

Ökologische Funktionen alter Wälder als Referenz für das Szenario der Nichtnutzung

Dr. Nadja Rüger^{1,2}

Prof. Christian Wirth^{1,3}

¹Deutsches Zentrum für Integrative
Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig

²Smithsonian Tropical Research Institute, Panama

³Universität Leipzig



ökologische Funktion:

Klimaschutz durch Kohlenstoffspeicherung

- Kohlenstoffvorrat: Biomasse
- Kohlenstoffflüsse: Wachstum

Wie verändern sich diese mit der Zeit, wenn Bäume nicht geerntet und Wälder nicht genutzt werden?

- Einzelbaum **1** Wachsen alte (große) Bäume langsamer?
- Wald/Bestand **2** Sind alte Wälder weniger produktiv?
3 Sind alte Wälder C-Quellen?
- Konsequenzen für Waldnutzung

1. Wachsen alte (große) Bäume langsamer?



LETTER

doi:10.1038/nature12914

Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size

N. L. Stephenson¹, A. J. Das¹, R. Condit², S. E. Russo³, P. J. Baker⁴, N. G. Beckman^{3†}, D. A. Coomes⁵, E. R. Lines⁶, W. K. Morris⁷, N. Rüger^{2,8†}, E. Álvarez⁹, C. Blundo¹⁰, S. Bunyavejchewin¹¹, G. Chuyong¹², S. J. Davies¹³, Á. Duque¹⁴, C. N. Ewango¹⁵, O. Flores¹⁶, J. F. Franklin¹⁷, H. R. Grau¹⁰, Z. Hao¹⁸, M. E. Harmon¹⁹, S. P. Hubbell^{2,20}, D. Kenfack¹³, Y. Lin²¹, J.-R. Makana¹⁵, A. Malizia¹⁰, L. R. Malizia²², R. J. Pabst¹⁹, N. Pongpattananurak²³, S.-H. Su²⁴, I.-F. Sun²⁵, S. Tan²⁶, D. Thomas²⁷, P. J. van Mantgem²⁸, X. Wang¹⁸, S. K. Wiser²⁹ & M. A. Zavala³⁰

Forests are major components of the global carbon cycle, providing substantial feedback to atmospheric greenhouse gas concentrations¹. Our ability to understand and predict changes in the forest carbon cycle—particularly net primary productivity and carbon storage—increasingly relies on models that represent biological processes across several scales of biological organization, from tree leaves to forest stands^{2,3}. Yet, despite advances in our understanding of productivity at the scales of leaves and stands, no consensus exists about the nature of productivity at the scale of the individual tree^{4–7}, in part because we lack a broad empirical assessment of whether rates of absolute tree mass growth (and thus carbon accumulation) decrease, remain constant, or increase as trees increase in size and age. Here we present a global analysis of 403 tropical and temperate tree species, showing that for most species mass growth rate increases continuously with tree size. Thus, large, old trees do not act simply as se-

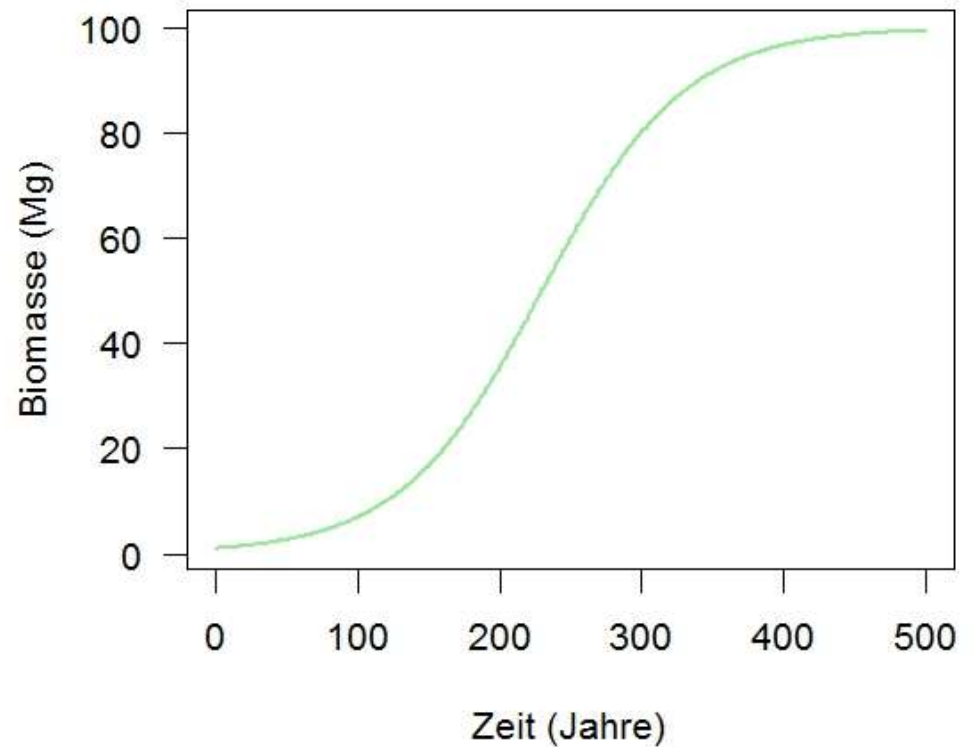
unit leaf area (or unit leaf mass)^{8–10}, with the implicit assumption that declines at these scales must also apply at the scale of the individual tree. Declining tree growth is also sometimes inferred from life-history theory to be a necessary corollary of increasing resource allocation to reproduction^{11,16}. On the other hand, metabolic scaling theory predicts that mass growth rate should increase continuously with tree size⁶, and this prediction has also received empirical support from a few site-specific studies^{6,7}. Thus, we are confronted with two conflicting generalizations about the fundamental nature of tree growth, but lack a global assessment that would allow us to distinguish clearly between them.

To fill this gap, we conducted a global analysis in which we directly estimated mass growth rates from repeated measurements of 673,046 trees belonging to 403 tropical, subtropical and temperate tree species, spanning every forested continent. Tree growth rate was modelled as a function of log(tree mass) using piecewise regression, where the inde-

Das Problem

“Baum[massen]wachstum *muss sigmoidal sein, und darum müssen* Wachstumsraten erst zunehmen und dann abnehmen mit der Größe.”

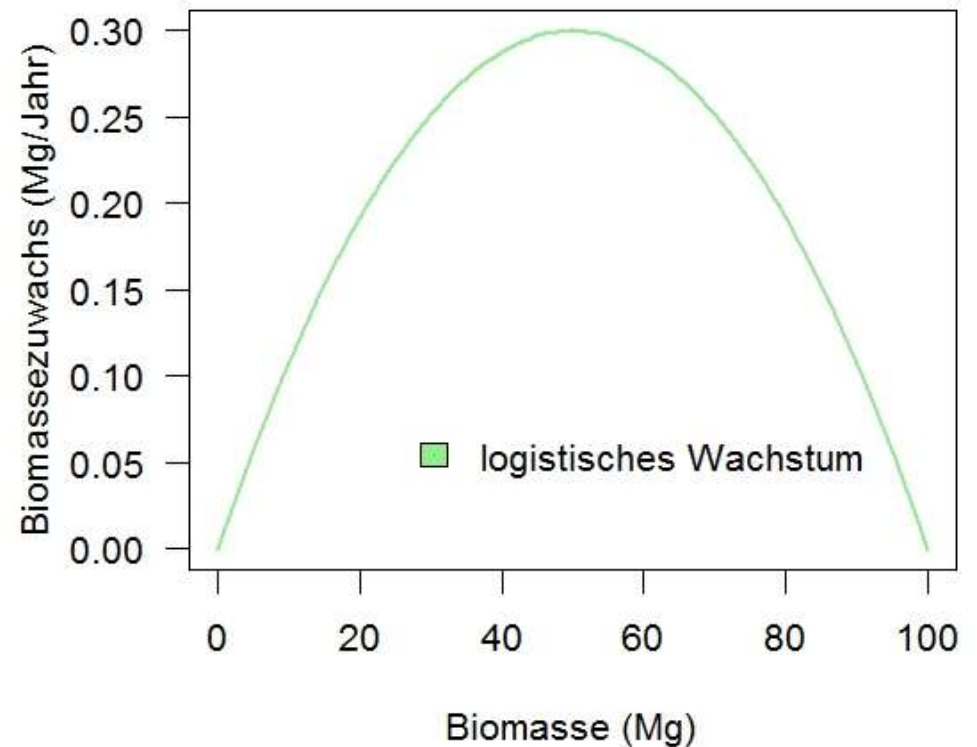
Weiner & Thomas (2001)



Das Problem

“Baum[massen]wachstum *muss sigmoidal sein, und darum müssen* Wachstumsraten erst zunehmen und dann abnehmen mit der Größe.”

Weiner & Thomas (2001)



Das Problem

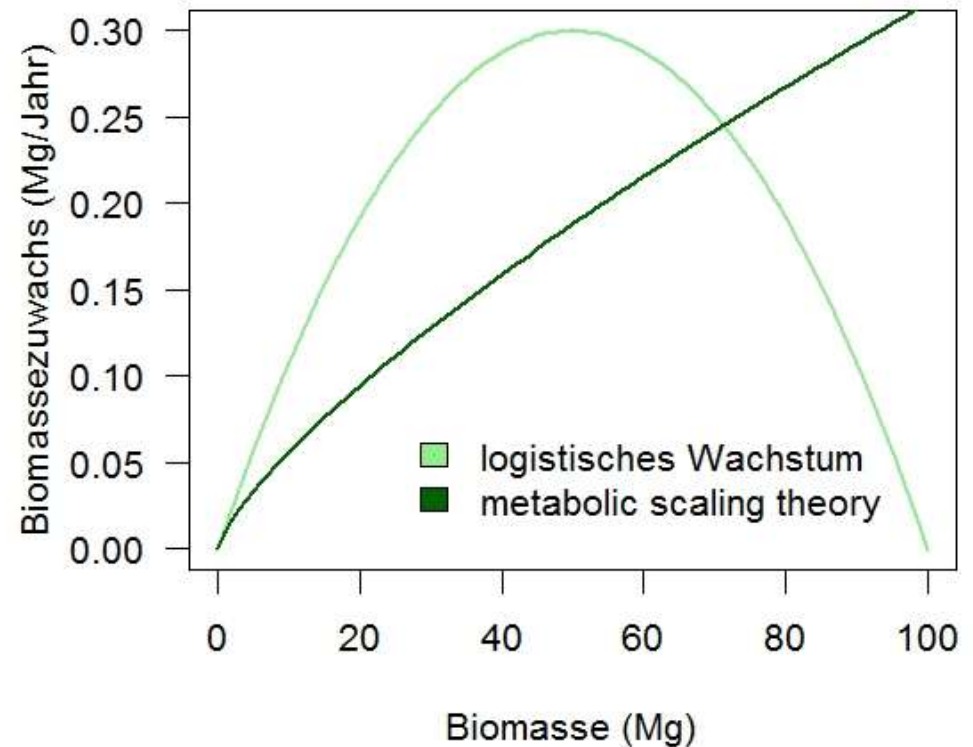
“Baum[massen]wachstum *muss sigmoidal sein, und darum müssen* Wachstumsraten erst zunehmen und dann abnehmen mit der Größe.”

Weiner & Thomas (2001)

[Metabolic theory sagt vorher, dass], wenn ein Individuum

wächst, $\frac{dMasse}{dZeit} = Masse^{\frac{3}{4}}$

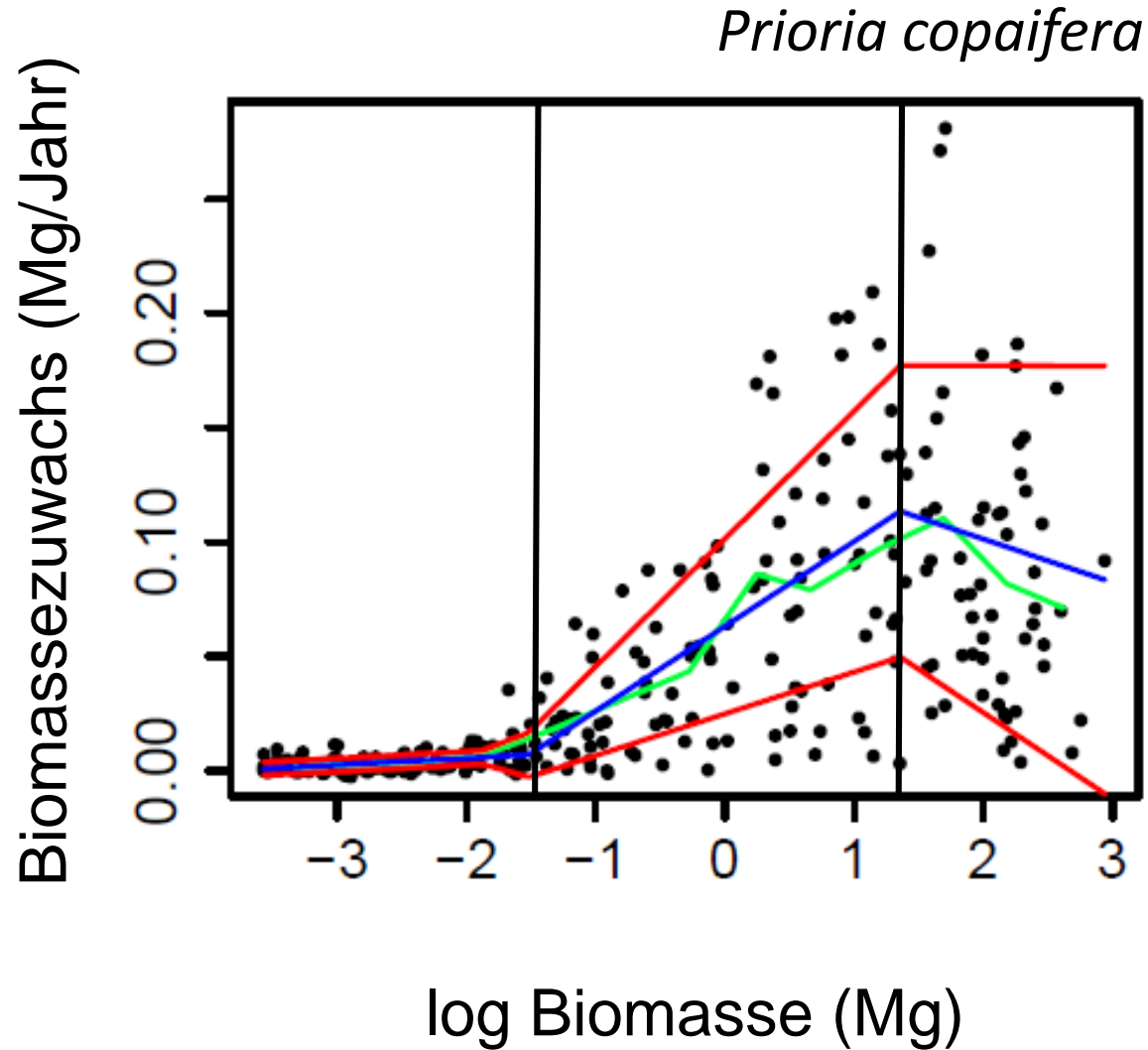
Enquist et al. (1999)



Datengrundlage

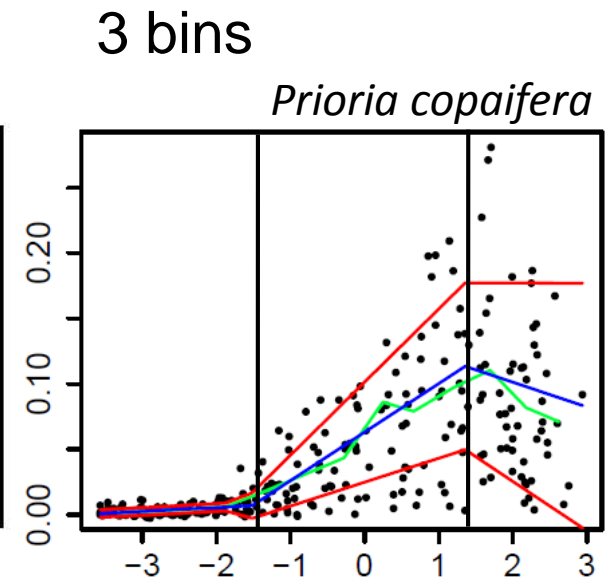
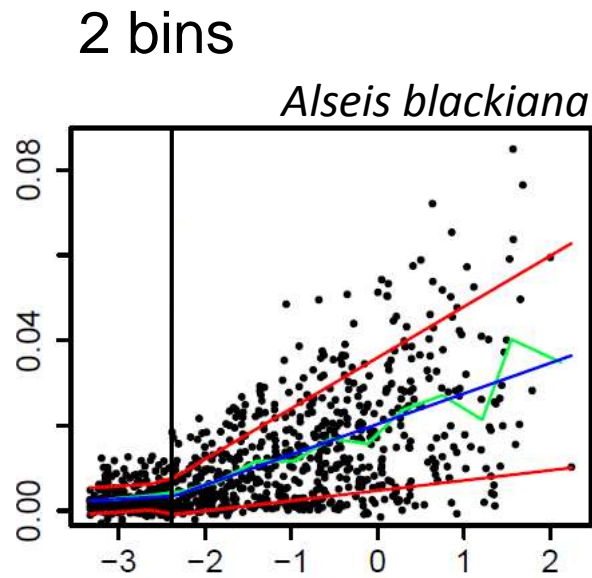
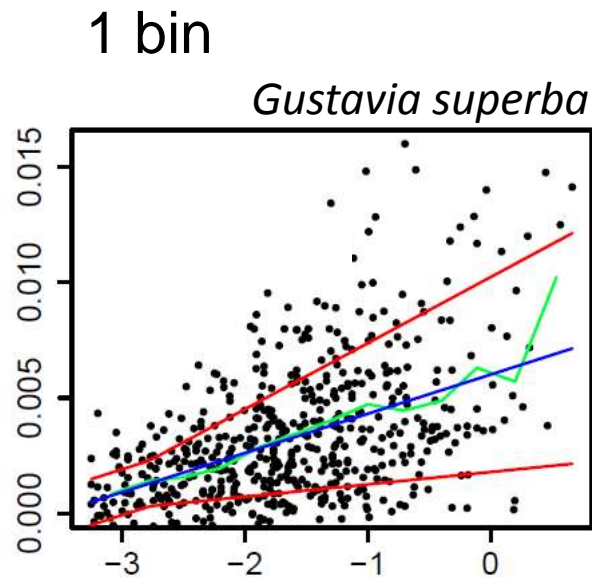
- wiederholte Durchmessermessungen
- Baumarten mit ≥ 40 Bäumen ≥ 10 cm Durchmesser und ≥ 15 Bäumen ≥ 30 cm Durchmesser
- 673,046 Bäume, 403 Arten
- tropische, subtropische, temperate Arten
- alle Kontinente
- allometrische Gleichungen, um oberirdische Biomasse aus Durchmesser und Holzdichte zu berechnen

Stückweise lineare Regression



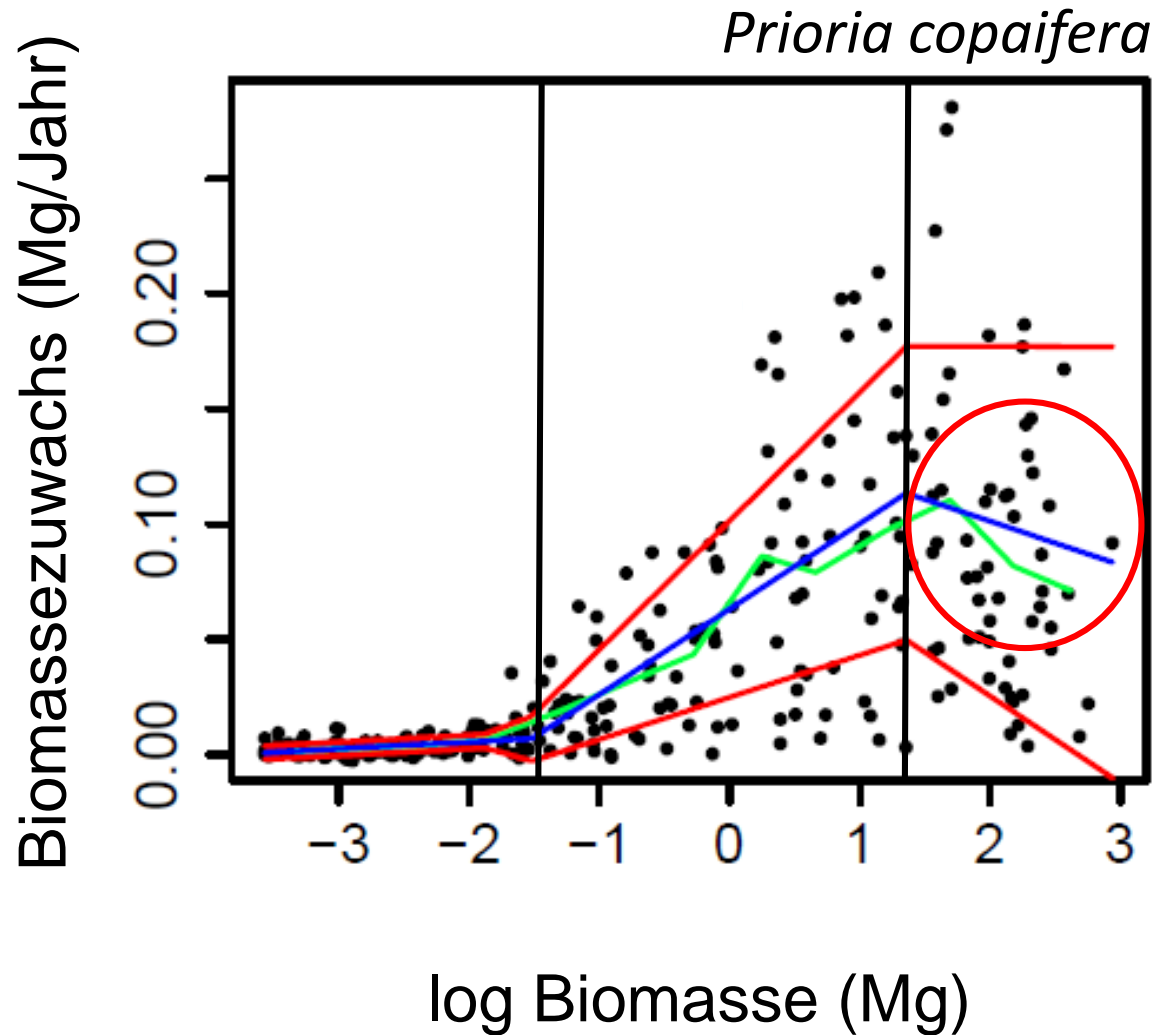
Stückweise lineare Regression

Biomassezuwachs (Mg/Jahr)



log Biomasse (Mg)

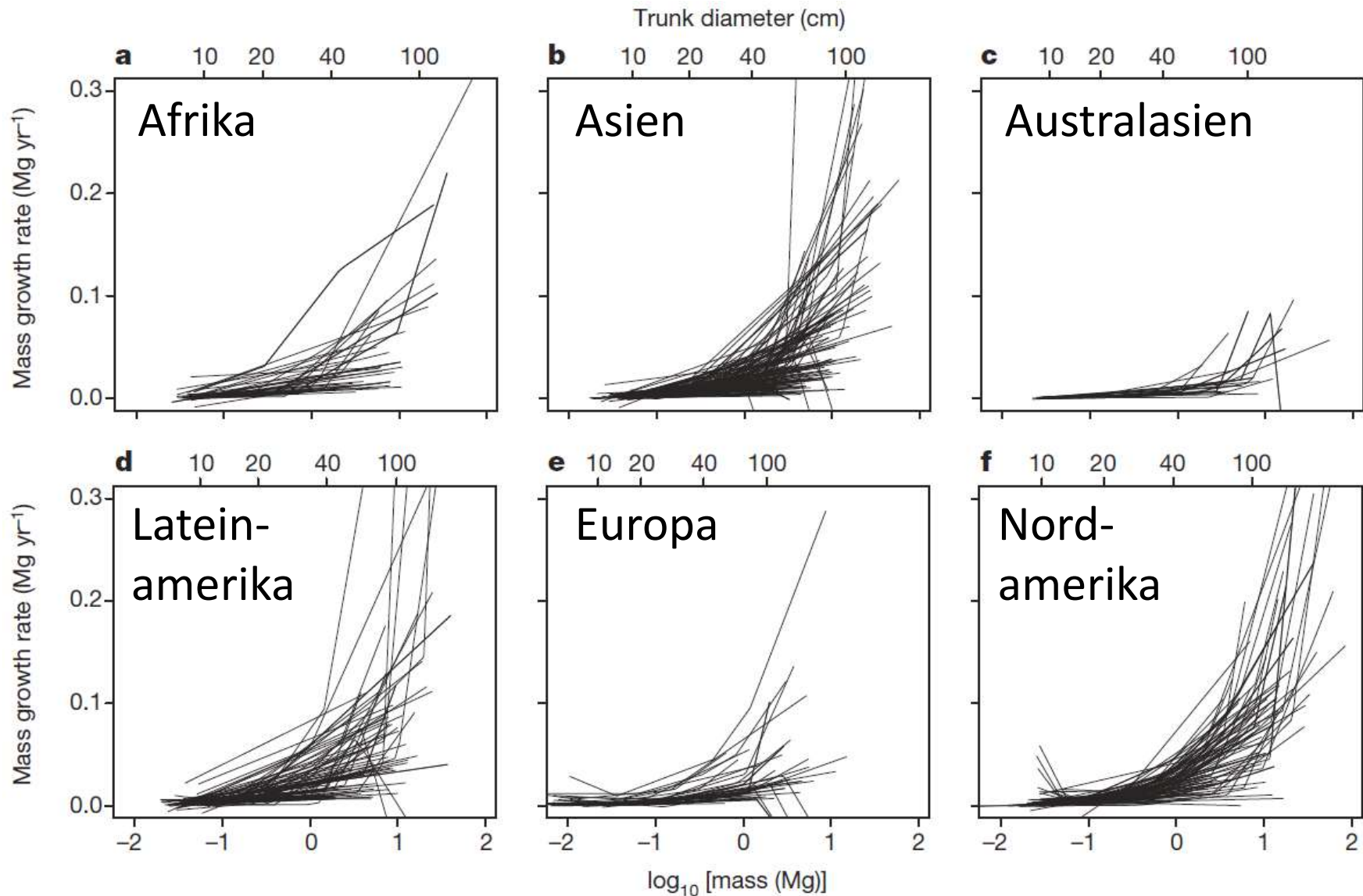
Stückweise lineare Regression



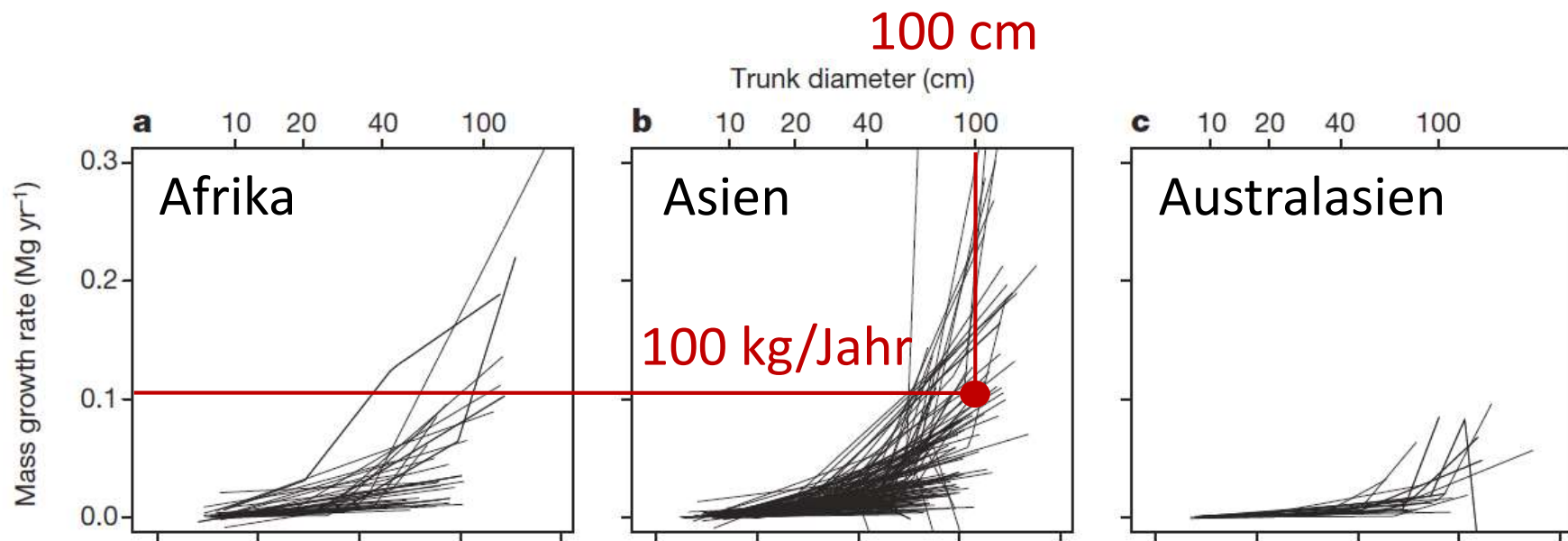
Große Bäume wachsen schneller

Kontinent	Anzahl Bäume	Anzahl Arten	% zunehmendes Wachstum
Afrika	15,366	37	100.0 (86.5)
Asien	43,690	136	96.3 (89.0)
Australasien	45,418	22	95.5 (95.5)
Europa	439,889	42	90.5 (78.6)
Mittel- und Südamerika	18,530	77	97.4 (92.2)
Nordamerika	110,153	89	98.9 (94.4)
Total	673,046	403	96.8 (89.8)

Große Bäume wachsen schneller

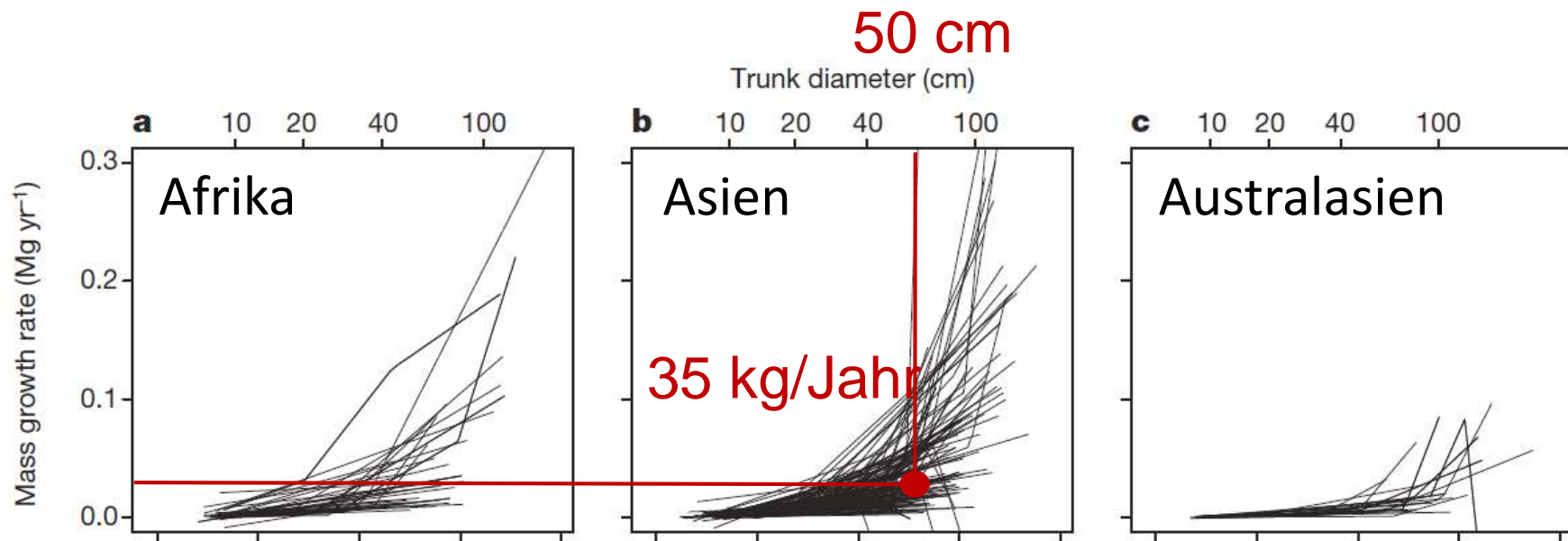


Große Bäume wachsen schneller



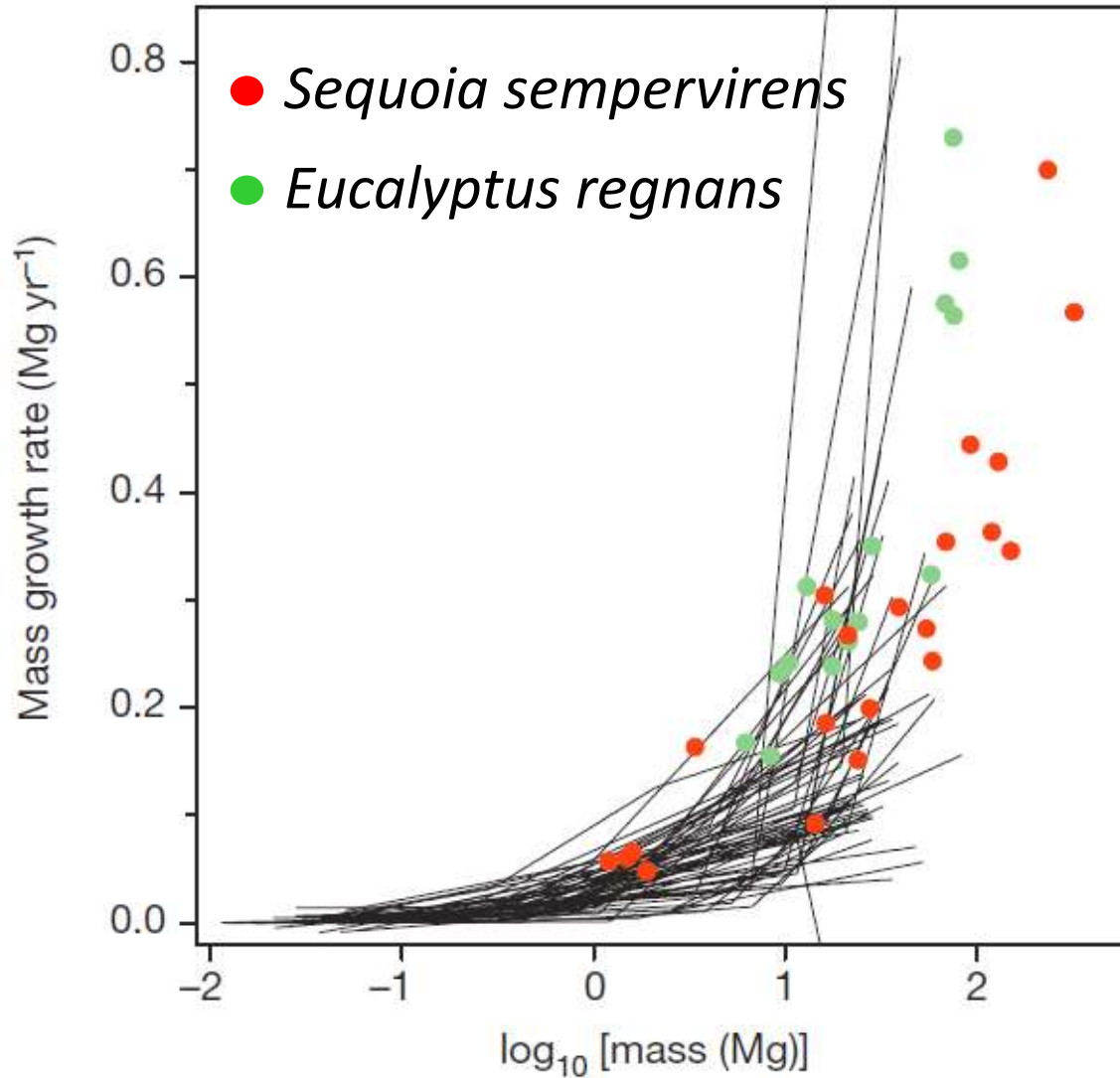
- 100 cm Durchmesser: 100 kg Biomassezuwachs im Jahr (entspricht der Masse eines Baumes mit 10–20 cm Durchmesser)

Große Bäume wachsen schneller

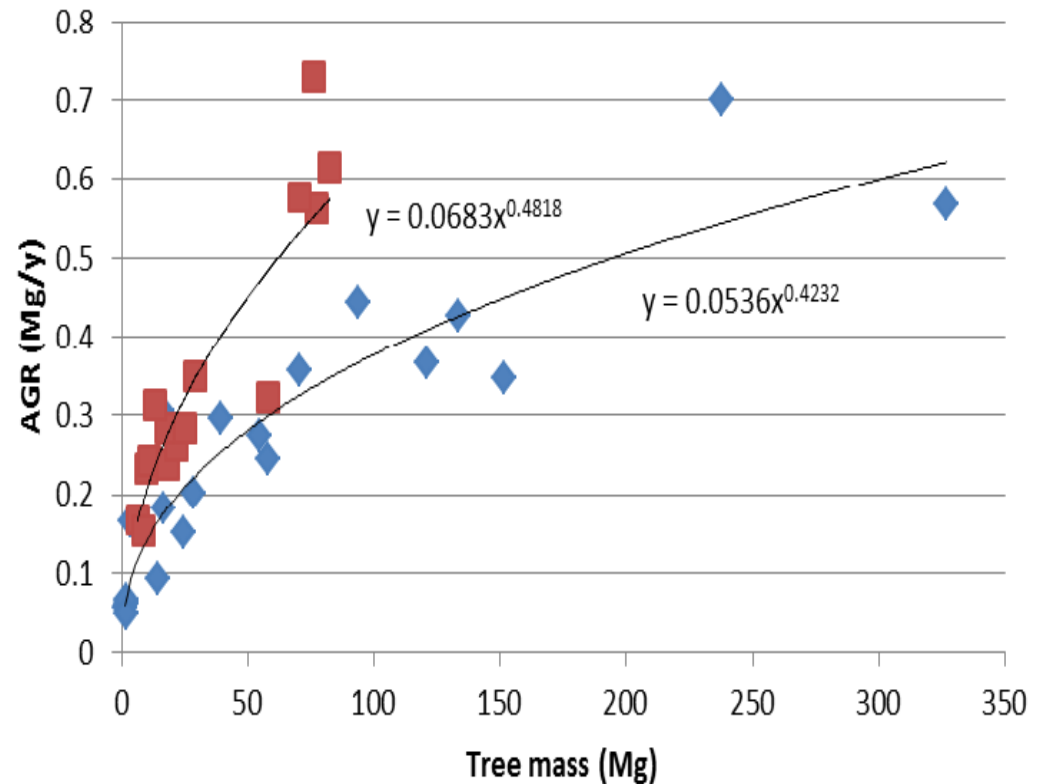
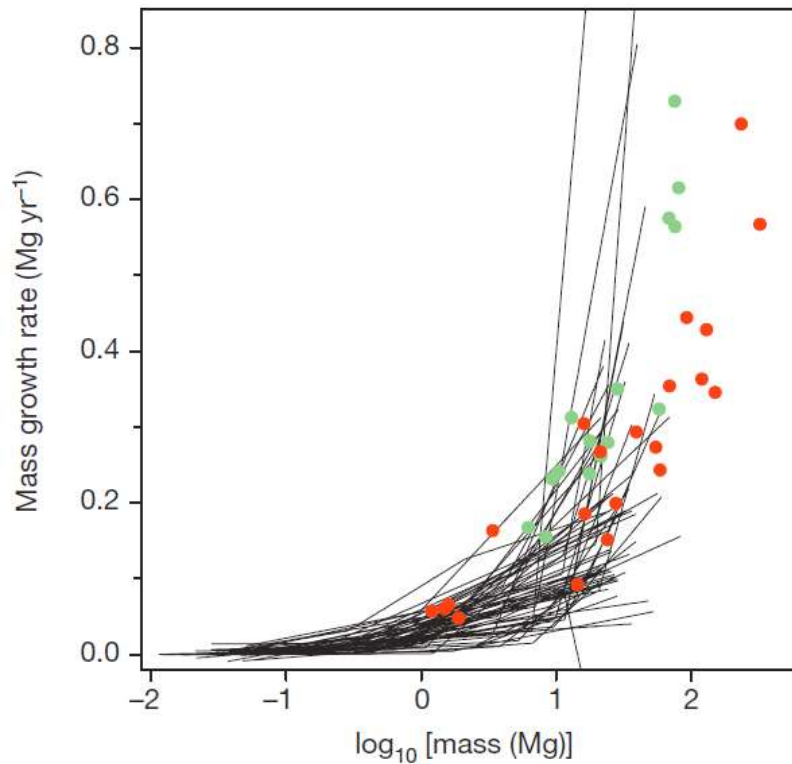


- 100 cm Durchmesser: 100 kg Biomassezuwachs im Jahr (entspricht der Masse eines Baumes mit 10–20 cm Durchmesser)
- 50 cm Durchmesser: 35 kg Biomassezuwachs im Jahr

Vergleich mit Daten von Sillet et al. 2010



Vergleich mit Daten von Sillet et al. 2010



- *Sequoia sempervirens*
- *Eucalyptus regnans*

Bernier et al. (2014)
Online-Kommentar

Das Problem

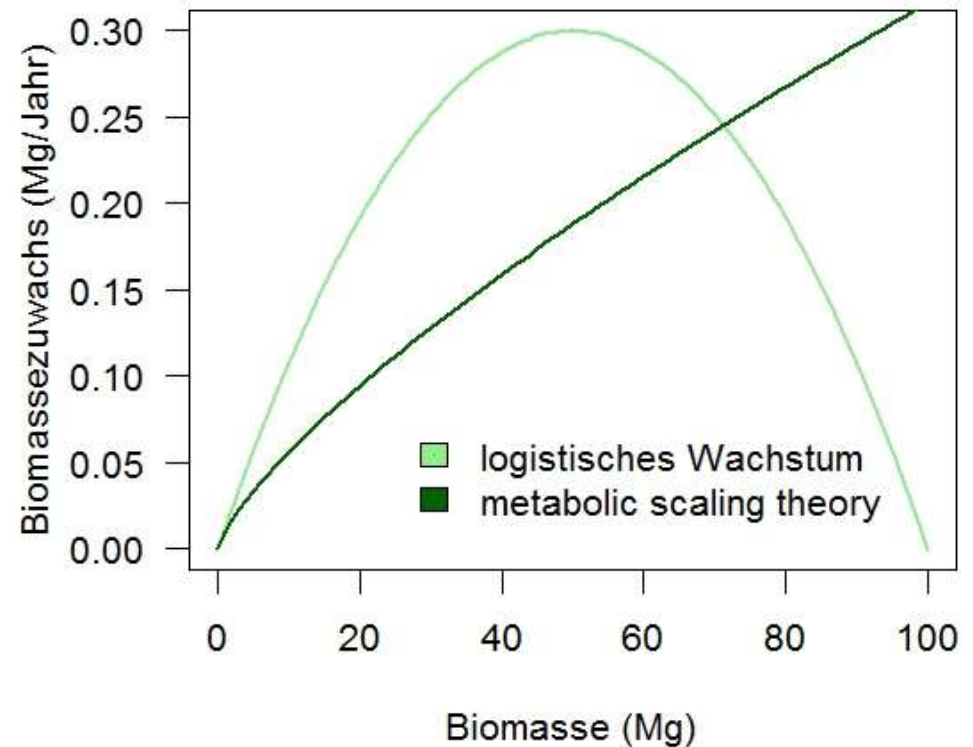
“Baum[massen]wachstum *muss sigmoidal sein, und darum müssen* Wachstumsraten erst zunehmen und dann abnehmen mit der Größe.”

Weiner & Thomas (2001)

[Metabolic theory sagt vorher, dass], wenn ein Individuum

wächst,
$$\frac{dMasse}{dZeit} = Masse^{\frac{3}{4}}$$

Enquist et al. (1999)



Bedeutung

- verlangsamtes Wachstum als Zeichen von Seneszenz?
- kein Trade-off zwischen Wachstum und Reproduktion
- Forstwirtschaft
- Kohlenstoffkreislauf: keine Verallgemeinerung für Bestandesebene möglich

- Einzelbaum

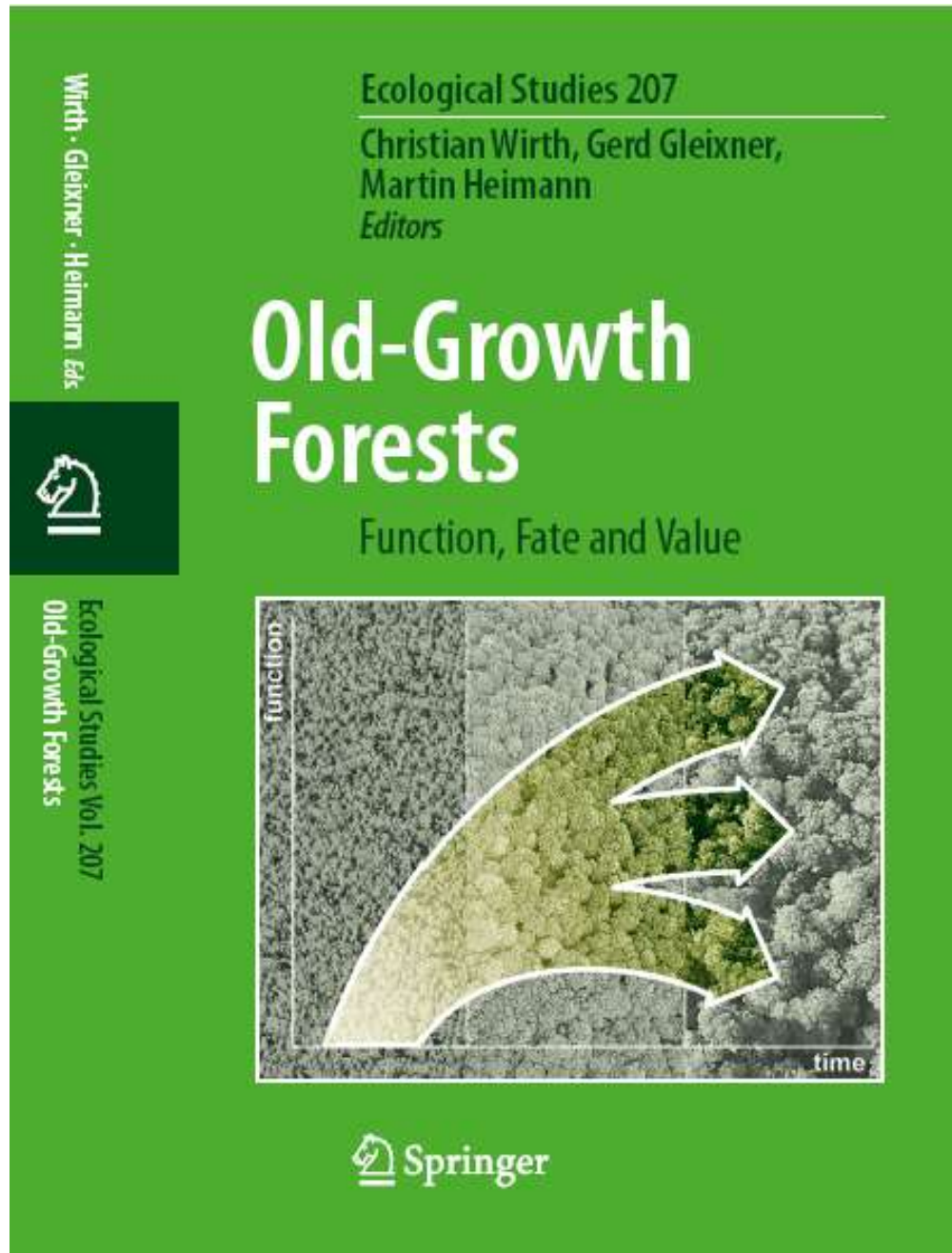
1

Wachsen alte (große) Bäume langsamer?

Nein!

2. Sind alte Wälder weniger produktiv?





Wirth, Gleixner & Heimann

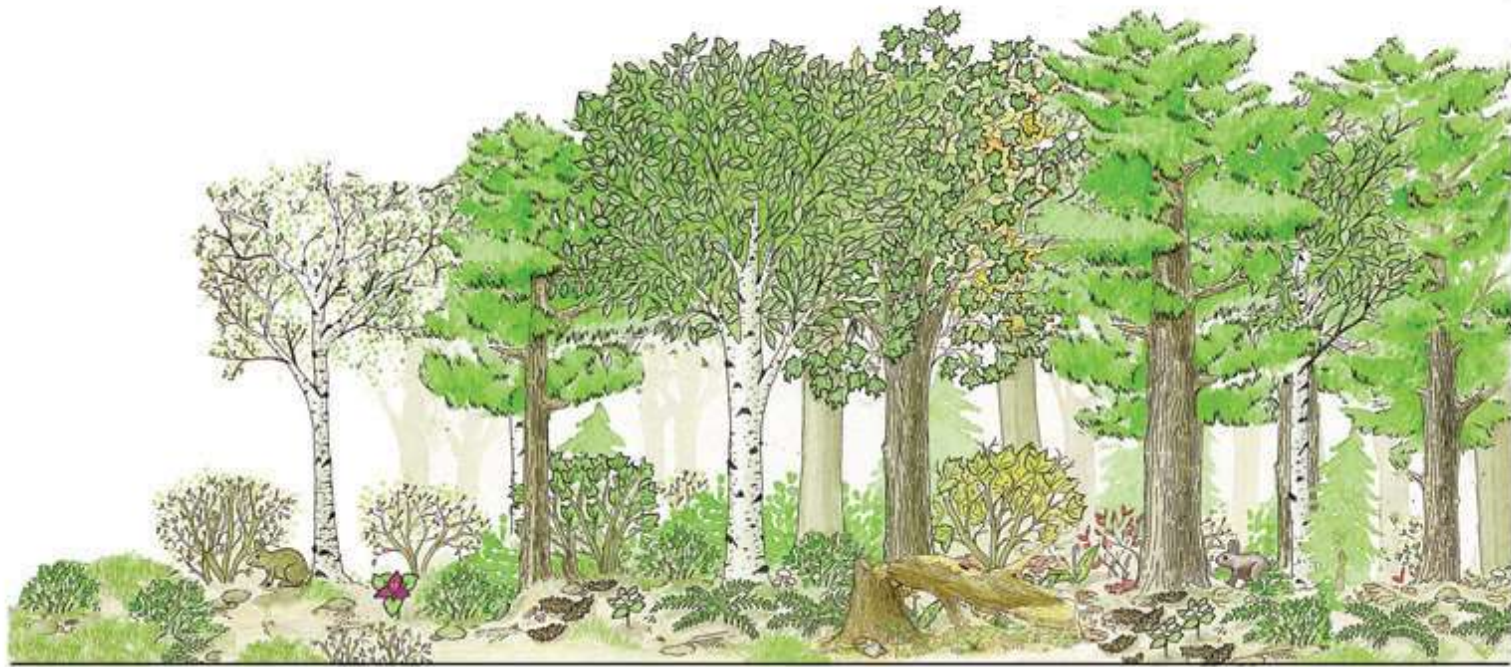
Erschienen 2009

21 Kapitel

60 Autoren

490 Seiten

Sukzession und Störung



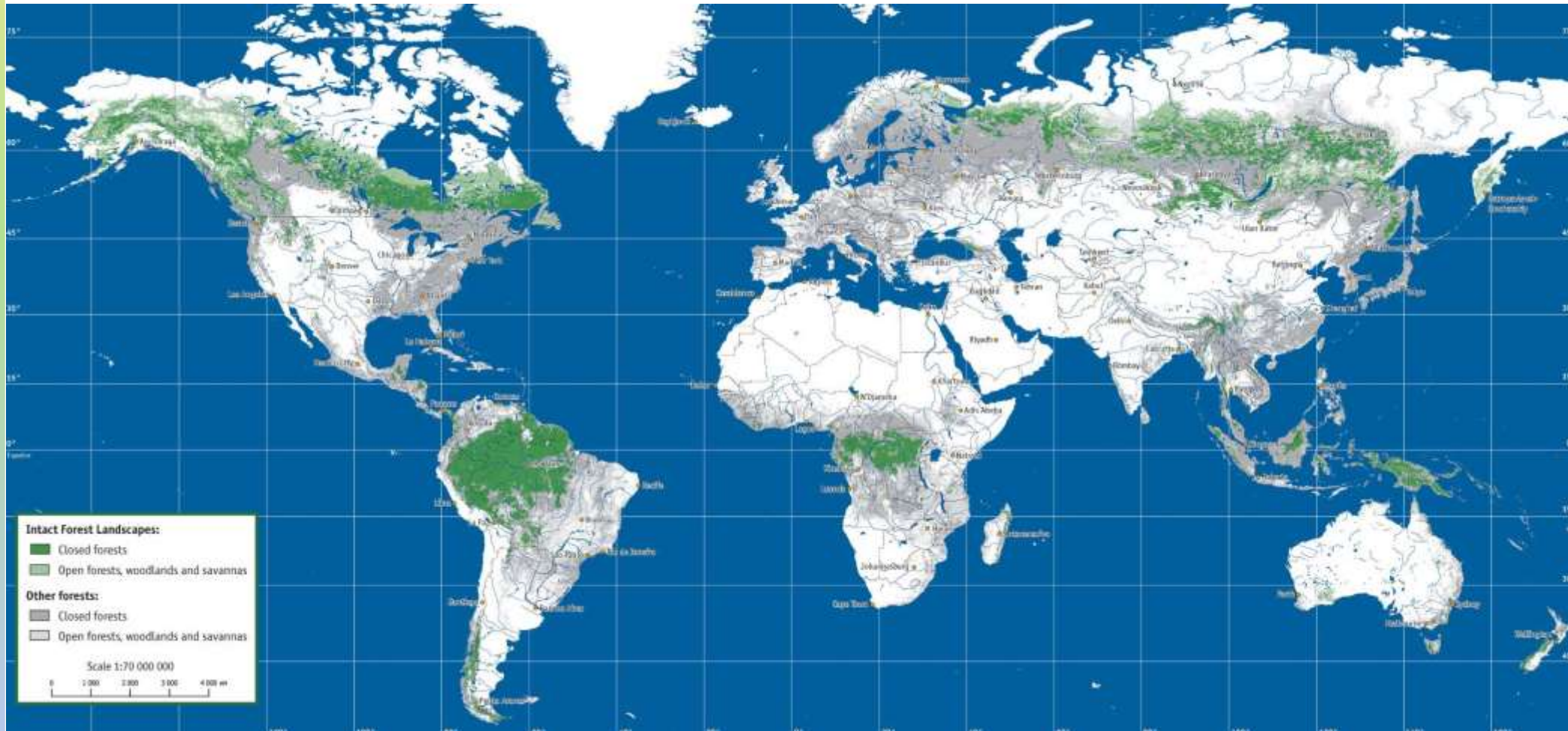
Pionier-
arten

Mittsukzessions-
arten

Spätsukzessions-
arten

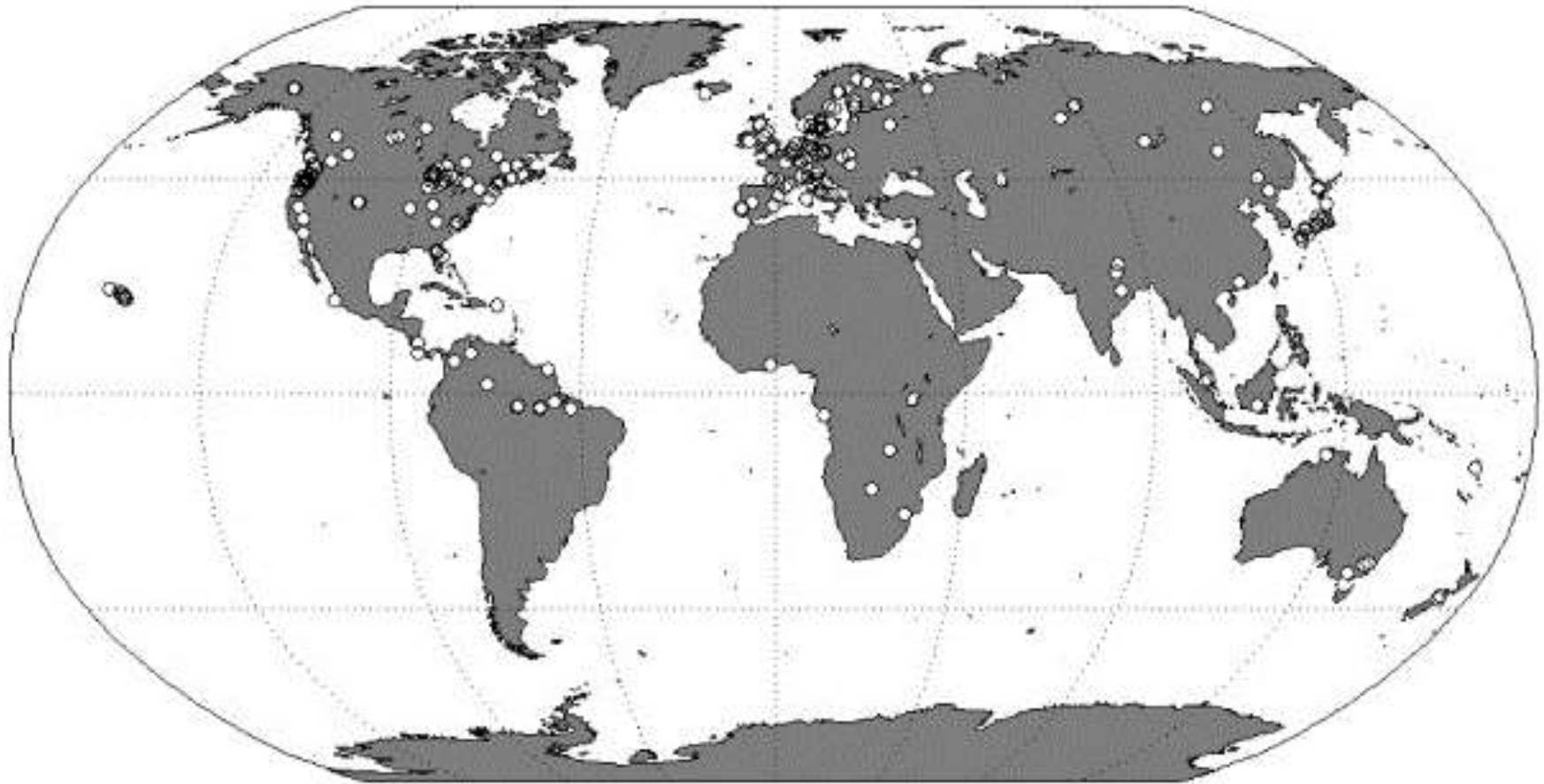
Wieviel ist übrig?

Nur 23 % intakten Waldes sind übrig
Nur hier können wir Altwald finden!



Der Luyssaert Datensatz

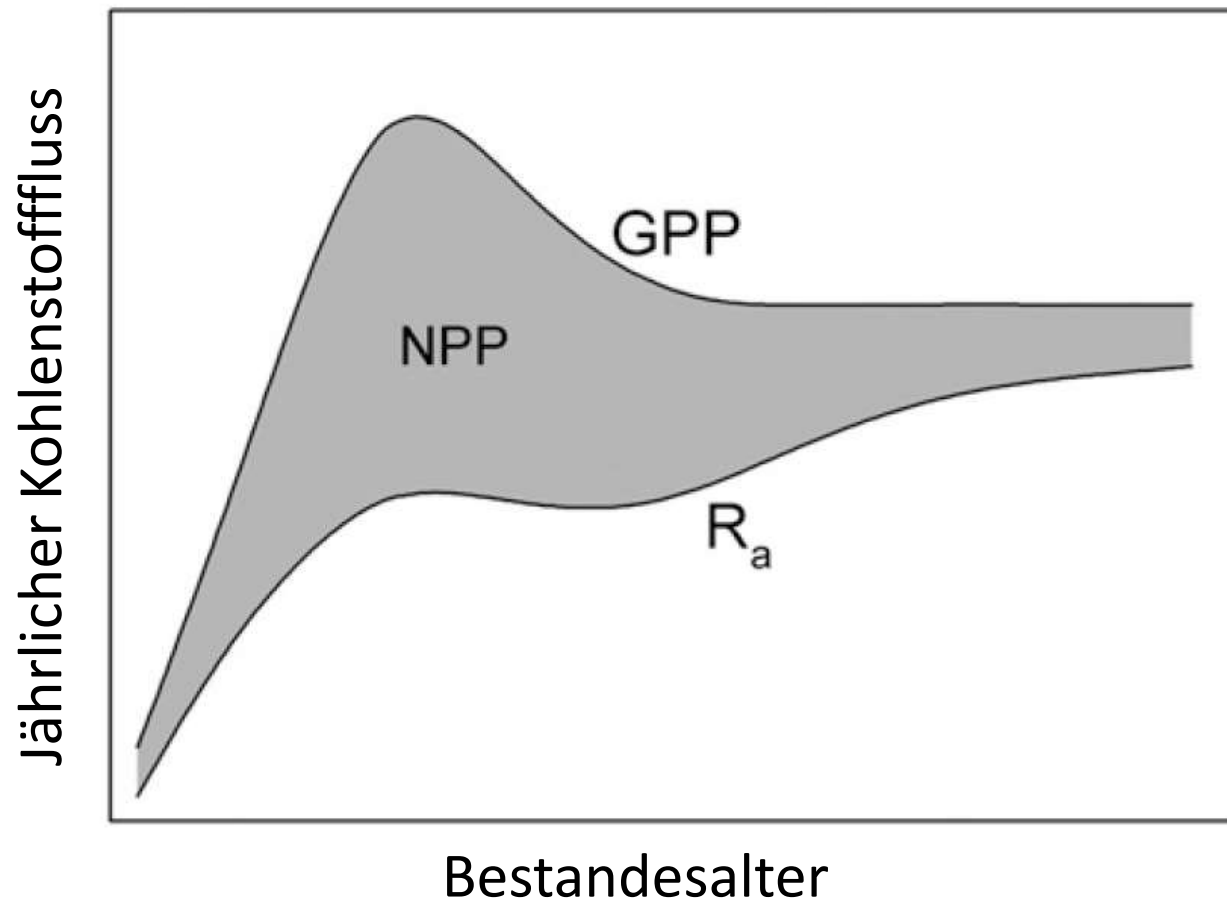
GPP, NPP, NEP



○ Untersuchungsstandorte

Luyssaert et al. (2007)

„Age-related decline“ der Nettoprimärproduktion

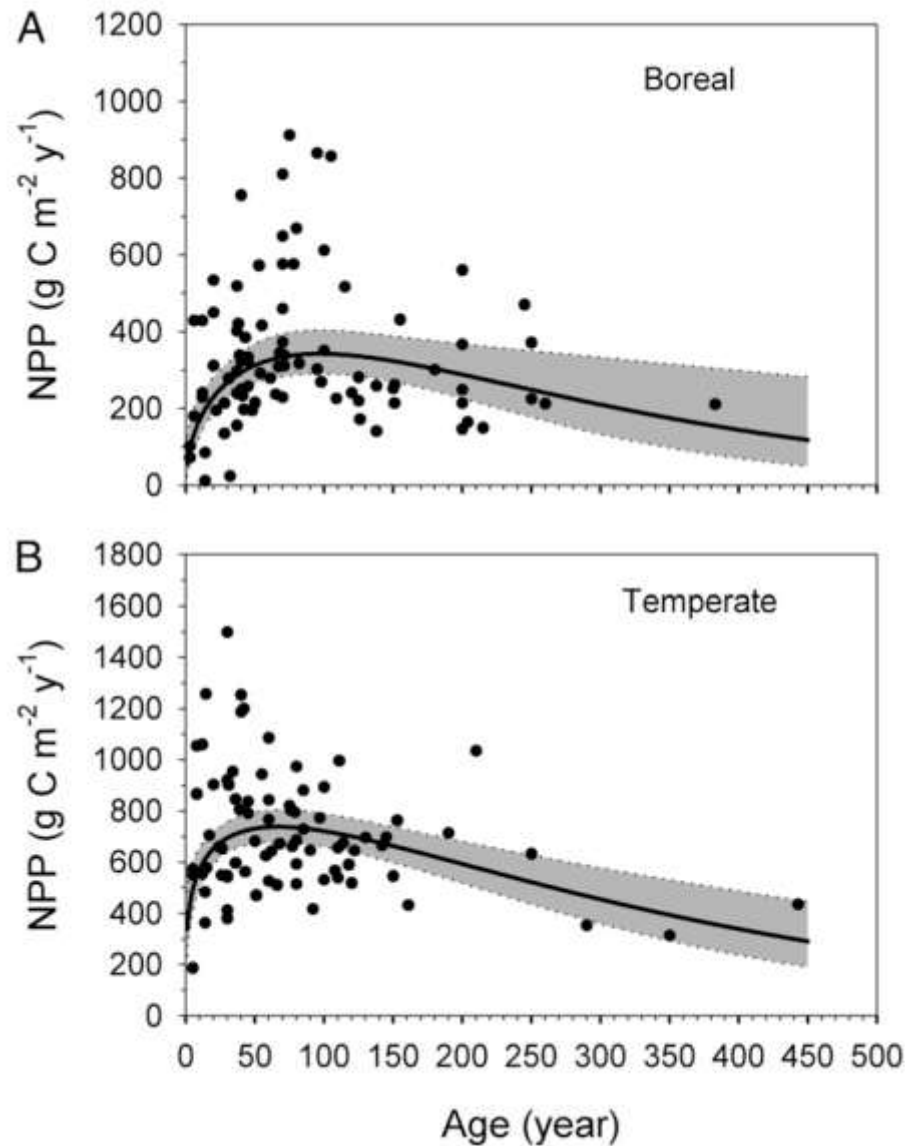


Tang et al. (2014) modifiziert nach Kira & Shidei (1967) und Odum (1969)

Altersabfall: Hypothesen

- zunehmende Stammrespiration (Kira & Shidei 1967)
- Nährstoff-Festlegung in akkumulierender Streu und Biomasse (Gower 1996)
- reduzierte Photosynthese durch hydraulische Limitierung (reduzierte stomatäre Leitfähigkeit) (Ryan et al. 1997)
- Struktur: Weniger effiziente Raumnutzung durch einzelnen große Kronen (Smith & Long 2001)
- zunehmende Lücken verursachen eine „Meristemlimitierung“

Der Luyssaert Datensatz



Tang et al. (2014)

Regressionsergebnisse

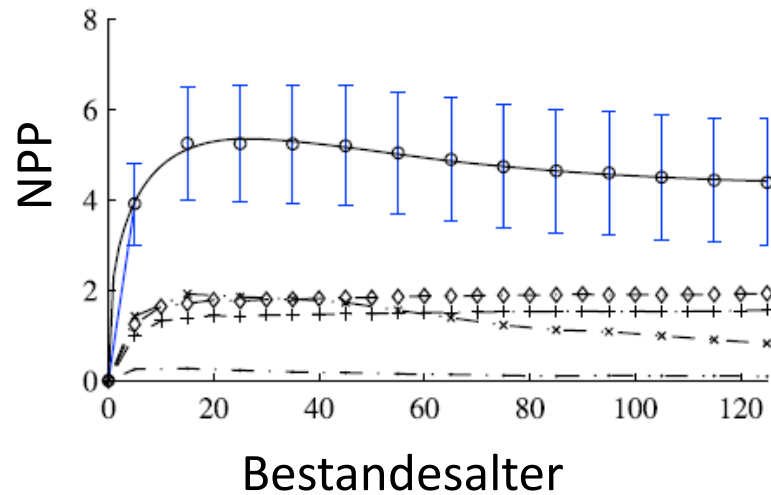
	param	std.err	t-value	<i>p</i>	param	std.err	t-value	<i>p</i>
ANPP	<i>Nadelwälder</i>				<i>Laubwälder</i>			
intercept	324.8	11.7	27.63	<0.001	506.8	21.2	23.9	<0.001
LAI	2 99.7	13.8	7.25	<0.001	1 93.1	21.6	4.3	<0.001
Niederschlag	3 -81.9	17.1	-4.79	<0.001	2 32.9	21.6	1.5	0.131
Temperatur	1 137.4	16.5	8.33	<0.001	-	-	-	-
Alter	4 -35.5	12.0	-2.96	0.0035	-	-	-	-
Adjusted R ²	0.510				0.216			

LAI = Blattflächenindex

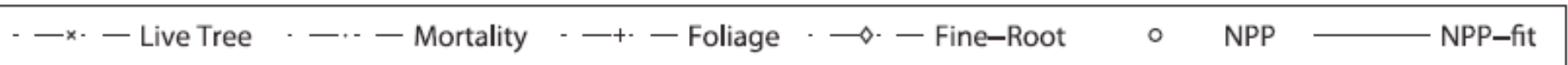
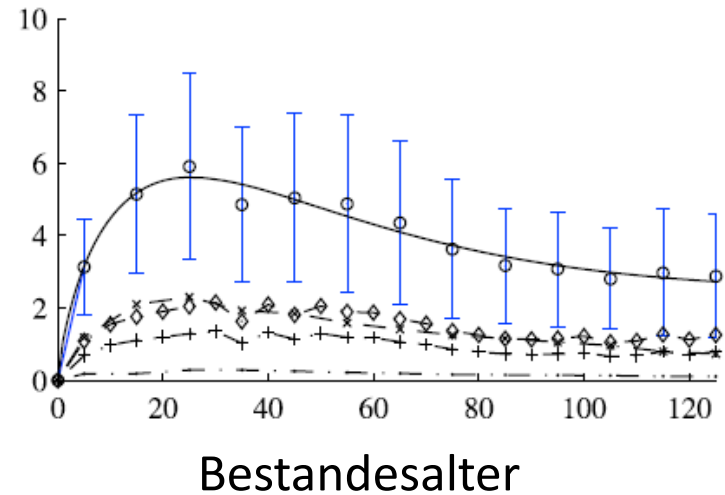
Kutsch et al. (2009), Kap. 4

Modellierte NPP

Laubwald



Nadelwald



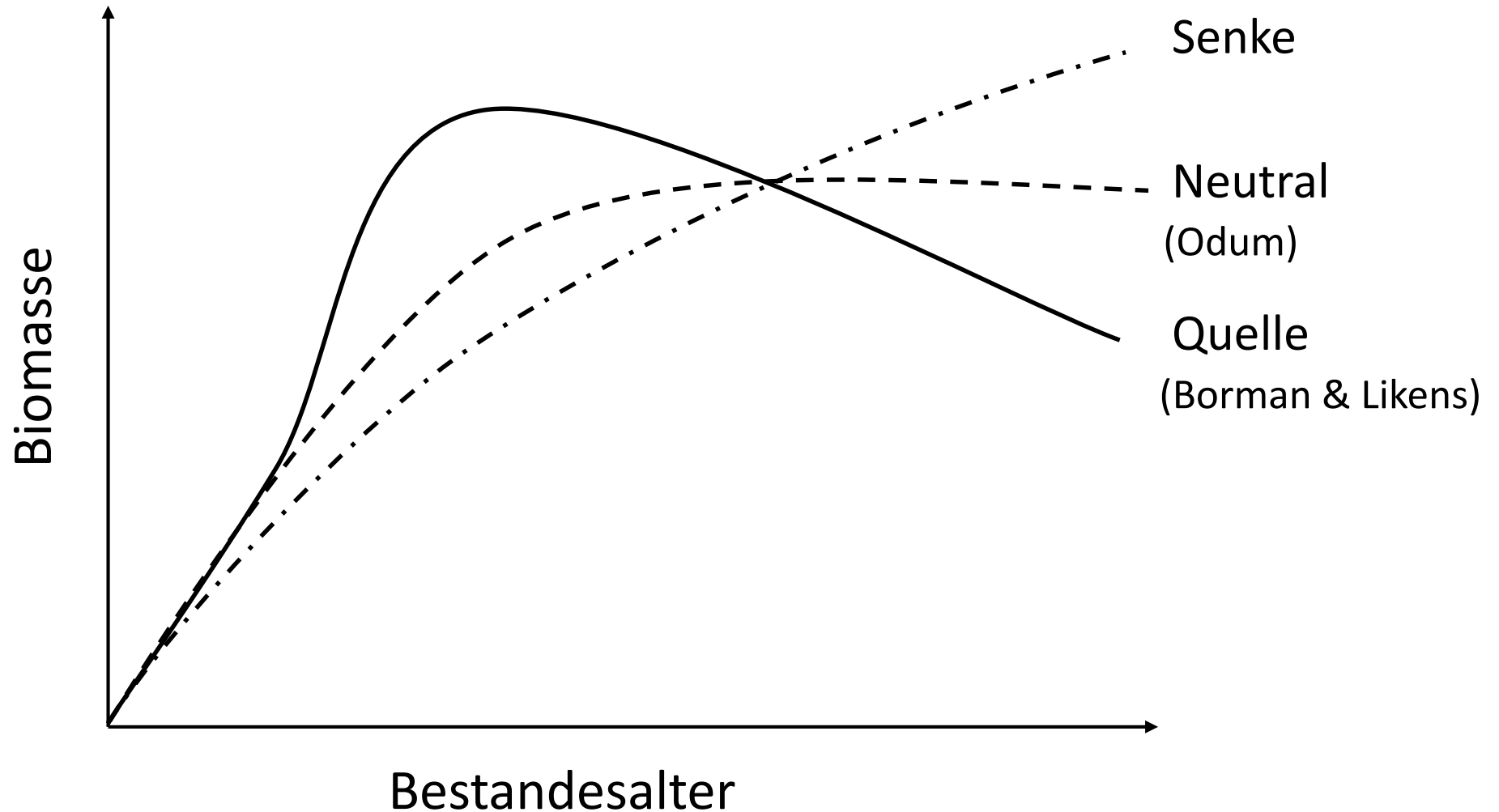
He et al. (2012)

- Einzelbaum **1** Wachsen alte (große) Bäume langsamer?
Nein!
- Wald/Bestand **2** Sind alte Wälder weniger produktiv?
die verfügbaren Daten zeigen moderaten Abfall
in Laubwäldern möglicherweise kein Abfall

3. Sind alte Wälder C-Quellen?



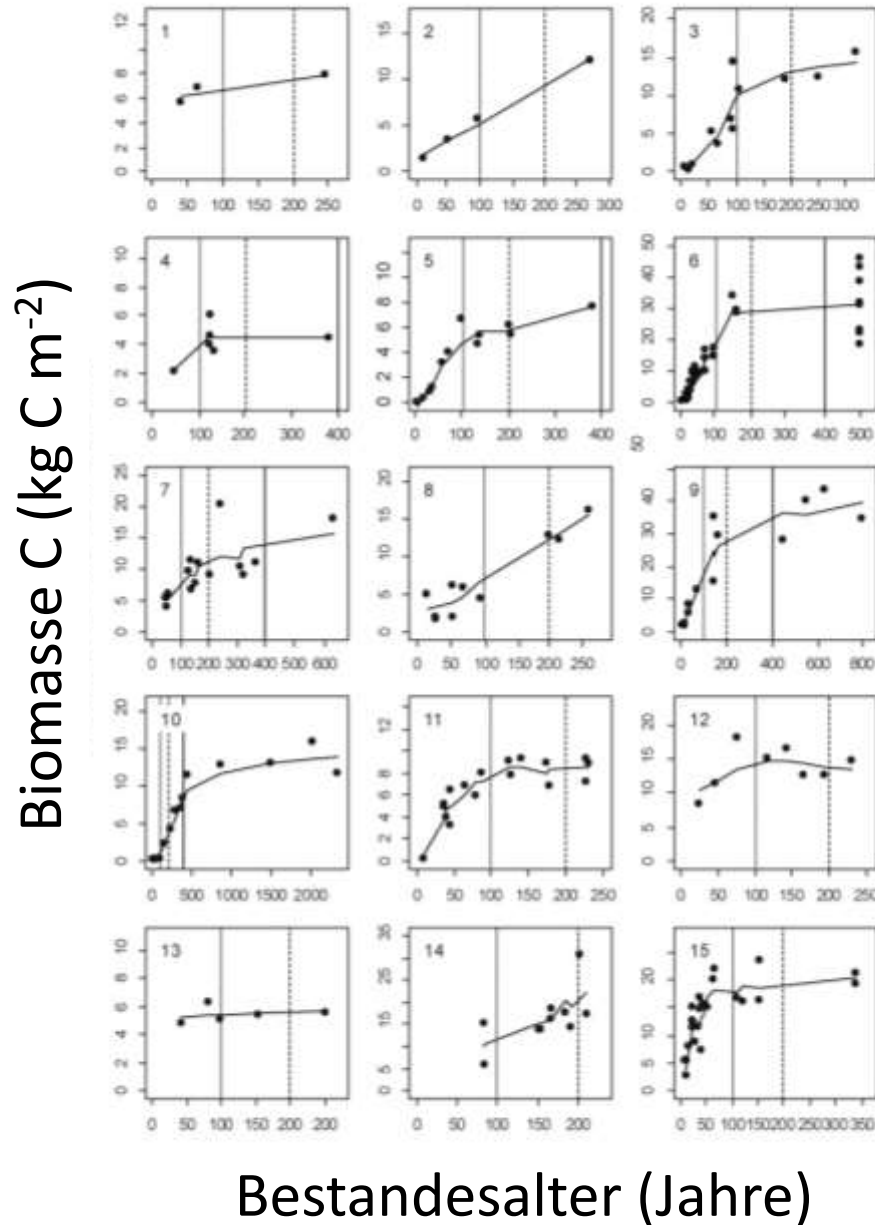
C-Trajektorien in Altwäldern



Daten

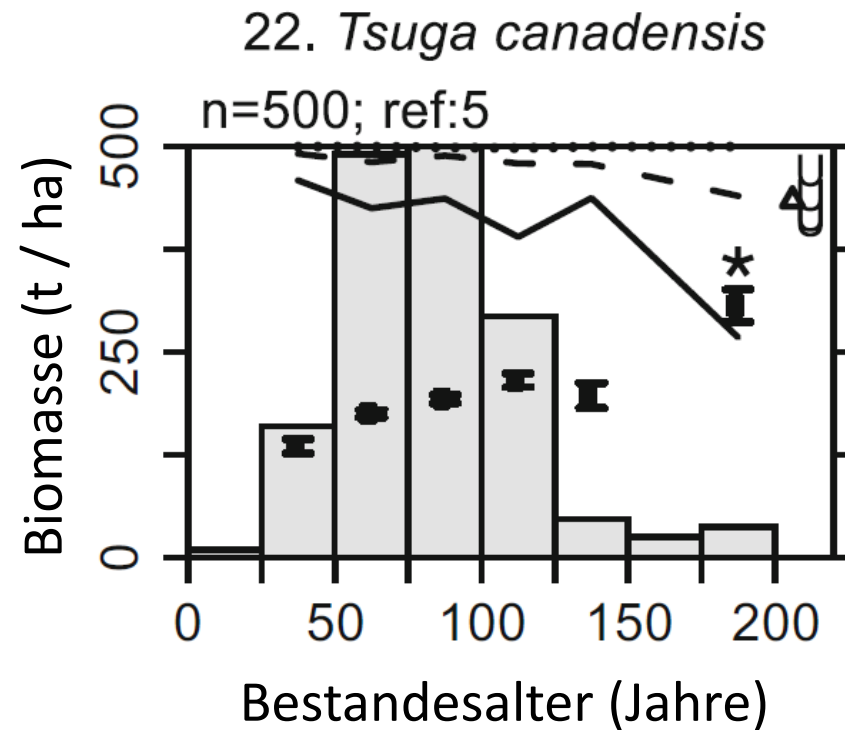
- Chronosequenz-Studien
 - Biomasse
 - Totholz
 - Bodenkohlenstoff
- US Forest Inventory and Analysis (FIA)

Chronosequenzen >200 Jahre

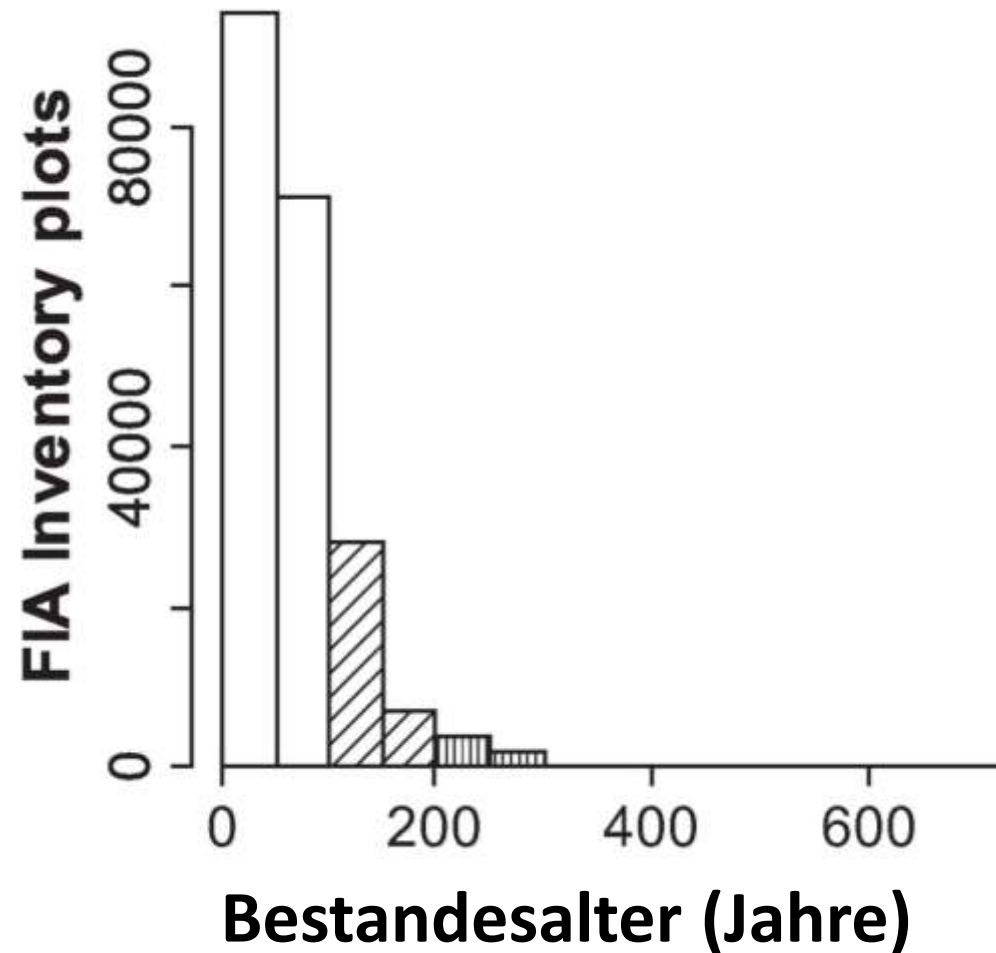


Bestandesalter	Jährlicher Biomassezuwachs g C / m^2
0 – 100	91
100 – 200	32
200 – 400	19
400 – 600	9

FIA: >99.000 Plots, >2.8 Mio Bäume

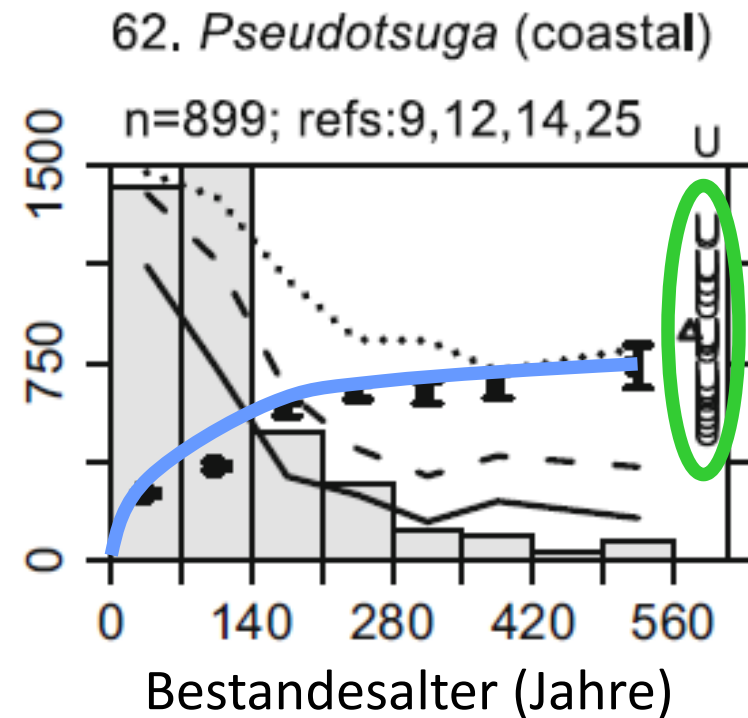
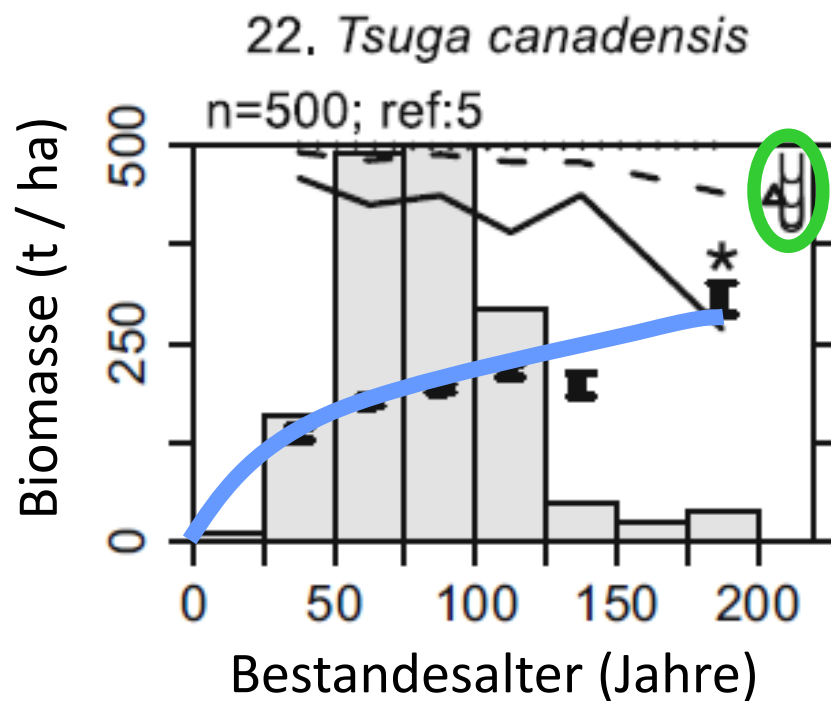


FIA: >99.000 Plots, >2.8 Mio Bäume



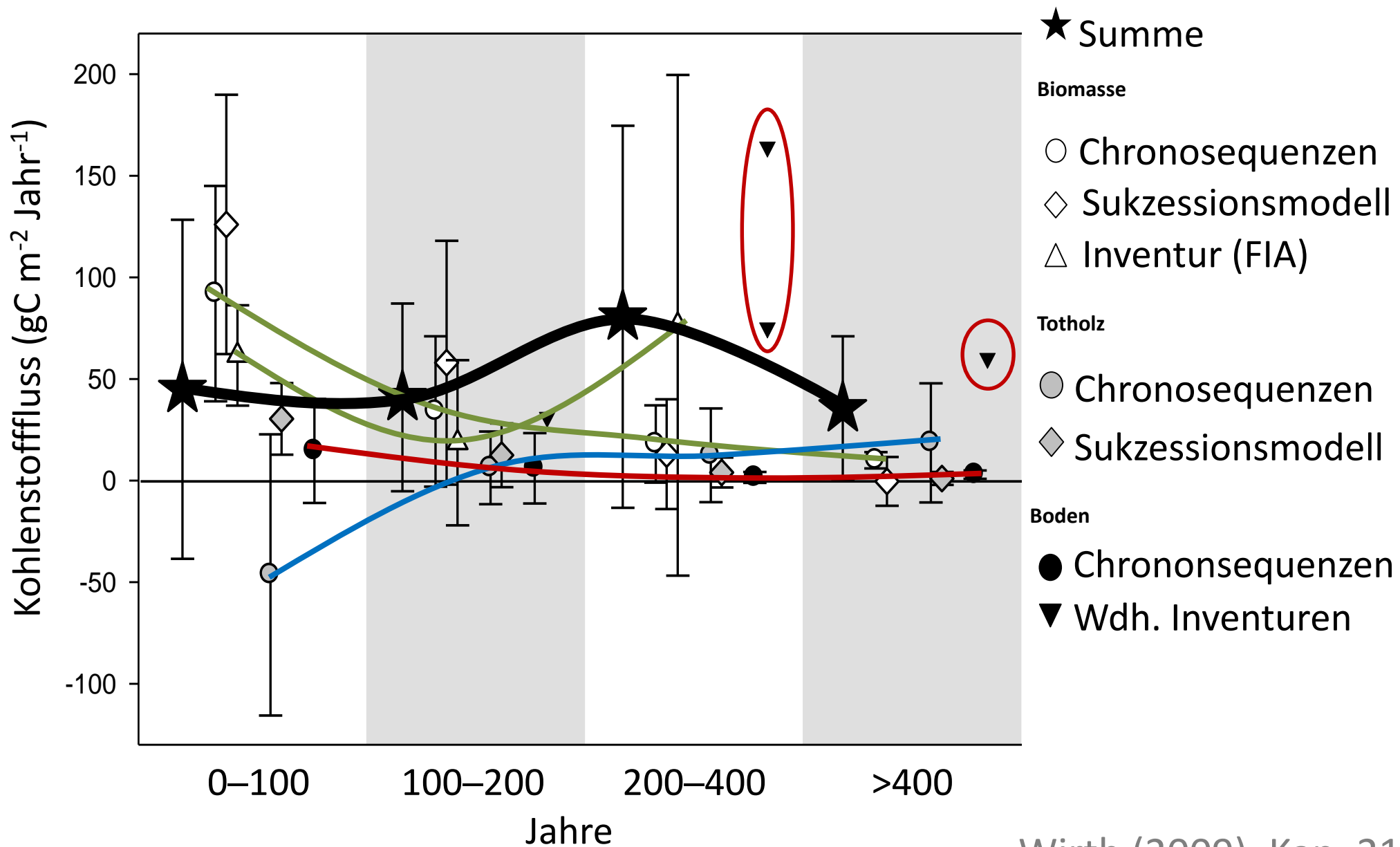
US Inventur

Vergleich: **Inventur** und **Altwald-Literatur**

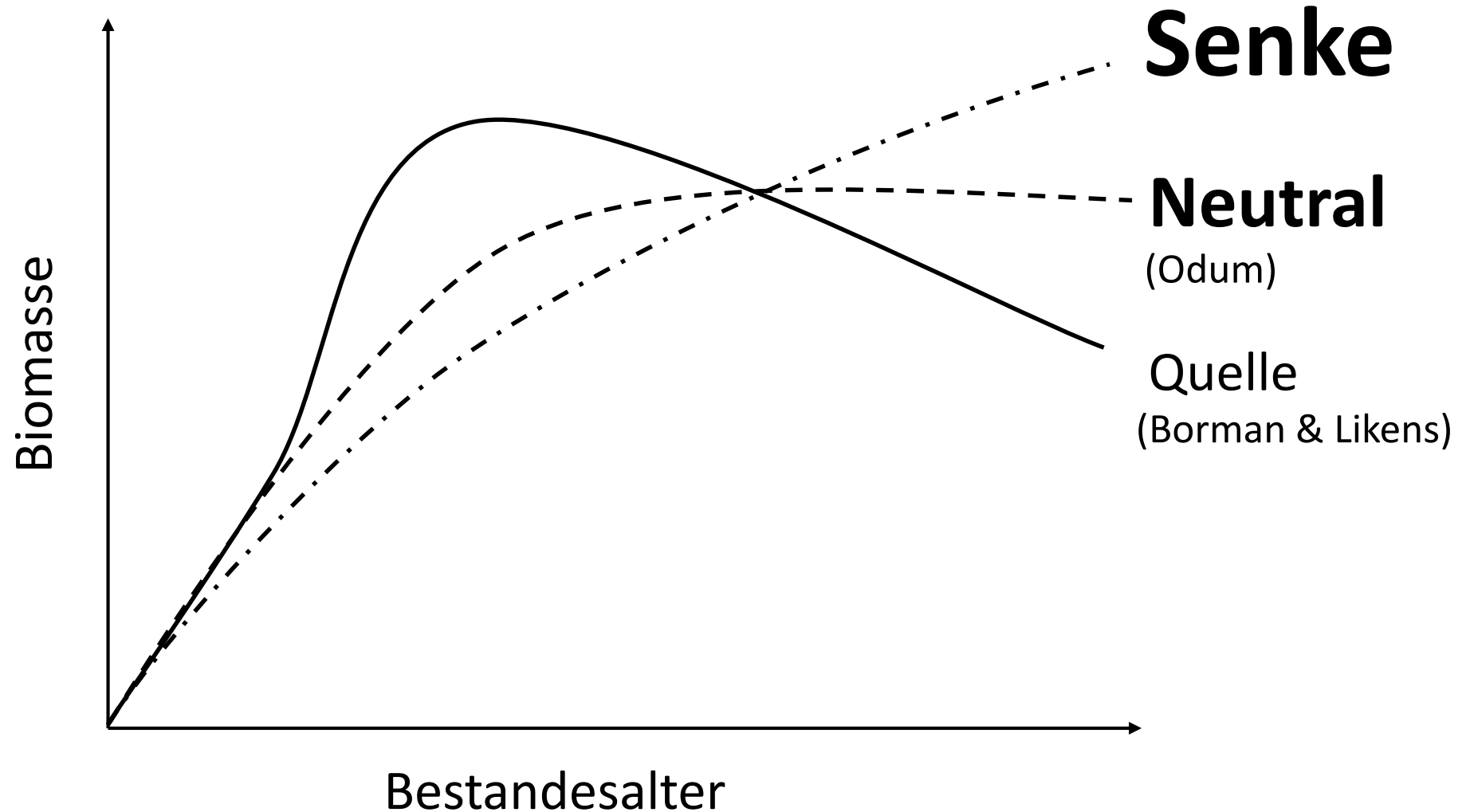


Von 26 Sukzessionen: 11 x Senke, 13 x neutral und 2 x Quelle

Quantitative Zusammenfassung



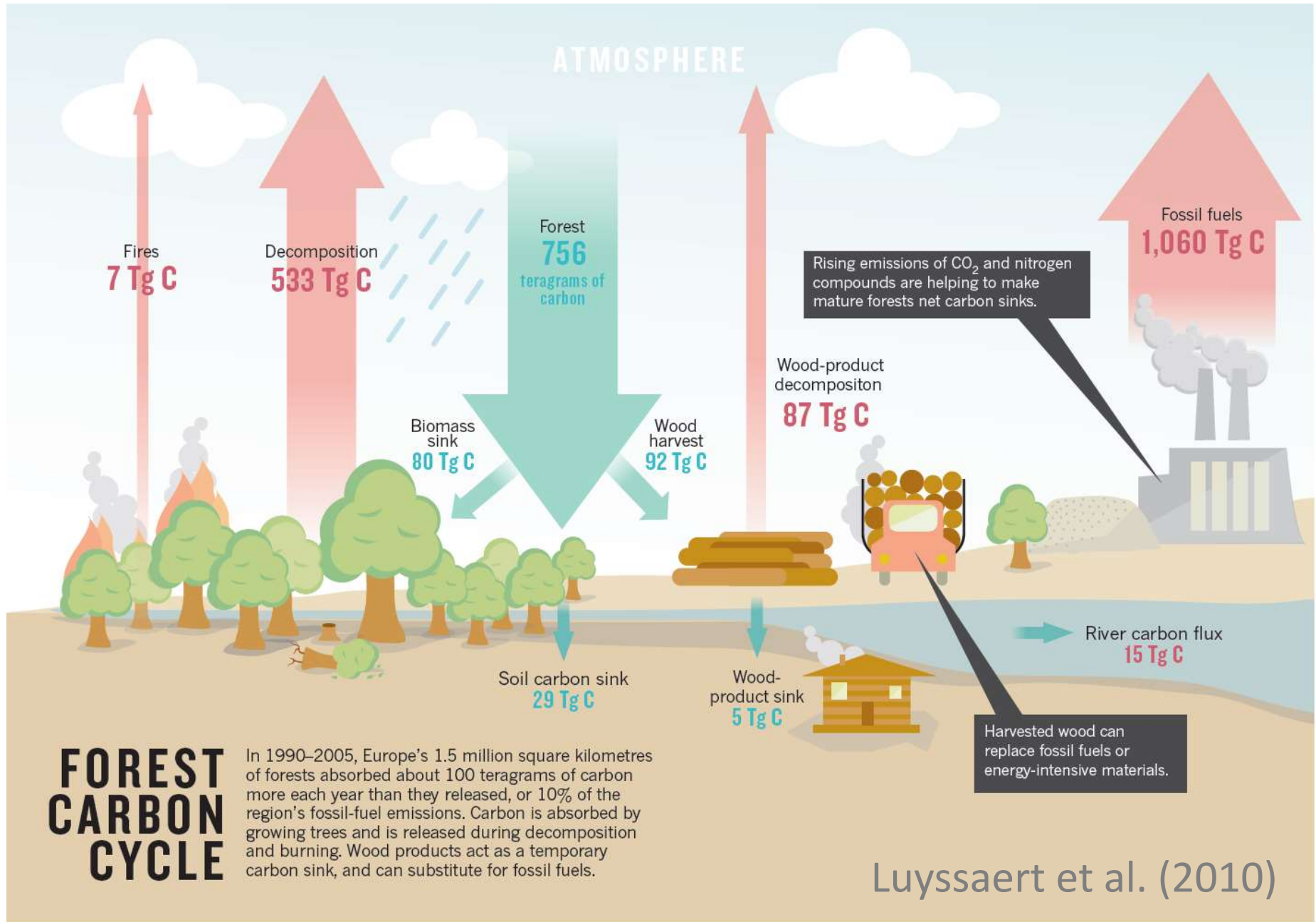
C-Trajektorien in Altwäldern



- Einzelbaum **1** Wachsen alte (große) Bäume langsamer?
Nein!
- Wald/Bestand **2** Sind alte Wälder weniger produktiv?
(ja)
- 3** Sind alte Wälder C-Quellen?
Nein!

Konsequenzen für Waldnutzung

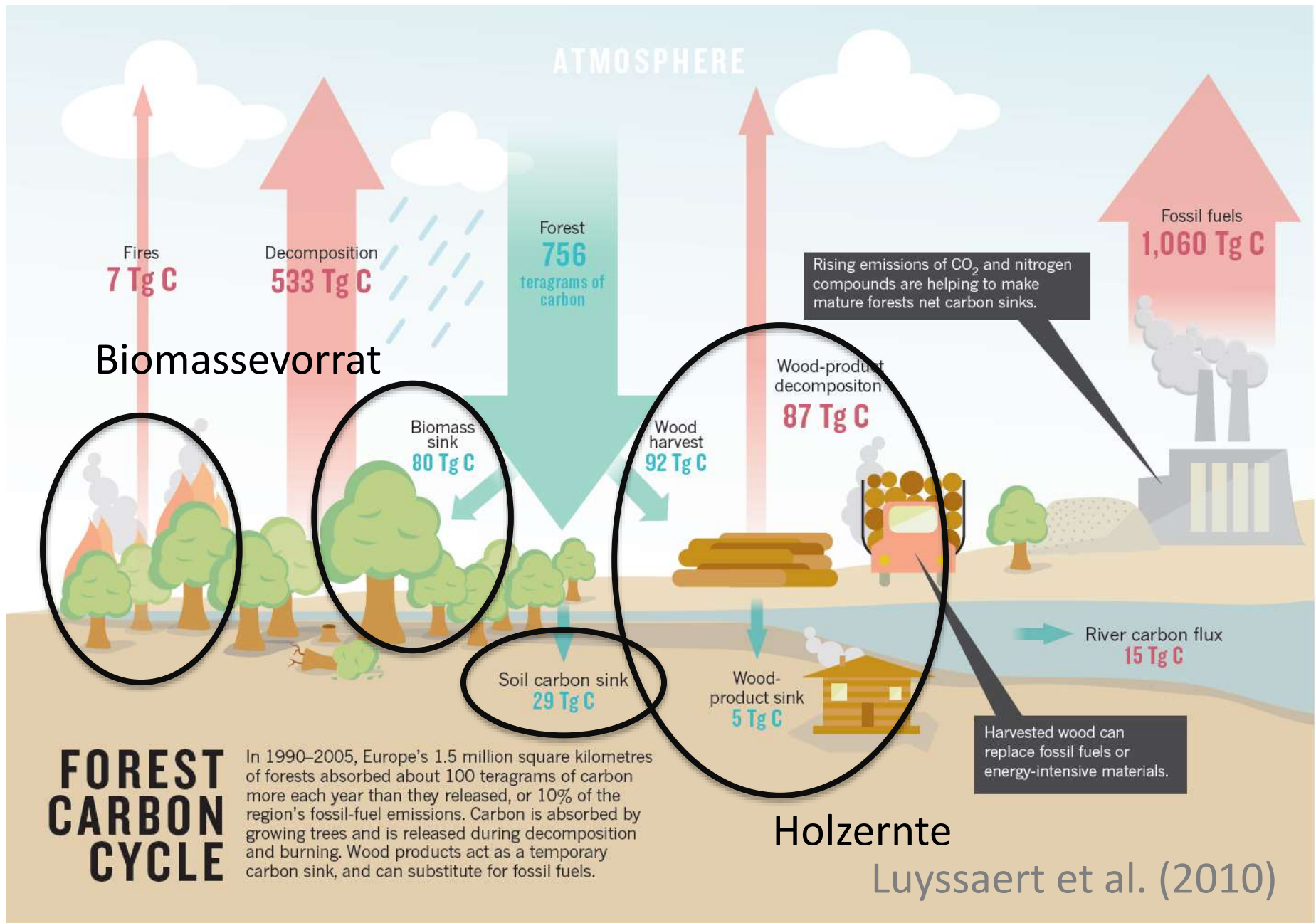
Waldkohlenstoffkreislauf



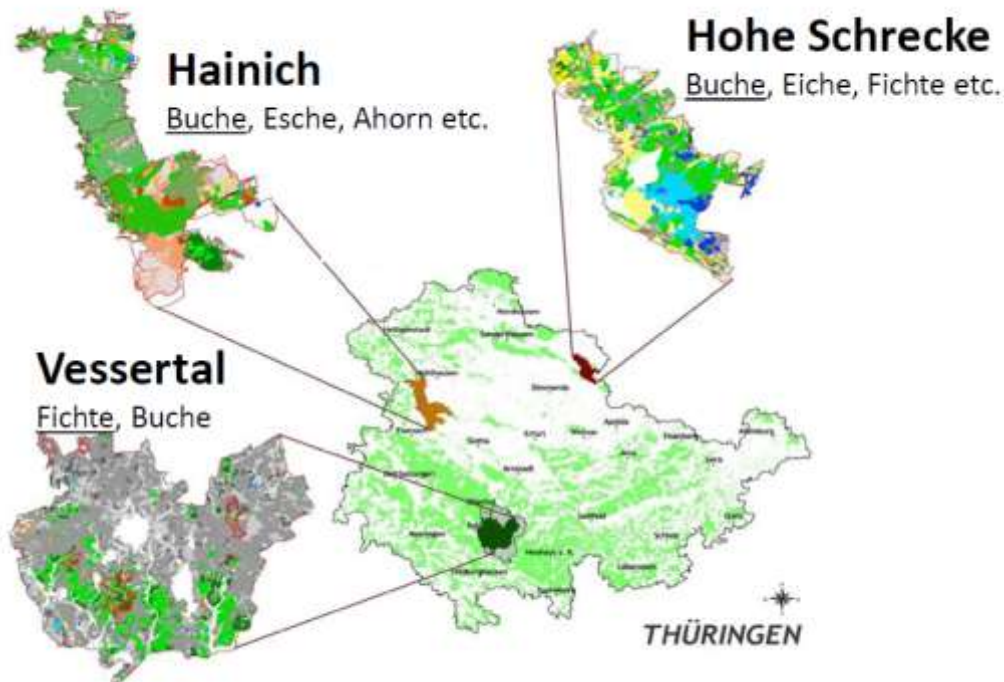
SOURCE: S. LUYSSAERT ET AL. GLOB. CHANGE BIOL. 16, 1429–1450 (2010)

Luyssaert et al. (2010)

Waldkohlenstoffkreislauf

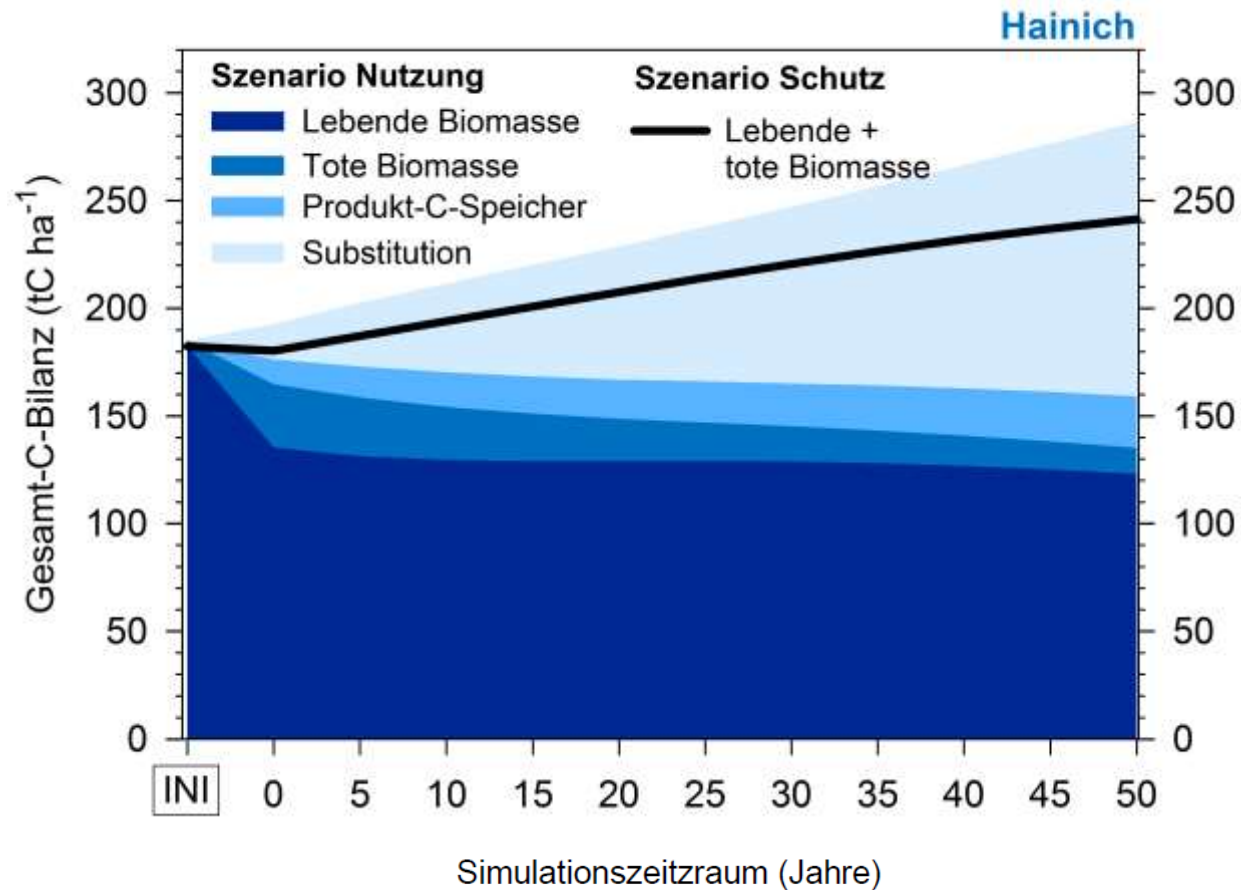


Vergleich Nutzung vs Schutz

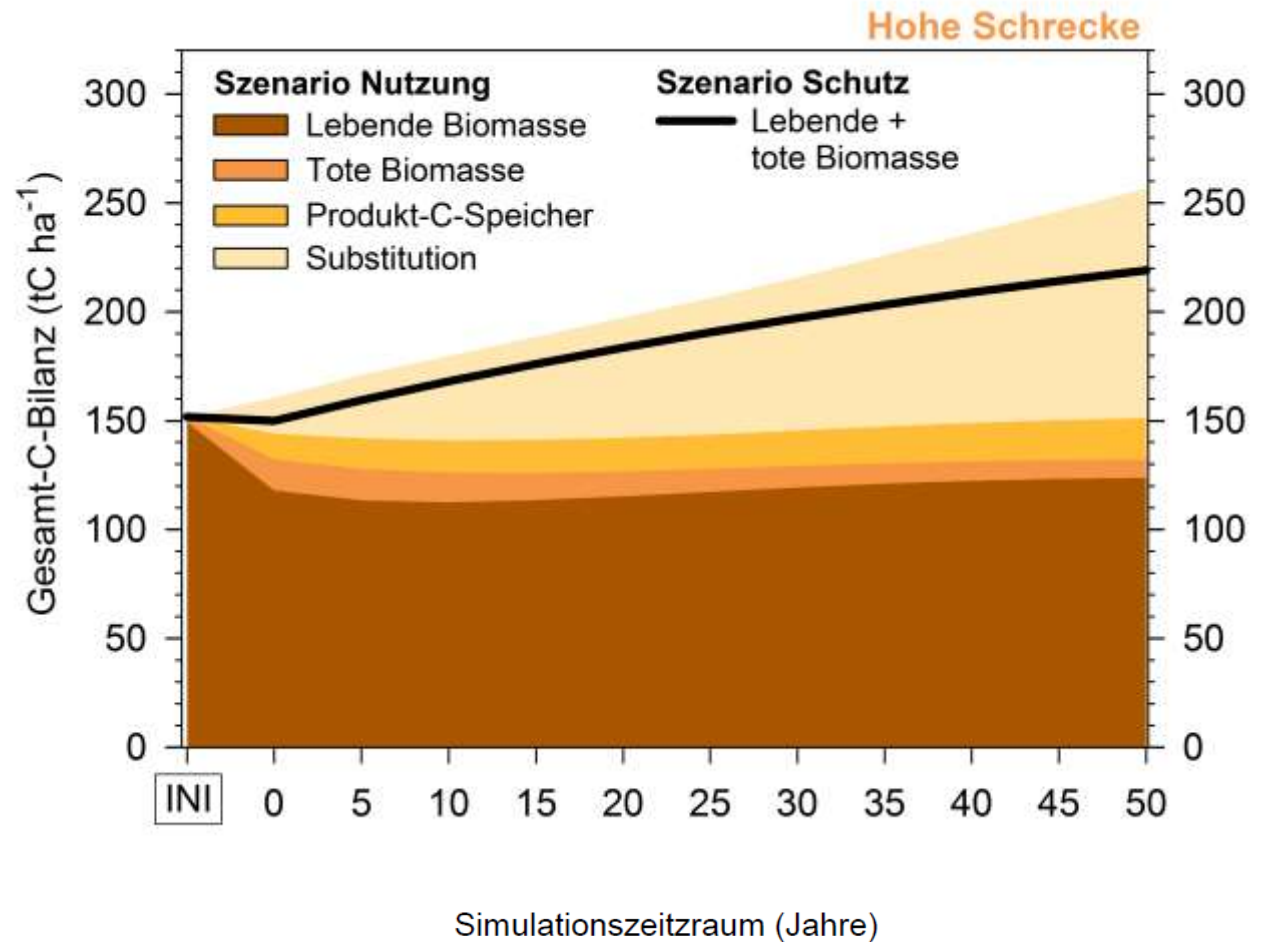
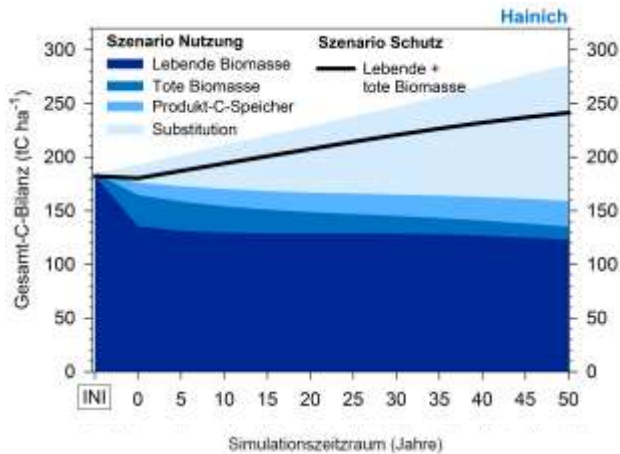


- Thüringen
- ungleichaltrige Mischbestände
- „Zielstärkennutzung“
- Klimaschutzleistung von naturnaher Nutzung vs Schutz
- Waldökosystem + Ökobilanz der Bewirtschaftung = komplettes C-Budget

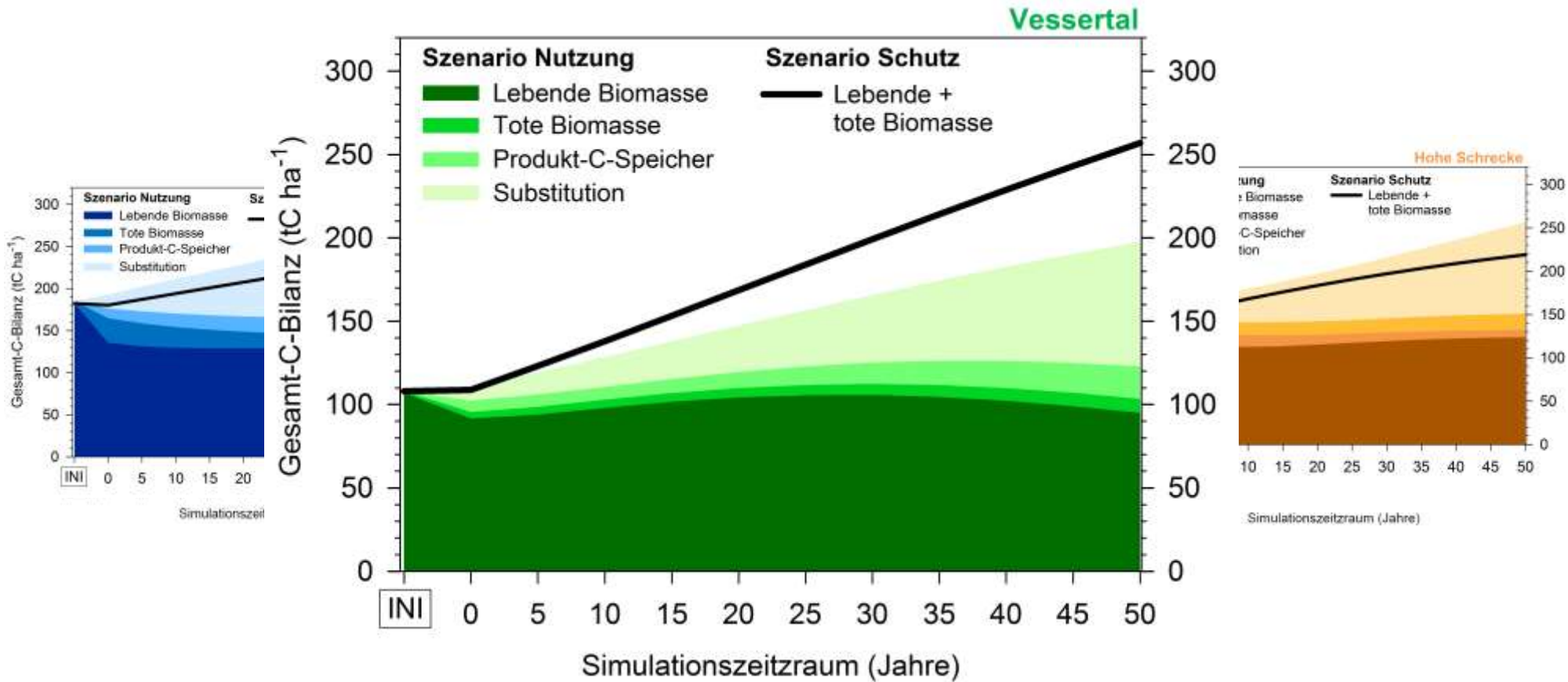
Vergleich Nutzung vs Schutz



Vergleich Nutzung vs Schutz

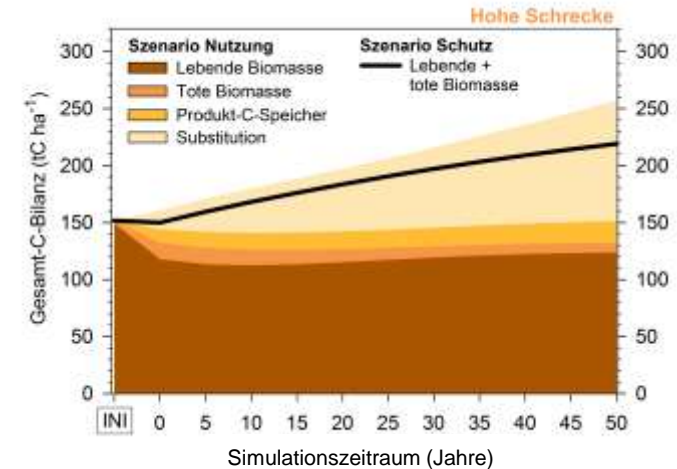
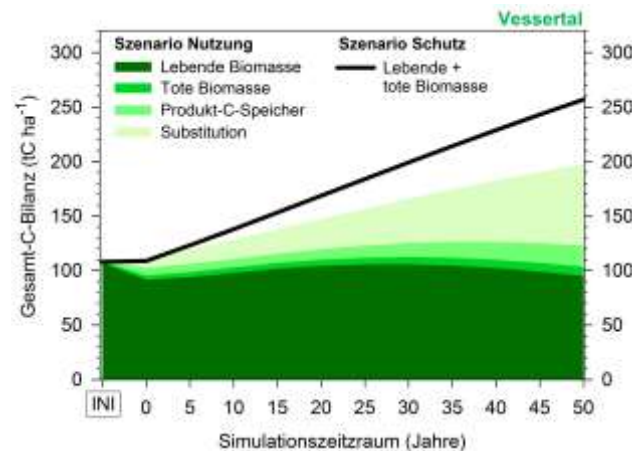
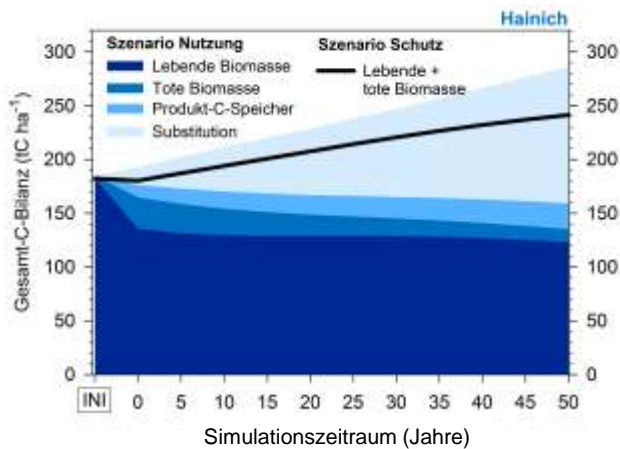


Vergleich Nutzung vs Schutz



Mund et al. (im Druck)

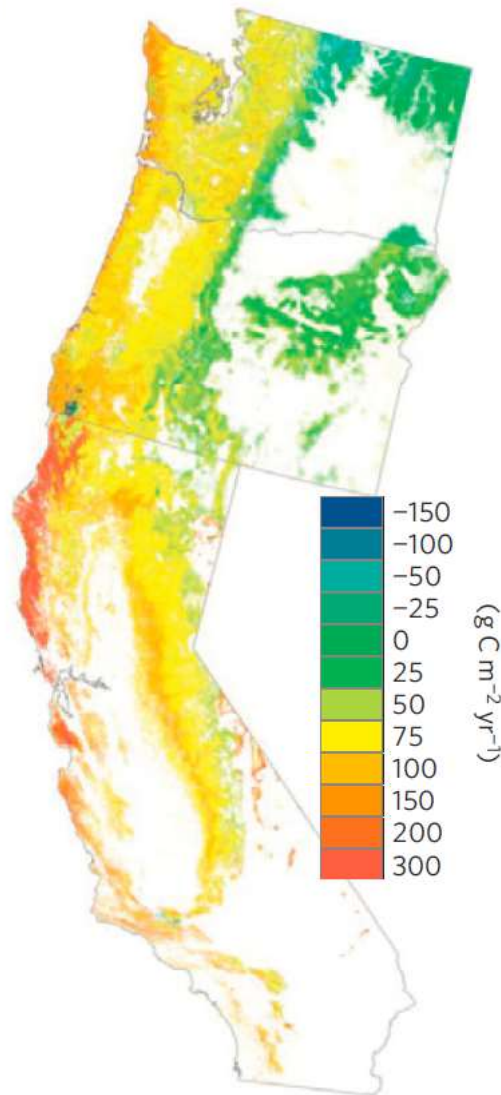
Vergleich Nutzung vs Schutz



- Nutzung ist Schutz desto eher überlegen, je höher Biomassevorräte zu Beginn und je höher der Anteil an langlebigen Holzprodukten
- keine Auswirkung der Nutzung auf Bodenkohlenstoff

Reduziert Bioenergieproduktion C-Emissionen?

a



- Kalifornien, Oregon, Washington
- flächendeckende Durchforstung
 - Bioenergiegewinnung
 - Reduktion des Feuerrisikos
- Wird niedriger C-Vorrat durch reduzierte Emissionen ausgeglichen?
- Inventurdaten + Life-cycle assessment = komplettes C-Budget

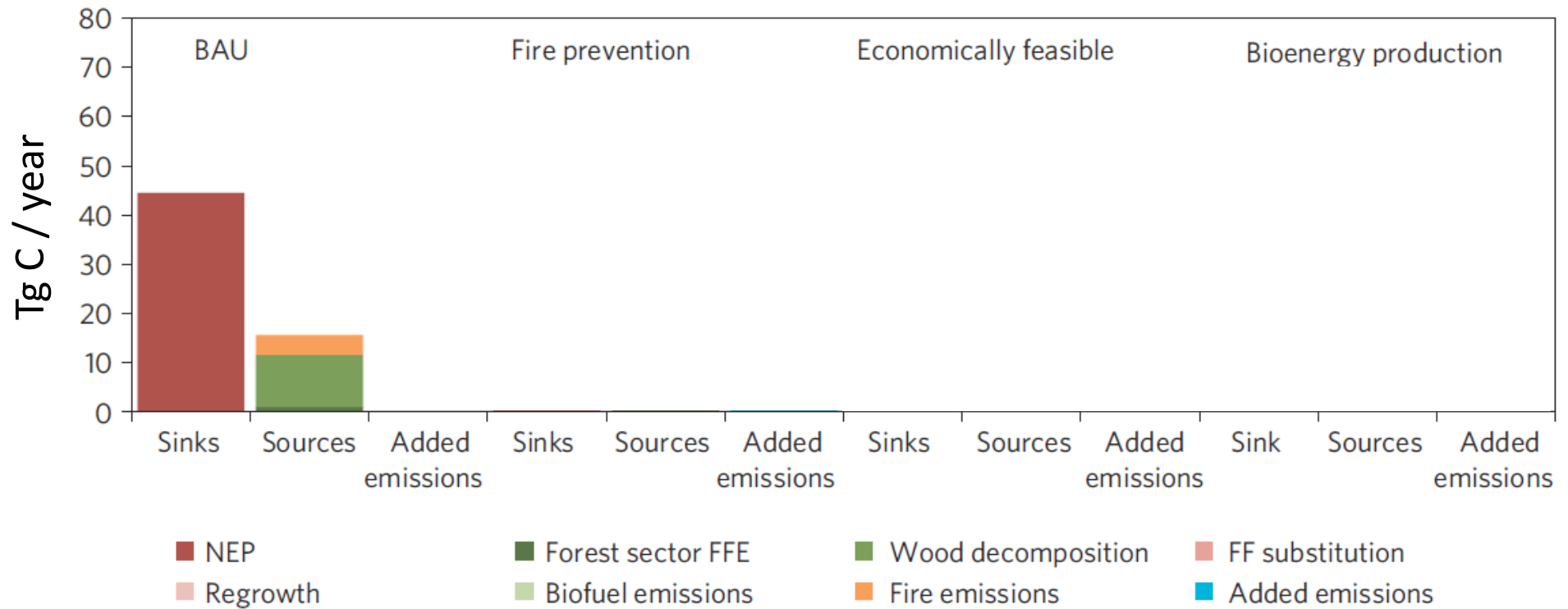
Hudiburg et al. (2011)

Ökobilanz

3 Szenarien

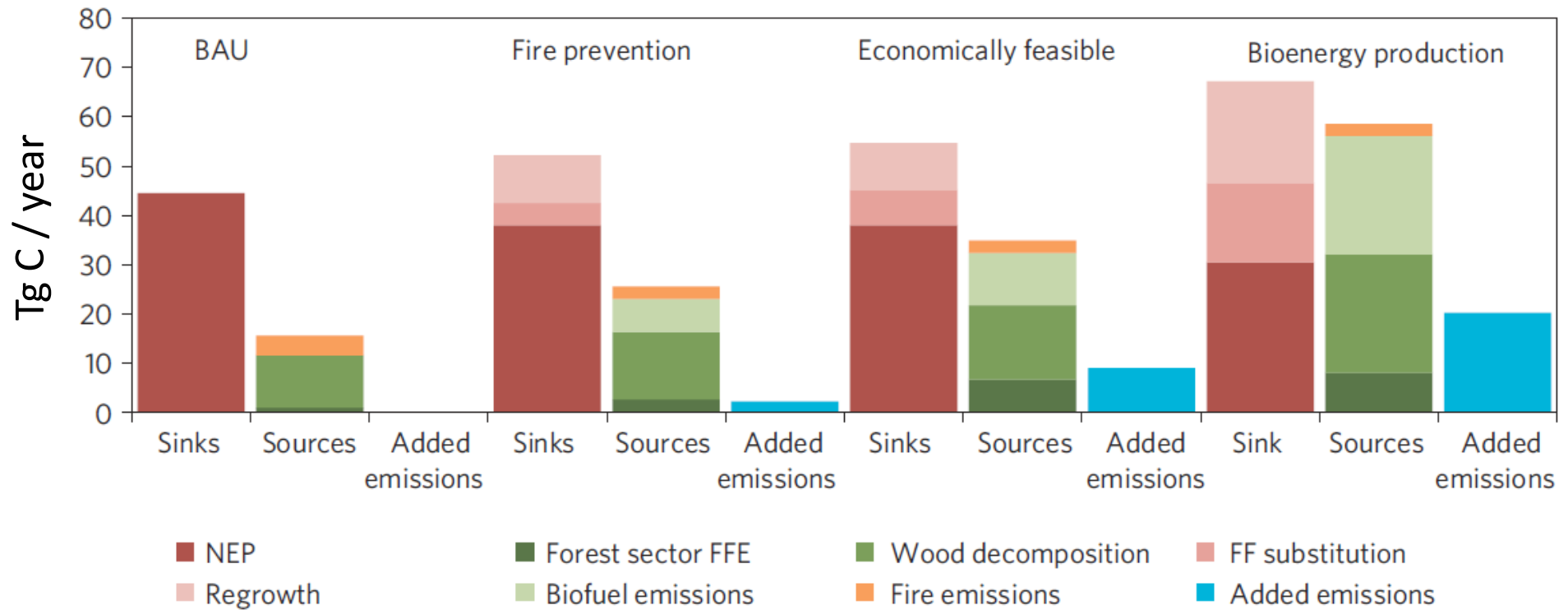
- „Fire prevention“ – Feuerverhütung
- „Economically feasible“ – Feuerverhütung + Ernte vermarktbarer Stämme in feuergefährdeten Regionen
- „Bioenergy production“ – Durchforstung aller Wälder

Ökobilanz



Hudiburg et al. (2011)

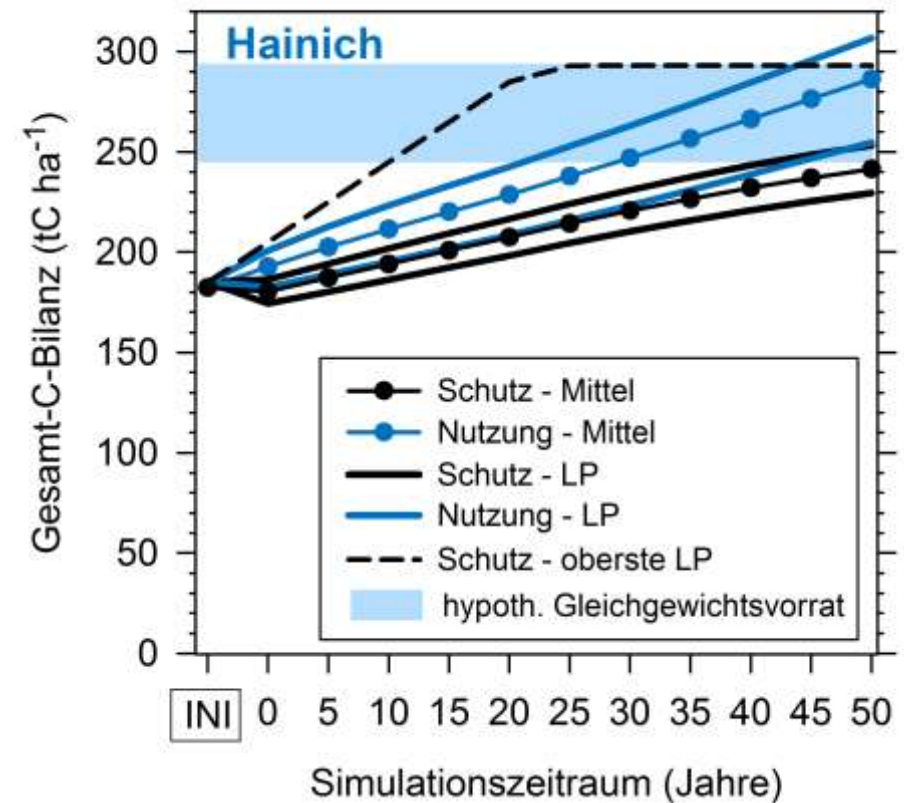
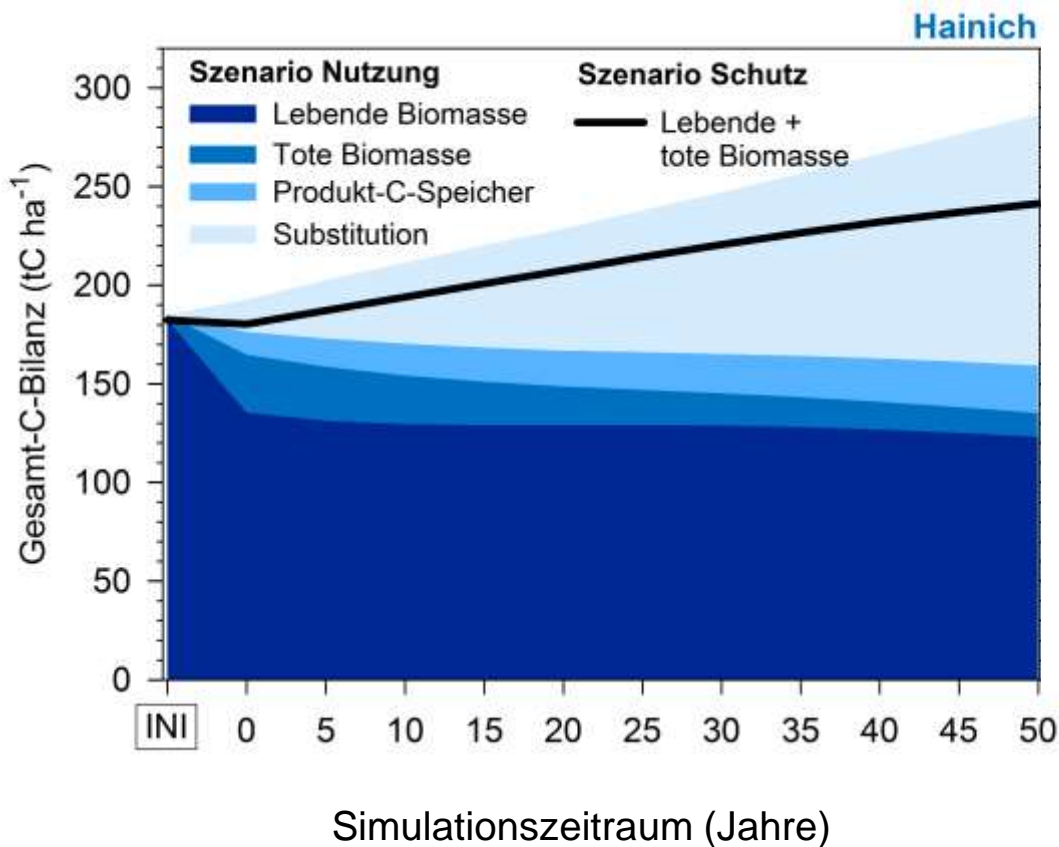
Ökobilanz



- höhere CO₂ Emissionen
- Ausnahmen: besonders feuergefährdete Regionen

Schlussfolgerungen

Schutz vs Nutzung



Große Unsicherheiten und Wissenslücken!

Schlussfolgerungen

Schutz vs Nutzung

- komplette Ökobilanz wichtig
- ökologischer Kontext und Zeithorizont wichtig
- Weniger kann mehr sein...

Schutz von Altwäldern
= Vorratsschutz + Senkenschutz
+ Biodiversitätsschutz + Prozessschutz

Vielen Dank!