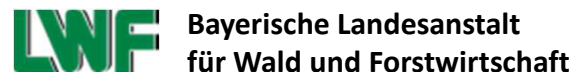


Identifikation von Nährstofflimitierungen auf der Basis von Waldzustandsdaten

Beispiel aus Bayern u. a. Bundesländern

Karl H. Mellert · J. Ewald · A. Göttlein · C. Kölling · T. Schäff · W. Weis



Identifikation von Nährstofflimitierungen auf der Basis von Waldzustandsdaten

Beispiel aus Bayern u. a. Bundesländern

Projekte:

Energieholznutzung und stoffliche Nachhaltigkeit in Deutschland (EnNa)



Gefördert durch:

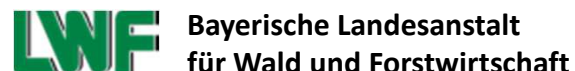


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Validierung der neuen Ernährungskennwerte nach van den Burg durch Daten der BZE und BWI (2012)



Ernährungs- und Wachstumsfaktoren der Fichte im Kalkalpin (2014)



Gliederung

- I. Fragestellung
- II. Datengrundlagen und Methoden
- III. Lösungsansätze in Beispielen
- IV. Schlussfolgerungen

Nährstofflimitierungen

Allgemeine Fragestellungen

- Ernährungsstatus von Wäldern
- Standorts-/Ernährungsnachhaltigkeit
- Ernährungskundliche Wirkung von Maßnahmen zur Stabilisierung der Waldökosysteme (Kalkung)

Spezielle Fragestellungen

1. Primär limitierendes Element?
2. Ca + Mg vs. Kernnährelemente (NPK)
3. Ernährung vs. Klima

Nährstofflimitierungen

Probleme bei der Identifikation

1. Heterogenität von Bodeneigenschaften / Nährstoffverfügbarkeit
2. Homöostase des pflanzlichen Organismus
3. Komplexes Zusammenspiel zwischen 1 und 2
4. Störfaktoren / konfundierende Effekte (unobserved confounder)

Lösungsansätze

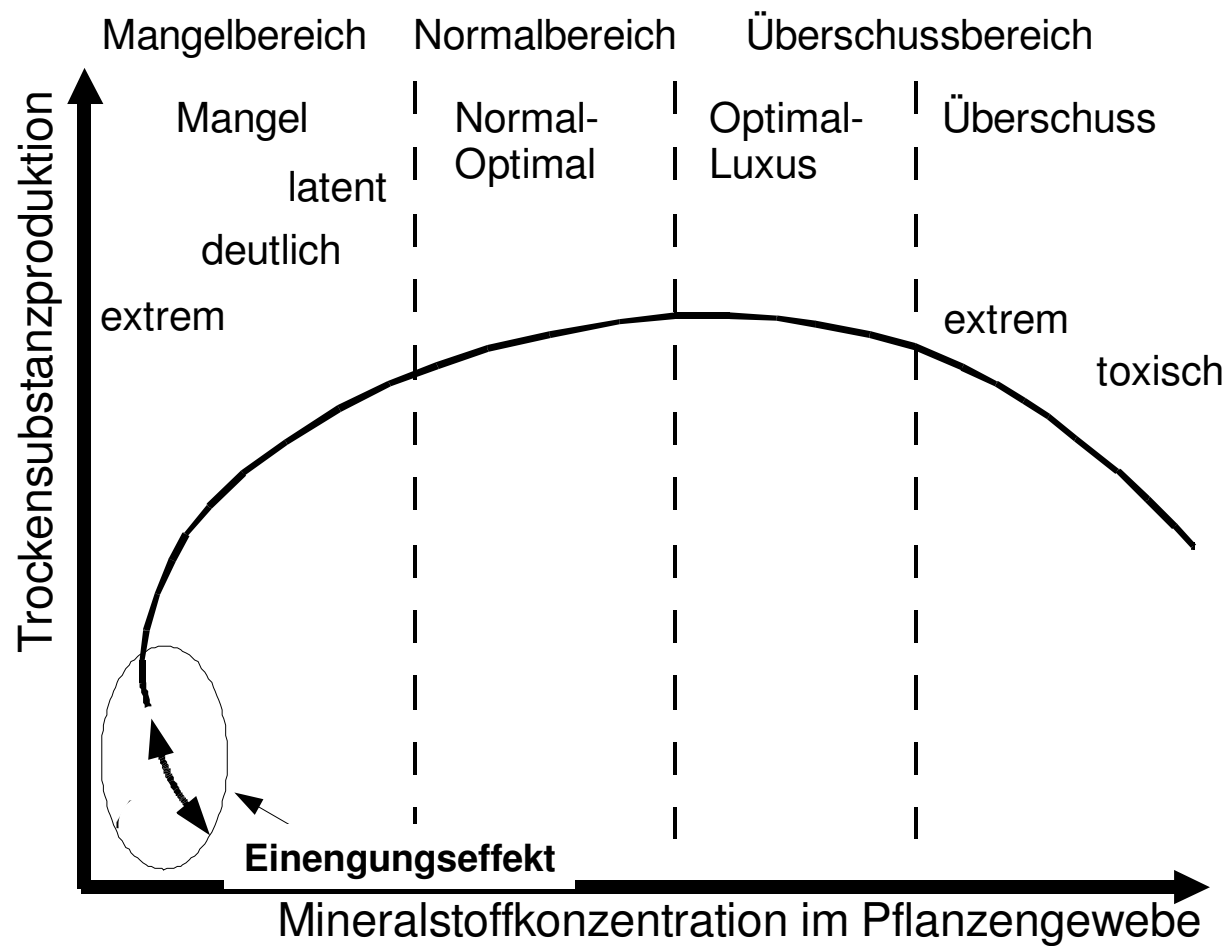
1. Nutzung von Vorwissen: Ernährungskennwerte
2. Statistische Zusammenhänge zwischen Bonität und Ernährung:
Herausfiltern limitierender Effekte:
 - a. Boundary line modelling, Limiting Response (EnNa, Bayer. Alpen)
 - b. Boosted Regression Trees (TI, Bayer. Alpen)
3. Kombinierte Verfahren
 - a. Limitierendes Element? (Bayer. Alpen)
4. Aggregation: Whh vs. Nährstoffe → „Ökogramm“ (EnNa)

Methoden und Datengrundlagen

Datengrundlagen

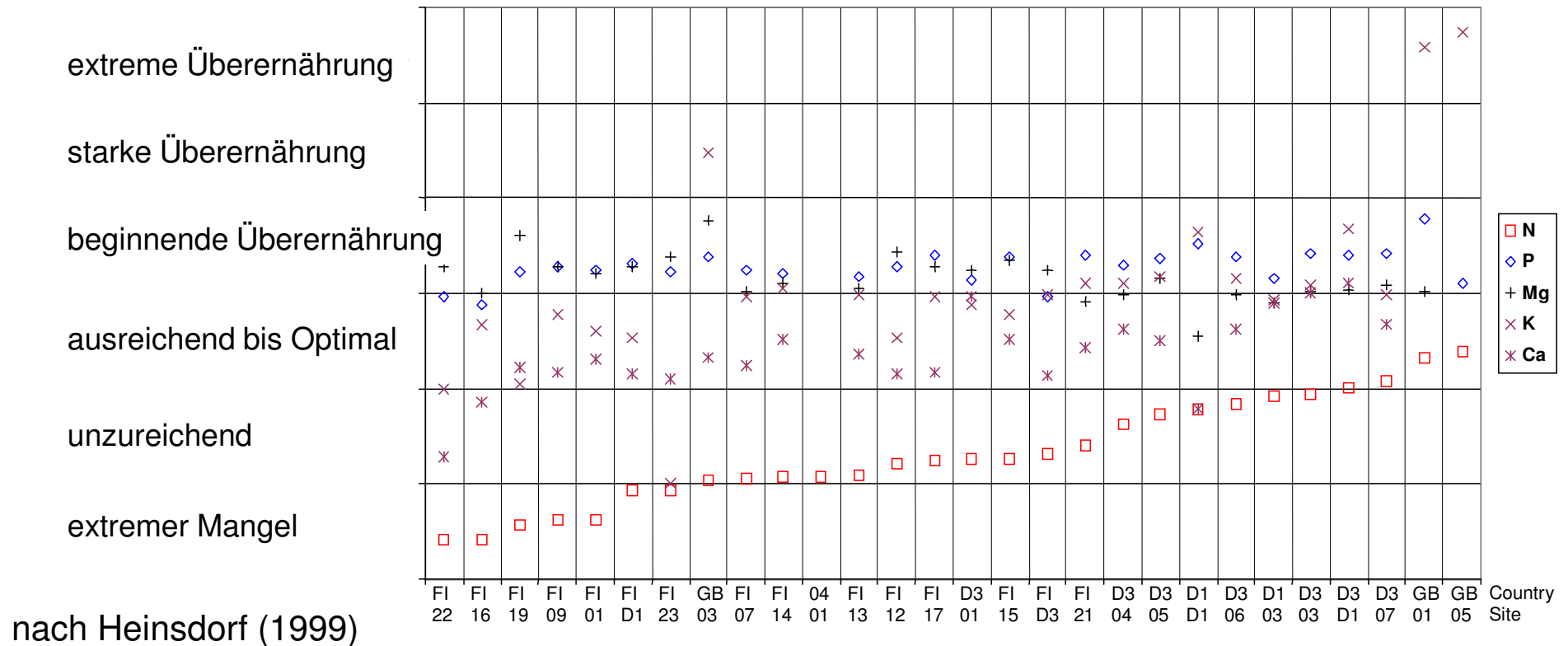
- Waldzustandsdaten: Querschnittsdaten ohne Zeitreihe: BZE2 u.w.
- Beispiel: Fichte (Kie)
- Zielgröße: Bonität (BWI/ ad hoc-Verfahren bzw. Assmann & Franz 1963)
- Prädiktoren: Nährelemente (Spiegelwerte, jüngster Nadel-Jg.)
- Klimatische Größen als Kovariablen

1. Vorwissen - Ernährungskennwerte



1. Vorwissen - Ernährungskennwerte

Ernährung der Kiefer mit Hauptnährelementen an 28 Standorten in Europa (Ausgangssituation 1985)



aus Mellert et al. (2004)

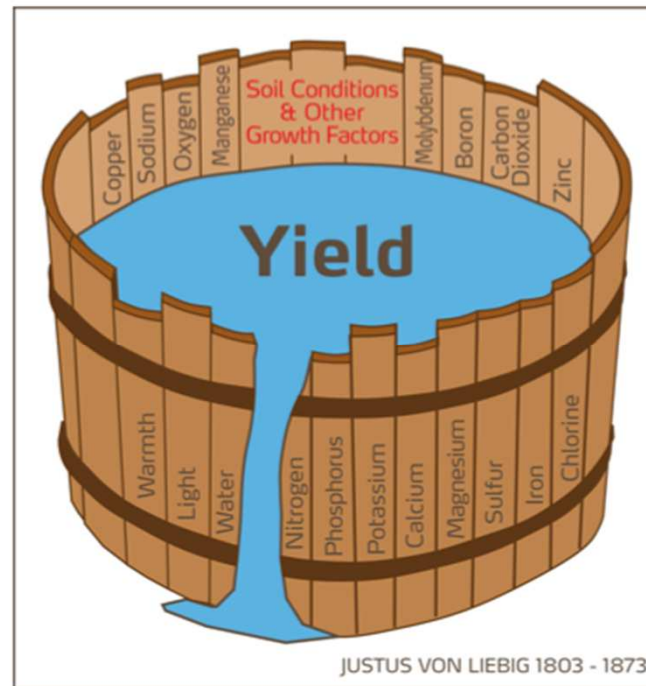
→ übersichtliche Darstellung mit physiologischer Interpretation



1. Vorwissen - Ernährungskennwerte

**Justus von Liebig's
"Law of the Minimum"
published in 1873**

"If one growth factor/nutrient is deficient, plant growth is limited, even if all other vital factors/nutrients are adequate...plant growth is improved by increasing the supply of the deficient factor/nutrient"



$$\text{Minimumfaktor}_{ES} = \min(N_{ES}, P_{ES}, K_{ES}, Mg_{ES}, Ca_{ES}, \dots)$$

1. Vorwissen - Ernährungskennwerte

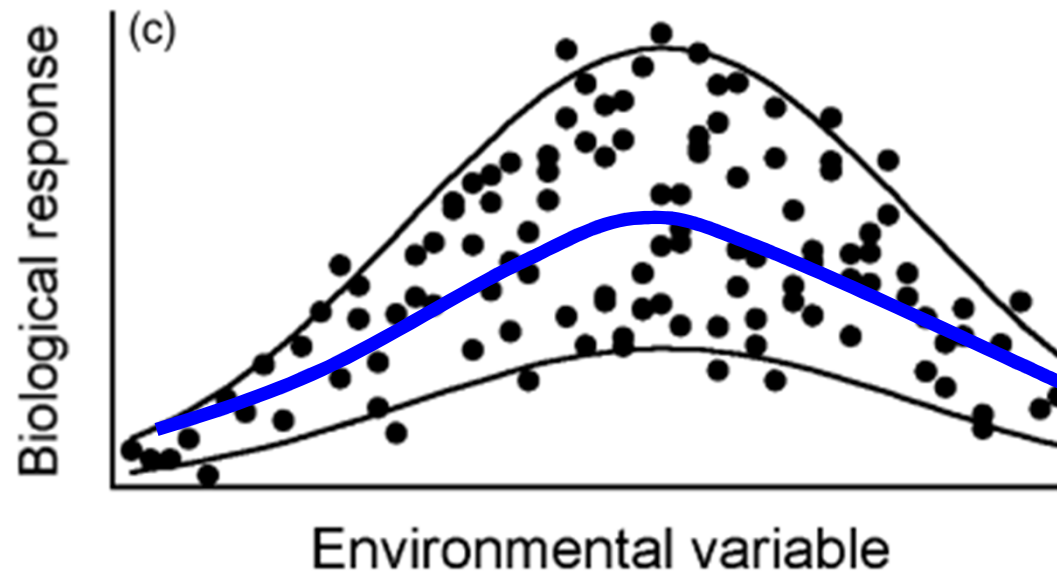
Stärken

- Werte bedürfen keiner weiteren Interpretation (Mangel-, Normal-, Überernährung)
- Minimumfaktor im Sinne von Liebig's Minimumprinzip
- Problem der Multikolarität der verschiedenen Nährstoffe wird vermieden

Schwächen

- Unsicherheit über die wahre Lage des Schwellenwerts
- Informationsverlust beim Minimumfaktor

2a. Limiting Response - Prinzip



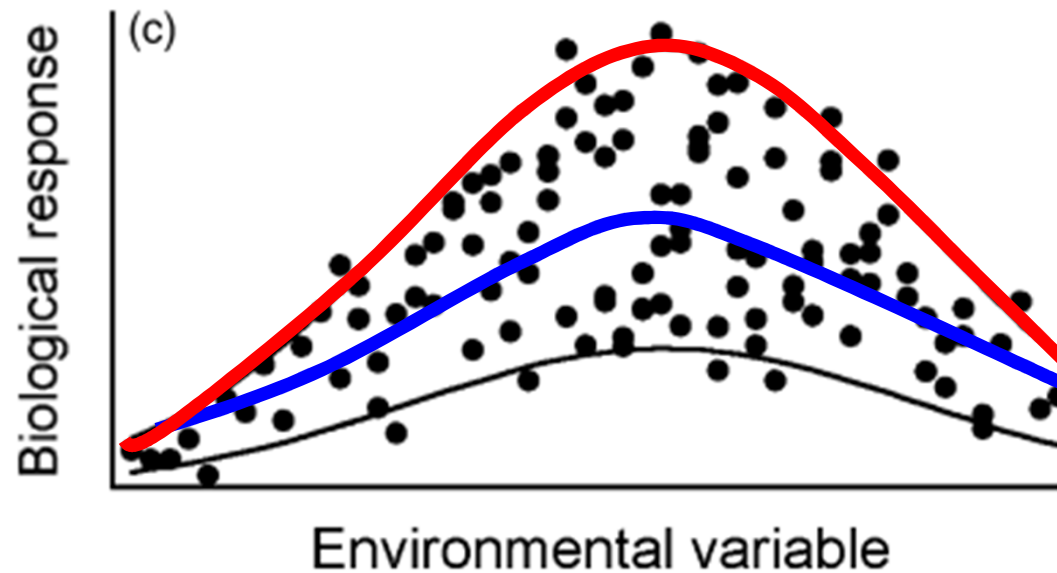
nach Lancaster & Belyea 2006

Central response

Alle Faktoren liegen im mittleren Bereich

Modell im Sinne von Liebig's Minimumgesetz: limitierender Faktor kann nur auf nicht kolimitierten Niveau identifiziert werden

2a. Limiting Response - Prinzip



nach Lancaster & Belyea 2006

Central response

Alle Faktoren liegen im mittleren Bereich

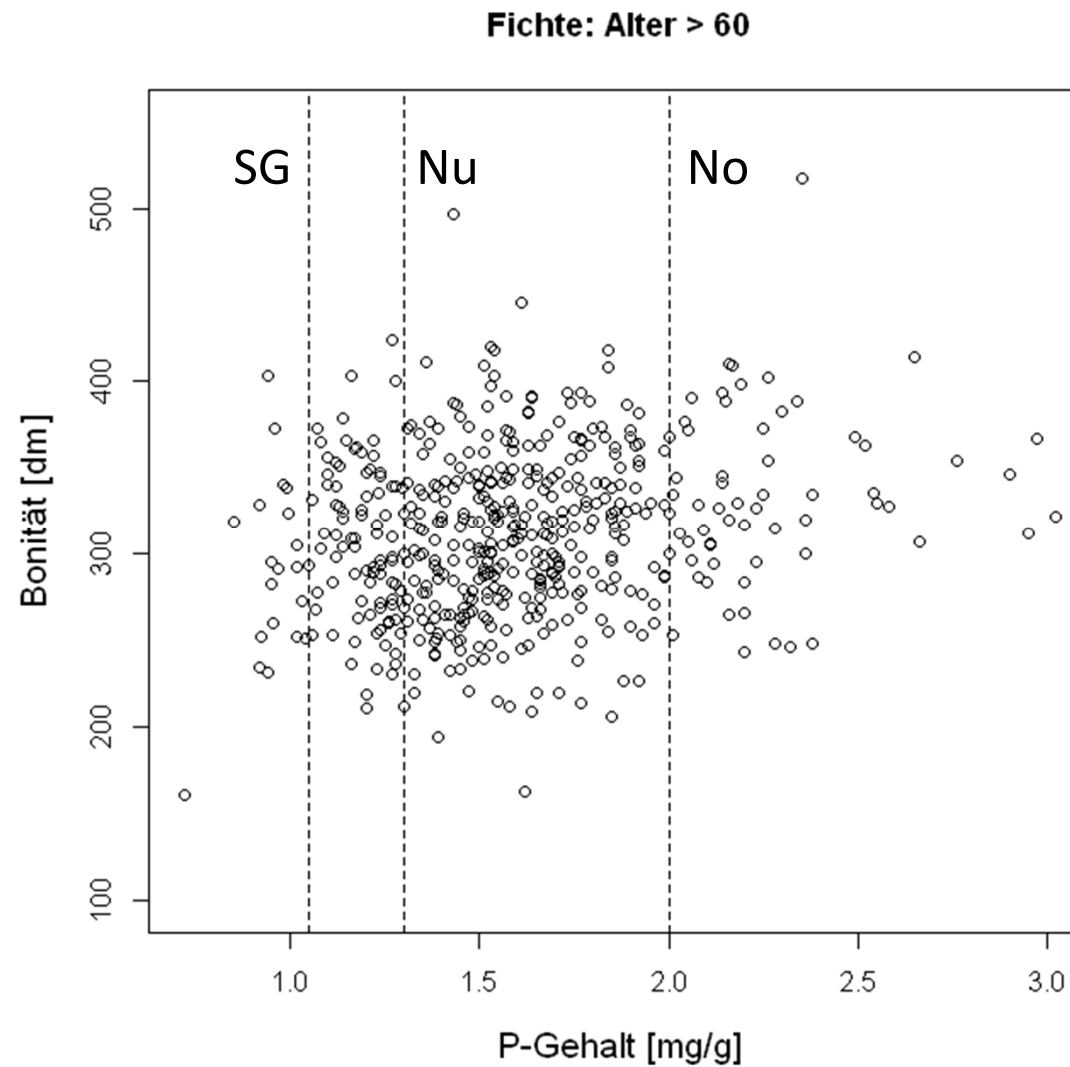
Boundary Line/ Limiting Response

Alle Faktoren – abgesehen vom betrachteten Faktor – sind nicht limitierend

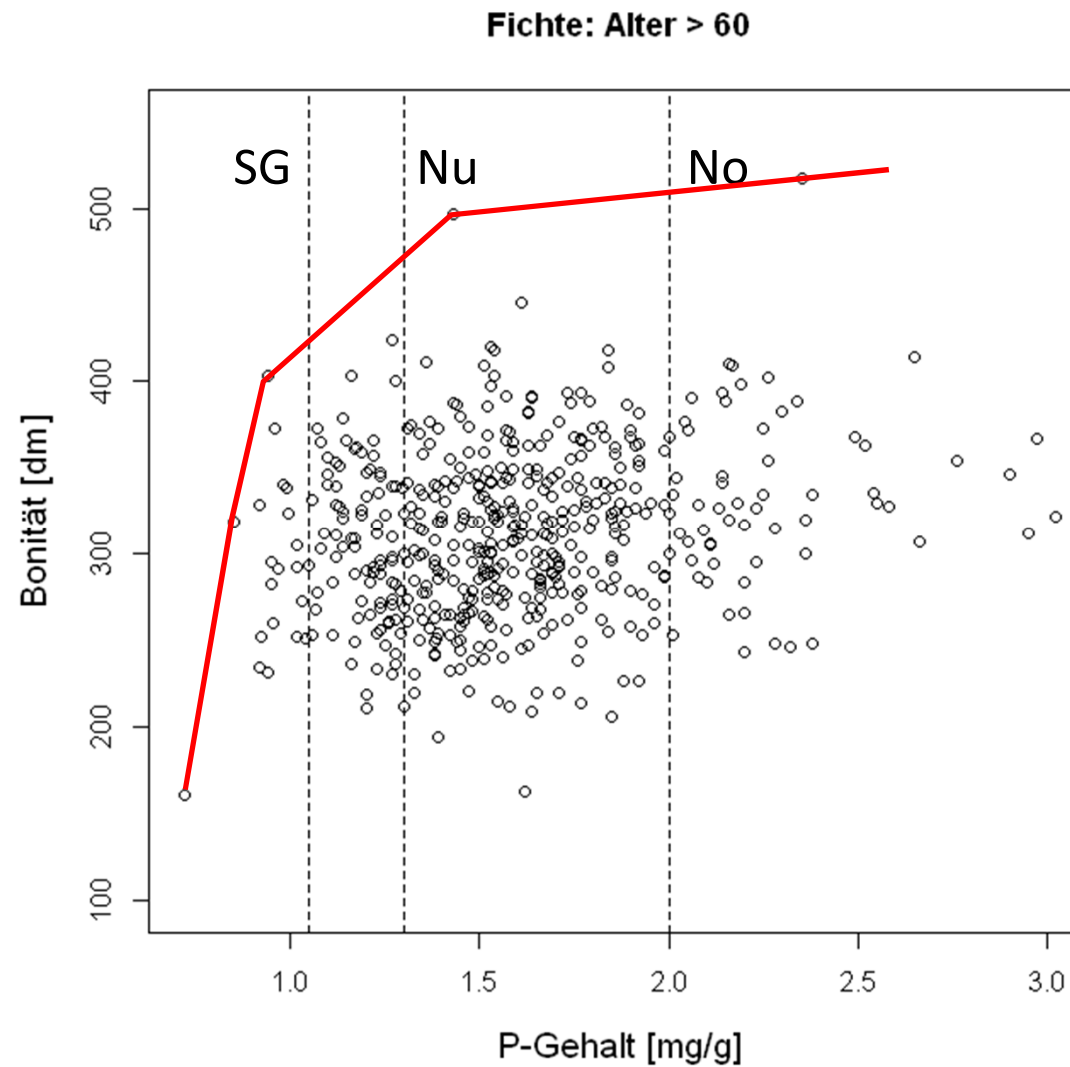
Modell im Sinne von Liebig's Minimumgesetz: limitierender Faktor kann nur auf nicht kolimitierten Niveau identifiziert werden

Technik: Boundary Line Modelling

2a. Limiting Response



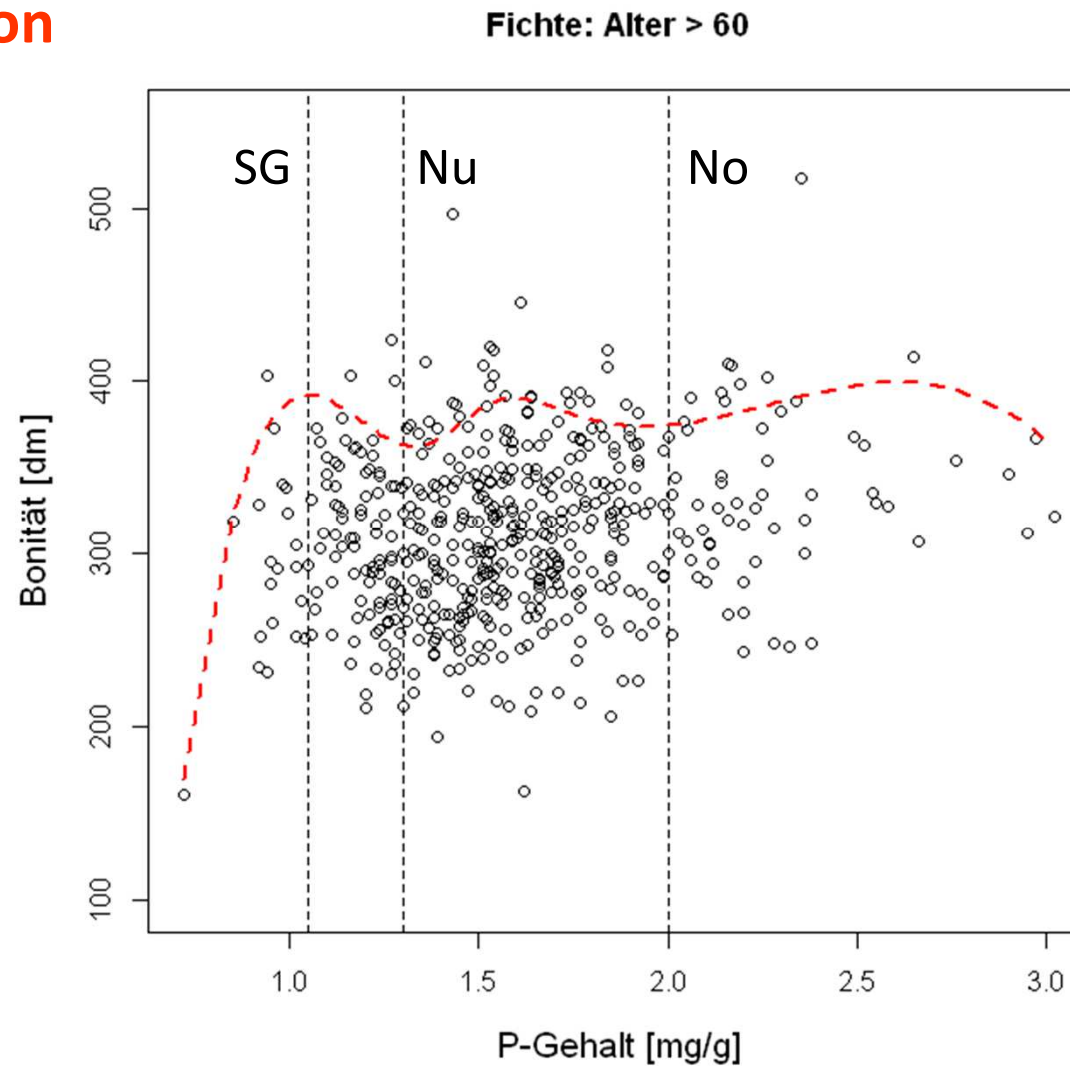
2a. Limiting Response



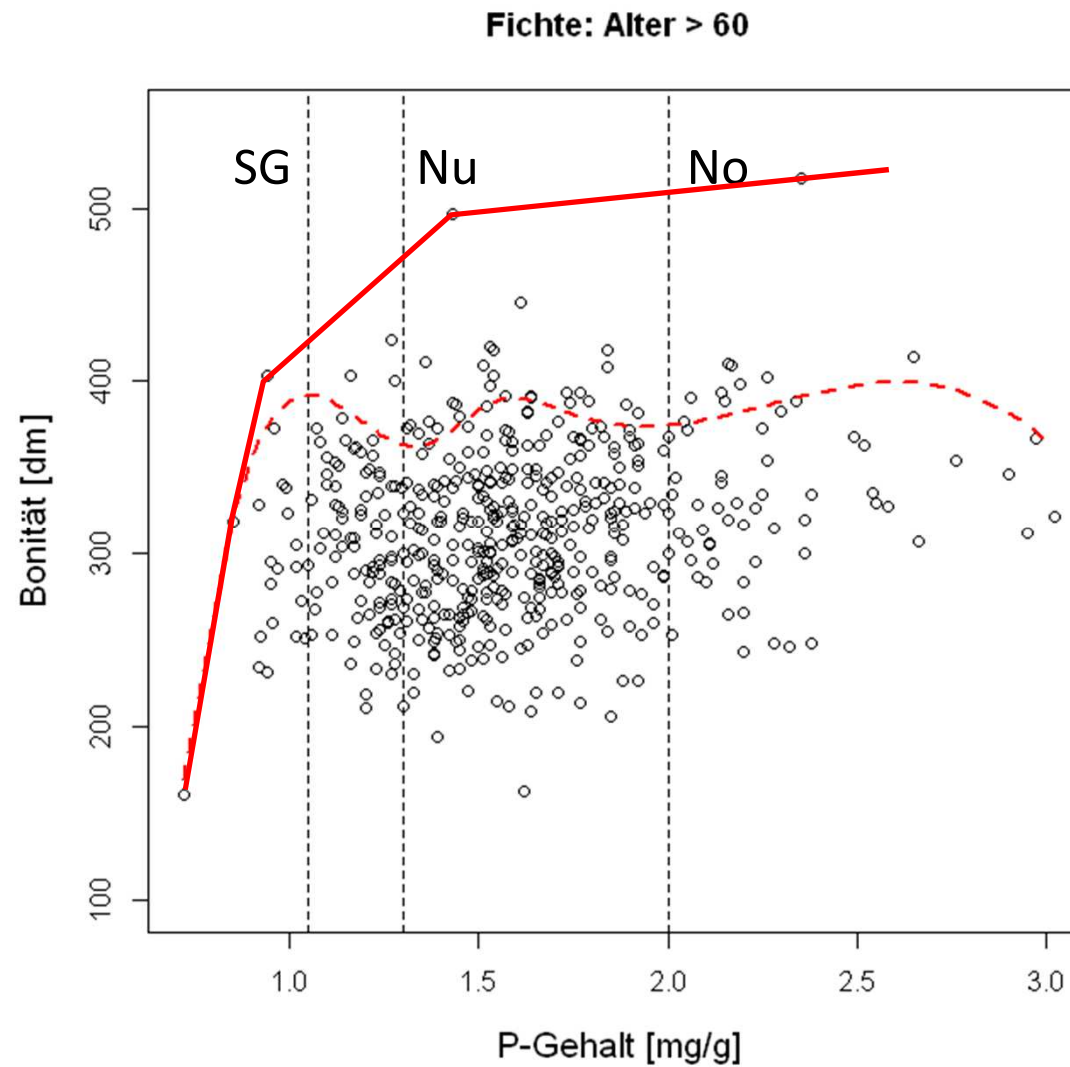
2a. Limiting Response

Quantilregression

95. Perzentil



Limiting Response



2a. Limiting Response

Stärken

- Modell gem. Liebig's Minimumprinzip
- Limitierende Effekte können herausgefiltert werden
- Stärke des limitierende Effekte wird vollumfänglich dargestellt

Schwächen

- Beziehung steht meist auf „schwachen Beinen“
- Randbeobachtungen sollten belastbar sein
- Erforderlich: Möglichst viele Beobachtungen, die primär vom betrachteten Wachstumsfaktor limitiert werden (keine oder nur schwache Kolimitierung)

2b. Boosted Regression Trees - Prinzip

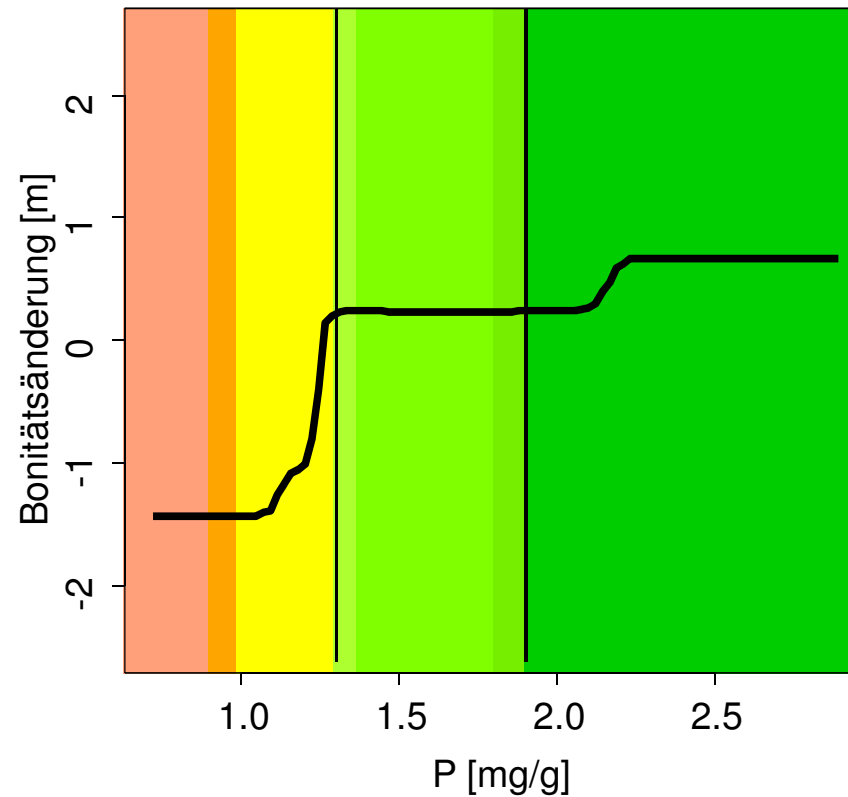
Boosted regression trees (BRT)

Vorzüge

1. Detektion von schwachen Signalen
2. Robust gegen Multikolarität und Konkurvität
3. Erkennung von Bruchpunkten (kritische Schwellenwerte)
4. Wichtigkeit von Prädiktoren (importance) wird umfassend bewertet
 - viele Iterationen (>1000)
 - optimale Datensatzexploration

2b. Boosted Regression Trees

BRT - Partieller Response: Bonität vs. Phosphor



	Mangelbereich			Normalbereich			Überschuß	
	extrem	Mangel	latent	unterer	mittlerer	oberer	Luxus	extrem
Stufe	-2 - -1	-1 - 0	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5

2b. Boosted Regression Trees

Stärken

- Optimale Exploration der Ernährungs/Bonitäts-Relation
- Identifikation von Bruchpunkten
- Erkennung selbst von schwachen Signalen

Schwächen

- kein funktionaler Zusammenhang (i. S. parametrischer Funkt.)
- Effekt vergleichsweise schwach (mittlerer Response)

3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen

Eur J Forest Res
DOI 10.1007/s10342-013-0775-1

ORIGINAL PAPER

Nutrient limitation and site-related growth potential of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst) in the Bavarian Alps

K. H. Mellert · J. Ewald

Identification of primary limiting factors was based on three criteria:

1. variable importance according to BRT,
2. thresholds, defined as BRT split points (2a) and as empirical critical nutrient concentrations (2b) and
3. response shape at the upper margins of the nutrient–growth relationship to identify the limiting response according to the law of the minimum

3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen

Identifizierung limitierender Faktoren

1. Wie groß ist der Beitrag (Variablenwichtigkeit) eines Nährelements für die Erklärung der Bonität in der Schwellenwertanalyse mit BRT?
2. Entspricht der gefundene Schwellenwert bekannten kritischen Nährelementgehalten?
3. Erscheint eine Limitierung anhand der Form der Ernährungs-Wachstumsbeziehung plausibel? (insbes. Limiting Response)

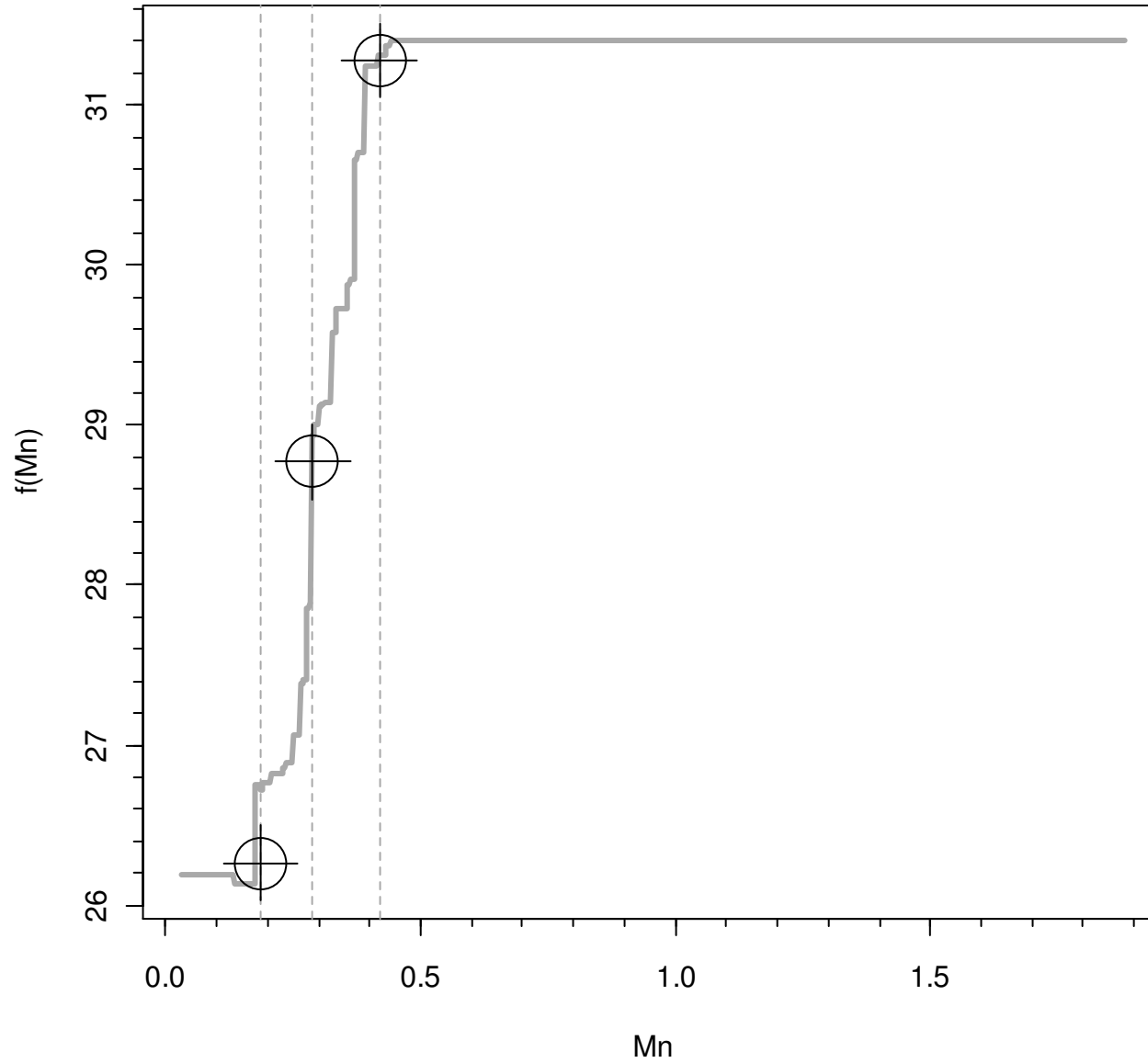
3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen

Variablen-Wichtigkeit

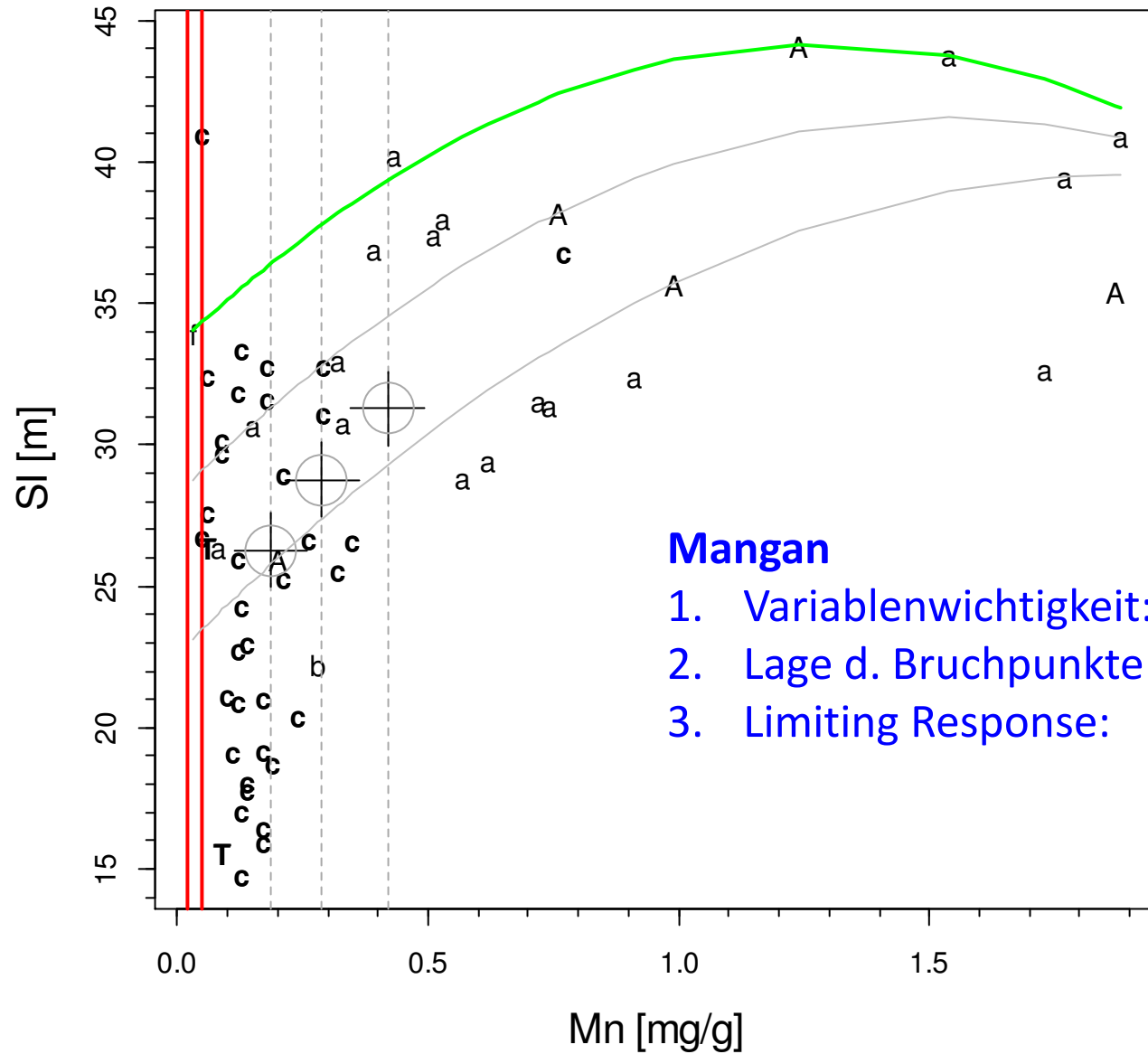
Häufigkeit und Einflussgröße einer Variablen als Splittkriterium

		W100	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
BRT-Modell	[%]	5,8	14,6	14,7	1,4	2,1	2,3	0,8	26,5

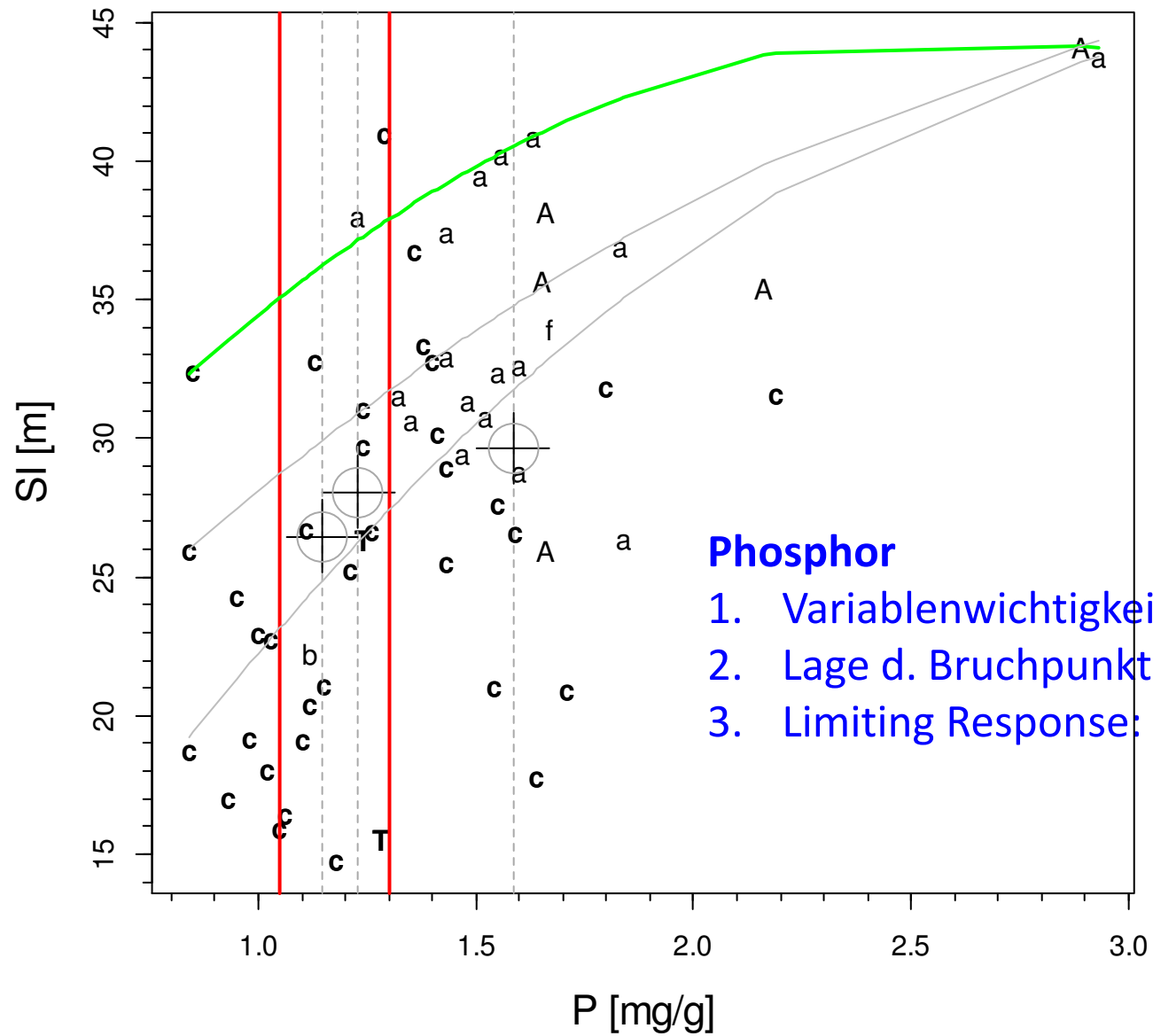
3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen



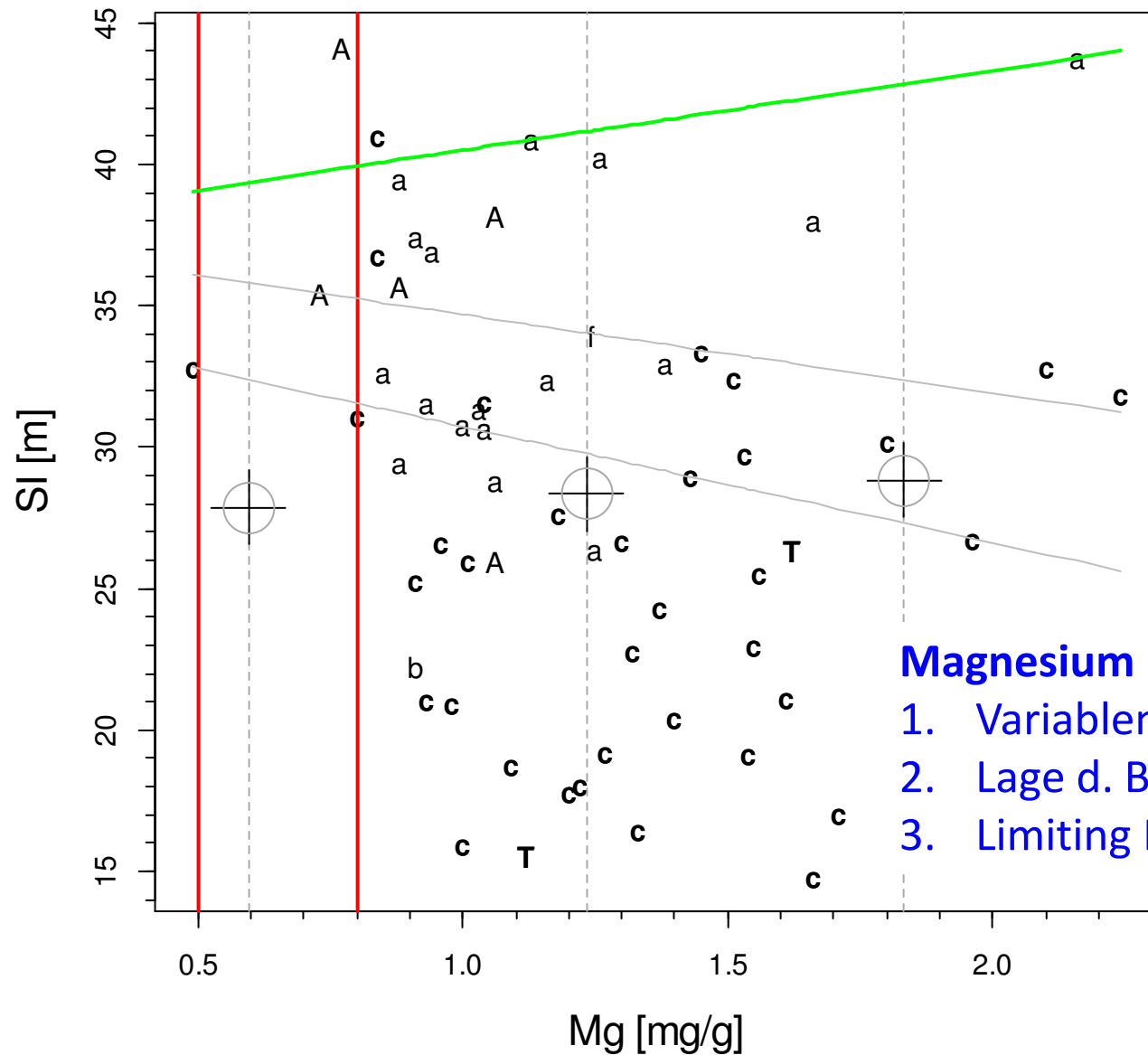
3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen



3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen



3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen



3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen

Phosphor

P als wichtiger limitierender Faktor durch alle 3 Kriterien bestätigt
[N ähnlich]

Magnesium

Kein Hinweis auf eine Limitierung
[Ca ähnlich]
[K-Limitierung in wenigen Fällen]

Mangan

BRT-Bruchpunkte im Normalbereich → weit über der Mangelgrenze
Mn aber offenbar guter Indikator für Wachstumsbedingungen

- Versauerten/verlehnten Böden mit guter Verfügbarkeit von Mikro- und Makronährelementen
- höhere Wasserspeicherkapazität

3. Kombinierte Verfahren: Bayerische Alpen

Spezielle Fragestellungen

1. Primär limitierendes Element?
2. Ca + Mg vs. Kernnährelemente (NPK)
- 3. Ernährung vs. Klima**

Bedeutung nach Variablenwichtigkeit

Ca. 2/3 Ernährung und 1/3 Klima

Schlussfolgerungen

- Für die Identifikation von Nährstofflimitierung stehen eine Reihe moderner Verfahren zur Verfügung
- Die Chance Limitierung zu identifizieren steigt
- Technische Möglichkeiten sollten ausgeschöpft werden
- Stärken und Schwächen beachten
- Durch die Kombination von Verfahren lassen sich Aussagen zur Ernährungslimitierungen erhärten
- Im Klimawandel zunehmend bedeutend: Wechselwirkung zwischen Klima und Ernährung