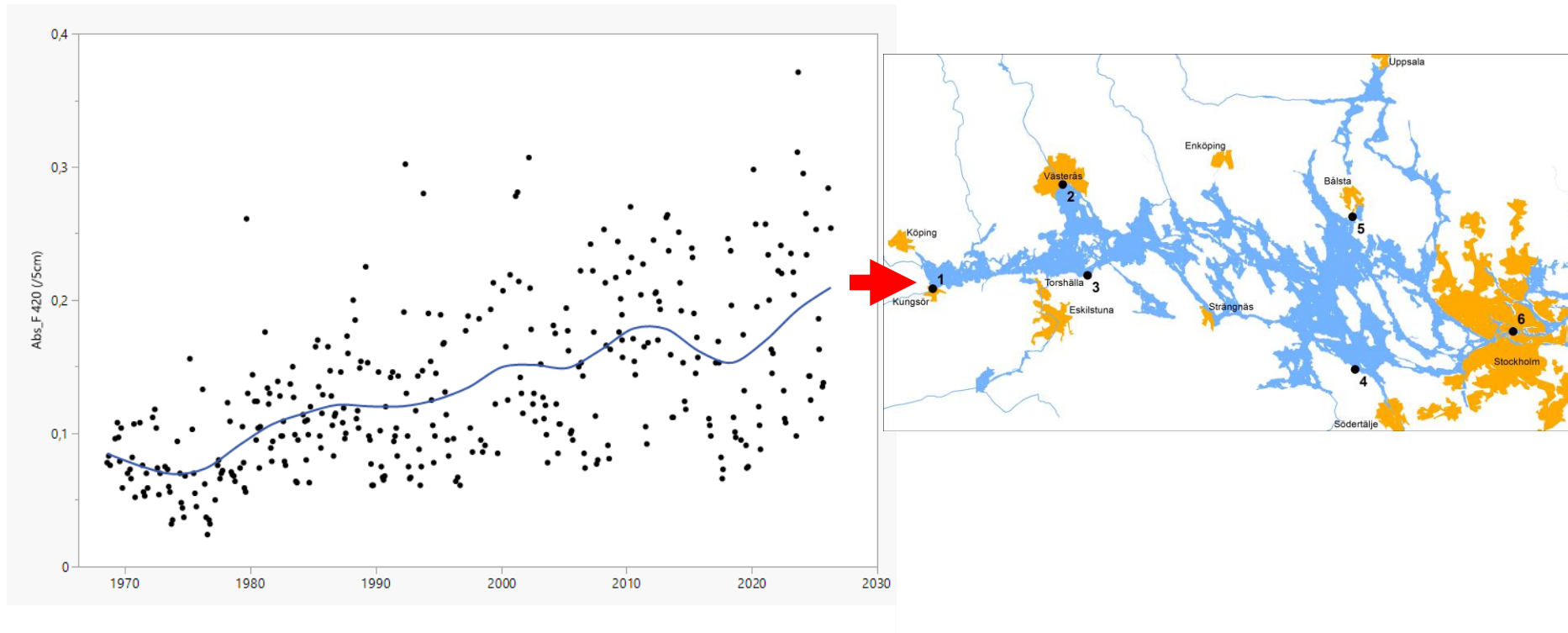




UPPSALA
UNIVERSITET

Zunehmende DOC-Lasten in schwedischen Oberflächengewässern:

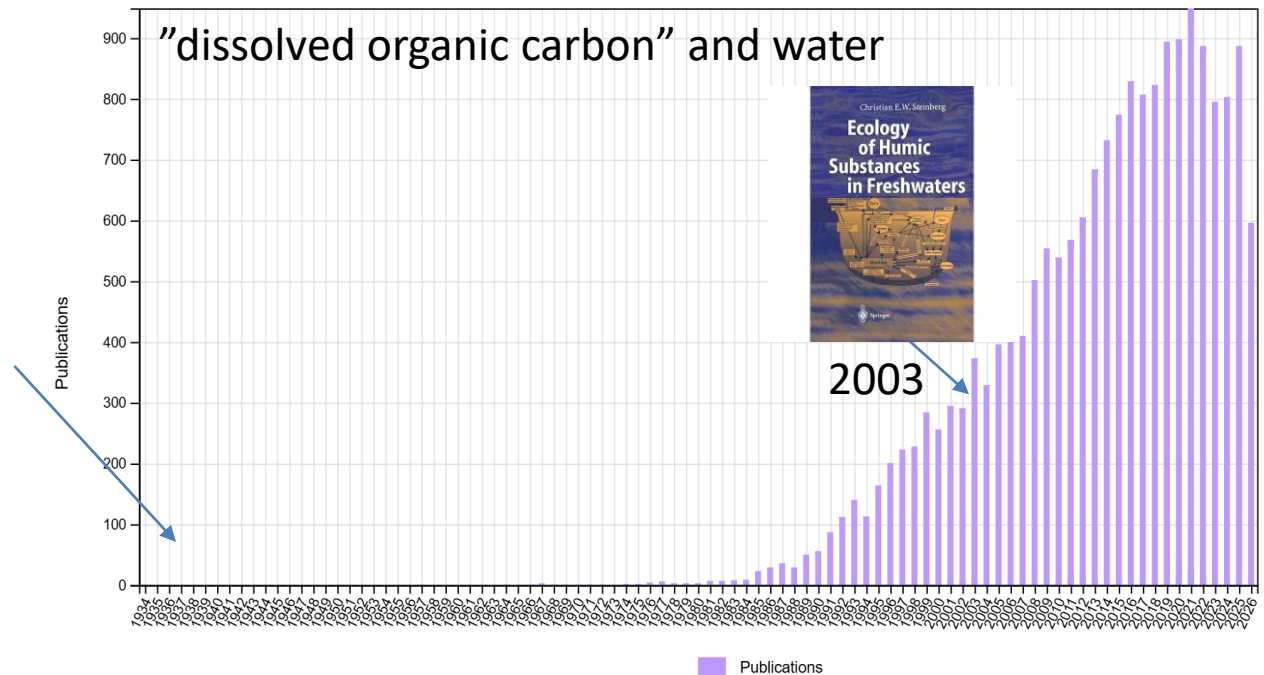
Komposition, Ursachen und Konsequenzen für Trinkwasserwerke



Deutschland hat eine lange Tradition



August Thienemann



Warum Schweden?

- Schweden hat fast dreimal so viel Wald wie Deutschland und sogar fast fünfmal so viel Nadelwald
- In Schweden kommen ungefähr 70% des Trinkwassers von Oberflächengewässern, in Deutschland lediglich 30%



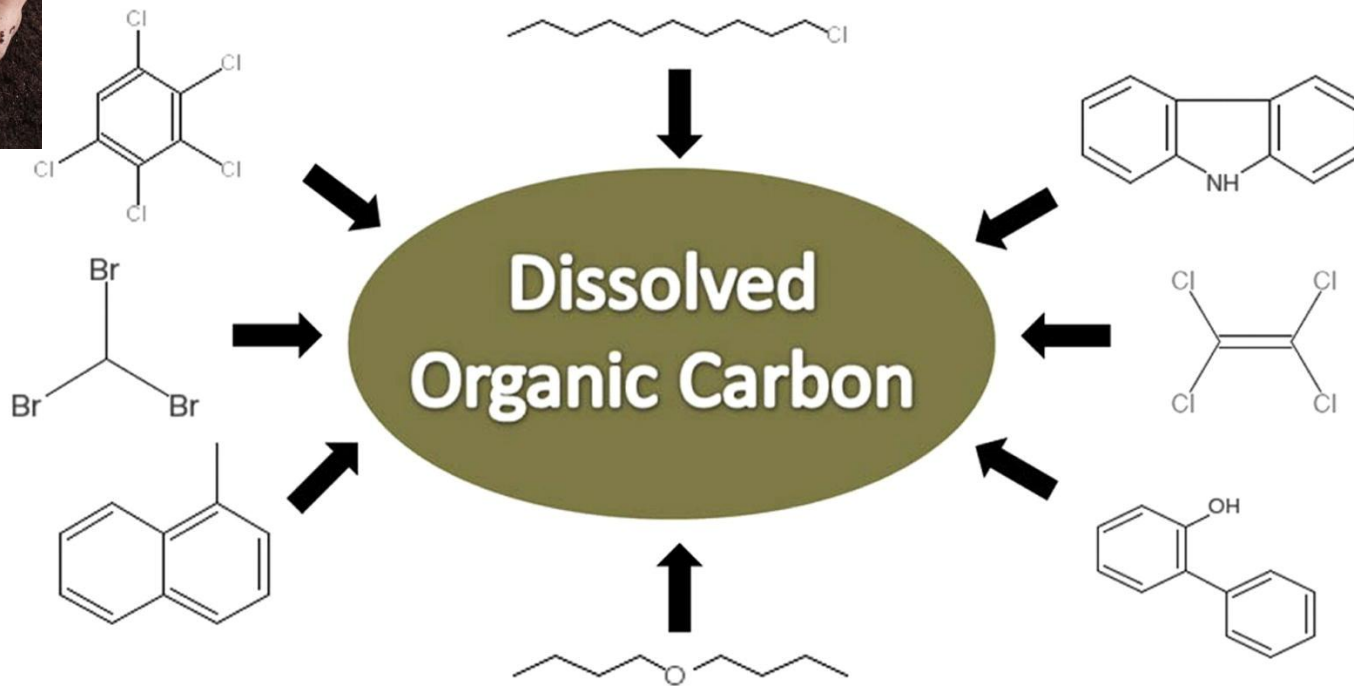
Antwort zu folgenden Fragen:

1. Was ist DOC?
2. Wo und warum nimmt DOC zu?
3. Was haben zunehmende DOC Gehalte in Gewässern für Konsequenzen?
4. Was können wir gegen zunehmend hohe Konzentrationen machen?

1. Was ist DOC?

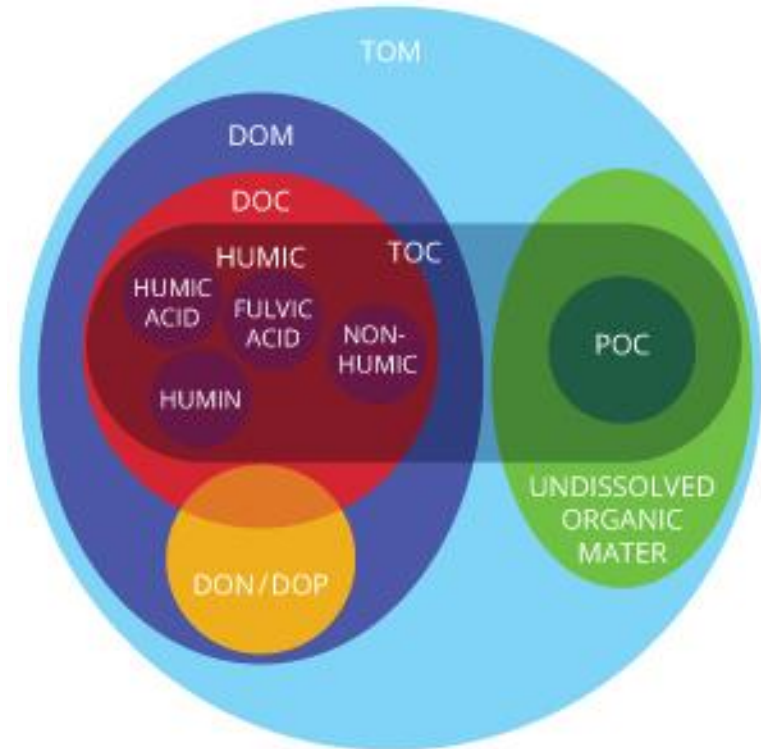
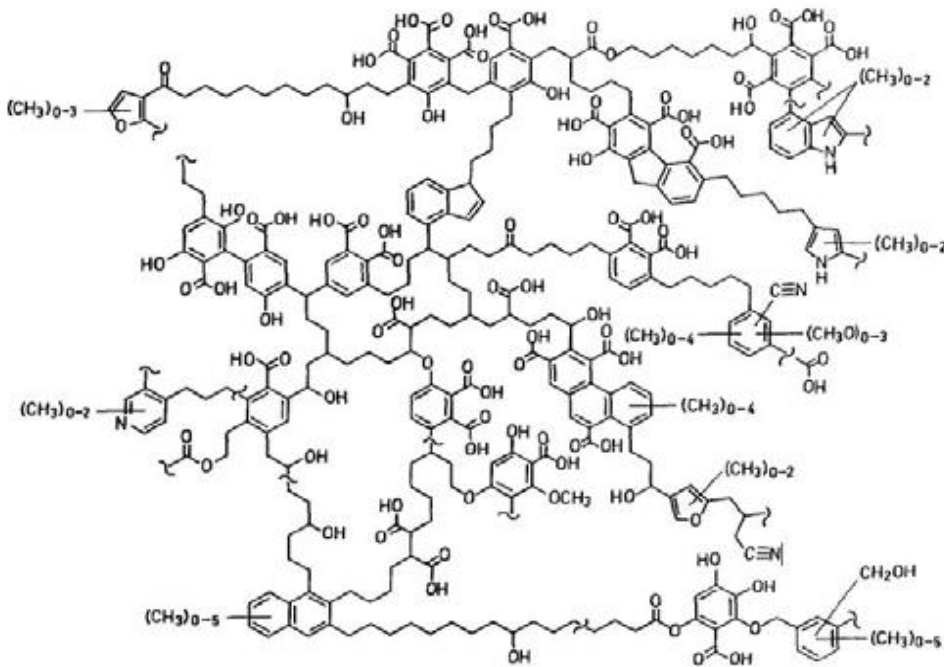
DOC

DOC umfasst alle **organischen Kohlenstoffverbindungen**, die im Wasser gelöst vorliegen und üblicherweise durch einen Filter (meist $0,45\ \mu\text{m}$) gehen



1. Was ist DOC?

DOC: ein Sammelbegriff für tausende organische Verbindungen



<https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/chromophoric-dissolved-organic-matter/>

1. Was ist DOC?

Gewöhnlichste DOC Messung

Filtrieren → Ansäuern und IC entfernen → organischen Kohlenstoff zu CO_2
oxidieren → CO_2 messen

Automated Determinations of DOC in Lake Water

Goulden and Brooksbank, 1975

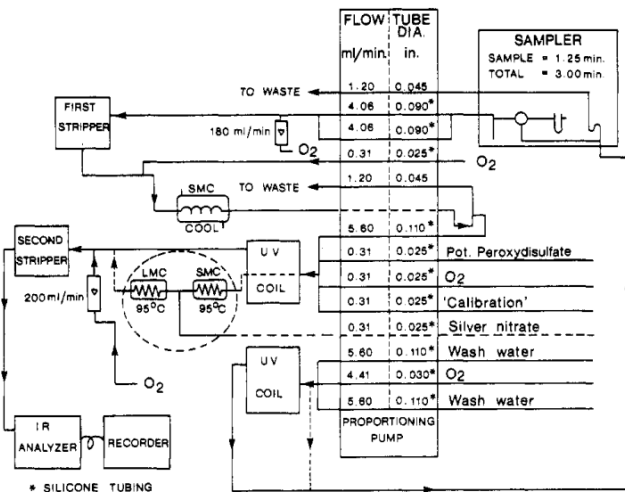


Figure 1. Manifold—automated wet oxidation

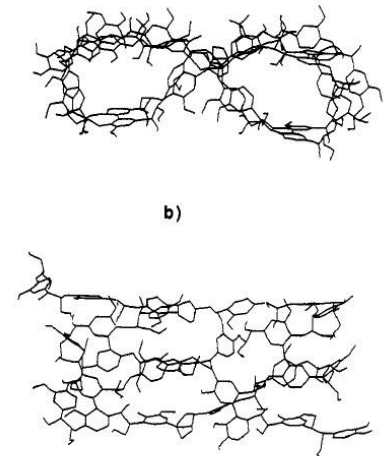
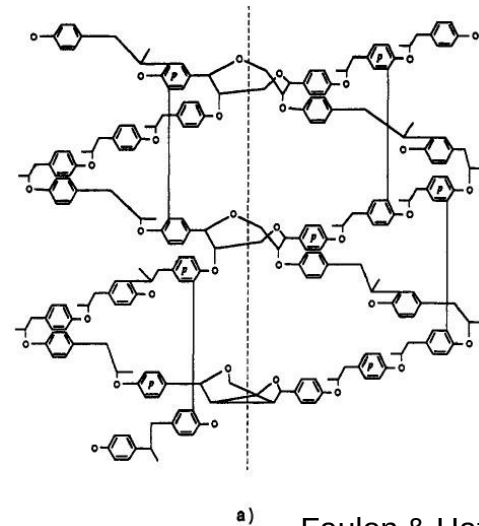
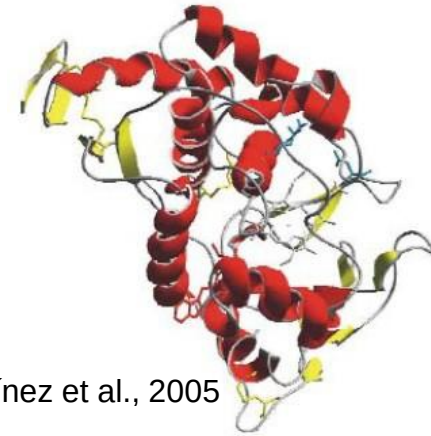
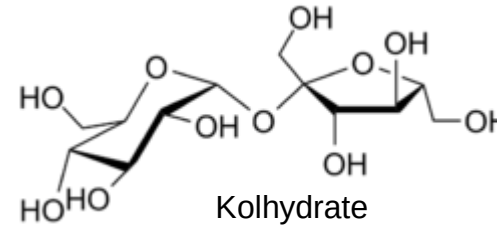


Beispiel eines Messgerätes

DOC Messungen

Viele verschiedene organische Verbindungen, die kleiner sind als die Filtergröße (meist $< 0,45 \mu\text{m}$):

- Huminstoffe und Fulvosäuren aus Böden und Pflanzen
- Gelöste Abbauprodukte von Algen und Bakterien
- Kohlenhydrate (Zucker, Polysaccharide)
- Aminosäuren
- Proteine
- Organische Säuren
- Andere natürliche und anthropogene organische Moleküle (**viele noch nicht charakterisiert**)

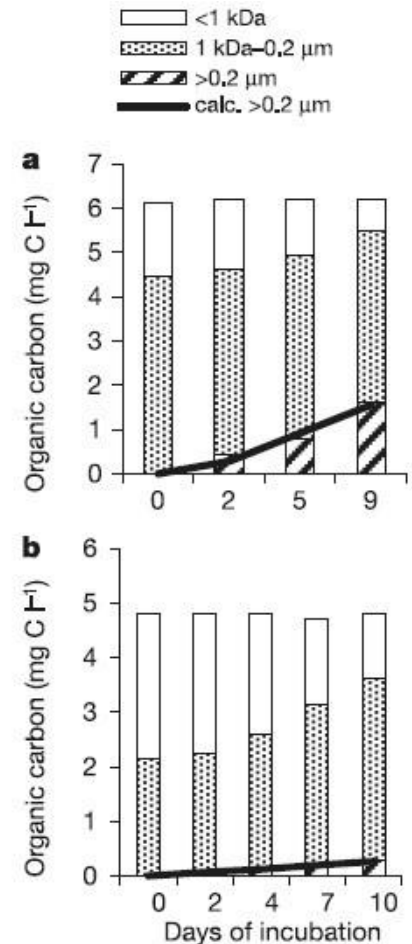
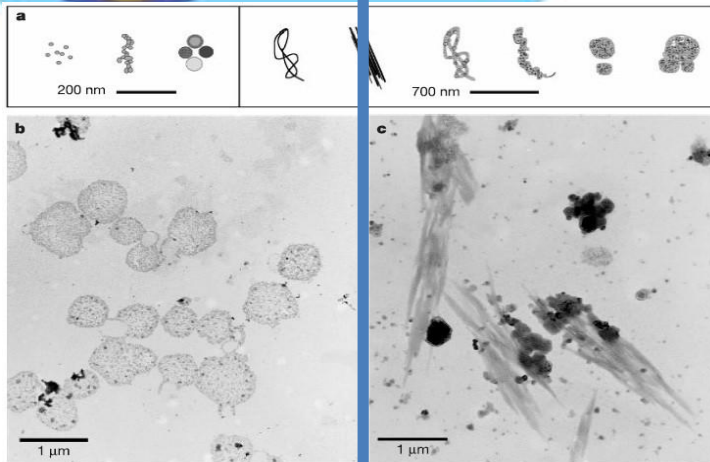
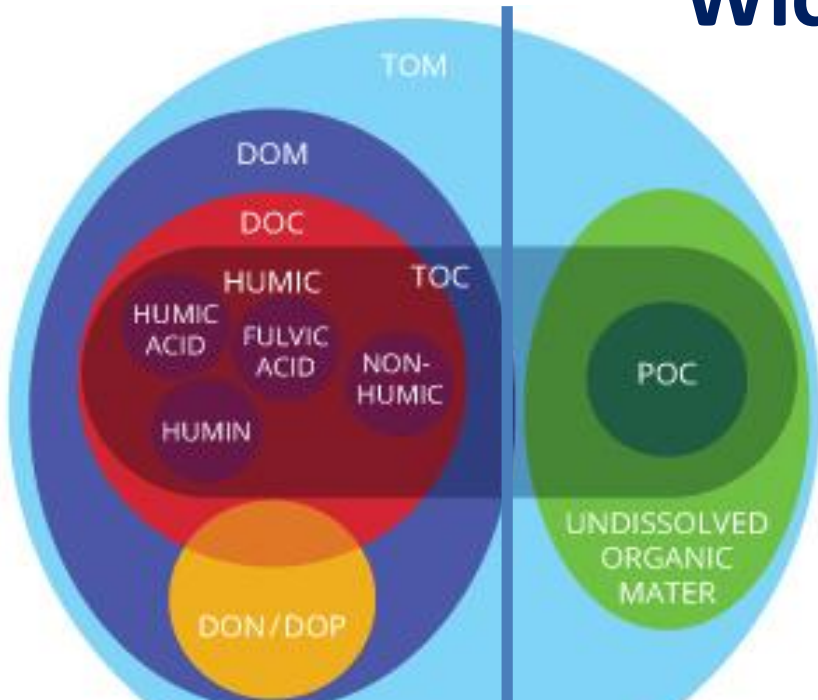


Faulon & Hatcher, 1994

c)

1. Was ist DOC?

Wichtig für DOC Messungen: DOC wird schnell zu POC



Alternative Methoden: Absorptionsspektroskopie

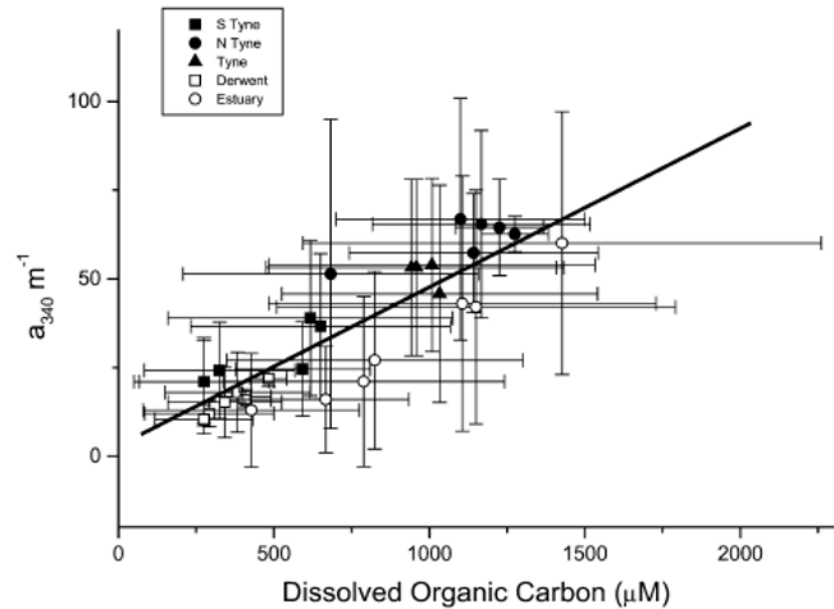
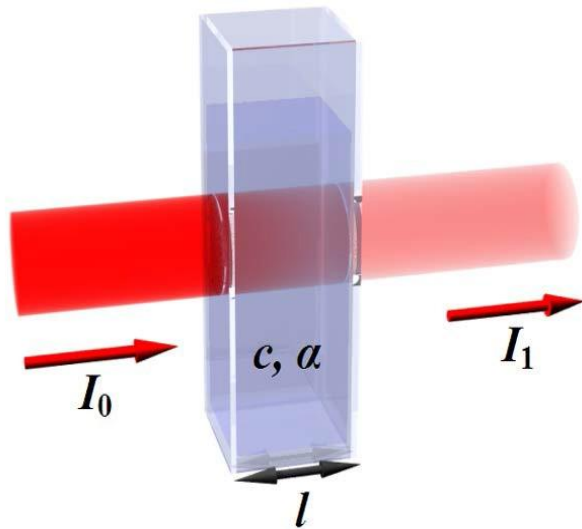
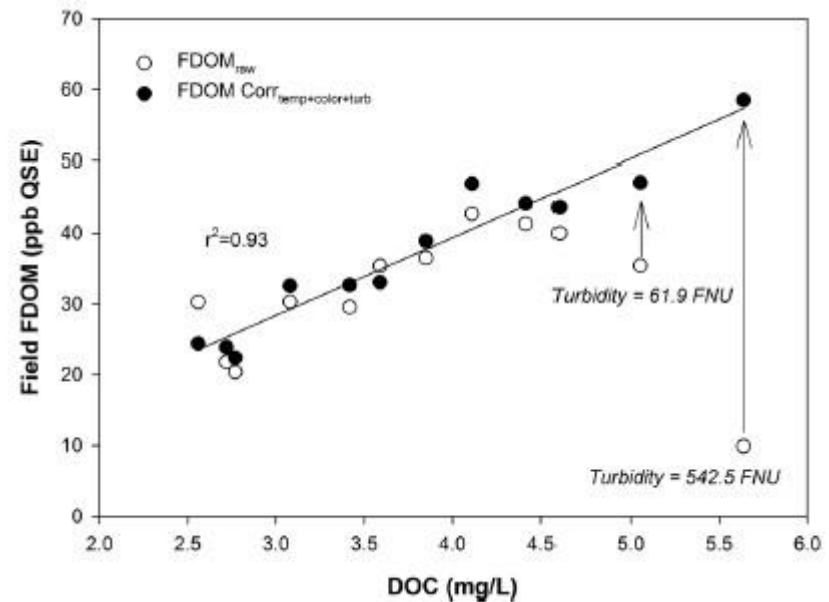
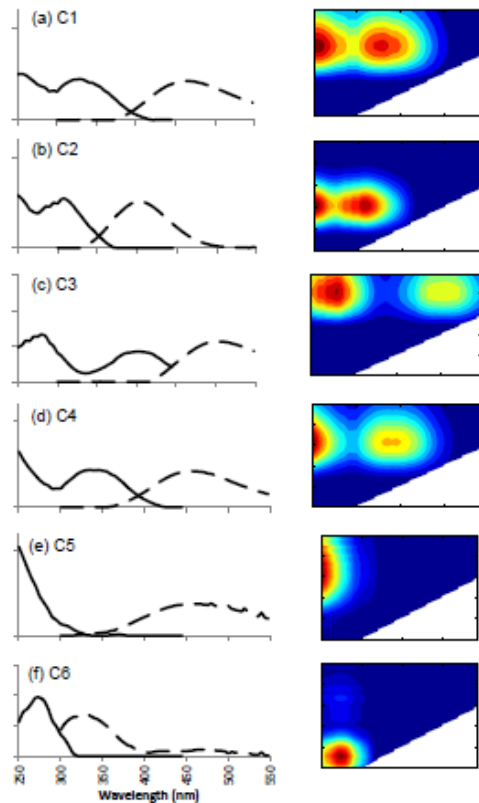


Fig. 3. Relationship between DOC and a_{340} .

Baker & Spencer, 2004. Sci. Tot. Env.

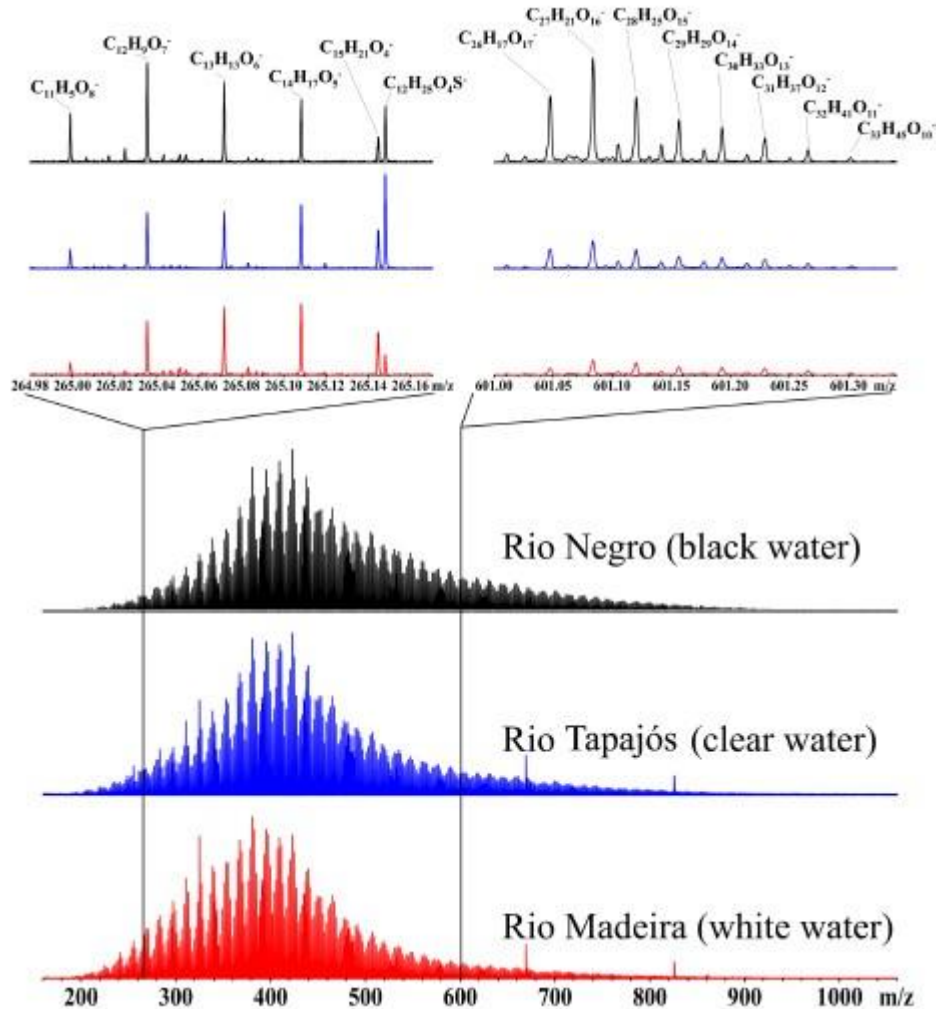
Alternative Methoden: Fluoreszenzmethode



Downing et al., 2012. L&O

1. Was ist DOC?

Alternative Methoden: Massenspektrometrie



Persistence of dissolved organic matter in lakes related to its molecular characteristics

Kellerman et al. 2015. Nature Geoscience

Gonsior et al. 2016. Biogeosciences

1. Was ist DOC?

“DOC”

DOM (Dissolved Organic Matter)

CDOM (Colored Dissolved Organic Matter)

Humic Substances

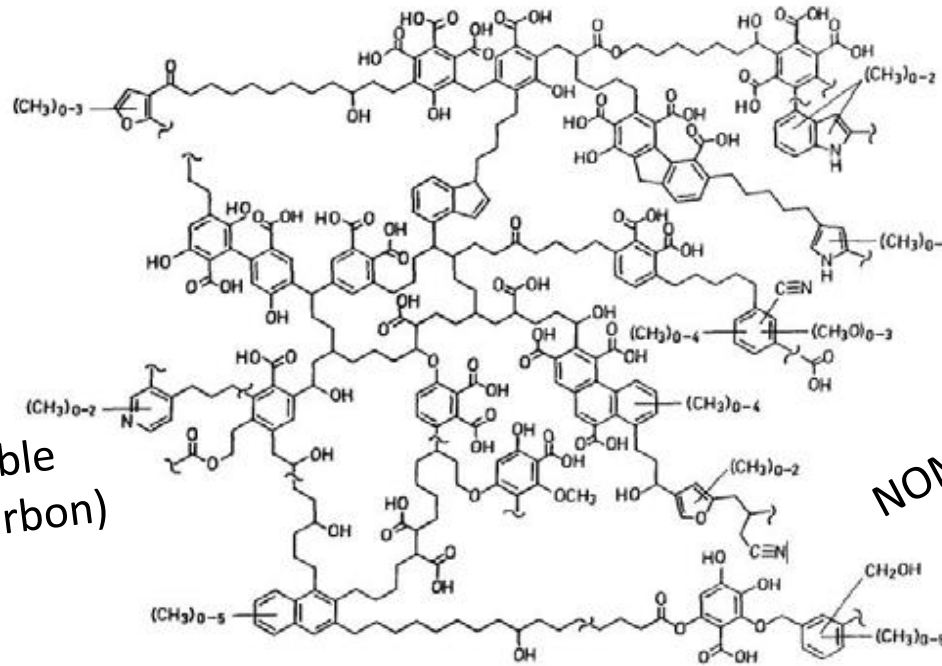
Absorbance

BDOC (Biodegradable
Dissolved Organic Carbon)

NOM (Natural Organic Matter)

SUVA

Water color



DOC kann gemessen werden oder man macht Beobachtungen



Foto:
Stefan Löfgren

Alamierende Nachrichten in 2001

Mälaren har blivit brun

⇒ **Mats Wallin**
Gesa Weyhenmeyer

Under våren 2001 kom larmrapporter om att Mälaren blivit brun och grumlig. Mot bakgrund av den snabba kvalitetsförsämringen av vattnet har SLU* gjort en översiktlig utvärdering av Mälarens färg och grumlighet.

MILJÖMÅL
Sjöar och vattendrag

Absorbanz im Mälaren im Jahr 2001

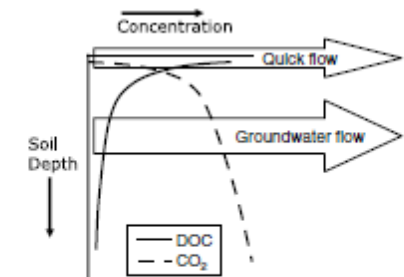
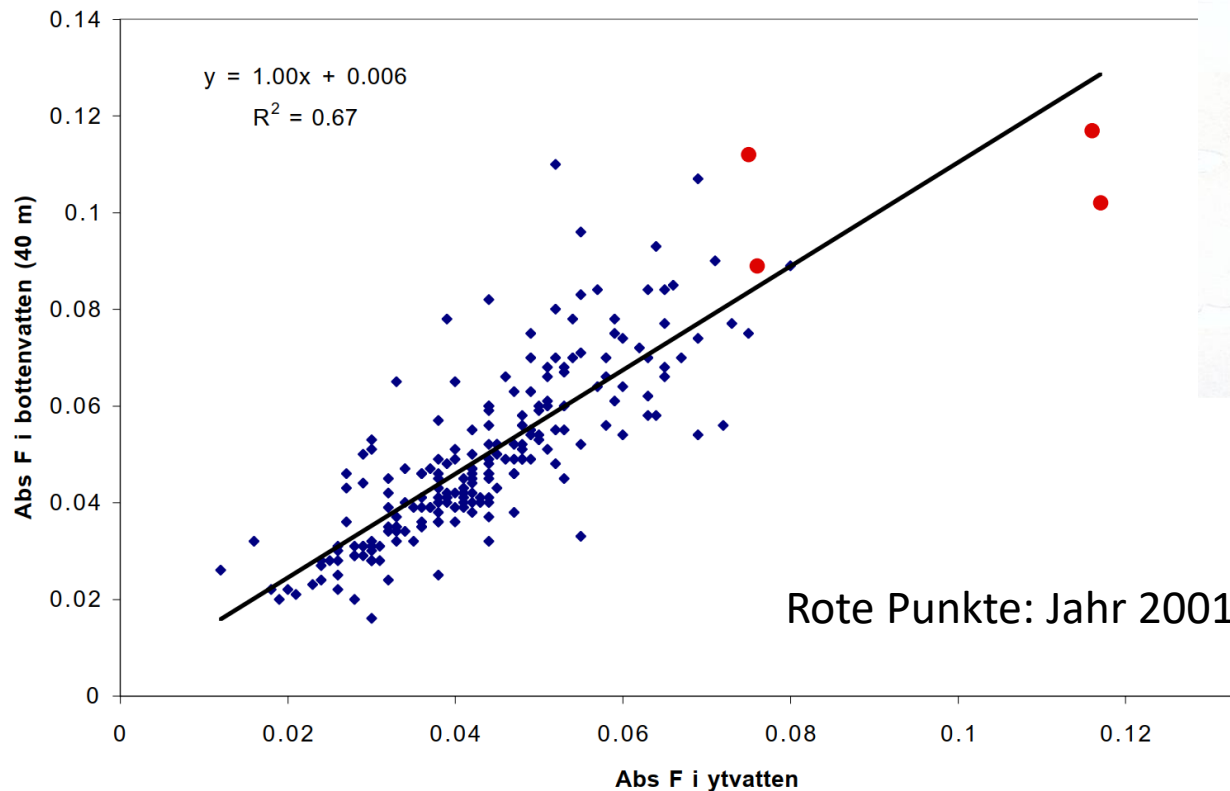
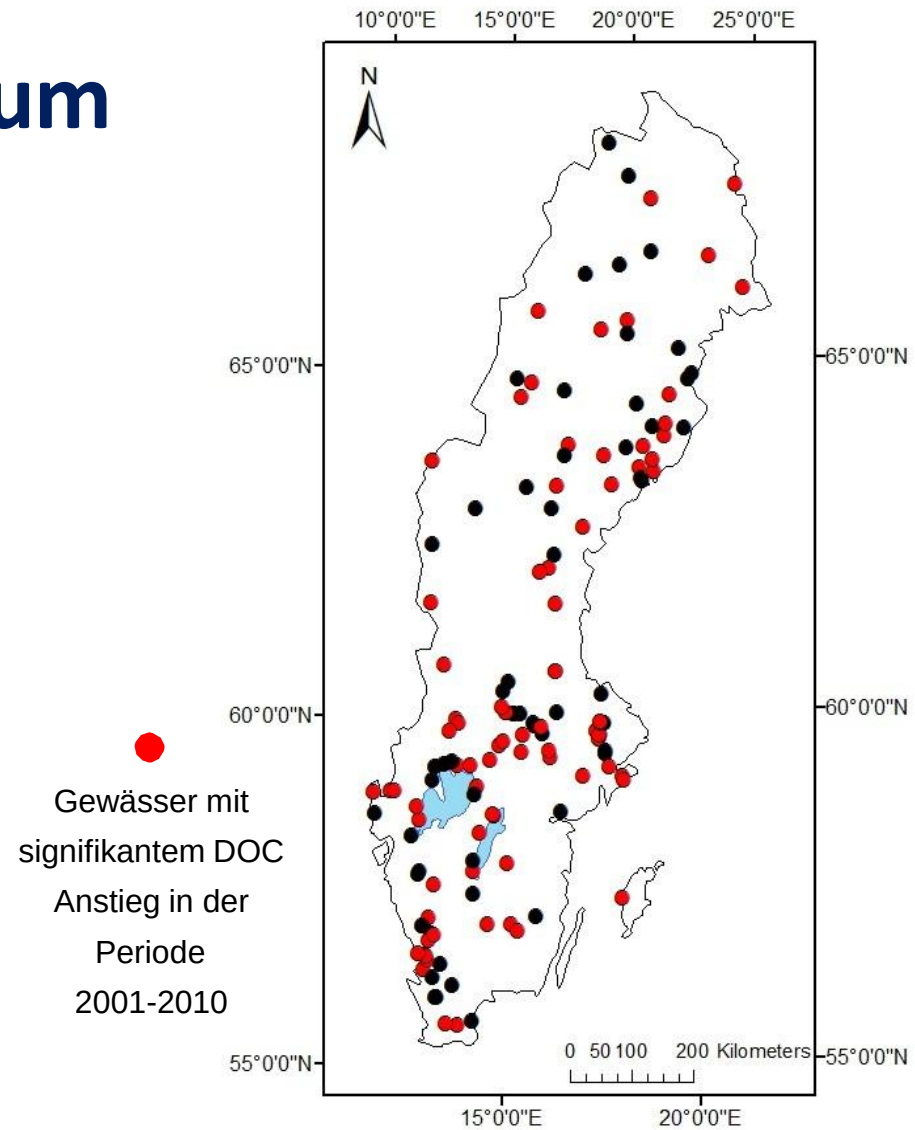


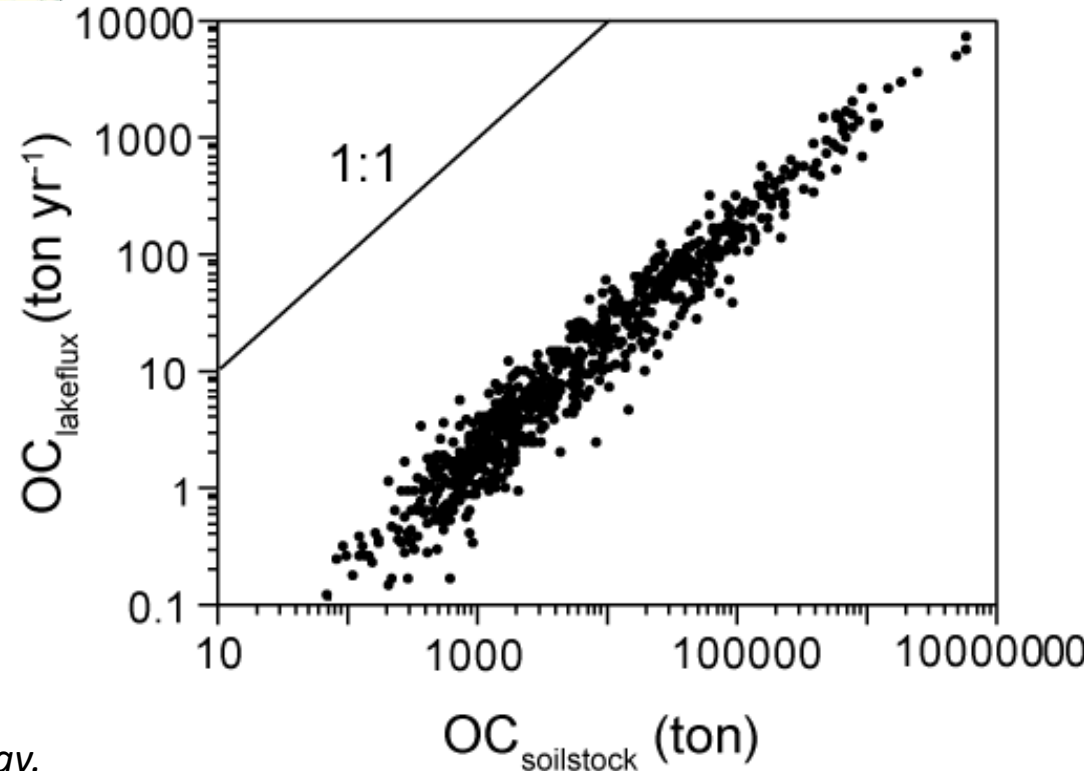
Fig. 6 Conceptual diagram of the intersection of hydrologic flowpaths (quickflow and groundwater flow) with soil enriched in DOC in surface horizons and enriched in CO₂ in deeper horizons

Johnsson et al. 2006

DOC trends im Zeitraum 2001-2010

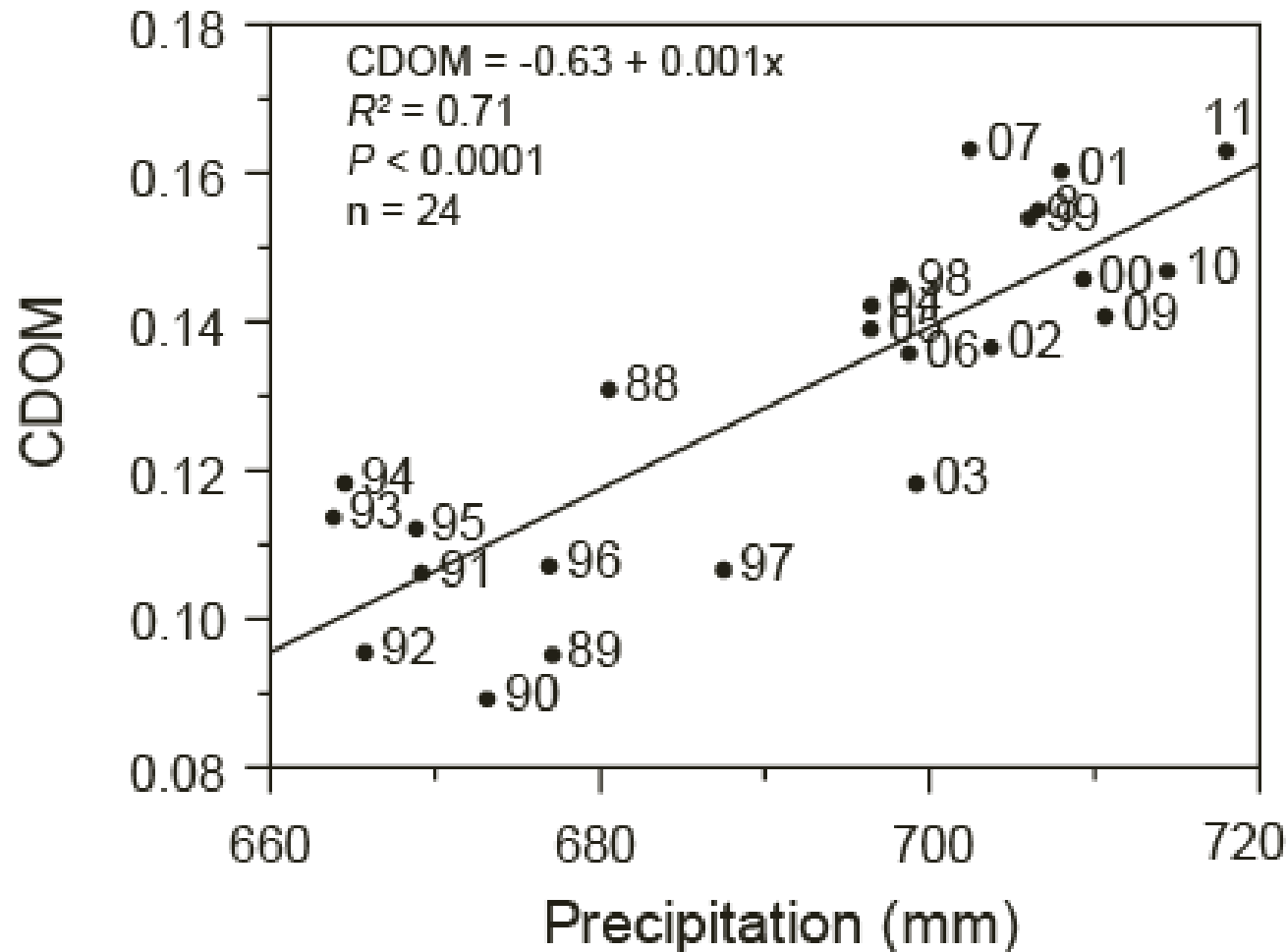


Woher kommt das DOC?

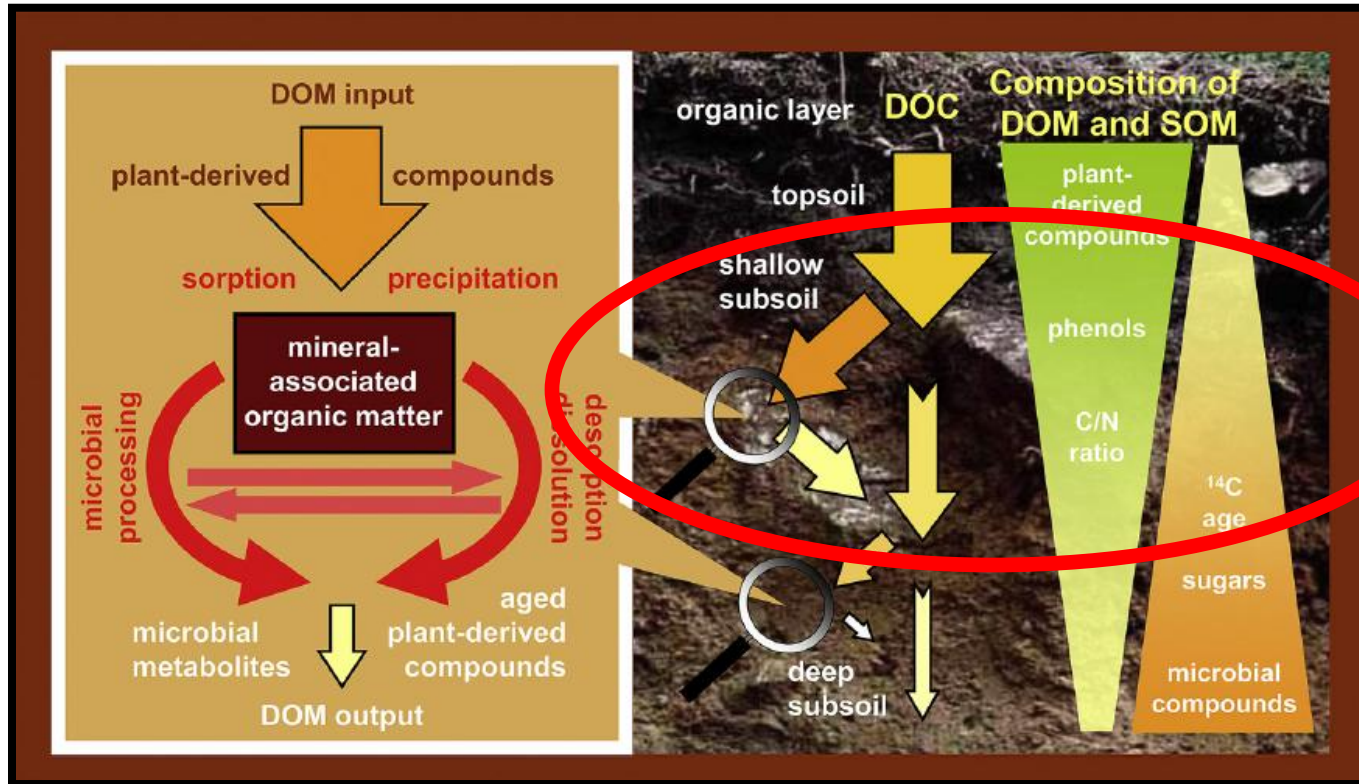


Weyhenmeyer et al. 2012. *Global Change Biology*.

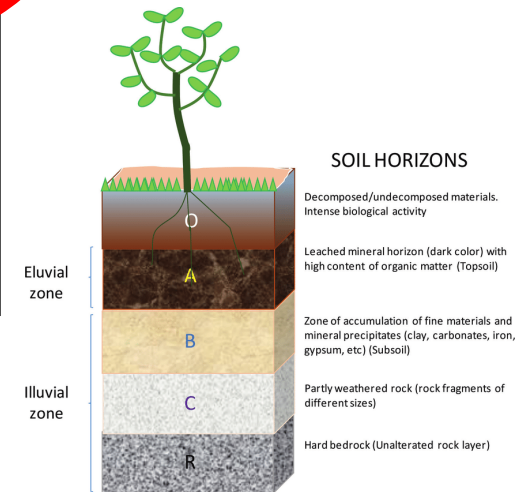
Mögliche Erklärung für DOC Zunahme im Mälaren



Weitere wichtige Faktoren für DOC Zunahmen



Kaiser and Kalbitz. 2012. *Soil Biology and Biogeochemistry*



Fe und DOC

Global Biogeochemical Cycles

RESEARCH ARTICLE

10.1002/2017GB005749

Key Points:

- Fe has increased significantly in 28% of the 340 studied waters by on average 64% between 1990 and 2013
- Most increasing trends and the highest rate of change were found in the boreal region of northern Europe

Widespread Increases in Iron Concentration in European and North American Freshwaters

C. Björnerås¹ , G. A. Weyhenmeyer² , C. D. Evans³ , M. O. Gessner⁴ , H.-P. Grossart⁵ , K. Kangur⁶ , I. Kokorite⁷, P. Kortelainen⁸ , H. Laudon⁹ , J. Lehtoranta⁸, N. Lottig¹⁰ , D. T. Monteith¹¹, P. Nöges¹², T. Nöges¹², F. Oulehle¹³ , G. Riise¹⁴ , J. A. Rusak¹⁵ , A. Räike⁸, J. Sire¹⁶, S. Sterling¹⁷ , and E. S. Kritzberg¹ 

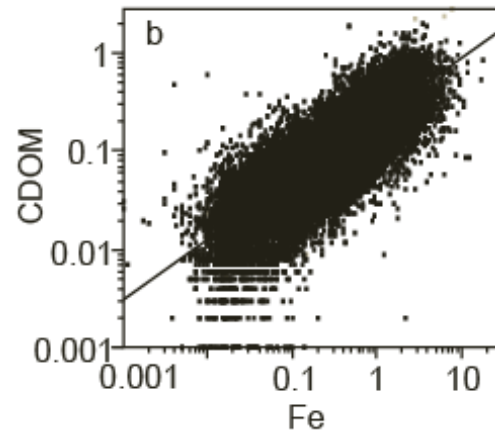
¹Aquatic Ecology, Department of Biology, Lund University, Lund, Sweden. ²Ecology and Genetics/Limnology, Evolutionary

$$\log(\text{CDOM}) = -1.54 + 0.61 \cdot \log(\text{Fe})$$

$$R^2 = 0.64$$

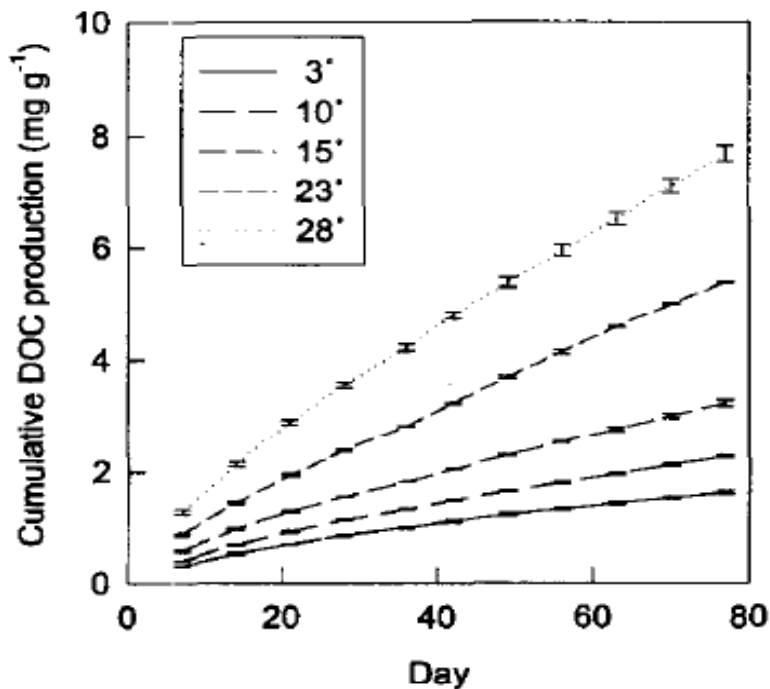
$$P < 0.0001$$

$$n = 33774$$

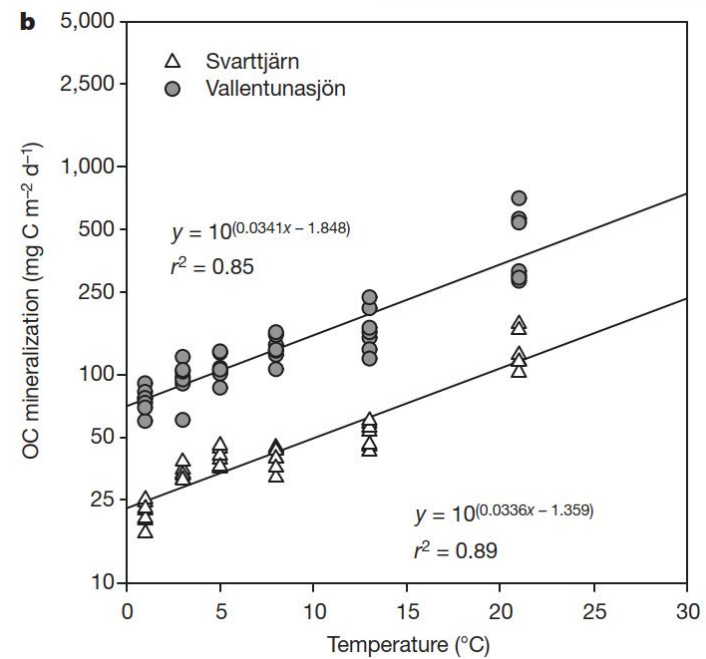


Weyhenmeyer et al. 2014. PlosOne

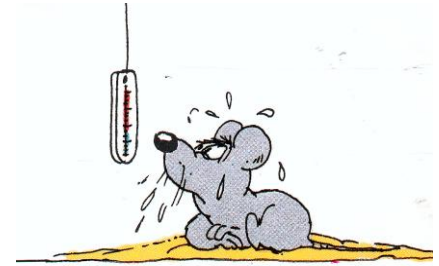
DOC Zunahme mit steigenden Temperaturen



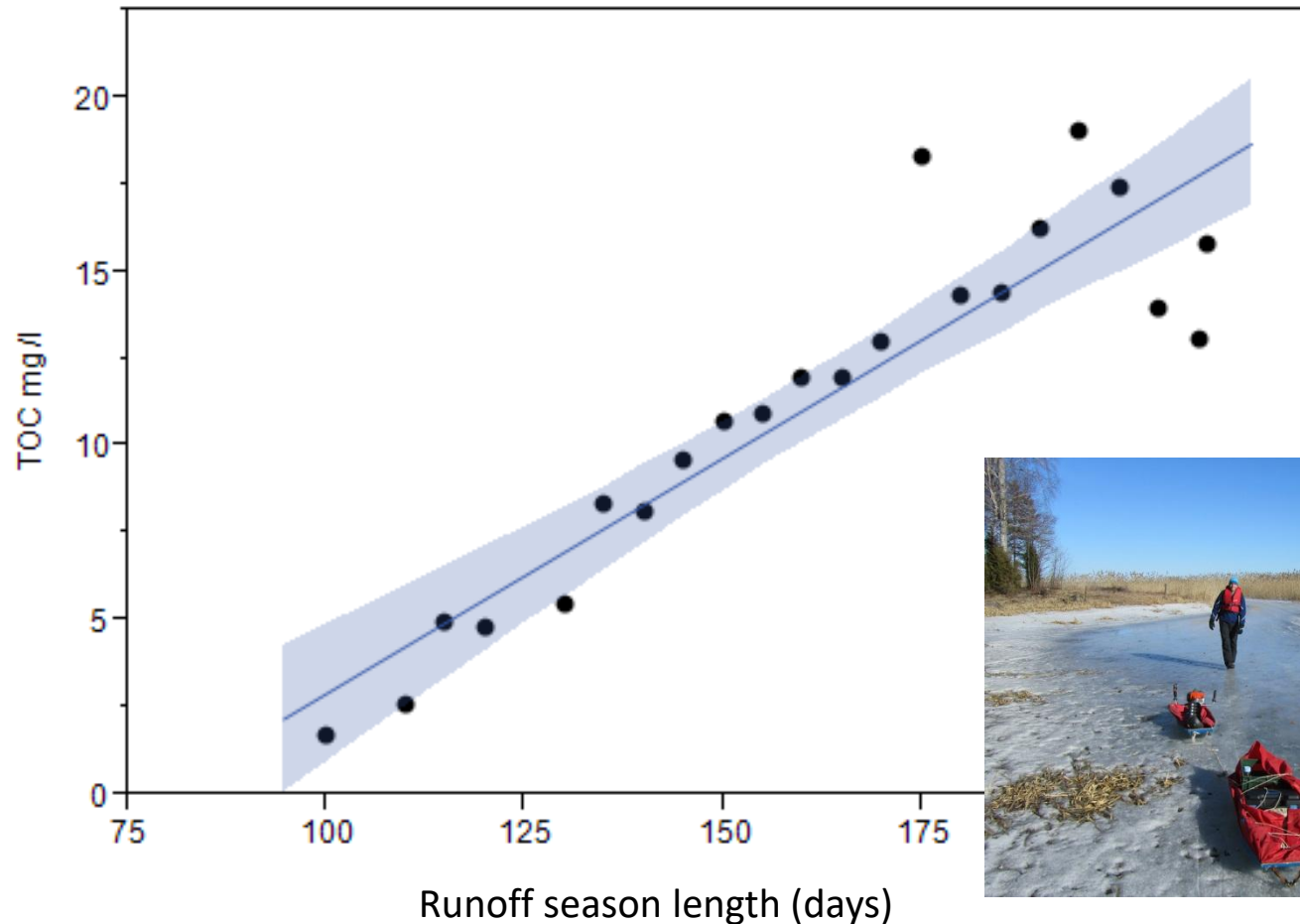
Christ & David. 1996. *Soil Biol. & Biochem.*



Gudasz et al. 2010: *Nature*

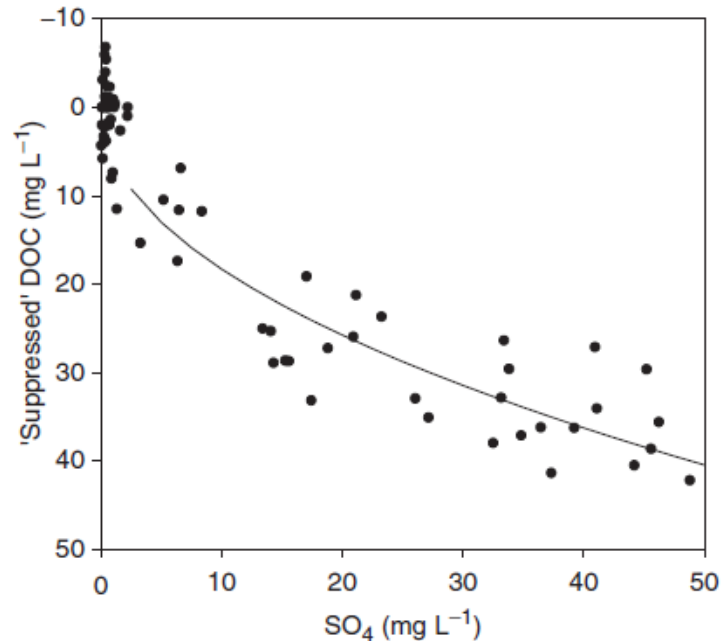


Weitere wichtige Faktoren für DOC Zunahmen

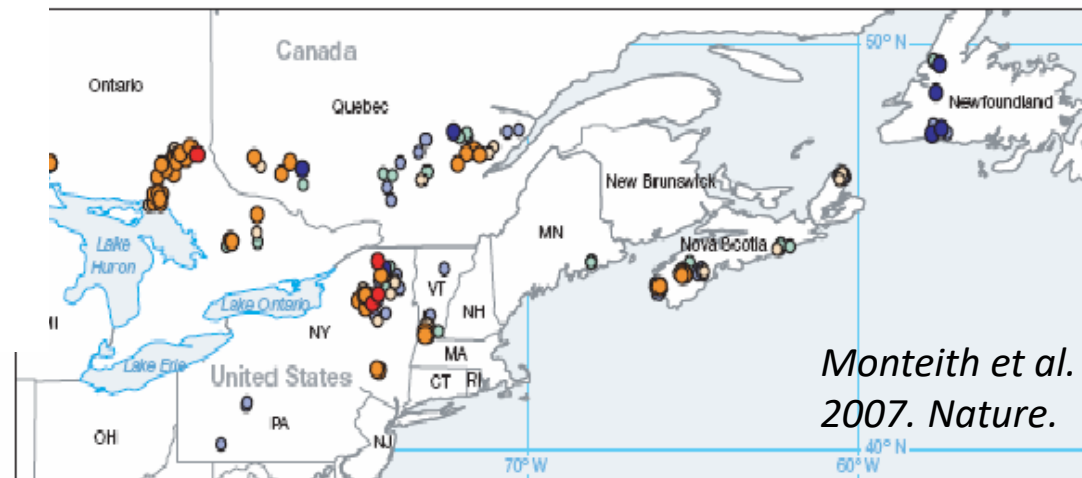
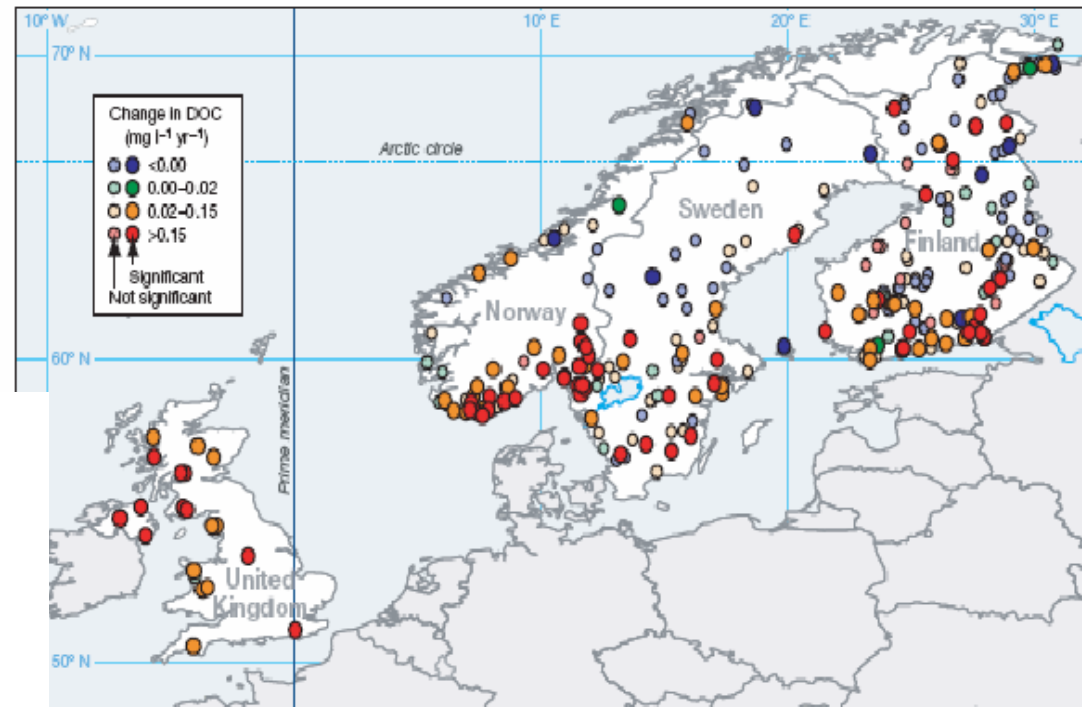


2. Wo und warum nimmt DOC zu?

Weitere Erklärungen für DOC Zunahme

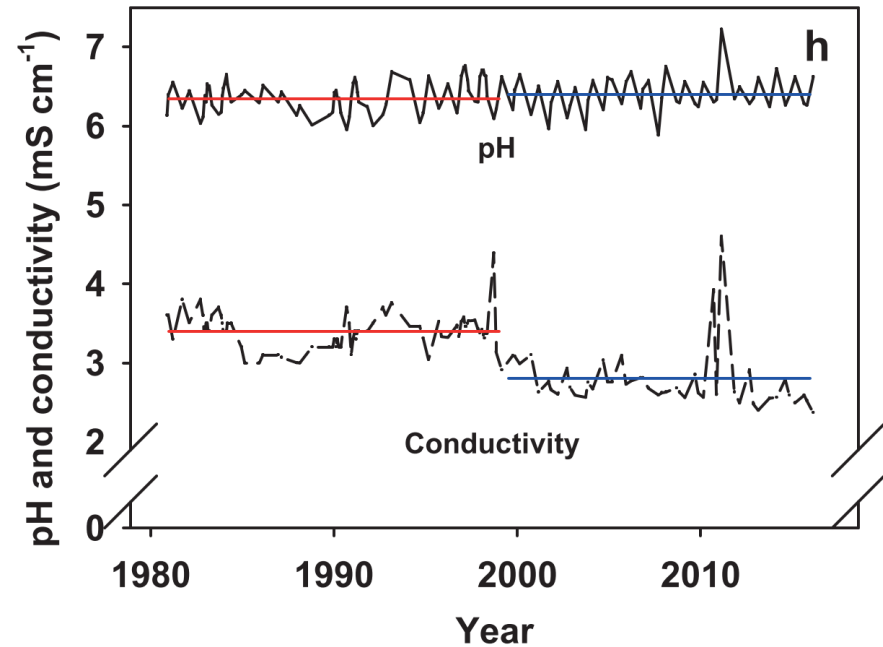
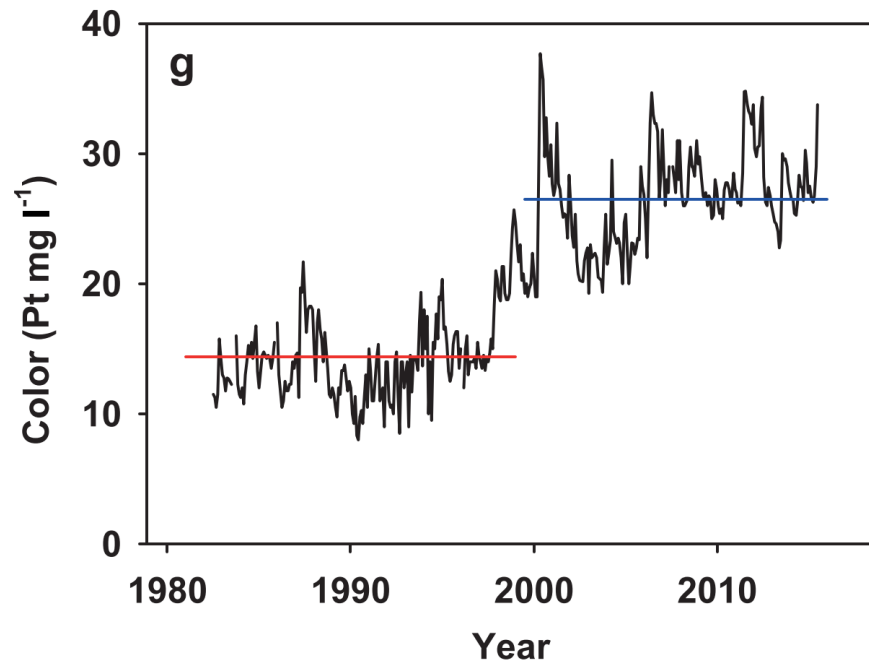


Evans et al. 2006. *Global Change Biology*



Monteith et al.
2007. *Nature*.

Trends in Norwegen



2. Wo und warum nimmt DOC zu?

Current Browning of Surface Waters Will Be Further Promoted by Wetter Climate

Heleen A. de Wit,^{*,†,‡} Salar Valinia,[†] Gesa A. Weyhenmeyer,[‡] Martyn N. Futter,[§] Pirkko Kortelainen,^{||} Kari Austnes,[†] Dag O. Hessen,[⊥] Antti Räsänen,^{||} Hjalmar Laudon,[#] and Jussi Vuorenmaa^{||}

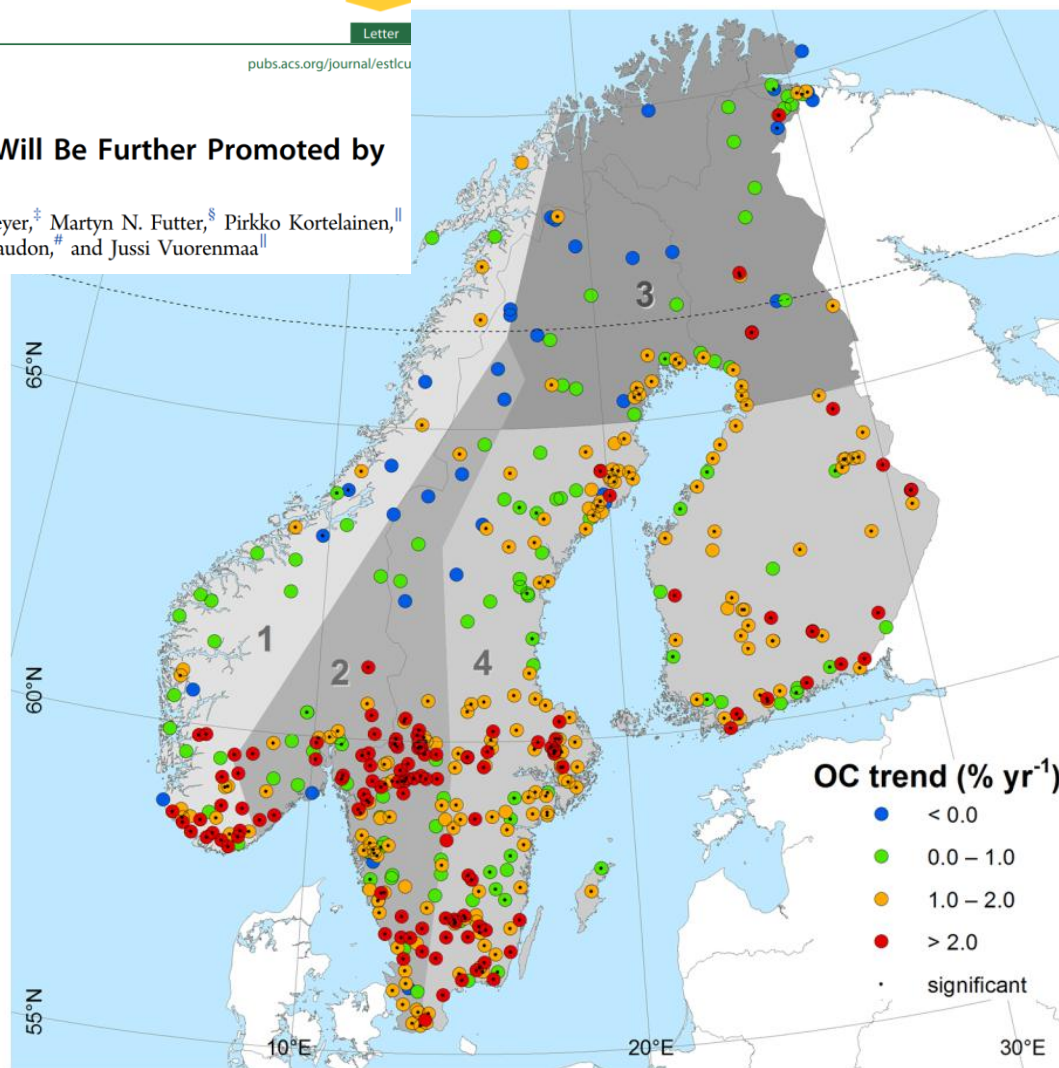
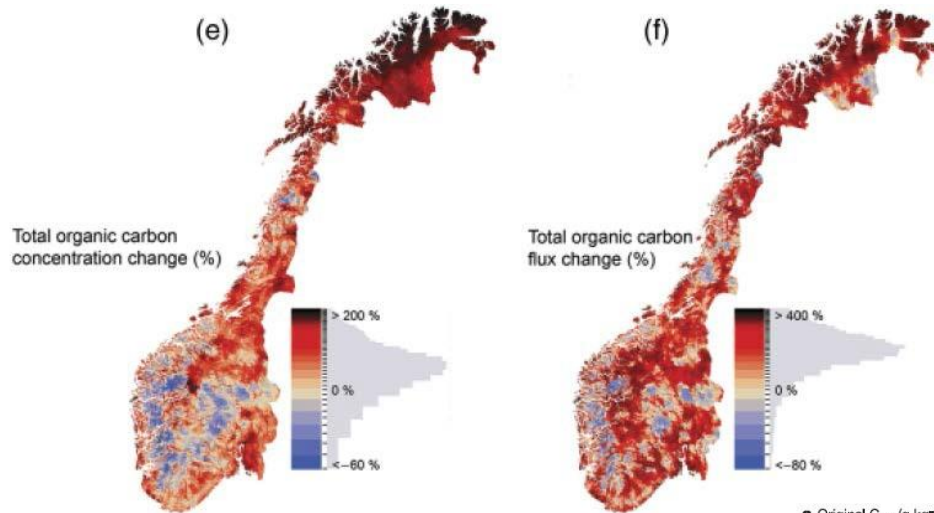


Figure 1. Organic carbon (OC) concentration trends ($\% \text{ year}^{-1}$) in 474 sites in Fennoscandia for the period from 1990 to 2013, divided across four regions (1, oceanic; 2, boreal wet; 3, subarctic; 4, boreal dry). Significance level of 0.05.

Trends sind sehr unterschiedlich



Weniger C im Boden

Larsen et al. 2011. GCB

Klimaveränderungen

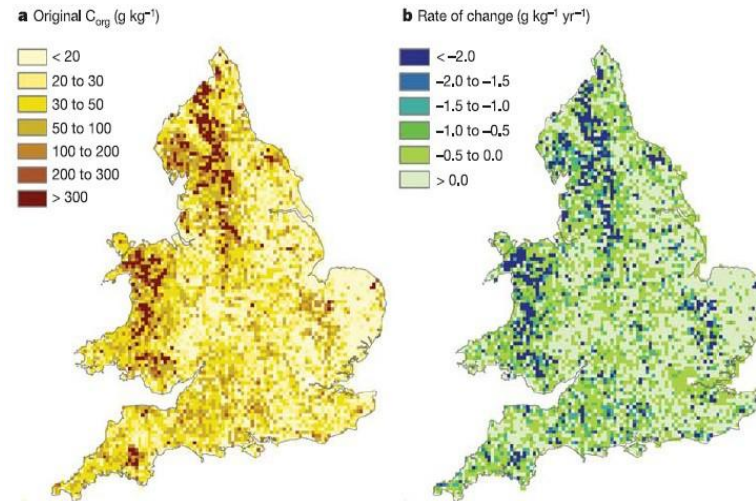


Figure 1 | Changes in soil organic carbon contents across England and Wales between 1978 and 2003. a, Carbon contents in the original samplings, and b, rates of change calculated from the changes over the different sampling intervals. Values at sites that were not resampled were calculated from their original organic carbon contents using equation (1). The changes were negative in all but 8% of the sites.

Bellamy et al. 2005. Nature.

Wovon hängen die Trends ab?

- Bodennutzung
- Wasserkreislauf
(inkl. Eisverhältnisse)
- Temperatur
- Atmosphärenchemie

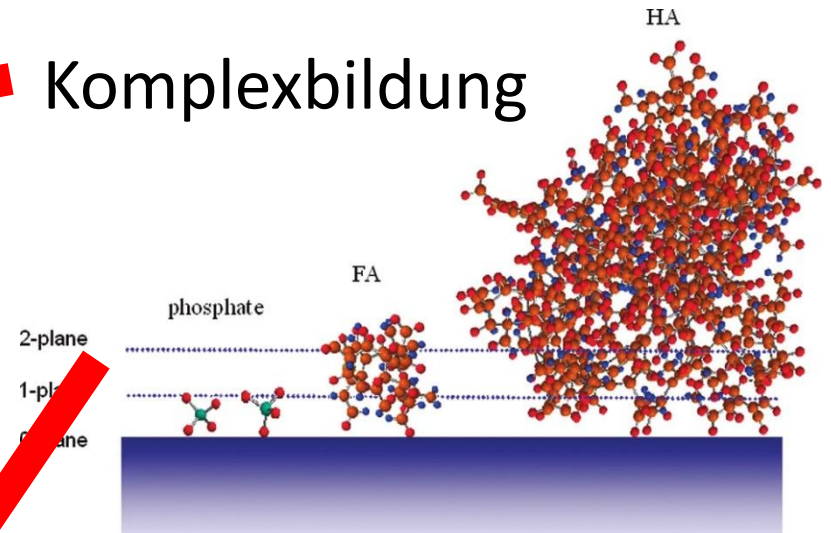


3. Was haben zunehmende DOC Gehalte für Konsequenzen?

Wasserqualität



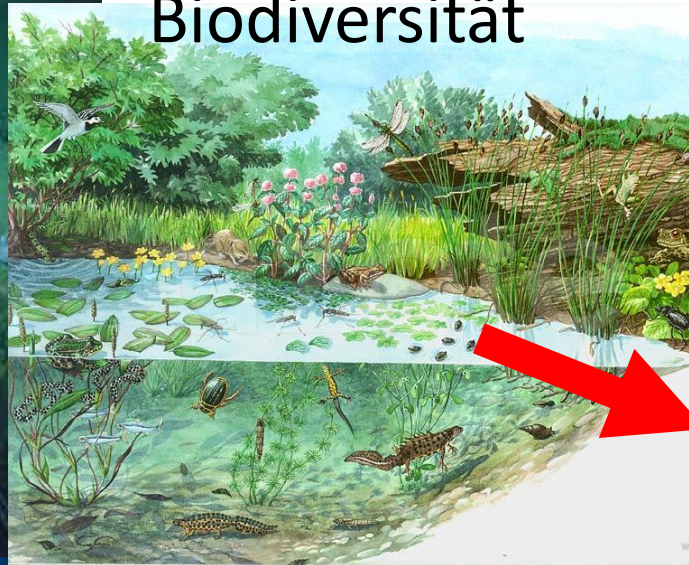
Komplexbildung



Licht-
verhältnisse



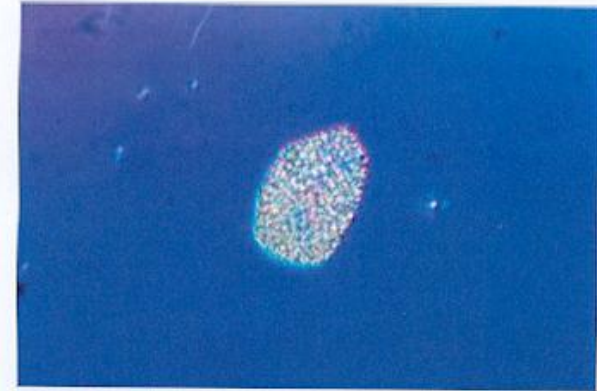
Biodiversität



DAGENS NYHETER.

En utskrift från Dagens
Nyheters nätupplaga, **DN.se**.

Publicerad 16 sep 2007 10:44



Gubbslem: Goryostomum semen.

Foto: Institutionen för miljöanalys, SLU.

Gubbslem har blivit vanligare i Sverige

I takt med att klimatet blir varmare lossar isarna tidigare på Sveriges sjöar. Dessutom blir sjöarna mörkare. Det beror bland annat på att mindre vatten rinner ner från marken runt sjöarna.

3. Was haben zunehmende DOC Gehalte für Konsequenzen?

A microscopic image showing a dense population of various bacteria. The bacteria are primarily rod-shaped (bacilli) and some are spherical (cocci). They are stained in shades of blue and purple, with some showing internal structures. The background is dark, making the bacteria stand out.

Bakterien lieben DOC

3. Was haben zunehmende DOC Gehalte für Konsequenzen?

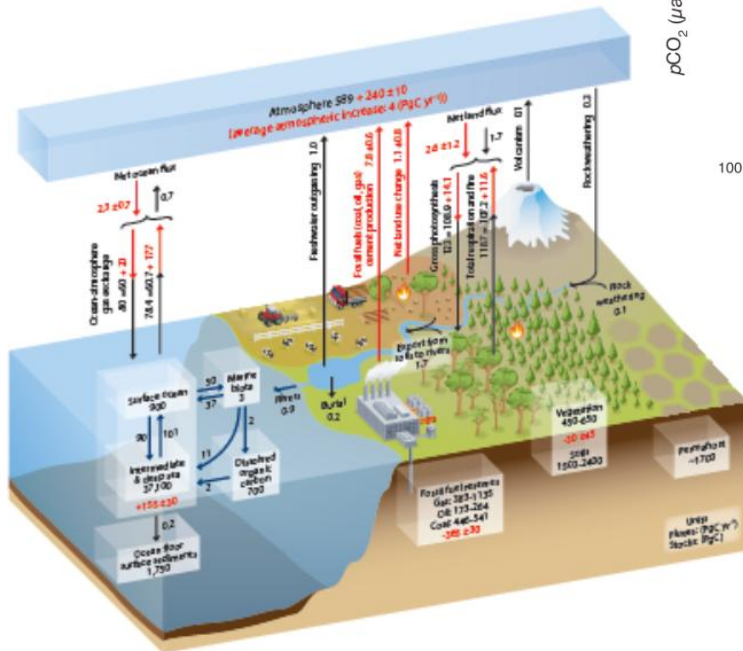
Mikroorganismen produzieren CO_2 und CH_4



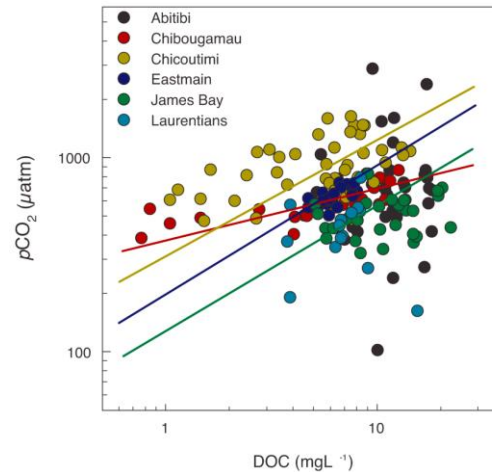
Foto från Alaska

3. Was haben zunehmende DOC Gehalte für Konsequenzen?

DOC in Gewässern spielt eine signifikante Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf

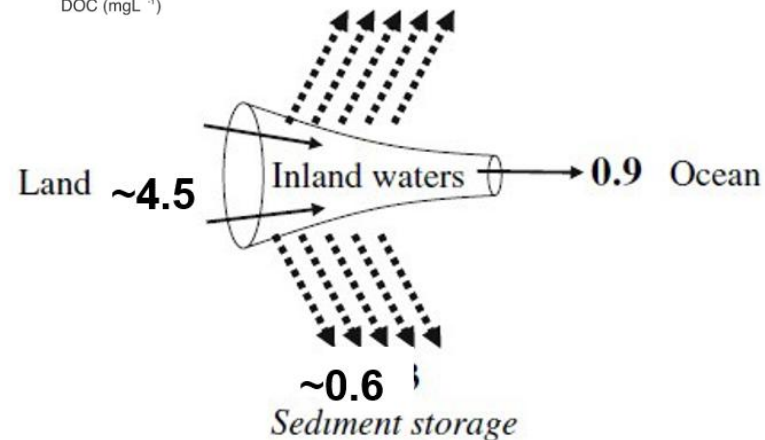


IPCC, 2013



Lapierre et al. 2012. JGR

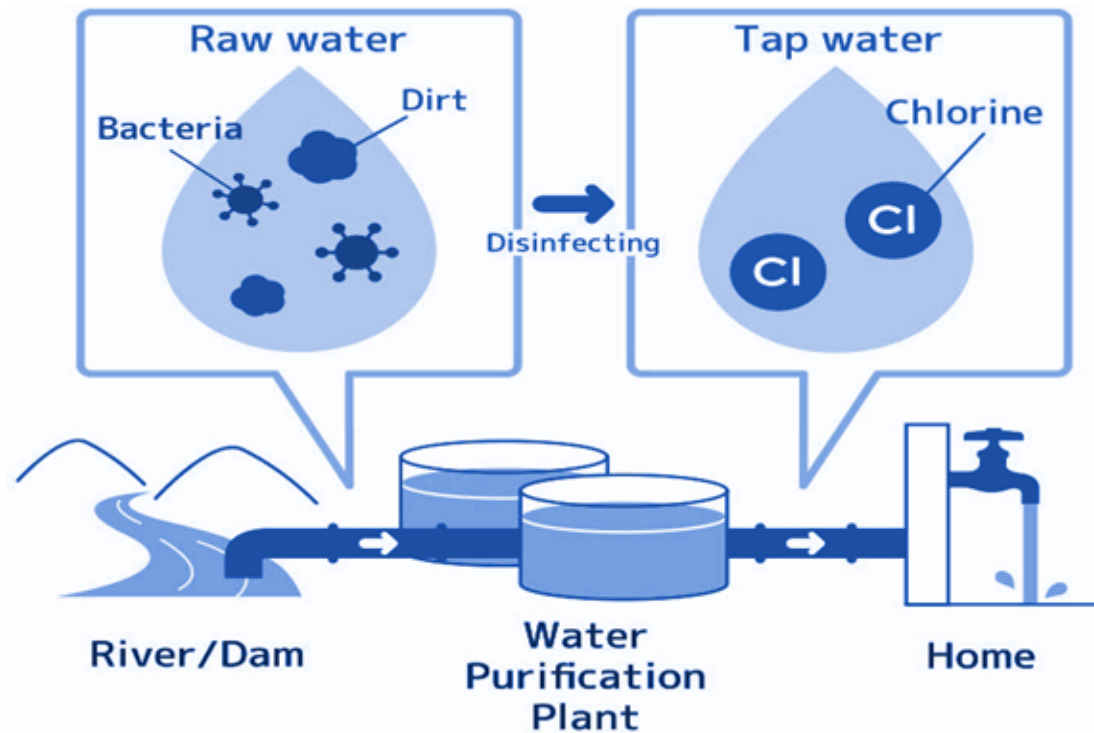
CO₂ evasion
~3.9



Ändrad från Cole et al., 2007

(Pg C yr⁻¹)

Mehr Bakterien fordern mehr Desinfektion

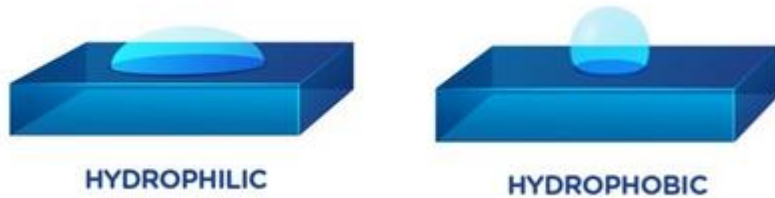


<https://www.newwater.com>

Entstehung schädlicher
Nebenprodukte

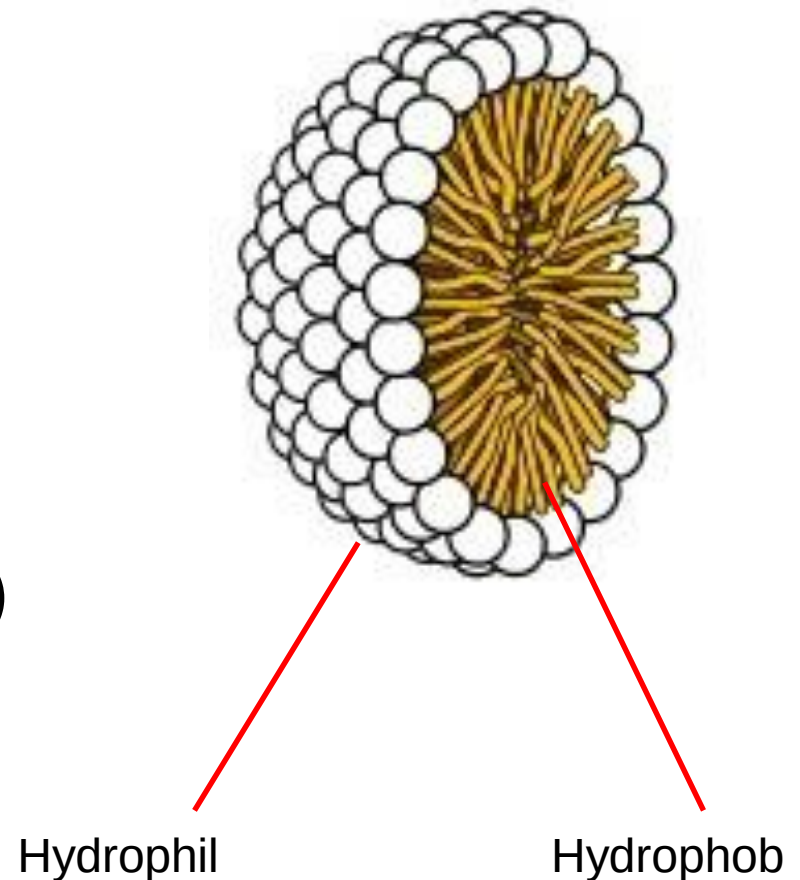


Welches DOC bereitet die grössten Probleme?



Hydrophiles DOC = oft das größere **Aufbereitungsproblem**, weil es durch klassische Flockung schlechter entfernt wird und biologisch verfügbar sein kann (ist wasserlöslich)

Hydrophobes DOC = macht das Wasser **braun** und erhöht den Chemikalienbedarf. [?]



Massnahmen zur Reduktion von DOC



Schwedische Forstindustrie:

- Rund **70 %** der Fläche Schwedens sind bewaldet.
- Etwa **75 %** der Waldfläche werden wirtschaftlich genutzt.
- Die Forst- und Holzindustrie beschäftigt etwa **140.000 Menschen**.
- Die Branche exportiert Waren im Wert von rund **15-17 Milliarden Euro pro Jahr**.

Wiederherstellung von Uferzonen

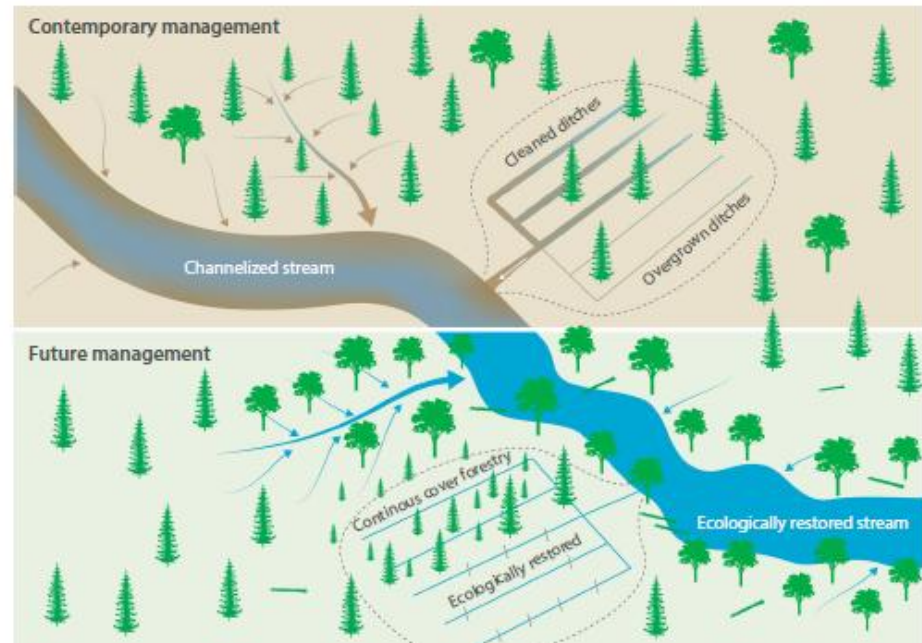
Ambio
<https://doi.org/10.1007/s13280-019-01227-5>



REVIEW

Browning of freshwaters: Consequences to ecosystem services, underlying drivers, and potential mitigation measures

Emma S. Kritzberg , Eliza Maher Hasselquist, Martin Škerlep, Stefan Löfgren, Olle Olsson, Johanna Stadmark, Salar Valinia, Lars-Anders Hansson, Hjalmar Laudon



Wiederherstellung von Feuchtgebieten



“Throughout Sweden, wetlands are being restored with the hope of increasing biodiversity, sequestering carbon and reducing eutrophication. But what do we really know about the effects of wetland restoration?”

4. Was können wir gegen zunehmend hohe Konzentrationen machen?

Verlängerung der Wasser-Verweilzeit



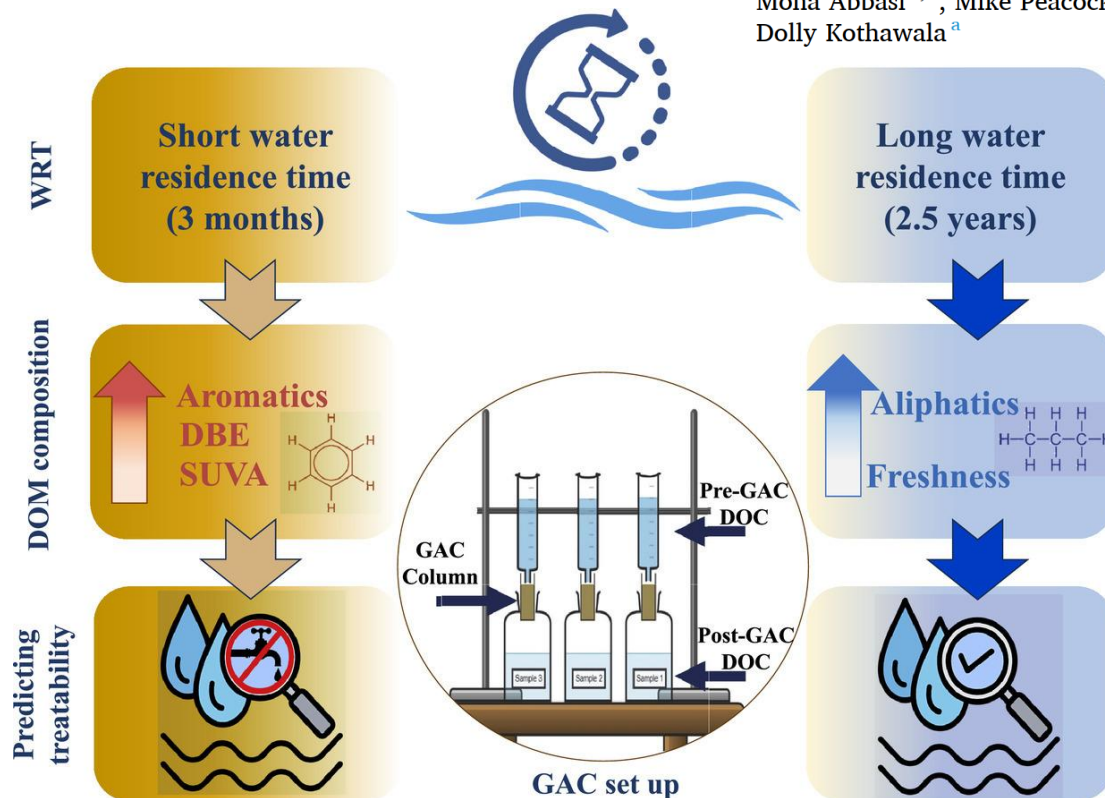
Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Water Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres

Water residence time is an important predictor of dissolved organic matter composition and drinking water treatability

Mona Abbasi^{a,*}, Mike Peacock^{b,c}, Stina Drakare^b, Jeffrey Hawkes^d, Elizabeth Jakobsson^a, Dolly Kothawala^a



4. Was können wir gegen zunehmend hohe Konzentrationen machen?

Klimaveränderungen reduzieren



Figure 1. Rainstorm-induced organic matter inputs drive carbon emissions from inland waters Shown is a schematic of how a rainstorm event increases input of terrestrial dissolved organic matter (DOM), alters water chemistry, and promotes the outgassing of carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) in downstream lake ecosystems, particularly in inflow areas. DO, dissolved oxygen; DIC, dissolved inorganic carbon.

Symptombekämpfung in den Trinkwasserwerken

Aktuelle Innovationsbeispiele:

Magnetische Nanokomposite

- Wiederverwendbare magnetische Sorbentien, die DOC binden und anschließend magnetisch entfernt werden können.

Elektrokoagulation

- Statt Chemikalien werden elektrische Ströme genutzt, um Flocken zu erzeugen und DOC zu entfernen. Neuere Studien von 2025 zeigen gute Ergebnisse als Ergänzung zur konventionellen Wasseraufbereitung.

Biobasierte Flockungsmittel (Chitosan)

- Chitosan aus natürlichen Rohstoffen kann DOC ähnlich effektiv entfernen wie klassische Aluminiumfällmittel, jedoch mit geringerer Umweltbelastung.

Das DOC-Thema ist für Trinkwasserwerke noch nicht abgeschlossen

