

Waldkalkung

– Umweltschutz gegen Naturschutz?

Albert Reif, Freiburg
Ernst-Detlef Schulze, Jena
Jörg Ewald, Freising
Andreas Rothe, Freising

Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Versauerung (Kaupenjohann)
- 3 Reaktion der Böden auf Versauerung (Kölling, v Wilpert)
- 4 Reaktion der Baumarten auf Versauerung
- 5 Waldkalkung (Kölling, v Wilpert)
- 6 Eutrophierung durch N-Einträge (Kölling, Reif)
- 7 Versauerung, N-Eintrag, Kalkung und Vegetation (Seitz)
- 8 Interaktion Stickstoffeintrag, Kalkung, Nährstoffdisequilibriumen
- 9 Schlussfolgerung
- 10 Ausblick

Inhalt

1 Einleitung

2 Versauerung (Kaupenjohann)

3 Reaktion der Böden auf Versauerung (Kölling, v Wilpert)

4 Reaktion der Baumarten auf Versauerung

5 Waldkalkung (Kölling, v Wilpert)

6 Eutrophierung durch N-Einträge (Kölling, Reif)

7 Naturschutz: Versauerung, N-Eintrag, Kalkung und Vegetation (Seitz)

8 Interaktion Stickstoffeintrag, Kalkung, Nährstoffdisharmonien

9 Schlussfolgerung

10 Ausblick



Kalkung in einem Altbestand eines Fichten-Baumholzes, Altensteig 2004

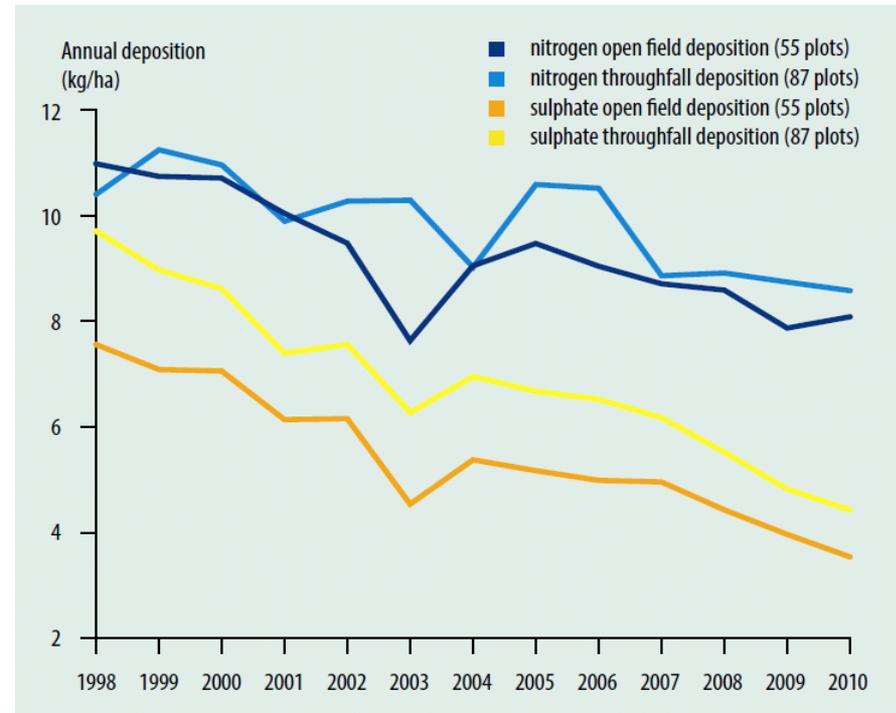


Kalkung in einem Altbestand eines Fichten-Baumholzes, Altensteig 2004

2 Versauerung der Wälder

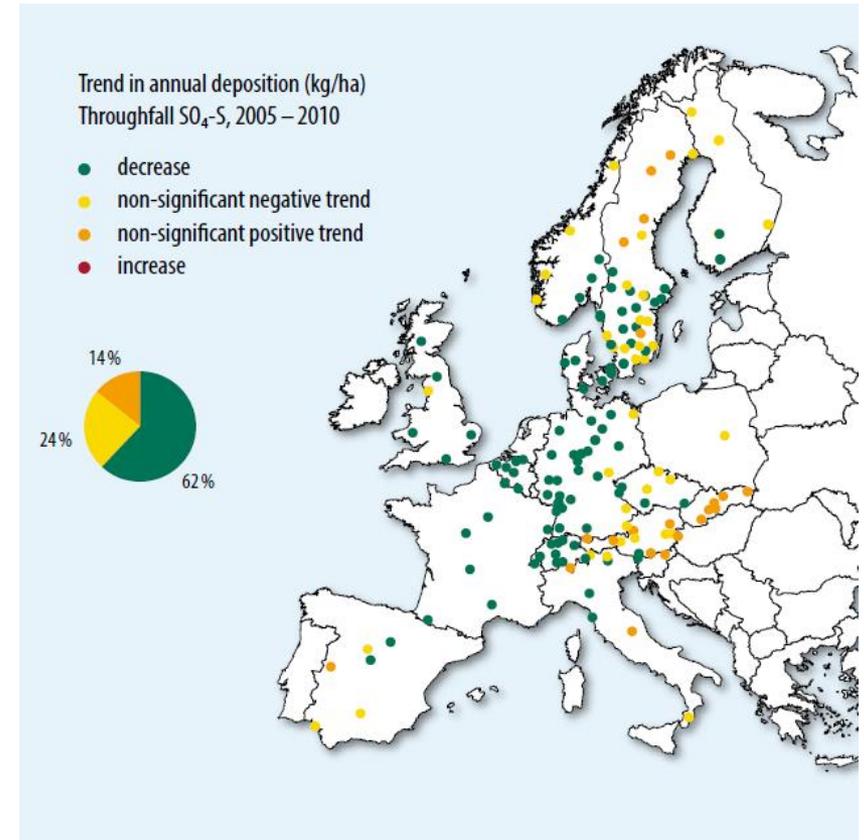
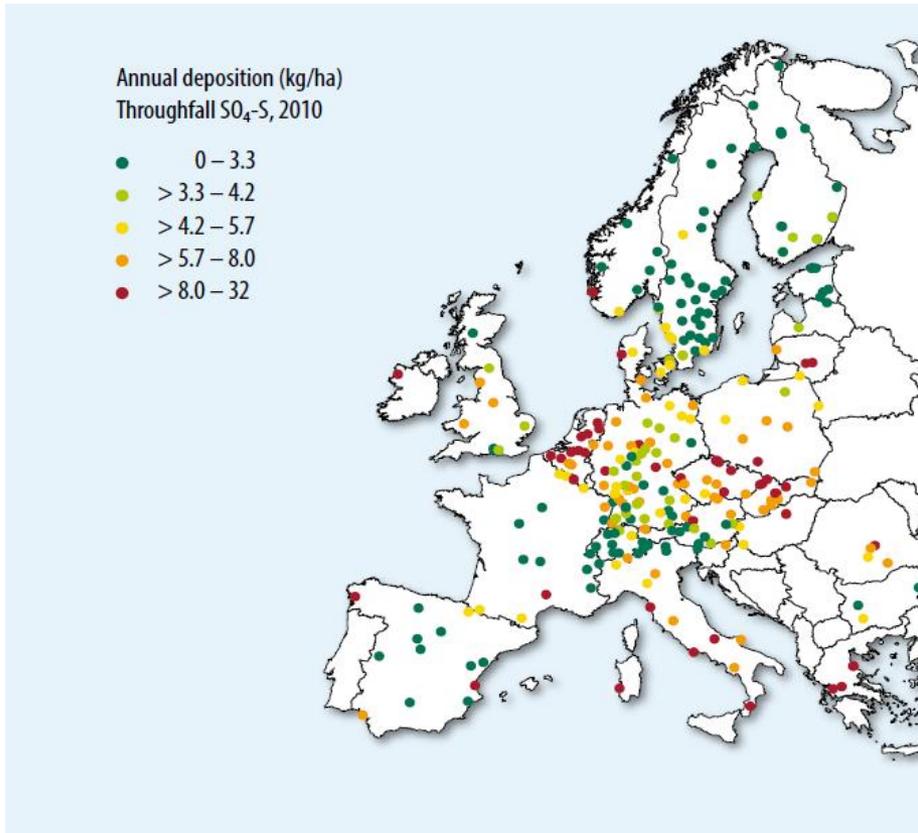
Aktuelle Trends:

- Rückgang der SO_2 -Belastung
- N-Einträge bleiben auf hohem Niveau
- Versauernde Wirkung bleibt regional bestehen (CH)
- Versauernde Wirkung heutiger Immissionen kompensierbar durch Mineralverwitterung (Ba-Wü)



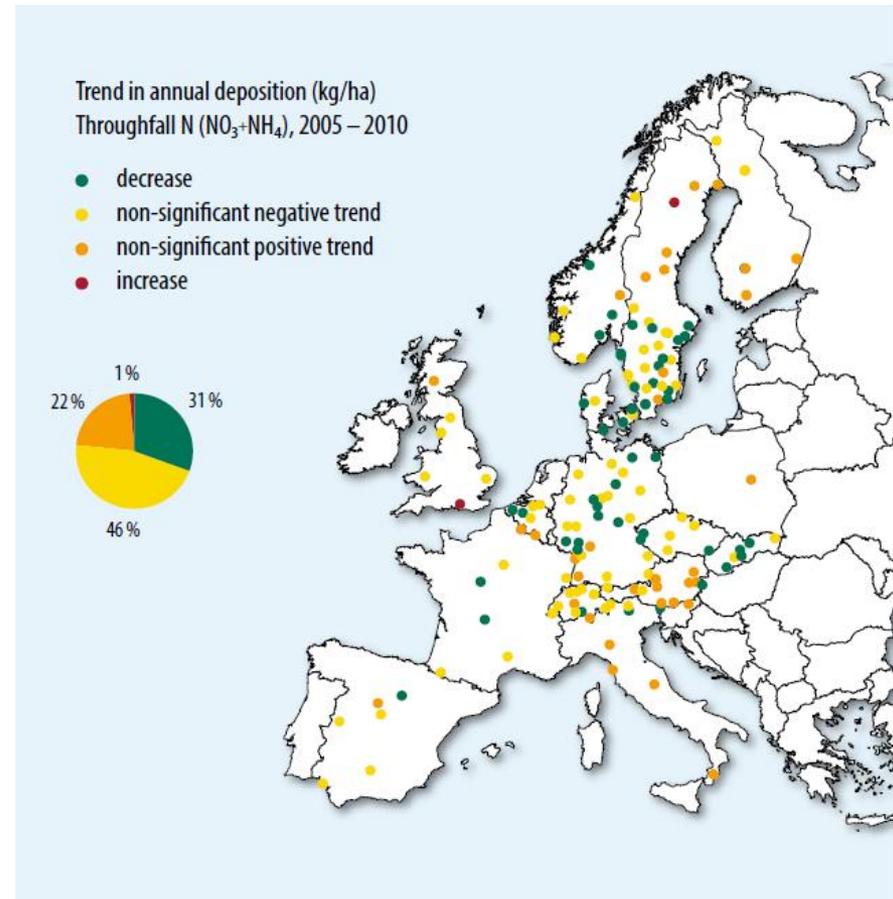
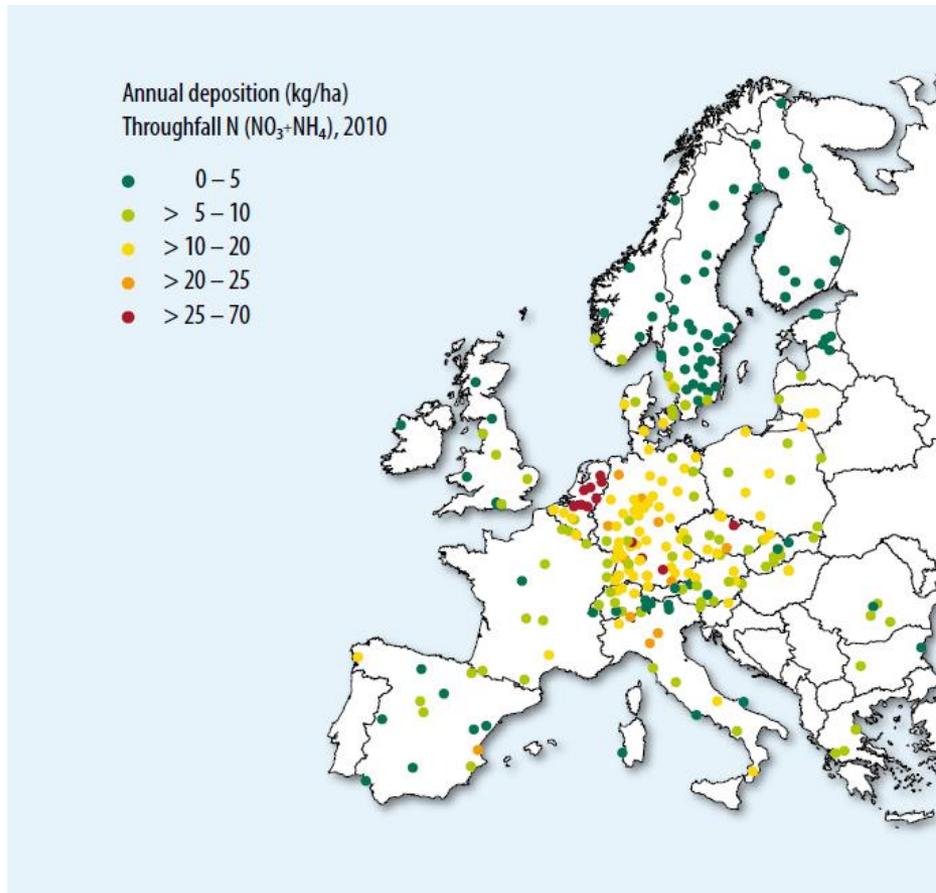
Aus: Fischer et al. 2012

Jährliche Deposition von Schwefel (S-Sulfat) in Europa in 2010, Mittelwerte 2005 – 2010 (FISCHER et al. 2012)



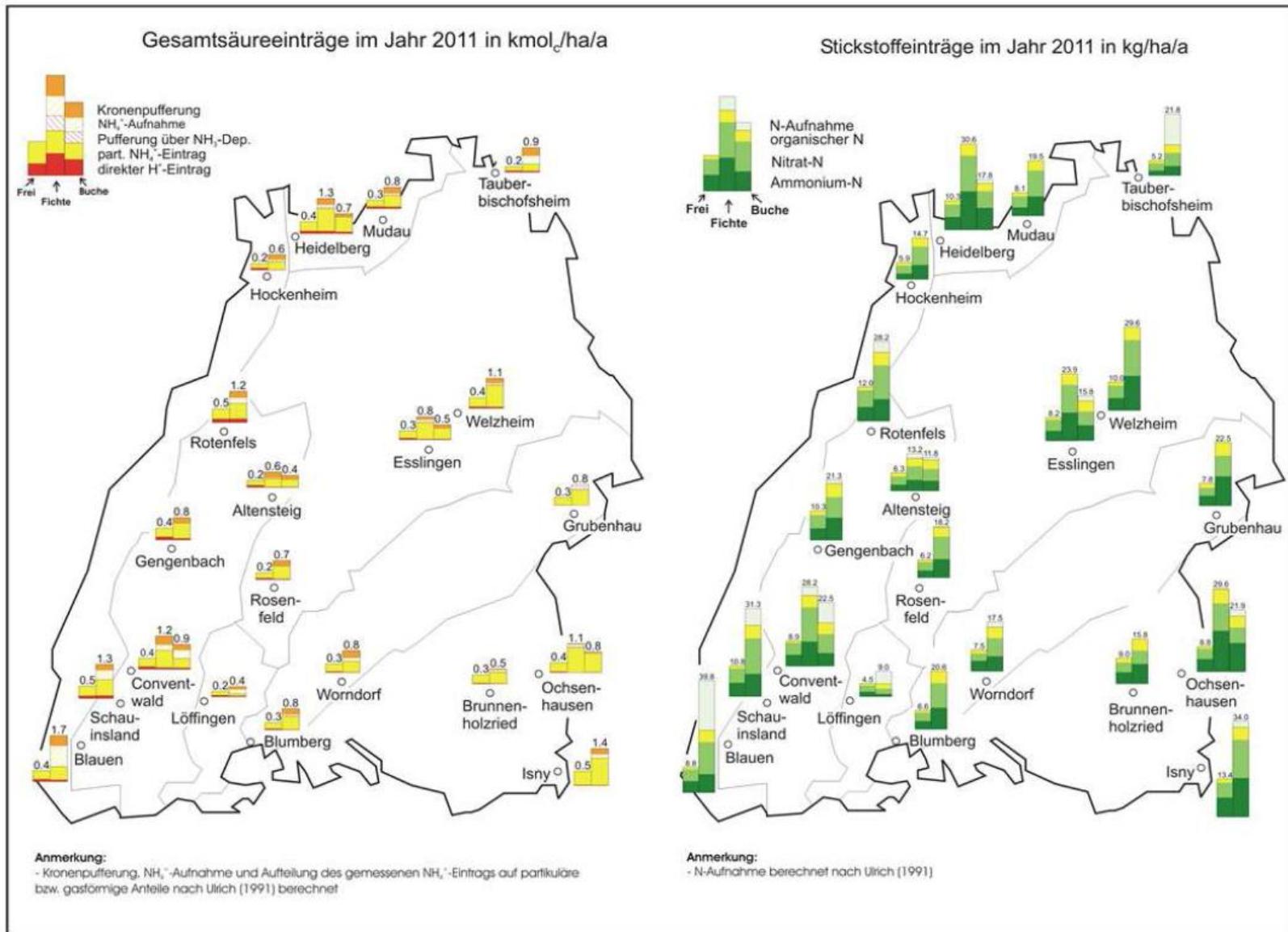
Baden-Württemberg:
2010: ca 3-4 kg / ha S-Eintrag
2005-2010: Starke Abnahme

Jährliche Deposition von Stickstoff (Ammonium, NO_x) in 2010 sowie Mittelwerte der Jahre 2005 – 2010 (FISCHER et al. 2012).

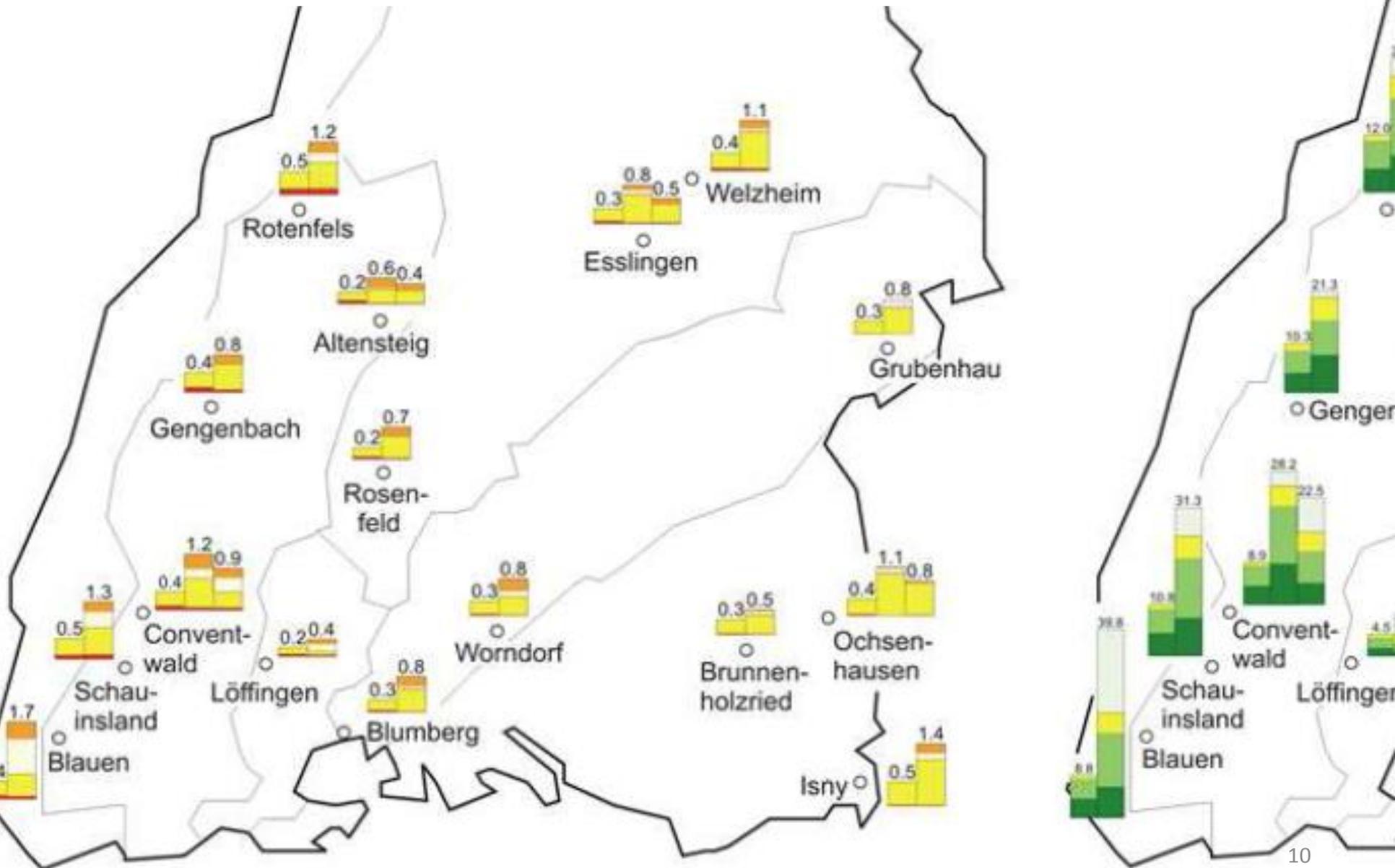


Baden-Württemberg:
2010: ca 10-20 kg / ha N-Eintrag (nasse Deposition)
2005-2010: keine signifikante Veränderung

Räumliche Verteilung der Depositionen 2011 in Baden-Württemberg: Gesamtsäureeintrag (links), Stickstoffeintrag (rechts) (ForstBW 2013)



Räumliche Verteilung der Depositionen 2011 in Baden-Württemberg: Gesamtsäureeintrag (links), Stickstoffeintrag (rechts) (ForstBW 2013)

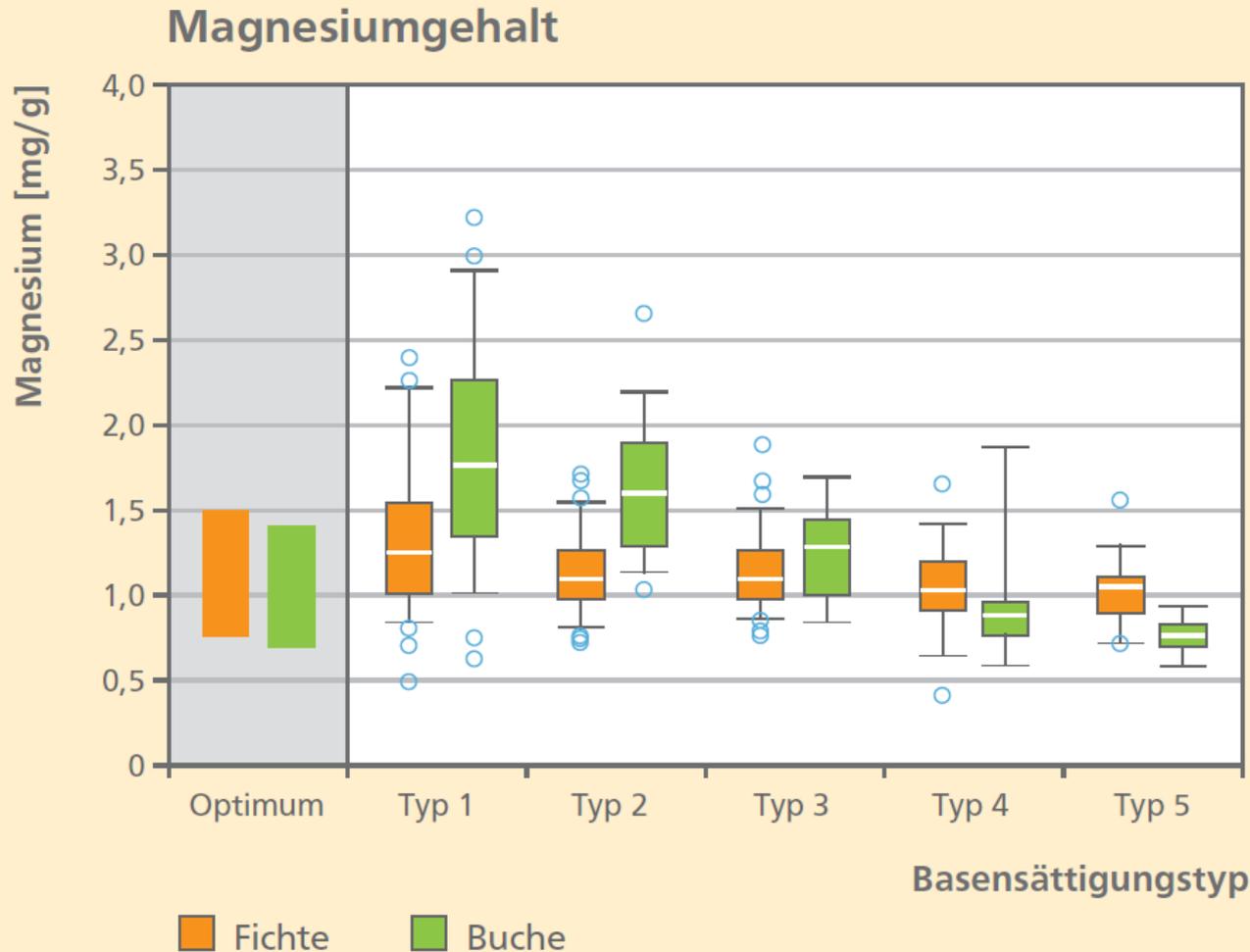


4 Reaktion der Baumarten auf Versauerung

- Al³⁺-Toxizität unklar (Hydrathülle, Komplexierung, ...)
- Hauptbaumarten (Bu, Ta, Ei, Fi, Kie) tolerieren stark saure Böden
- Gelbnadeligkeit der 1980er Jahre \pm verschwunden
- Kaum sichtbarer Ernährungsmangel (Nadelspiegelwerte)
- „Baumwachstum wie nie zuvor“

Hypothese: Symbiose mit ektotrophen Mykorrhiza-Pilzen stabilisiert Wälder saurer Böden

Magnesium Blatt- und Nadelspiegelwerte von Buche und Fichte sowie Tiefenfunktion der Basensättigung (Bayern)



**Kein Mg-
Ernährungs-
mangel für
Buche und
Fichte**

5 Waldkalkung

Kalkung:

Rheinland-Pfalz, Hessen, Niedersachsen, Sachsen, Saarland, Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg

Kaum Waldkalkung:

Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Bayern

Baden-Württemberg:

745.000 ha „kalkungswürdig“ (= 53 % der Landeswaldfläche)

Bis 2020: Jährlich ca 21.000 ha Waldkalkung pro Jahr geplant

Ziele der Waldkalkung in Baden-Württemberg

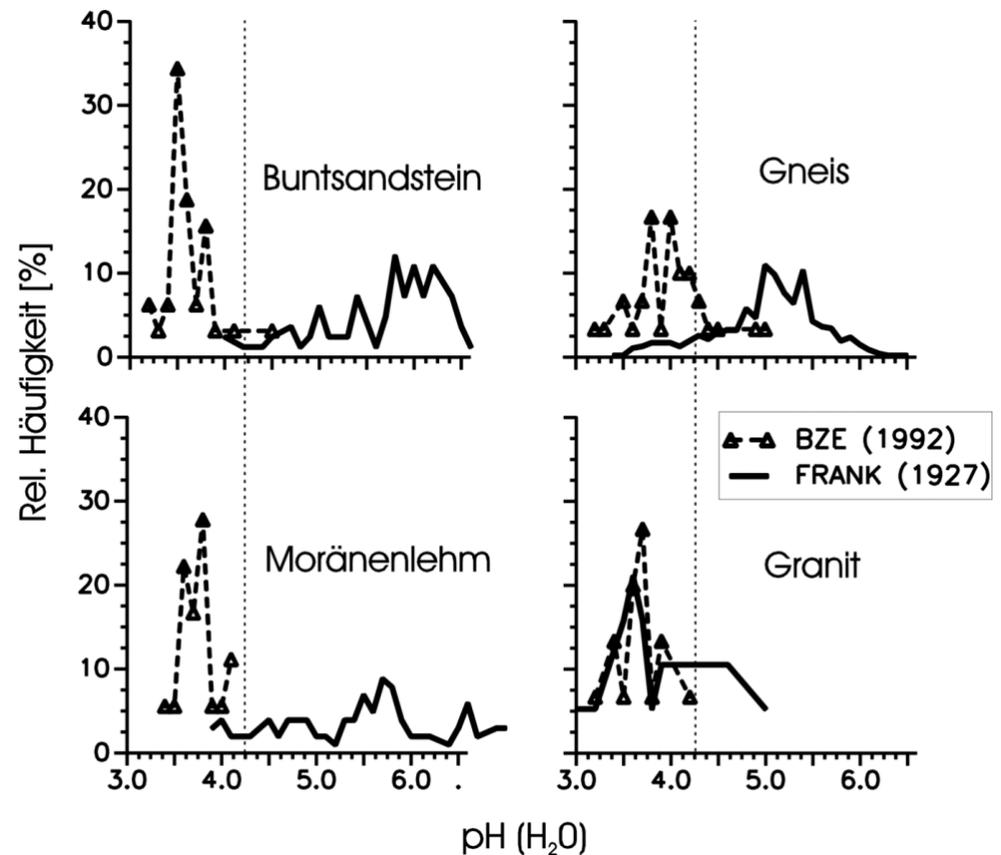
Paradigmenwechsel:

Bis vor Kurzem: Kompensation von Säureeinträgen

Heute: Restauration ursprünglicher Bodenprozesse/-zustände

Referenz natürlicher
Basenversorgung und pH-
Werte: FRANK 1927

Problem:
Unsystematische
Probenahme der
Buntsandstein und
Gneisproben - v.a.
submontane Stufe,
Vorbergzone, Umgebung
von Heidelberg



6 Eutrophierung durch N-Einträge

Hohe N-Einträge (ca. 1/3 NO_x-N, 2/3 Ammonium-N)

Nasse Deposition: 10 – 30 kg N ha⁻¹ J⁻¹

Trockene Deposition: (8) 10 – 30 (-50) kg N ha⁻¹ J⁻¹

Gesamte Deposition: 20 – 60 kg N ha⁻¹ J⁻¹

Zum Vergleich:

Düngeempfehlung für Grünland in der Landwirtschaft:

50 - 300 kg N ha⁻¹ J⁻¹

Natürlicher Eintrag: 2 - 4 (-10) kg N ha⁻¹ J⁻¹

6 Eutrophierung durch N-Einträge

Nasse Deposition

>10 % des N-Umsatzes (Fichte)

Ammonium:

Direkt aufgenommen (arbuskuläre Mykorrhiza), Abgabe von H^+ , versauernd

Nitrat:

- 16 bis 30% aus Niederschlag, 70-84% aus Mineralisation (Durka 1994)
- NO_3^- aufgenommen von Baumarten mit endotropher Mykorrhiza sowie krautiger Bodenvegetation, dazu Kationen
- Auswaschung nach Überschreiten der „critical load“
- Unter Mitnahme von Kationen, versauernd
- Rückbildung der ektotrophen Mykorrhiza

6 Eutrophierung durch N-Einträge

Trockene Deposition

NO_x und NH_3 über Spaltöffnungen im Blatt aufgenommen

Salze (NH_4 -nitrat, -sulfat) und Stäube, zT über Stomata aufgenommen

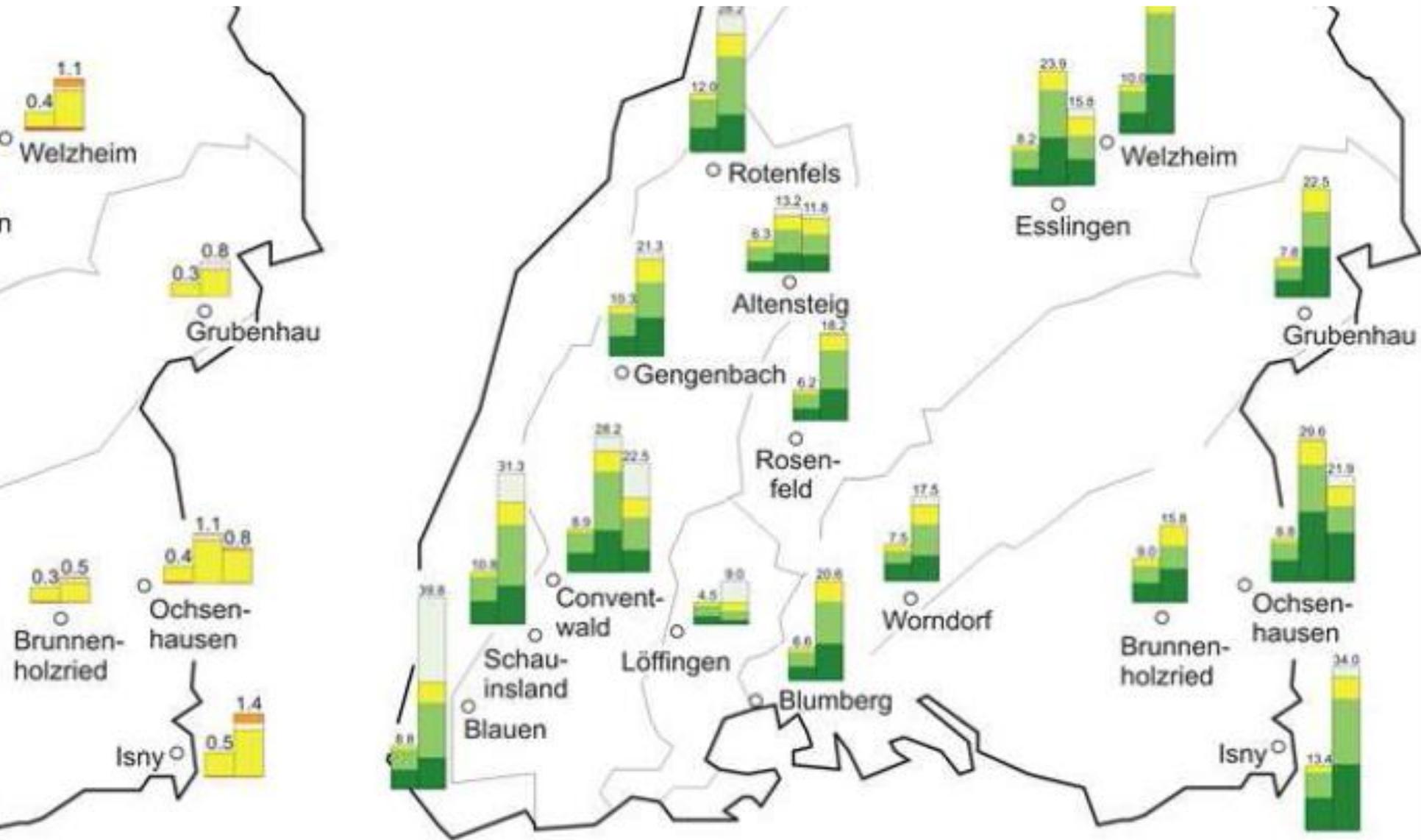
10% des N-Umsatzes des Baumbestandes

Nadelbäume > Laubbäume

im Blatt assimiliert oder im Phloem bis zu den Wurzeln transportiert

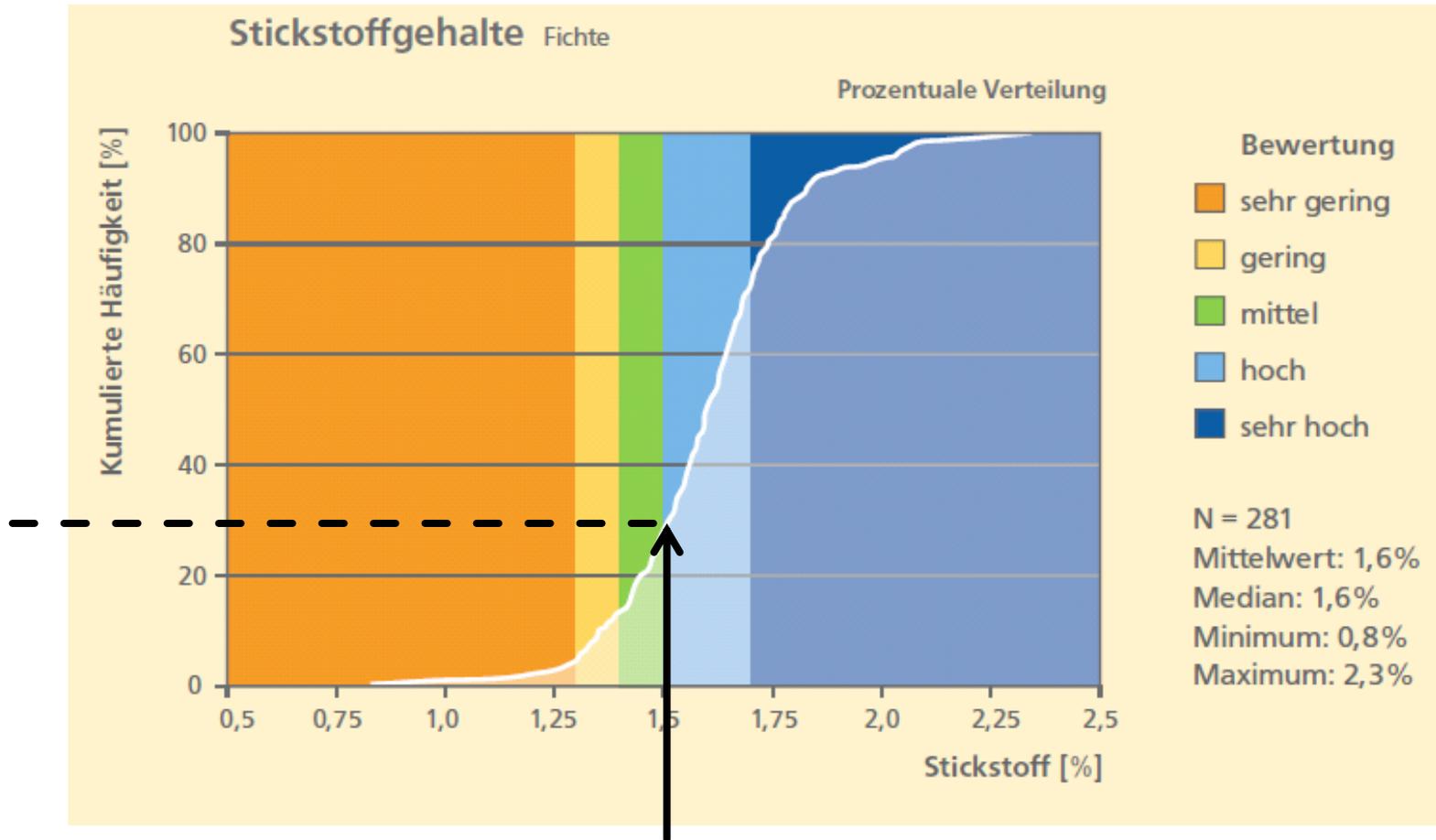
Aufnahme von Kationen gegen Abgabe von H^+ , versauernd !

Räumliche Verteilung der Depositionen 2011 in Baden-Württemberg: Gesamtsäureeintrag (links), Stickstoffeintrag (rechts) (ForstBW 2013)



Anmerkung:

Stickstoffgehalt in Fichtennadeln des 1. Nadeljahrgangs (Bayern). Bewertung nach BMELF 1997 (FALK & STETTER 2010)



Etwa 70 % der Waldfläche Bayerns hat hohe bis sehr hohe N-Versorgung !

N-Austrag

„Critical load“:

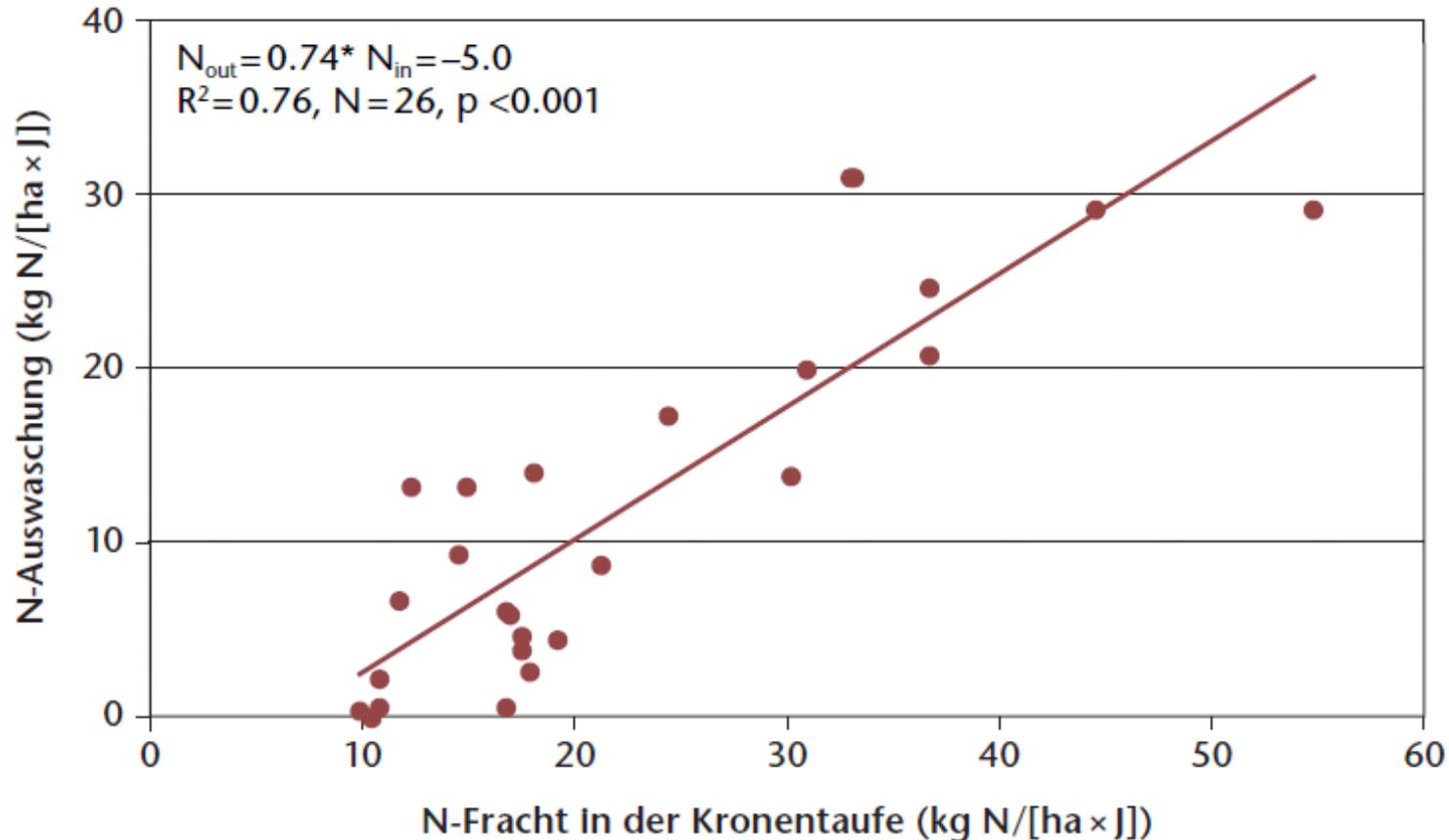
10 – 20 kg N ha⁻¹ „verstoffwechselt“ (BOBBINK & HETTELINGH 2011)

5 und 18 kg/ha pro Jahr langfristig in die Biomasse eingebaut
(SCHULZE et al. 1989; AUGUSTIN 2005; FENN et al. 2008)

Nach N-Sättigung :Austrag ins Grundwasser

N-Einträge und Auswaschung (Schweiz)

(BRAUN et al. 2012)



> 10 - 20 kg N ha⁻¹ J⁻¹ im Kronentrauf: N-Auswaschung !

Wirkung der N-Einträge auf Waldvegetation - Zunahme der Nitrophyten in Wäldern

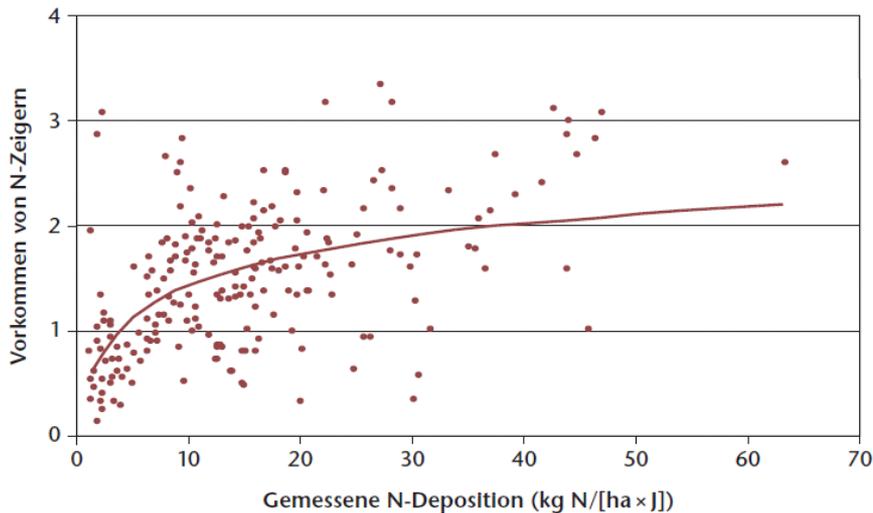


Abb 8 Beziehung zwischen dem Vorkommen von N-Zeigerarten (Achse aus Hauptkomponentenanalyse) und der gemessenen Stickstoffdeposition (UNECE 2006).

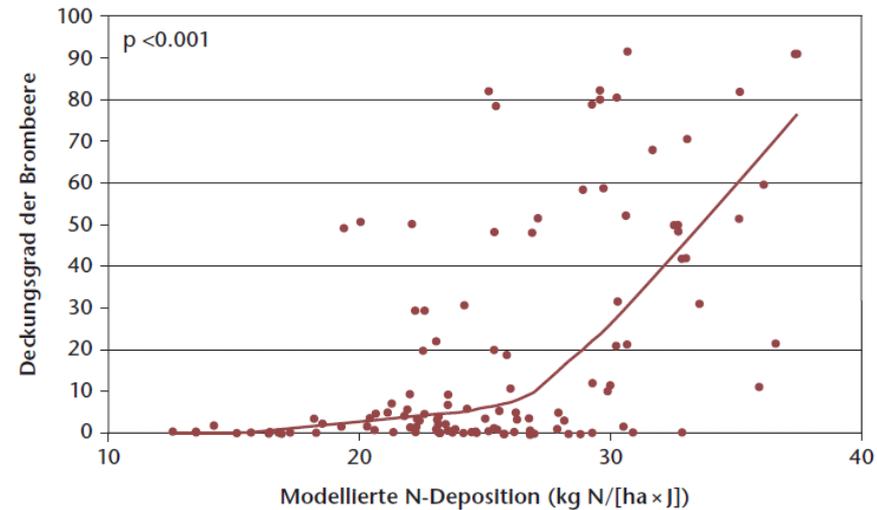


Abb 9 Deckungsgrad der Brombeere (*Rubus fruticosus* agg.) in Waldbeobachtungsflächen der Schweiz in Beziehung zur modellierten N-Deposition (Flückiger & Braun 2011).

Schweiz: Zunahme der N-Zeiger, Anstieg des Deckungsgrades von Rubus-Arten
(BRAUN et al. 2012)

7 Naturschutz und Waldkalkung

Kalkung führt zu

- Abnahme kalkmeidender Arten
- Zunahme von Nitrophyten, Ruderalarten
- Verjüngung der Baumarten
- Veränderung der Pilzflora
- Veränderungen der Bodenfauna



**Absterben des Lebermooses *Bazzania trilobata* nach Kalkung.
Drehkopf/Südschwarzwald, 1990**

Wälder der Enzhöhen (Nordschwarzwald) im Zeitvergleich

- 1: Erstaufnahme, lehmig feinsandige Standorte (Zweitaufnahme ohne Kalkung)
 2: Erstaufnahme, weniger podsolierte Standorte (Zweitaufnahme ohne Kalkung)
 3: Erstaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte (Zweitaufnahme ohne Kalkung)
 4: Erstaufnahme, lehmig feinsandige Standorte (Zweitaufnahme in 10 mit Kalkung)
 5: Erstaufnahme, weniger podsolierte Standorte (Zweitaufnahme in 11 mit Kalkung)
 6: Erstaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte (Zweitaufnahme in 12 mit Kalkung)

- 1a: Zweitaufnahme, lehmig feinsandige Standorte, ohne Kalkung
 2a: Zweitaufnahme, weniger podsolierte Standorte, ohne Kalkung
 3a: Zweitaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte, ohne Kalkung
 4a : Zweitaufnahme, lehmig feinsandige Standorte, **zwischenzeitlich erfolgte Kalkung**
 5a : Zweitaufnahme, weniger podsolierte Standorte, **zwischenzeitlich erfolgte Kalkung**
 6a : Zweitaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte, **zwischenzeitlich erfolgte Kalkung**

Laufende Nummer	1	2	3	4	5	6	1a	2a	3a	4a	5a	6a
Aufnahmenzahl	6	10	16	15	24	19	6	10	16	15	24	19
Mittlere Artenzahl	12	10	11	11	11	10	17	16	20	18	20	22
Reaktionszahl	3.0	2.8	2.7	3.0	2.9	2.8	3.1	2.8	3.0	3.4	3.3	3.2
Stickstoffzahl	4.1	3.9	3.4	4.4	4.2	3.2	4.5	4.3	3.9	5.1	4.8	4.7
Lichtzahl	5.1	5.0	5.1	4.7	4.8	5.2	4.7	4.8	5.0	4.6	4.8	5.0
Feuchtezahl	5.3	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.4	5.5	5.3	5.3	5.3
Begrünungsprozent	54	70	63	65	72	59	72	63	83	69	72	80
Bestandesalter (Ø)	96	129	131	105	98	119	142	143	167	119	125	142

Wälder der Enzhöhen (Nordschwarzwald) im Zeitvergleich (40 Jahre)

- 1: Erstaufnahme, lehmig feinsandige Standorte (Zweitaufnahme ohne Kalkung)
- 2: Erstaufnahme, weniger podsolierte Standorte (Zweitaufnahme ohne Kalkung)
- 3: Erstaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte (Zweitaufnahme ohne Kalkung)
- 4: Erstaufnahme, lehmig feinsandige Standorte (Zweitaufnahme in 10 mit Kalkung)
- 5: Erstaufnahme, weniger podsolierte Standorte (Zweitaufnahme in 11 mit Kalkung)
- 6: Erstaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte (Zweitaufnahme in 12 mit Kalkung)

- 1a: Zweitaufnahme, lehmig feinsandige Standorte, ohne Kalkung
- 2a: Zweitaufnahme, weniger podsolierte Standorte, ohne Kalkung
- 3a: Zweitaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte, ohne Kalkung
- 4a : Zweitaufnahme, lehmig feinsandige Standorte, zwischenzeitlich erfolgte Kalkung
- 5a : Zweitaufnahme, weniger podsolierte Standorte, zwischenzeitlich erfolgte Kalkung
- 6a : Zweitaufnahme, stärker podsolierte grobsandige Standorte, zwischenzeitlich erfolgte Kalkung

Prinzip:
 Zeitvergleich 1955-60 / 1998
 3 Bodentypen
 2 Nachfolgebehandlungen

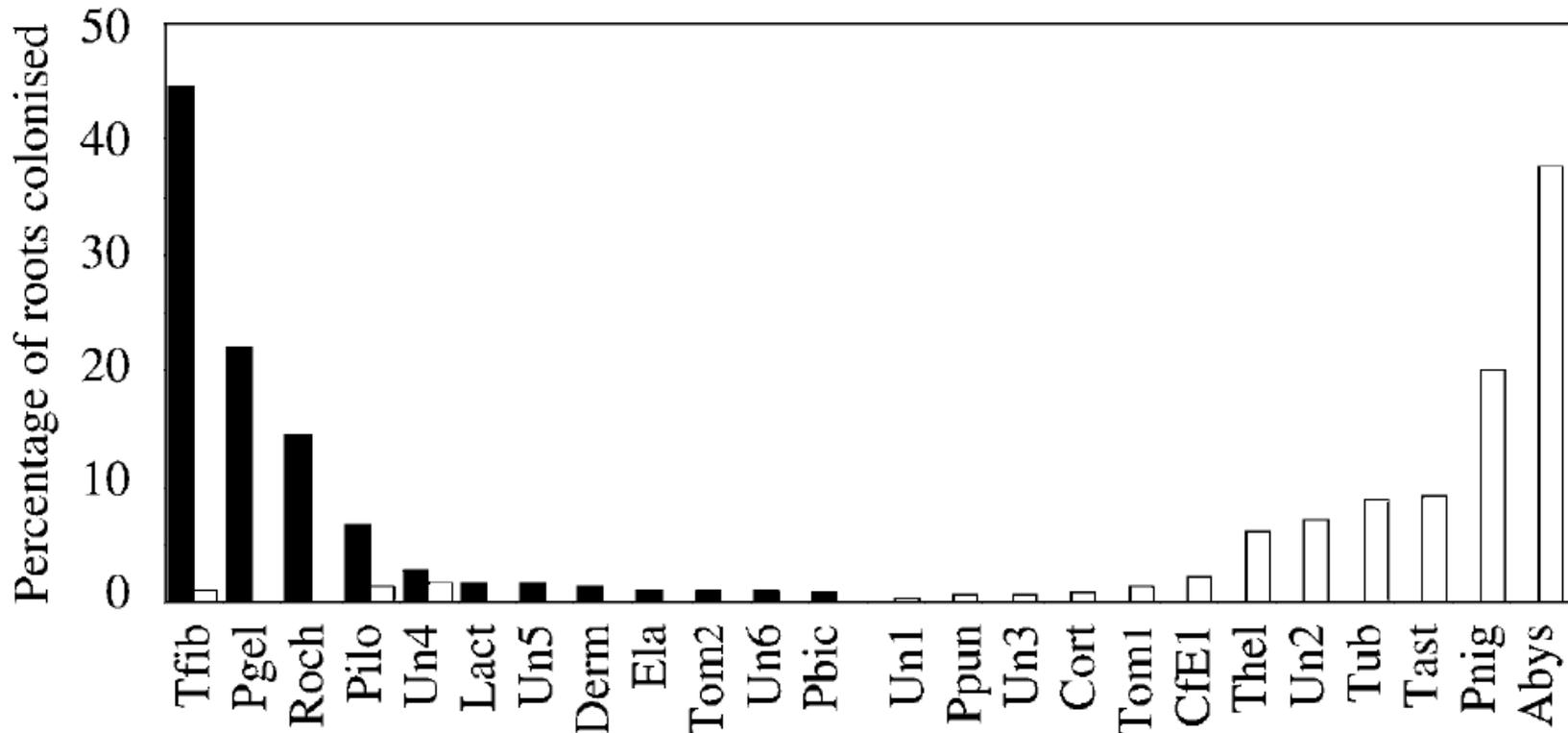
Laufende Nummer	1	2	3	4	5	6	1a	2a	3a	4a	5a	6a
Aufnahmenzahl	6	10	16	15	24	19	6	10	16	15	24	19
Mittlere Artenzahl	12	10	11	11	11	10	17	16	20	18	20	22
Reaktionszahl	3.0	2.8	2.7	3.0	2.9	2.8	3.1	2.8	3.0	3.4	3.3	3.2
Stickstoffzahl	4.1	3.9	3.4	4.4	4.2	3.2	4.5	4.3	3.9	5.1	4.8	4.7
Lichtzahl	5.1	5.0	5.1	4.7	4.8	5.2	4.7	4.8	5.0	4.6	4.8	5.0
Feuchtezahl	5.3	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2	5.2	5.4	5.5	5.3	5.3	5.3
Begrünungsprozent	54	70	63	65	72	59	72	63	83	69	72	80
Bestandesalter (Ø)	96	129	131	105	98	119	142	143	167	119	125	142

Vegetationsveränderung in Wäldern der „Enzhöhen“ (N-Schwarzwald)

Laufende Nummer	1	2	3	4	5	6	1a	2a	3a	4a	5a	6a
	..... Vor 50 Jahren .....						..... heute					
Abnahme												
Calluna vulgaris^k	17	30	44	13	21	37	17	10	19	7	17	21
Pinus strobus^k	.	10	25	7	13	11	.	.	.	7	.	.
Zunahme auf Flächen ohne Kalkung												
Leucobryum glaucum^m	17	10	31	20	25	42	17	50	50	27	25	37
Bazzania trilobata^m	.	30	25	7	29	26	17	80	69	20	17	32
Molinia caerulea agg.^k	33	10	44	7	8	47	17	20	52	7	13	26
Blechnum spicant^k	17	20	13	.	.	16	17	20	31	7	13	5
Betula pendula^k	.	.	.	7	.	.	17	20	50	.	4	26
Sphagnum spec.^m	.	20	31	7	8	21	.	10	44	.	13	16
Vaccinium vitis-idaea^k	.	.	13	.	.	21	.	.	38	.	.	11
Zunahme auf gekalkten Flächen												
Festuca altissima^k	17	.	.	27	29	5	17	10	.	40	38	16
Digitalis purpurea^k	.	20	13	20	17	21	17	.	13	33	29	37
Dryopteris filix-mas^k	33	.	.	.	13	5	.	.	.	7	13	21
Agrostis capillaris^k	17	.	.	7	8	.	.	.	.	7	17	11
Fragaria vesca^k	17	.	.	.	4	.	.	.	6	7	13	5
Rubus fruticosus agg.^k	50	.	6	7	8	5	33	10	19	60	63	37
Athyrium filix-femina^k	.	.	6	13	4	.	17	10	13	53	42	26
Senecio ovatus (= S.fuchs)	33	.	.	.	8	.	17	10	6	40	46	32
Mycelis muralis^k	.	.	13	.	4	5	.	.	.	27	42	47
Quercus petraea^k	.	.	.	.	4	5	33	.	13	27	17	11
Epilobium angustifolium^k	.	.	.	.	4	.	.	10	6	7	13	26
Urtica dioica^k	.	.	.	.	4	.	.	.	.	13	21	16
Acer pseudoplatanus^k	.	.	6	.	.	.	.	10	6	20	17	5
Atrichum undulatum^m	17	.	.	.	4	.	.	.	6	20	4	11
Milium effusum^k	.	.	.	7	4	.	.	.	.	13	17	11

Stetigkeiten (Häufigkeiten) der Arten in %, bezogen auf die Zahl der Probeflächen
KRAFT et al. 2003

Verschiebung der Ektomykorrhiza-Pilzflora 16 Jahre nach Waldkalkung in einem südschwedischen Fichtenforst auf Podsol



Erfasst wurden die prozentualen Anteile an Wurzelspitzen, welche auf experimentellen Probestellen durch Morphotypen von Ektomykorrhiza-Pilzen besiedelt wurden (schwarz = Kontrolle, weiß = 8.75 t ha⁻¹ dolomitische Kalkung). - *Tylospora fibrillosa* (Tfib), *P. cf. gelatinosa* (Pgel), *Russula ochroleuca* (Roch), *Piloderma* sp. (Pilo), Unknown no. 4 (Un4), *Lactarius* sp. (Lact), Unknown no. 5 (Un5), *Elaphomyces* sp. (Ela), *Dermocybe* sp. (Derm), Tomentelloid sp. 2 (Tom2), Unknown no. 6 (Un6), *Piceirhiza bicolorata* (Pbic), Unknown no. 1 (Un1), *Piceirhiza punctata* (Ppun), Unknown no. 3 (Un3), *Cortinarius* sp. (Cort), Tomentelloid sp. 1 (Tom1), cf. *Elaphomyces* (cfEl), *Thelephora* sp. (Thel), Unknown no. 2 (Un2), *Tuber cf. puberulum* (Tub), *Tylospora cf. asterophora* (Tast), *Piceirhiza nigra* (Pnig) und *Amphinema byssiodes* (Abys) (aus: LUNDSTRÖM et al. 2003).

8 N-Eintrag, Nährstoffdisharmonien, Kalkung

Mitteleuropäische Waldökosysteme von Natur stickstofflimitiert
Ausnahme: Auen- und Erlenbruchwälder

Viele Waldökosysteme stickstoffübersättigt

- Stimulation des Baumwachstums
- reduzierte Frostresistenz, Schädlingsanfälligkeit
- Feinwurzeln rückgebildet, Rückzug in Oberboden
- Erhöhter Bedarf anderer Nährelemente (Ca, Mg, K, P)
- Induktion von Nährstoffdisharmonien (P, K)
- Ruderalisierung der Waldvegetation

8 N-Eintrag, Nährstoffdisharmonien, Kalkung

Mitteleuropäische Waldökosysteme von Natur stickstofflimitiert

Ausnahme: Auen- und Erlenbruchwälder

Viele Waldökosysteme stickstoffübersättigt

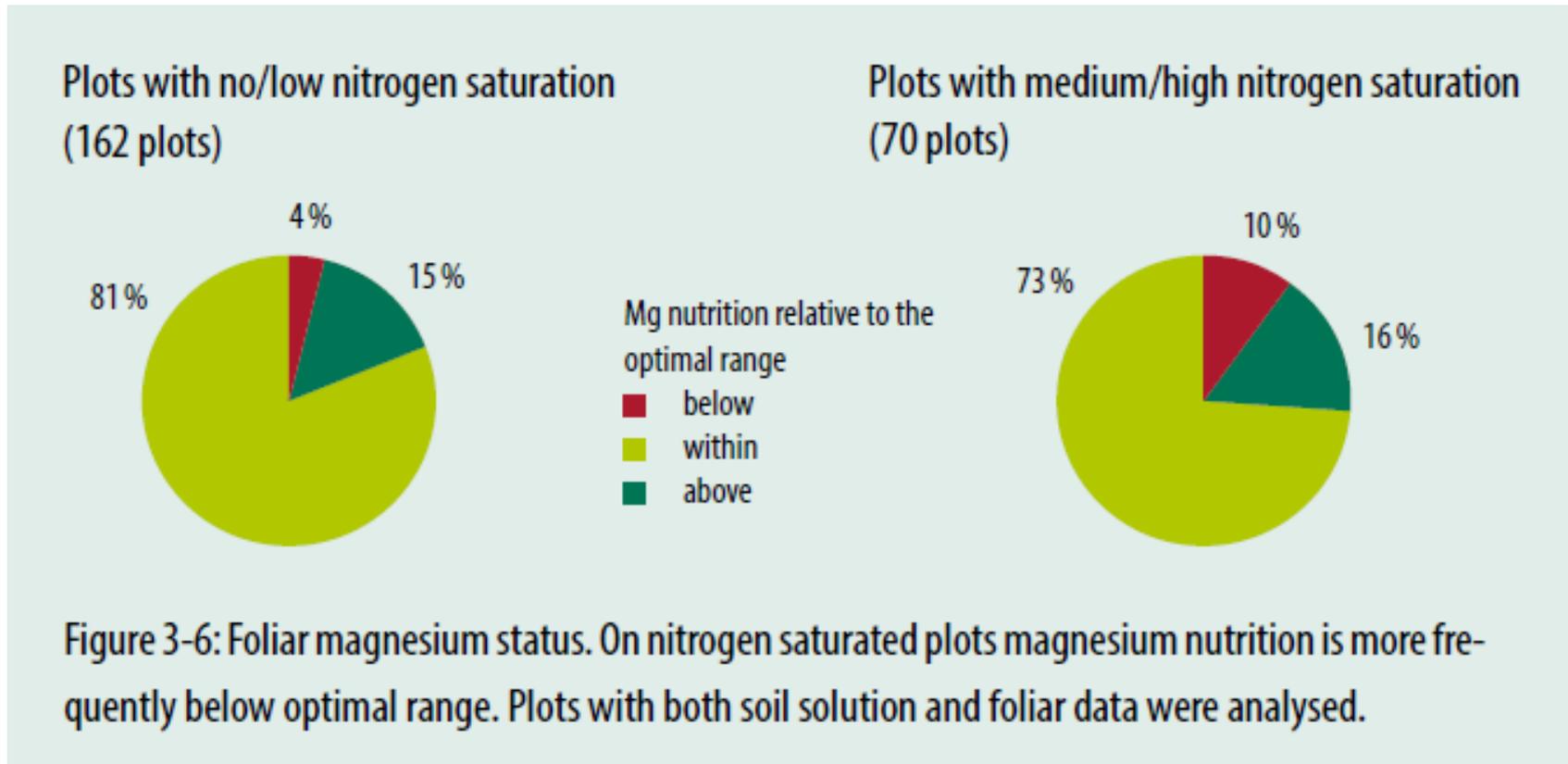
- Stimulation des Baumwachstums
- reduzierte Frostresistenz, Schädlingsanfälligkeit
- Feinwurzeln rückgebildet, Rückzug in Oberboden
- Erhöhter Bedarf anderer Nährelemente (Ca, Mg, K, P)
- Induktion von Nährstoffdisharmonien (P, K)
- Ruderalisierung der Waldvegetation

N-Eintrag + Kalkung:

- „ausgewogenere“ Baumernährung
- v.a. bei Forstsondermischungen (dolomitischer Kalk + P, K)

Jede Kalkung wirkt implizit auch düngend !

Mg-Versorgung des Blattes in Relation zum Optimum

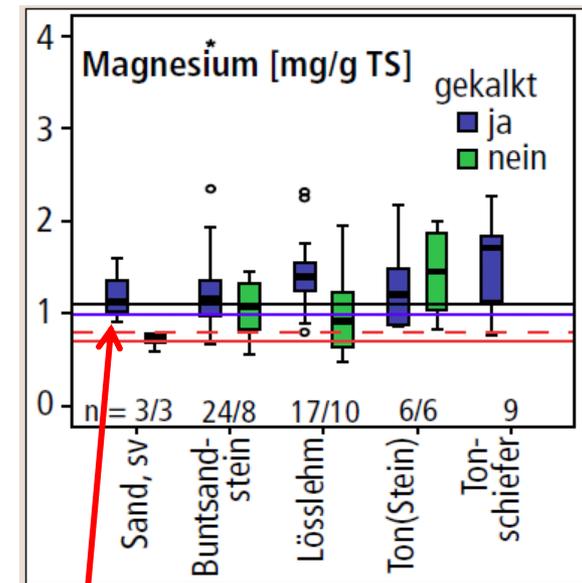
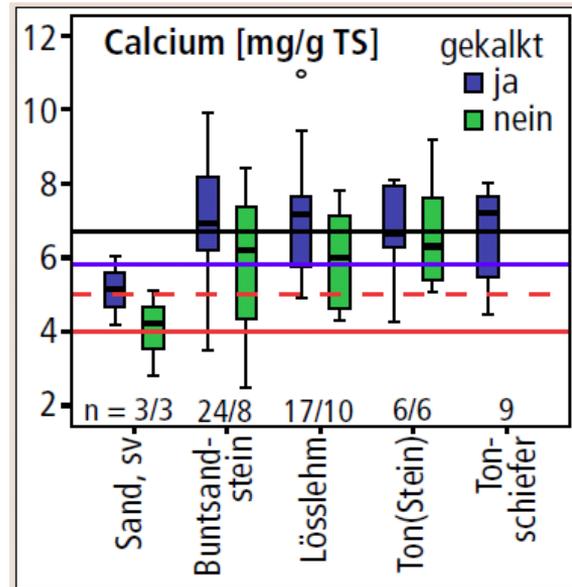
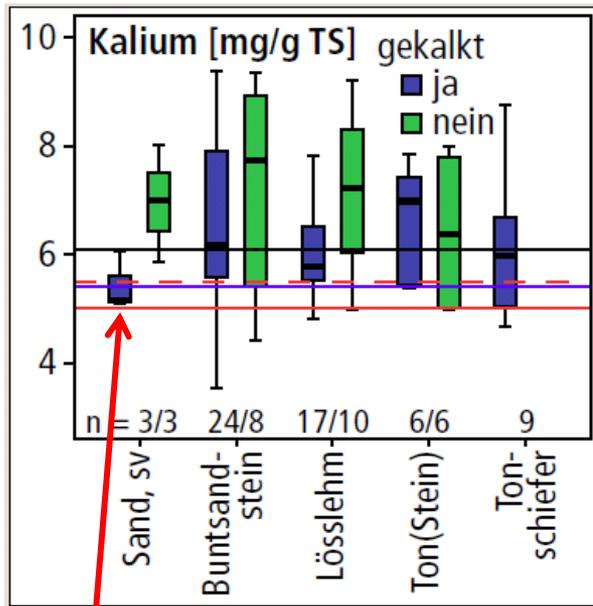


Hohe N-Einträge induzieren Nährstoffmangel
Folge ist eventuell reduziertes Wachstum

(P-Mangel induziert; Braun et al. 2012)

Elementgehalte gekalkter und ungekalkter Buchenbestände aus Hessen und Niedersachsen

(DAMMANN et al. 2012)



Kalkung induziert K-Mangel

Kalkung verbessert Versorgung mit Ca, Mg

Diskussion, Ausblick

Kalkung kann

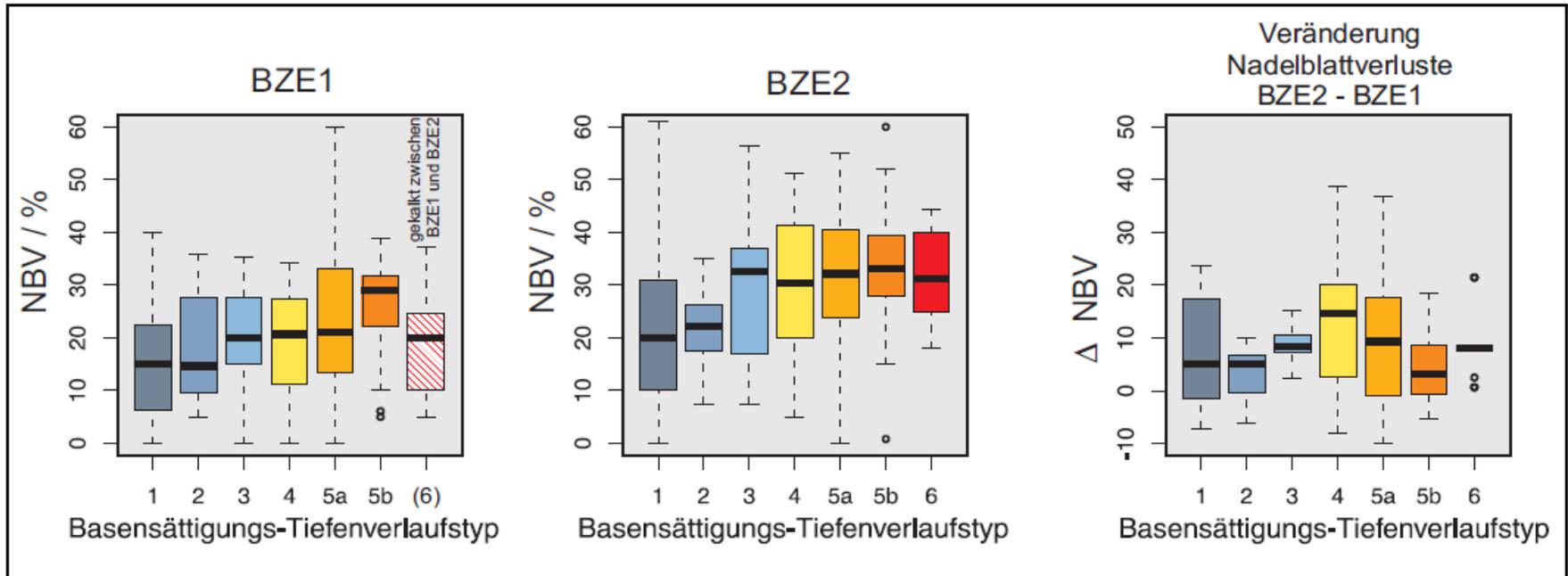
- Bodenchemie verändern
- Stickstoffhypertrophie teilweise ausgleichen
- Pflanzenernährung und Vitalität verbessern
- Zerstörung der Tonmineralien durch Säure stoppen

Kalkung kann nicht frühere / ursprüngliche Bodenzustände wiederherstellen

Kalkung führt zu

- Abbau des Auflagehumus
- In Kombination mit N-Einträgen - Walddüngung

Basensättigung-Tiefenverlaufstyp, Nadel-/Blattverluste (NBV) im Zeitvergleich BZE1 / BZE2, und deren Veränderung (FORSTBW 2013)



... nicht Basenverarmung und Säure, sondern Witterung und Trockenheit beeinträchtigen heute das Baumwachstum !

Fazit der Analyse:

Anspruch der Waldkalkung:

Vorsorgender Bodenschutz für produktive, funktionstüchtige und stabile Waldökosysteme

Realität: Waldkalkung kompensiert Säure, ohne den ursprünglichen Zustand erreichen zu können

Heute kaum mehr „akute Waldschäden“ durch Versauerung

Viele „Kollateralschäden“

Fazit der Analyse:

Haupt-Wirtschaftsbaumarten in Deutschland (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche, Lärche) an stark saure Böden gut angepasst

Eutrophierung, nicht Versauerung sind heute die Hauptursachen für die standörtliche und biozönotische Drift der Wälder, Gefährdung von Arten und Lebensräumen

Kalkung daher insbesondere auf von Natur aus basenarmen Standorten (Gesteinen) negativ

Einzigste „gute Lösung“: Absenkung der N-Immissionen

Fazit für Schutzgebiete:

Keine Kalkung

- in Totalreservaten

- in von Natur aus azidophytischen Lebensgemeinschaften (bestimmte Waldtypen, Hochmoore, saure Zwischen- und Niedermoore, Blockhalden, sonnseitige Felshänge aus sauren Silikatgesteinen, Flugsanddünen)

- in von Natur aus stark bodensauren und durch frühere Hute- und Streunutzung verhangerten Wäldern (meist Kiefer, Eiche) („Lichtwälder“)

Fazit für Wirtschaftswälder:

Naturnah:

- mittlere (mesotrophe) Standorte: Biodiversität benötigt Laubholzanteile, Altbestandesreste, Totholz, Biotopbäume
- Notwendigkeit, Kosten und Nutzen von Kalkung abwägen, begründen
- ausreichend große ungekalkte Referenzgebieten in allen Wuchsgebieten!

Naturfern:

- Waldumbau unter Verwendung heimischer Laubbaumarten

Keine weitere Förderung von Waldkalkung durch Steuermittel !

Vielen Dank!

