

Modellierung maximaler Grundflächen in gleichaltrigen Reinbeständen

Renke von Seggern

1. November 2017

- ▶ Ziel:
Modellierung der *maximalen* Bestandesgrundfläche in Abhängigkeit von *Entwicklungsstufe* und *Bonität* gleichaltriger Buchen- und Fichtenreinbestände
- ▶ Motivation:
 - Modellierung dichteabhängiger Mortalität
 - Referenz für oberhöhengesteuerte Grundflächenhaltung

► Probleme:

- Trainingsdatensatz muss von maximalbestockten Flächen stammen

► Lösungsansätze:

- Auswahl der Trainingsdaten mithilfe der Reineke-Gleichung

► Probleme:

- Trainingsdatensatz muss von maximalbestockten Flächen stammen
- Oberhöhe (h_{100}) als Prädiktor nicht ideal, da sie sowohl Entwicklungsstufen- als auch Bonitätseffekte enthält

► Lösungsansätze:

- Auswahl der Trainingsdaten mithilfe der Reineke-Gleichung
- Trennung von Entwicklungsstufen- und Bonitätseffekten

► Probleme:

- Trainingsdatensatz muss von maximalbestockten Flächen stammen
- Oberhöhe (h_{100}) als Prädiktor nicht ideal, da sie sowohl Entwicklungsstufen- als auch Bonitätseffekte enthält
- Bisherige Modelle für Zielerreichung nicht geeignet

► Lösungsansätze:

- Auswahl der Trainingsdaten mithilfe der Reineke-Gleichung
- Trennung von Entwicklungsstufen- und Bonitätseffekten
- GAM (Generalized Additive Model) und GAMLSS (Generalized Additive Model for Location, Scale and Shape)

$$\log(N) = s \log(D) + k$$

Gleichung 1: Bestandesdichte in Abhängigkeit von mittlerem Durchmesser (Quelle: [3]).

N : Bestandesdichte [ha^{-1}]

s : **Steigung**

D : Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm]

k : Konstante (artabhängig)

\log : dekadischer Logarithmus

$$\log(N) = s \log(D) + k$$

Gleichung 1: Bestandesdichte in Abhängigkeit von mittlerem Durchmesser (Quelle: [3]).

N : Bestandesdichte [ha^{-1}]

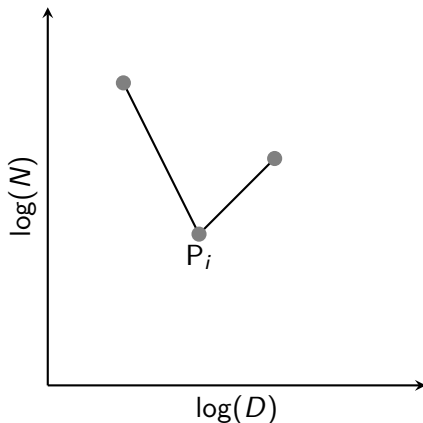
s : Steigung

D : Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm]

k : Konstante (artabhängig)

\log : dekadischer Logarithmus

- ▶ Literatur:
Steigung scheint art- und standortabhängig zu sein (s. z.B. [4])
- ▶ Lösungsansatz:
artabhängiger Korridor „erlaubter“ Steigungen, begrenzt durch unteren Schwellwert (m_u) und oberen Schwellwert (m_o)



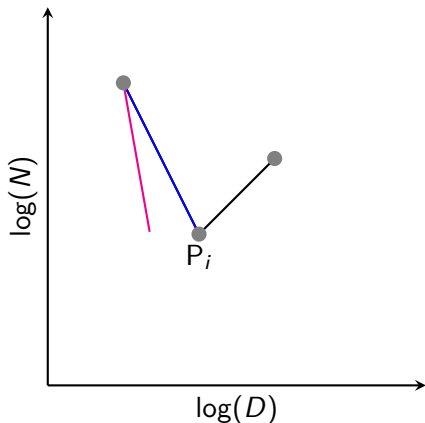
P_i wird ausgewählt, wenn

1. es mind. einen benachbarten Punkt gibt (✓) und

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Auswahlmechanismus.

N : Bestandesdichte [ha^{-1}]

D : Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm]



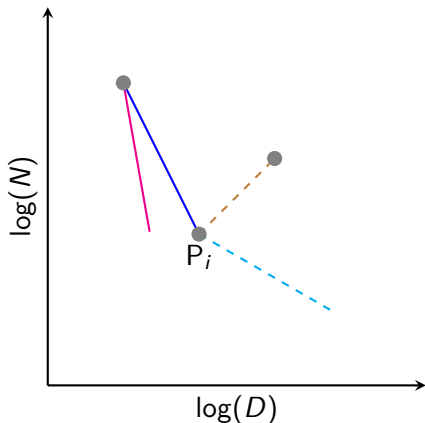
P_i wird ausgewählt, wenn

1. es mind. einen benachbarten Punkt gibt (✓) und
2. Steigung $s_1 \geq m_u$ (✓) und

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Auswahlmechanismus.

N : Bestandesdichte [ha^{-1}]

D : Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm]



P_i wird ausgewählt, wenn

1. es mind. einen benachbarten Punkt gibt (✓) und
2. Steigung $s_1 \geq m_u$ (✓) und
3. Steigung $s_2 \leq m_o$ (✗).

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Funktionsweise des Auswahlmechanismus.

N : Bestandesdichte [ha^{-1}]

D : Durchmesser des Grundflächenmittelstammes [cm]

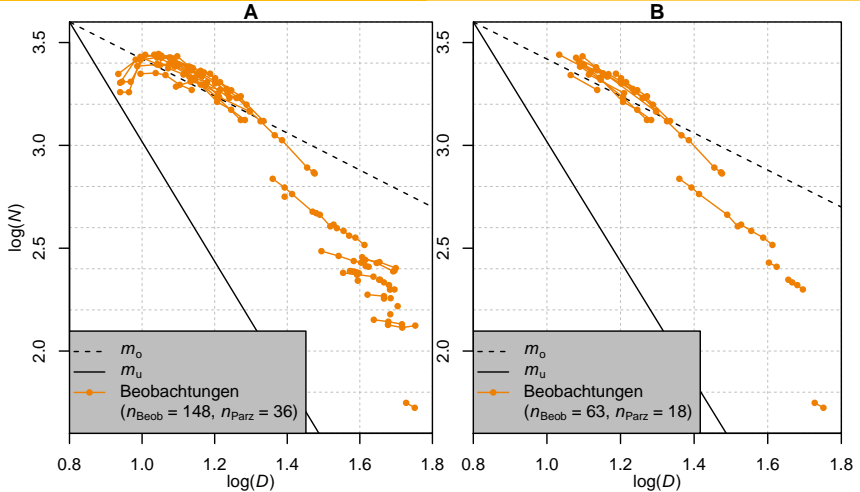


Abbildung 2: Beobachteter Zusammenhang zwischen Bestandesdichte (N) und mittlerem Durchmesser (D) bei Buche. Farbige Linien verbinden Beobachtungen einer Parzelle. Gestrichelte bzw. durchgezogene schwarze Linien stellen den oberen bzw. unteren Schwellwert der noch „erlaubten“ Steigungen beispielhaft dar.

A: vor Anwendung des Auswahlmechanismus
B: nach Anwendung des Auswahlmechanismus

- ▶ Problem:
Oberhöhe (h_{100}) als Prädiktor ungeeignet, da sie (bei geringem Datenumfang) keine Trennung von Entwicklungsstufen- und Bonitätseffekt zulässt
- ▶ Lösungsansatz:
Separate Berechnung einer Entwicklungsstufen- und einer Bonitätsvariable

Vorgehensweise:

Berechnung der Oberhöhe (h_{100}) mittels **Gleichung 2**

$$h_{100}(\text{Alter}) = S_{l. \text{ EKL}} \cdot (\beta_3 + \beta_4 \cdot \ln(\text{Alter})) \\ - \beta_0 - \beta_1 \cdot \ln(\text{Alter}) - \beta_2 \cdot \ln(\text{Alter})^2$$

Gleichung 2: Oberhöhe in Abhängigkeit von absoluter Bonität und Alter, unterstellt der Bestand sei I. Ertragsklasse (Quelle: [5]).

$h_{100}(x)$: Oberhöhe im Alter x [m]

$S_{l. \text{ EKL}}$: h_{100} im Alter 100 a der I. Ertragsklasse [m] (Quelle: [6])

\ln : natürlicher Logarithmus

β_0, \dots, β_4 : Koeffizienten

Vorgehensweise:

1. Berechnung der absoluten Bonität (SI) mittels **Gleichung 3**
2. Berechnung der Differenz zwischen 1. und SI_{I_EKL} (Quelle: [6])

$$SI = \frac{h_{100}(\text{Alter}) + \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\text{Alter}) + \beta_2 \cdot \ln(\text{Alter})^2}{\beta_3 + \beta_4 \cdot \ln(\text{Alter})}$$

Gleichung 3: Absolute Bonität in Abhängigkeit von Oberhöhe und Alter (Quelle: [5]).

SI : h_{100} im Alter 100 a [m]

$h_{100}(x)$: Oberhöhe im Alter x [m]

\ln : natürlicher Logarithmus

β_0, \dots, β_4 : Koeffizienten

- Sterba ([7]): erscheint grds. nicht geeignet

- Sterba ([7]): erscheint grds. nicht geeignet
- Wördehoff ([8]): besser, aber noch bonitätsunempfindlich und deswegen nicht geeignet für den Ansatz von [1] und [2]

Tabelle 1: Vergleich der Grundfläche (G) bei gegebener Oberhöhe (h_{100}) in verschiedenen Ertragsklassen für Buche, mäßige Durchforstung (Quelle: [6]).

h_{100} [m]	G [m ² ha ⁻¹]			
	I. EKL	II. EKL	III. EKL	IV. EKL
15	18.25	$18.9 < x < 20.57$	$20.95 < x < 22.35$	$22.78 < x < 23.96$
25	$25.6 < x < 26.8$	$27.76 < x < 28.58$	$29.3 < x < 29.7$	$30.72 < x < 30.97$

Tabelle 2: Unterschiede zwischen linearen Modellen (LM), generalisierten linearen Modellen (GLM), GAM und GAMLSS.

Modelltyp	modellierter Zusammenhang	unterstellte Verteilung	geschätzter Parameter
LM	linear	Normal	Mittelwert
GLM	linear	Exponentialfamilie	Mittelwert
GAM	beliebig	Exponentialfamilie	Mittelwert
GAMLSS	beliebig	beliebig	beliebig

Tabelle 2: Unterschiede zwischen linearen Modellen (LM), generalisierten linearen Modellen (GLM), GAM und GAMLSS.

Modelltyp	modellierter Zusammenhang	unterstellte Verteilung	geschätzter Parameter
LM	linear	Normal	Mittelwert
GLM	linear	Exponentialfamilie	Mittelwert
GAM	beliebig	Exponentialfamilie	Mittelwert
GAMLSS	beliebig	beliebig	beliebig

Tabelle 3: In R eingesetzte Gleichungen und Verteilungen der hier vorgestellten unbeschränkten GAMLSS. `h100.EKL.I` ist die Entwicklungsstufenvariable. `SI.h100.diff.EKL.I` ist die Bontitätsvariable.

Baumart	Gleichung	Verteilung
Buche	<code>gha ~ ps(h100.EKL.I) + ps(SI.h100.diff.EKL.I)</code>	BCCGo()
Fichte	<code>gha ~ ps(h100.EKL.I) + ps(SI.h100.diff.EKL.I)</code>	BCCGo()

Tabelle 4: In R eingesetzte Gleichungen und Verteilungen der hier vorgestellten beschränkten GAMLSS. `h100.EKL.I` ist die Entwicklungsstufenvariable. `SI.h100.diff.EKL.I` ist die Bontitätsvariable.

Baumart	Gleichung	Verteilung
Buche	<code>gha ~ pbm(h100.EKL.I) + SI.h100.diff.EKL.I</code>	BCCGo()
Fichte	<code>gha ~ lhs(x = h100.EKL.I, c = 22) + SI.h100.diff.EKL.I</code>	BCCGo()

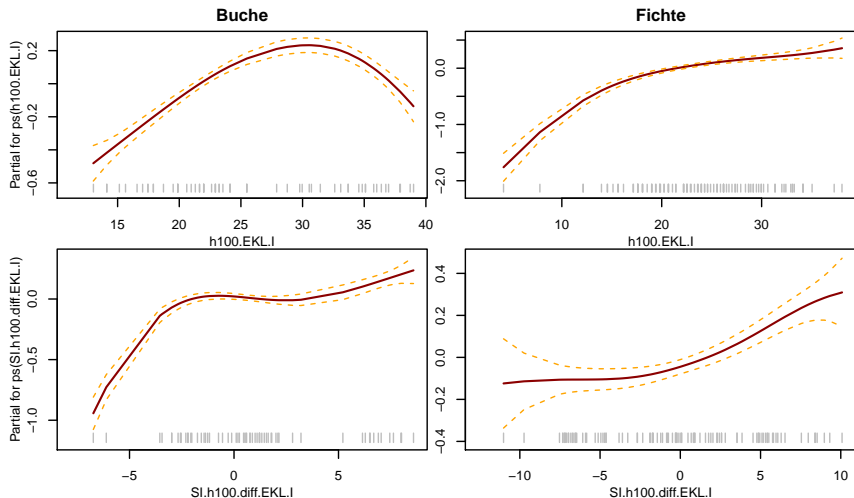


Abbildung 3: Effekt der Entwicklungsstufenvariable ($h100.EKL.I$, oben) und der Bonitätsvariable ($SI.h100.diff.EKL.I$, unten) im unbeschränkten GAMLSS für Buche (links) und Fichte (rechts). Gestrichelte orange Linien markieren den Standardfehler. Senkrechte graue Striche repräsentieren beobachtete Variablenwerte.

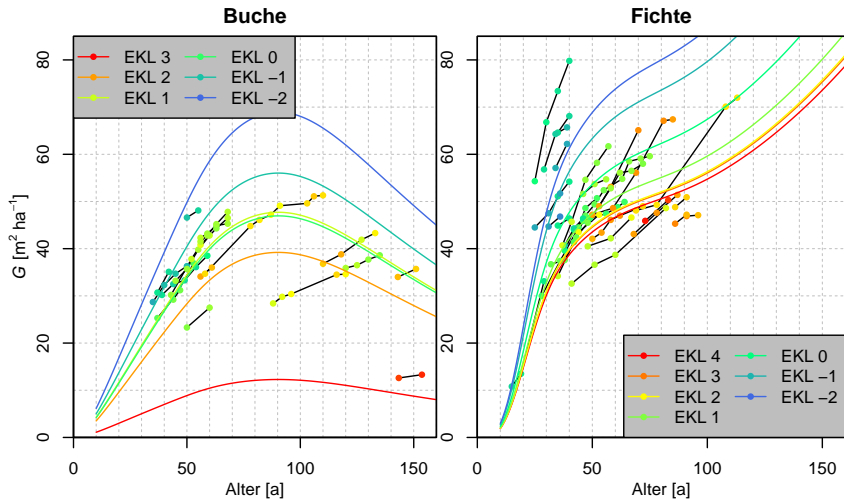


Abbildung 4: Beobachtete (Punkte) und durch unbeschränkte GAMLSS vorhergesagte (farbige Linien) Grundfläche (G) über Alter bei Buche (links) und Fichte (rechts). Schwarze Linien verbinden Beobachtungen einer Parzelle. Farben deuten die jeweilige Ertragsklasse an.

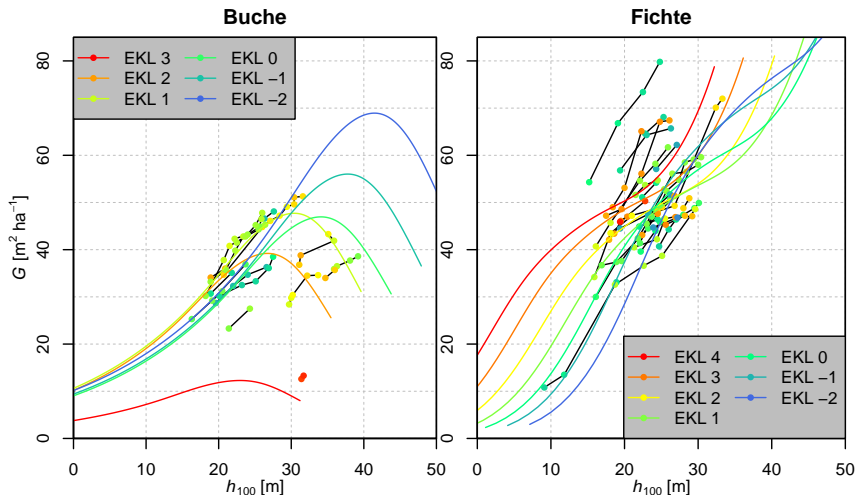


Abbildung 5: Beobachtete (Punkte) und durch unbeschränkte GAMLSS vorhergesagte (farbige Linien) Grundfläche (G) über Oberhöhe (h_{100}) bei Buche (links) und Fichte (rechts). Schwarze Linien verbinden Beobachtungen einer Parzelle. Farben deuten die jeweilige Ertragsklasse an.

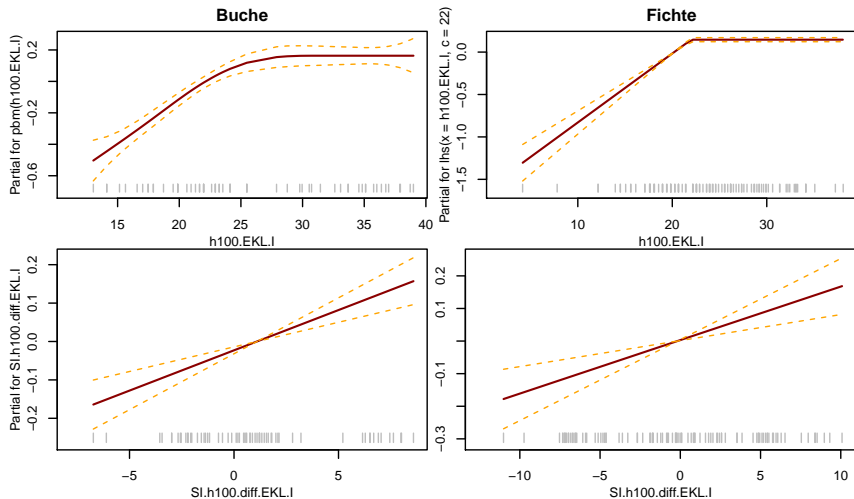


Abbildung 6: Effekt der Entwicklungsstufenvariable ($h100.EKL.I$, oben) und der Bonitätsvariable ($SI.h100.diff.EKL.I$, unten) im beschränkten GAMLSS für Buche (links) und Fichte (rechts). Gestrichelte orange Linien markieren den Standardfehler. Senkrechte graue Striche repräsentieren beobachtete Variablenwerte.

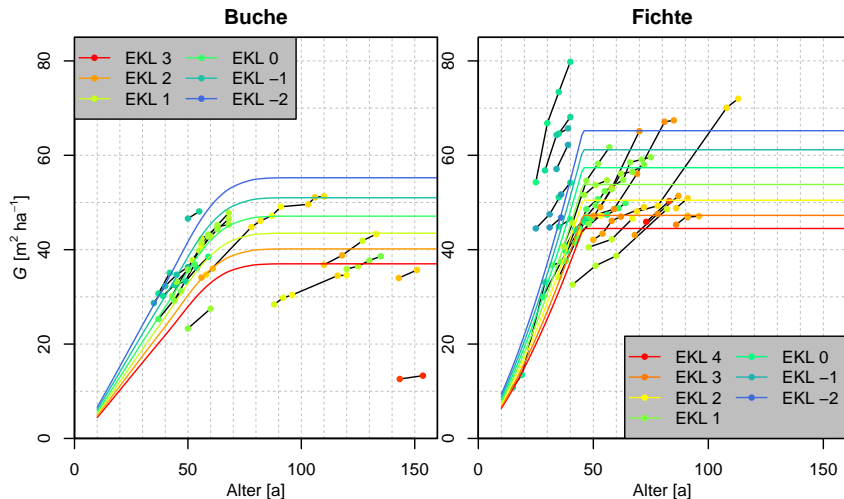


Abbildung 7: Beobachtete (Punkte) und durch beschränkte GAMLSS vorhergesagte (farbige Linien) Grundfläche (G) über Alter bei Buche (links) und Fichte (rechts). Schwarze Linien verbinden Beobachtungen einer Parzelle. Farben deuten die jeweilige Ertragsklasse an.

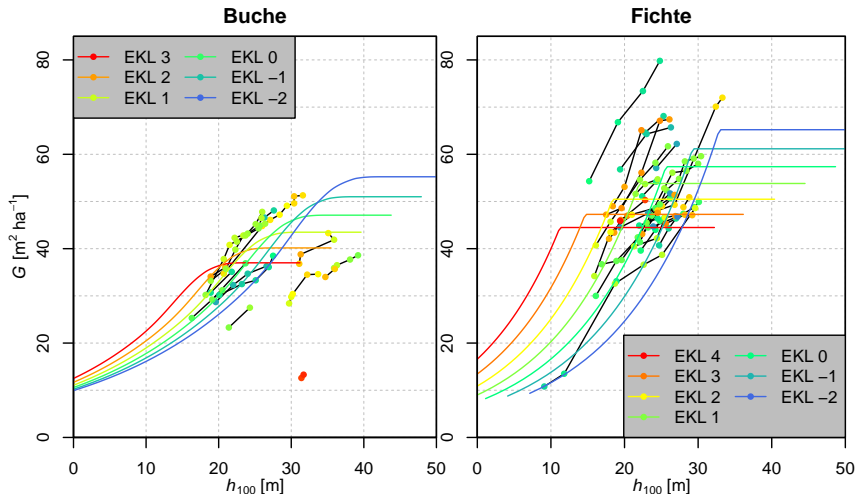


Abbildung 8: Beobachtete (Punkte) und durch beschränkte GAMLSS vorhergesagte (farbige Linien) Grundfläche (G) über Oberhöhe (h_{100}) bei Buche (links) und Fichte (rechts). Schwarze Linien verbinden Beobachtungen einer Parzelle. Farben deuten die jeweilige Ertragsklasse an.

Vielen Dank

für die Aufmerksamkeit.

Quellen

- [1] *Döbbeler H., Spellmann H. (2002): Methodological Approach to Simulate and Evaluate Silvicultural Treatments under Climate Change. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 121 Supplement 1: 52–69*
- [2] *Spellmann, H., Nagel, J., Böckmann, T. (1999): Summarische Nutzungsplanung auf der Basis von Betriebsinventurdaten. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 170: 122–128*
- [3] *Reineke L. H. (1933): Perfecting a Stand-Density Index for even-aged Forests. Journal of Agricultural Research, 46: 627–638*
- [4] *Vospernik S., Sterba H. (2015): Do competition-density rule and self-thinning rule agree? Annals of Forest Science, 72: 379–390*
- [5] *Nagel J. (1999): Konzeptionelle Überlegungen zum schrittweisen Aufbau eines waldwachstumskundlichen Simulationssystems für Nordwestdeutschland. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 128*
- [6] *Schober R. (1995): Ertragstabellen wichtiger Baumarten, Frankfurt am Main*
- [7] *Sterba H. (1987): Estimating Potential Density from Thinning Experiments and Inventory Data. Forest Science, 33: 1022–1034*
- [8] *Wördehoff R. (2016): Kohlenstoffspeicherung als Teilziel der strategischen Waldbauplanung erläutert an Reinbeständen verschiedener Baumarten in Niedersachsen*

Tabelle S1: Für den Auswahlmechanismus verwendete Schwellwerte „erlaubter“ Steigungen.

Art	m_u	m_o
Buche	-2.91	-0.9
Fichte	-2.82	-0.65

Tabelle S2: In [4] wiedergegebene Steigungen für **Gleichung 1**.

Art	Min.	Max.
Buche	-1.94	-1.6
Fichte	-1.88	-1.3

Tabelle S3: Linkfunktionen für die Verteilungsparameter der BCCGo()-Verteilung.

Verteilungsparameter	Linkfunktion
μ	Logarithmus
σ	Logarithmus
ν	Identität