

# Gewässerversauerung

## Ausgewählte biologische Effekte



*Christian E.W. Steinberg*

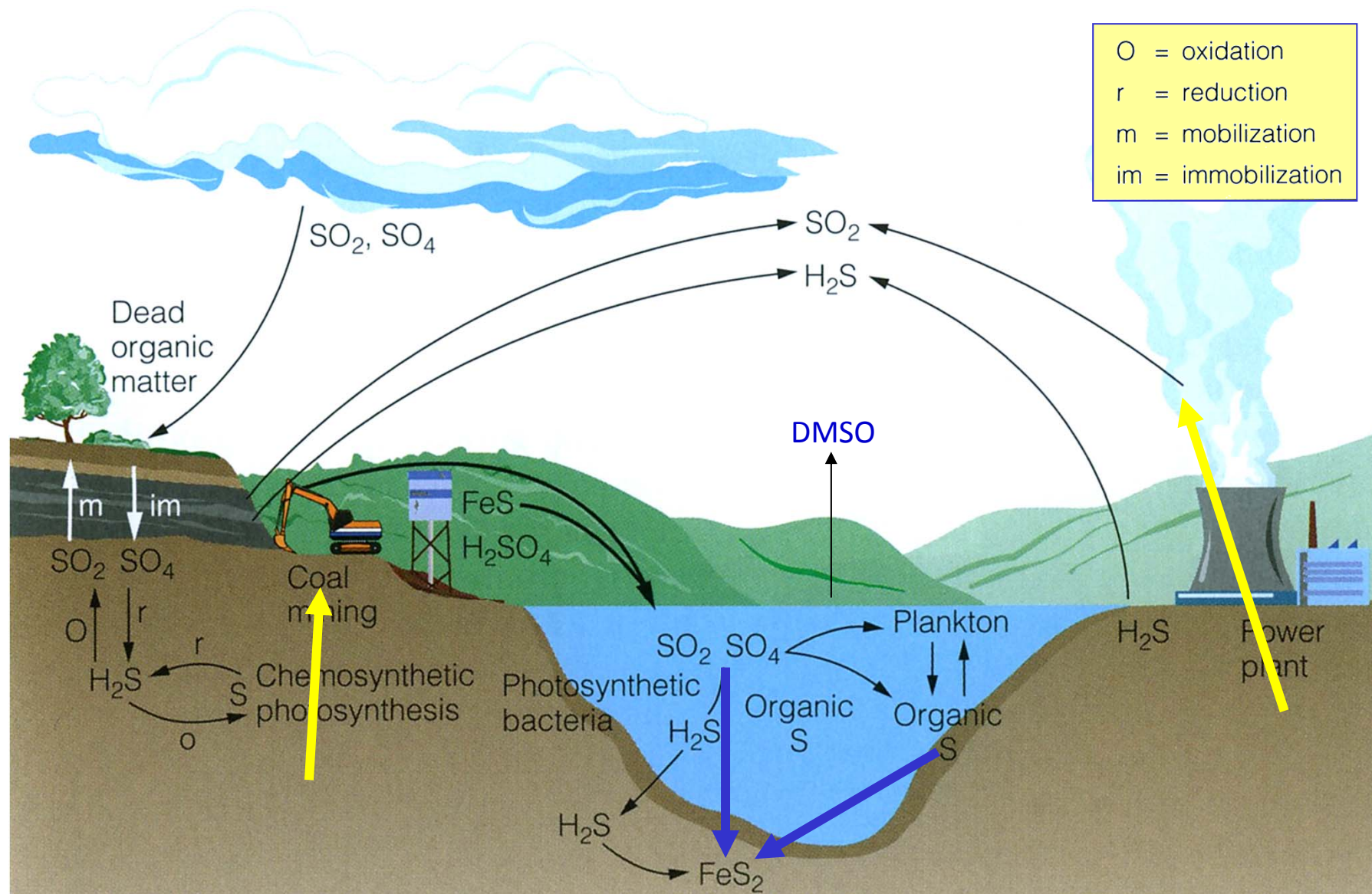
Gewässer- & Stressökologie

Institut für Biologie, Humboldt Universität zu Berlin

[christian\\_ew\\_steinberg@web.de](mailto:christian_ew_steinberg@web.de)

Wir konzentrieren uns auf die Versauerung durch  
Schwefelkomponenten

# Schwefelumsätze



biotische Saprobisierung

**1. Saure Emissionen:** können den pH-Wert bis auf 4.0 absenken

**2. Pyrit-Verwitterung:** kann den pH-Wert bis auf <2.0 absenken

*bis pH 4: chemische Verwitterung,  
darunter konsortiale Leistung durch Mikroorganismen  
+ Protozoen*



Konsortien →





## Durch Schwertmannit rot gefärbter Bergbau-See (Plessa 111):

©O. Totsche



Zum Schutz wertvoller biotischer Ressourcen wurde als Therapie gegen Versauerung fast immer nur **Kalkung** durchgeführt.

Warum aber nicht auch biologische Entsauerung durch **gezielte Saprobisierung?**

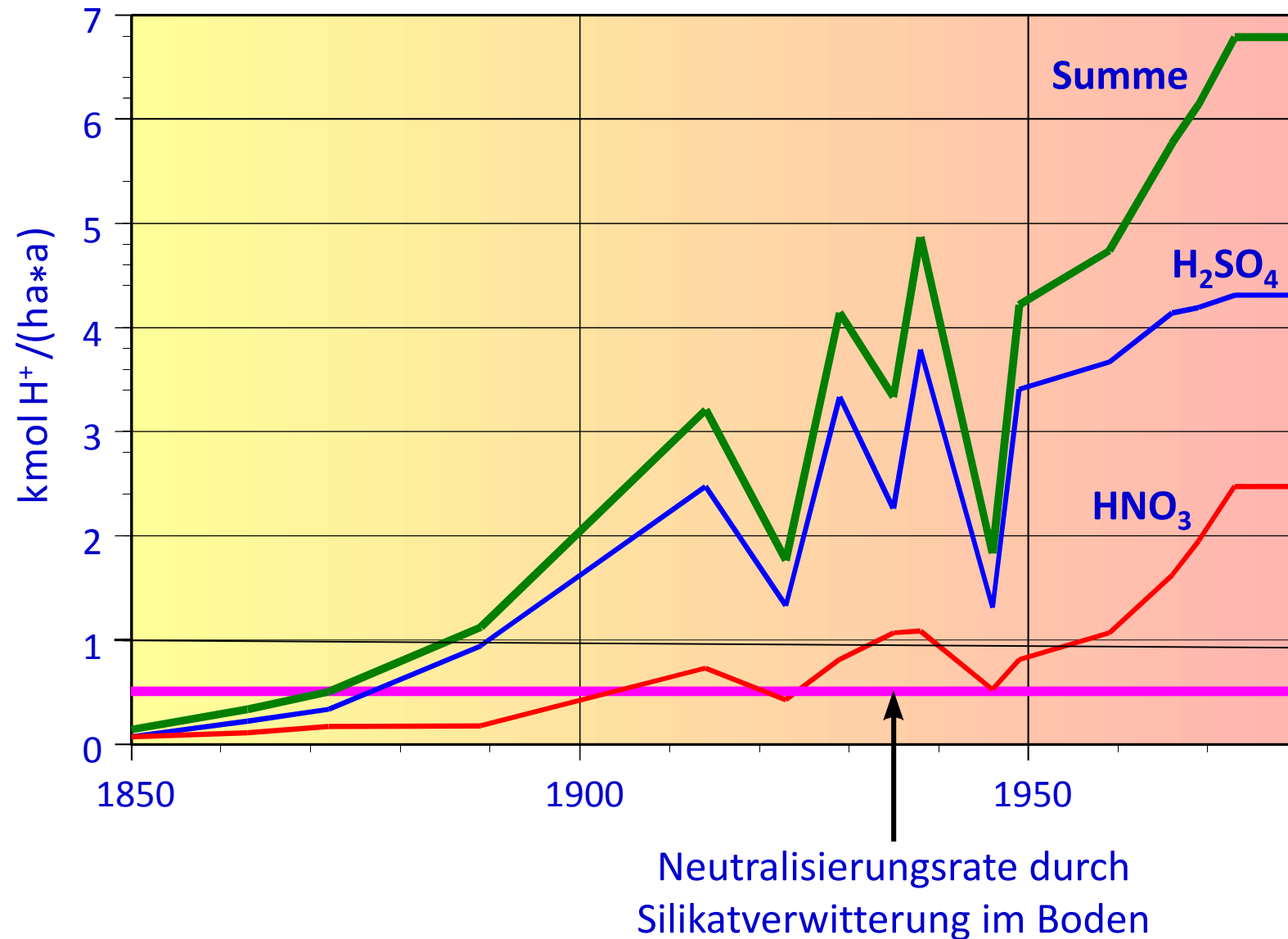
(= Hilfe zur Selbsthilfe, *self sustaining process*)

Dies wird an Bergbauseen versucht!

# Depositions-bedingte Versauerung, ein großräumiges Titrationsexperiment



# Säureemission in der (alten) Bundesrepublik Deutschland seit 1850 verändert nach Ulrich & Büttner 1985



Nach diesem Modell, erste Versauerungserscheinungen  
Anfang des vergangenen Jahrhunderts möglich

# Langzeit-Versauerung-Phänomene im Schwarzsee, Böhmerwald:

Hier erste Indikationen um 1900

Datengrundlage aber recht lückenhaft

aus Vrba et al., (2003)

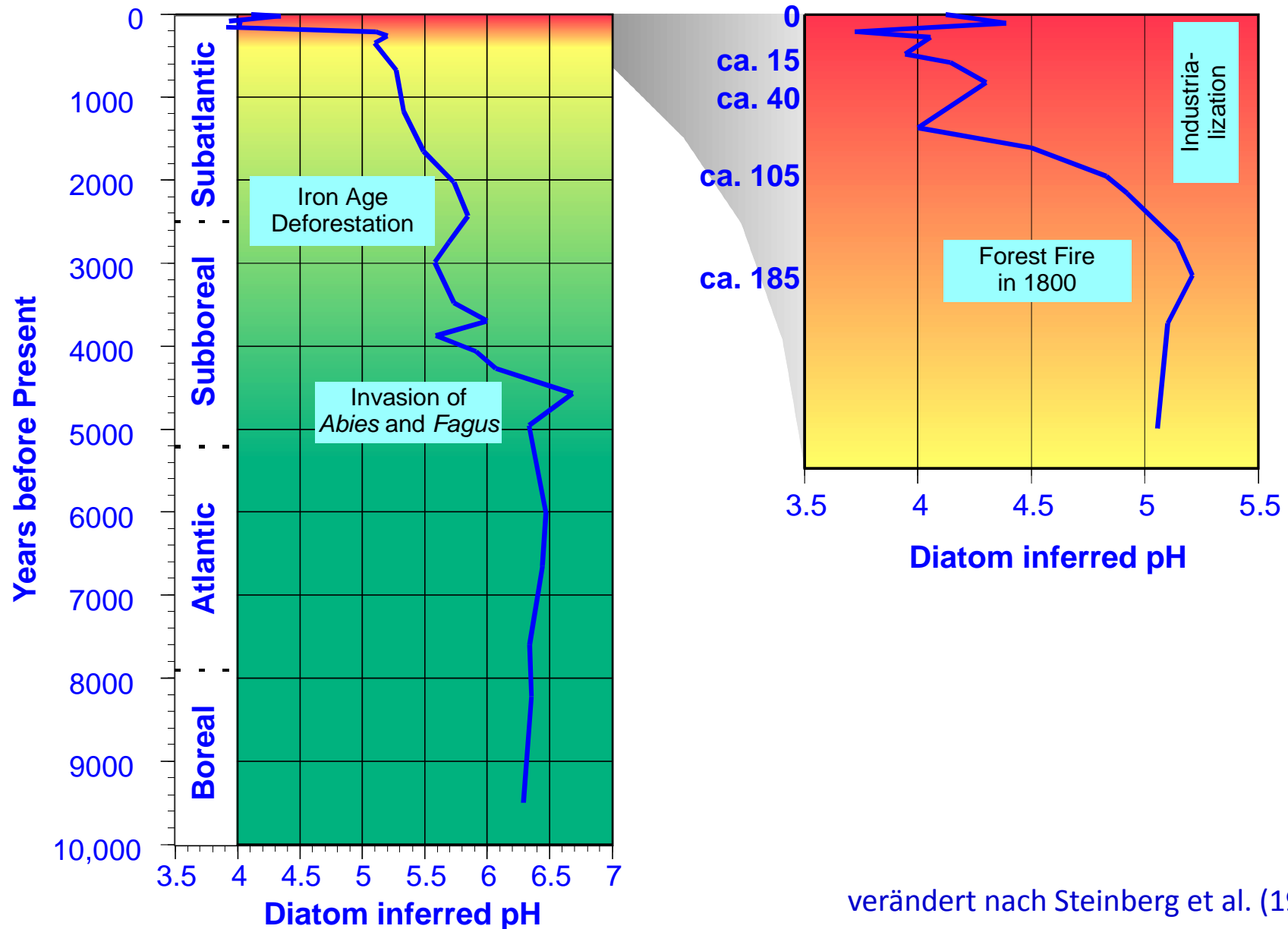
# Genauerer Nachweis über paläo-biologische Indikationssysteme



# Sedimentkern: Paläolimnologische Rekonstruktionen

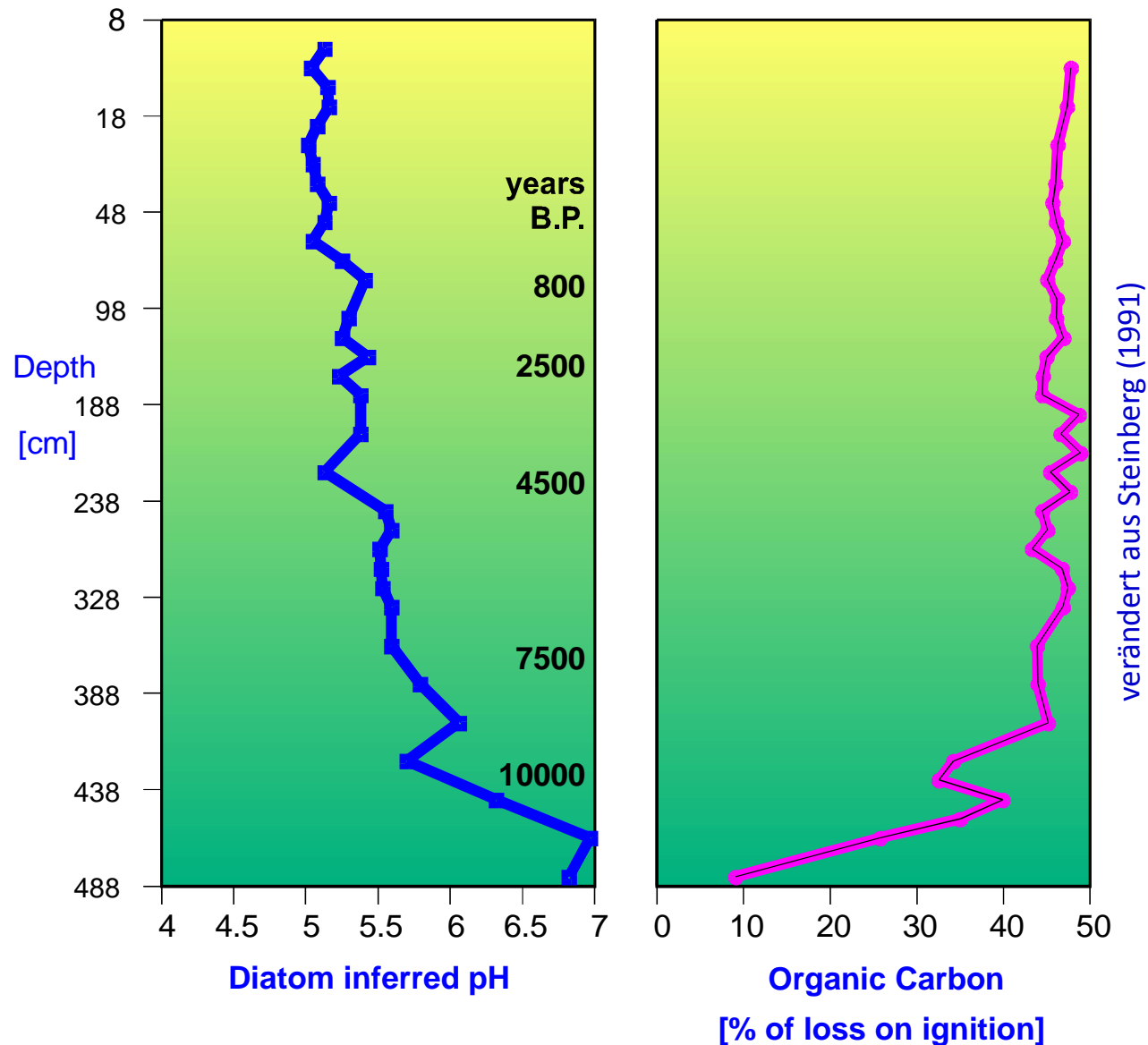


# Versauerungsgeschichte des Huzenbacher Sees (Nördlicher Schwarzwald)

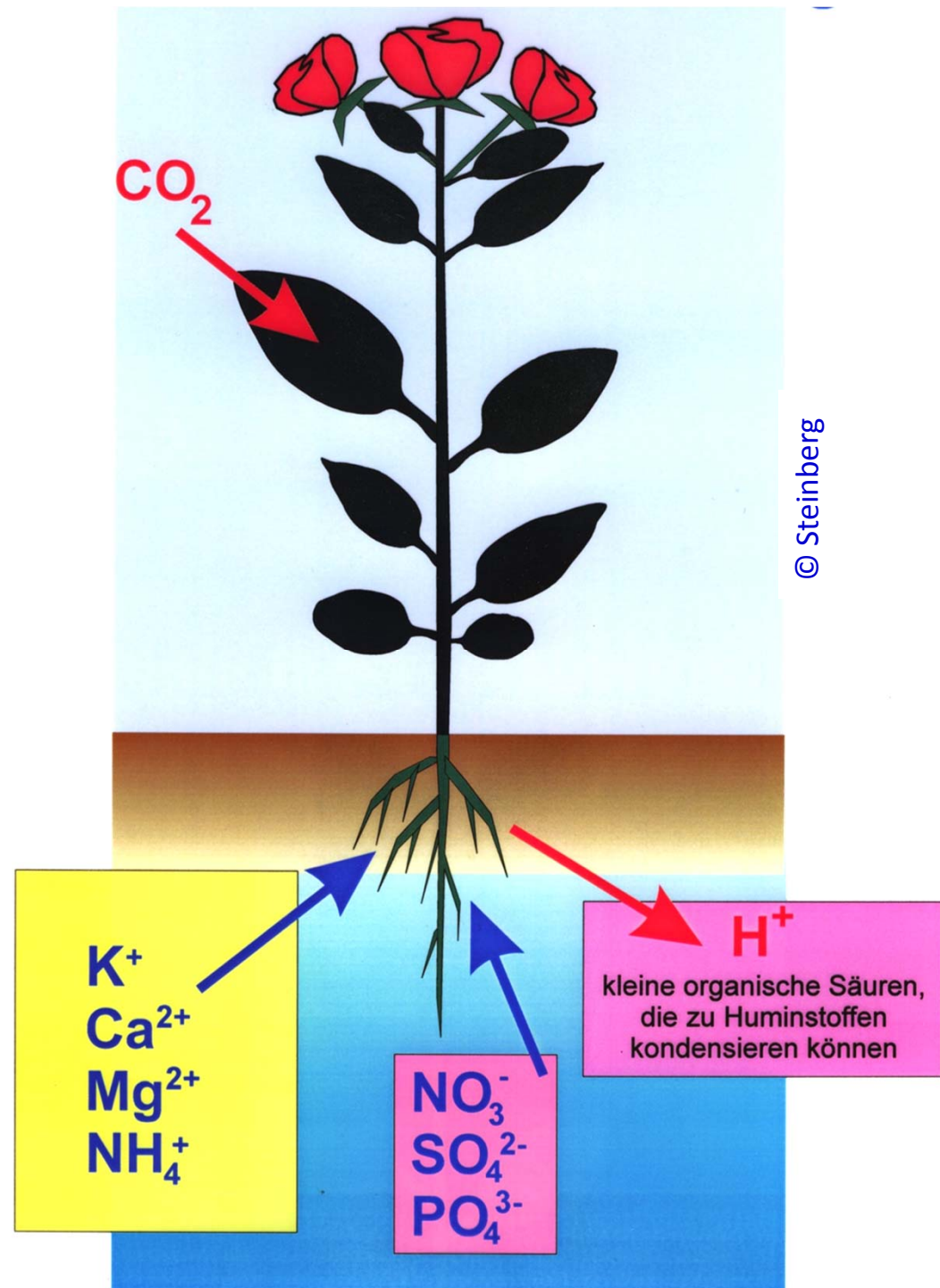


verändert nach Steinberg et al. (1987)

# Spät- & nacheiszeitliche Entwicklung des $C_{org}$ -Gehaltes und des über Diatomeen abgeleiteten pH-Wertes in den Sedimenten des Großen Arbersees, Bayer. Wald



# Schema der natürlichen Versauerung durch Vegetationsentwicklung



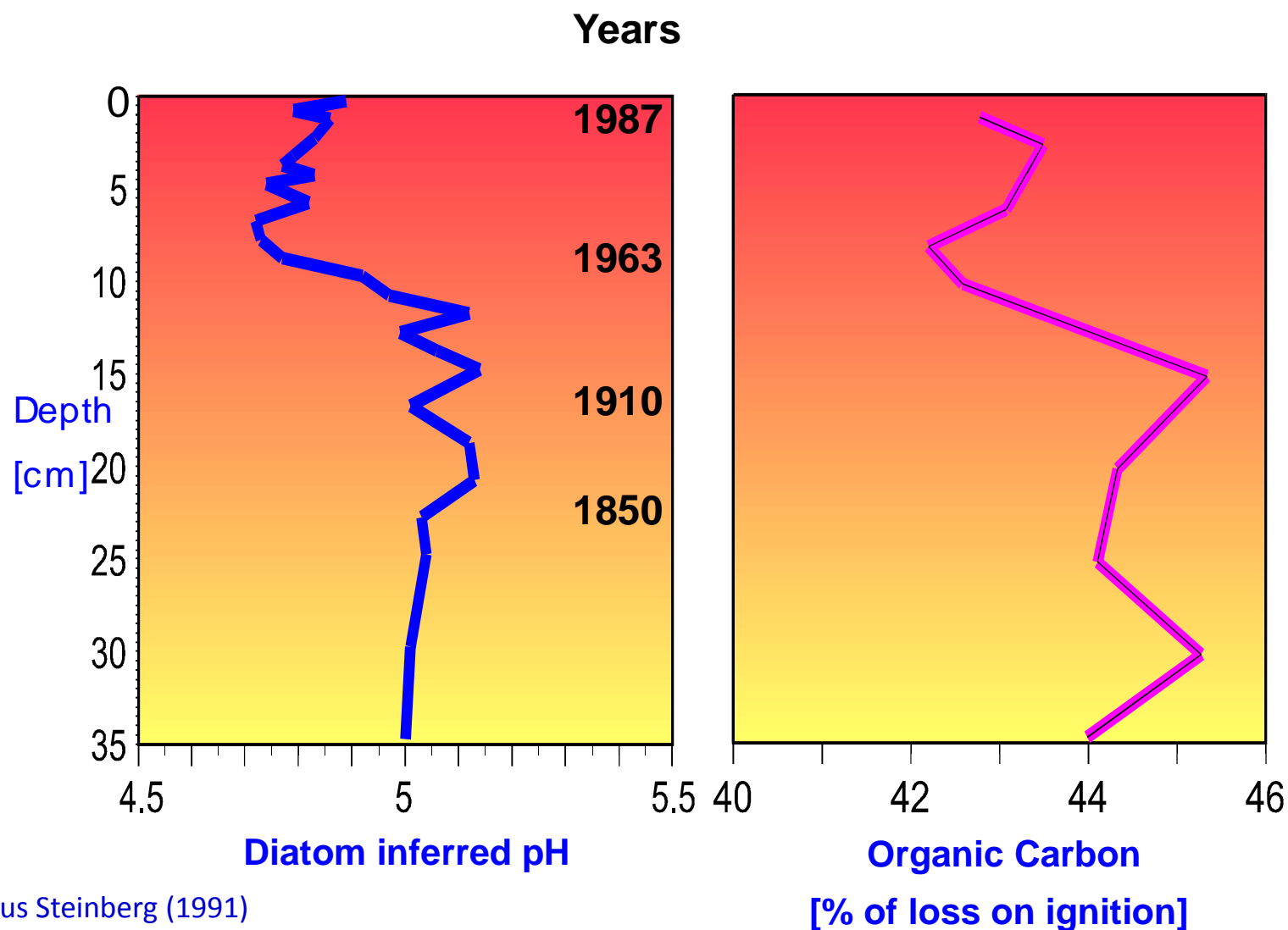


Huminstoffe bestimmen die Azidität in kalkarmen  
Seen

Nachweis zum Beispiel in dem Lapland-See  
Tsuolbmajärvi

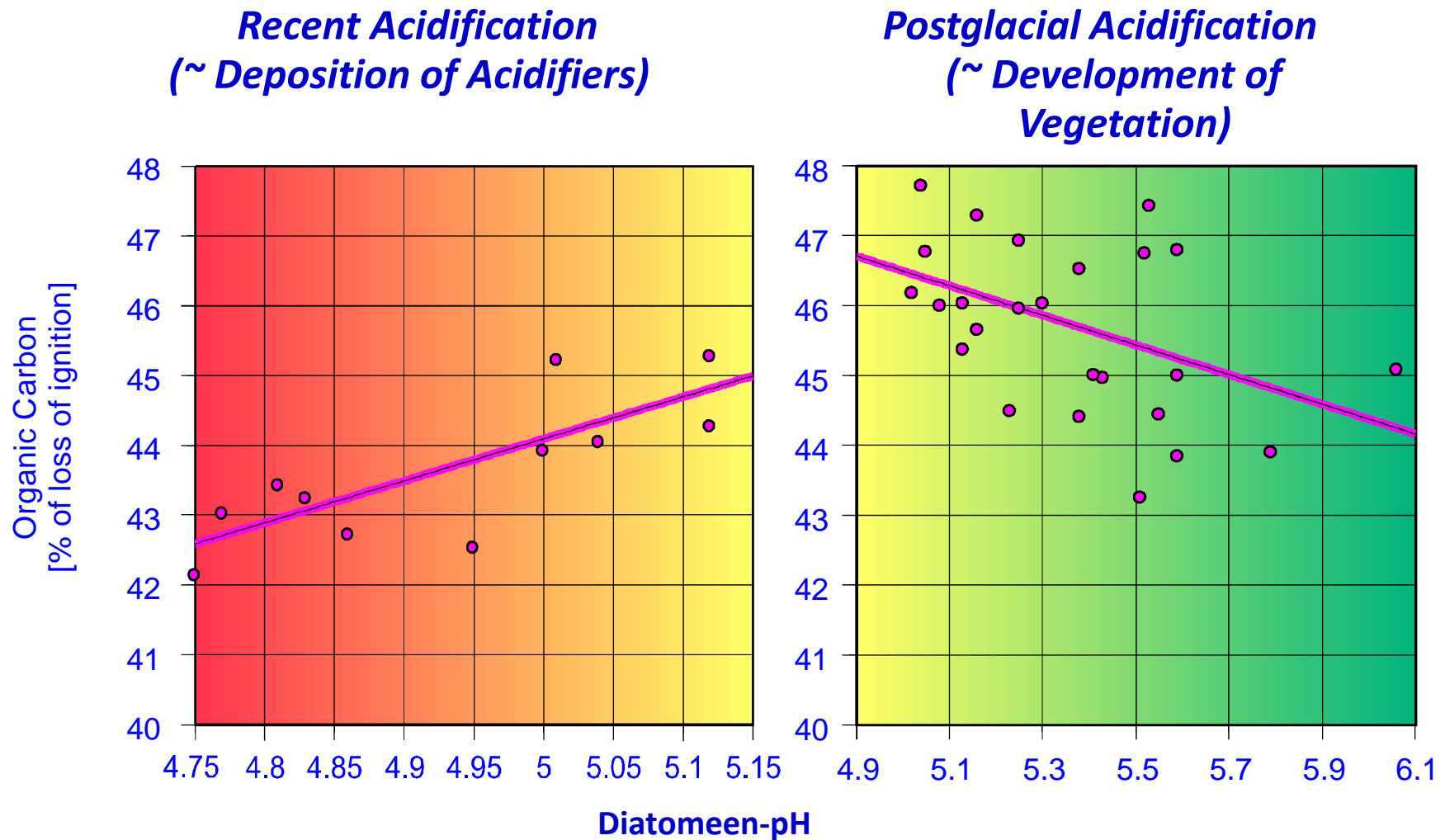
(Seppä and Weckström, 1999)

## Jüngere Entwicklung von $C_{org}$ und des über Diatomeen abgeleiteten pH-Wertes im Großen Arberse



verändert aus Steinberg (1991)

# Role von $C_{org}$ bei der Versauerung des Großen Arbersees



verändert aus Steinberg (1991)

Abnehmende Versauerung führt zu ansteigendem Gehalt an gelöstem  
organischem Kohlenstoff

Viele Untersuchungen, regional bis global

Beispiele

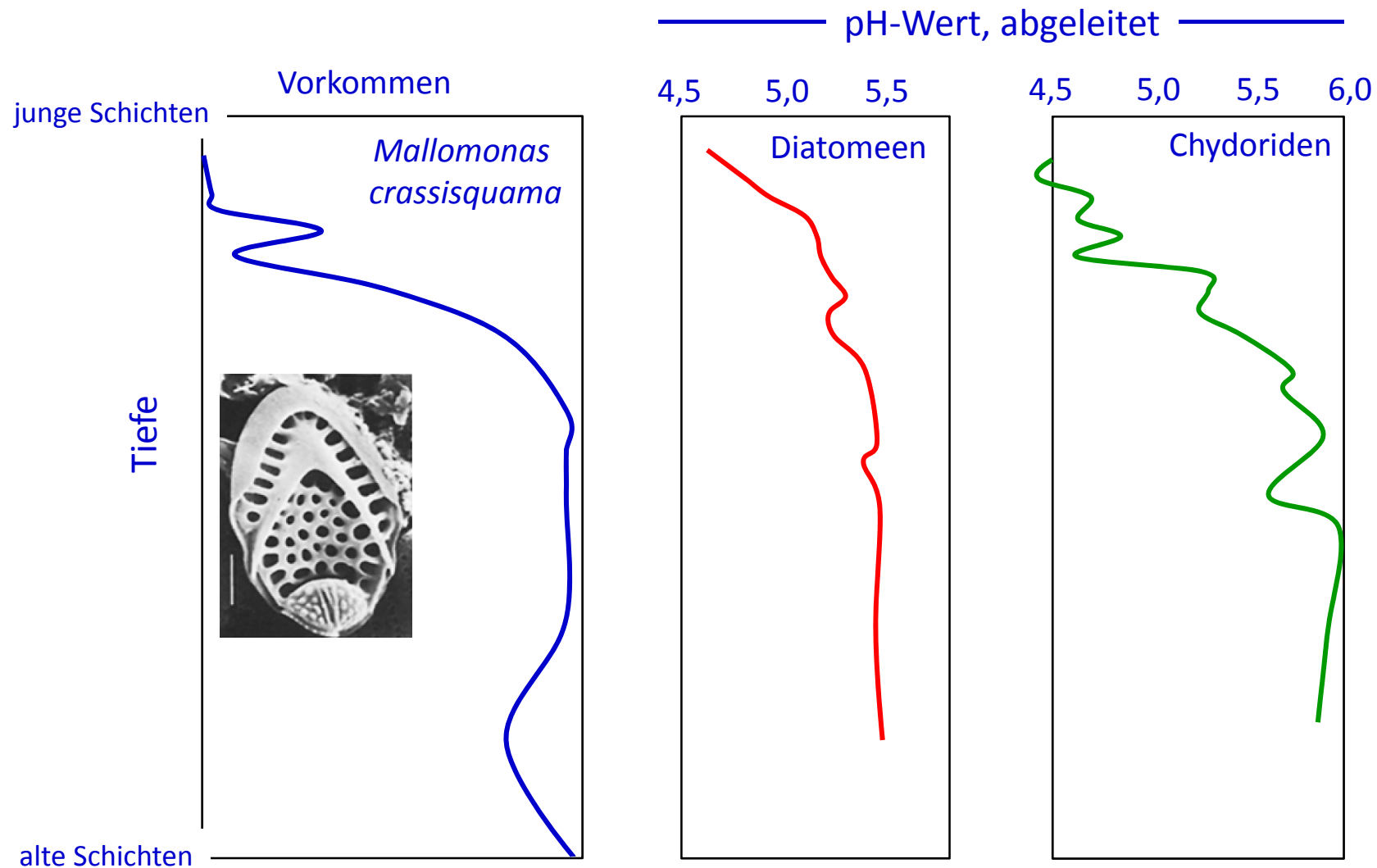
Evans et al. (2008)

Monteith et al. (2007)



# Vergleich biologischer Indikationssysteme

# Synopse der Versauerung im Kleinen Arbersee



vereinfacht nach Steinberg et al. (1988)

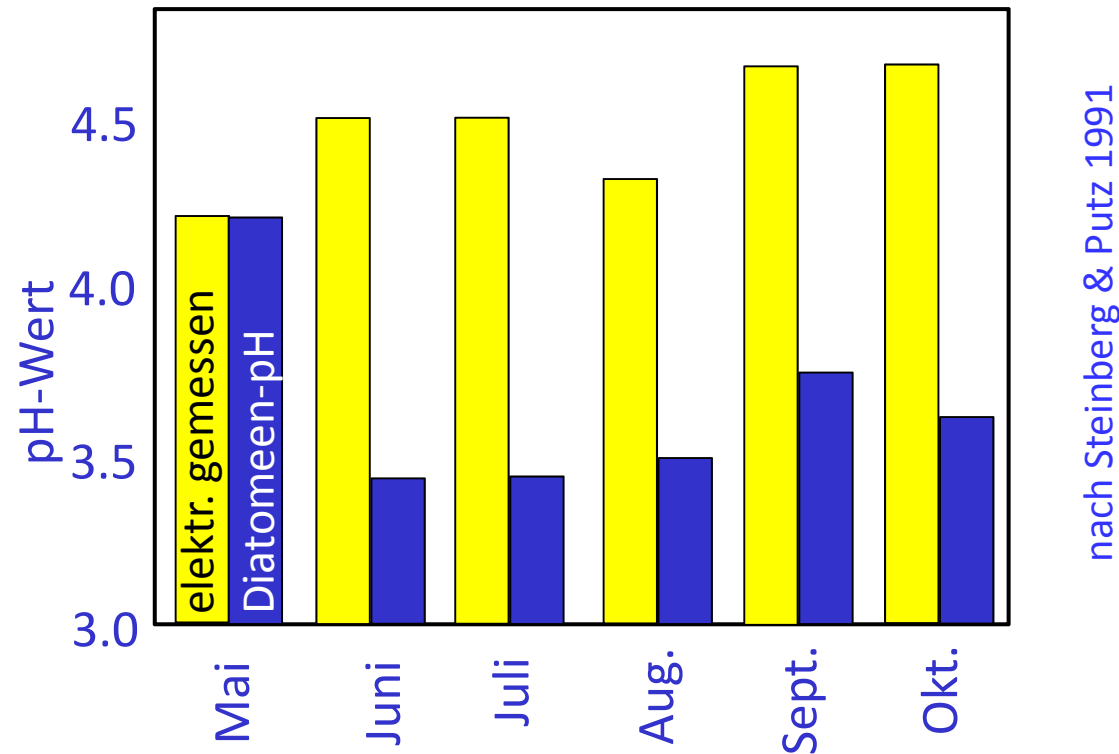
## Synopse Kleiner Arbersee:

- *Mallomonas crassisquama* zeigt Absinken des pH-Wertes im Freiwasser unter 5.0 an
- Diatomeen zeigen pH-Wert des gesamten Wasserkörpers an
- Chydoriden (Litoral-Wasserflöhe) zeigen Versauerung durch *Sphagnum*-Ausbreitung an

# Biologisches Indikationssystem für Fließgewässer



## Diatomeen als Bioindikatoren in Fließgewässern (Große Ohe)



**Diskrepanz** zwischen elektrisch gemessenen und über Diatomeen abgeleiteten pH-Werten wahrscheinlich über ausfallendes Aluminium-Hydroxid, das als Überzug auf den Steinen lag:



Auf dieses Aluminium-Problem weisen in jüngerer Zeit u.a. Genter (1995), Battarbee et al. (1997) oder MacDougall et al. (2008) hin.

**Versauerung ist mehr als momentane Zunahme an Protonen**

**Bildung von Säure, die elektrisch nicht gemessen werden kann**

Ausfällung von Al-Hydroxid



Ausfällung von Fe-Hydroxid (z.B. als Schwertmannit)



Ausfällungen können schrittweise erfolgen.

Diese Reaktionen bewirken große Säureschübe

*Bei der Depositions-bedingten Versauerung befinden wir uns im Al-Pufferbereich*

**Al<sup>3+</sup> im Monitoring-Programm adäquat abgedeckt?**

Widersprüchliche Ansätze und Ergebnisse

## **Acidic episodes retard the biological recovery of upland British streams from chronic acidification**

RENATA A. KOWALIK\*, D. M. COOPER†, C. D. EVANS‡ and S. J. ORMEROD\*

\*Catchment Research Group, Cardiff School of Biosciences, Cardiff University, Cardiff CF10 3US, UK,

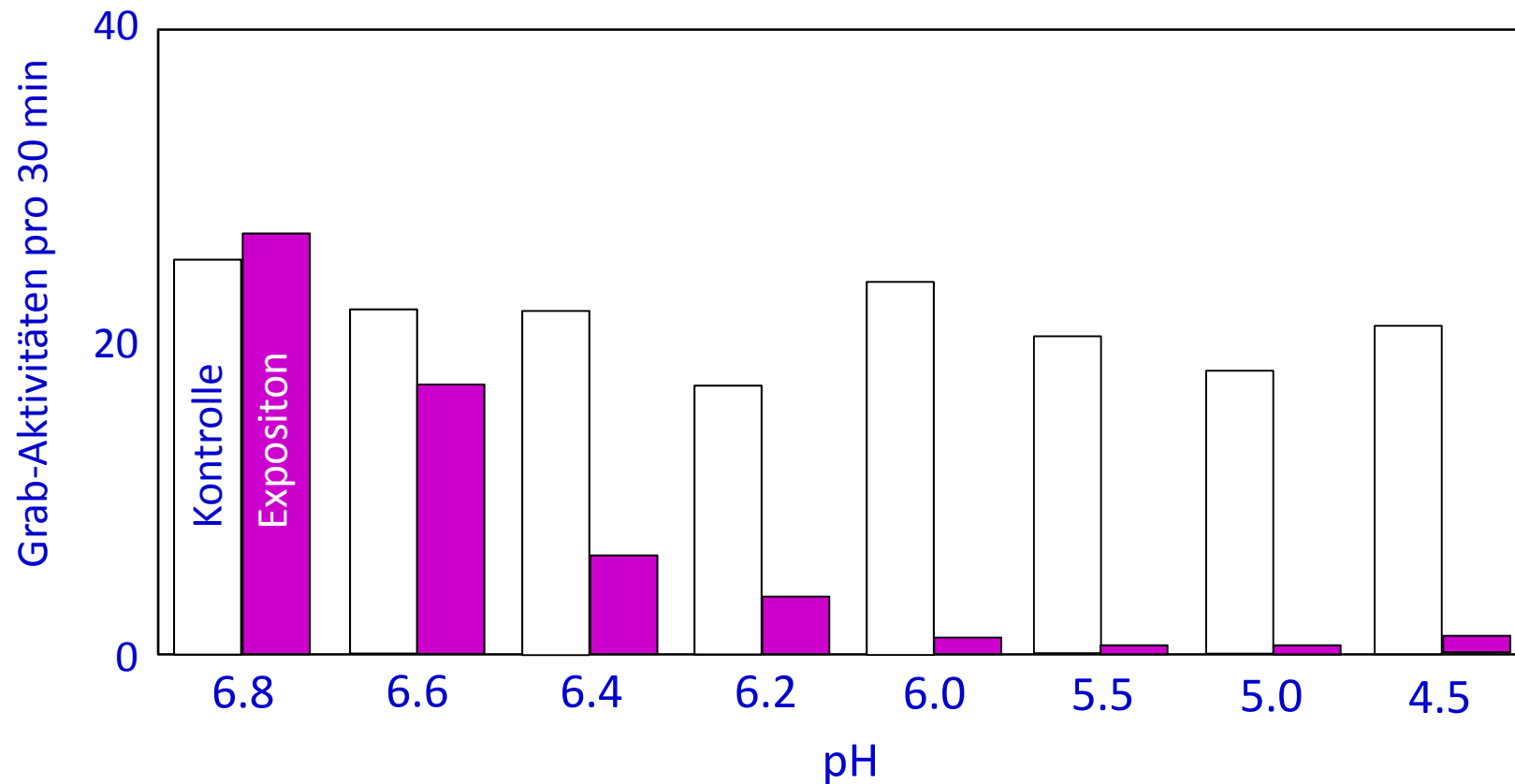
†Centre for Ecology and Hydrology, Crowmarsh Gifford, Wallingford, UK, ‡Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK

Kowalik et al. (2007) weisen darauf hin, dass Säureschübe (Episoden) durch Schneeschmelze oder Starkregenereignissen die Erholung von Fließgewässern trotz erfolgreicher Luftreinhalte-Maßnahmen verzögern.

*Wie werden diese Episoden im Monitoring-Programm erfasst?*

Was passiert den Fischen?

## Was passiert den Fischen?



Verhaltensänderung durch Versauerung: Einstellung der Grab-Aktivitäten von weiblichen Rotlachsen

vereinfacht nach Ikuta et al. (1999)

# Versauerung stört das Räuber-Erkennungs-Verhalten

Science of the Total Environment 439 (2012) 62–66



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



Understanding the importance of episodic acidification on fish predator–prey interactions: Does weak acidification impair predator recognition?

Grant E. Brown <sup>a,\*</sup>, Chris K. Elvidge <sup>a</sup>, Maud C.O. Ferrari <sup>b</sup>, Douglas P. Chivers <sup>c</sup>

Regenbogenforellen erkennen Kaiomone **bekannter Prädatoren** auch unter leicht sauren (pH 6,0) Bedingungen und reagieren entsprechend

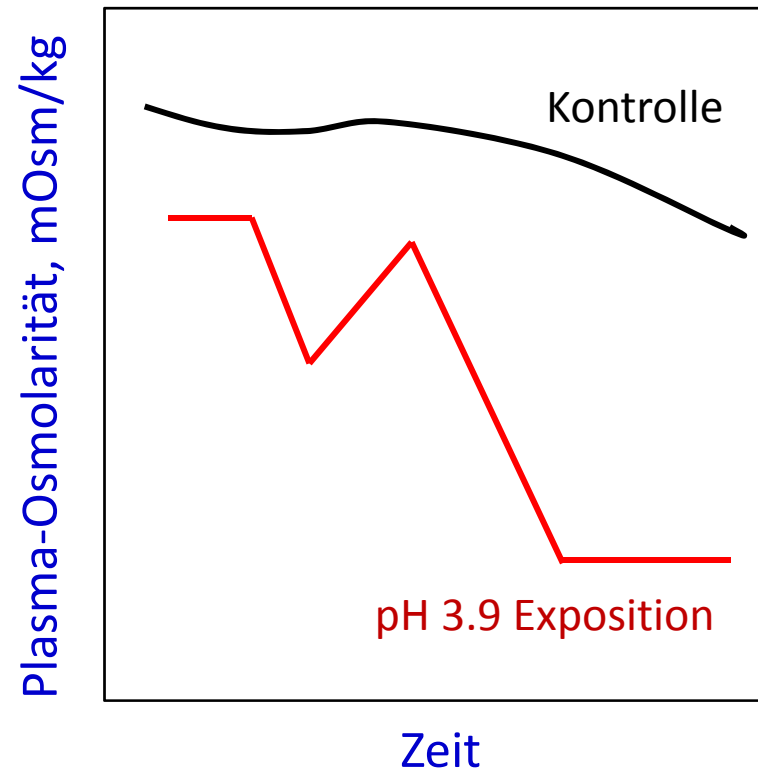
Sind aber unter diesen Bedingen nicht in der Lage, **neue Prädatoren** zu erkennen

Versauerung führt bei Fischen zu

- Verhaltensänderungen und
- stört das Laichgeschäft



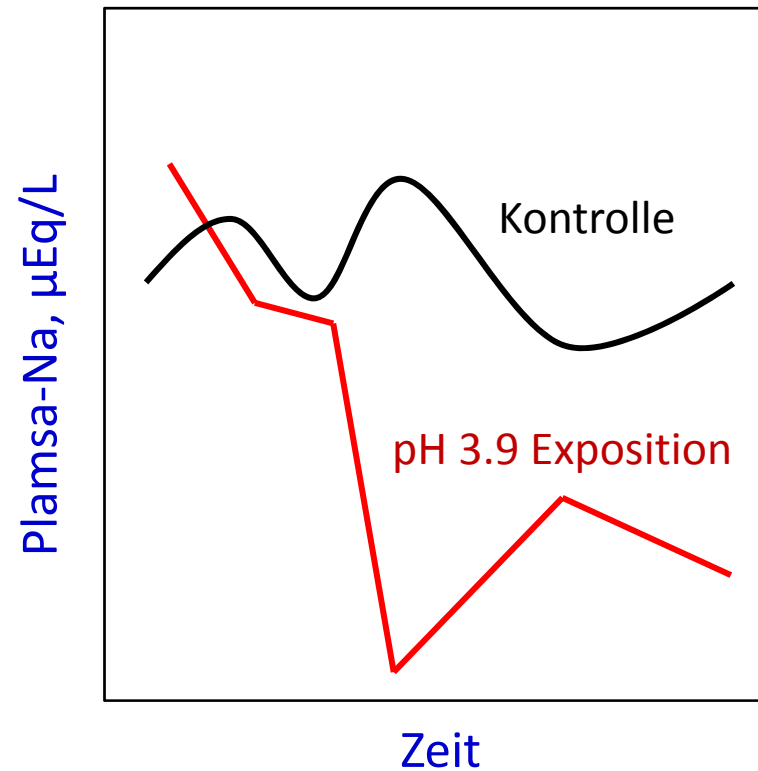
## Was passiert den Fischen?



Veränderungen der Plasma-Osmolalität in Jährlingen des Japanischen  
Saiblings

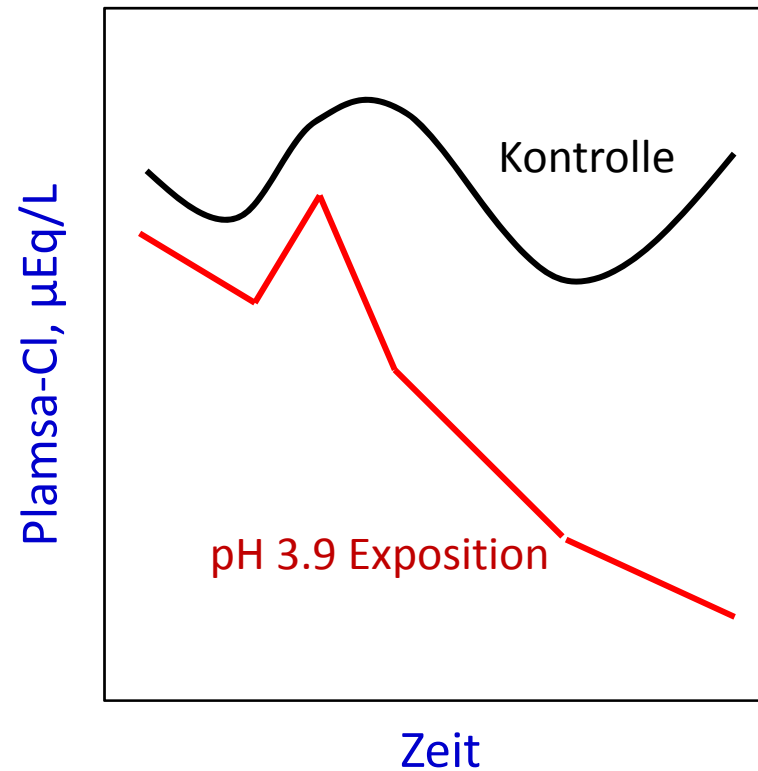
nach Ikuta et al. (1999)

## Was passiert den Fischen?



Veränderungen der Na-Konzentrationen in Jährlingen des Japanischen Saiblings nach Ikuta et al. (1999)

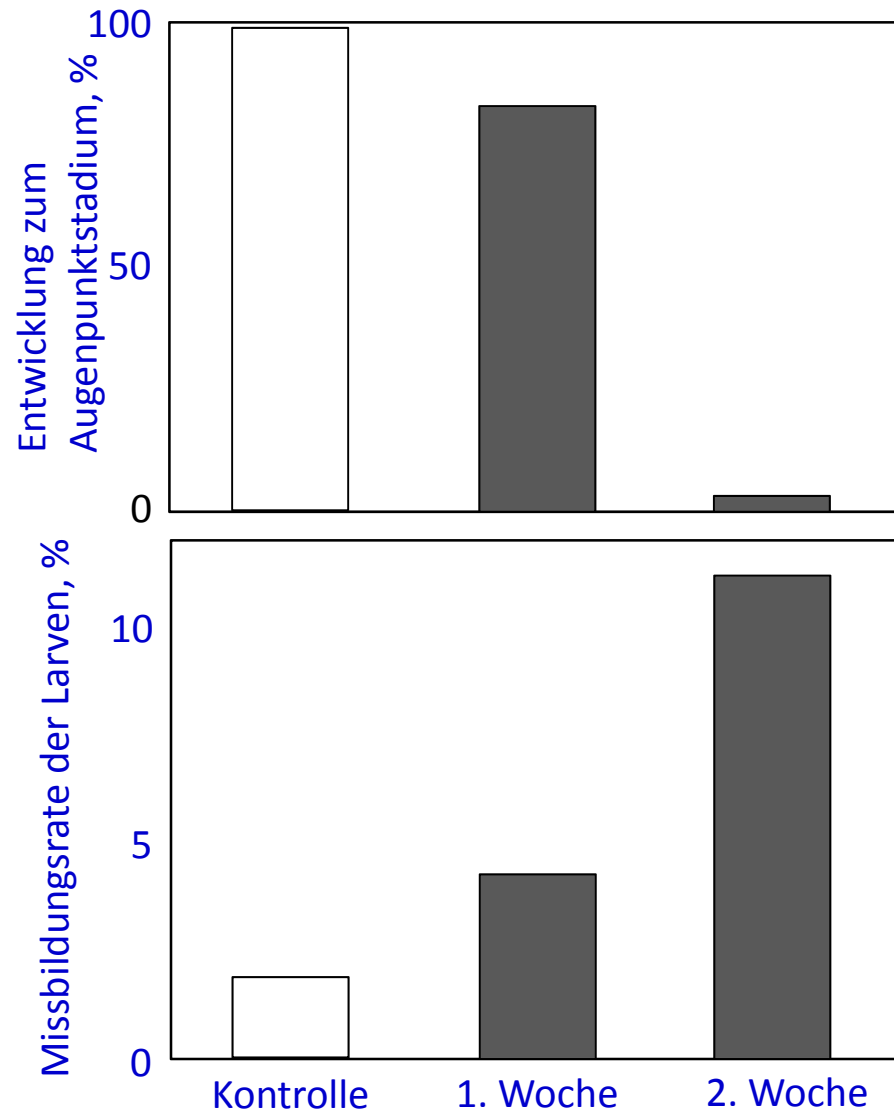
## Was passiert den Fischen?



Veränderungen der Cl-Konzentrationen in Jährlingen des Japanischen Saiblings

nach Ikuta et al. (1999)

## Was passiert den Fischen?



**Regenbogenforellen  
pH 4,5-Exposition**

Entwicklung zum  
Augenpunktstadium, %

Missbildungen bei Larven

nach Ikuta et al. (1999)

## Fazit

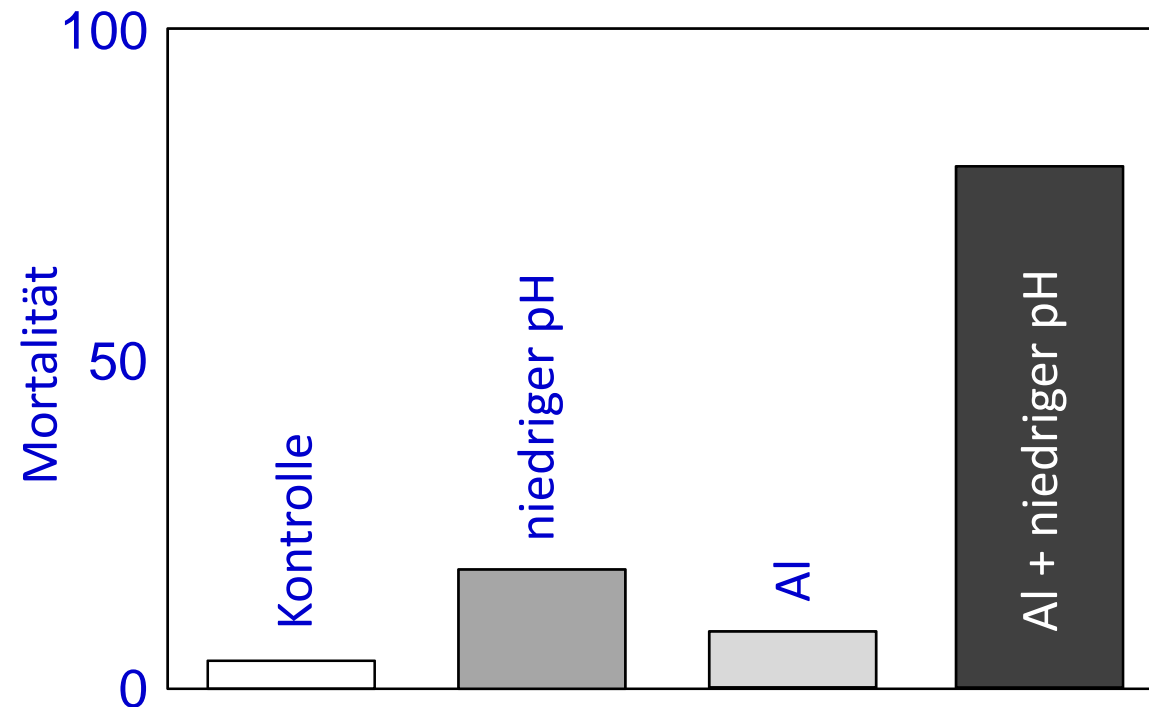
Saure Exposition stellt den Ionenhaushalt (gezeigt)  
und Hormonhaushalt (nicht gezeigt) auf den Kopf

Störung des Ionenhaushaltes wurde jüngst auch für die  
Invertebraten *Gammarus pulex* und *Baetis rhodani*  
beschrieben (Andrén & Eriksson Wiklund, 2013)

Was passiert den Fischen?

Rolle des gelösten, anorganischen Aluminiums, das bei der Versauerung aus dem Boden freigesetzt wird

## Was passiert den Fischen?



Mortalität von Larven der Regenbogenforelle, die 30 Tage lang exponiert wurden: synergistische Wirkung von Al + niedr. pH  
nach Çalta (1999)



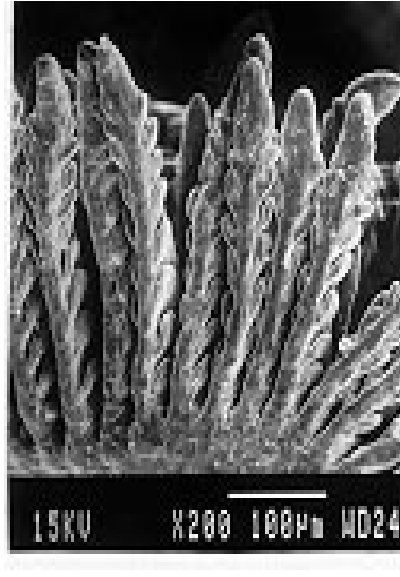
## Was passiert den Fischen?



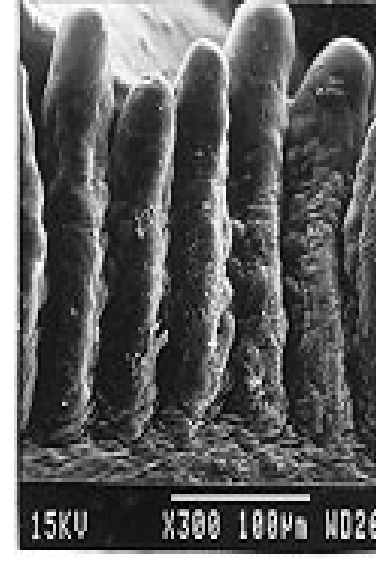
Kontrolle



niedriger pH



Al

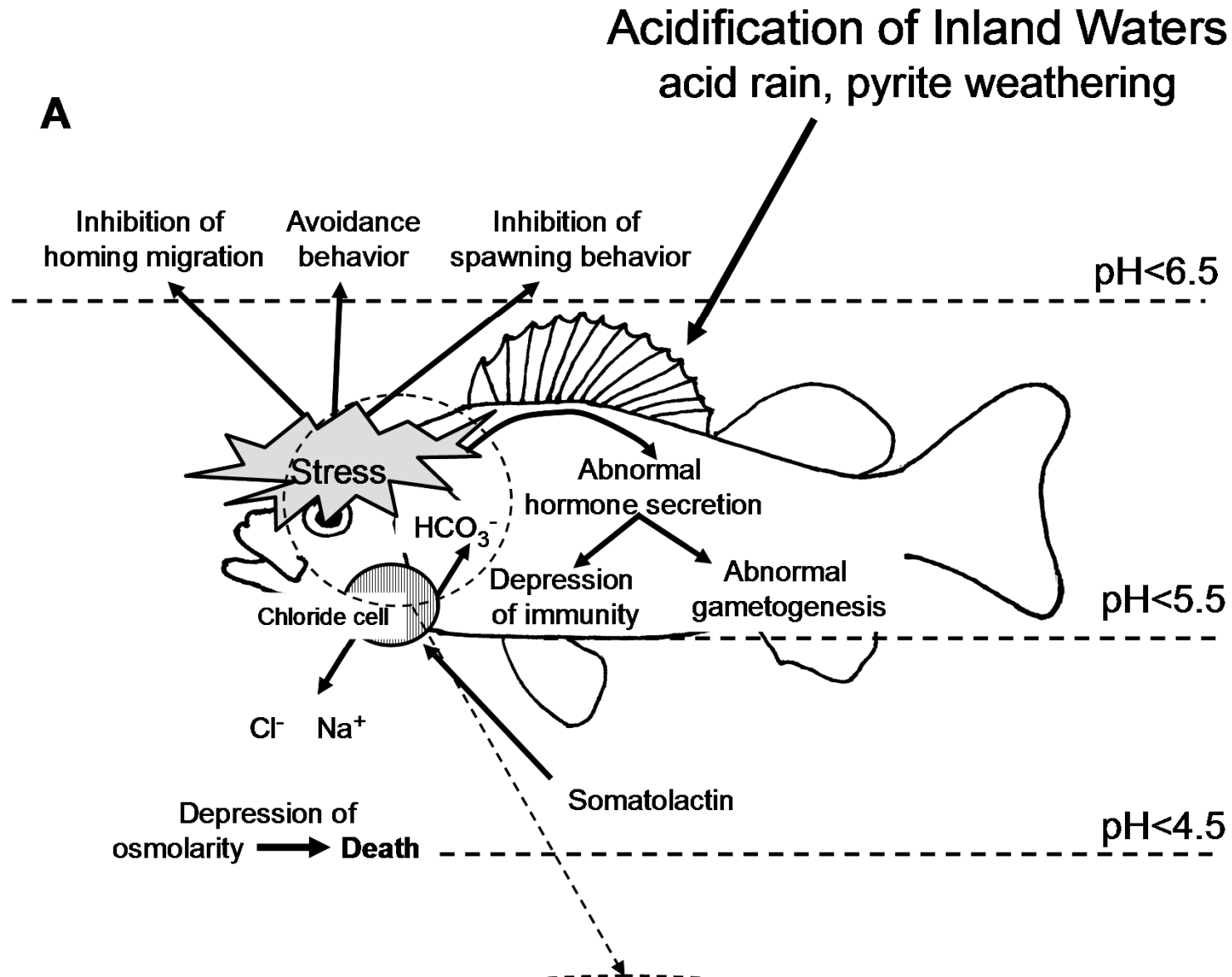


Al + niedriger pH

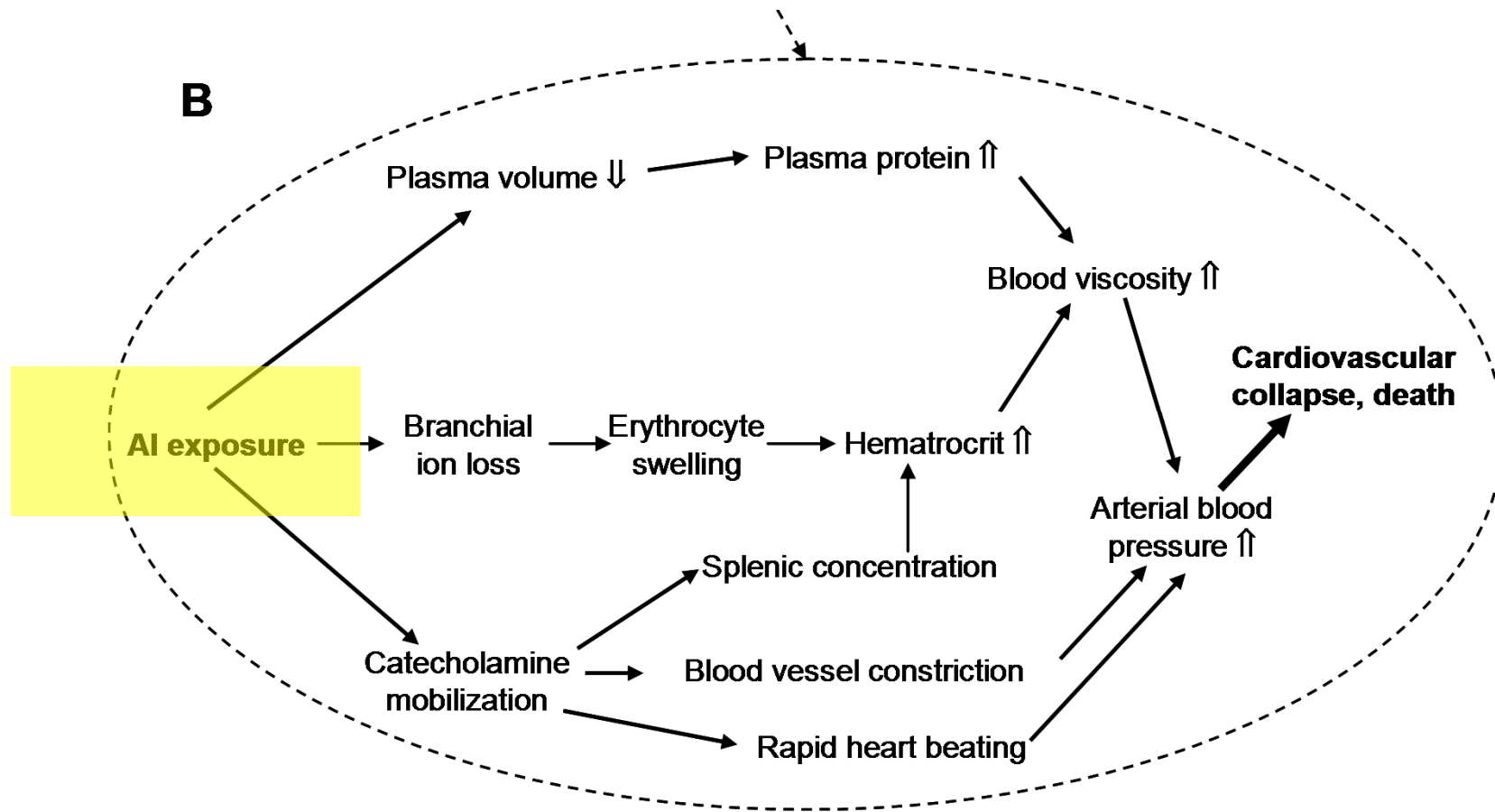
Elektronen-Mikrofotos von Kiemen der Regenbogenforellen-Larven, die 30 Tage exponiert wurden

aus Çalta (1999)

# Was passiert den Fischen? Rolle der Protonen



# Was passiert den Fischen? Rolle des Aluminiums



## Fazit

Insbesondere das gelöste, anorganische Aluminium führt in saurem Milieu zur Mortalität von Fischen

Es gibt etliche Beispiele, dass Fische sich in saurem, huminstoff-haltigem Wasser selbst bei pH 3,5 anpassen und entwickeln können ⇒ Beispiele

## Was passiert den Fischen?

Beispiele für recht saures Wasser mit Fischdiversität  
(abhängig von Ökosystemgröße)

- Moortümpel
  - Rio Negro, Amazonien
- Lagunen des „Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba“ (z.B. Lagoa Atoleiro, Macaé, RJ) ➔

## Was passiert den Fischen?

Lagoa Atoleiro, pH 3.0-3.5, 200 mg/L DOC



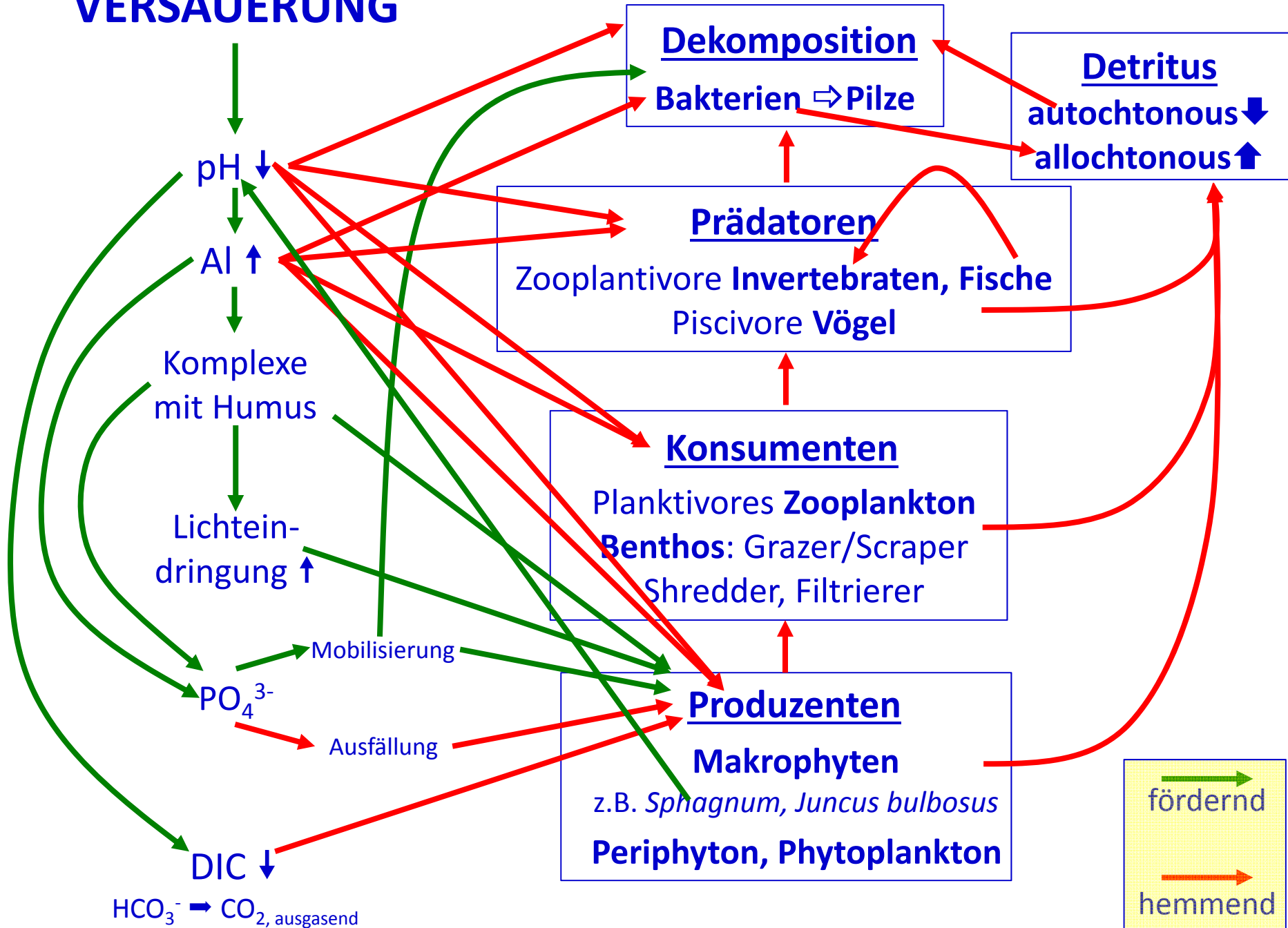
Mindestens 2 Fischarten



Rio Negro beherbergt >1.000 Fischarten

Ko-evolutionäre Anpassung an die Säure, biomolekulare und physiologische stabilisierende Wirkung von Huminstoffen

# VERSAUERUNG

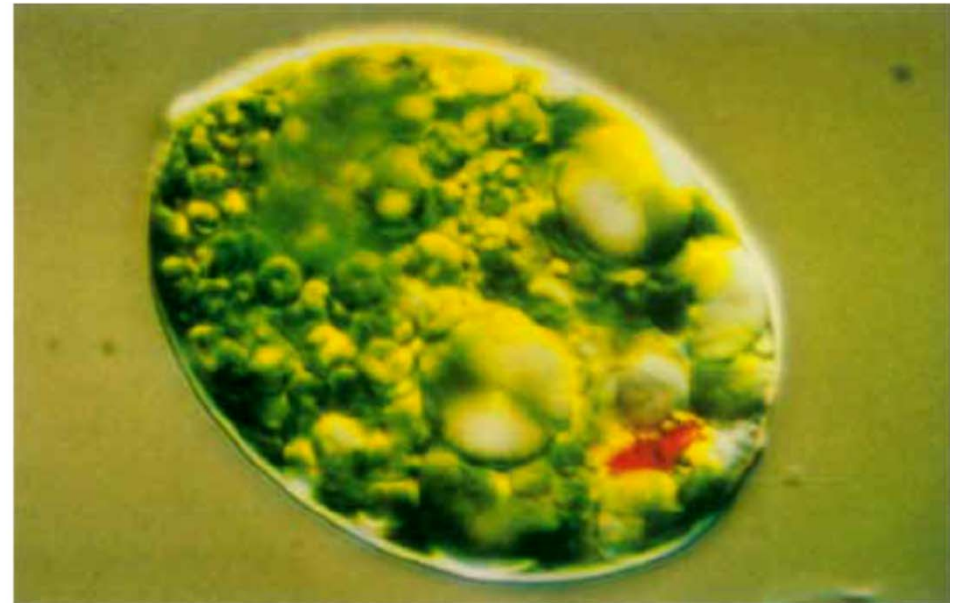




Versauerte Gewässer sind nicht tot,  
sondern nur gering biodivers

Es setzen sich „**Exoten**“ durch ⇒ Beispiele

## Augenfleck-Tierchen

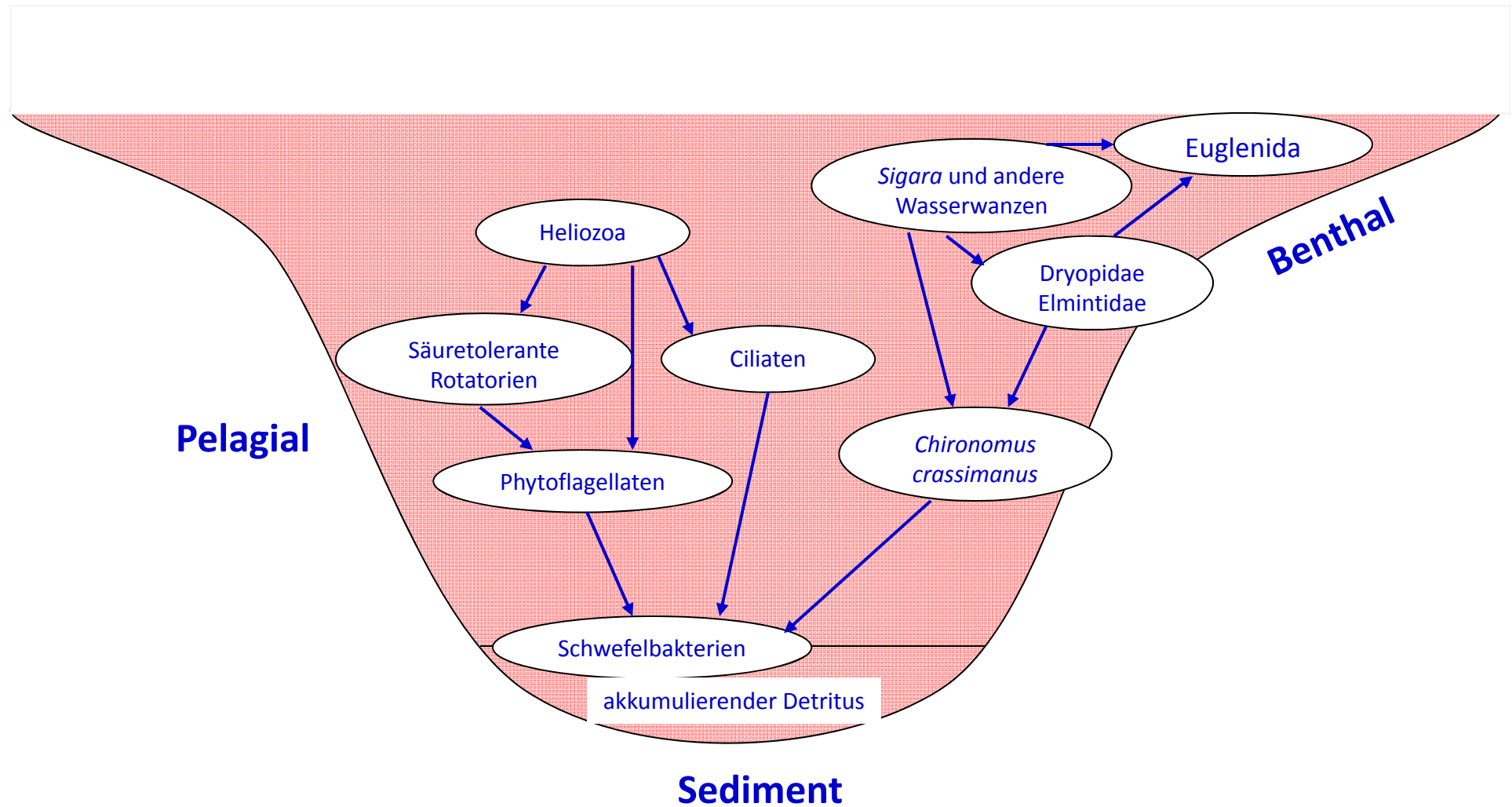


Die Euglenida *Euglena mutabilis* (links) und *Lepocinclis teres* forma *parvula* (rechts) in Mikrofotos. Bei *Lepocinclis* ist der rote Augenfleck sehr deutlich zu sehen.

aus: Steinberg et al. (1999)

Nahrungsketten sind kurz und durch Extremophila ausgezeichnet.  
Als wichtige Prädatoren treten häufig die sonst sehr seltenen Heliozoen,  
Wasserwanzen oder Wasserkäfer auf ➡

# Nahrungsnetz in einem See mit pH 2.0 (See 107, Lausitz)



ergänzt nach Lessmann et al. (1999)



## Pionier-Makrophyten



Foto von *Juncus bulbosus* f. *submersus*, der wichtigsten Pionierpflanze in den extrem sauren Seen. Dieses Foto entstand am Floßgraben im Gebiet der namenlosen Seen bei Plessa. Dieser Bach hat einen pH-Wert unter 3,0. Auf vielen *Juncus*-Pflanzen hat sich rostroter Eisenocker abgelagert, den die Pflanzen offenbar ertragen können, da sie aus dem Niederschlag herauswachsen.

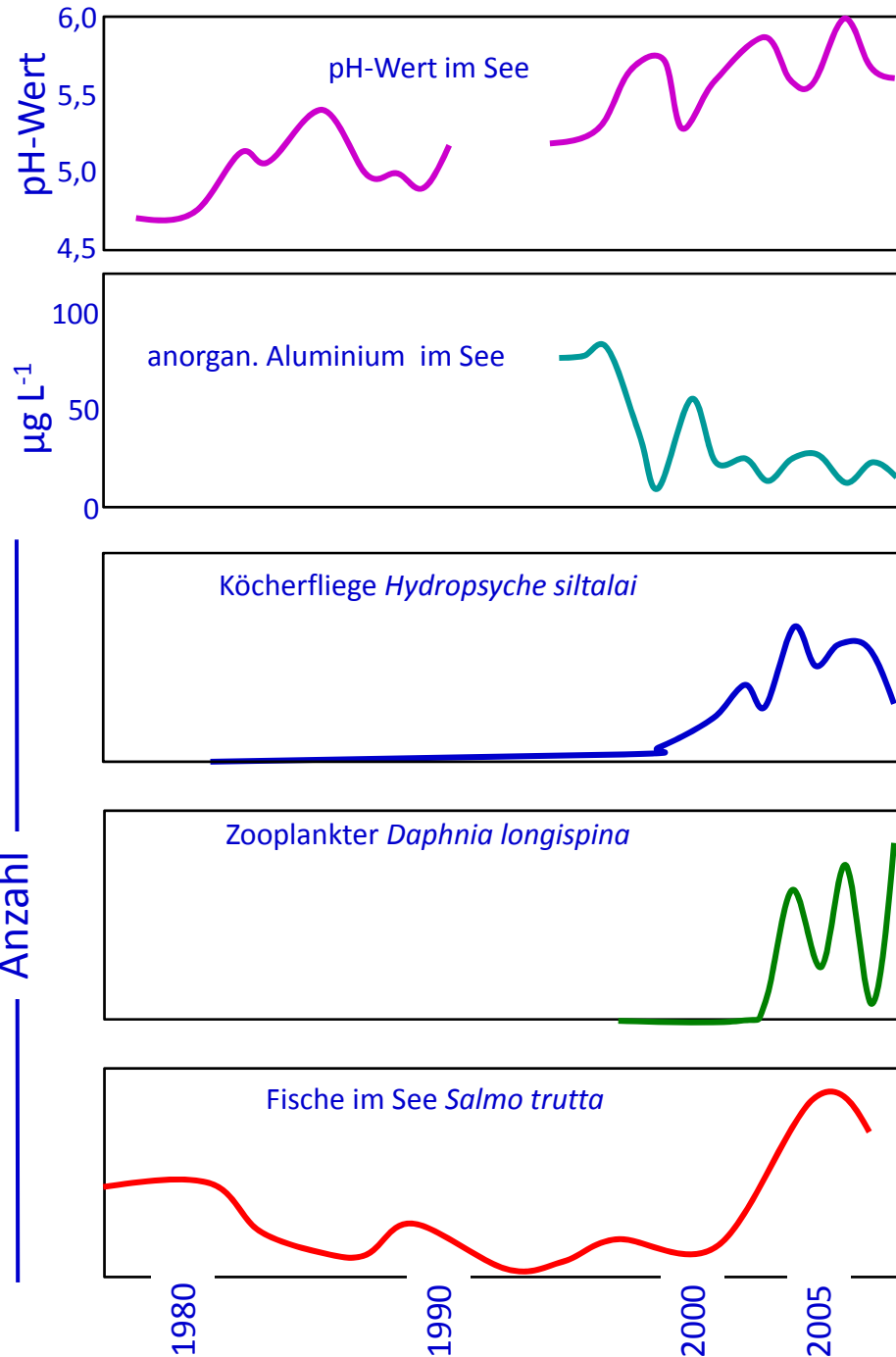
Das zweite Foto wurde rund einen Monat nach dem ersten an gleicher Stelle geschossen.

Erholung nach Verminderung der sauren  
Depositionen, allerdings mit zeitlicher Verzögerung  
ein Beispiel ➡

# Chemische und biologische Erholung im See Saudlandsvatn

Rückgang von anorganischem Aluminium, Anstieg des pH: dann erst Rückkehr sensativer Arten

Anzahl



vereinfacht nach Hesthagen et al. (2011)



## Literatur

- Andrén, C. M. & Eriksson Wiklund, A. K. 2013. *Sci. Total Environ.* **463-464**:690-699.
- Andrén, C. & Jarlman, A. 2008. *Fundam. Appl. Limnol.* **173**:237-253.
- Battarbee, R.W. *et al.* 1997. *Hydrobiologia* **348**, 69-80.
- Brown, G.E. 2012. *Sci. Total Environ.* **439**, 62-66.
- Çalta, M. 1999. *Turk. J. Zool.* **23**:285-291.
- Evans, C. D. *et al.* 2008. *Sci. Total Environ.* **404**:316-325.
- Genter, R.B., 1995. *Hydrobiologia* **306**, 7-19.
- Hesthagen, T. *et al.* 2011 *Sci. Total Environ.* **409**:2908-2916.
- Ikuta, K. *et al.* 1999. *UJNR Technical Report* **28**.
- Kowalik, R.A. *et al.* 2007. *Glob. Change Biol.* **13**, 2439-2452.
- Lessmann, *Hydrobiologia* **408-409**, 293-299.
- MacDougall, S.E. *et al.* 2008. *Northeast. Nat.* **15**, 189-208.

## Literatur, Fortsetzung

- Monteith, D. T. *et al.* 2007. *Nature* **450**:537-40.
- Renberg, I. & Hellberg, T. 1982. *Ambio* **11**:30–33.
- Schlesinger, W. H. 1997. Academic Press, San Diego, 588 S.
- Schneider, S. & Lindstrøm, E. A. 2009. *Ecol. Indicat.* **9**:1206-1211.
- Seppä, H. & Weckström, J. 1999. *Écoscience* **6**:621-635.
- Smith, T. M. & Smith, R. L. 2008. Pearson, 736 S.
- Steinberg, C. 1991. *Water Res.* **25**:1453-1458.
- Steinberg, C. *et al.* 1999. *Biol. uns. Zeit* **29**:98-109.
- Steinberg, C. *et al.* 1987. *Global Biogeochem. Cy.* **1**:89-95.
- Steinberg, C. *et al.* 1988. *J. Paleolimnol.* **1**:149-57.
- Steinberg, C. & Putz, R. 1991. *Verh. Intern. Verein. Limnol.* **24**:1877-1880.
- Ulrich, B. & Büttner, G. 1985. *Inf. zur Raumentw.* **10**:879-891.
- Vrba, J. *et al.* 2003. *Sci. Total Environ.* **310**:73-85.