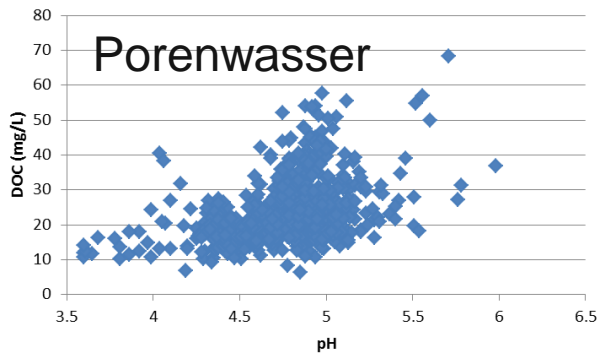


- Ionenstärke im Porenwasser 2900 – 6800 µmol/L

- Dominiert von Fe²⁺, Al³⁺, und DOC (Ladungsbilanz)
- pH 3.5 - 6

- Ionenstärke im Oberflächenwasser 530 – 1040 µmol/L

- Dominiert von Ca²⁺, Al³⁺, SO₄²⁻, und DOC matter (Ladungsbilanz)
- pH 3.8 – 6



pH - DOC