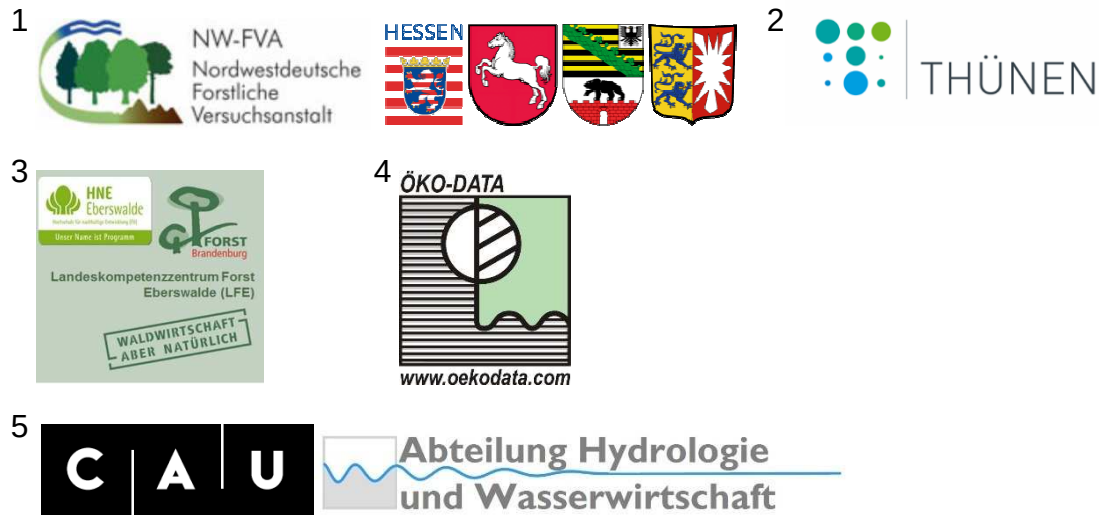


Bodenversauerung – gibt es Anzeichen von Erholung?

H. Meesenburg¹, A. Lauer², N. Eickenscheidt², N.
Wellbrock², B. Ahrends¹, W. Riek³, J. Evers¹,
H.-D. Nagel⁴, K. J. Meiwes¹, C.-G. Schimming⁵

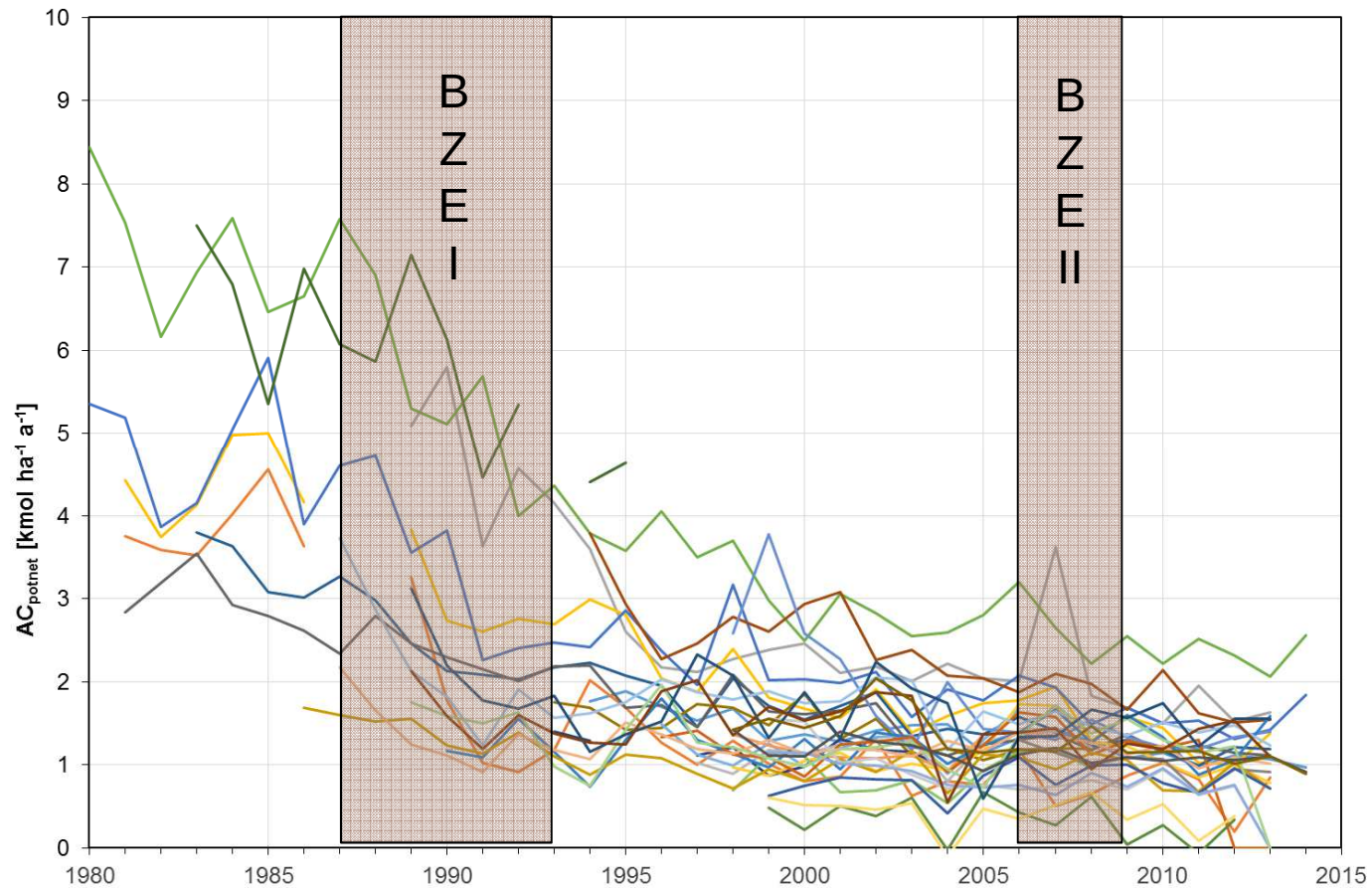


Agenda

- Säurebelastung und Bodenversauerung
- Säure-Base-Status der Waldböden
- Veränderungen des Säure-Base-Status
 - pH-Wert
 - Basensättigung
- Einflussgrößen
- Schlussfolgerungen

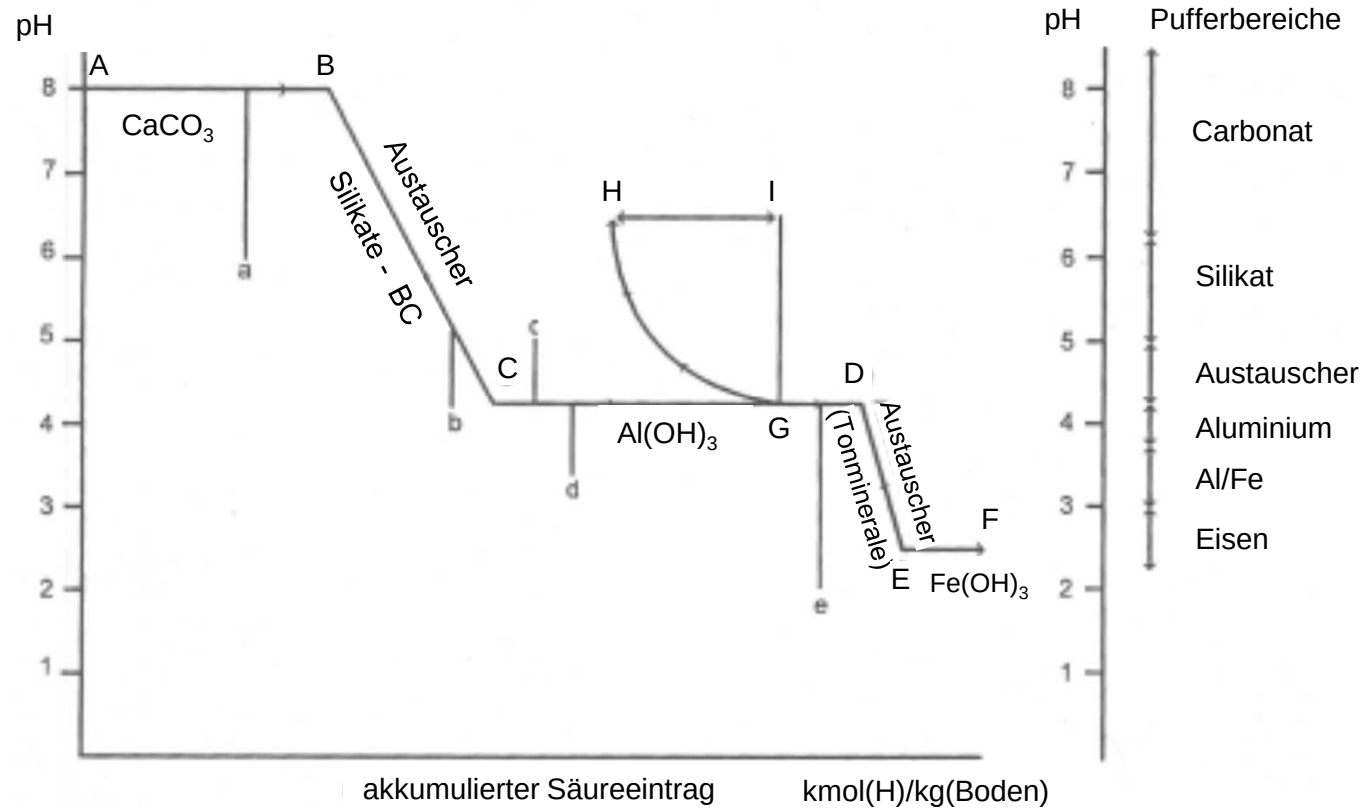


Rückgang der Bodenbelastung



Säuredeposition ($AC_{potnet} = NH_4 + NO_3 + SO_4 - BC^*$) in
Nordwestdeutschland

Verlauf der Bodenversauerung



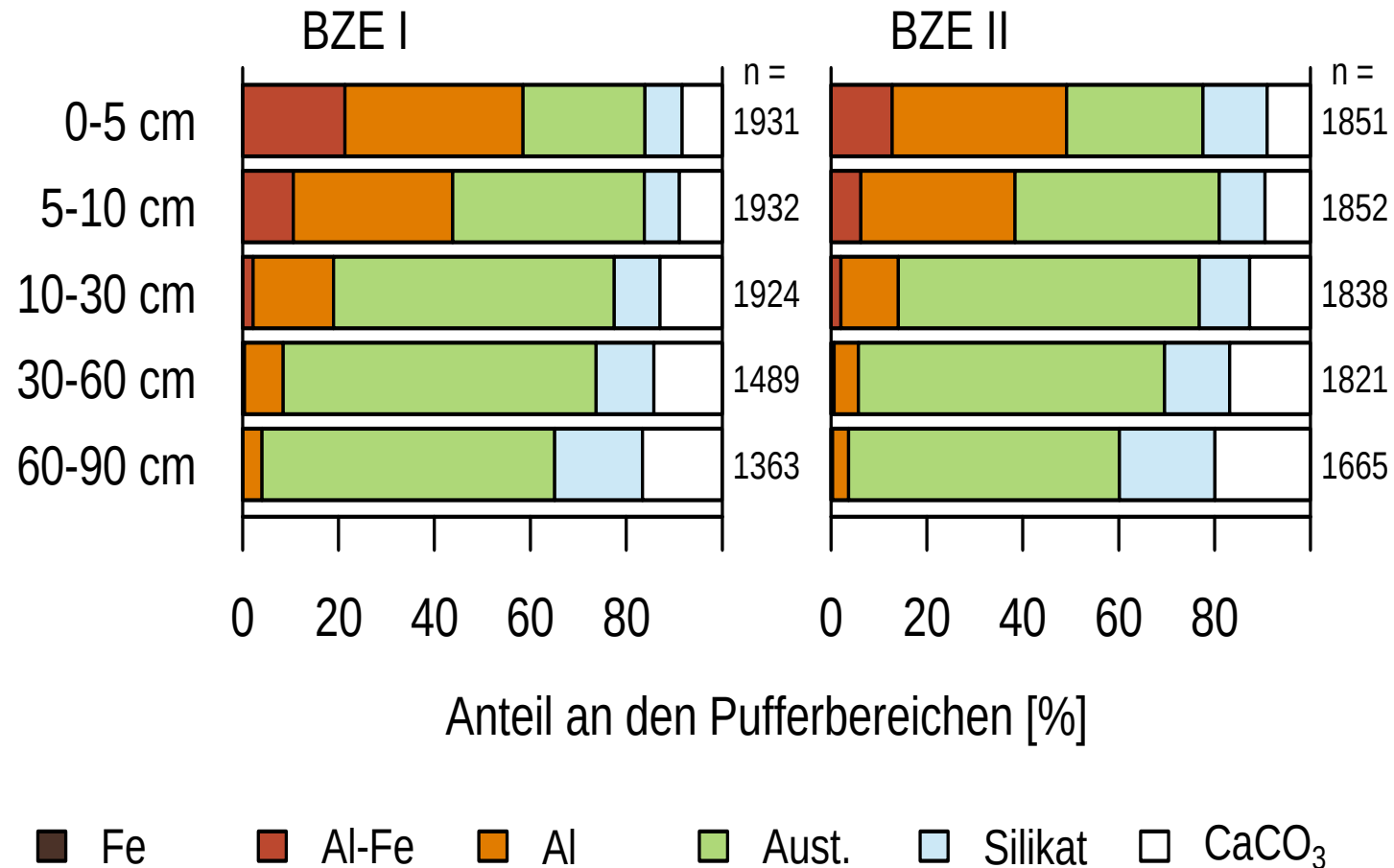
Schematischer Verlauf der Bodenversauerung in belüfteten Böden
(Prenzel 1985, verändert nach AK Standortskartierung 2003)

Säure-Pufferbereiche im Boden

Pufferbereich	Carbonat (CaCO ₃)	Silikat	Austauscher (Aust.)	Aluminium (Al)	Al-Fe	Eisen (Fe)
pH-Wert	8,6 - 6,2	6,2 - 5,0	5,0 - 4,2	4,2 - 3,8	3,8 - 3,0	<3,0
Pufferrate	hoch	gering	sehr hoch	hoch-mittel	mittel bei der Präsenz wasserlöslicher Huminstoffe	
Boden-chemische Schlüsselprozesse	Entkalkung	Freisetzung von Gitterkationen, Tonmineralneubildung	Verlust austauschbarer Kationen, Abnahme der AKe	Lösung von silikatischem Al; Tonzerstörung, Protolyse von Al-Hydroxiden	Fe-Mobilisierung als org. Komplex	Bleichung bei hohem O ₂ -Partialdruck

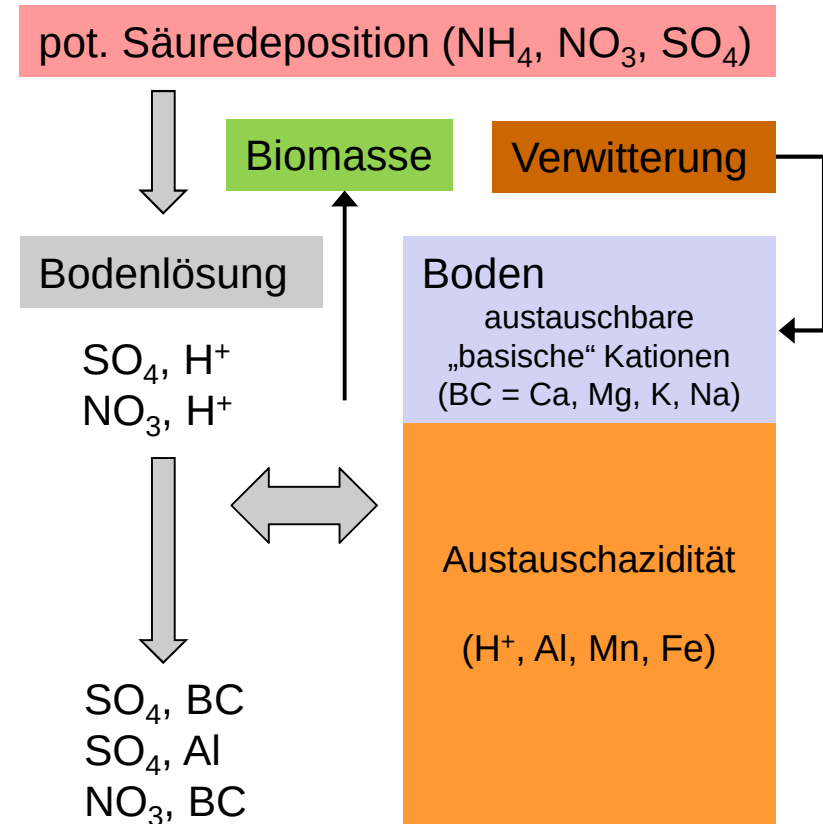
Säure-Pufferbereiche (nach pH(H₂O)) in belüfteten Böden (Ulrich 1981 und 1983, verändert nach AK Standortskartierung 2003)

Säure-Base-Status: Anteile an den Pufferbereichen



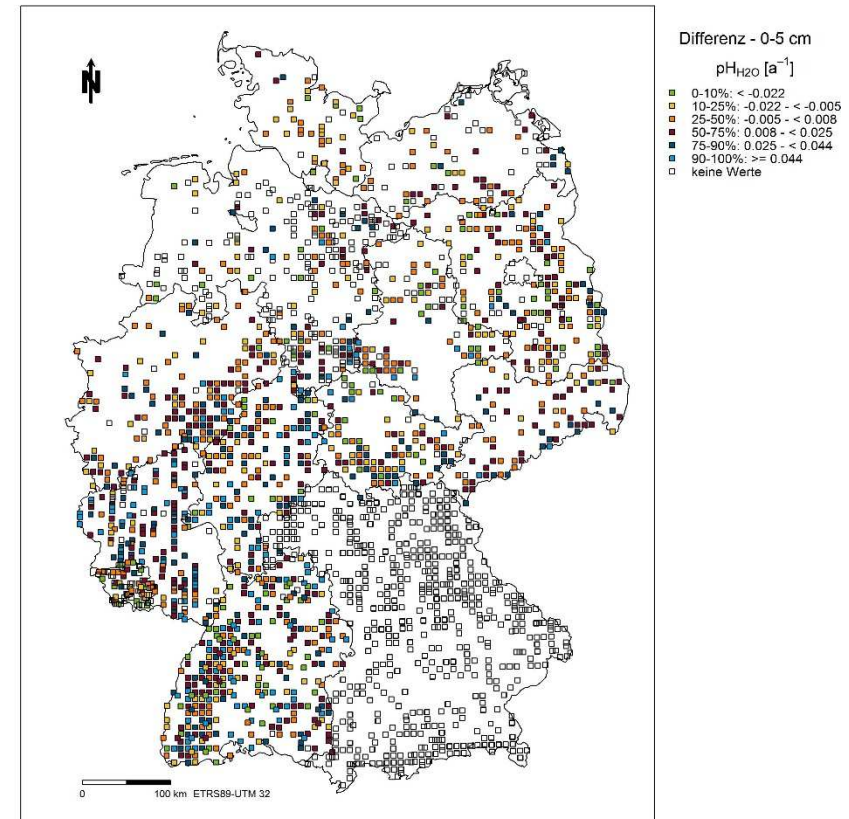
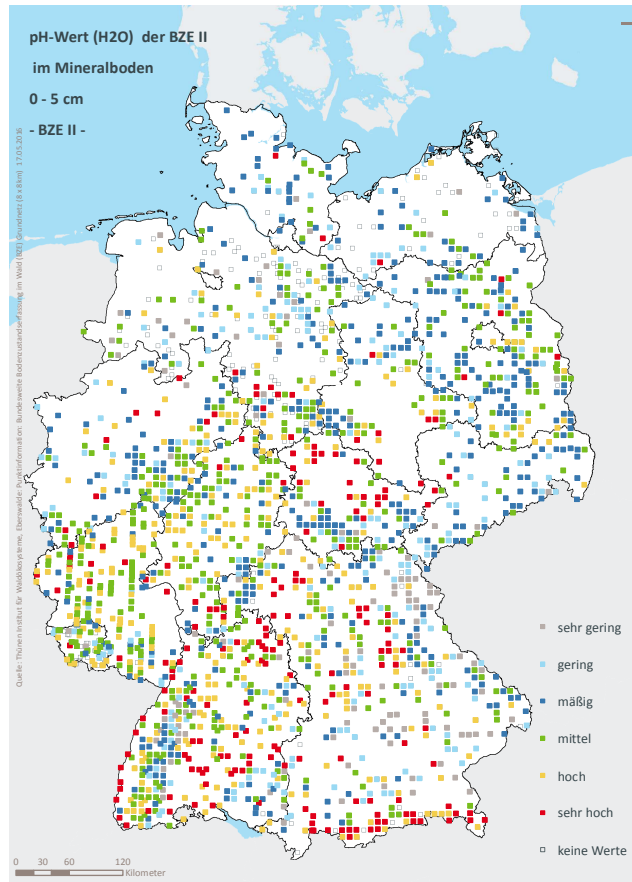
Indikatoren der Bodenversauerung

- Haben sich die pH-Werte verändert?
- Hat sich die Basensättigung verändert?
- Welche Prozesse steuern Änderungen des Säure-Base-Status?
 - Abnahme Säuredeposition
 - Kalkung (sonst. Basenzufuhr)
 - Sulfatspeicherung
 - Biomasseentzug
 - Ionenstärke der Bodenlösung
 - Staub-/Flugascheeinträge



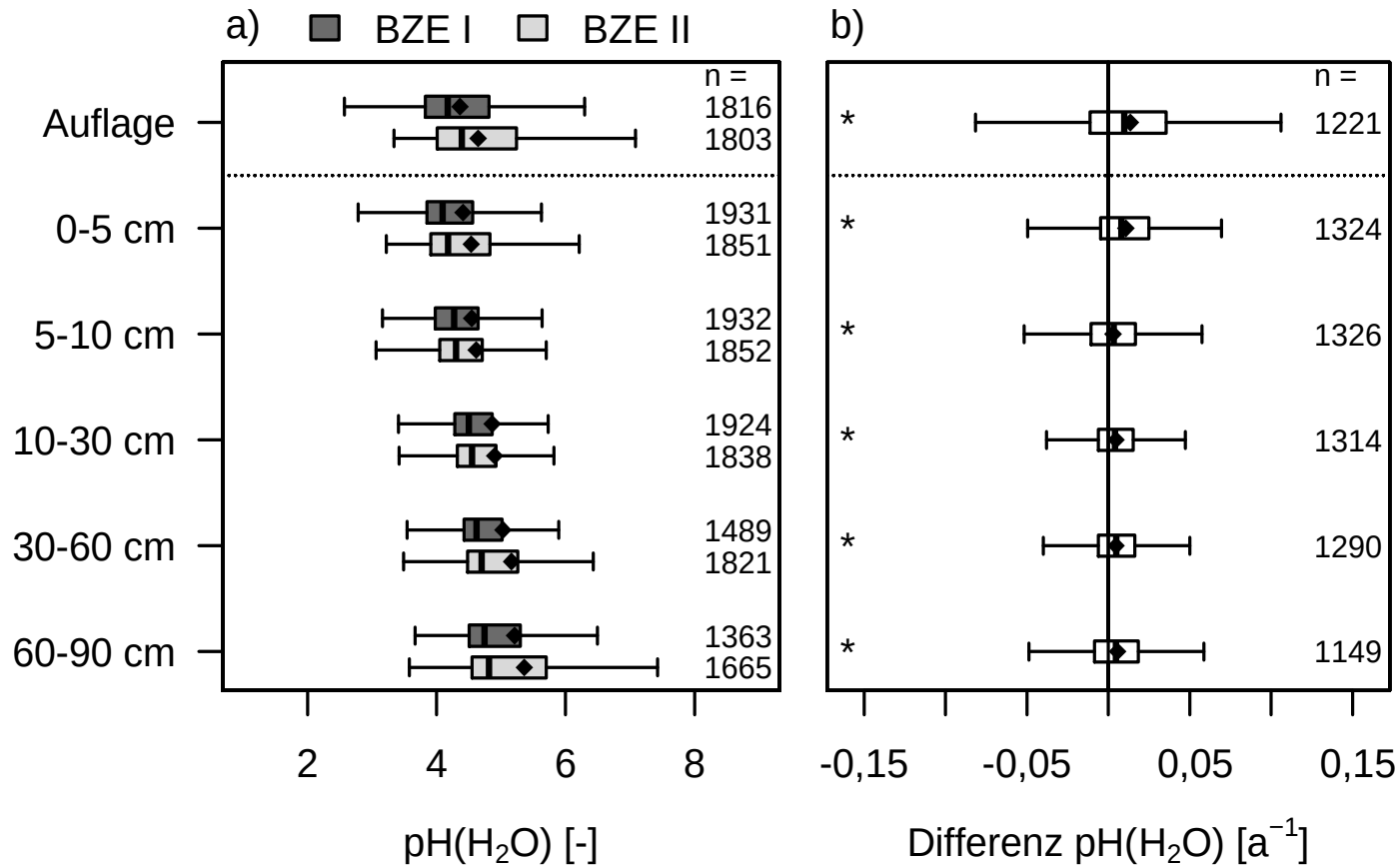
nach Johnson et al. 2016, verändert.

pH(H₂O)-Wert(veränderung)



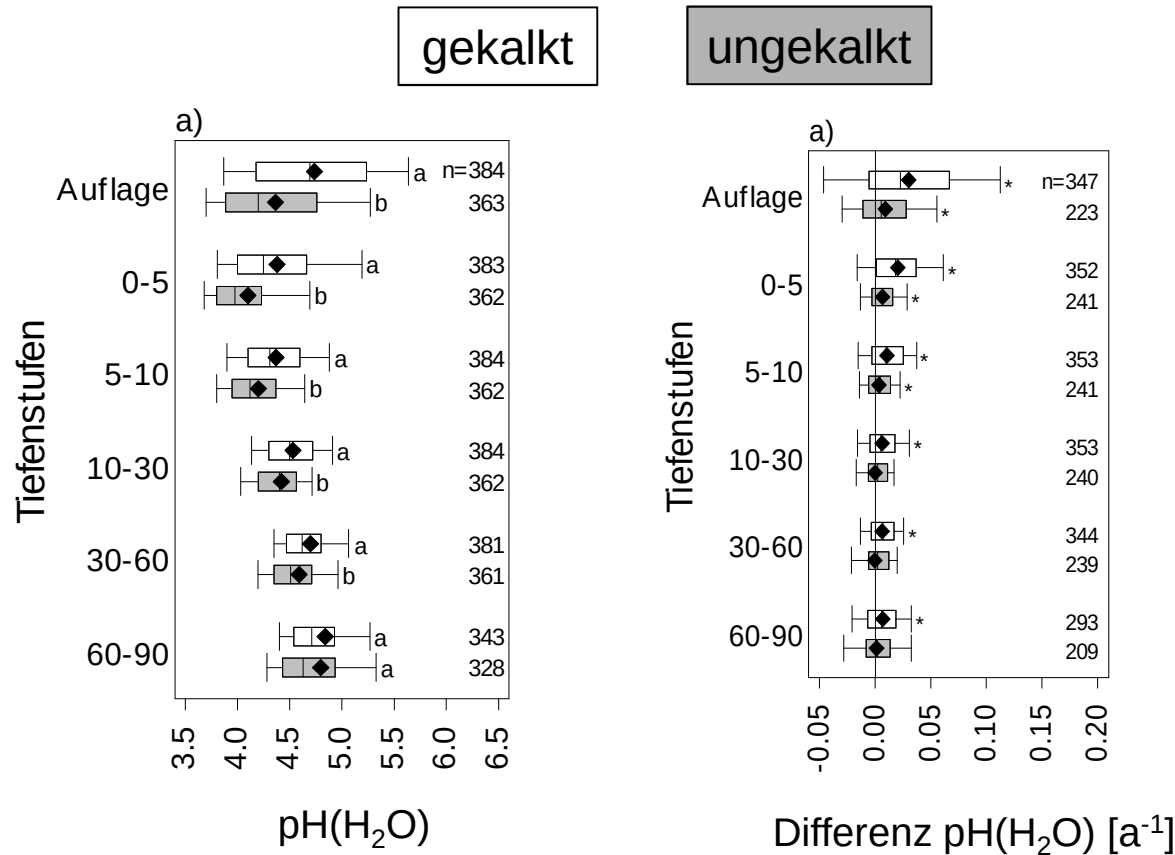
Verteilung des pH(H₂O) in 0 – 5 cm Tiefe an den BZE II-Punkten
sowie Veränderung zwischen BZE I und BZE II

pH(H₂O)-Wert(veränderung)



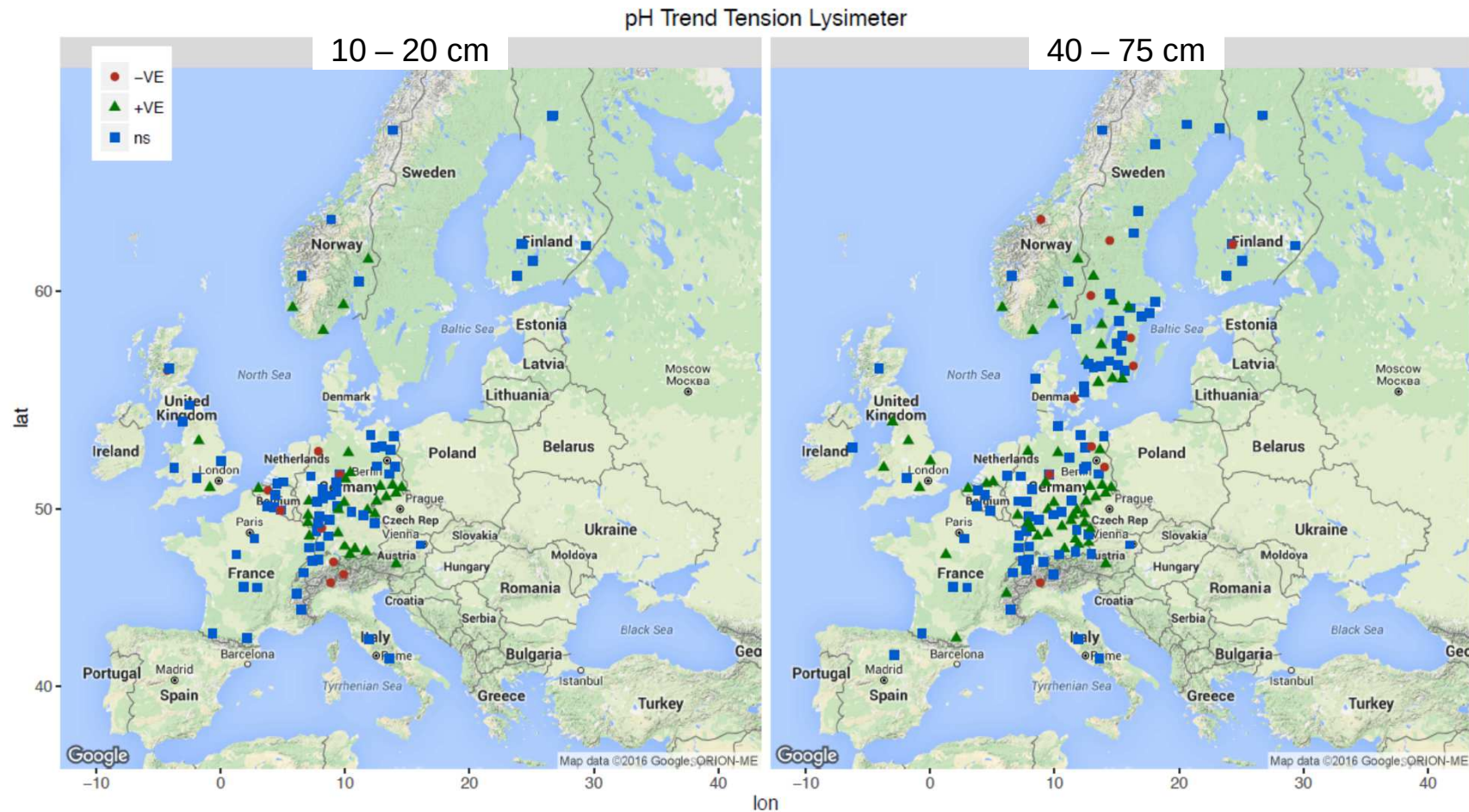
Verteilung des pH(H₂O) in den Tiefenstufen für BZE I und BZE II sowie Veränderung zwischen BZE I und BZE II (paarweise, * sign. Unterschied)

pH(H₂O) gekalkt - ungekalkt



Verteilung des pH(H₂O) in den Tiefenstufen für versauerungsempfindliche Standorte (gekalkt/ungekalkt) der BZE I und BZE II sowie Veränderung zwischen BZE I und BZE II (paarweise, * sign. Unterschied)

pH-Änderungen Europa

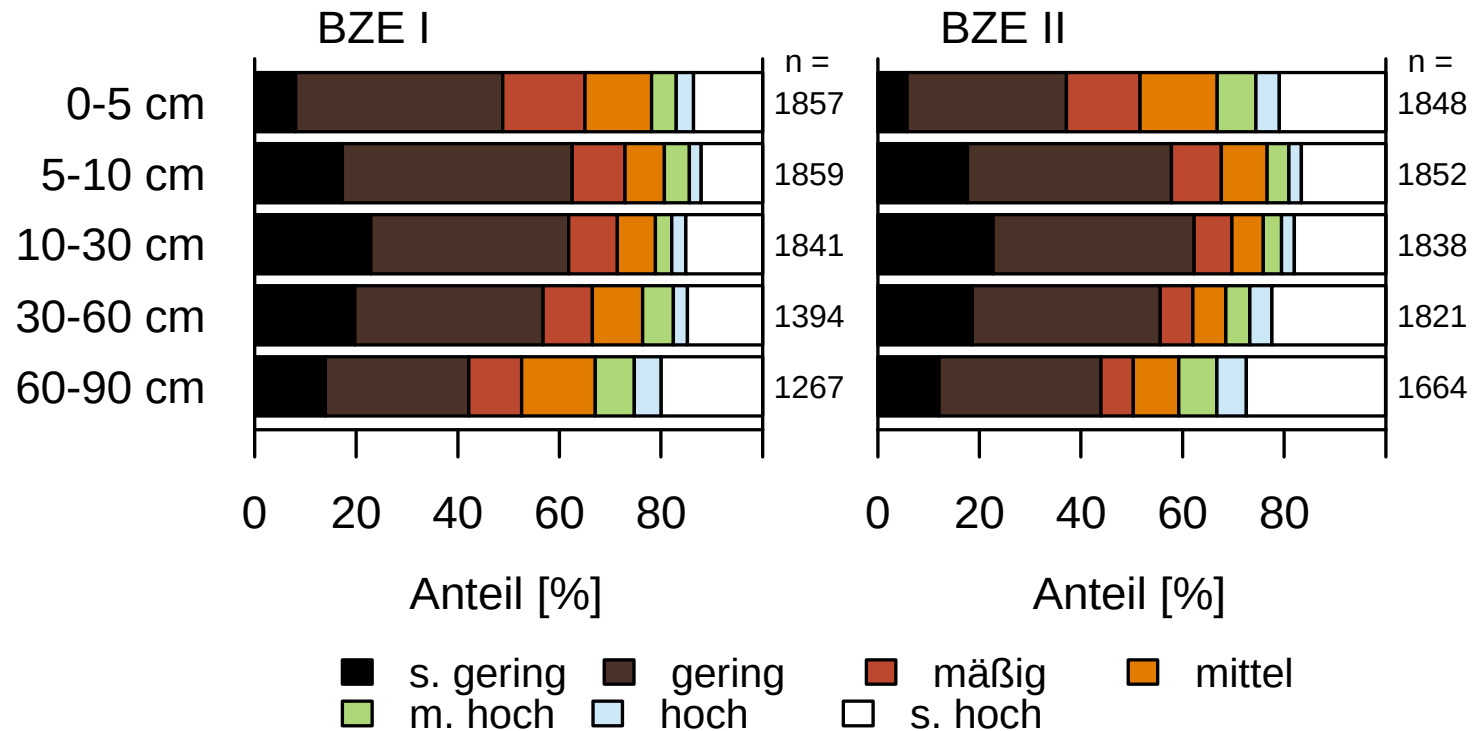


pH-Trends in der Bodenlösung von Level II-Standorten
(1995-2012)

Johnson et al. 2016

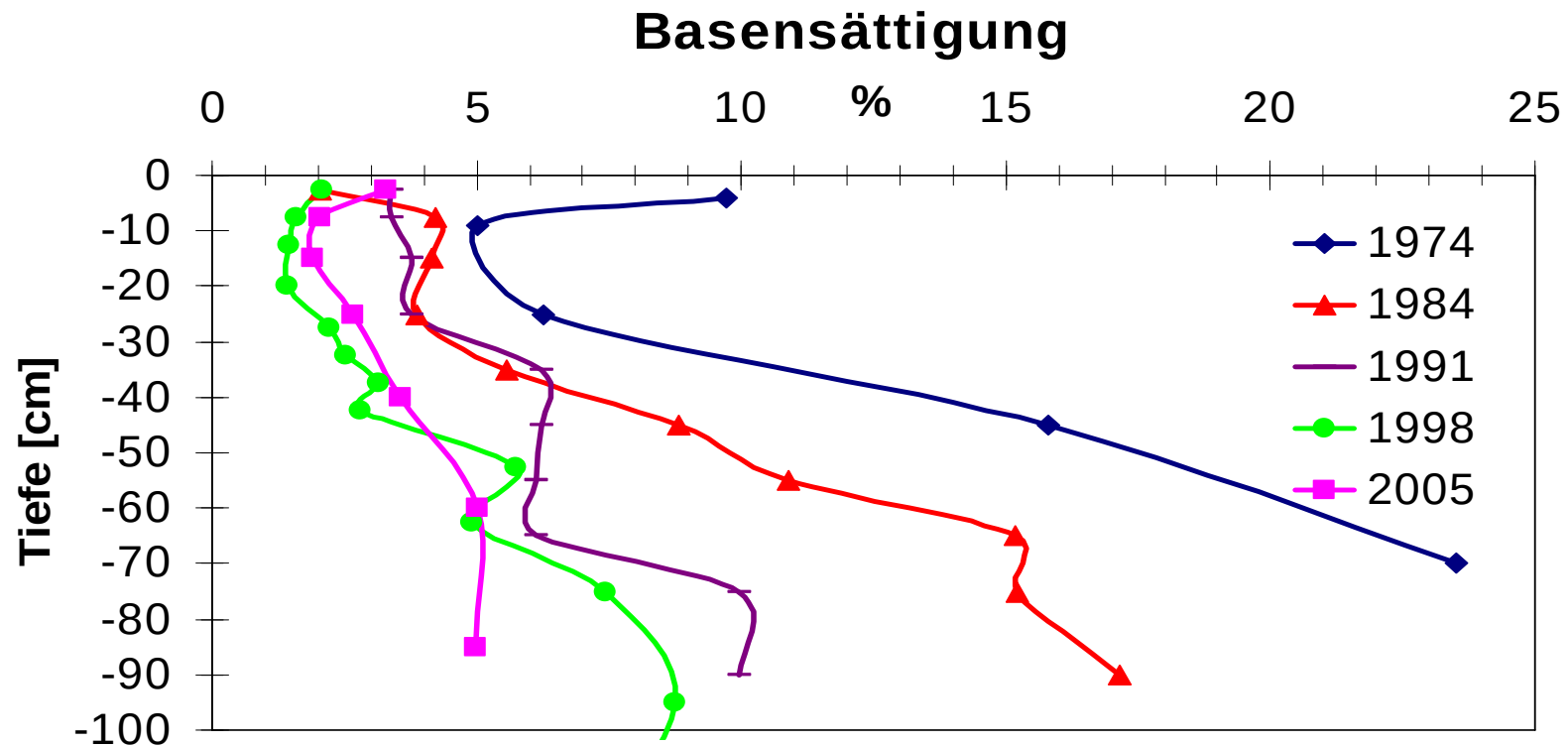
Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung
Berlin, 18./19. Mai 2016

Basensättigung



Anteile der BZE-Punkte in den Tiefenstufen an Basensättigungsklassen
 (s. gering < 7%, gering 7-20%, mäßig 20-30%, mittel 30-50%,
 m. hoch 50-70%, hoch 70-85%, s. hoch >85%, n. AK Standortskartierung 2003)

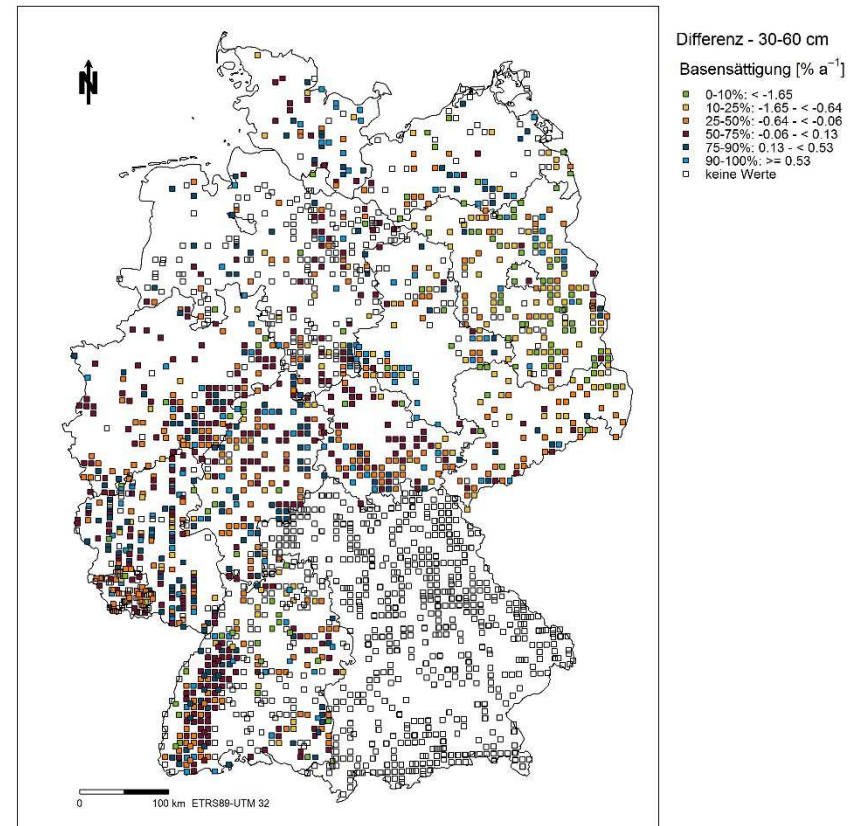
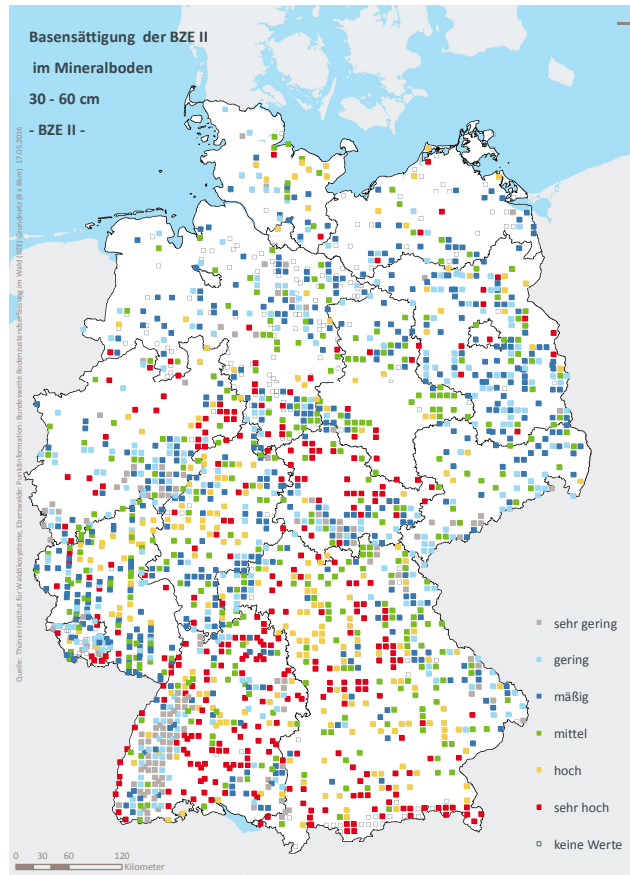
Veränderung der Basensättigung



Tiefenprofile der Basensättigung im Gebiet der
Langen Bramke

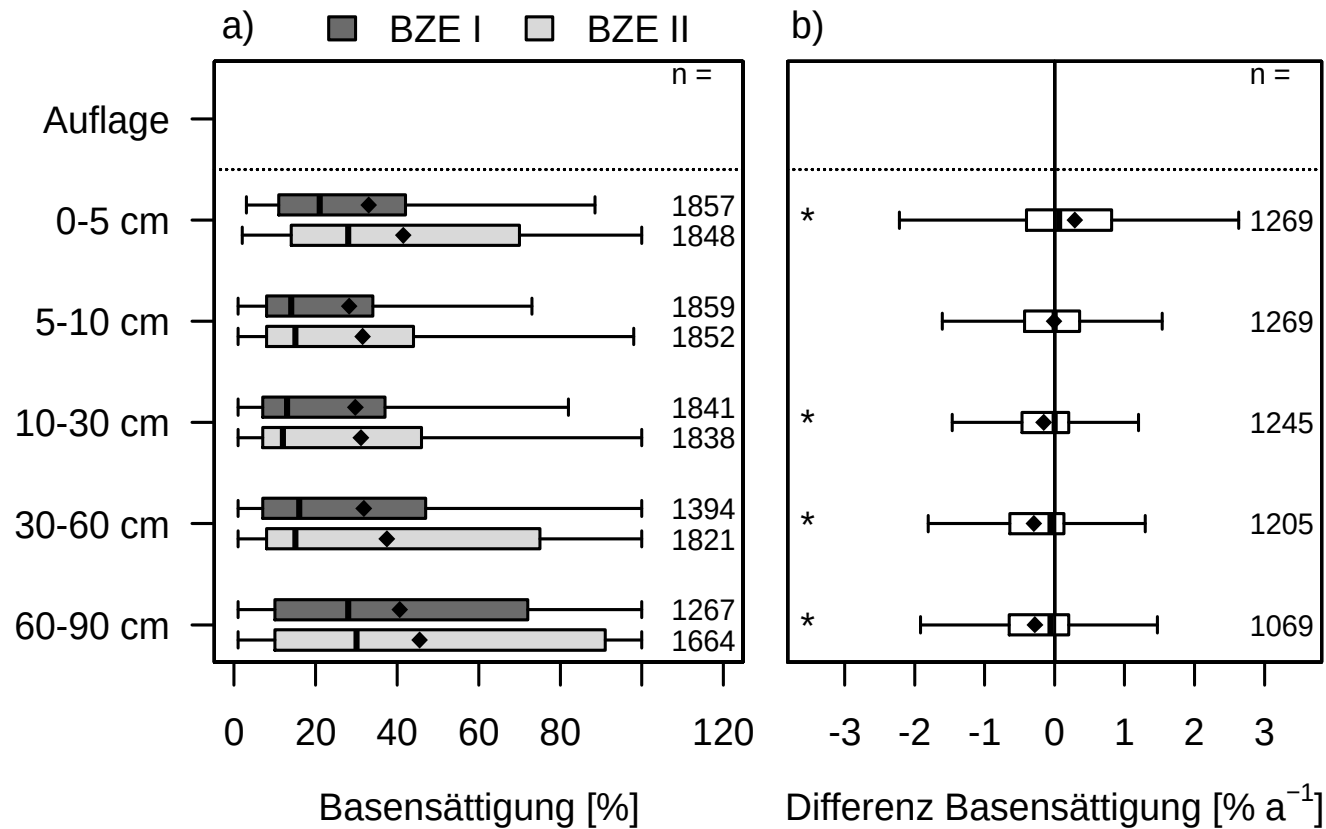
Müller et al. 2016 Ecol Ind

Basensättigung



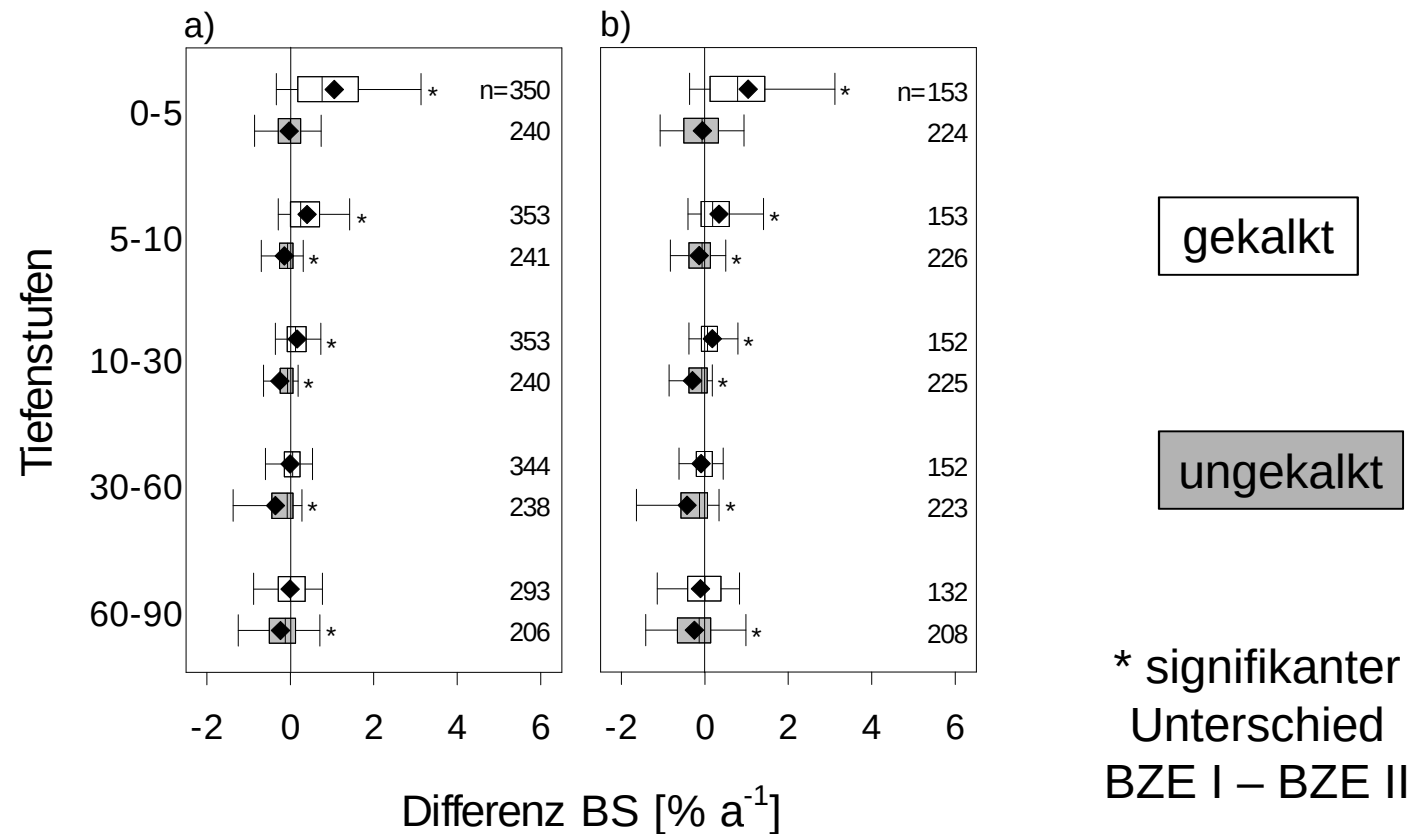
Verteilung der Basensättigung in 30 – 60 cm Tiefe an den BZE II-Punkten
sowie Veränderung zwischen BZE I und BZE II

Basensättigung



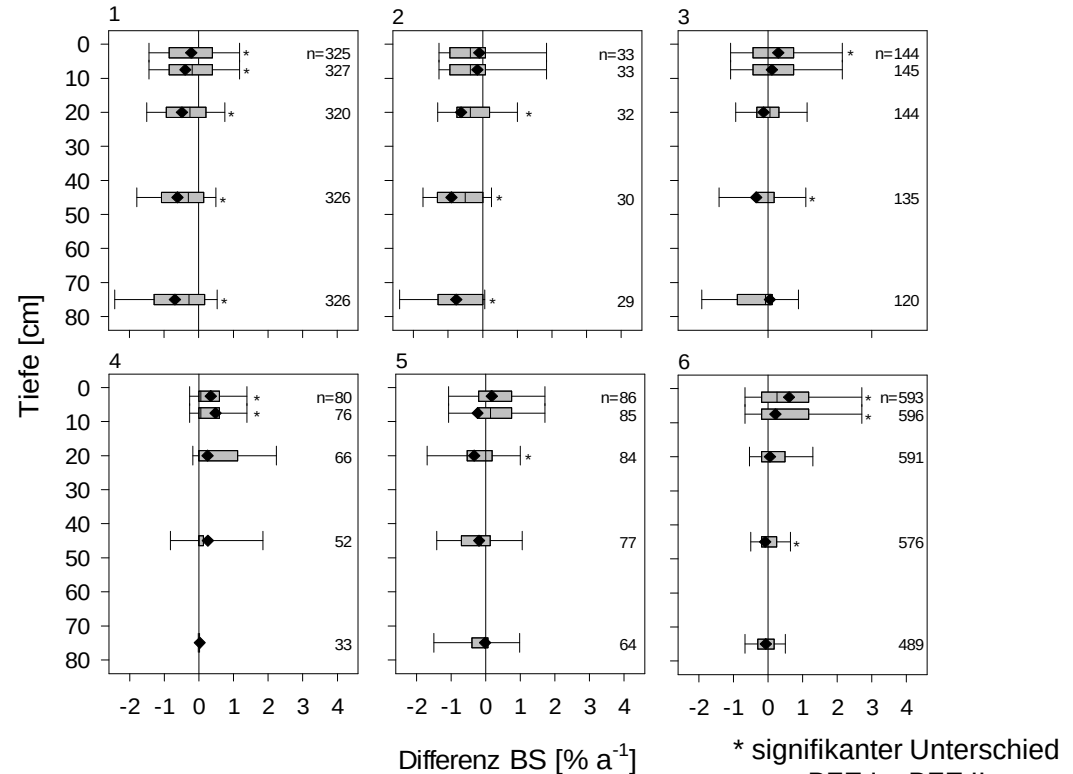
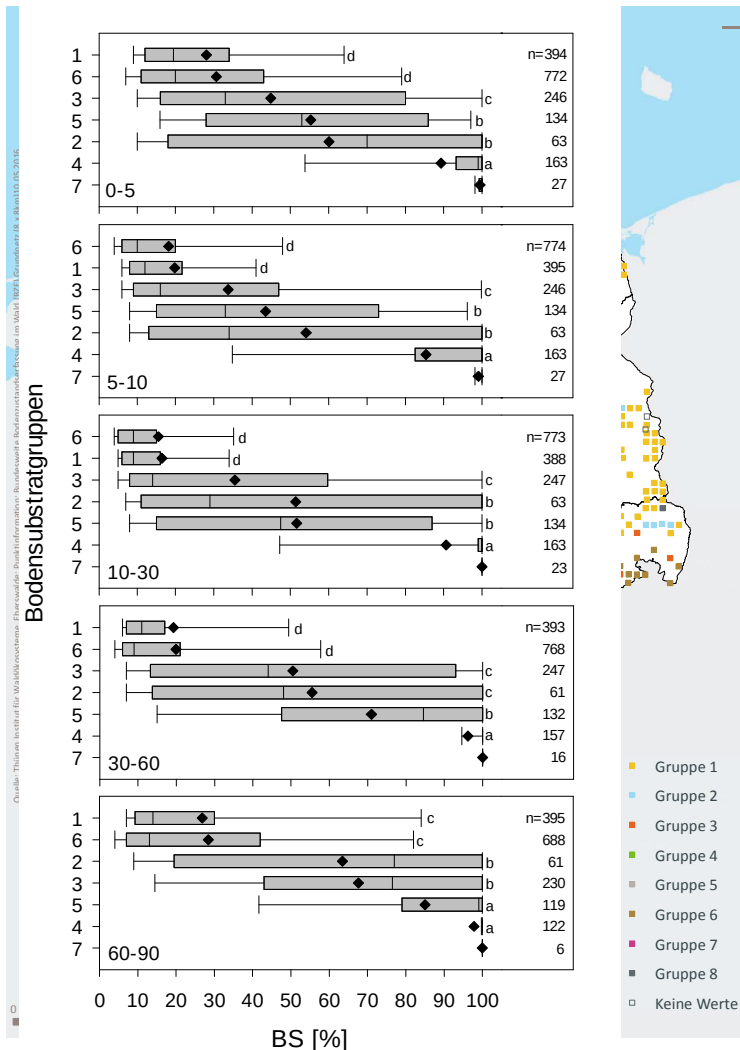
Verteilung der Basensättigung in den Tiefenstufen für BZE I und BZE II sowie Veränderung zwischen BZE I und BZE II (paarweise, * sign. Unterschied)

Veränderung der Basensättigung gekalkt + ungekalkt



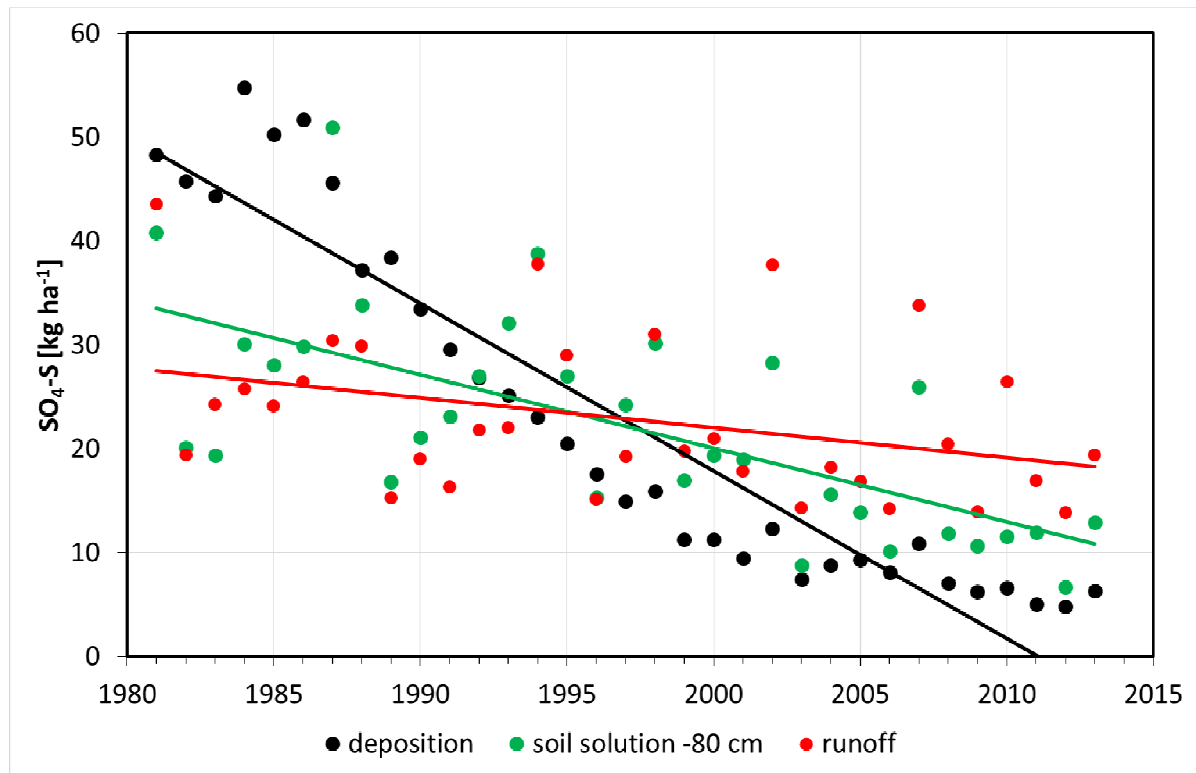
Verteilung der Basensättigung für versauerungsempfindliche Standorte

Basensättigung und Bodensubstratgruppen



- 1 = Böden aus basenarmem Lockergestein **z.T. flugaschebeeinflusst**
- 2 = semi-terrestrische Böden der breiten Flusstäler
- 3 = Tieflandböden aus Lösslehm
- 4 = Böden aus verwittertem Karbonatgestein
- 5 = Böden aus basisch-intermediärem Festgestein
- 6 = Böden aus basenarmem Festgestein
- 7 = Böden der Alpen
- 8 = Moore und Anmoore

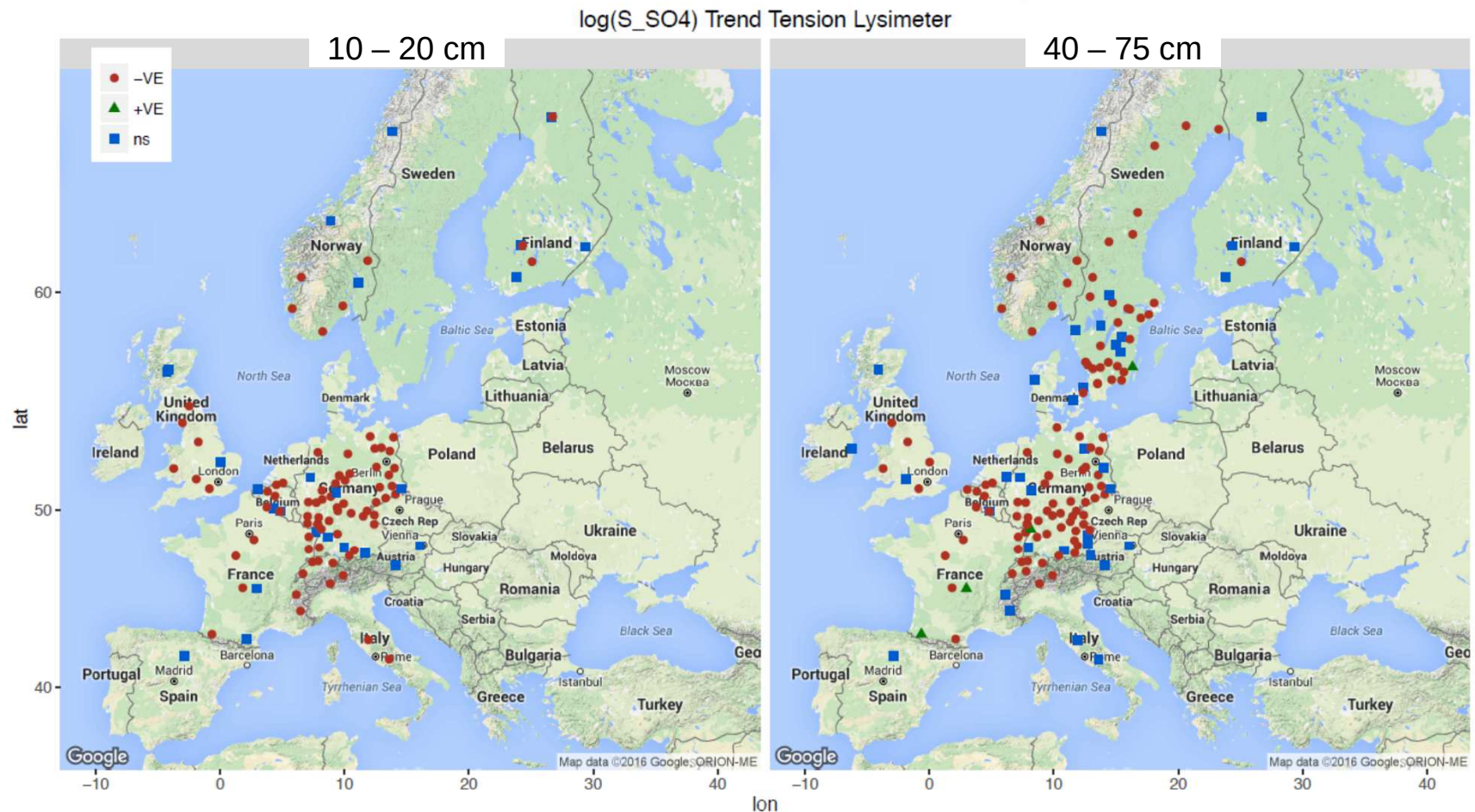
Sulfat-Speicherung



Trends der Sulfat-Schwefel-Flüsse im Gebiet
der Langen Bramke

Müller et al. 2016 Ecol Ind

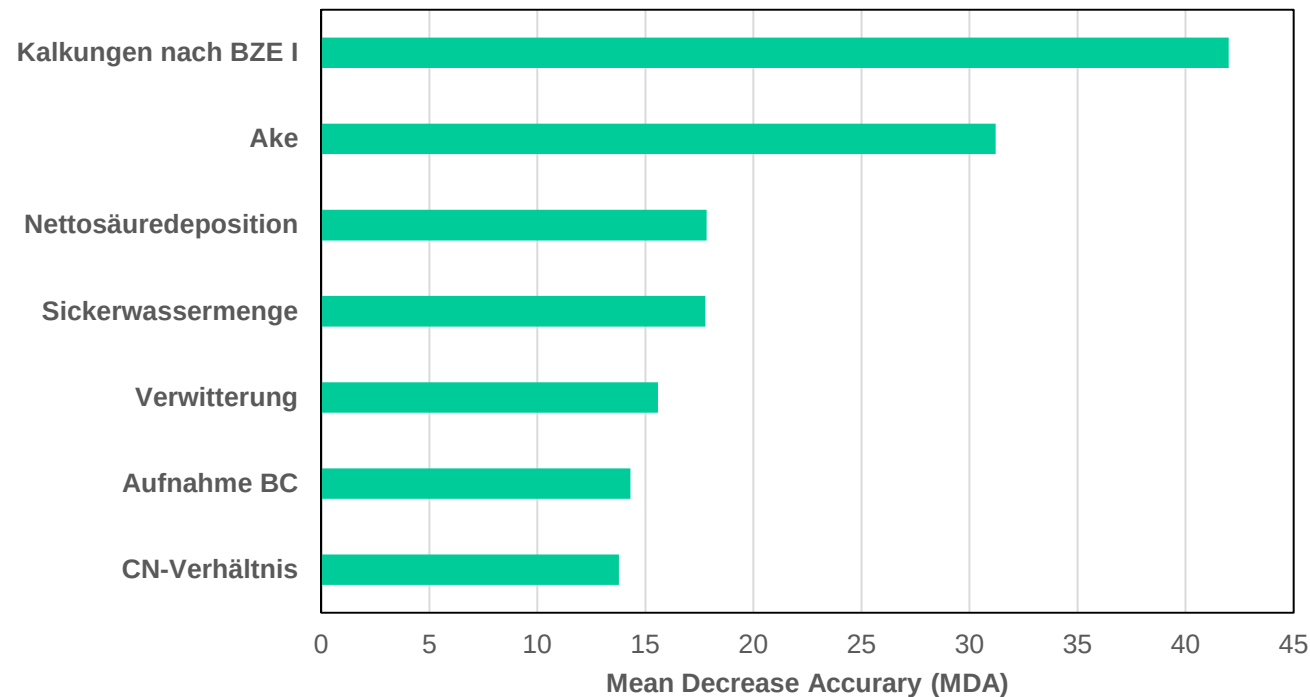
Trends Sulfat Europa



Trends der Gehalte von SO_4 in der Bodenlösung von Level II-Standorten
(1995-2012)

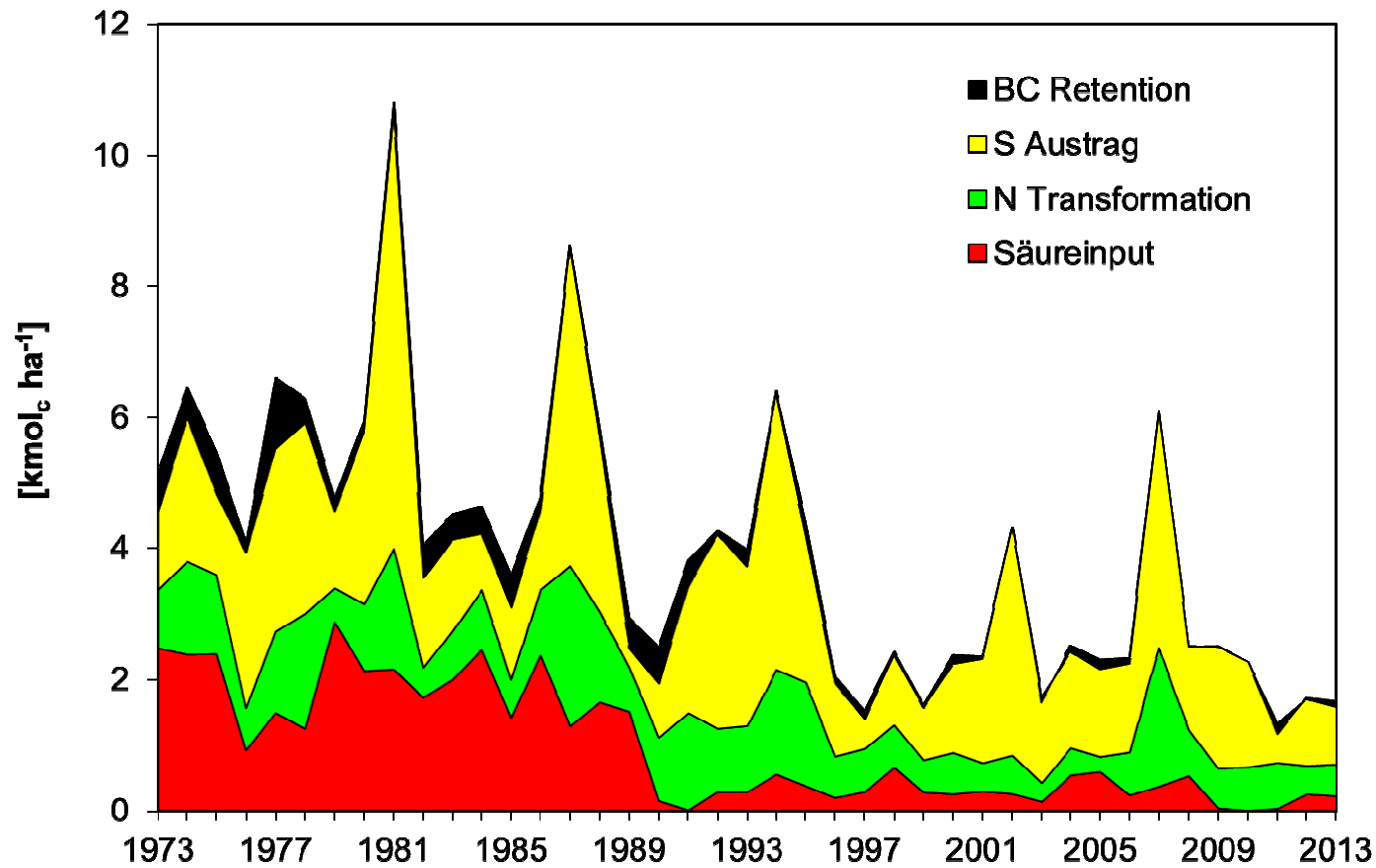
Johnson et al. 2016

Bedeutung von Faktoren für Änderung BS



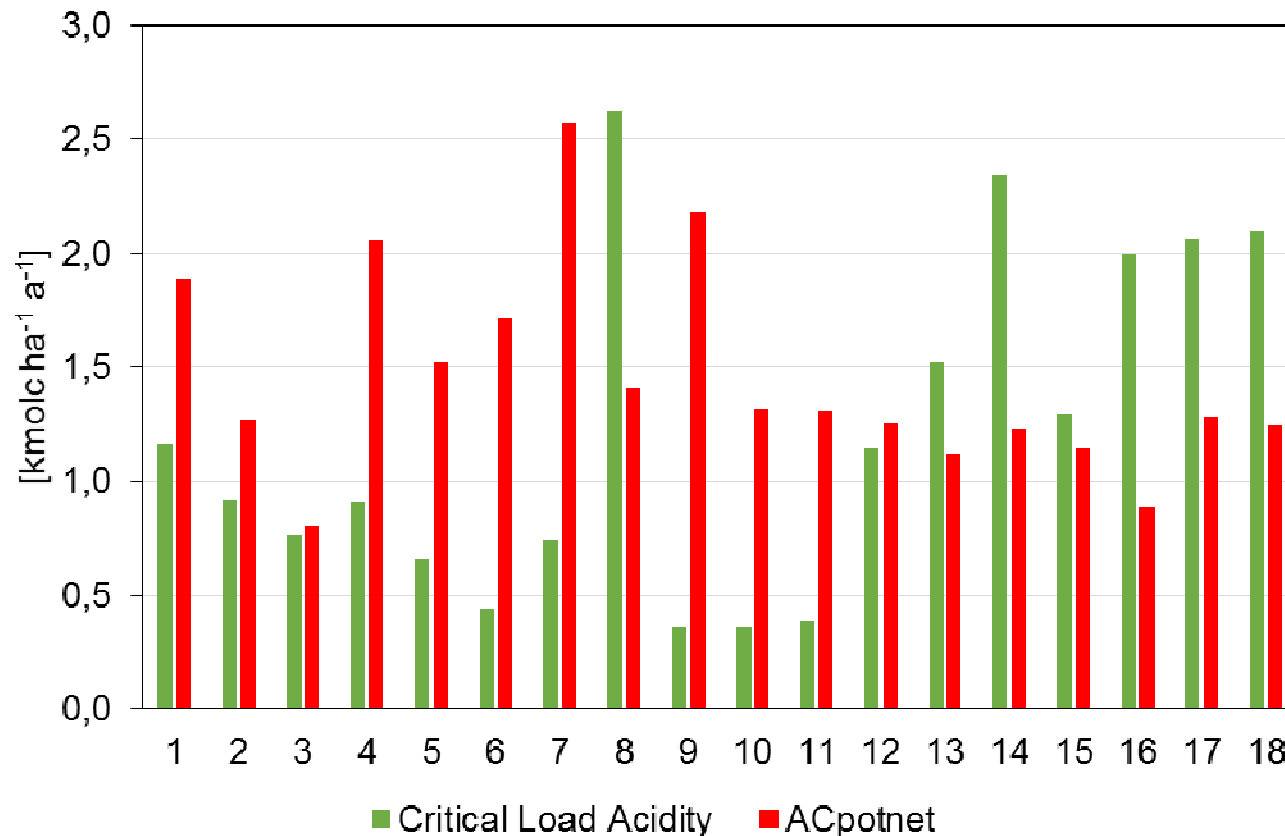
Random Forest-Modell zur Evaluation der Bedeutung einzelner Faktoren für die Änderung der Basensättigung zwischen BZE I und BZE II.

Säurebelastung



Komponenten der Säurebelastung in einem
Fichtenökosystem im Solling

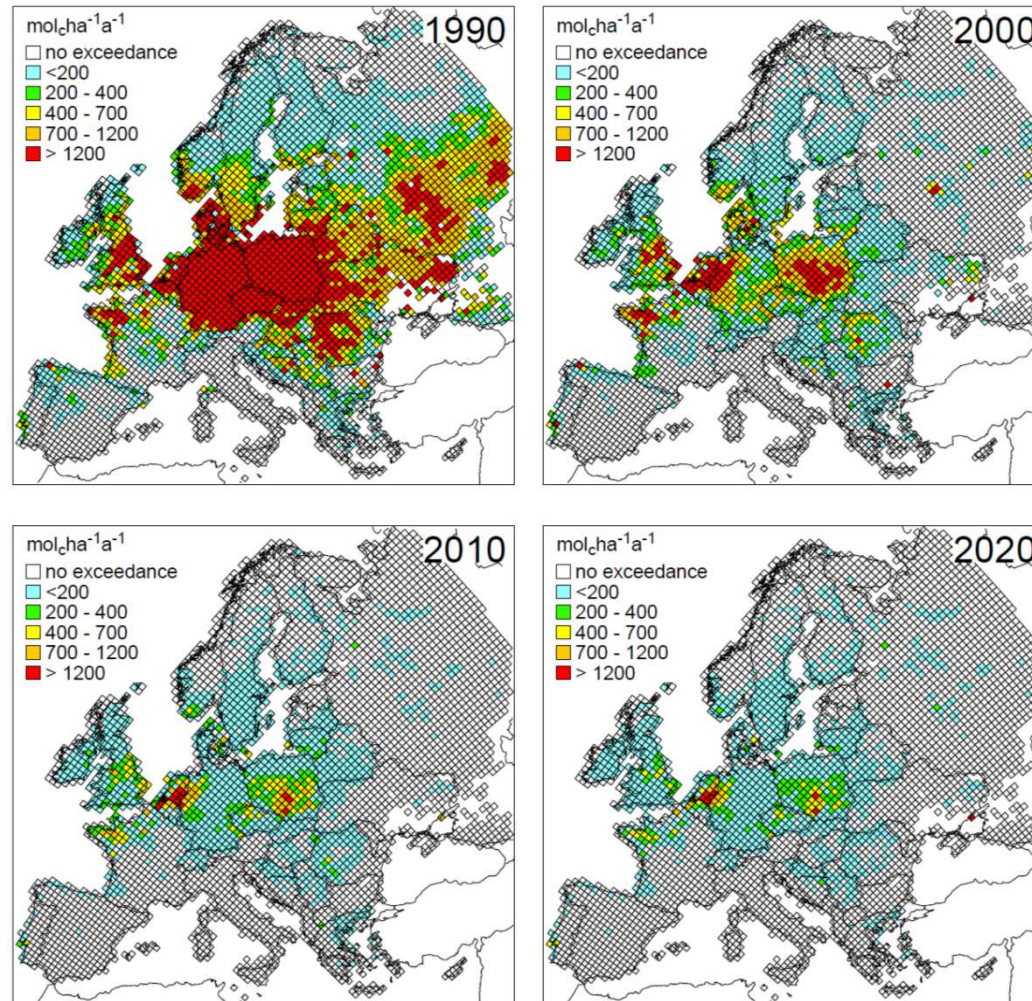
Critical Loads und aktuelle Säurebelastung



Critical Loads für Säureeinträge und Säurebelastung (AC_{potnet}, Mittel 1999-2013) an Intensiv-Monitoringflächen in Nordwestdeutschland

Meesenburg et al. 2015 For BGA

Überschreitung Critical Loads



Überschreitungen
der Critical Loads
für Säure in
Europa

Reis et al. 2012 Science

Bodenversauerung – Gibt es Anzeichen von Erholung?

- Waldböden überwiegend stark versauert
- Erholung von Versauerung (pH-Wert) im Oberboden
- weitere Versauerung (Abnahme Basensättigung) im Unterboden von sensiblen, ungekalkten Standorten
- Regeneration im Ober- und Unterboden auf gekalkten Standorten
- zunehmende Bedeutung verschiedener Säurequellen (SO_4 -Remobilisierung, N- Transformationen, Biomasseentzug) für Säure-Base-Status von Waldböden
- weitere Reduktion der Säureeinträge (NO_x , NH_y) notwendig, um sensitive Böden vor weiterer Versauerung zu schützen
- BZE hat sich als wirkungsvolles Monitoringsystem zur Erfassung der Bodenversauerung erwiesen



Vielen Dank für das Interesse!

BZE

Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung
Berlin, 18./19. Mai 2016