

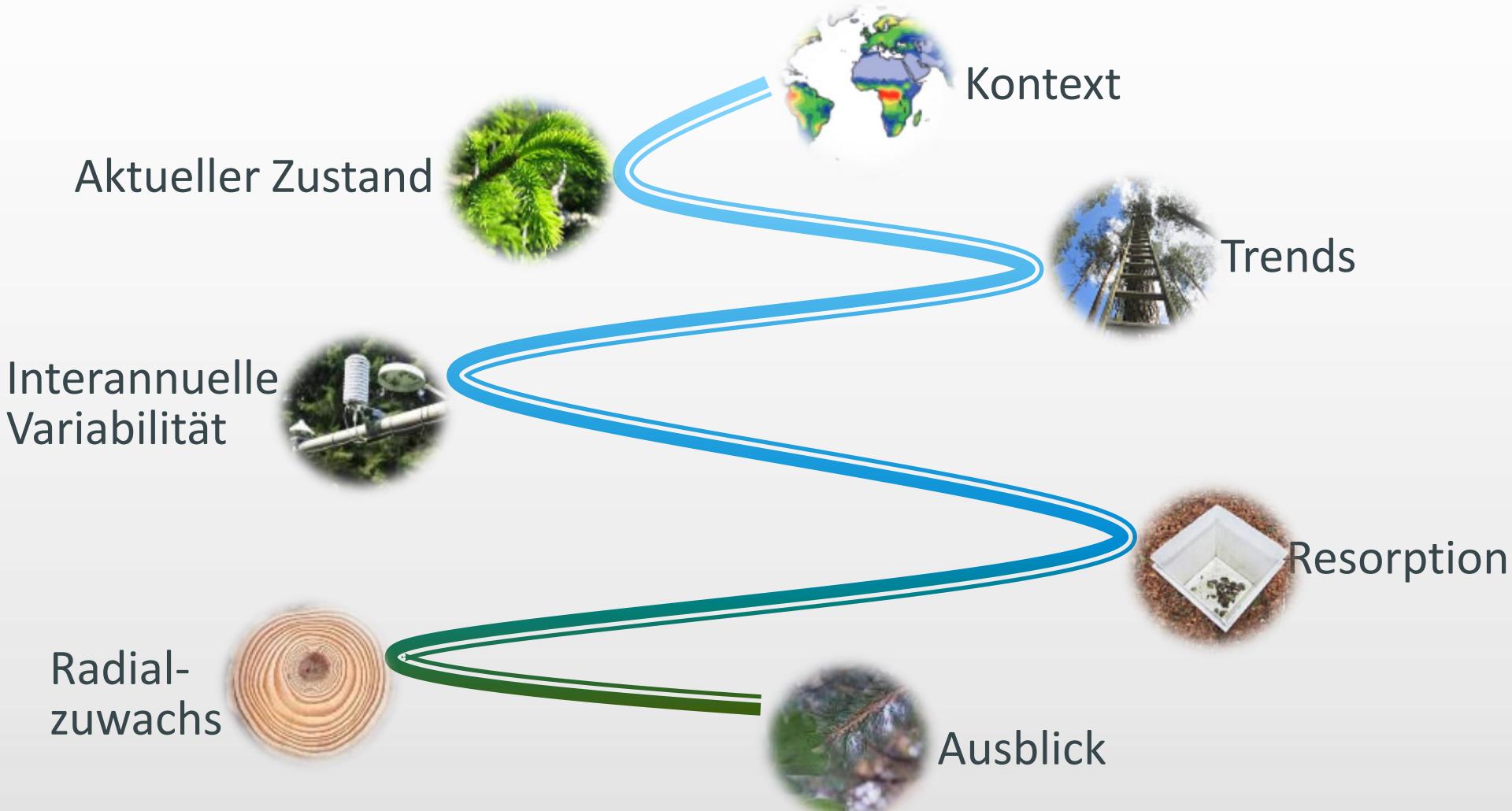
# Interaktionen zwischen Blatt-/Nadelspiegelwerten und Radialzuwachs von Waldbäumen

Inken Krüger

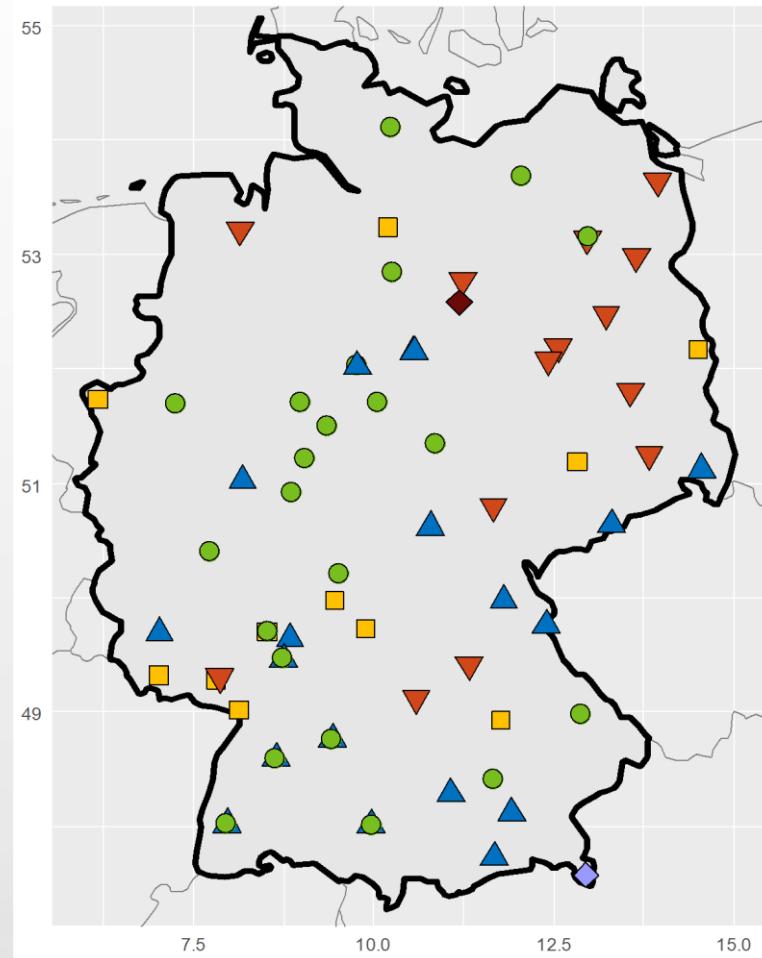
Thünen-Institut für Waldökosysteme



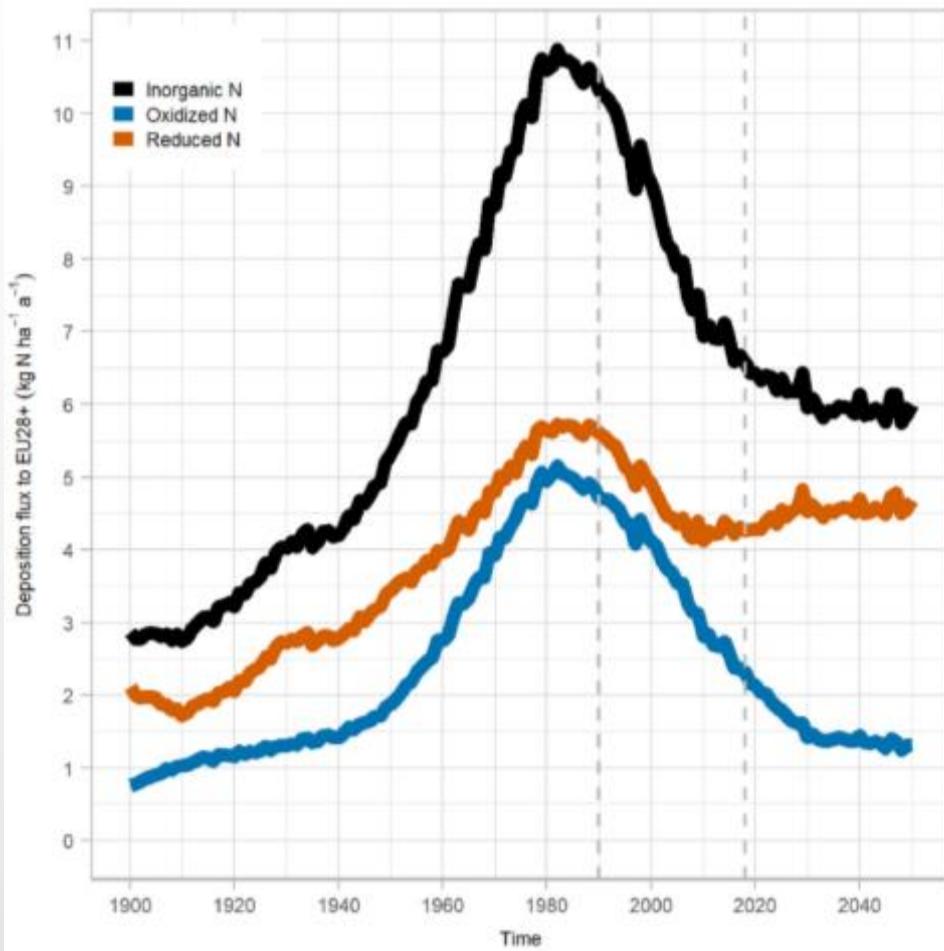
# Waldernährung



# Level-II-Flächen in Deutschland



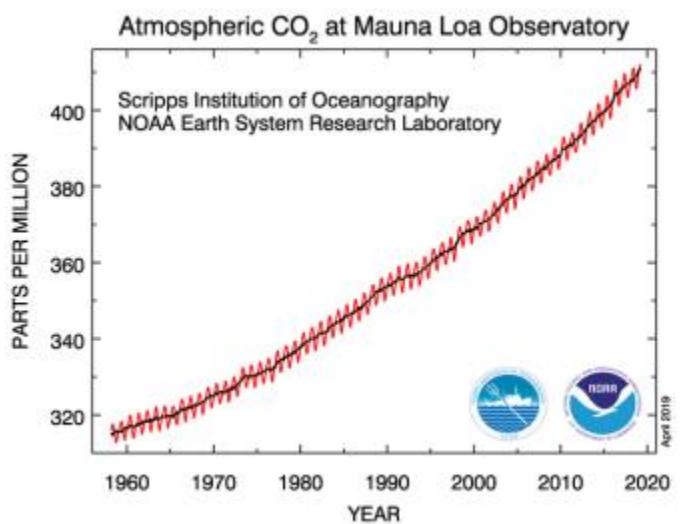
# Trends in der N Deposition



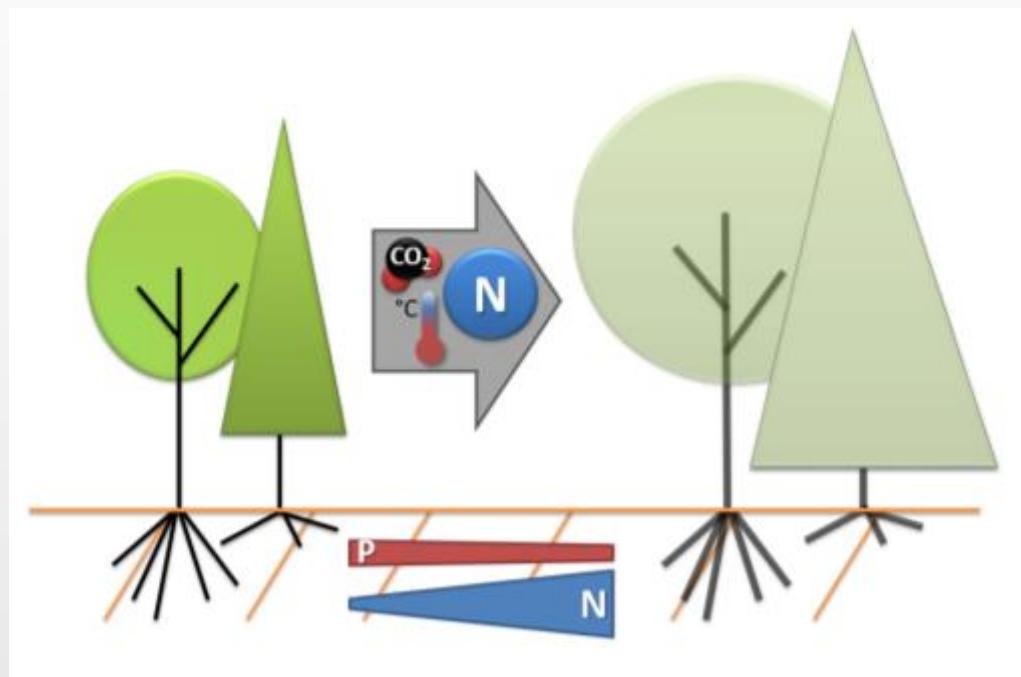
- Anthropogene Emissionen von reaktivem N führen zu hohem N-Eintrag in Waldökosysteme
- Zu hohe N-Deposition auf 60% der Landfläche in der EU im Jahr 2010
- Auswirkung auf Waldernährung

Source: Schmitz et al. 2018

# Verdünnungseffekt



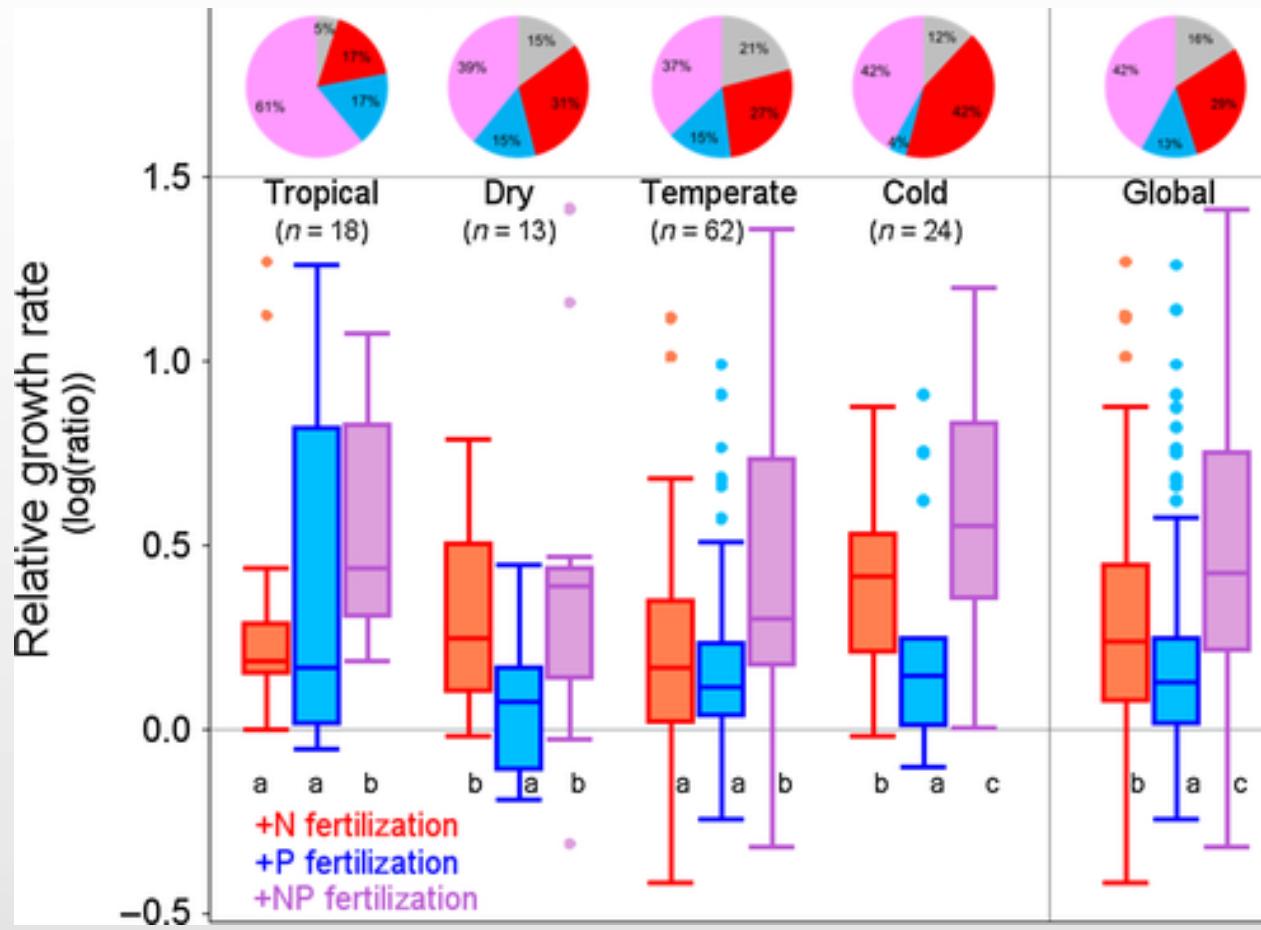
Source: Ed Hawkins



# Nährstofflimiterungen

<b>Stickstoff</b>	Essentieller Bestandteil von Protoplasma und Enzymen	Verfügbares N: <ul style="list-style-type: none"><li>• Mikrobieller Abbau OM</li><li>• Biologische Fixierung</li></ul>	N-Eintrag über Atmosphäre
<b>Phosphor</b>	Mitwirkung am Energiehaushalt der Zellen	Verfügbarer P: <ul style="list-style-type: none"><li>• Verwitterung</li><li>• Im Boden meist rel. unlöslich</li></ul>	Kaum P-Eintrag über Atmosphäre

# N-P-Limitierung



Keine Limitierung

N-Limiterung

P-Limitierung

N-P-Colimitierung

Source: Augusto et al. 2016

# Nährstofflimiterungen

**S**

**Schwefel:** Bestandteil von Protoplasma und Enzymen

**K**

**Kalium:** Regulierung Wasserhaushalt

**Mg**

**Magnesium:** Regulierung Wasserhaushalt, Photosynthese

**Ca**

**Calcium:** Aufrechterhaltung der Struktur und Zellmembran

# Feststellung von Nährstofflimitierung



Düngungsversuche



Bodenverfügbarkeit



Blatt- bzw.  
Nadelspiegelwerte

# Blatt- / Nadelspiegelwerte

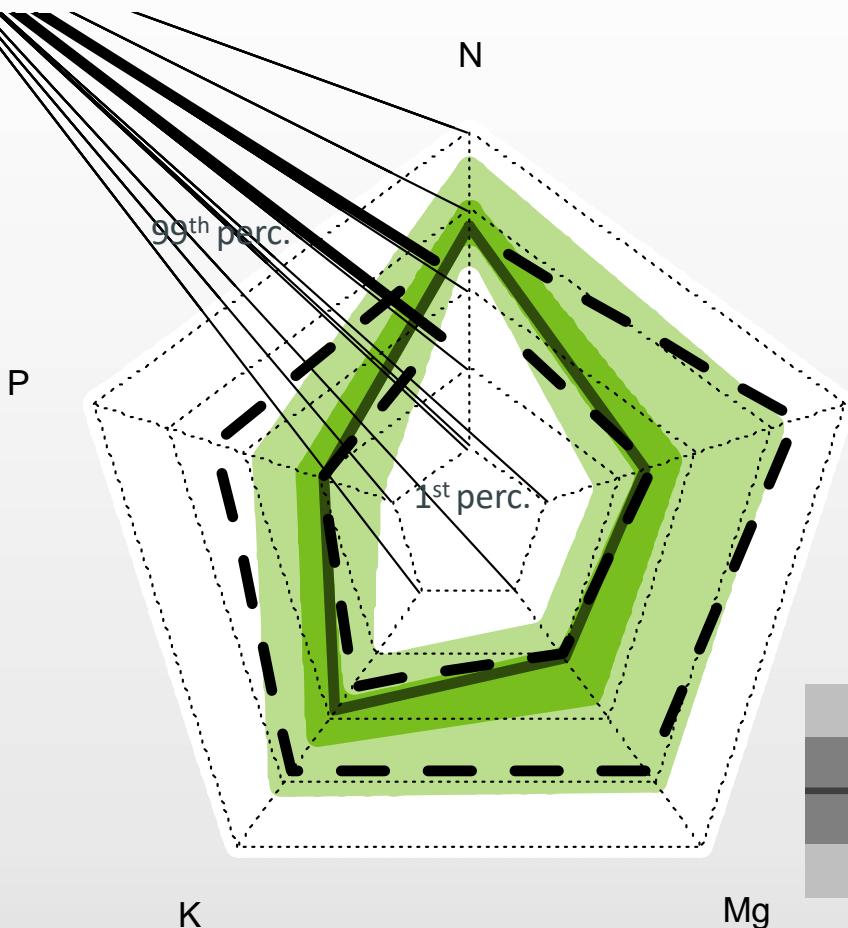
- **Chemische Analyse von frischen Blättern bzw. Nadeln**
- **Gängige Praxis zur Diagnose von Nährelementmangel**
- **Verschiedene Klassifizierungssysteme**
- **Basierend auf empirischen Studien**
- **Baumartenspezifisch**

The background of the image is a dense canopy of green leaves from a tree, with sunlight filtering through the branches, creating bright highlights and shadows.

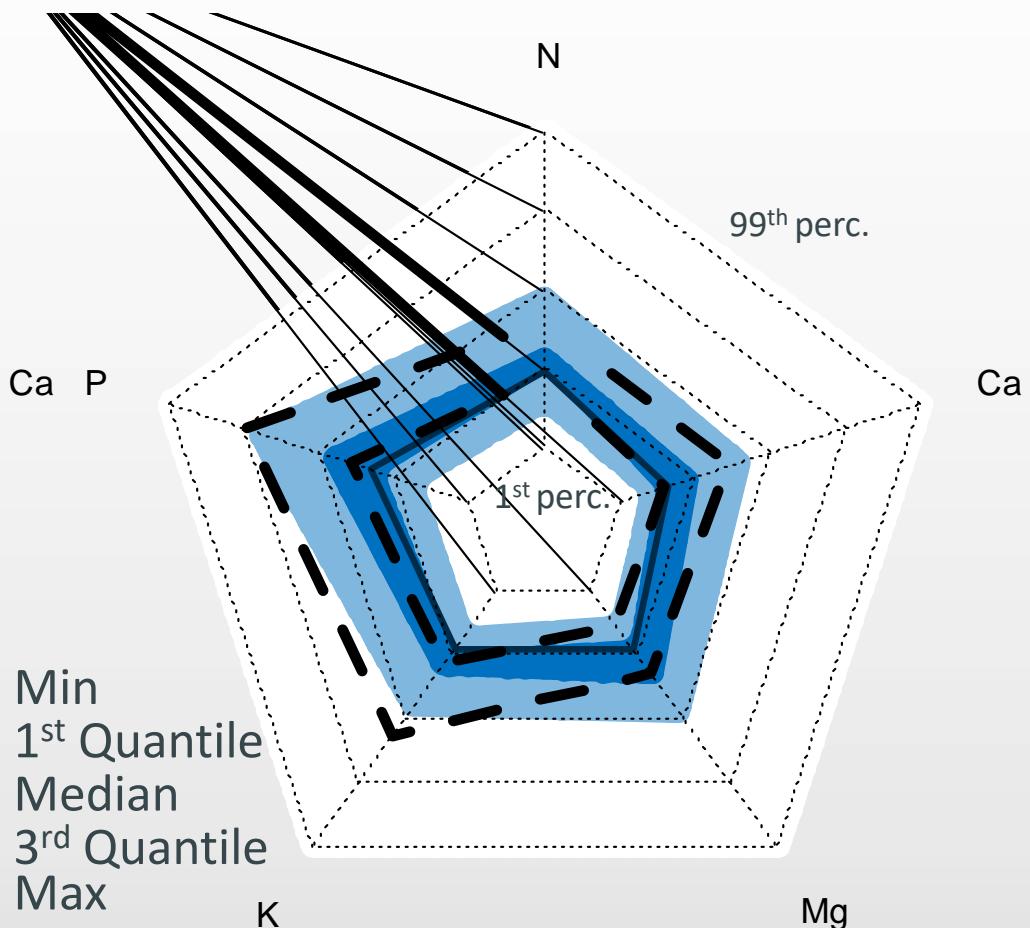
Aktueller  
Zustand

# Waldernährung auf Level-II-Flächen

European beech



Norway spruce

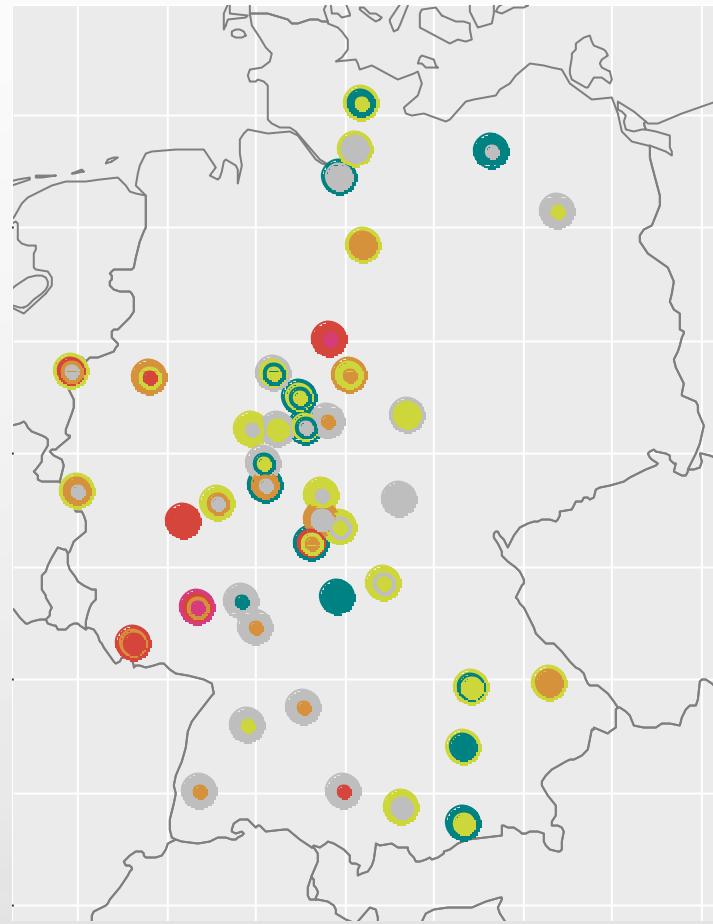


Min  
1<sup>st</sup> Quantile  
Median  
3<sup>rd</sup> Quantile  
Max

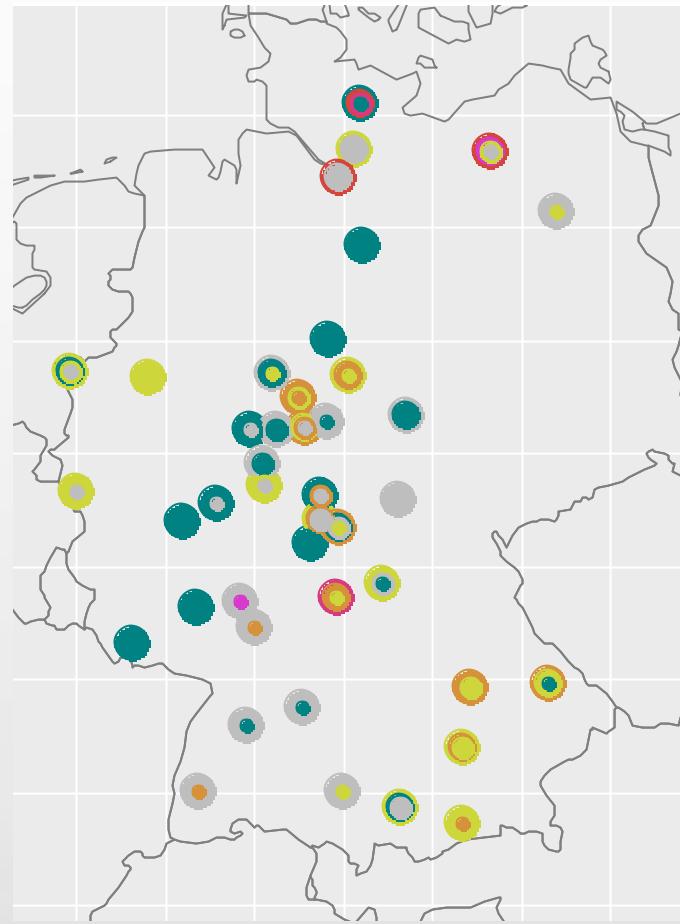
— — — Grenzwerte nach Mellert & Göttlein, 2012

# Anzahl Nährstoffe unter/über Grenzwerten: Buche

Nährstoffe unter Grenzwert



Nährstoffe über Grenzwert



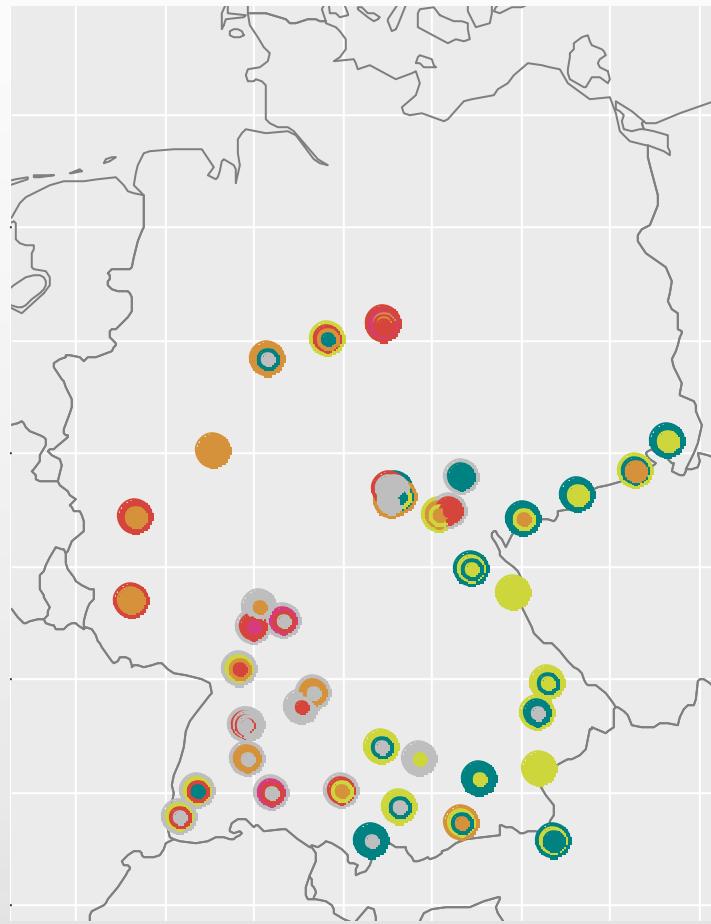
Anzahl  
Nährstoffe:

0	1	2	3
4	5	NA	

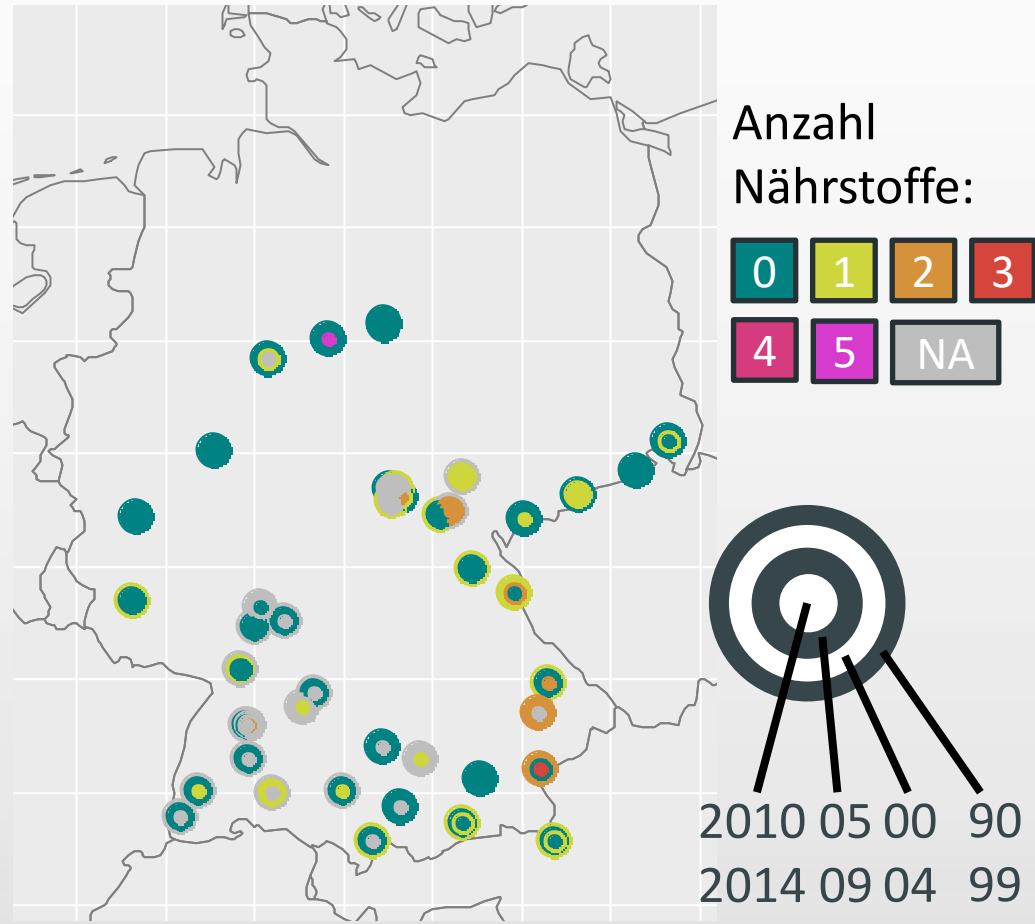


# Anzahl Nährstoffe unter/über Grenzwerten: Fichte

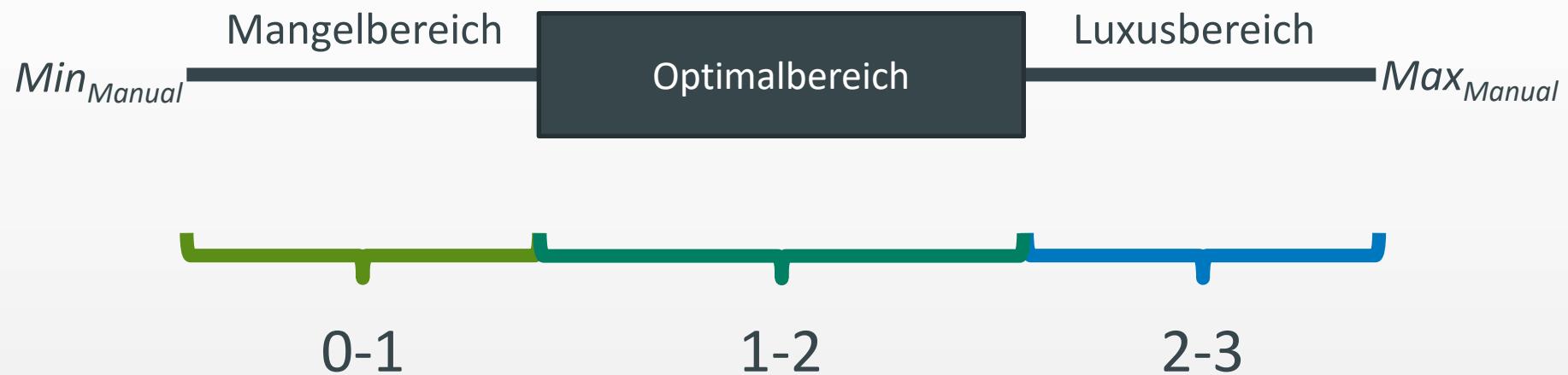
Nährstoffe unter Grenzwert



Nährstoffe über Grenzwert



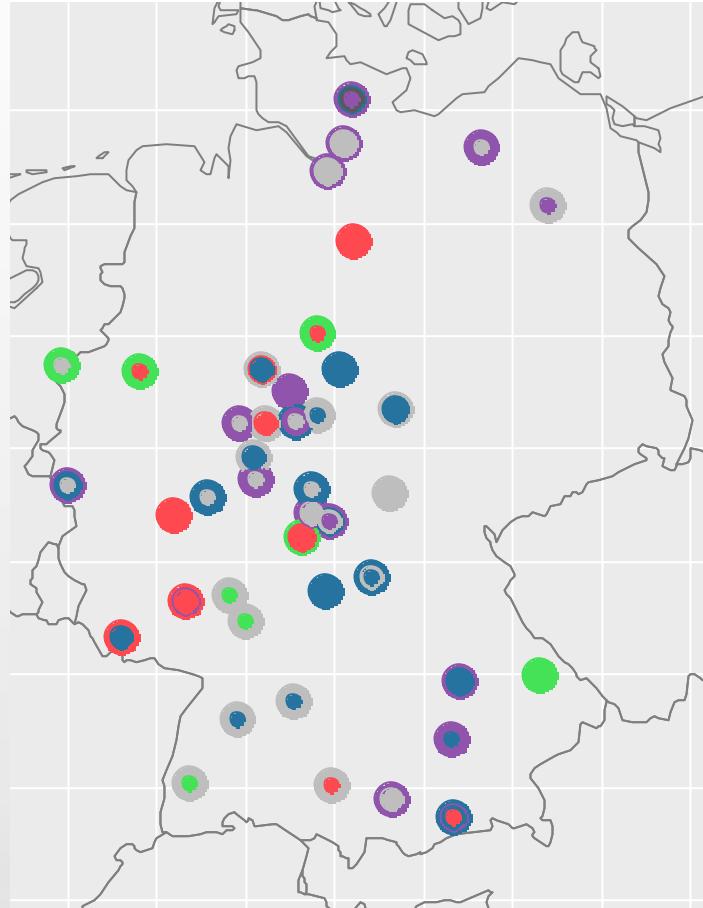
# Skalierung Nährstoffgehalte



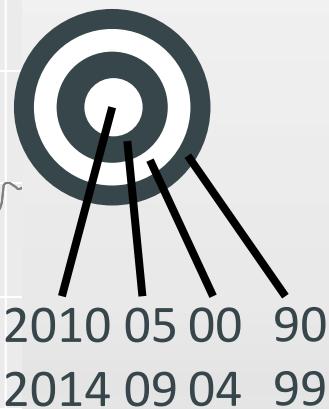
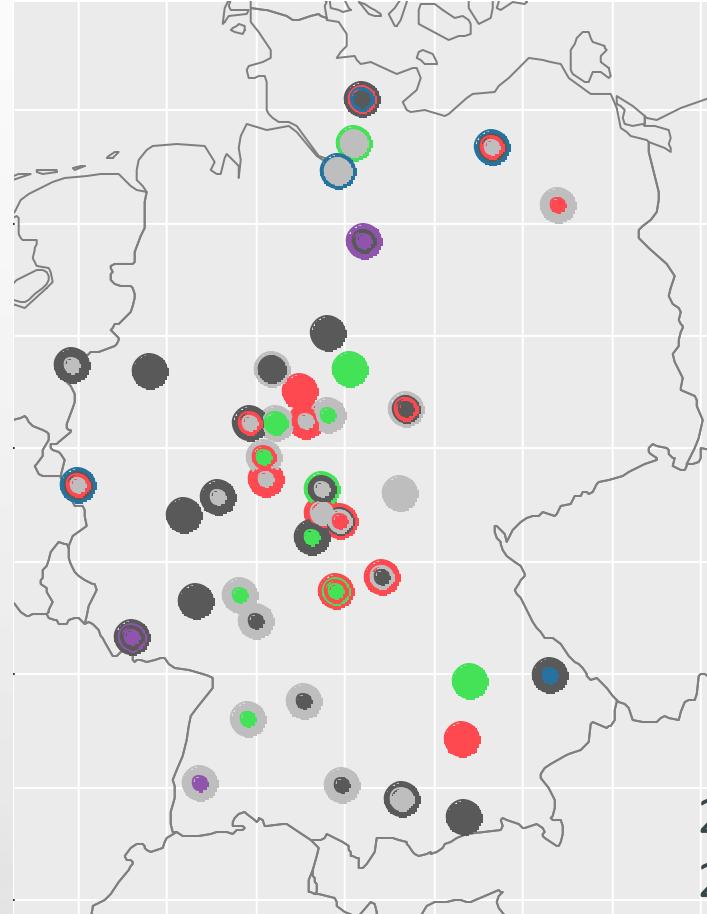
$$I_{Ei} = \frac{E_i - \min(E)}{\max(E) - \min(E)}$$

# Geringster/höchster Nährstoff: Buche

Geringster Nährstoff

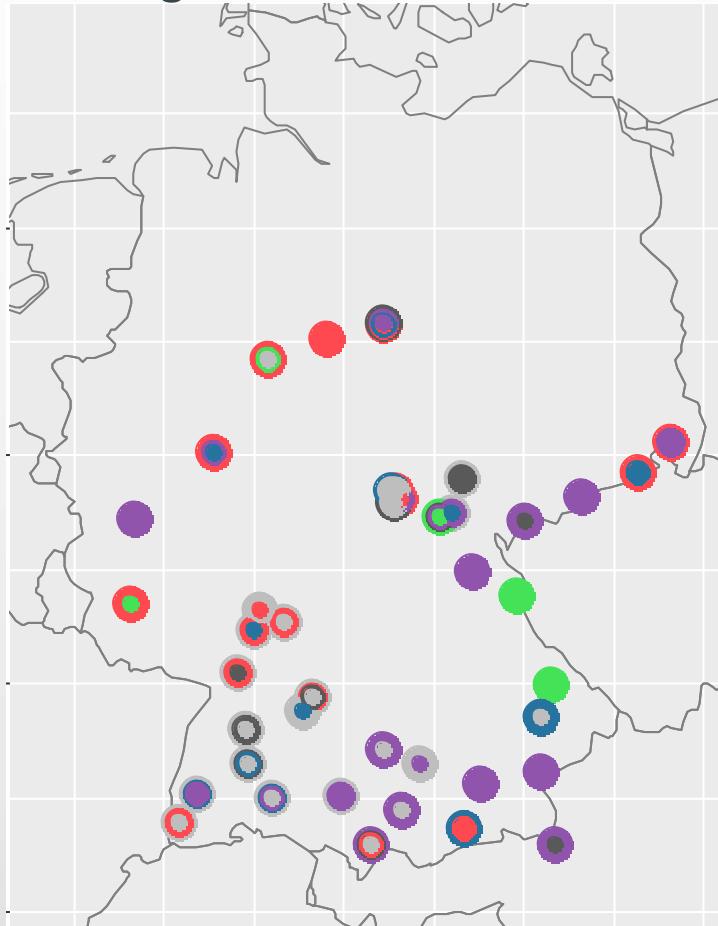


Höchster Nährstoff

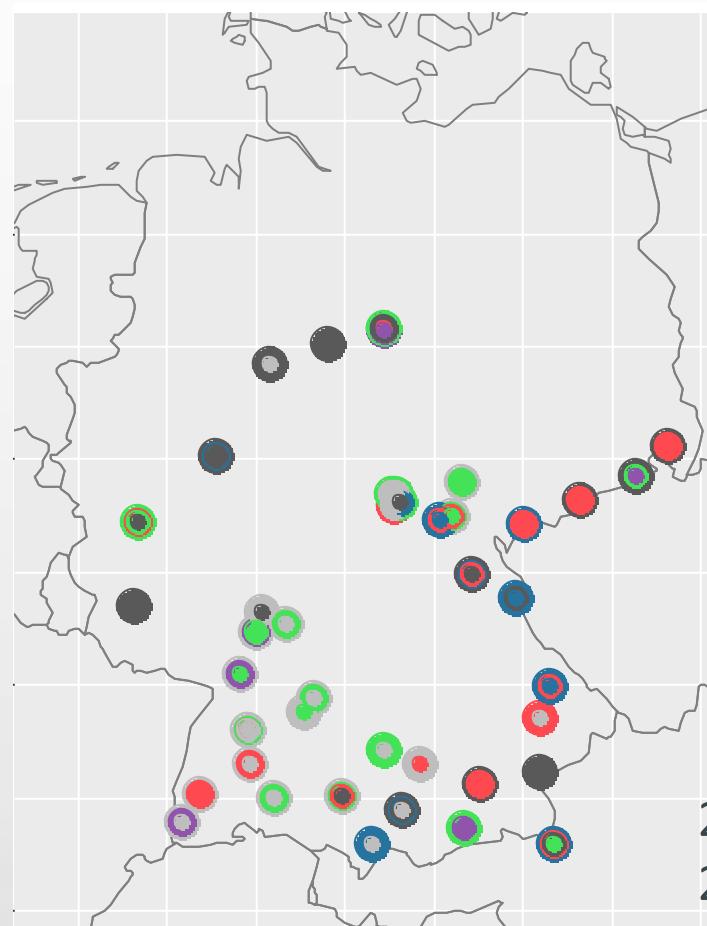


# Geringster/höchster Nährstoff: Fichte

Geringster Nährstoff



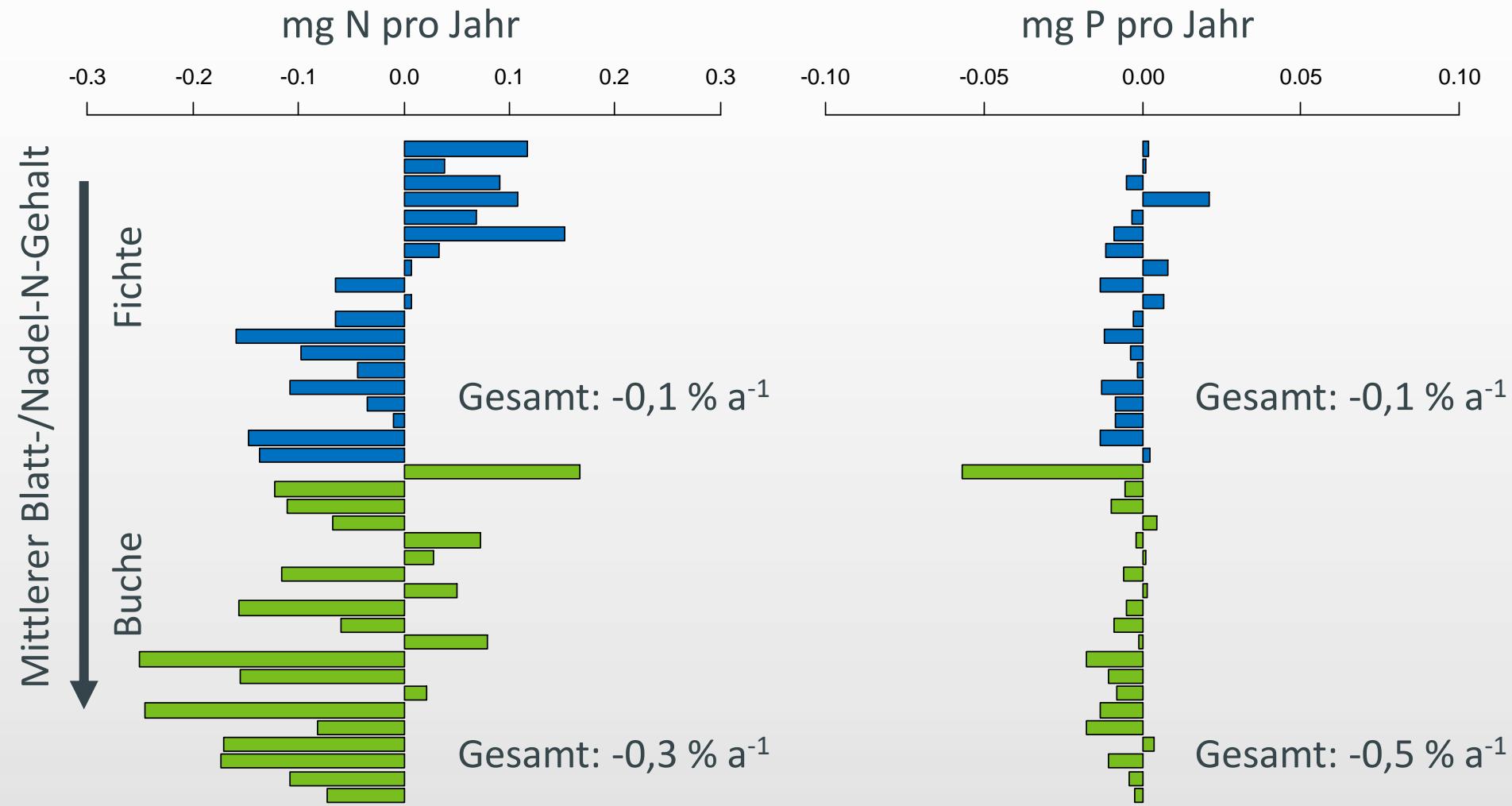
Höchster Nährstoff



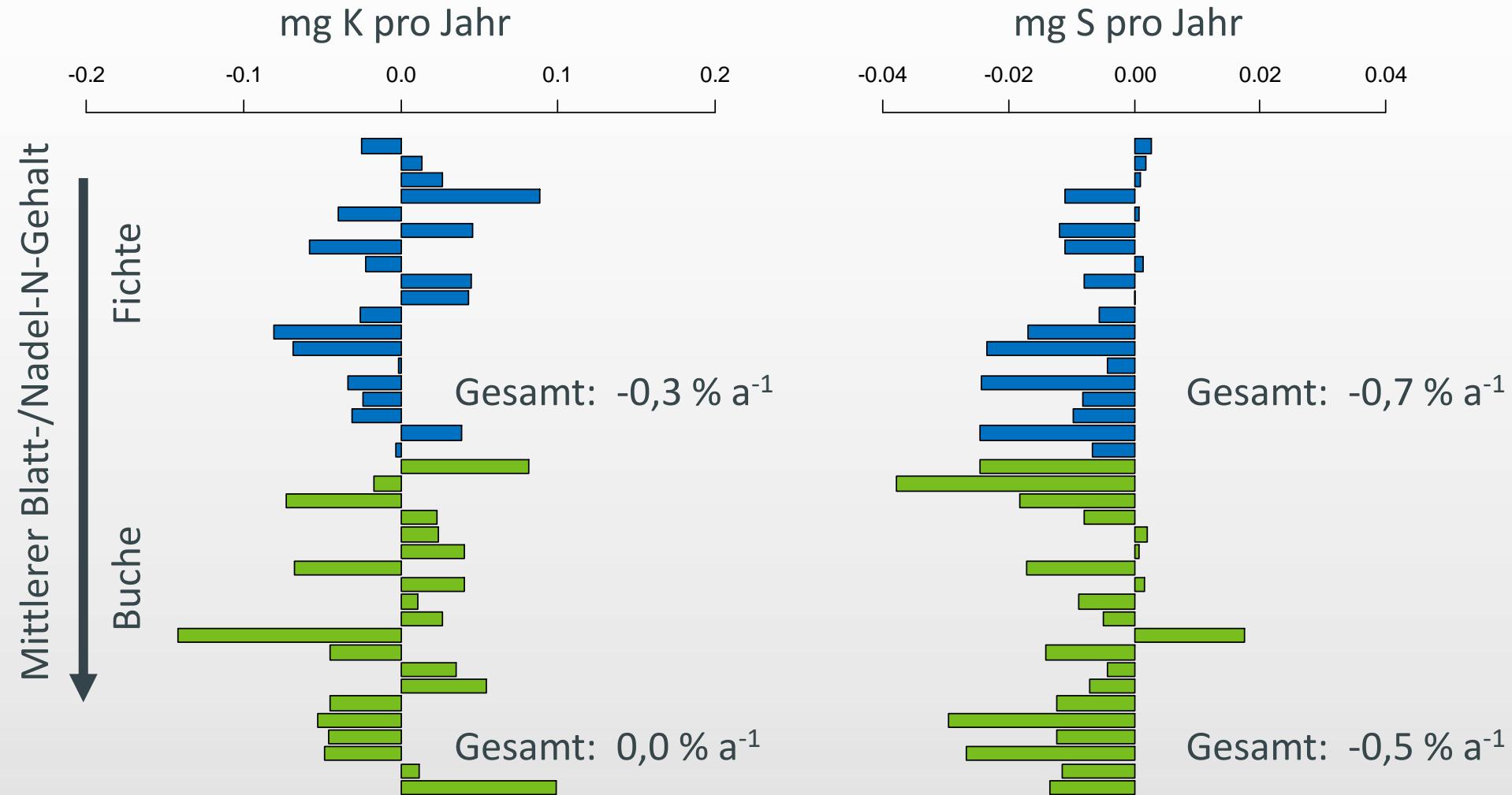


Trends in der  
Waldernährung

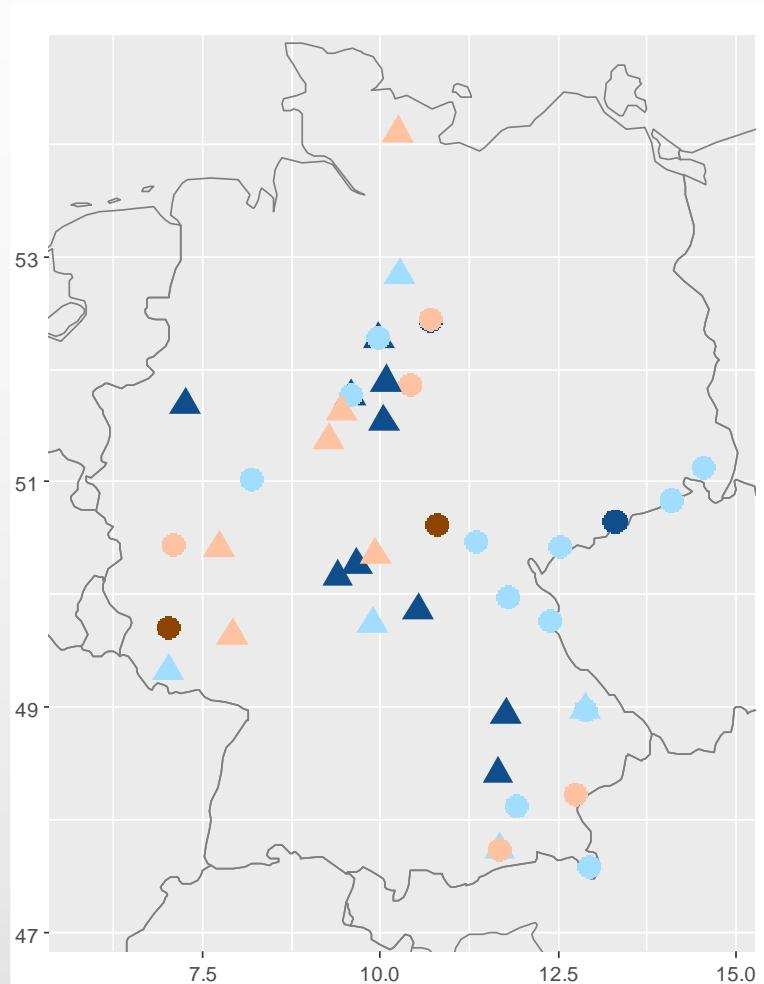
# Trends in der Waldernährung von 1990er bis 2010er



# Trends in der Waldernährung von 1990er bis 2010er



# Trends im N/P Verhältnis von 1990er bis 2010er



● Buche

▲ Fichte

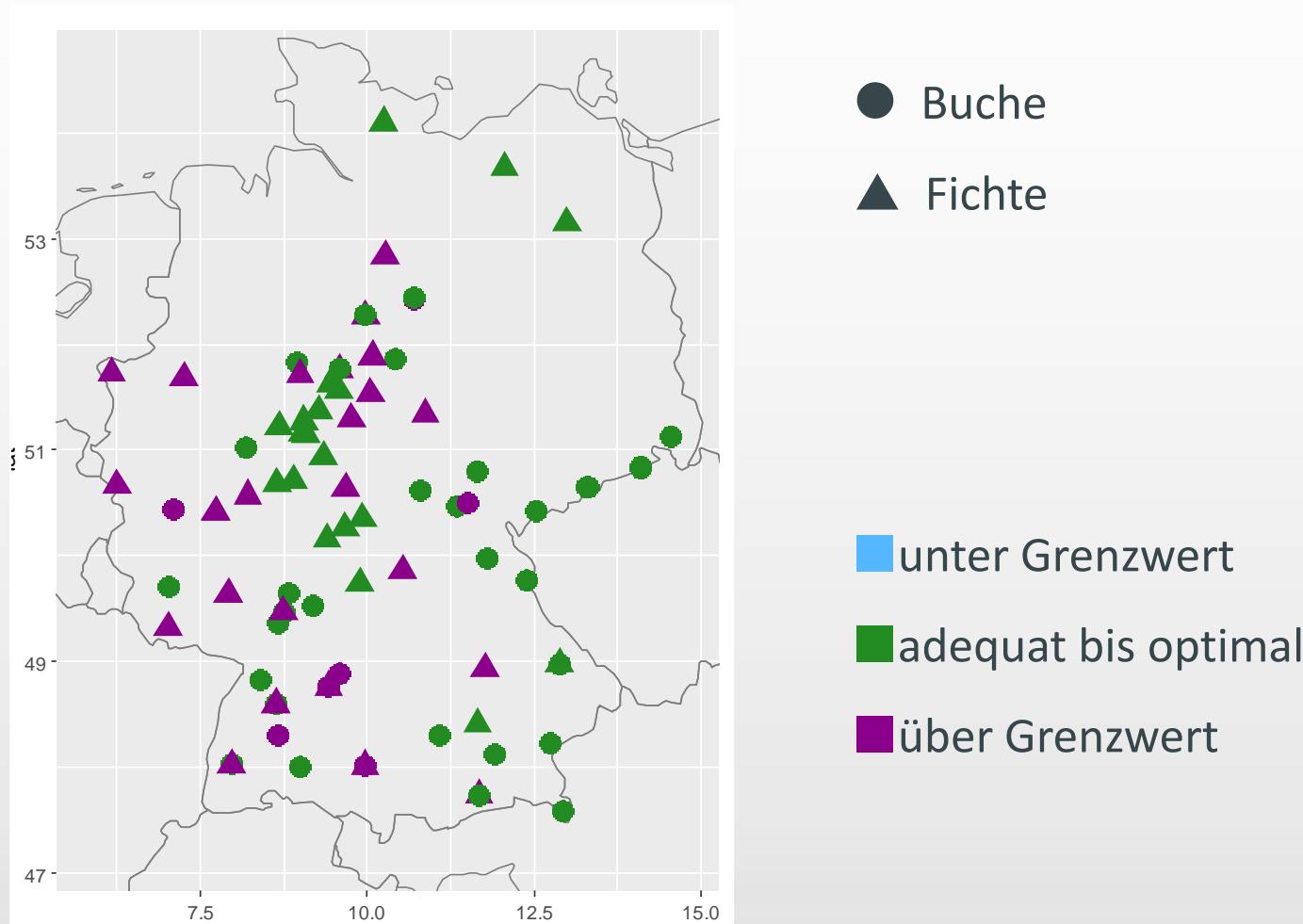
■ statistisch signifikante Zunahme

■ leichte Zunahme

■ leichte Abnahme

■ statistisch signifikante Abnahme

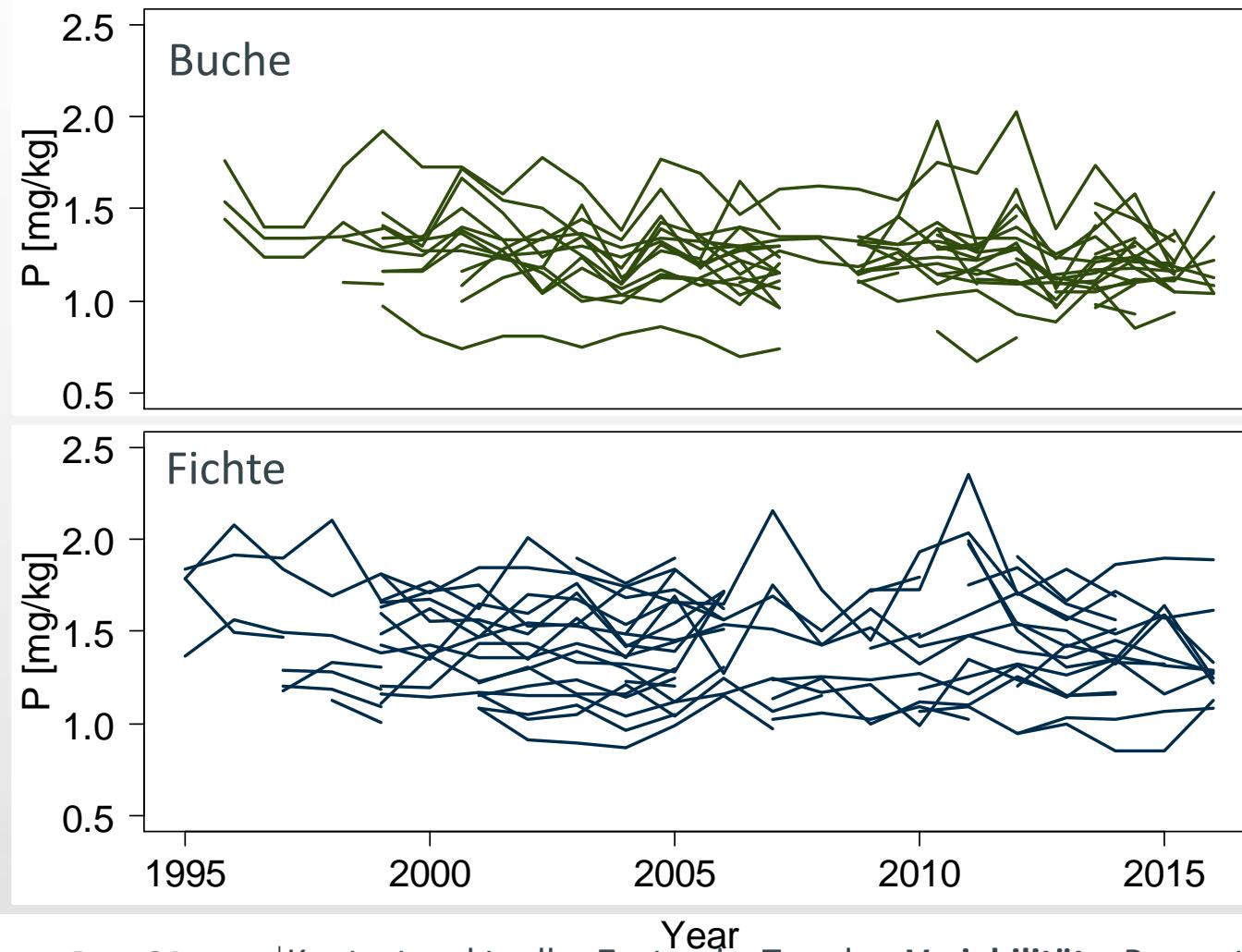
# Status N/P Verhältnis



# Interannuelle Variabilität

A landscape photograph showing a grassy field in the foreground, a dense forest of green trees in the middle ground, and a clear blue sky above. Several tall, thin poles are scattered across the field, some with small rectangular boxes attached to them. A paved path or road curves through the trees on the right side of the image.

# Variabilität von Phosphor in Blättern/Nadeln



## GLMM

Auswahlkriterium: AIC

Abweichung vom 2 -  
monatlichen Mittelwert

- Mittlere Temperatur
- Niederschlag

Feb & Mar	Feb & Mar 1-yr lag
Apr & Mai	Apr & Mai 1-yr lag
Jun & Jul	Jun & Jul 1-yr lag
	Aug & Sep 1-yr lag

# Einfluss von Witterung auf Blatt-/Nadelspiegelwerte

## Buche

	Vorheriges Jahr					Laufendes Jahr		
	Feb/Mar	Apr/Mai	Jun/Jul	Aug/Sep		Feb/Mar	Apr/Mai	Jun/Jul
AT	N	N K	INCR	P Mg Ca		INCR	INCR	K
PR								

## Fichte

	Vorheriges Jahr					Laufendes Jahr		
	Feb/Mar	Apr/Mai	Jun/Jul	Aug/Sep		Feb/Mar	Apr/Mai	Jun/Jul
AT		Ca	Mg	N K		K	P Ca	N
		INCR	INCR			INCR		
PR								



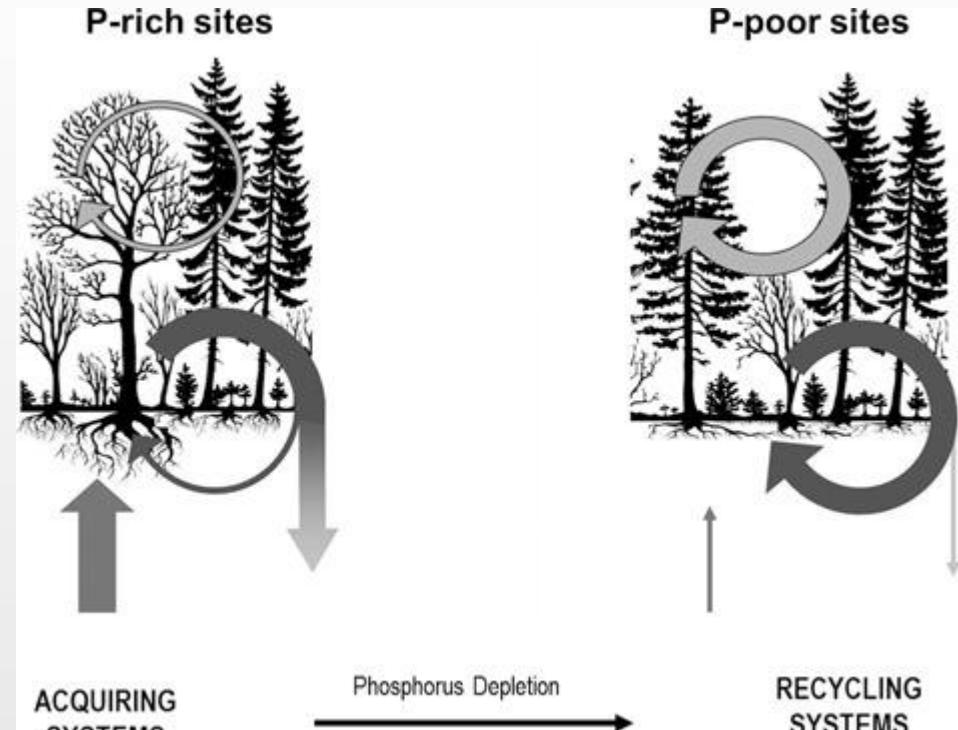
Nährstoff-  
resorption

# Nährstoffresorption

Resorption von Nährstoffen ist abhängig von deren Verfügbarkeit.

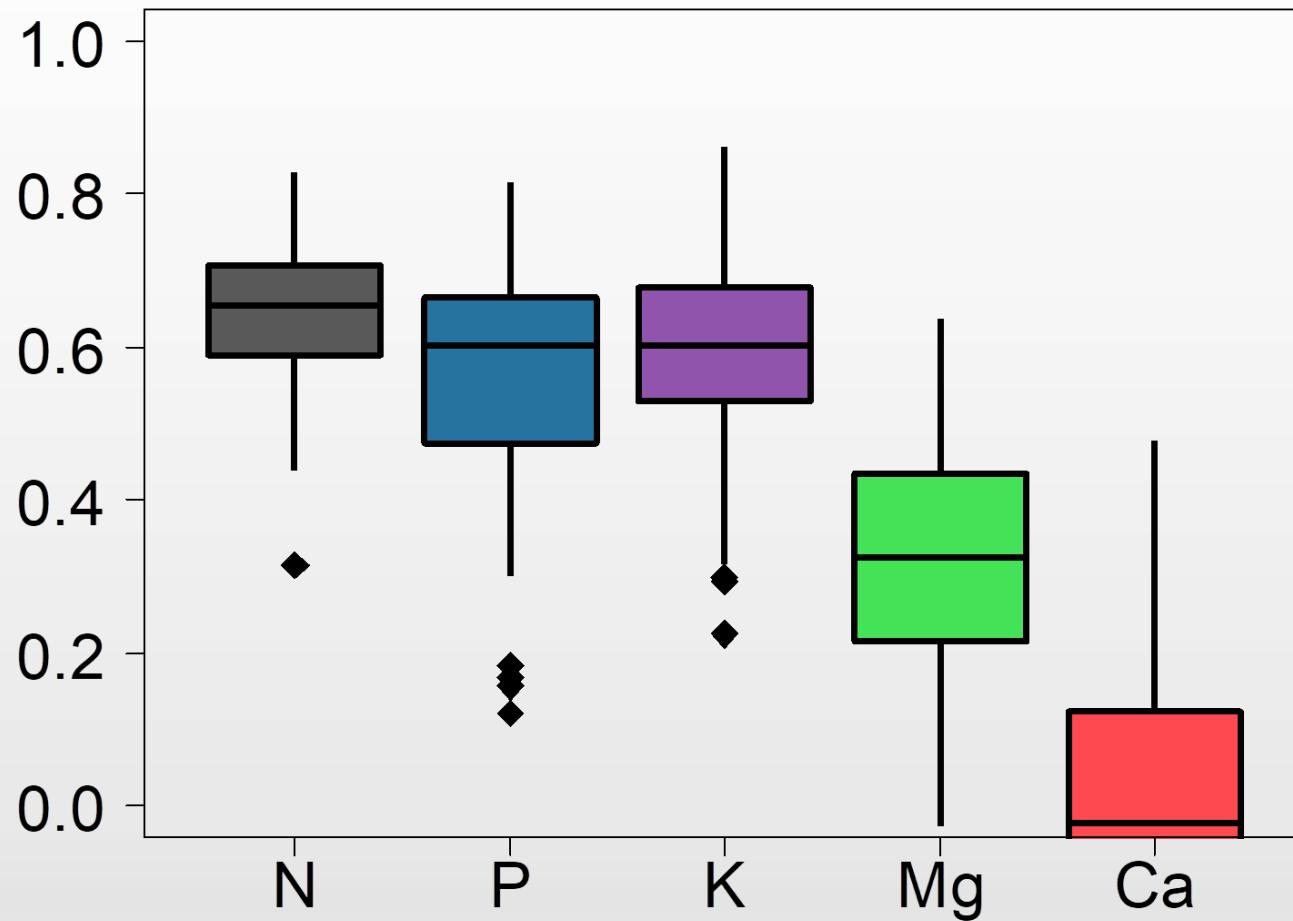
Effizienz der Resorption kann Hinweis auf Nährstoffmangel geben.

$$RE_E = \frac{E_{frisch} - (E_{seneszent} * MLCF)}{E_{frisch}}$$

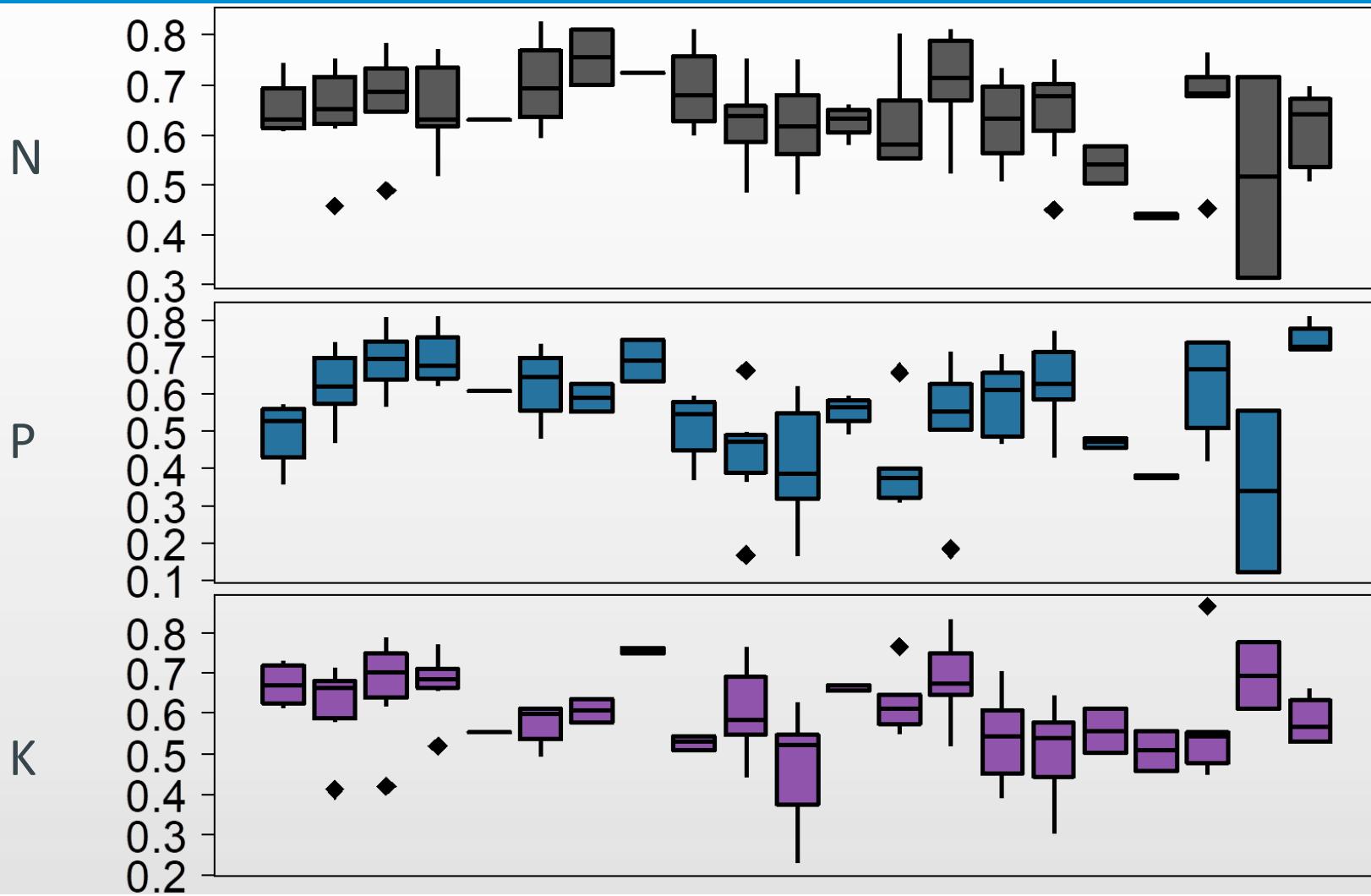


Source: Lang et al. 2016

# Nährstoffresorption: Buche

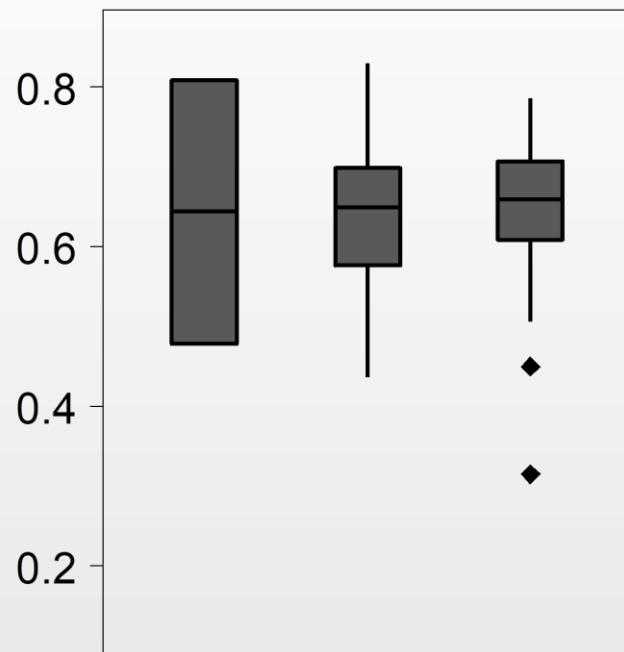


# Flächenvergleich



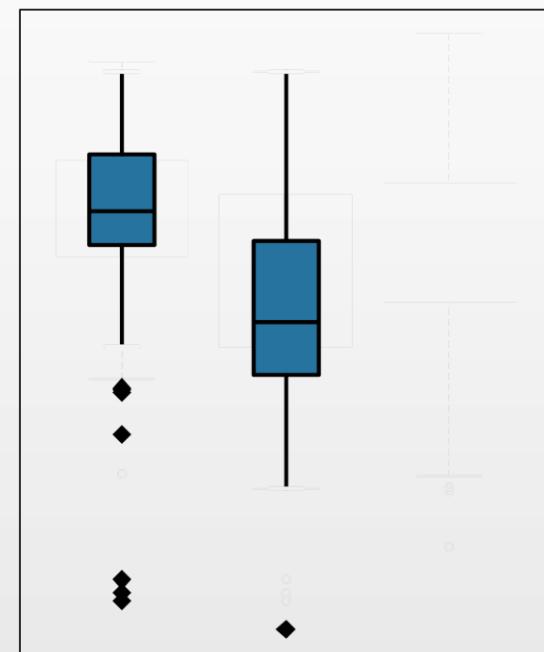
# Vergleich nach Blattspiegelwerten

N



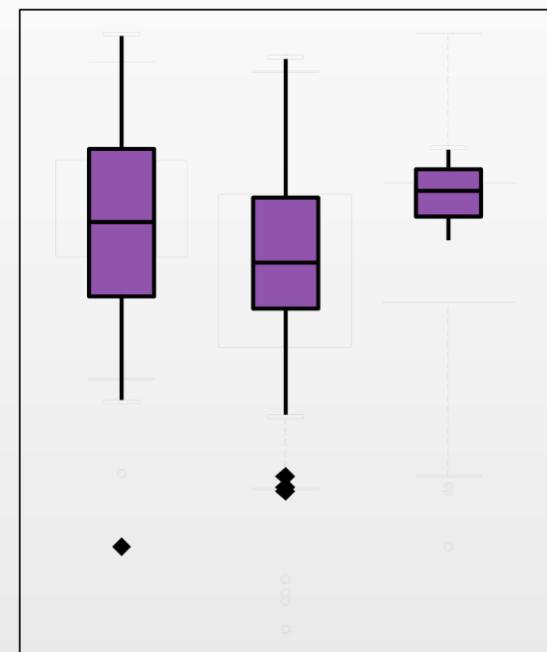
niedrig adequat hoch

P



niedrig adequat hoch

K

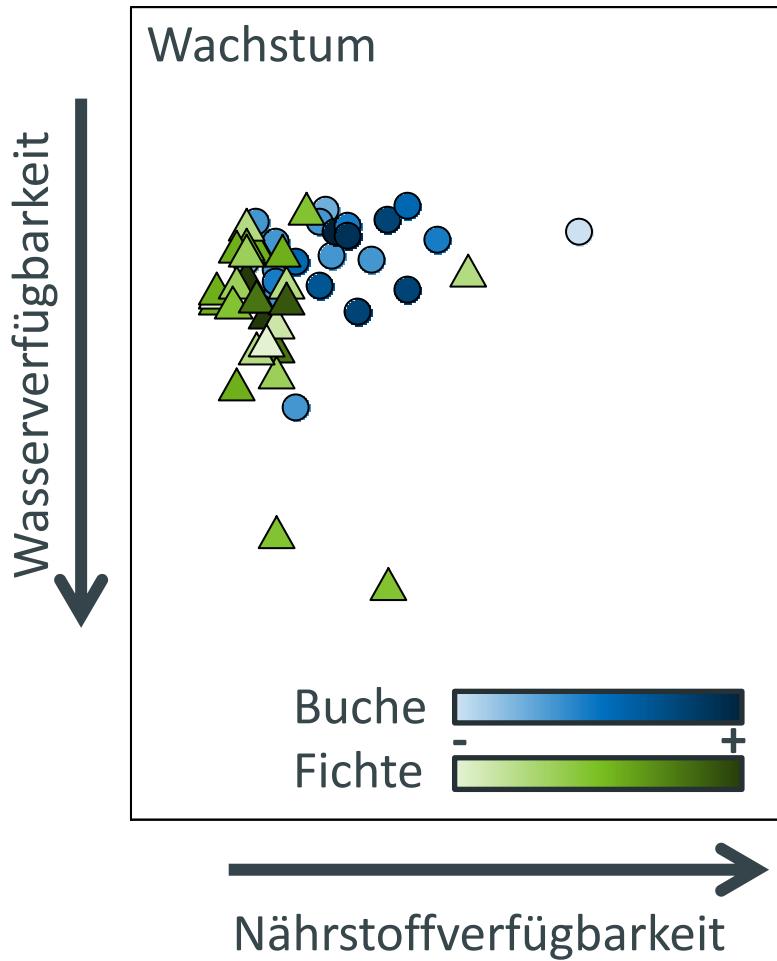


niedrig adequat hoch



# Waldernährung und Radialwachstum

# Ökogramm nach Ellenberg



Wasser Verfügbarkeit:

- Pflanzenverfügbares Wasser im Sommerhalbjahr, Quelle: BGR

Nährstoff Verfügbarkeit:

- $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , ICP Forests Level II

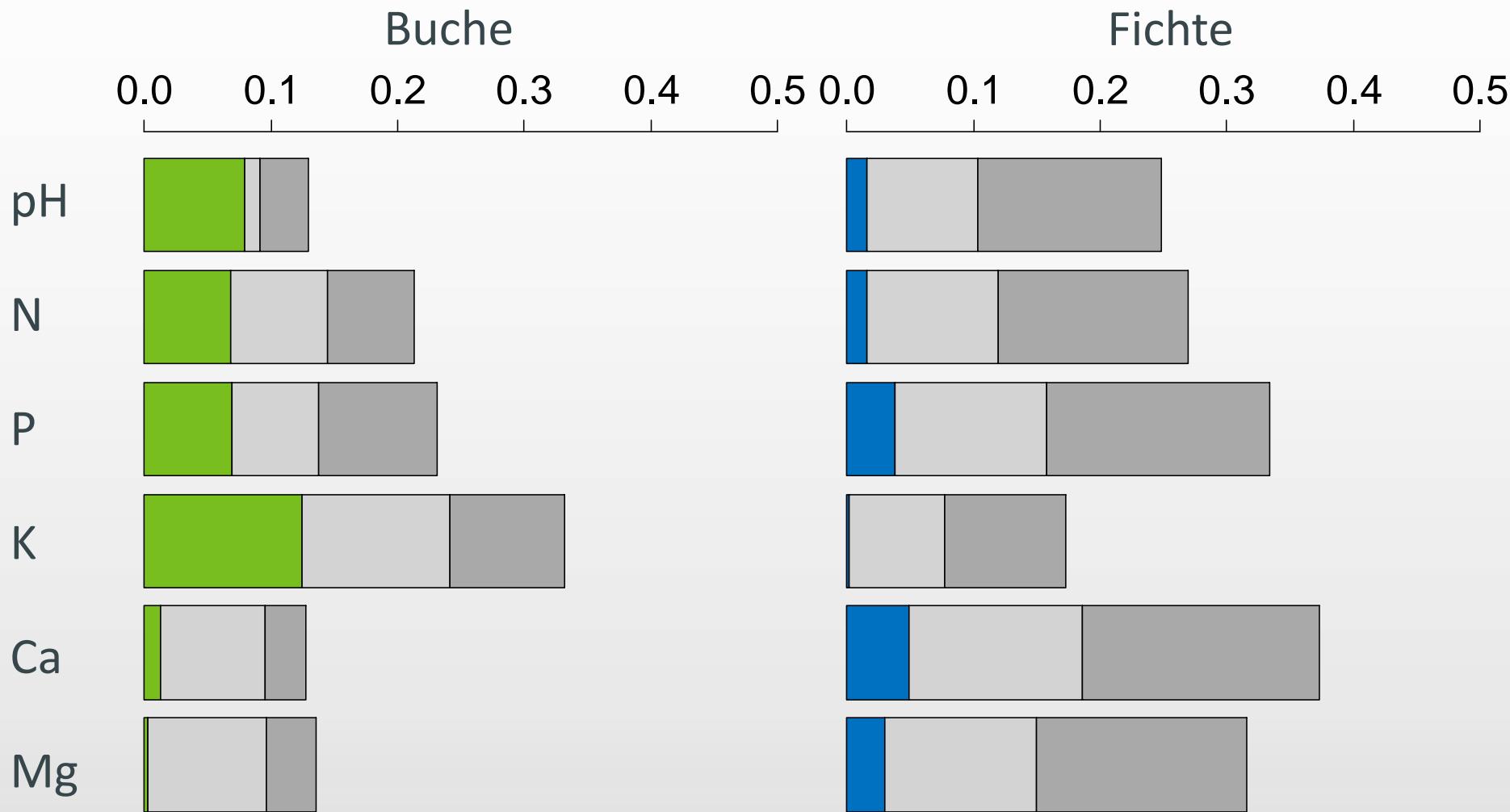
Baumwachstum:

- Mittlerer Kreisflächenzuwachs (1990-2004)
- Wolfgang Beck

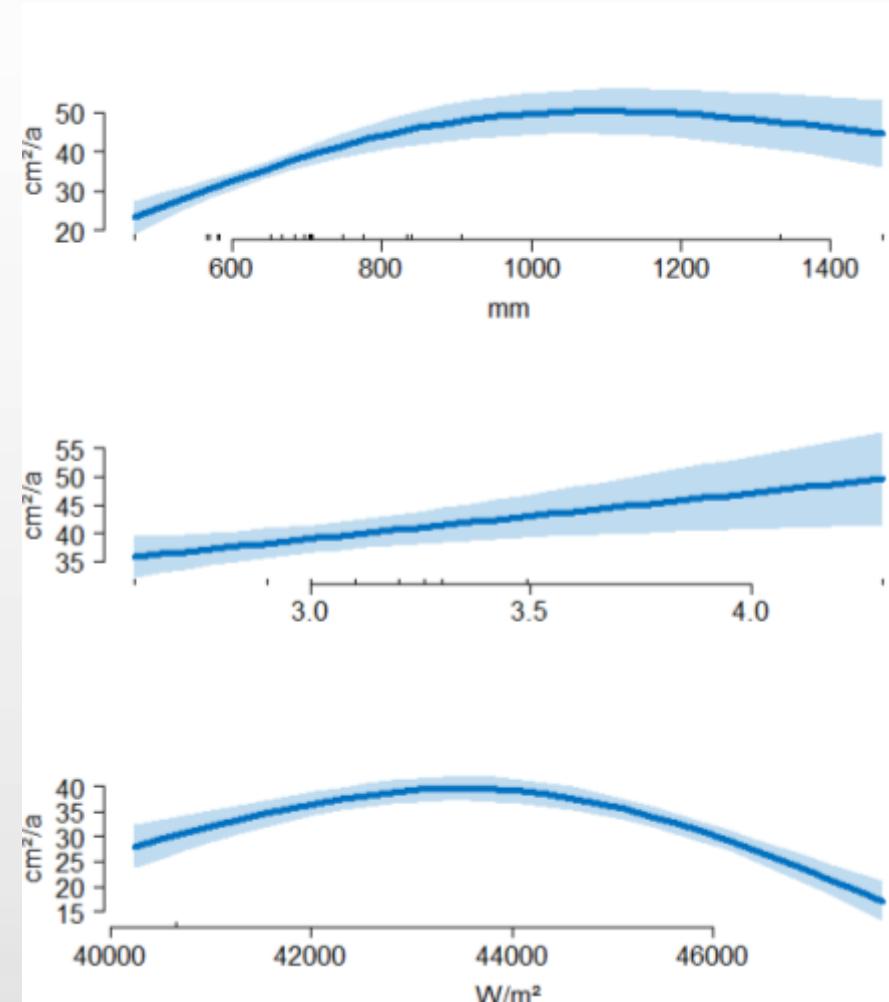
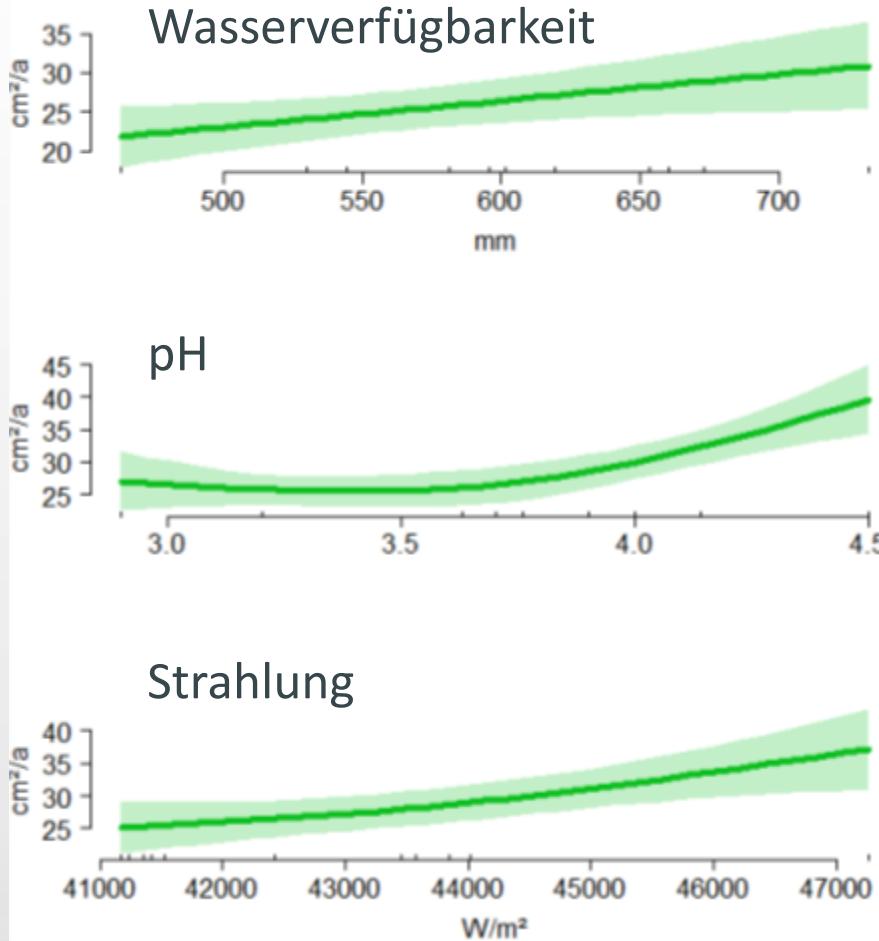
# Deviance explained: Radialzuwachs



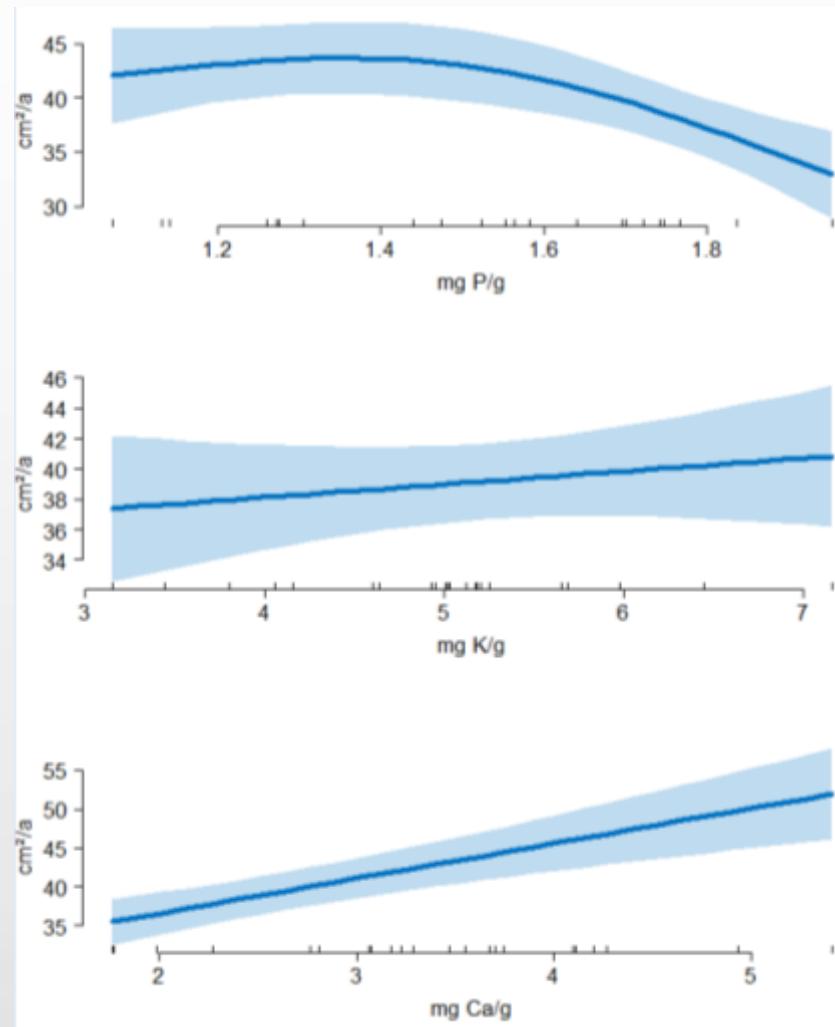
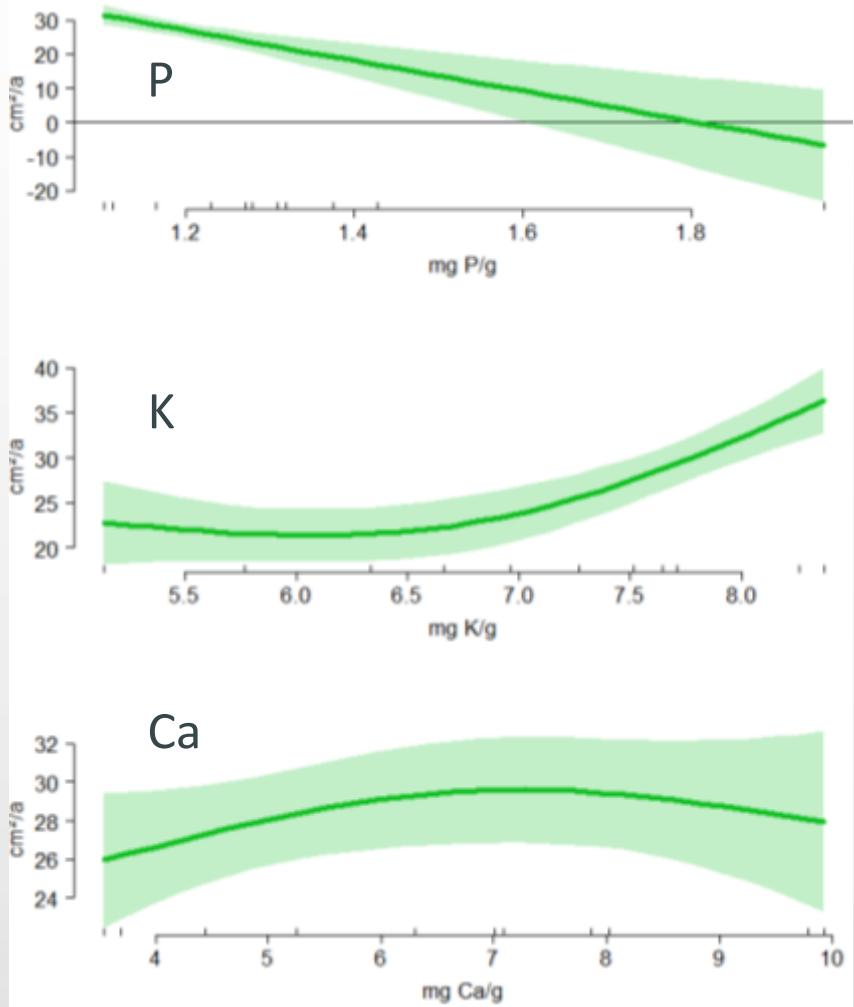
# Deviance explained: Radialzuwachs



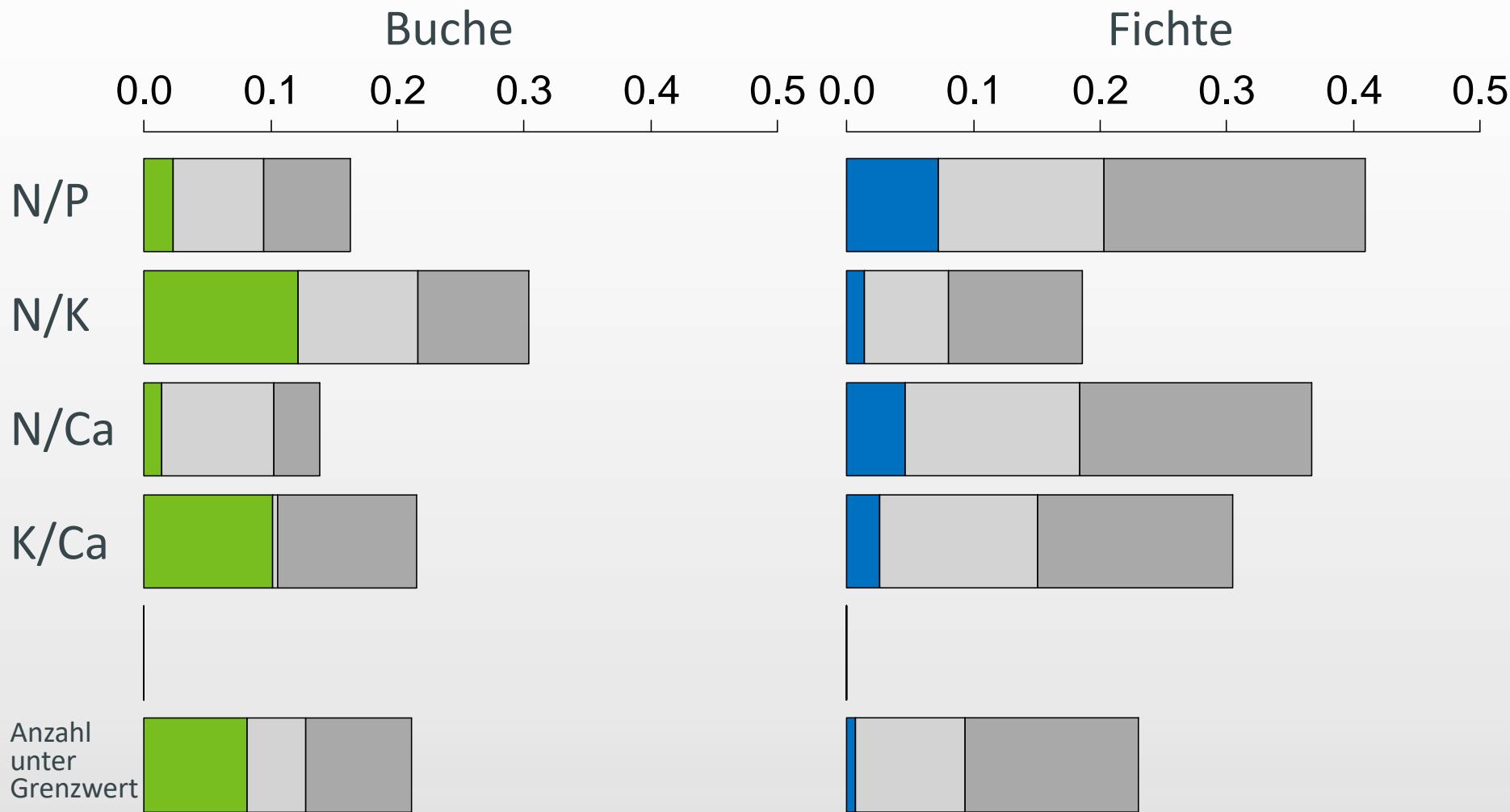
# Flächenvergleich



# Nährstoffe

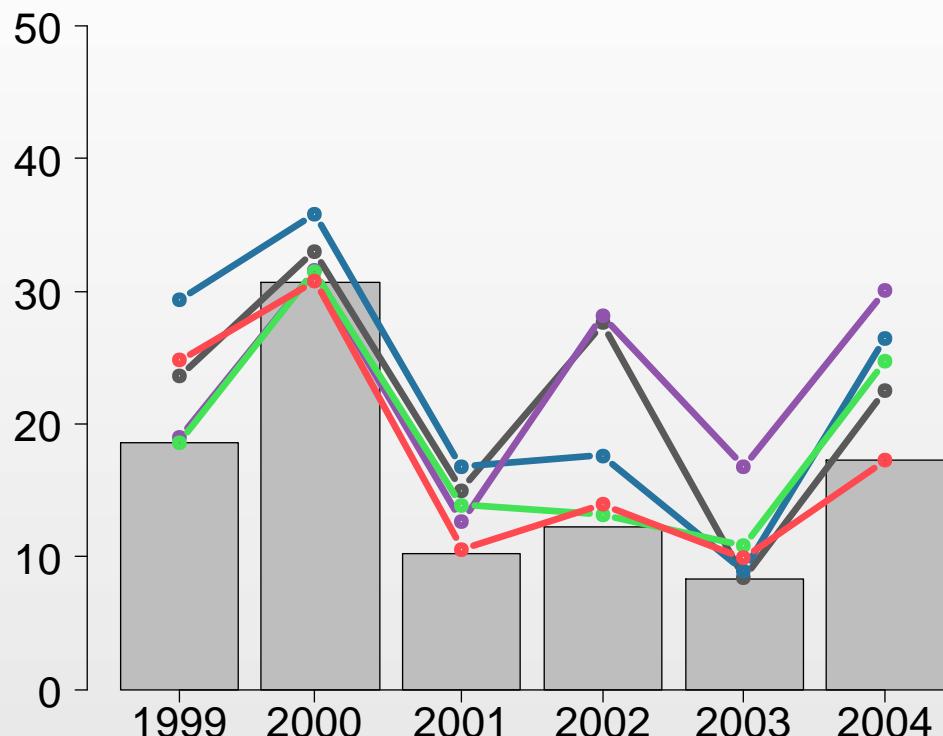


# Deviance explained: Radialzuwachs

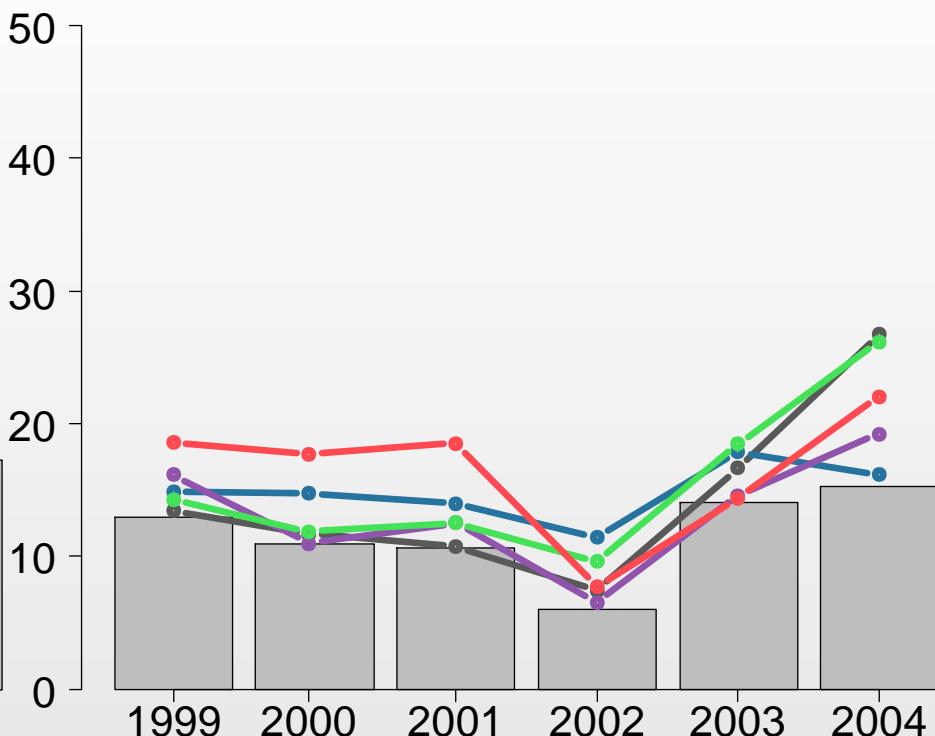


# Radialzuwachs: Jahr für Jahr

## Buche

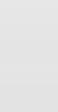


## Fichte



Wasserverfügbarkeit + Strahlung

Nährstoff:



# Ausblick

- **Wirkung von Nährstoffen auf Wachstum in Abhängigkeit von Witterung**
- **Einbeziehung weiterer Faktoren (Bestandsdichte etc.)**
- **Auswertung für Eiche und Kiefer**

### Acknowledgements:

We gratefully acknowledge the member states of ICP Forests with their numerous staff for collecting, financing, analysing, and submitting their data.

We further thank Wolfgang Beck for providing dendrochronological data.

