

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Untersuchungen zu Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

**Auftraggeber:** Sächsisches Landesamt  
für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

**Auftragnehmer:** Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann  
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden  
IDUS Biologisch-Analytisches Umweltlabor GmbH  
Radeberger Str. 1, 01458 Ottendorf-Okrilla

**Bearbeiter:** Dr. Wilfried Uhlmann (IWB)  
Dr. Yvonne Kreuziger (IWB)  
Dipl.-Biol. Rainer Kruspe (IDUS)  
Dipl.-Biol. Jürgen Neumann (IDUS)



Europäische Union. Europäischer Fonds für  
regionale Entwicklung: Investition in Ihre  
Zukunft / Evropská unie. Evropský fond pro  
regionální rozvoj: Investice do vaší budoucnosti



Ziel 3 | Cíl 3

Ahoj sousede. Hallo Nachbar.  
2007-2013. [www.ziel3-cil3.eu](http://www.ziel3-cil3.eu)



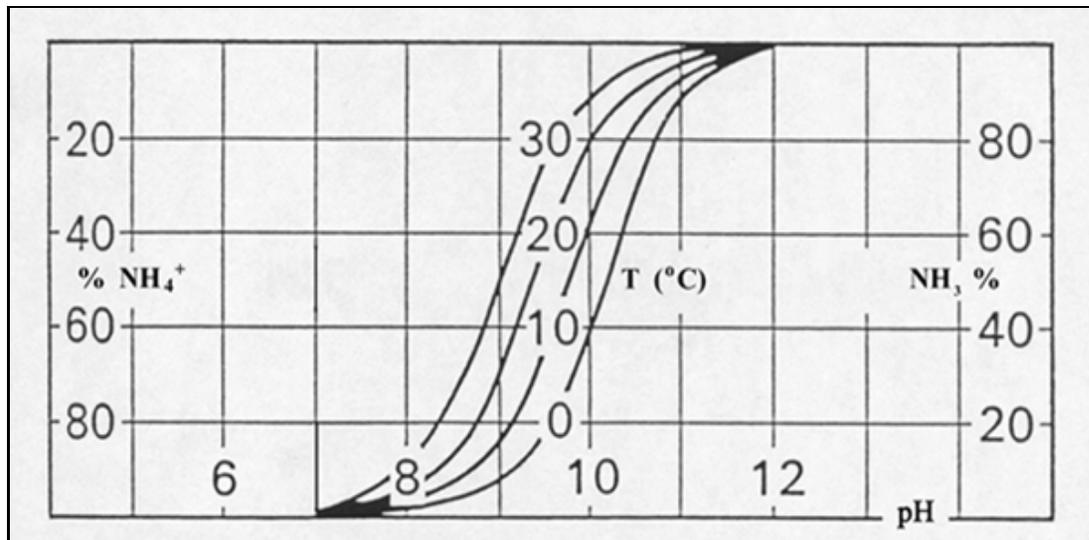
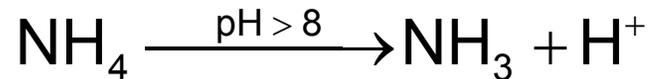
## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Aufgabenstellung

1. Spezifische Problemstellung im Braunkohlenbergbau
2. Rechtliche Grundlagen
3. Ammoniumquellen und -potentiale
4. Wege des Ammoniums im Gewässer
5. Auswirkungen von Ammonium und Gefährdungspotentiale
  - 5.1 Auswirkungen auf Lebensgemeinschaften und Nutzungen
  - 5.2 Ableitung von Schwellenwerten
  - 5.3 Vermischung verschiedener Wässer
  - 5.4 Auswirkungen der Primärneutralisation
  - 5.5 Lokalisierung der Gefahrenpotentiale
6. Verfahren der Ammoniumverminderung
7. Maßnahmen im Untersuchungsgebiet

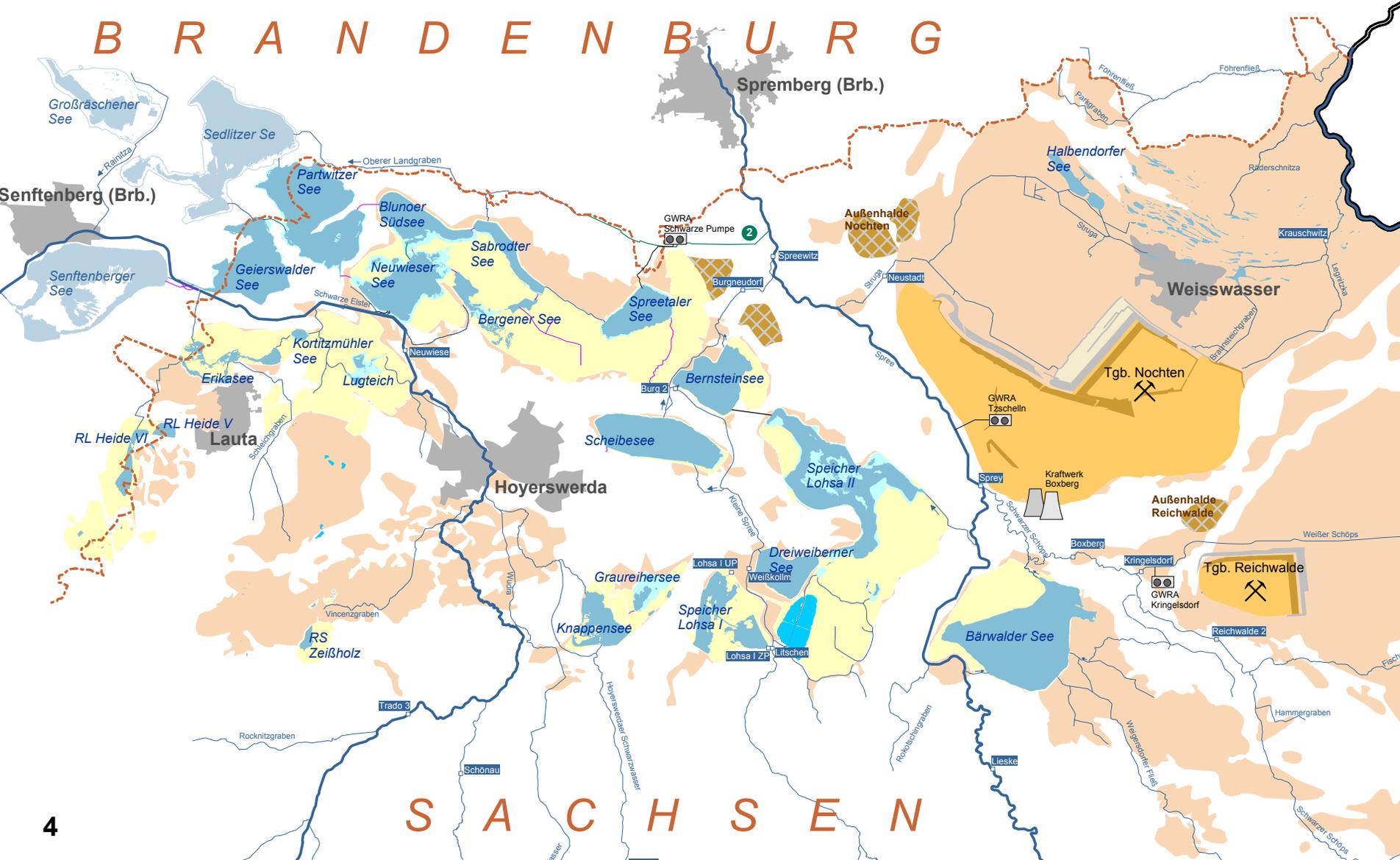
## Spezifische Problemstellung

- Teilweise hohe Ammoniumkonzentrationen in bergbaubeeinflussten Wasserkörpern (Grundwasser, Bergbaufolgeseen)
- Ausleitungskriterien (< 1,5 mg/L) oft nicht erfüllt
- Fischtoxische Wirkung von Ammoniak
- Relevante Konzentrationen von  $\text{NH}_3$  bei  $\text{pH} > 8$



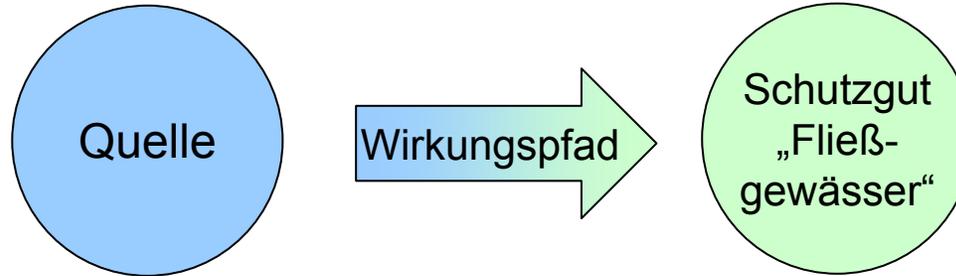
## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Gebietsübersicht



## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

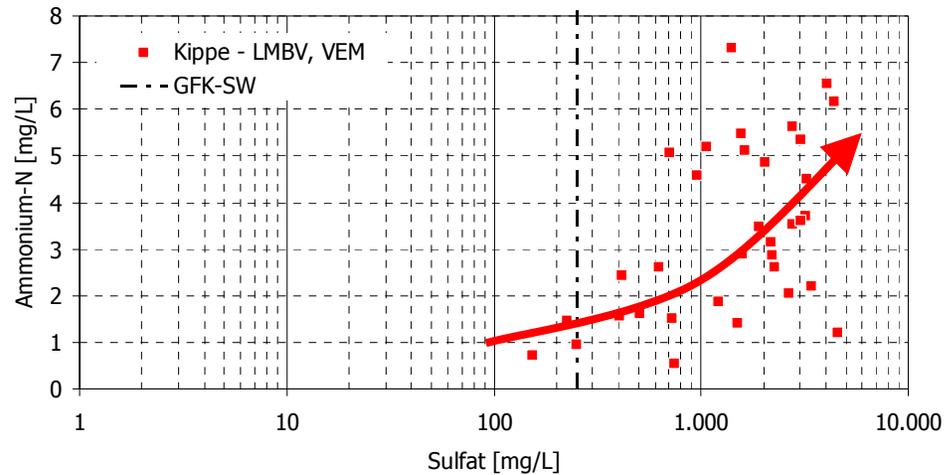
# Ammoniumquellen



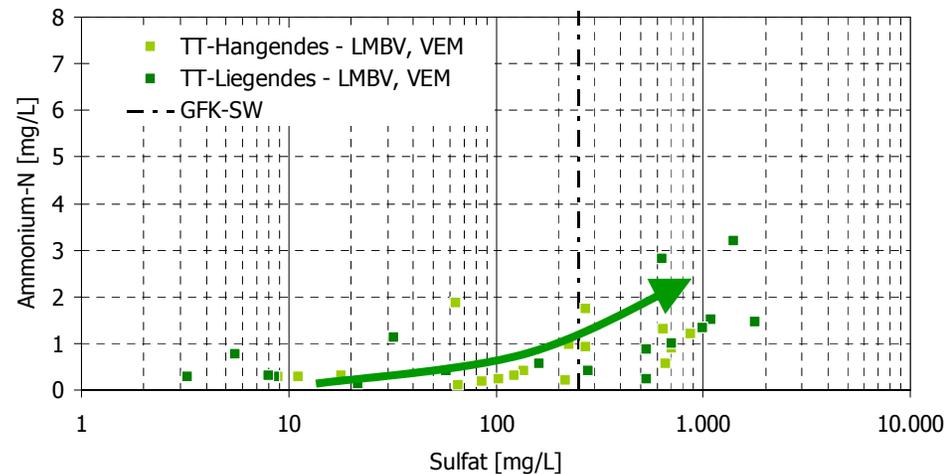
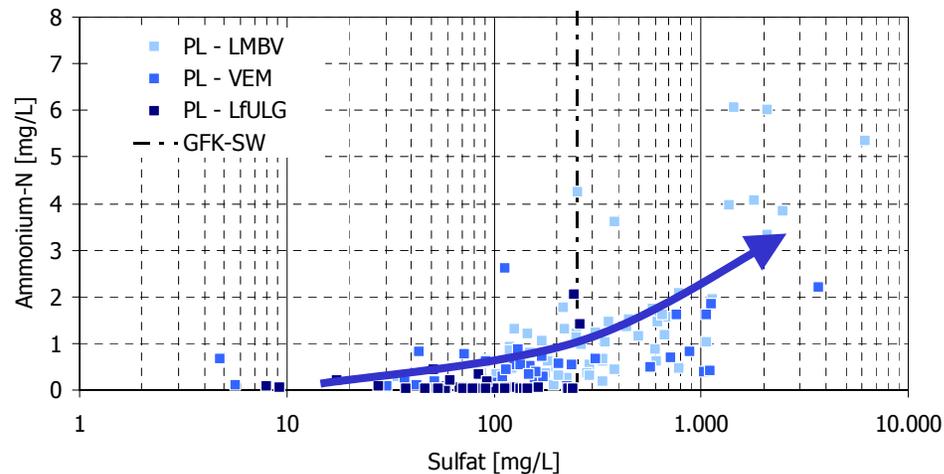
- I Grundwasser
  - I.1 Kippen
  - I.2 Gewachsene Grundwasserleiter im Absenkungstrichter
- II Tagebauseen
- III Direkteinleiter
  - III.1 Grubenwasserbehandlungsanlagen
  - III.2 Kommunale Kläranlagen
  - III.3 Industrielle Einleiter
- IV Landnutzung

# Ammonium im Grundwasser

(Daten 2010/2011: VEM, LMBV, LfULG)



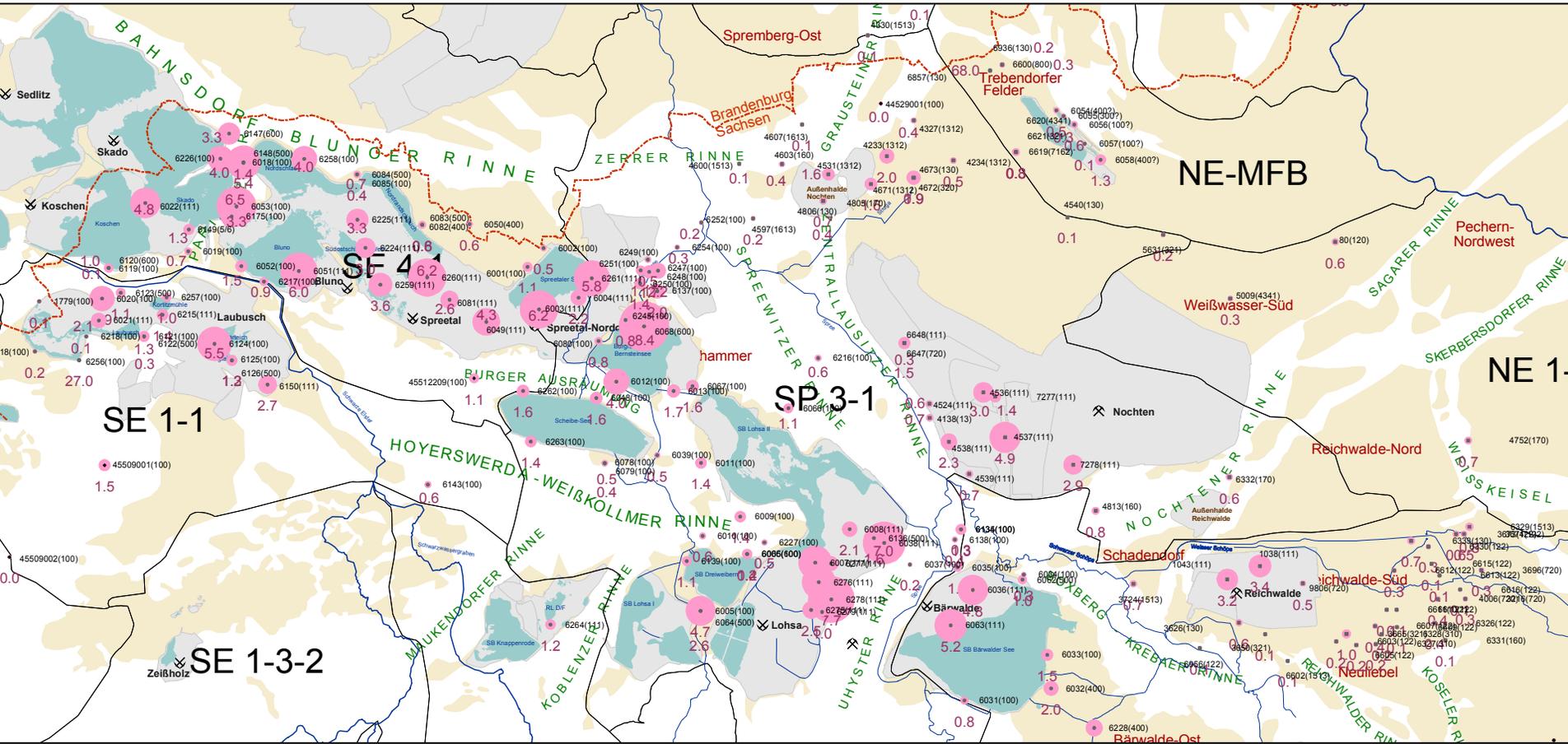
Formaler Zusammenhang  
 mit der Pyritverwitterung!



# Ammonium im Grundwasser

Grundwassermessstellen VEM, LMBV und LfULG

(Zustand 2011)



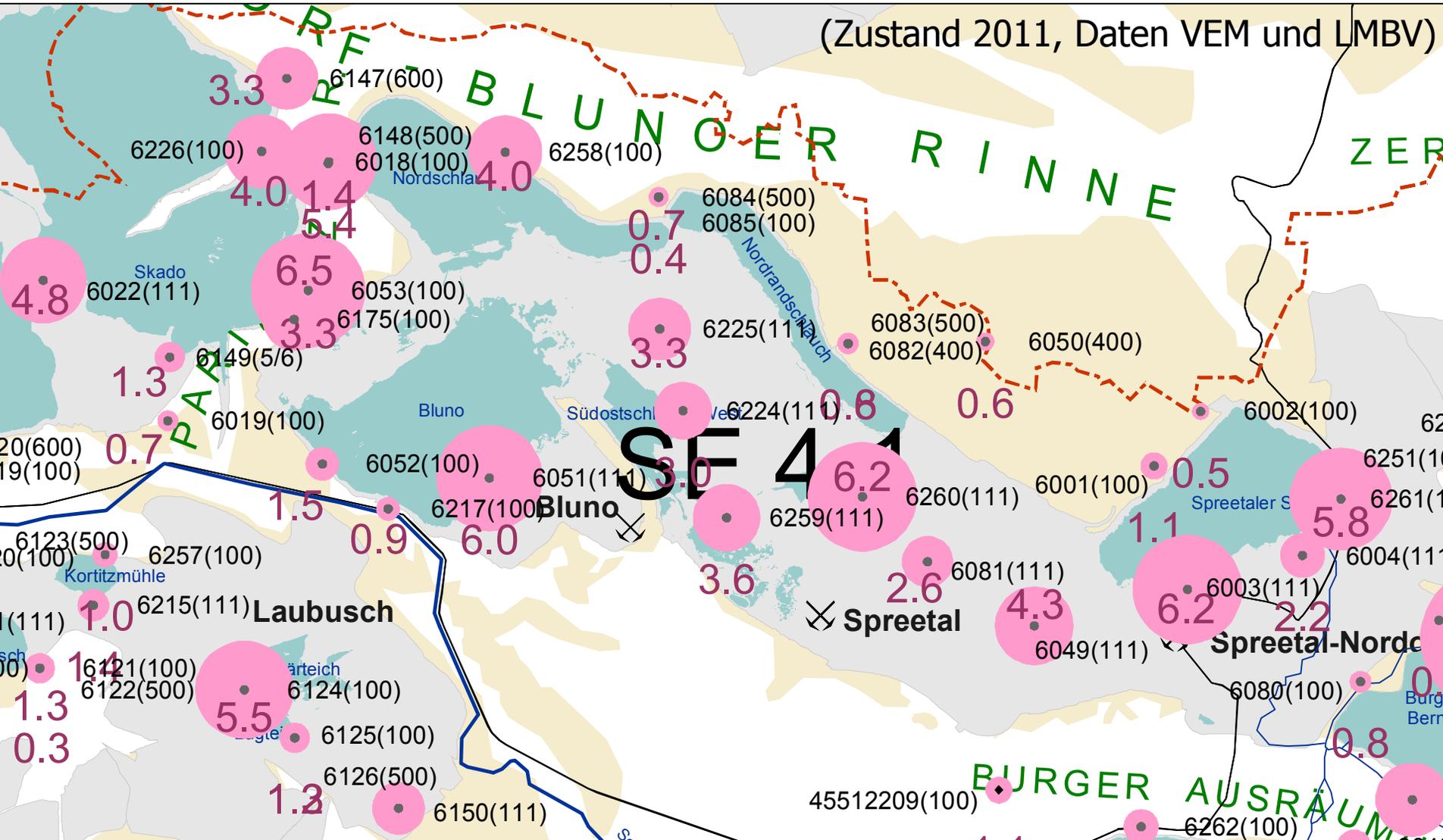
Ammonium-N in mg/L

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium im Grundwasser

Ammonium-N in mg/L

(Zustand 2011, Daten VEM und LMBV)

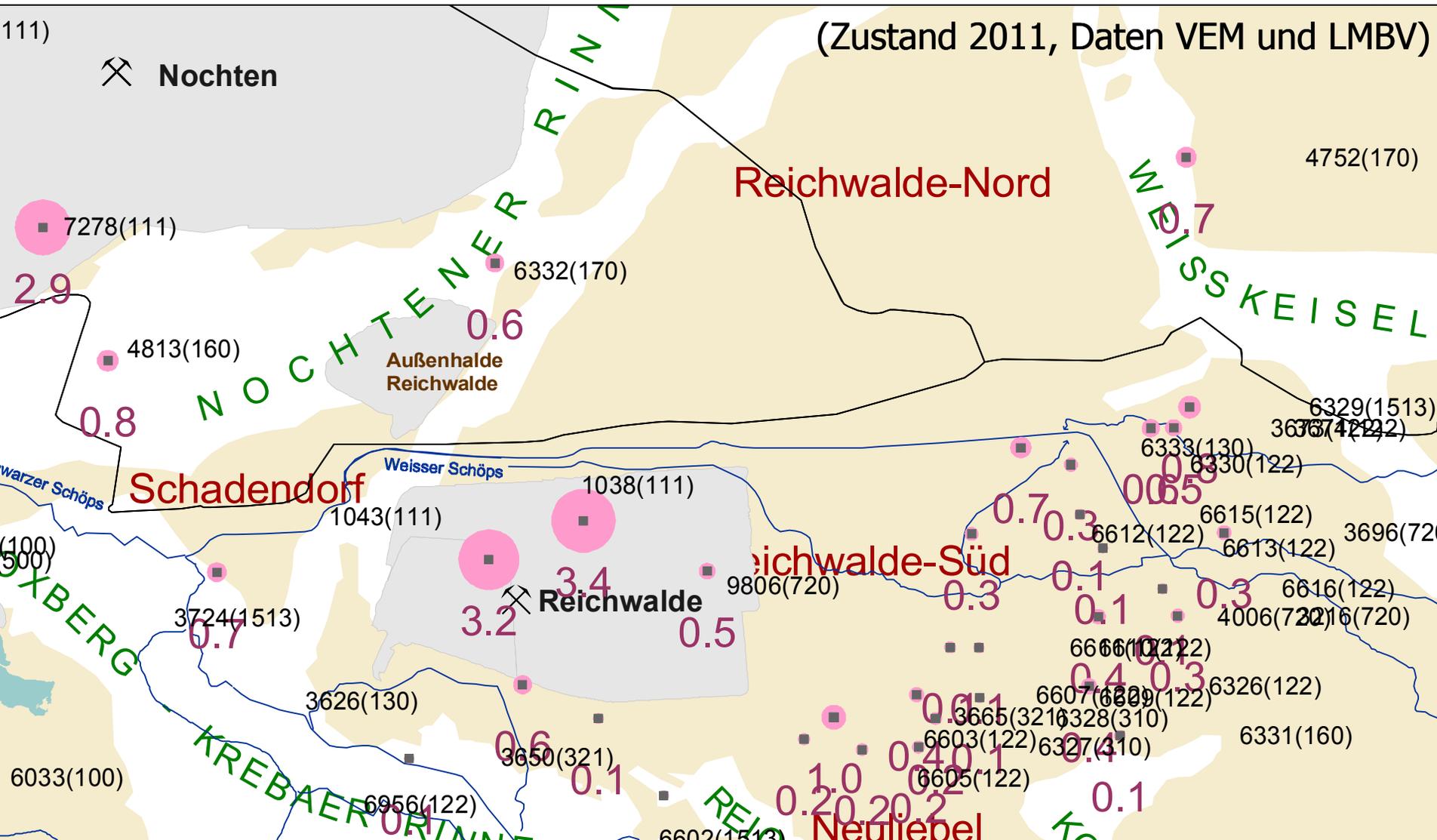


## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium im Grundwasser

Ammonium-N in mg/L

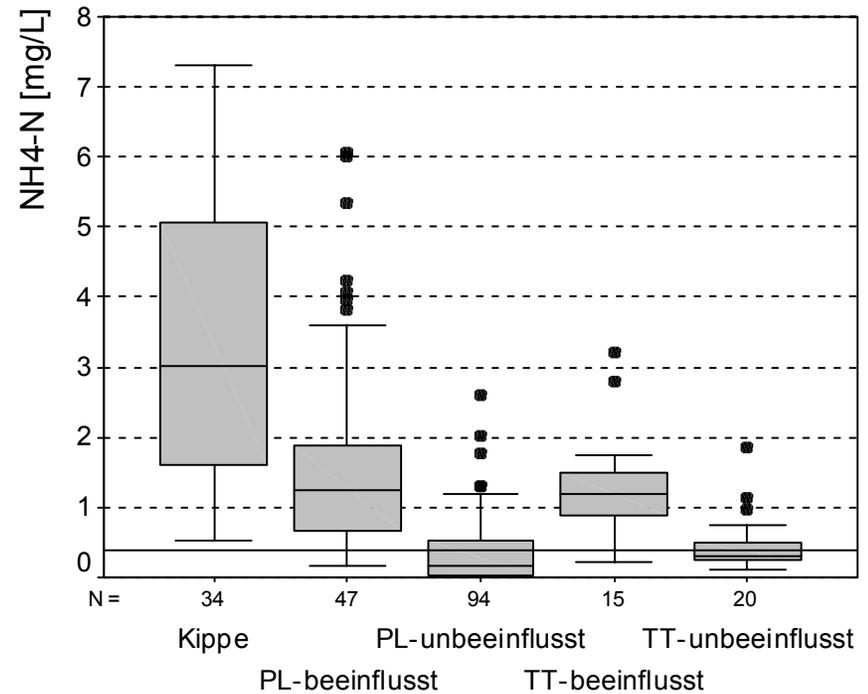
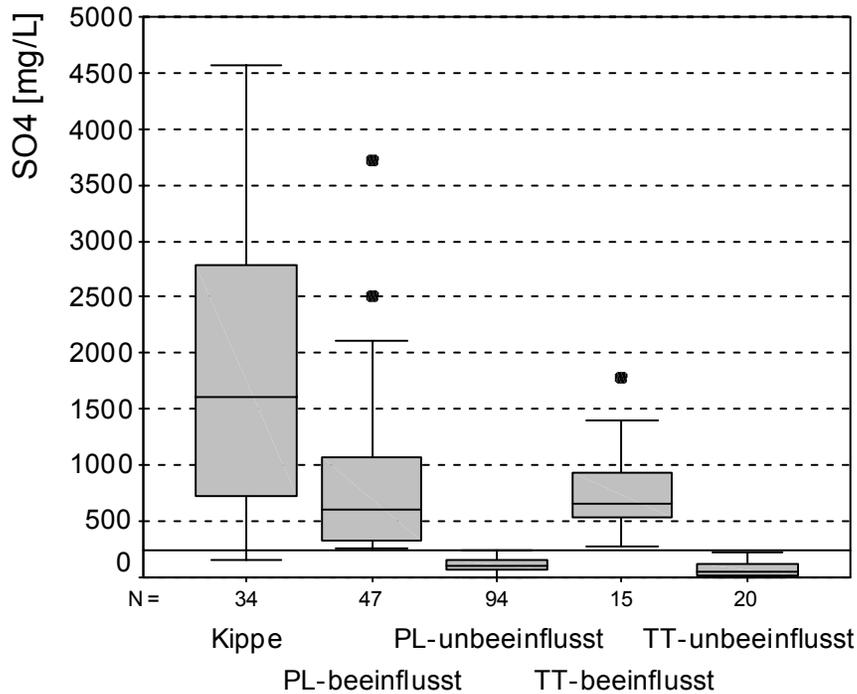
(Zustand 2011, Daten VEM und LMBV)



# Ammonium im Grundwasser

## Gruppierung nach Bergbaueinfluß

(Daten 2010/2011: VEM, LMBV, LfULG)



# Ammonium im Grundwasser

## Herkunft

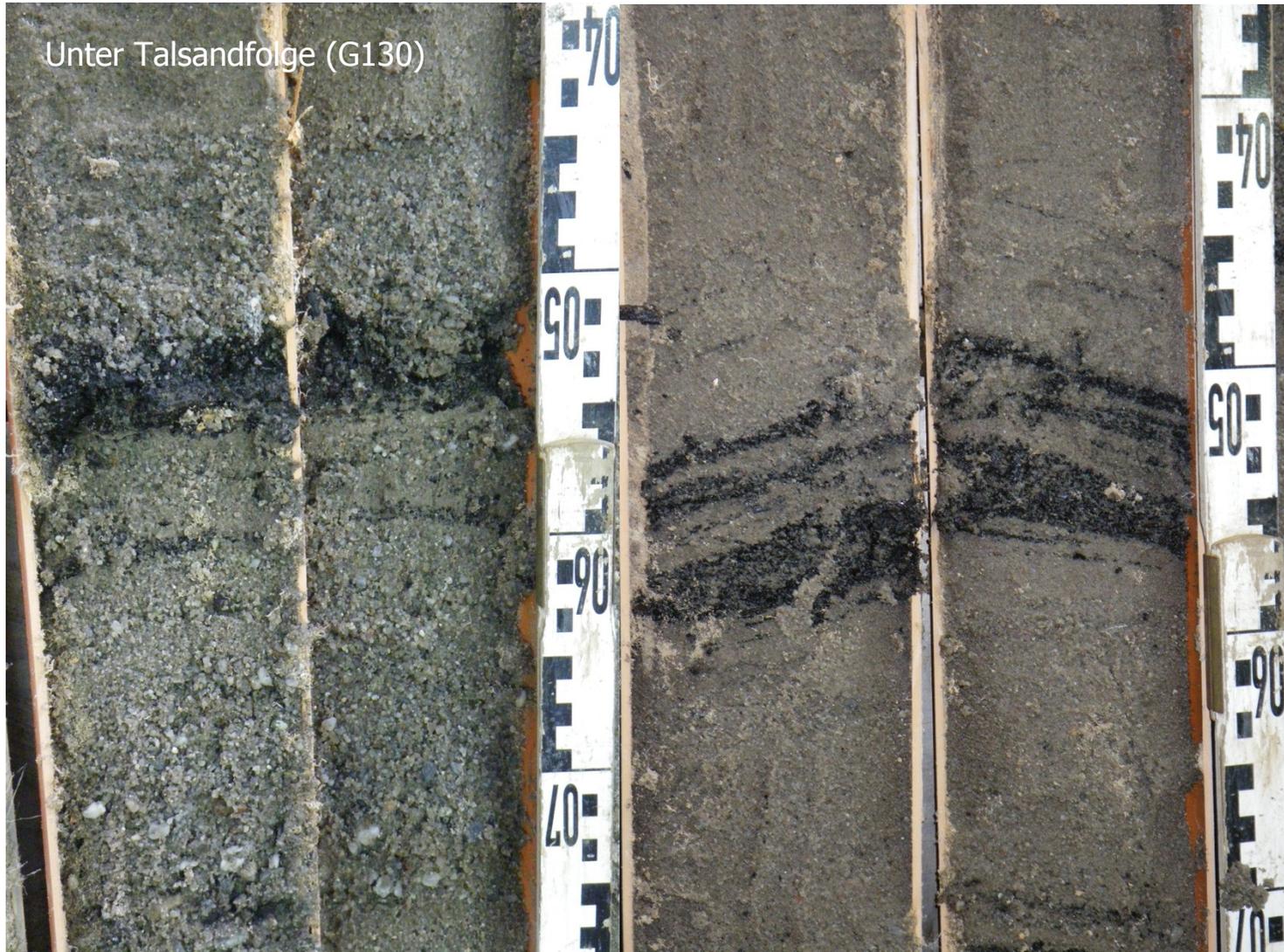
Braunkohlen-  
abraumkippen



# Ammonium im Grundwasser

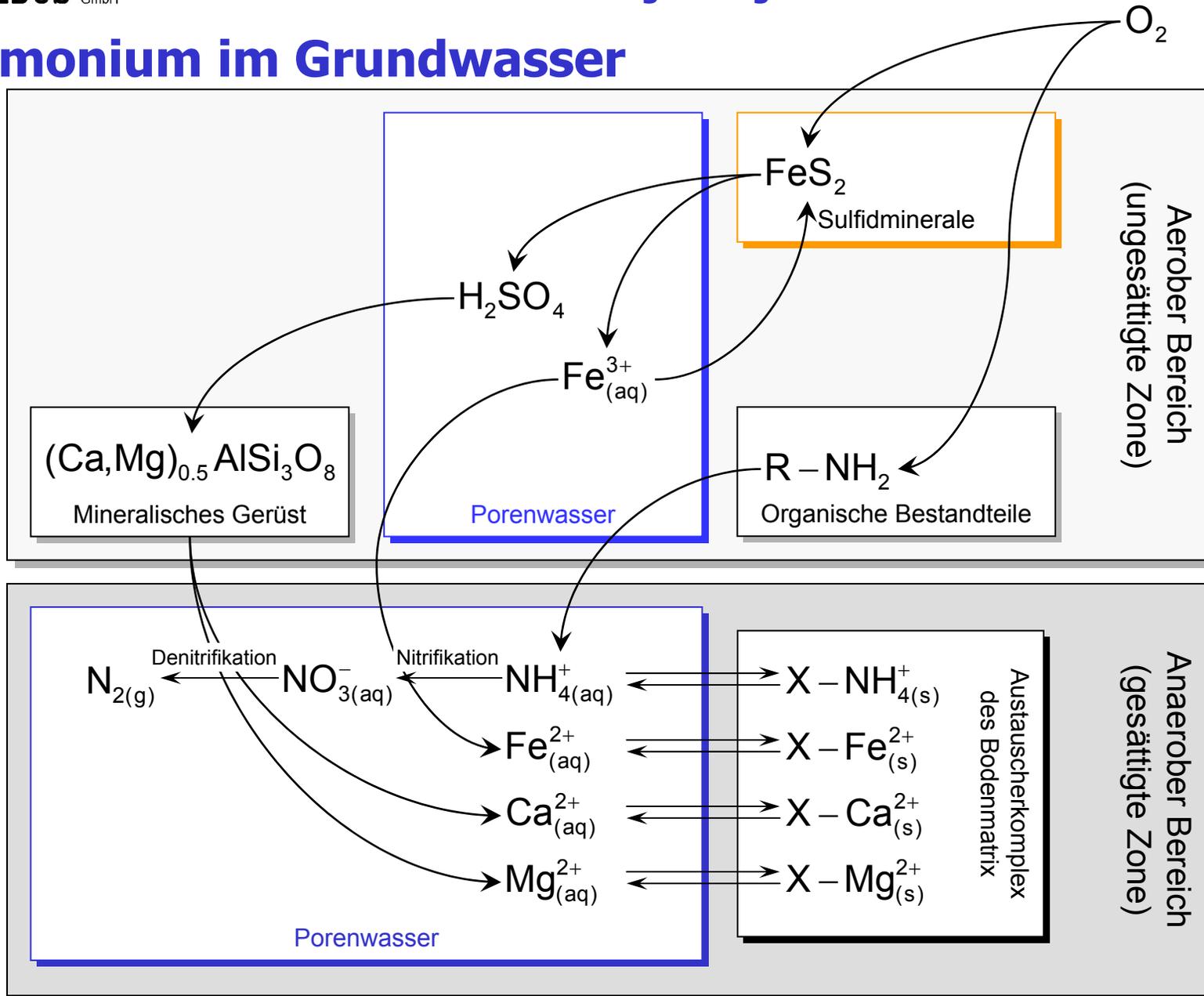
## Herkunft

Gewachsene  
Grundwasser-  
leiter



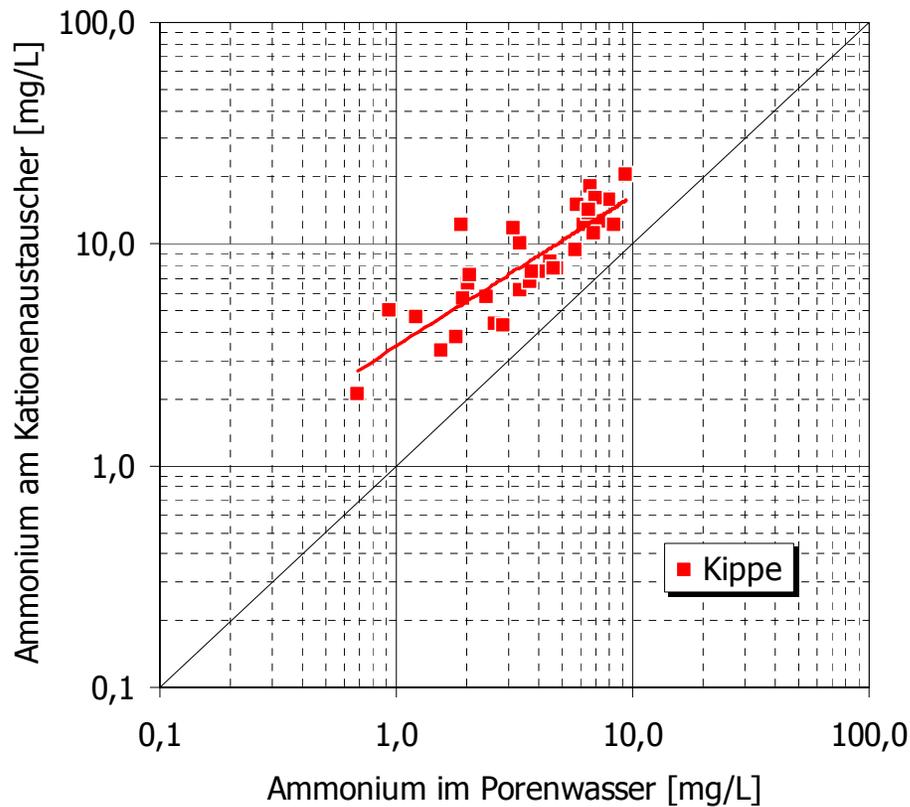
## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium im Grundwasser



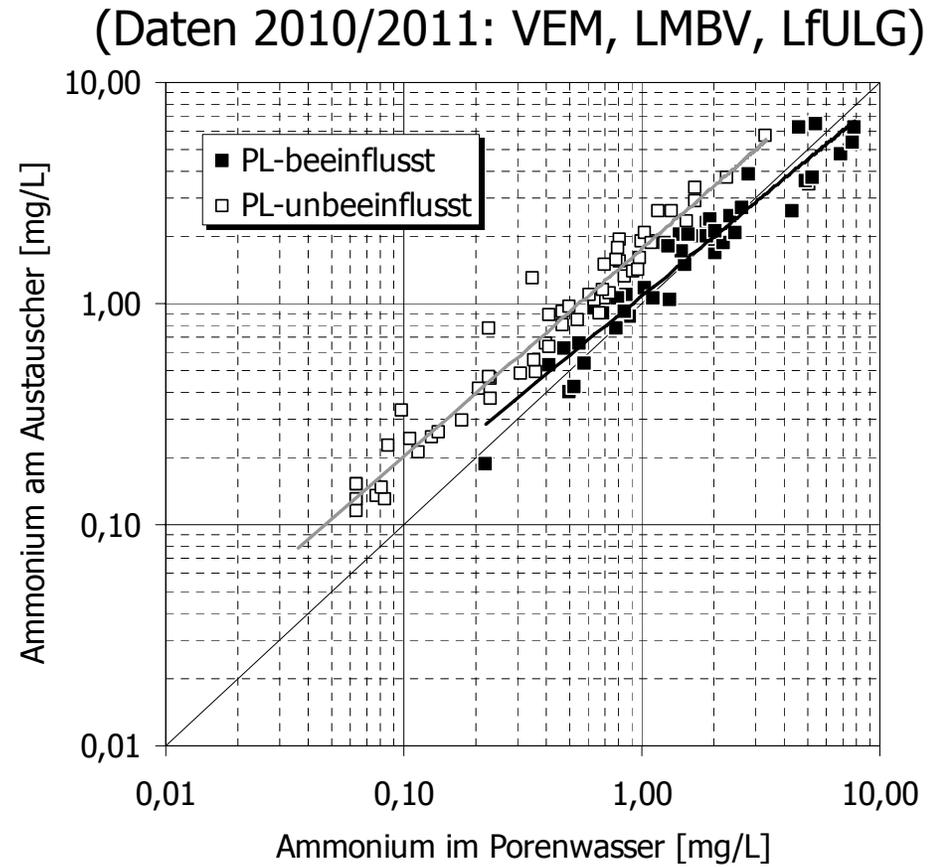
## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium im Grundwasser



**KAK = 30 meq/kg**

**2- bis 4-fach am Boden**

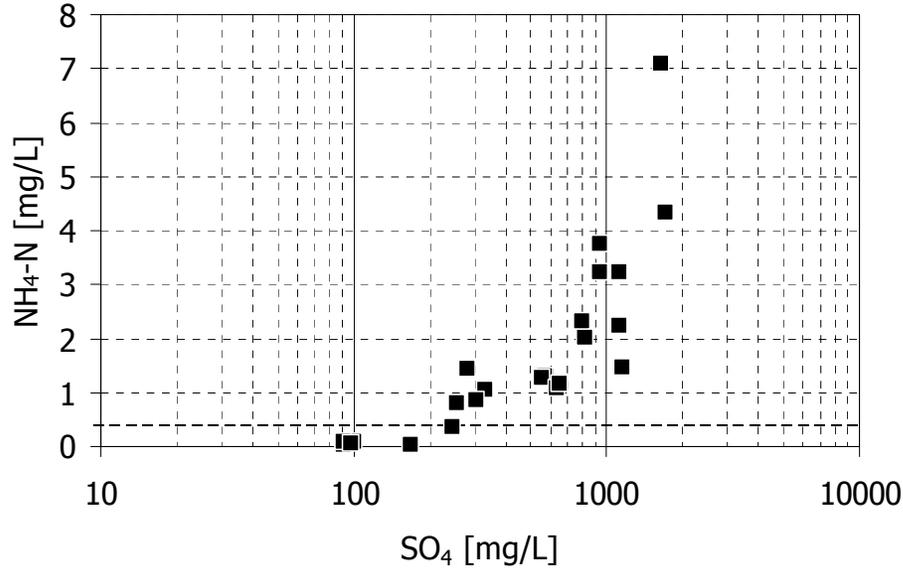


**KAK = 10 meq/kg**

**1- bis 2-fach am Boden**

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

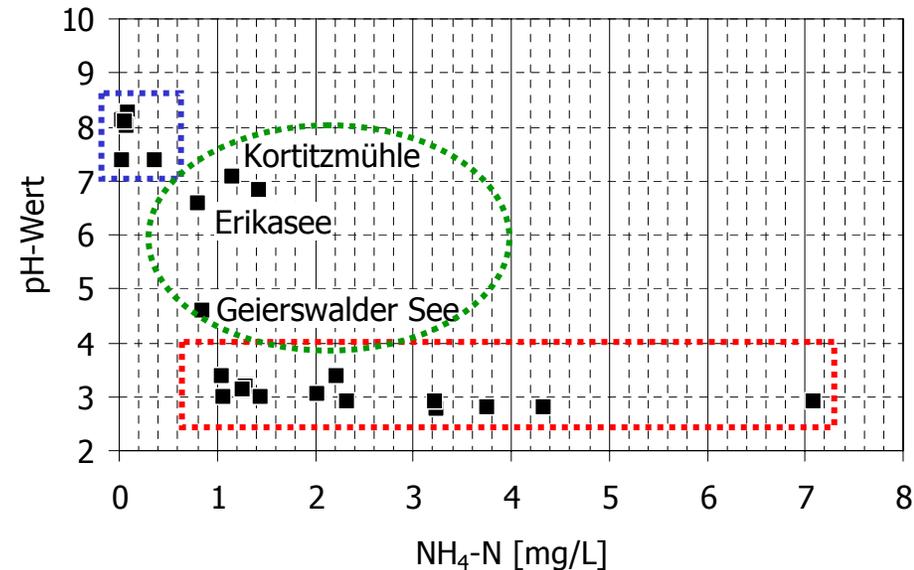
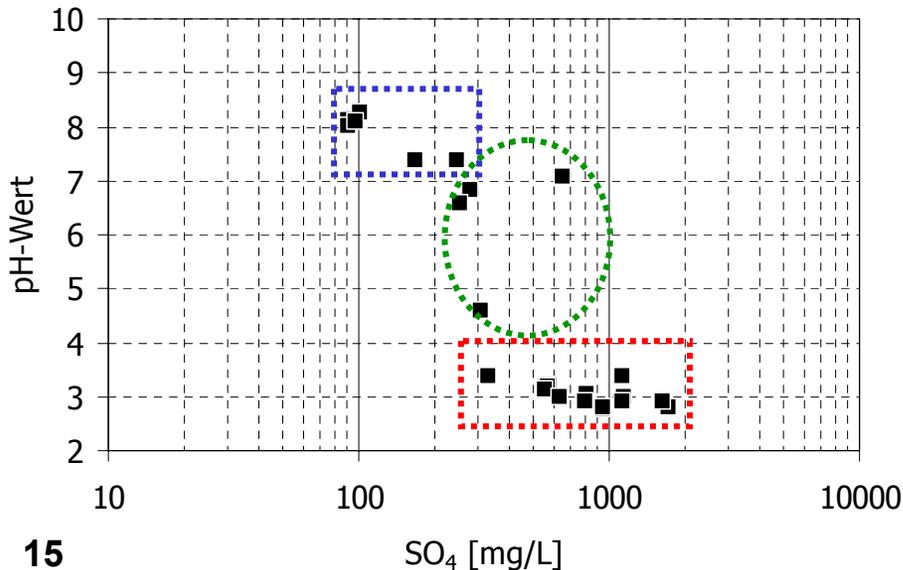


## Muster der Ammoniumbelastung

Neutrale/neutralisierte Bergbaufolgeseen

Saure Bergbaufolgeseen

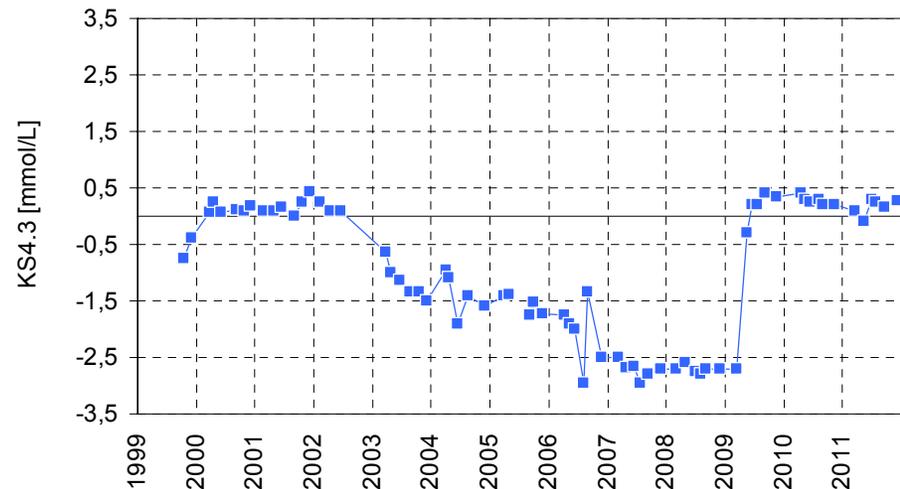
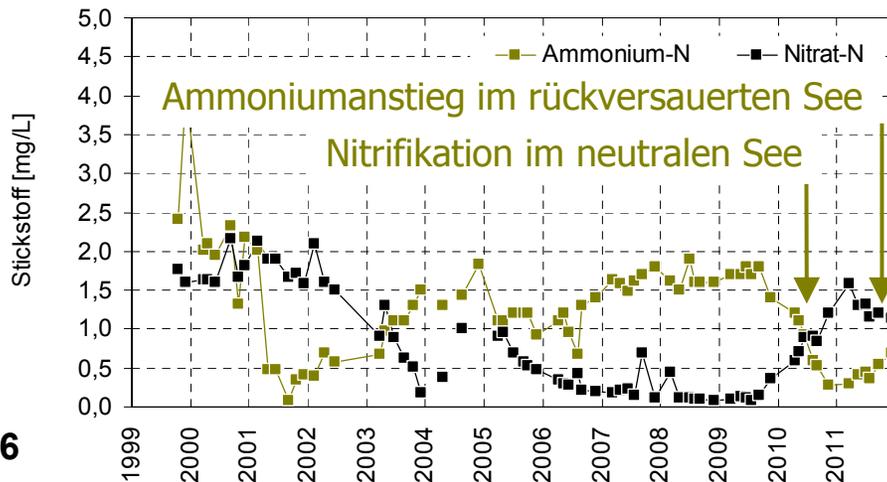
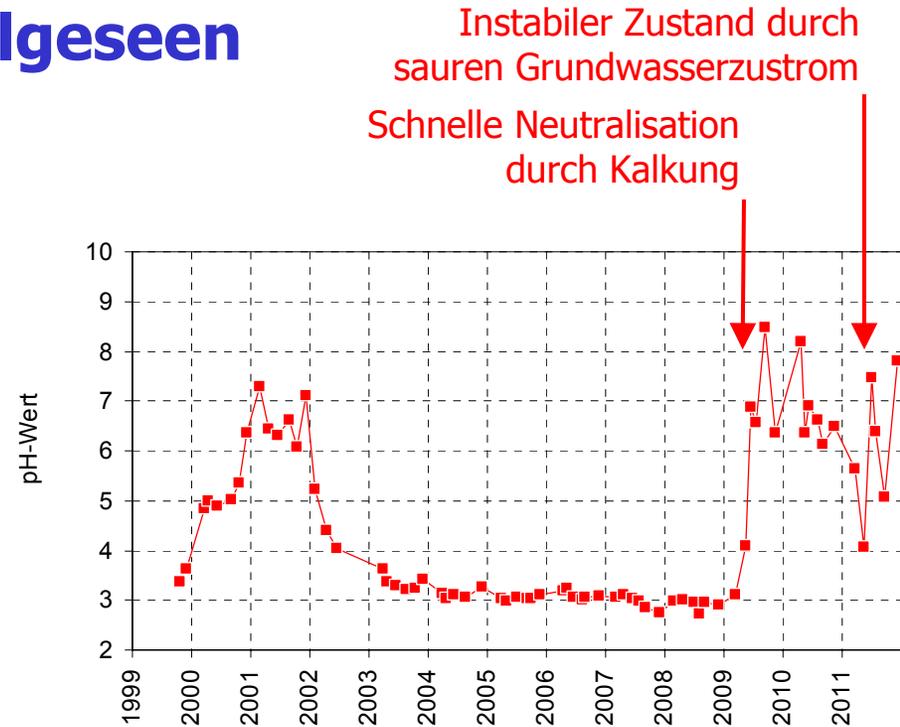
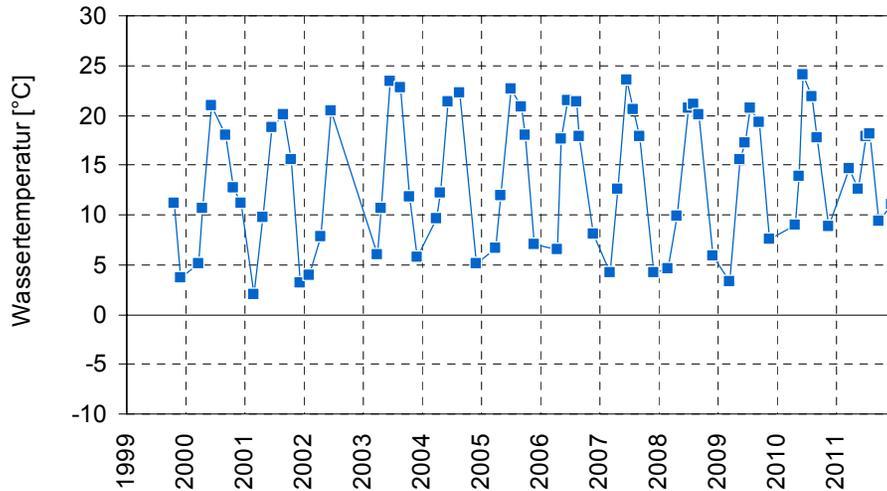
Indifferente Bergbaufolgeseen



# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

## Chemische Neutralisation

Burghammer (G1.221 oberflächennah)



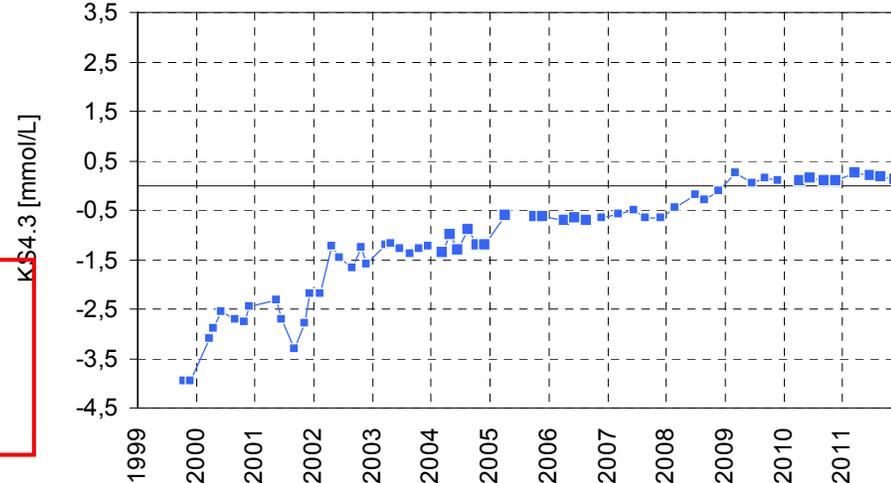
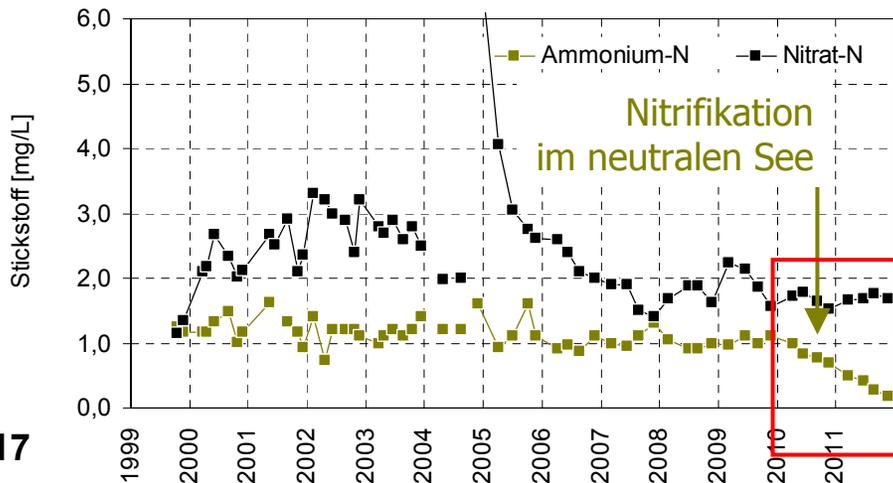
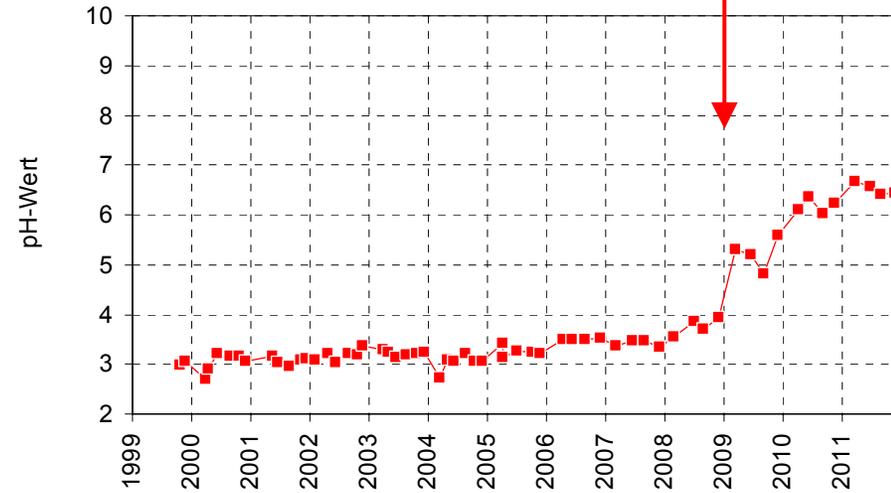
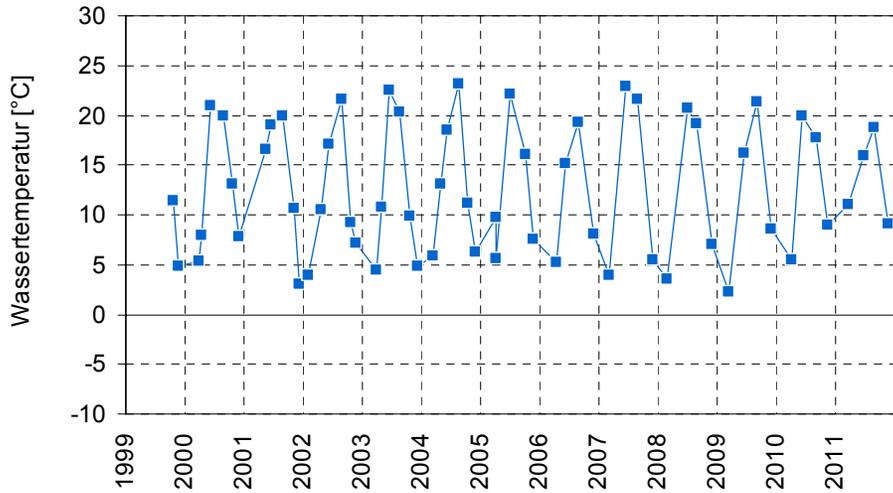
## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

## Neutralisation durch Flutung

Bärwalde (G1.081 – oberflächennah)

Langsame  
 Neutralisation  
 durch Verdünnung  
 und Verdrängung

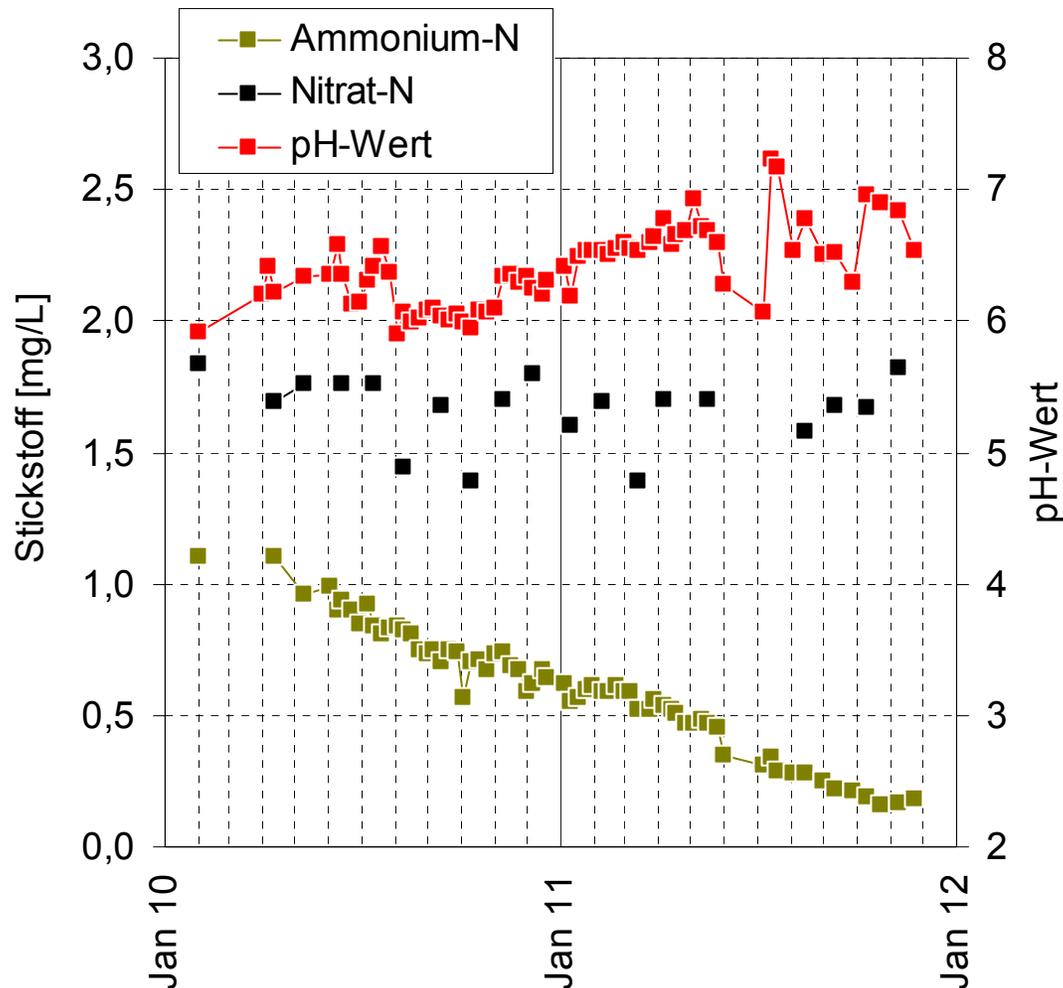


## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

## Neutralisation durch Flutung

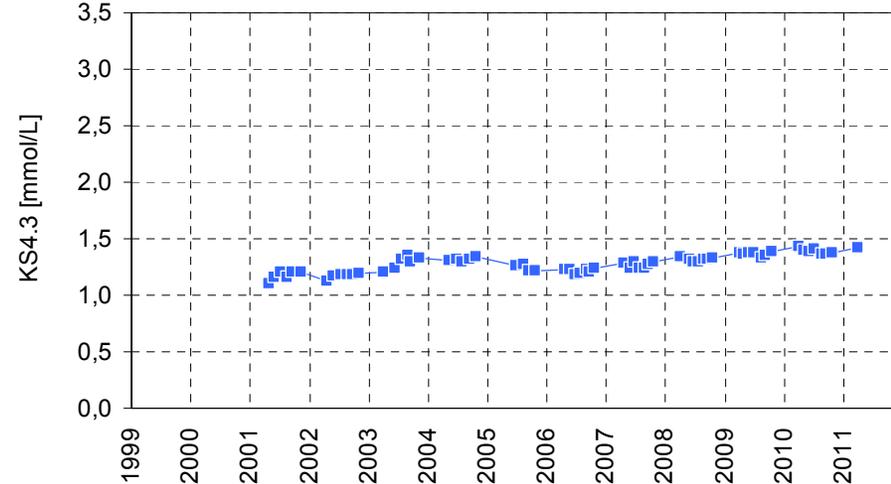
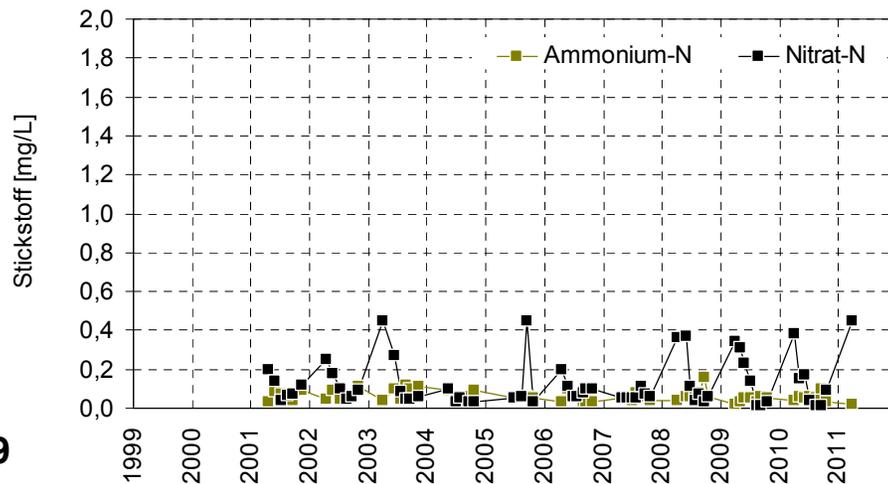
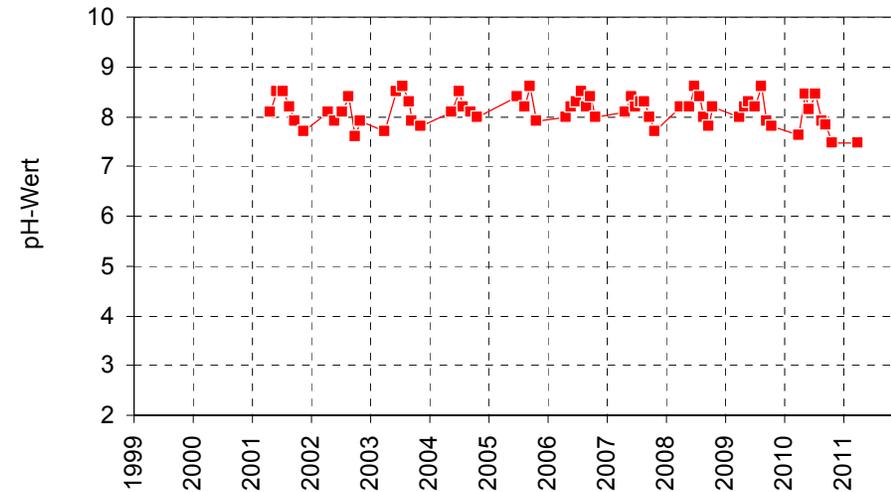
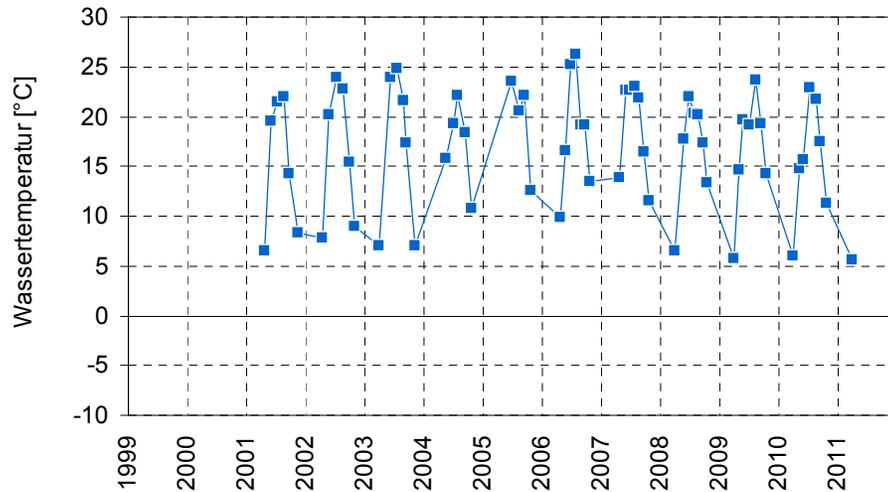
Ausleiter Bärwalde (F1.061)



# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

## Langfristig neutrale Bergbaufolgeseen

SB Lohsa I (Loh1\_3\_500 - Profilmischprobe)

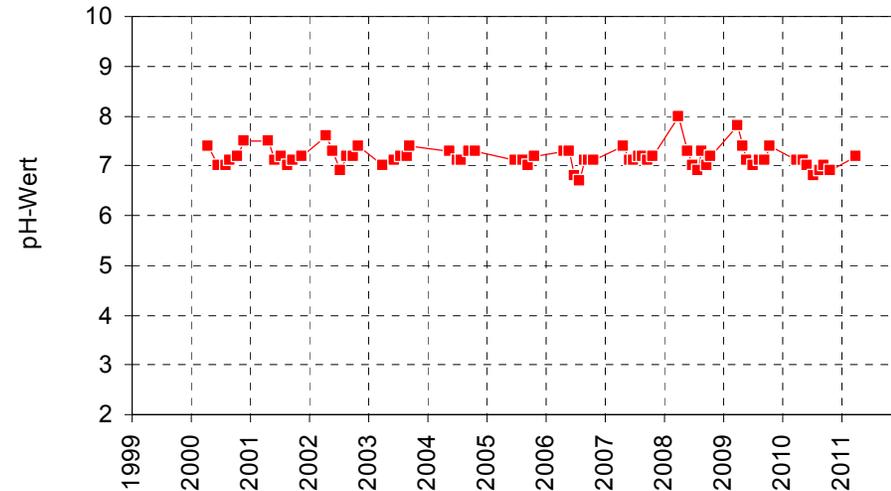
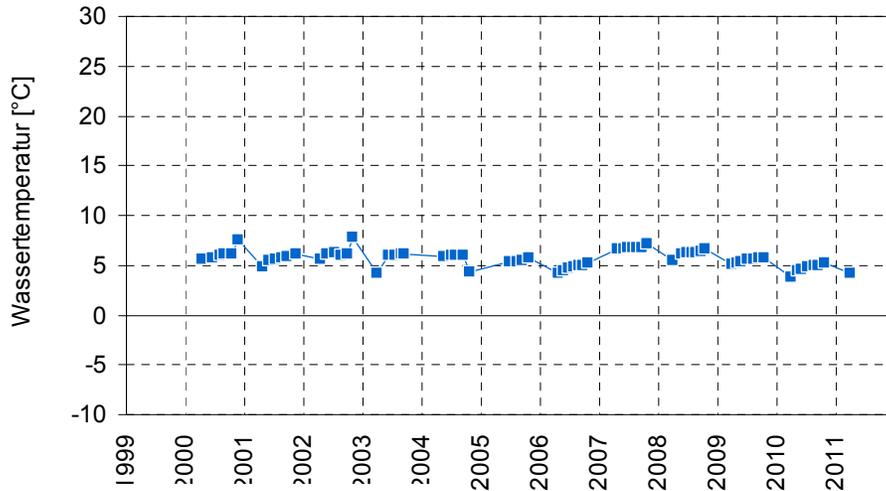


## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

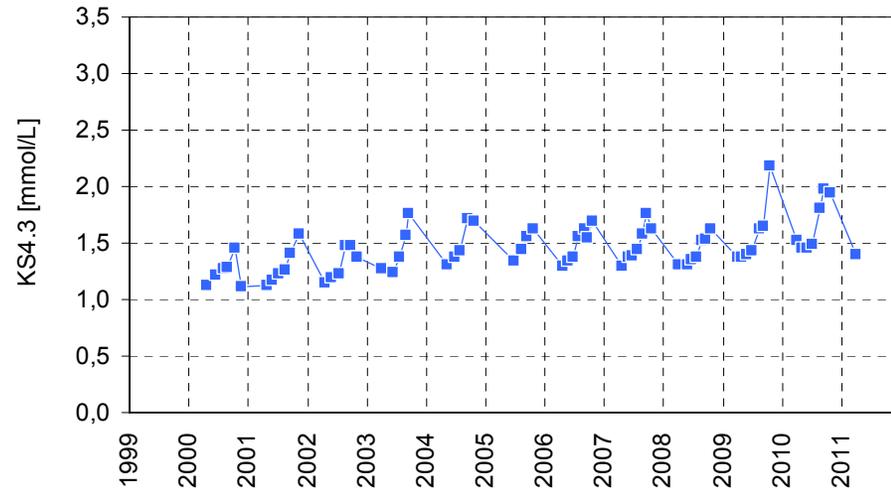
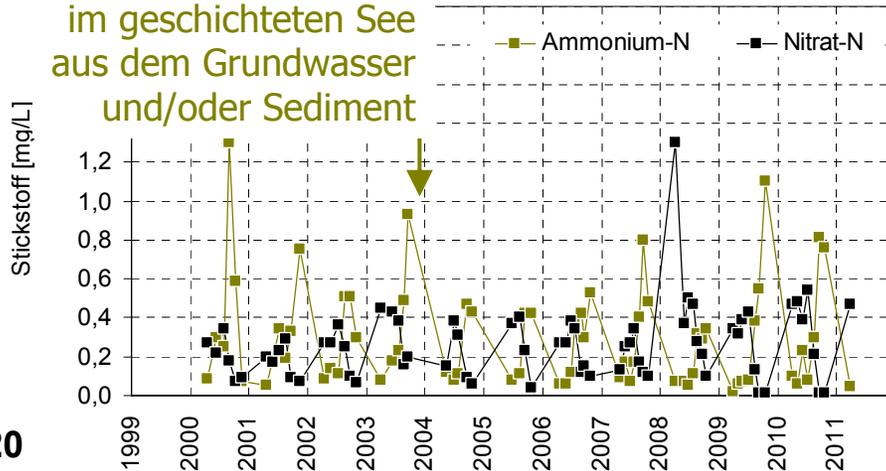
# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

## Langfristig neutrale Bergbaufolgeseen

SB Lohsa I (Loh1\_3\_500 - grundnah)



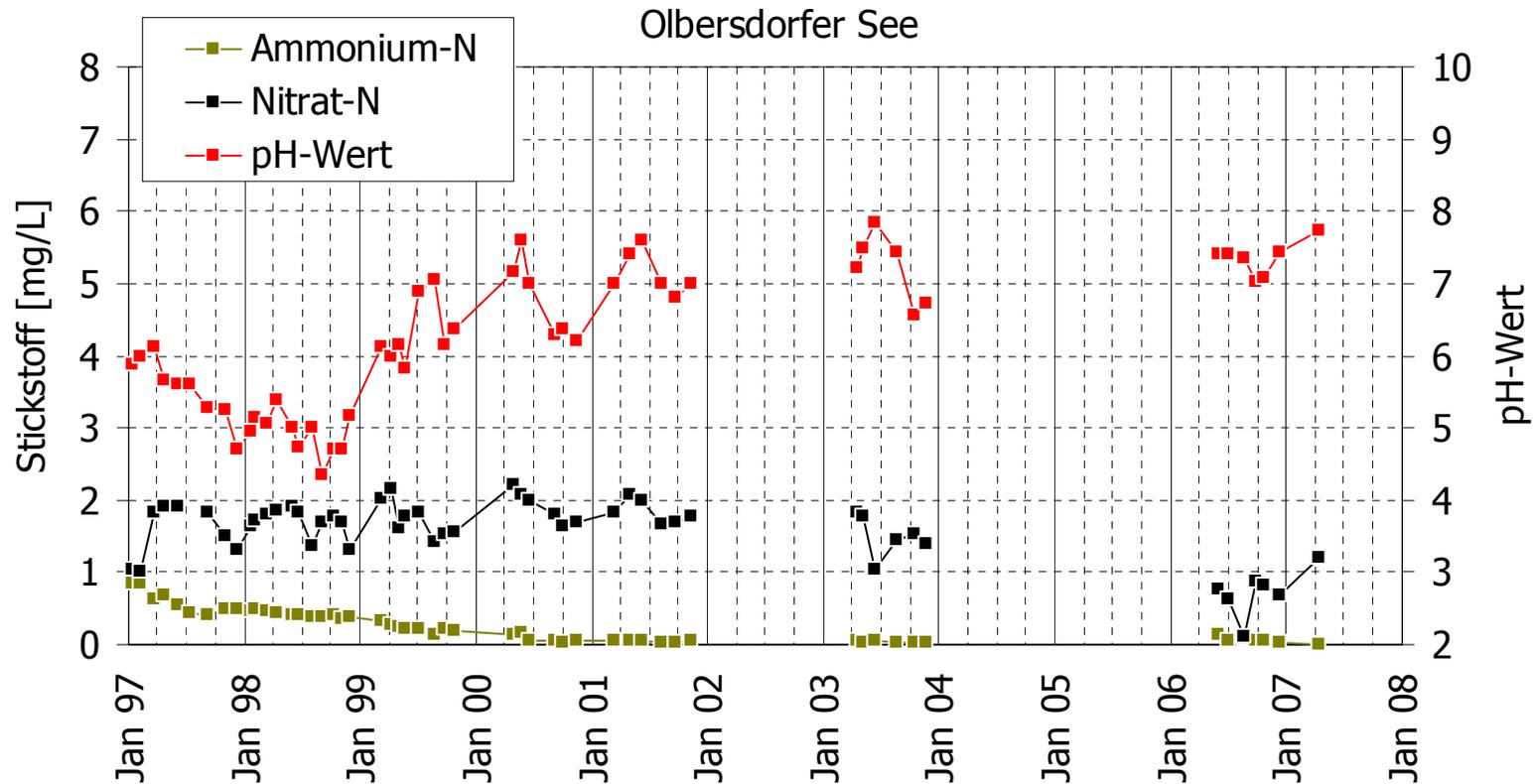
Ammoniumeintrag  
 im geschichteten See  
 aus dem Grundwasser  
 und/oder Sediment



## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

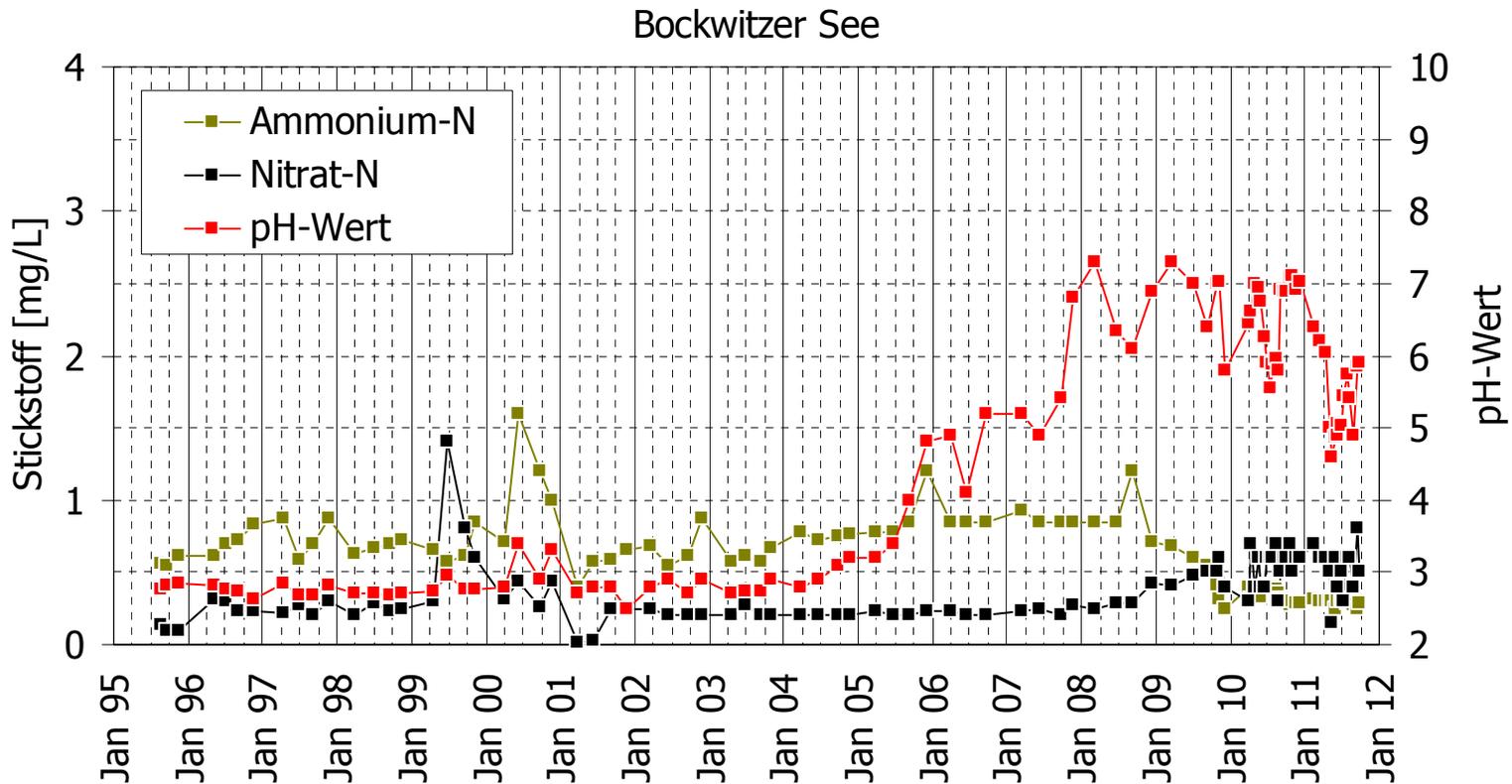
## Neutralisation durch Flutung



## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Ammonium in den Bergbaufolgeseen

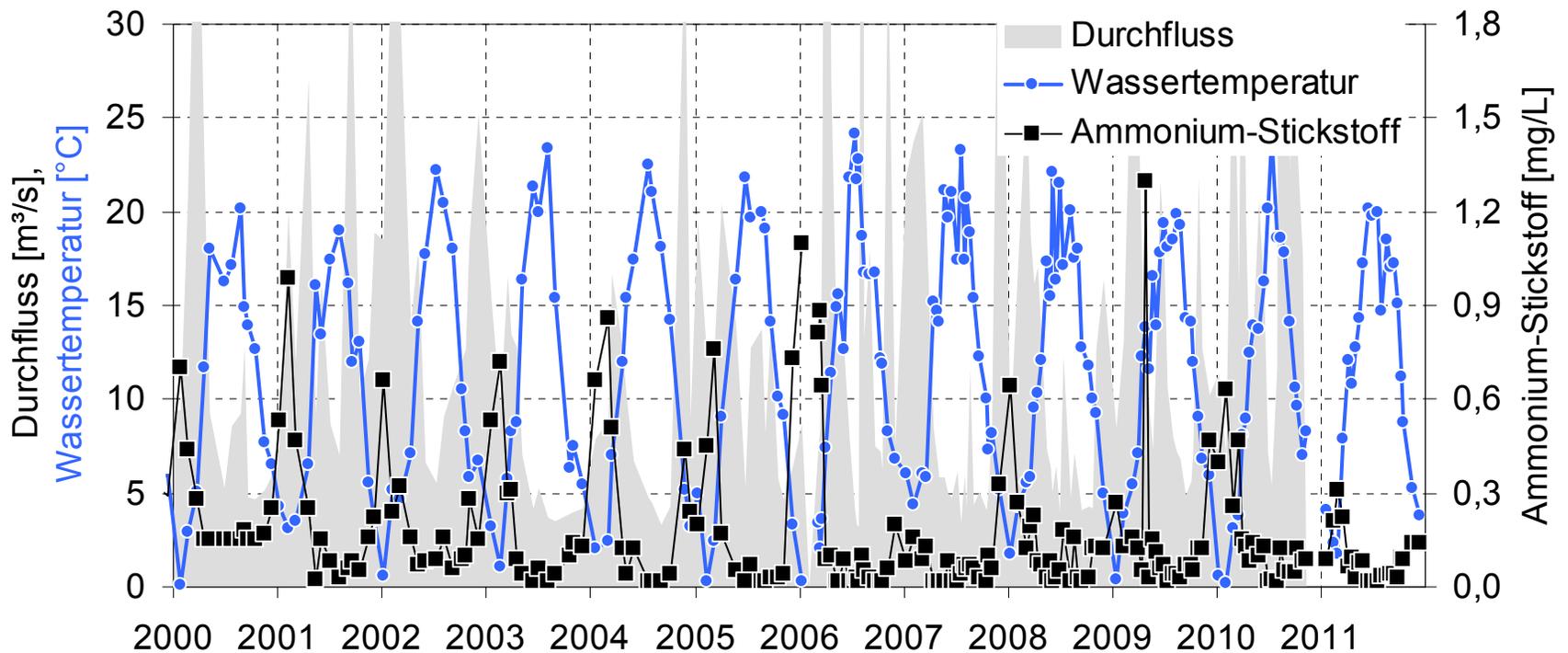
## Chemische Neutralisation



## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Fließgewässer

Lausitzer Neiße in Görlitz (OBF17600)

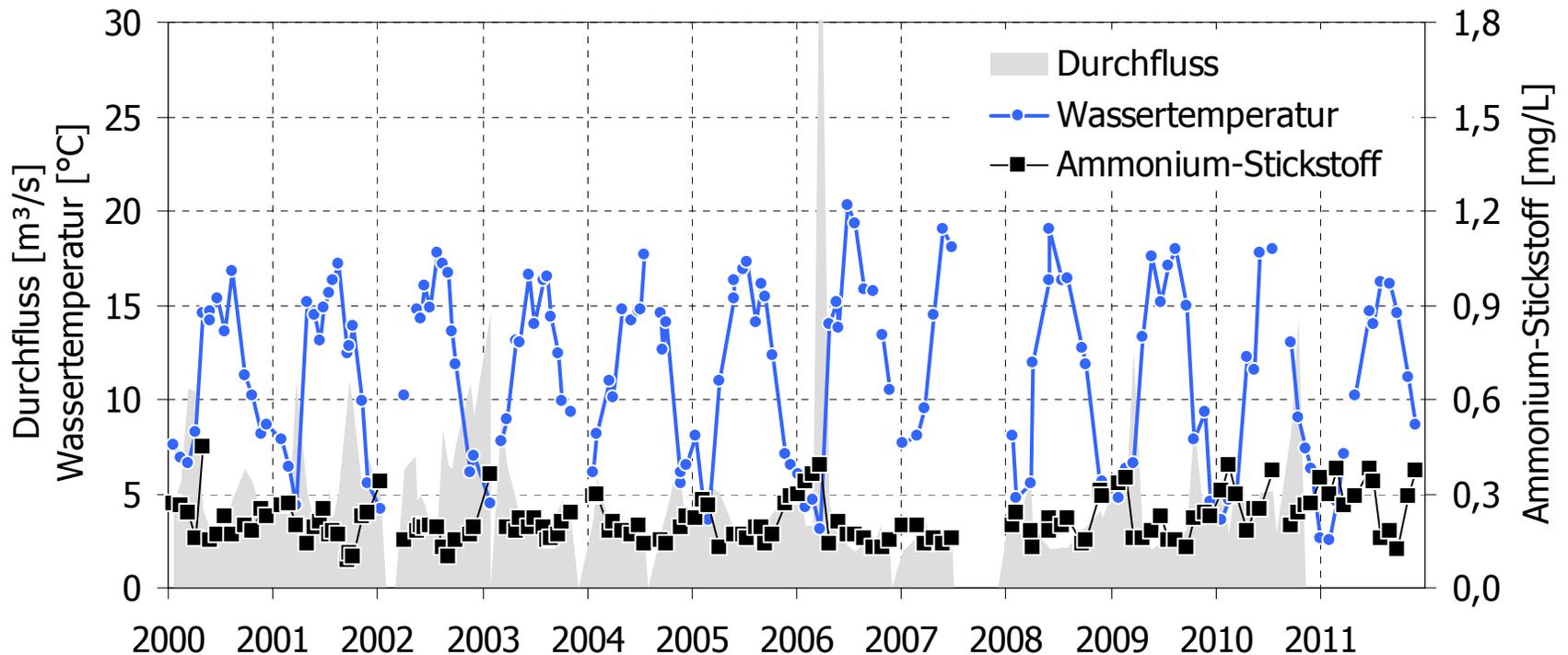


➤ „Klassisch“ ausgeprägte jahreszeitliche Saisonalität

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Fließgewässer

Schwarzer Schöps in Boxberg (OBF24100)

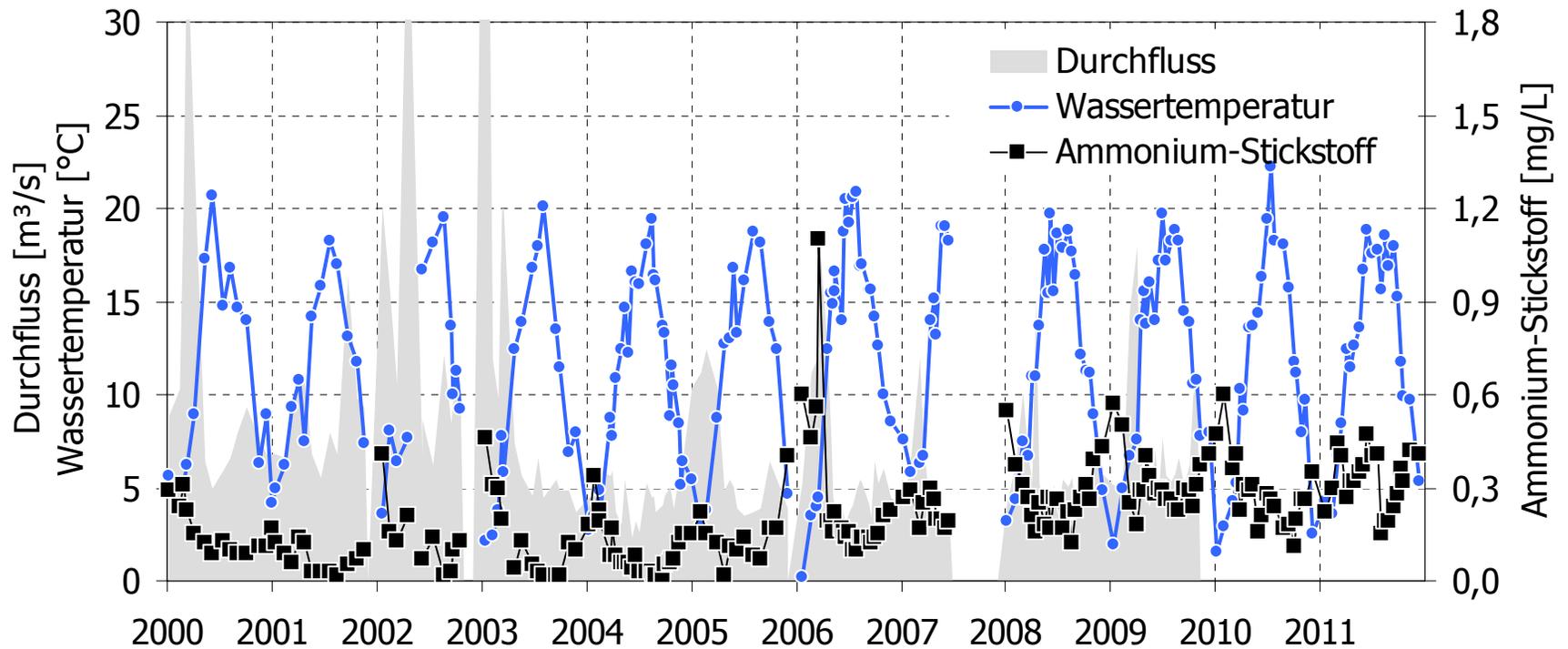


- Schwach ausgeprägte jahreszeitliche Saisonalität
- Erhöhte Grundlast (GWBA Kringelsdorf)

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Fließgewässer

Spree in Zerze (OBF21400)

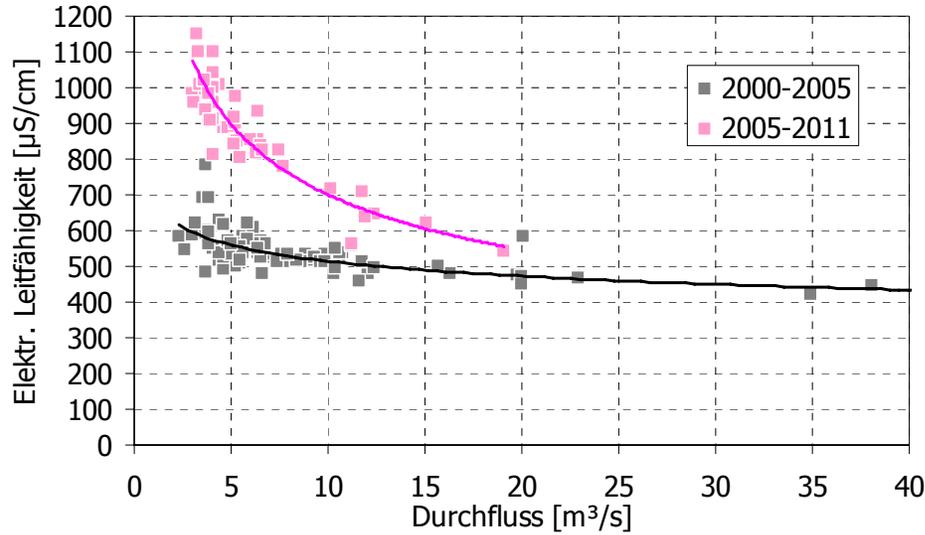


Zäsur (Inbetriebnahme der GWBA Tzschelln)

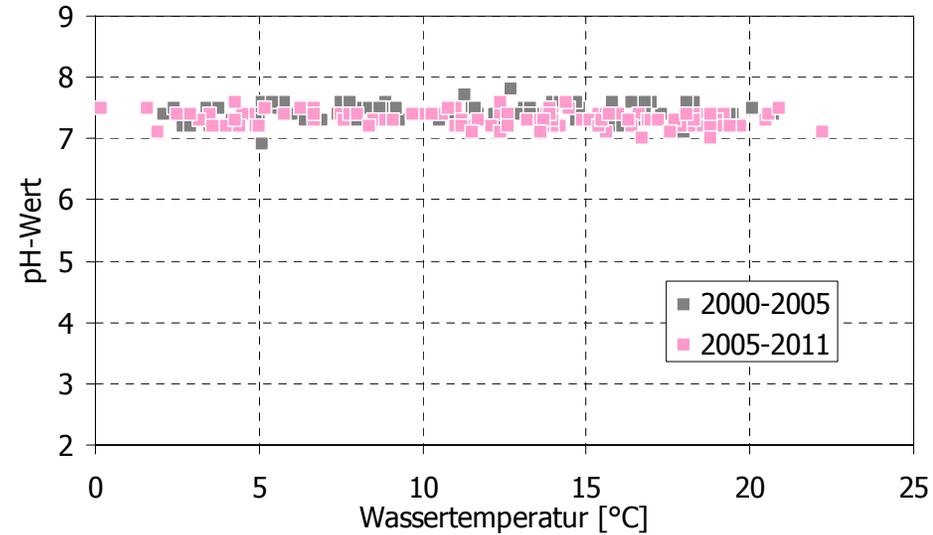
## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Fließgewässer

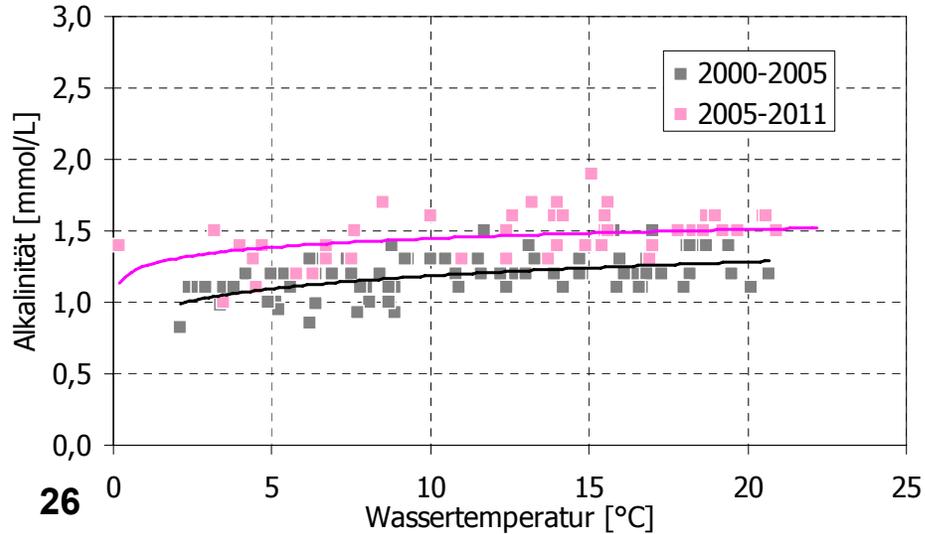
Spreewasser in Zerrenze (OBF21400)



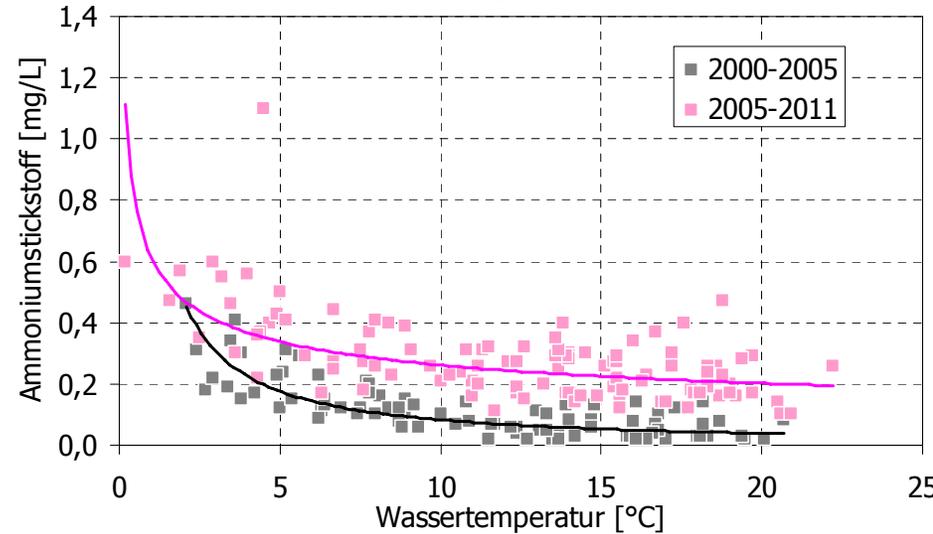
Spreewasser in Zerrenze (OBF21400)



Spreewasser in Zerrenze (OBF21400)



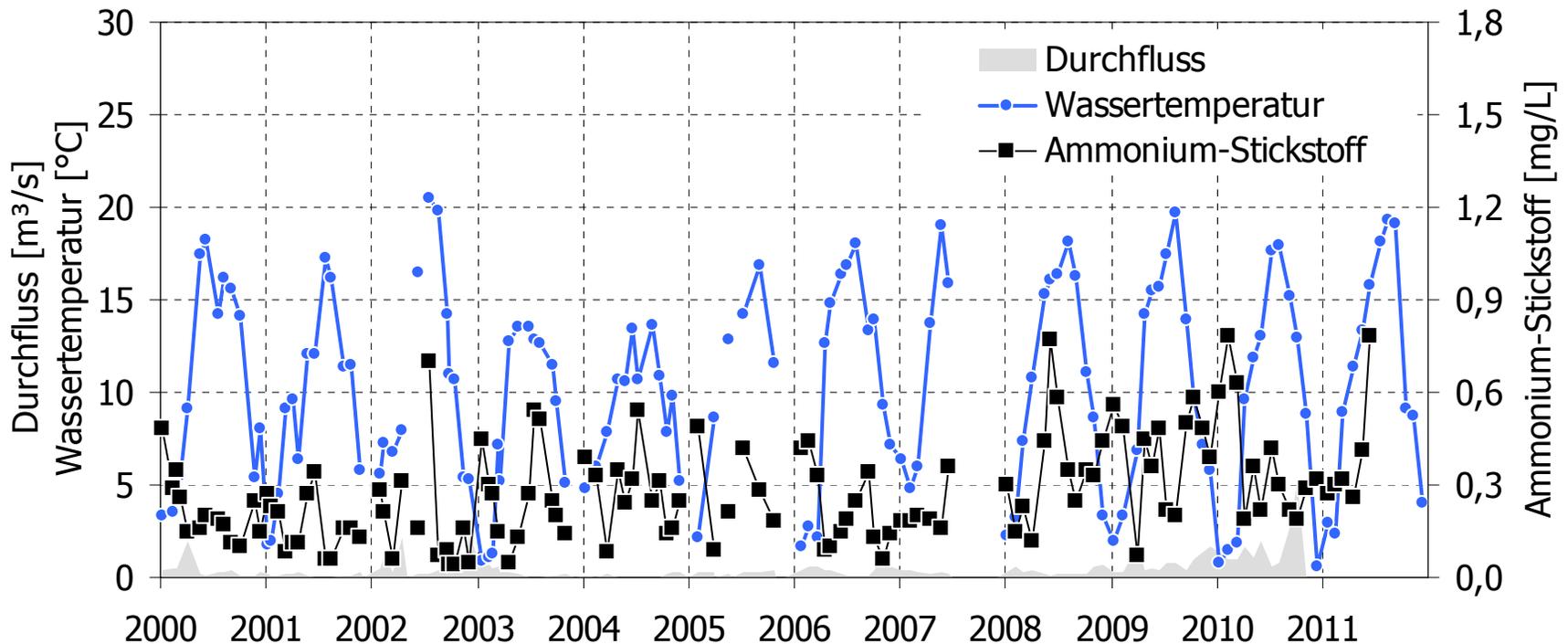
Spreewasser in Zerrenze (OBF21400)



# Fließgewässer

## Diffuser Zufluss zur Kleinen Spree

Kleine Spree in Spreewitz (OBF22100)

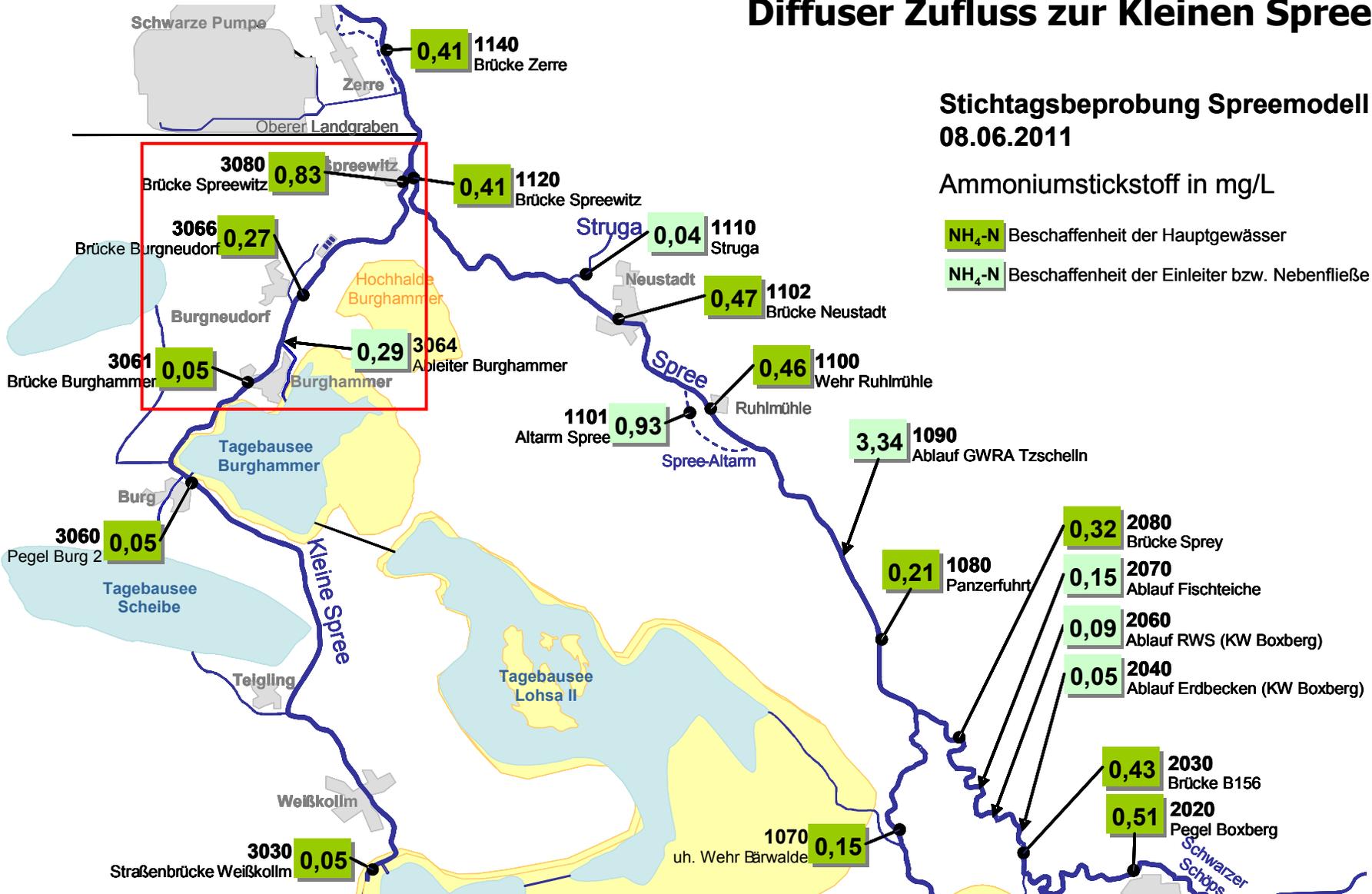


- Praktisch keine jahreszeitliche Saisonalität
- Eher untypische jahreszeitliche Saisonalität

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Fließgewässer

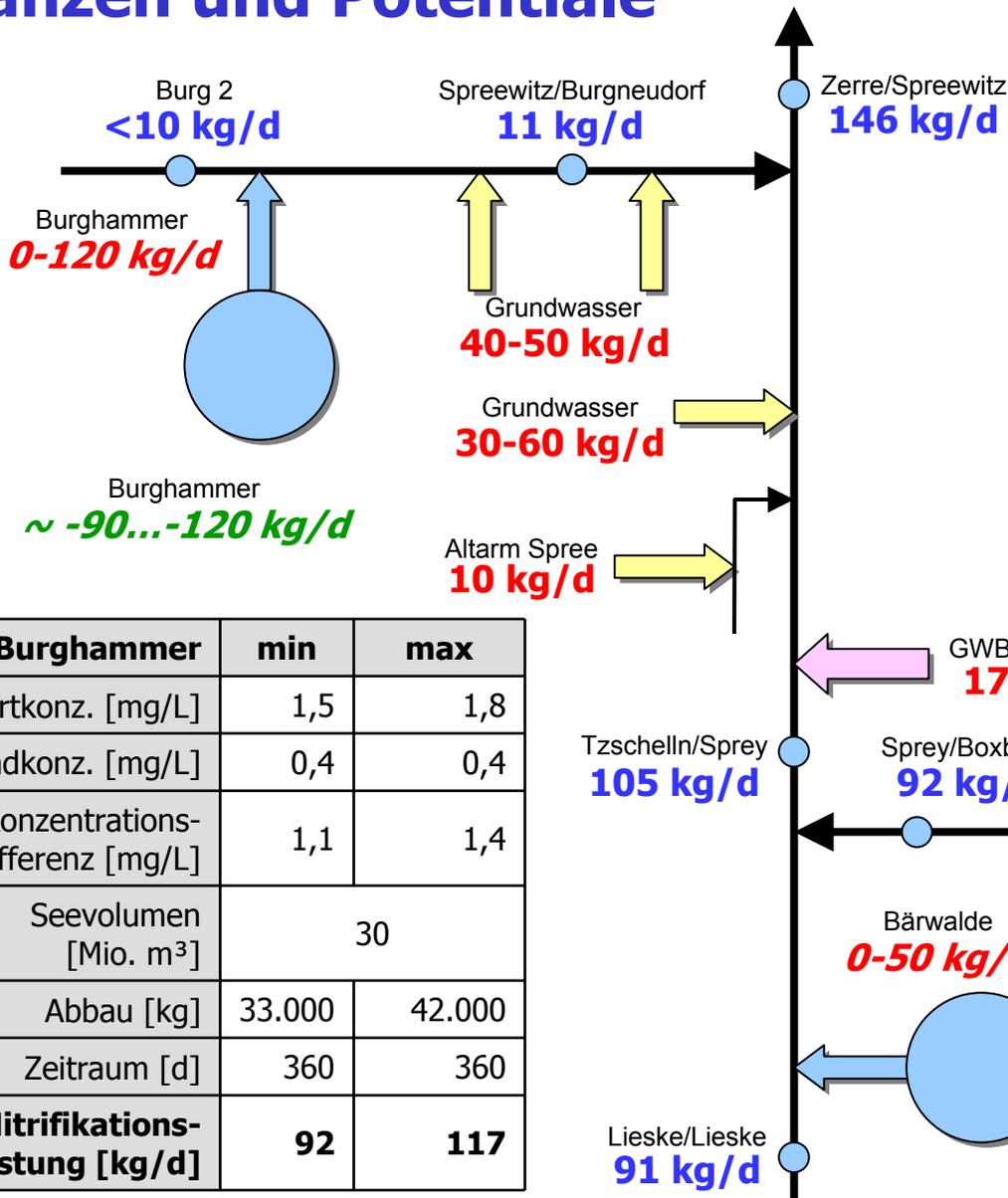
## Diffuser Zufluss zur Kleinen Spree



## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Bilanzen und Potentiale

## Mittlere Stoffströme für Ammonium-N

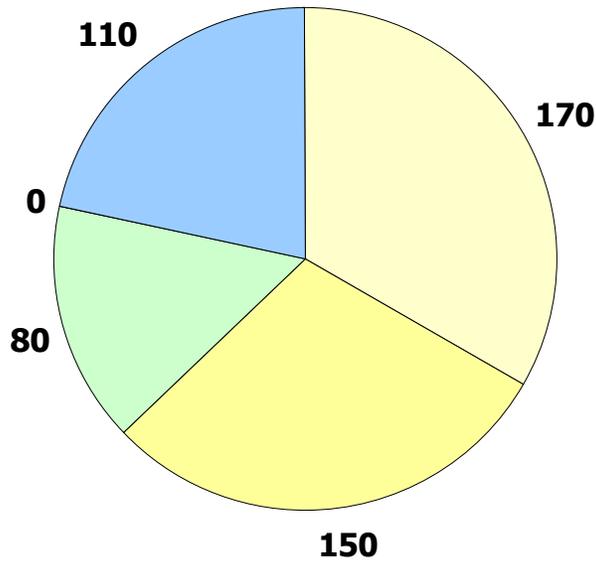


Bärwalde	min	max
Startkonz. [mg/L]	1,1	1,2
Endkonz. [mg/L]	0,2	0,2
Konzentrationsdifferenz [mg/L]	0,9	1,0
Seevolumen [Mio. m <sup>3</sup> ]	130	
Abbau [kg]	117.000	130.000
Zeitraum [d]	540	550
<b>Nitrifikationsleistung [kg/d]</b>	<b>213</b>	<b>241</b>

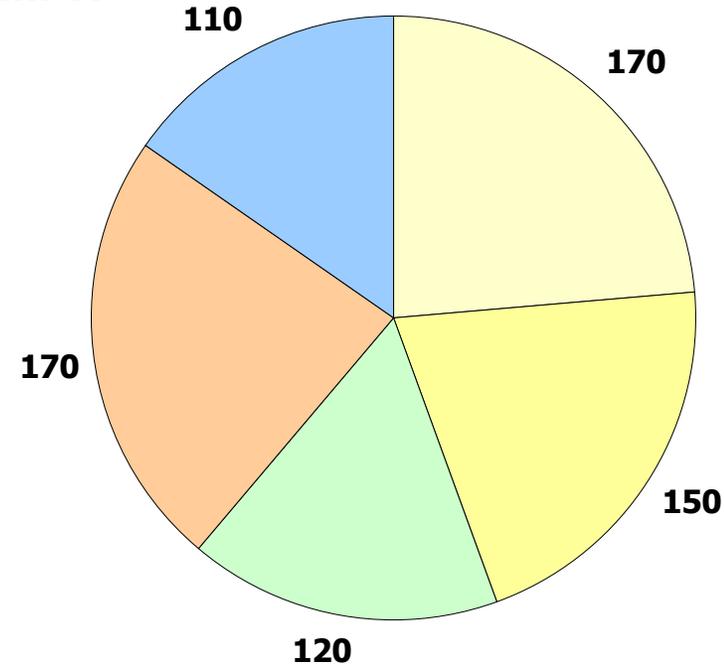
Burghammer	min	max
Startkonz. [mg/L]	1,5	1,8
Endkonz. [mg/L]	0,4	0,4
Konzentrationsdifferenz [mg/L]	1,1	1,4
Seevolumen [Mio. m <sup>3</sup> ]	30	
Abbau [kg]	33.000	42.000
Zeitraum [d]	360	360
<b>Nitrifikationsleistung [kg/d]</b>	<b>92</b>	<b>117</b>

# Bilanzen und Potentiale

**Mittlere Frachten in kg/d Ammonium-N**



- GWBA Tzschelln
- GWBA Kringelsdorf
- diffuser Grundwasserzfluss
- Ausleitung aus BFS
- Hintergrundbelastung



- Dominanz der Punkteinleitungen durch den aktiven Braunkohlenbergbau
- Ausleitungen aus den (neutralen) Speichern für den Sanierungsbergbau ein geringeres Problem, als die unkontrollierbaren diffusen Grundwasserzuflüsse



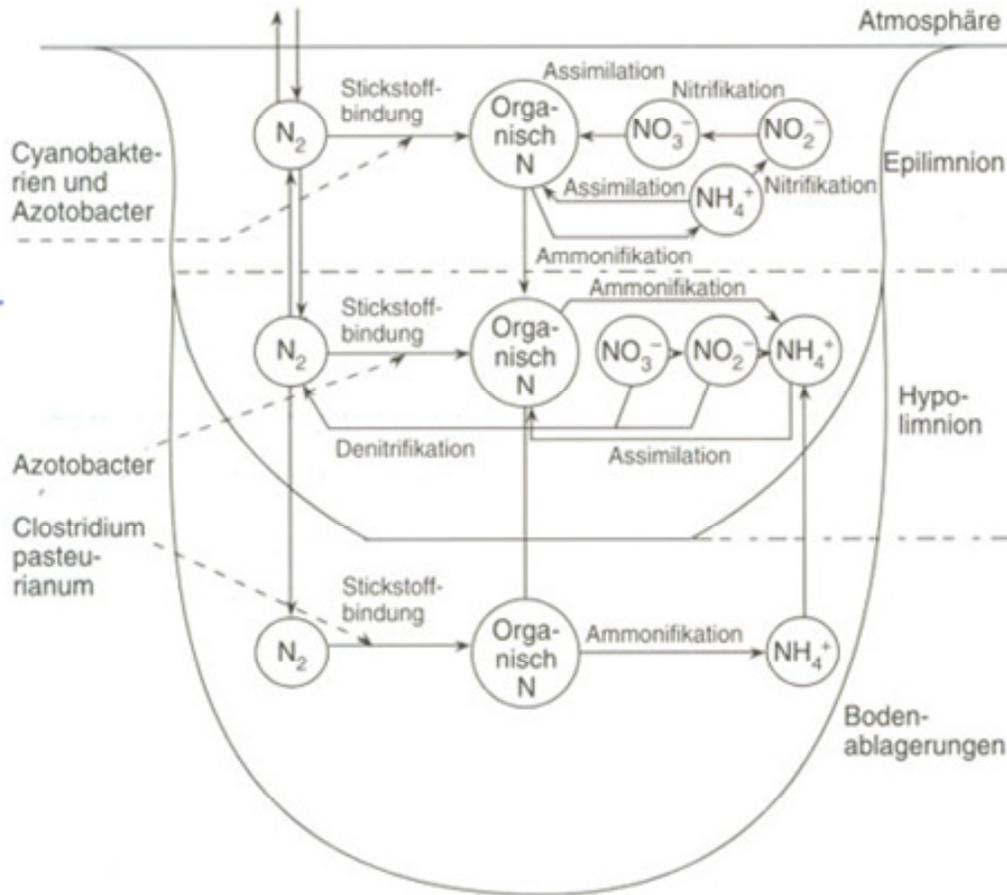
## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

*Herr Neumann*

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Umwandlungen und Prozesse

## Stickstoffkreislauf Seen



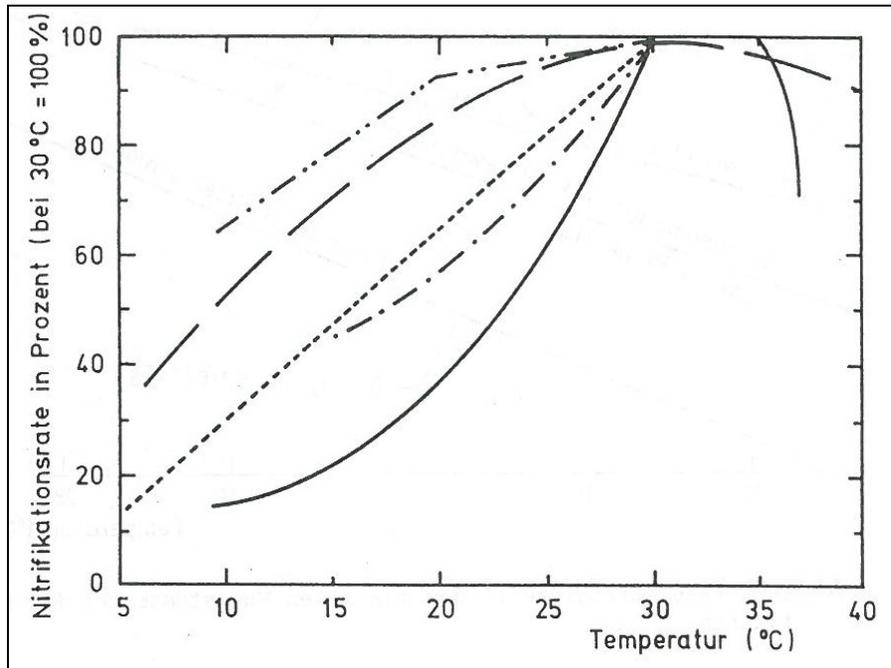
- essentielles Element (Aminosäuren, DNA)
- $N_2$  ist reaktionsträge
- Nutzung in Organismen erst nach Oxidation z.B.  $NO_x$  oder Reduktion (z.B.  $NH_3/NH_4^+$ )
- ohne Katalysator  $NH_4^+/NH_3$  abiotisch nur bei hohen Temperaturen oxidierbar
- Problematik: hohe Toxizität von freiem Ammoniak ( $NH_3$ )
- Gleichgewicht  $NH_4^+/NH_3$  Temperatur und pH-abhängig
- $NH_4^+/NH_3$ -Eliminierung v.a. durch aerobe Nitrifikation

Mikrobieller Stickstoffumsatz im See (nach KUSNEZOW aus SCHWOERBEL & BRENDENBERGER, 2005)

# Umwandlungen und Prozesse

## Grundlagen der mikrobiellen Nitrifikation

- Organismen vermehren sich relativ langsam (lange Generationszeit)
- in der Regel an Oberflächen adsorbiert (z.B. Sedimentoberfläche)
- Temperatur-, Sauerstoff- und pH-Abhängigkeit



- **Temperaturgrenzen**  
 ca. 5 - 45°C  
 bei langer Anpassung auch < 5°C  
 Temperaturoptimum: ca. 25 - 30°C

- **Sauerstoffabhängigkeit**  
*Nitrosomonas* > 1-2 mg/L  
*Nitrobacter* > 2-4 mg/L

- **pH-Abhängigkeit**  
 Hemmung < 6,5 und > 9  
 Optimum 7,5 ... 8,5

Abbildung: Einfluss der Temperatur auf die Nitrifikation nach verschiedenen Autoren (aus HAMM et al. 1991)

## Wirkungen auf die Biozönose

### ➤ Trophiesteigernde Wirkung (Pflanzennährstoff)

Ammonium wird von vielen Pflanzen zum Aufbau von stickstoffhaltiger Biomasse aus dem Wasser entnommen

### ➤ Sauerstoffverbrauch bei Oxidation (Nitrifikation)

mikrobielle Oxidation von Ammonium durch nitrifizierende Bakterien verbraucht relativ viel Sauerstoff (ca. 4,3 mg/L O<sub>2</sub> pro mg/L NH<sub>4</sub>-N)

### ➤ Säurebildung bei Oxidation (Nitrifikation)



### ➤ Ökotoxische Wirkung von Ammonium/Ammoniak

# Wirkungen auf die Biozönose

## Ökotoxizität Ammonium/Ammoniak

- Ammoniak → starkes Zellgift (Störung des Energiestoffwechsels sowie des Säure-Base-Gleichgewichts im Blut höherer Organismen)
- bei Fischen auch Schädigung des Kiemengewebes
- Ammoniak deutlich toxischer als Ammonium → größere Durchlässigkeit der biologischen Membranen für ungeladenes Molekül
- Schädigung durch  $\text{NH}_3$  bei rel. geringer Konzentration, da hohe Mobilität durch Membran (z.B. Kiemengewebe)
- viele Wasserorganismen scheiden Ammoniak/Ammonium aus
- Schädigung durch  $\text{NH}_4^+$  bei höherer Konzentration, wenn Exkretionsvermögen der Ausscheidungsorgane überschritten

# Wirkungen auf die Biozönose

## Ökotoxizität von Ammonium/Ammoniak

Spezies	Effekt	Zeit	Kriterium	als	Konzentration [mg/L]	Quelle
<b>Akute Wirkung</b>						
<b>Fische</b>						
<i>Salmo salar</i> (Atlantischer Lachs)	Sterblichkeit	24 h	LC50	NH <sub>3</sub>	<b>0,08 – 0,20</b>	ALABASTER et al. (1979)
<i>Cyprinus carpio</i> (Karpfen)	Sterblichkeit	96 h	LC50	NH <sub>3</sub>	0,44 – 0,90	EA UK (2007)
<b>Phytoplankton und Makrophyten</b>						
<i>Chlorella vulgaris</i> (Grünlage)	Sterblichkeit	5 d	LC50	NH <sub>3</sub>	8,55	HAMM et al. (1991)
<i>Callitriche hamulata</i> (Makrophyt)*	Sterblichkeit	2-10 w	LC100	NH <sub>3</sub>	0,006 – 0,01	HAMM et al. (1991)
<b>Makroinvertebraten</b>						
<i>Baetis rhodani</i> (Eintagsfliege)	Sterblichkeit	48 h	LC50	NH <sub>3</sub>	1,94	HAMM et al. (1991)
<b>Mikroorganismen</b>						
	<b>Saprobität</b>		<b>Toleranzbereich</b>			
<i>Coleps hirtus</i> (Ciliata)	a - b		Vorkommen	NH <sub>3</sub>	0 – 0,2	HAMM et al. (1991)
<b>Chronische Wirkung</b>						
<b>Fische</b>						
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Regenbogenf.)	Sterblichkeit	72 d	71% Mortalität	NH <sub>3</sub>	<b>0,027</b>	SOLBÉ & SHURBEN(1989)
<i>Salmo salar</i> (atlant. Lachs)	Wachstum	28 d	NOEC	NH <sub>3</sub>	0,037-0,065	FIVELSTAD (1993)
<i>Cyprinus carpio</i> (Karpfen)	Schlupf	31 d	NOEC	NH <sub>3</sub>	0,66	EA UK (2007)
<b>Wasserpflanzen</b>						
<i>Anacystis nidulans</i> (Blualge)	Hemmung	-	77% Hemmung	NH <sub>3</sub>	37,8	HAMM et al. (1991)
<b>Makrozoobenthos</b>						
<i>Gammarus pulex</i> (Kleinkrebs)	Sterblichkeit	90 d	NOEC	NH <sub>3</sub>	0,05	BERENZEN (2001)
<i>Lasmigona subviridis</i> (Muschelglochidien)	Sterblichkeit	15 d	LC50	NH <sub>3</sub>	<b>0,030</b>	IKSR (2009)
<b>Mikroorganismen</b>						
<i>Brachionus plicatilis</i> (Rädertierchen)			NOEC	NH <sub>3</sub>	2,67	HAMM et al. (1991)

h= Stunden, d = Tage, w = Wochen, a = alpha-mesosaprob, b = beta-mesosaprob

\*Bewertung durch Autoren: niedrige Toxizitätsschwellenwerte bei Wasserpflanzen sehr kritisch zu sehen, Beteiligung anderer Faktoren

➤ **empfindlichste Arten:** *Muscheln (Glochidien)* > Fische > sonst. Wirbellose > Pflanzen/Bakterien

➤ **Problem:** Fehlende Daten für viele einheimische Arten

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Gesetzlichkeiten und Qualitätsnormen

## Grenz-, Schwellen- oder Richtwerte

Quelle (Autor)	Status	Schutzgut	Schwellen-/Grenzwert [mg/l]
RL 75/440/EWG Richtlinie Gewinnung Trinkwasser aus Oberflächenwasser (1975)	informativ (2007 außer Kraft)	Mensch (Trinkwasser)	Leitwerte Ammonium gesamt (NH <sub>3</sub> + NH <sub>4</sub> ) nach Kategorien A1-A3 der Aufbereitungsverfahren 90%-Perzentil A1: <b>0,05</b> A2: <b>1,0</b> A3: <b>2,0</b>
RL 98/83/EG EU-Trinkwasserrichtlinie (1998)	rechtsverbindlich	Mensch (Trinkwasser)	<b>0,5</b> (NH <sub>4</sub> )
RL 2006/44/EG EU-Fischgewässerverordnung (2006 a)	rechtsverbindlich	Fische	95%-Perzentil Salmonidengewässer (NH <sub>3</sub> ) Richtwert ≤ <b>0,005</b> imperativer Wert ≤ <b>0,025</b> Cyprinidengewässer (NH <sub>3</sub> ) Richtwert ≤ <b>0,005</b> imperativer Wert ≤ <b>0,025</b> Salmonidengewässer (NH <sub>4</sub> ) Richtwert ≤ <b>0,04</b> imperativer Wert ≤ <b>1</b> Cyprinidengewässer (NH <sub>4</sub> ) Richtwert ≤ <b>0,2</b> imperativer Wert ≤ <b>1</b>
Oberflächengewässerverordnung OGewV (2011)	rechtsverbindlich	Gewässerbiozönose, Wasser	Mittelwerte Hintergrundwert (sehr guter ökologischer Zustand) nach Fließgewässertypen <b>0,02 – 0,04</b> NH <sub>4</sub> -N
Trinkwasserverordnung TrinkwV (Neufassung 2011)	rechtsverbindlich	Mensch	<b>0,5</b> (NH <sub>4</sub> )
Grundwasserverordnung Bund GrwV (2010)	rechtsverbindlich	Wasser	<b>0,5</b> (NH <sub>4</sub> )
Grundsätze für die länderübergreifende Bewirtschaftung der Flussgebiete Spree, Schwarze Elster und Lausitzer Neiße“ (AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“)	informativ	Wasser (Standgewässer)	Ausleitwerte aus Bergbaufolgeseen NH <sub>4</sub> -N < <b>1</b> - < <b>1,5</b> Immissionsziele im Gewässer NH <sub>4</sub> -N < <b>0,3</b> - < <b>1</b>
Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – Ammonia (2010)	informativ	Gewässerbiozönose, Wasser	<b>0,019</b> (NH <sub>3</sub> )
IKSR (2009)	informativ	Gewässerbiozönose, Wasser	UQN-Rhein –JD (Jahresdurchschnitt) Leitwert <b>0,0041</b> NH <sub>3</sub> -N UQN-Rhein –ZHK (Zul. Höchstkonz.) Leitwert <b>0,0082</b> NH <sub>3</sub> -N
US-EPA (2009): Ammonia	informativ	Gewässerbiozönose, Wasser	in (NH <sub>3</sub> -N + NH <sub>4</sub> -N) CMC (akut) <b>2,9</b> oder <b>5,0</b> (bei pH 8 und 25°C) in Abhängigkeit vom Vorkommen bzw. Fehlen von Süßwassermuscheln CCC (chronisch) <b>0,26</b> oder <b>1,8</b> wie oben Formeln in Abhängigkeit von Temperatur und pH-Wert und Vorkommen von Süßwassermuscheln und Fischbrut
Environment Agency UK (2007)	informativ	Gewässerbiozönose, Wasser	akut PNEC <b>0,0011</b> NH <sub>3</sub> chronisch PNEC <b>0,0068</b> NH <sub>3</sub>

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Konflikte mit Nutzungsansprüchen

- **Naturschutz** (Gefährdung geschützter Arten z.B. Bachmuschel)  
⇒ Einhaltung entsprechender Schwellenwerte
  
- **Bade- und Freizeitnutzung**  
⇒ keine nachteiligen Auswirkungen
  
- **Trinkwassernutzung**  
⇒ Einhaltung des Grenzwertes TVO bzw. GrwV von 0,5 mg/l NH<sub>4</sub>
  
- **Brauchwassernutzung**  
⇒ nur relevant bei sehr hohen Konzentrationen (u.a. verstärkte Metallkorrosion)
  
- **Fischwirtschaft**  
⇒ Einhaltung entsprechender Schwellenwerte bzw. I-Wert der FischgewV (0,025 mg/l NH<sub>3</sub>)

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Schwellenwerte

Quelle	Salmonidengewässer		Cyprinidengewässer	
	akut	chronisch	akut	chronisch
diese Studie	0,015 mg/L NH <sub>3</sub>	0,001 mg/L NH <sub>3</sub>	0,035 mg/L NH <sub>3</sub>	0,025 mg/L NH <sub>3</sub>
CCME (2010)	0,019 mg/L NH <sub>3</sub>			
IKSR (2009)	0,010 mg/L NH <sub>3</sub>	0,005 mg/L NH <sub>3</sub>	-	
US EPA (2009) „Muschelgewässer“	0,20 mg/L NH <sub>3</sub> *	0,018 mg/L NH <sub>3</sub> *	0,20 mg/L NH <sub>3</sub> *	0,018 mg/L NH <sub>3</sub> *
US EPA (2009) „Nichtmuschelgewässer“	0,35 mg/L NH <sub>3</sub> *	0,12 mg/L NH <sub>3</sub> *	0,35 mg/L NH <sub>3</sub> *	0,12 mg/L NH <sub>3</sub> *
EA UK & SNIFFER (2007)	0,0068 mg/L NH <sub>3</sub>	0,0011 mg/L NH <sub>3</sub>	0,0068 mg/L NH <sub>3</sub>	0,0011 mg/L NH <sub>3</sub>
LAWA (2007)	0,3 mg/L NH <sub>4</sub> -N (z.B. 0,015 mg/L NH <sub>3</sub> bei pH = 8 und +25°C)			
EU (2006a) I-Wert	0,025 mg/L NH <sub>3</sub>		0,025 mg/L NH <sub>3</sub>	
EU (2006a) G-Wert	0,005 mg/L NH <sub>3</sub>		0,005 mg/L NH <sub>3</sub>	
DE KOEKKOEK (2005)	0,024 mg/L NH <sub>3</sub>		0,036 mg/L NH <sub>3</sub>	

\*) berechnet aus den Angaben für in US EPA (2009) S. 9 Table B bzw. S. 31 Table C

- Größenordnung wie Festlegungen **CCME (2010)**, **IKSR (2009)**, **EU (2006a)**, **de Koekkoek (2005)**
- höhere Schwellenwerte → US EPA (2009)
- geringere Schwellenwerte → EA UK & SNIFFER (2007)

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

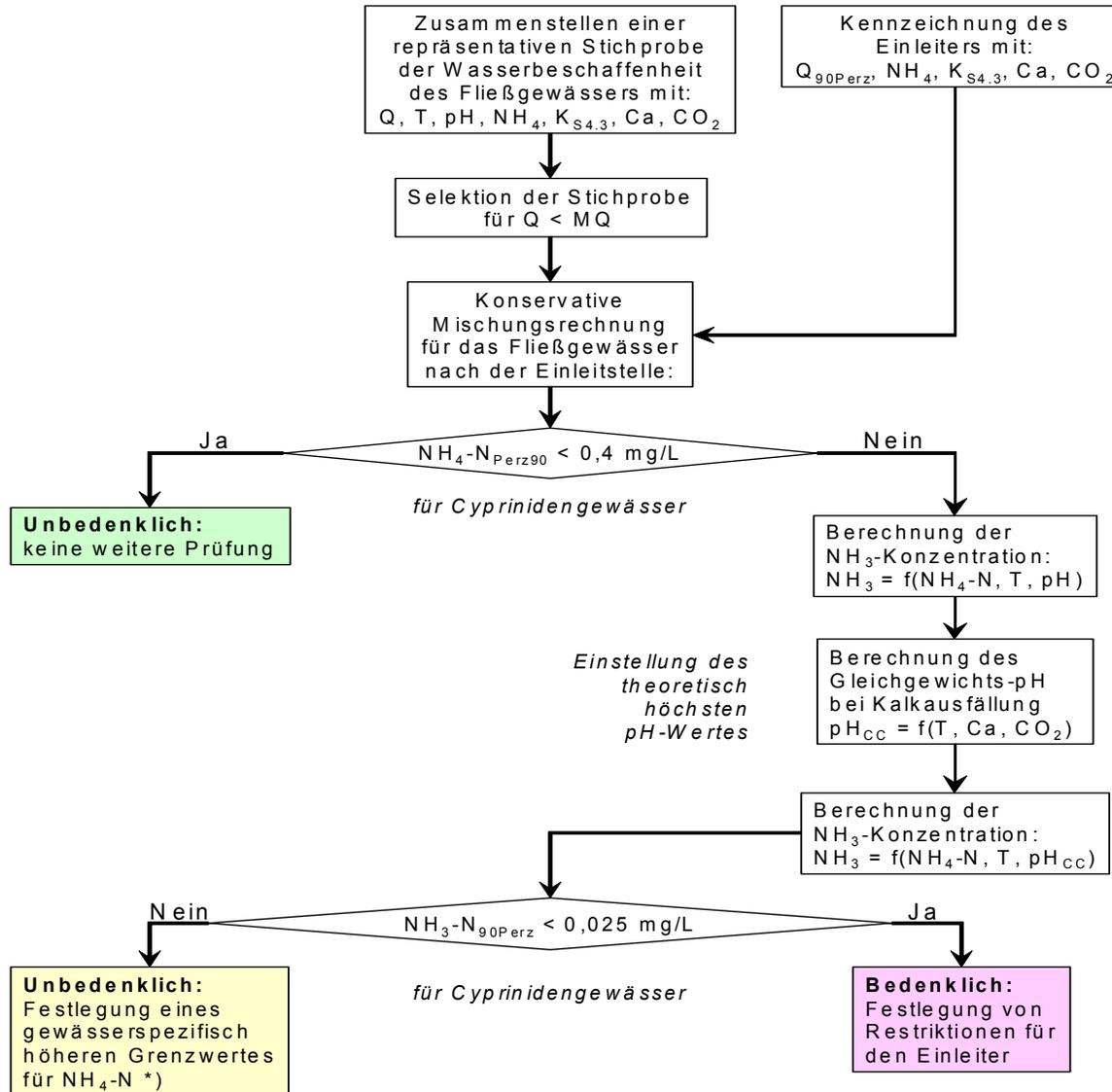
# Beurteilung bestehender Qualitätsnormen

Regelung	Status	Schutzgut	Schwellen -/Grenzwert	Beurteilung
Sächs. FischgewV (1997)	rechtsverbindlich bis 2013	Fische	I-Wert $\text{NH}_3 \leq 0,025 \text{ mg/l}$	+
Sächs. FischgewV (1997)	"	"	I-Wert $\text{NH}_4 \leq 1 \text{ mg/l}$	(+) pH-Wert-Abh. ggf. zu hoch, Einzelfallprüfung
Oberflächengewässerverordnung (2011)	rechtsverbindlich	Oberflächenwasser	Hintergrundwert je nach Gewässertyp $0,02 - 0,04 \text{ mg/l NH}_4\text{-N}$	+
Grundwasserverordnung (2010)	rechtsverbindlich	Trinkwasser/Oberflächenwasser	Grenzwert $0,5 \text{ mg/l NH}_4$	+
HAMM et al. (1991)	informativ	Oberflächenwasser	Qualitätsziele $0,2 \text{ mg/l NH}_4$ (Salmonidengew.) $0,4 \text{ mg/l NH}_4$ (Cyprinidengew.)	(+) Ausnahme sehr hohe pH-Werte
LAWA (2007)	informativ	Oberflächenwasser	Orientierungswert $0,3 \text{ mg/l NH}_4\text{-N}$	(+) Ausnahme sehr hohe pH-Werte
AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“ (2009)	informativ	Oberflächenwasser	Ausleitwerte Bergbaufolgeseen bzw. Immissionsziele Gewässer $< 1 - < 1,5 \text{ mg/l NH}_4\text{-N}$	(+) pH-Wert-Abh. ggf. zu hoch, Einzelfallprüfung

- **Ammoniaktoxizität als Beurteilungsgrundlage in Oberflächengewässern**  
→ pH-Abhängigkeit bei Ammonium
- **FischgewV (1997) nur für gelistete Fischgewässer verbindlich, im Zuge Umsetzung WRRL ab 2013 außer Kraft**
- **OGewV (2011) nur Regelung „sehr guter“ Zustand (Hintergrundwerte)**
- **Einzelfallprüfung zur Beurteilung nötig**

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Prüfschema Ammoniumbelastung



\*) ggf. rekursive Ermittlung aus den Messwerten

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Verfahren und Maßnahmen Ammoniumminderung

## Hinsichtlich Einsatz Braunkohlesanierung und aktiver Tagebau

Verfahren	Wirkungsweise	Mögliches Anwendungsgebiet	Praxis-tauglichkeit	Verfahrens-effizienz	Genehmigungs-fähigkeit	Wirtschaft-lichkeit
<b>Physikalisch-chemische Verfahren</b>						
Knickpunktchlorung	Oxidation	Punktquelle	+	+	-	0
Oxidation mit Ozon oder Wasserstoffperoxid	Oxidation	Punktquelle	+	+	+	-
Strippverfahren	Ausgasung	Punktquelle	-	0	+	-
Umkehrosmose	Osmose	Punktquelle	-	+	0	-
Adsorption und Ionenaustausch	Bindung an Mineralien	Punktquelle	-	-	0	-
Elektrodialyse	selektive Ionentrennung	Punktquelle	-	-	0	-
Fällung als MAP	Fällung	Punktquelle	0	-	0	-
<b>Biotechnologische Verfahren</b>						
Niedrig belastete Accelatoren	Nitrifikation	Punktquelle	+	0	+	0
Wirbelschicht- oder Schwebebettreaktoren	Nitrifikation	Punktquelle	+	0	+	0
Trocken- und Nassfilter	Adsorption, Nitrifikation	Punktquelle	+	+	+	0

++ sehr gut + gut 0 bedingt, nicht sicher - ungünstig -- ausschließendes Kriterium ( ) Kriterium nicht zutreffend oder nicht erforderlich

- **Fällung als Magnesium-Ammonium-Phosphat (MAP)** → MAP wird unter bestimmten Bedingungen aus einer wässrigen Lösung gefällt  $Mg^{2+} + NH_4^+ + PO_4^{3-} + 6 H_2O \rightarrow MgNH_4PO_4 \times 6 H_2O$
- **Accelatoren** (Anlage zur Trübstoffentfernung)
- **Wirbelschicht- oder Schwebebettreaktoren** („suspendierter Sand bzw. anderes Trägermaterial“)



## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# 14. Verfahren und Maßnahmen Ammoniumminderung

Verfahren	Wirkungsweise	Mögliches Anwendungsgebiet	Praxis-tauglichkeit	Verfahrens-effizienz	Genehmigungs-fähigkeit	Wirtschaft-lichkeit
<b>Kombinierte bzw. in der Praxis unerprobte Verfahren</b>						
Mühlheimer-Verfahren	Oxidation, Nitrifikation	Punktquelle	+	+	+	-
Adsorption und Sedimentation mit ammoniumbindenden Mineralien	Adsorption	Punktquelle	o	-	+	o
<b>Naturräumliche Verfahren</b>						
Verminderung des Ammoniumaustrages	hydraulische Abdichtung	Grundwasser	++	++	+	o
Reaktive Wände oder Zonen (Untergrundbehandlung)	Adsorption, Nitrifikation	Grundwasser	o	o	o	-
Bewachsene Bodenfilter	Adsorption, Nitrifikation	Punktquelle	+	o	+	o
Wasserpflanzenbeete	Aufnahme in Biomasse, Nitrifikation	Punktquelle	+	o	+	o
Optimierung der Nitrifikationsleistung in Bergbaufolgeseen	Nitrifikation	Oberflächenwasser	+	+	+	o
Nutzung der natürlichen Nitrifikationsleistung neutralisierter Bergbaufolgeseen	Nitrifikation	Oberflächenwasser	++	++	(+)	++

++ sehr gut + gut o bedingt, nicht sicher - ungünstig -- ausschließendes Kriterium () Kriterium nicht zutreffend oder nicht erforderlich

### ➤ Mühlheimer-Verfahren

Wasserwerk Dohne: Ozonierung mit anschließender Bodenpassage

- **Reaktive Wände oder Zonen:** Ammoniumbindende Materialien, Infiltration von Sauerstoff/sauerstoffreichem Wasser in den Untergrund

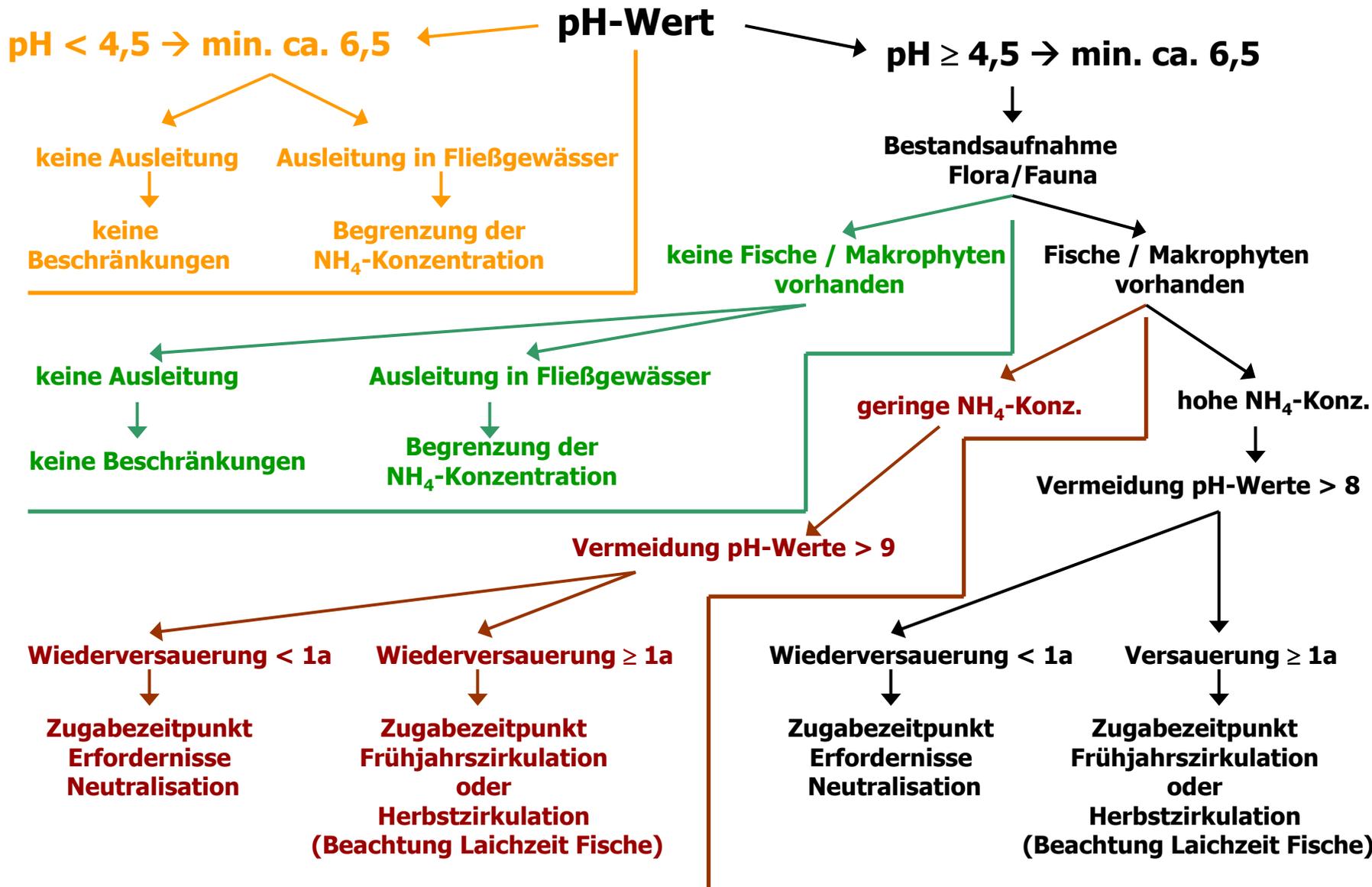
# Beurteilung Ammoniumeinleitungen

## Faktoren für die Anfälligkeit der Gewässerbiozönose

- **Empfindlichkeit der vorhandenen Biozönose**  
(z. B. Salmonidengewässer oder Cyprinidengewässer)
- **Beschaffenheit des Gewässers und bergbaubeeinflusster Zuflüsse**  
(pH-Wert, Pufferkapazität, Ammoniumkonzentration, Sauerstoffgehalt, ATH-BSB<sub>5</sub>)
- **Vorkommen von Stoffen mit Wirkungsverstärkung** (z.B. Metallsalze)
- **Verhältnis der Frachten** von "unbeeinflusstem" Oberflächenwasser und bergbaubeeinflussten Zuflüssen
- **Wassertemperatur** ("Aktivität der Nitrifizierer")
- **Autotropher Bewuchs im Gewässer** (Phytobenthos, submerse Makrophyten)
- **Hemmstoffe der Nitrifikation** (Anwesenheit, Konzentration)

## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen

# Neutralisationsstrategie Bergbaufolgeseen



# Untersuchungs- und Handlungsbedarf

## Monitoring

- **maßgebliche Einleiter** (Ermittlung Quellstärken und zeitliche Varianz)
- **punktueller Einleitungen** (Abgrenzung räumlicher Bereich Einmischung)
- **Ammoniumbelastung** (Untersuchungen zur Saisonalität)
- **Ammoniumabbau** (Quantifizierung)

## Ökotoxizität

- **chronische Wirkungen** v.a. Organismen Cyprinidenregion (z.B. Barbe, div. Muschelarten v.a. Glochidien)
- **Ökosystemtests** (kontrollierte Ökosysteme „Mesokosmen“ z.B. Gerinneversuche) zur Klärung von Wechselwirkungen

**Hoher Aufwand**



## Ammonium in ostsächsischen Bergbaufolgeseen



### Kontakt

Büro: Institut für Wasser und Boden  
01259 Dresden  
Lungkwitzer Straße 12

Telefon: 0351-2709854

Email: [info@iwb-dresden.de](mailto:info@iwb-dresden.de)

Internet: [www.iwb-dresden.de](http://www.iwb-dresden.de)

Büro: IDUS Biologisch Analytisches  
Umweltlabor GmbH  
01458 Ottendorf-Okrilla  
Radeberger Straße 1

Telefon: 035205-45957

Email: [webmaster@idus.de](mailto:webmaster@idus.de)

Internet: [www.idus.de](http://www.idus.de)