

Exportdynamik von DOC aus Einzugsgebieten

Einblicke aus in-situ Messungen und chemischer Quellencharakterisierung

Andreas Musolff

Jan H. Fleckenstein, Benedikt Werner, Oliver Lechtenfeld, Karsten
Rinke, Marieke Osterwoud & Pia Ebeling
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

04.03.2020

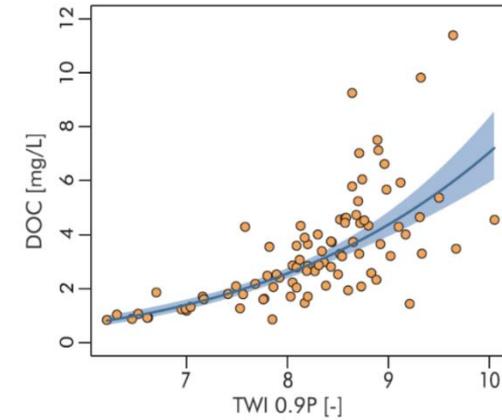
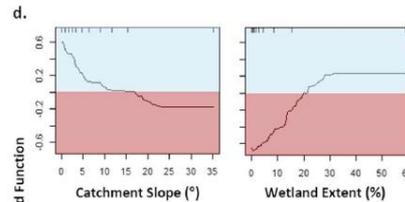
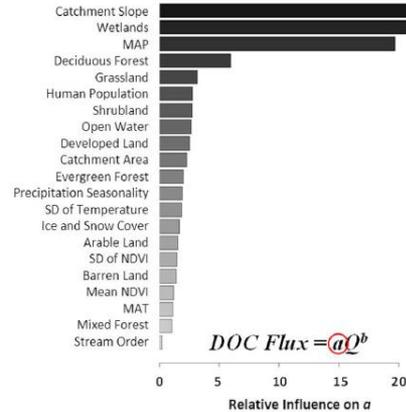
- Was können wir aus großskaligen, vergleichenden Studien zu DOC-Quellen und –Mobilisierung lernen?
- Welche Einblicke ermöglichen uns zeitlich hochauflösende in-situ-Messungen?
- Welche Einblicke ermöglichen uns räumlich hochauflösende Messungen und chemisches Fingerprinting?

DOC-Konzentrationen im Landschafts-Maßstab

Evidenz: USA und Deutschland

USA: 1006 Einzugsgebiete, Deutschland: 89 Einzugsgebiete

- Hypothese: Mittlere Konzentrationen sind eine Funktion von Topographie und hydrologisch verbundener Feuchtgebiete
- Je flacher und je mehr verbundene Feuchtgebiete, desto mehr DOC
- TWI (topographic wetness index) ist eine gute Proxiegröße für Fluß-nahe, verbundene Feuchtgebiete
- Erweiterung auf 700 deutsche Einzugsgebiete bestätigt Eignung des TWI



Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER
10.1029/2018GL080005

Key Points:
 • Across ecoregions of the United States, 80% of watersheds express transport limitation in DOC flux behavior.

Generality of Hydrologic Transport Limitation of Watershed Organic Carbon Flux Across Ecoregions of the United States

Jay P. Zarnetske¹, Martin Bouda^{2,3}, Benjamin W. Abbott^{1,4}, James Saiers², and Peter A. Raymond⁵



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydrology

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol

Research papers

Spatio-temporal controls of dissolved organic carbon stream water concentrations

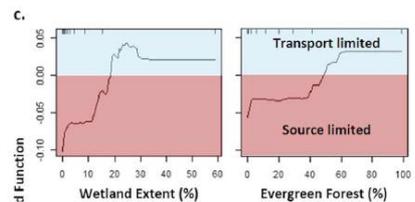
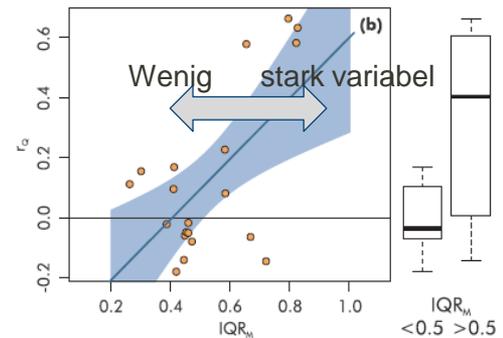
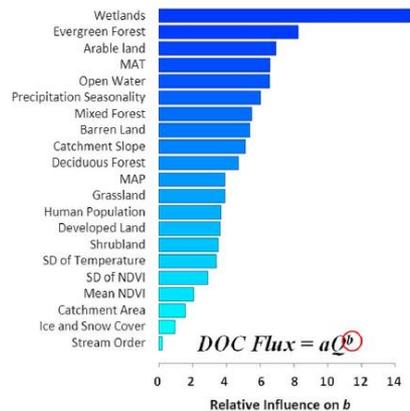
A. Musolf^{a,*}, J.H. Fleckenstein^{a,b}, M. Opitz^c, O. Büttner^d, R. Kumar^e, J. Tittel^f

DOC-Dynamik im Landschafts-Maßstab

Evidenz: USA und Deutschland

USA: 1006 Einzugsgebiete, Deutschland: 89 Einzugsgebiete

- USA: 80% EZG transportlimitiert, hydrologisch verbundene Feuchtgebiete fördern hohe Exportdynamik
- Deutschland: Dynamik der Konzentrationen häufig Abfluss-gesteuert
 - Erweiterung auf 260 EZG: 68% transportlimitiert
 - Quell-Limitierung tritt nur selten auf (5% von 260 deutschen EZG)



Geophysical Research Letters

RESEARCH LETTER
10.1029/2018GL080005

Generality of Hydrologic Transport Limitation of Watershed Organic Carbon Flux Across Ecoregions of the United States

Jay P. Zarnetske¹, Martin Bouda^{2,3}, Benjamin W. Abbott^{1,4}, James Saiers⁵, and Peter A. Raymond⁶

Key Points:
• Across ecoregions of the United States, 80% of watersheds express transport limitation in DOC flux behavior

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Hydrology

Journal homepage: www.elsevier.com/locate/jhydrol

Research papers

Spatio-temporal controls of dissolved organic carbon stream water concentrations

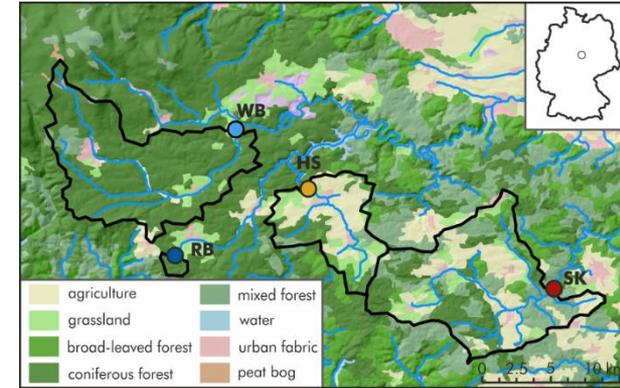
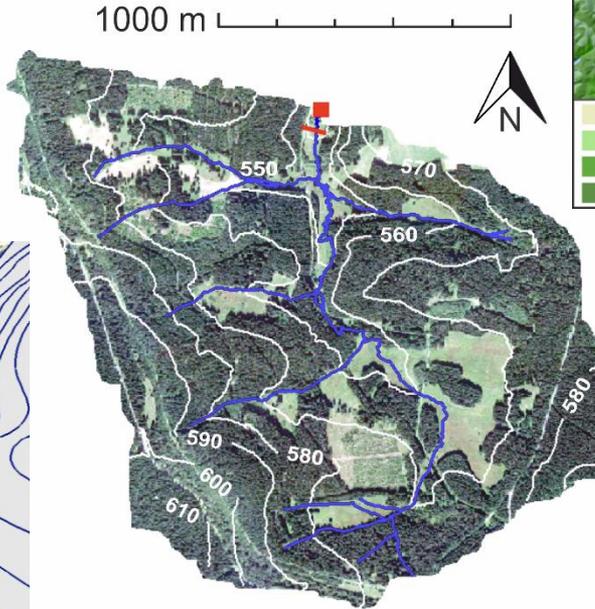
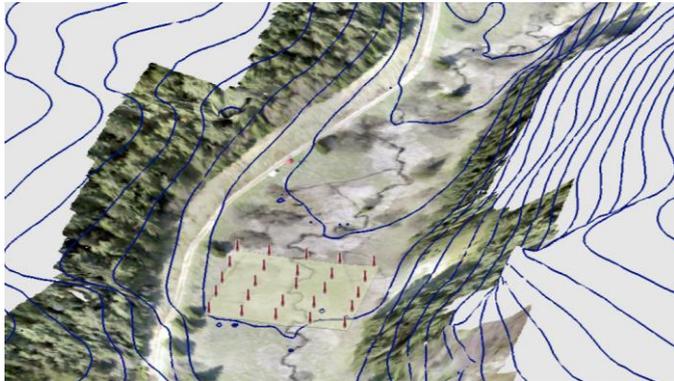
A. Musolf^{a,*}, J.H. Fleckenstein^{a,b}, M. Opitz^c, O. Büttner^d, R. Kumar^e, J. Tittel^f

Feldstudien

Arbeitsgebiet

Obere Rappbode, Harz

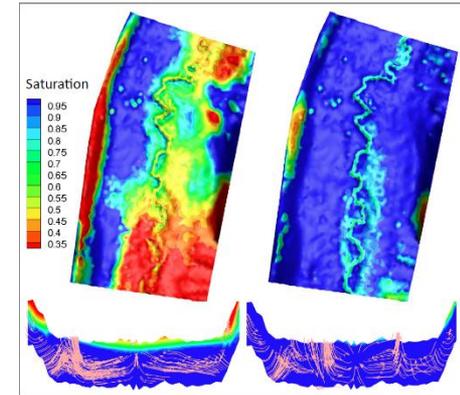
- Einzugsgebiet: 2.58 km²
- Landnutzung: 77% Nadelwald, 11% Grasland
- 540-620 m NN
- Hangneigung: 3.9°
- Ca. 18 cm organischer Oberboden in Aue-Transekt
- 6.0°C, 830 mm Niederschlag



Werner et al. (2019) Biogeosciences

Instrumentierung und Datengrundlage

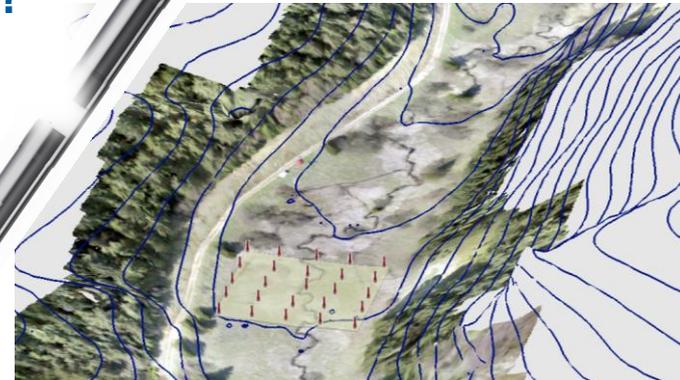
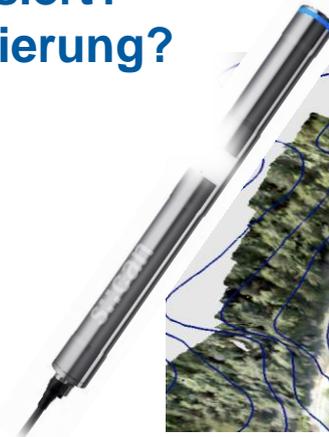
- SCAN Spectrolyser in-situ Sonde für DOC (ab 04/2013)
- 14-tägiges Basis-Monitoring DOC
- Abfluss (2 x Nivus PCM4) und Wasserstand
- Wetterstation



Wo wird DOC in der Landschaft mobilisiert? Welche Bedingungen fördern die Mobilisierung?

Automatischer Probennnehmer

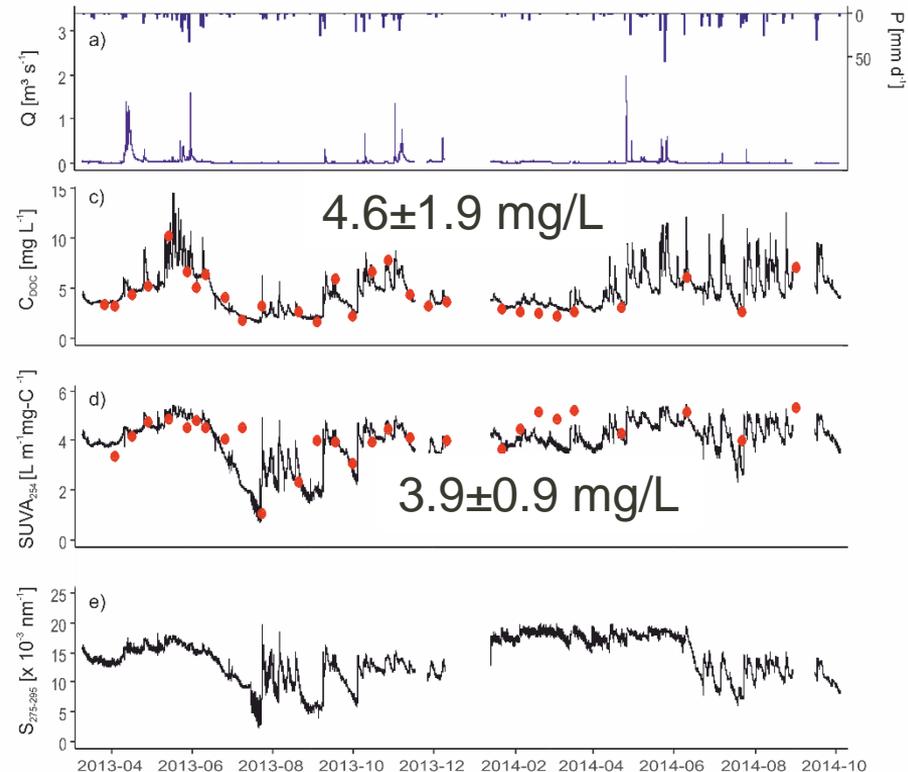
- 5 Abflussereignisse Mai-Dezember 2017
- Numerisches Grund-Oberflächenwassermodell
HydroGeoSphere
- Hochauflösende Massenspektrometrie (FT-ICR MS)



Hochauflösende in-situ Messungen DOC

Datengrundlage und Fragestellung

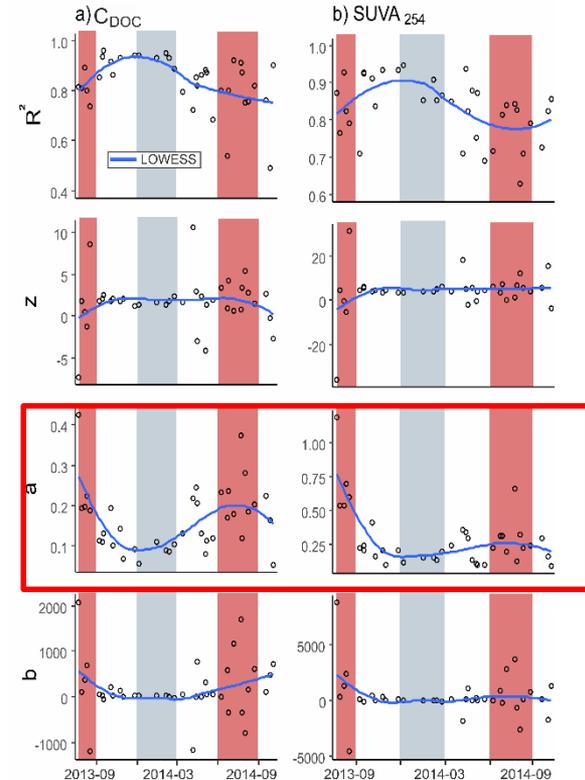
- 04/2013-10/2014: Absorption 220-270 nm, alle 15 Minuten: >42 000 Messungen im Fluss
 - Korrektur von Bio-Fouling
 - Kalibrierung für C_{DOC} mit PLSR an 28 Proben
 - Validierung von SUVA ($A_{254\text{nm}}/C_{\text{DOC}}$) an 28 Proben
 - Spectral slope $S_{275-295\text{nm}}$ als Qualitätsmaß
- Hohe Variabilität in DOC Quantität und Qualität
 - Welche Steuergrößen erklären die Variabilität in Konzentrationen und Qualität?
 - Für Abflussereignisse
 - Für die kontinuierliche Datenreihe
 - Welche Schlüsse lassen sich daraus ziehen?



Hochauflösende in-situ Messungen DOC

Abflussereignisse

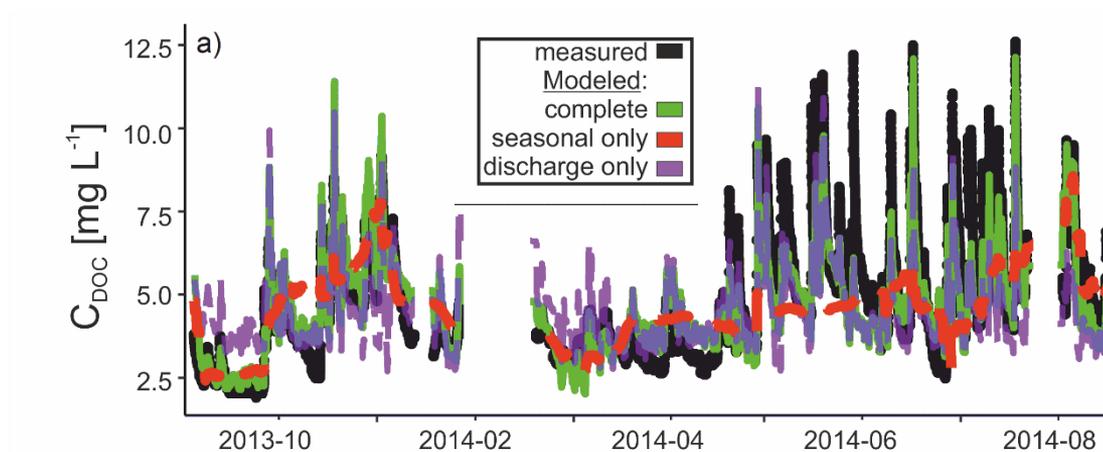
- Modellierung 38 separierter Abflussereignisse
 - $LN(C_{DOC}) = \mathbf{a} LN(Q_{hf}) + \mathbf{b} Q_{bf} + \mathbf{z}$
 - Drei Koeffizienten erklären zufriedenstellend die Variabilität der Zielgrößen ($R^2=0.84\pm 0.14$)
 - Saisonalität bei Koeffizient \mathbf{a}
 - Hohe Variabilität der Koeffizienten im Sommer
 - Korrelationsanalyse mit hydroklimatischen Vorbedingungen
 - \mathbf{a} für DOC und SUVA254 korreliert negativ mit Höhe des Basisabflusses, Ariditätsindex (N/ETp) der vorangegangenen 60 Tage und positiv mit dem Quotienten aus Q und Temperatur der vorangegangenen 30 Tage
- Abfluss erklärt Variabilität während des Ereignis aber saisonale Unterschiede existieren



Hochauflösende in-situ Messungen DOC

Analyse der gesamten Zeitreihe

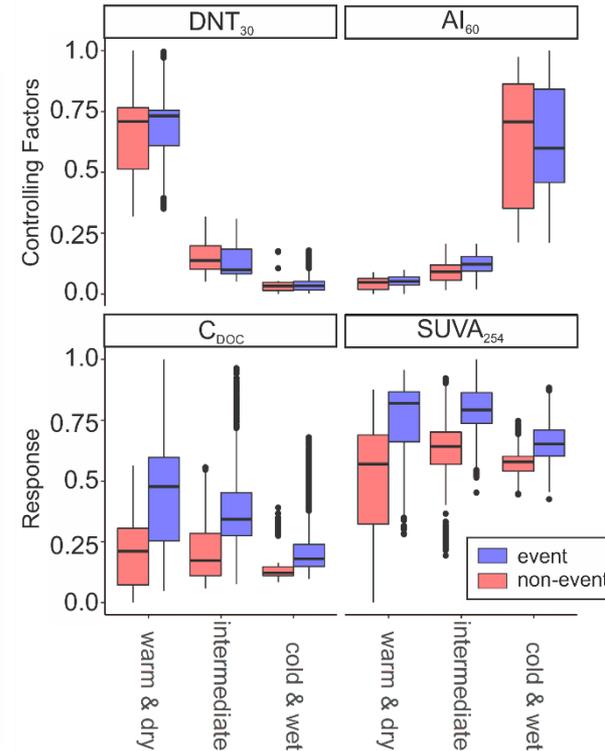
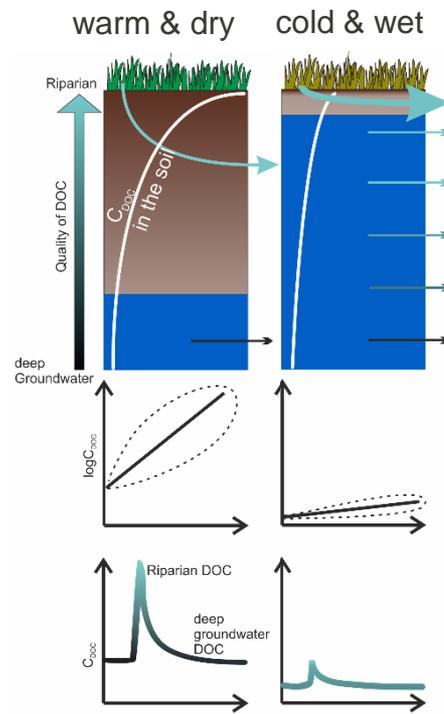
- Modellierung der Zeitreihe mit Regressionsmodell:
 - Schnelle Abflusskomponenten: $R^2=0.42$ (0)
 - Schnelle + langsame Komponenten: $R^2=0.86$ (0.56)
 - Abfluss + Vorfeuchte: $R^2=0.72$ (0.64)
- Abfluss und zwei Vorfeuchte-Indizes erklären einen Großteil der intra-annualen Varianz



Hochauflösende in-situ Messungen DOC

Diskussion

- Warme und trockene Vorbedingungen:
 - Großer Verfügbarer Pool an DOC
 - Hohe vertikale Unterschiede im Boden
 - Events mobilisieren hohe Konzentrationen mit hohem SUVA
 - Kalte und feuchte Vorbedingungen:
 - Geringe vertikale Unterschiede im Boden
 - Events führen weniger stark zu Änderungen in DOC-Konzentrationen und Qualität
- Wechselspiel aus DOC-Produktion und hydrologisch getriebenem Export steuert DOC im Untersuchungsgebiet; Flussaue bietet diese Bedingungen



Fingerprinting DOC

Datengrundlage und Fragestellung

- Grundwassermessfeld mit 25 Brunnen
- Ereignis-Probennahme im Oberflächenwasser
 - Hochauflösende Massenspektrometrie (FT-ICR MS)
- Hochauflösendes Höhenmodell
- Numerisches Strömungsmodell Grundwasser-Oberflächenwasser

→ Ist die Aue homogen oder gibt es präferentielle Fließpfade?

→ Spiegelt sich Heterogenität in der DOC-Qualität wieder?

→ Spiegelt sich die DOC-Qualität in der Aue im Oberflächenwasser wieder?

Fingerprinting DOC

Wasserflüsse

- Kalibriertes GW-OFW-Modell der Aue erlaubt Quantifizierung der Wasserflüsse (1.7 m Auflösung horizontal 0.05-0.5 m vertikal)

- Oberflächenwasser-Fießpfade ausserhalb des Haupt-Flusses spielen eine große Rolle für Abflusszuwächse in Feuchtperioden (siehe auch DRIP-Konzept – „Direct Riparian Input Points“, Ploum et al. 2018, Hydrological Processes 32)

Fingerprinting DOC

Räumliche Charakterisierung

- Hauptkomponenten- und Clusteranalyse der hochauflösenden MS:
 - Cluster I: hohe DOC-Konzentrationen
 - Cluster II: niedrige DOC-Konzentrationen
- Cluster I: geringe Schwankungen im GW und höherer lokaler TWI: Zonen abgrenzbar

Fingerprinting DOC

Zeitliche Charakterisierung

- Wiederholung der statistischen Analyse für Event-Proben im Oberflächenwasser
 - Ähnlichkeit der Proben mit Cluster I
- Aue ist heterogen mit höhere DOC-Konzentrationen in Arealen mit konstant hohen Grundwasserständen
- Oberflächenabfluss wird dominant aus diesen vernässten Bereichen gebildet
- DOC im Gerinne während Abflussereignissen ähnelt DOC in vernässten Aue-Arealen

Exportdynamik von DOC aus Einzugsgebieten

Zusammenfassung

- Großskalige Evidenz, dass DOC selten Quellen-limitiert ist
- Großskalige Evidenz, dass hydrologisch gut verbundene Feuchtgebiete, wie Flussauen die dominante Quellzone sind
- Detailstudien mit in-situ-Messungen zeigen die Wichtigkeit von Abflussereignissen und saisonalen Vorbedingungen für die DOC-Export und die DOC-Qualität
- Detailstudien mit hochauflösender MS und detaillierter Modellierung von Wasserflüssen und Grundwasser-Oberflächenwasserinteraktionen in Auen zeigen deutliche räumliche Heterogenität der Quellzonen
- DOC-Qualität im Oberflächenwasser während Abfluss-Events weist auf Quellzonen in dauerhaft vernässten Bereichen der Aue hin

Exportdynamik von DOC aus Einzugsgebieten

Zusammenfassung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Riparian Zone und Topographic Wetness index

- Hypothetische Hang-Situation (50-1000 m lang, 5-100 m hoch mit Auen zwischen 0 m und 200 m, 1000 Realisierungen)
- TWI: $\text{LN}(a/\tan(\beta))$... a: oberstromige Fläche, beta: lokale Neigung
- Breite der Aue korreliert mit TWI 0.9P ($r=0.84$)

