



Universität für Bodenkultur Wien  
Department für Wald- und  
Bodenwissenschaften

# Überlegungen zur ökologisch nachhaltigen Biomassennutzung

*Considerations for the ecological sustainability of biomass  
utilization*

Klaus Katzensteiner  
Institut für Waldökologie, BOKU Wien

**4° Simposio Latino-Americano Sobre Manejo Florestal  
Santa Maria de 26 a 28 Novembre 2008**

# **EU Biomasse Aktionsplan / *EU Biomass Action Plan 2005***

## ***EU 20-20-20 Ziele /targets***

### ***Erneuerbare Energieträger / Renewable energy sources***

*2003: 69 Mtoe Biomasse (4 % of the energy demand),*

*Ziel / target 2010: 150 Mtoe Biomasse / biomass total*

*43 Mtoe Biomasse Wald /forest biomass*

*Ziel /target 2020: 20 % Erneuerbare Energieträger*

*/ renewable energy sources*

*Biomasseanteil/ biomass contribution: 230 Mtoe*

*Potentiale Wald /potential from forest: 39 – 72 Mtoe*

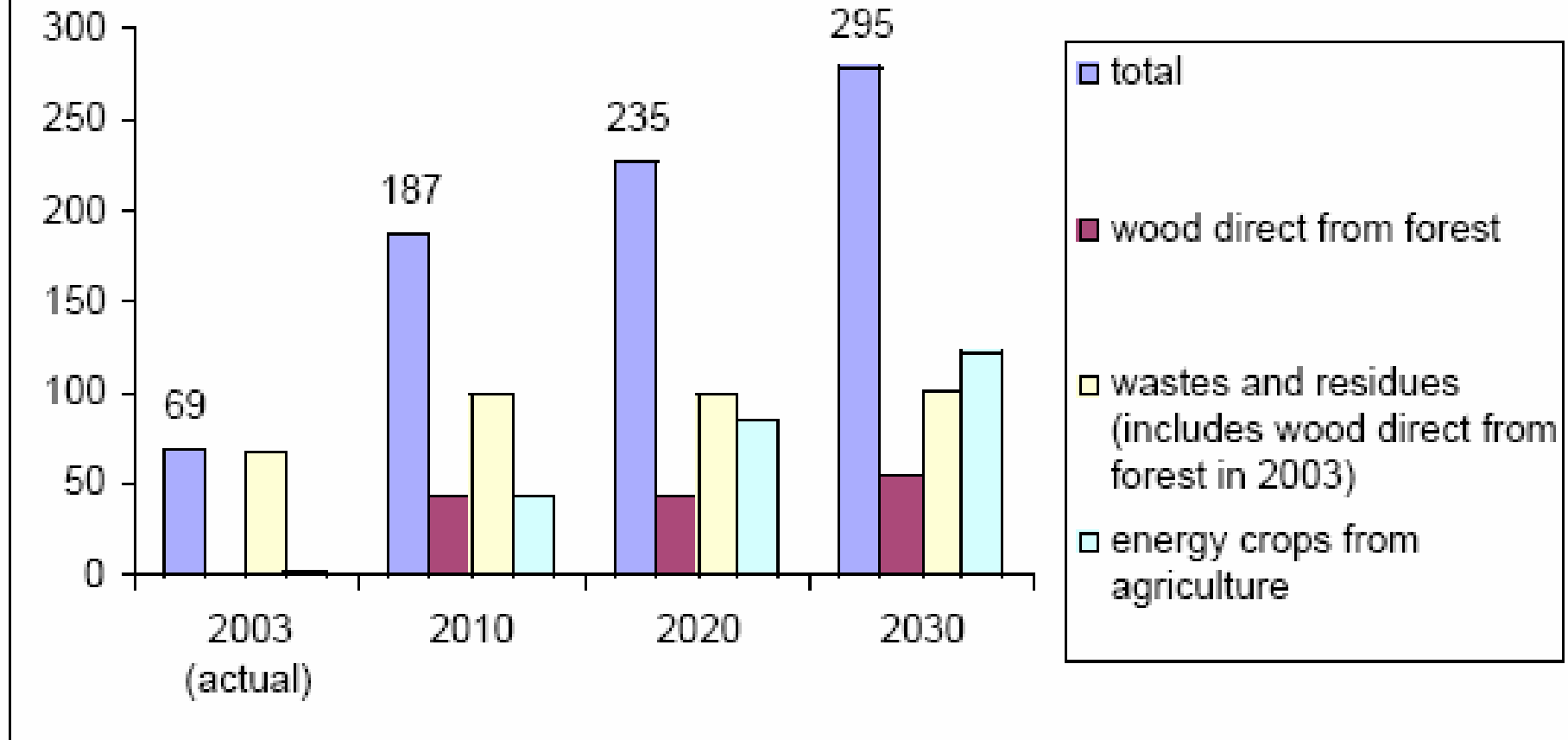
*Österreich / Austria 2020: 34 % Erneuerbare Energieträger*

*/ renewable energy sources*

1 Mtoe (million tons oil equivalent) = 41.87 PJ

1 PJ = 0.13 Millionen m<sup>3</sup> Holz

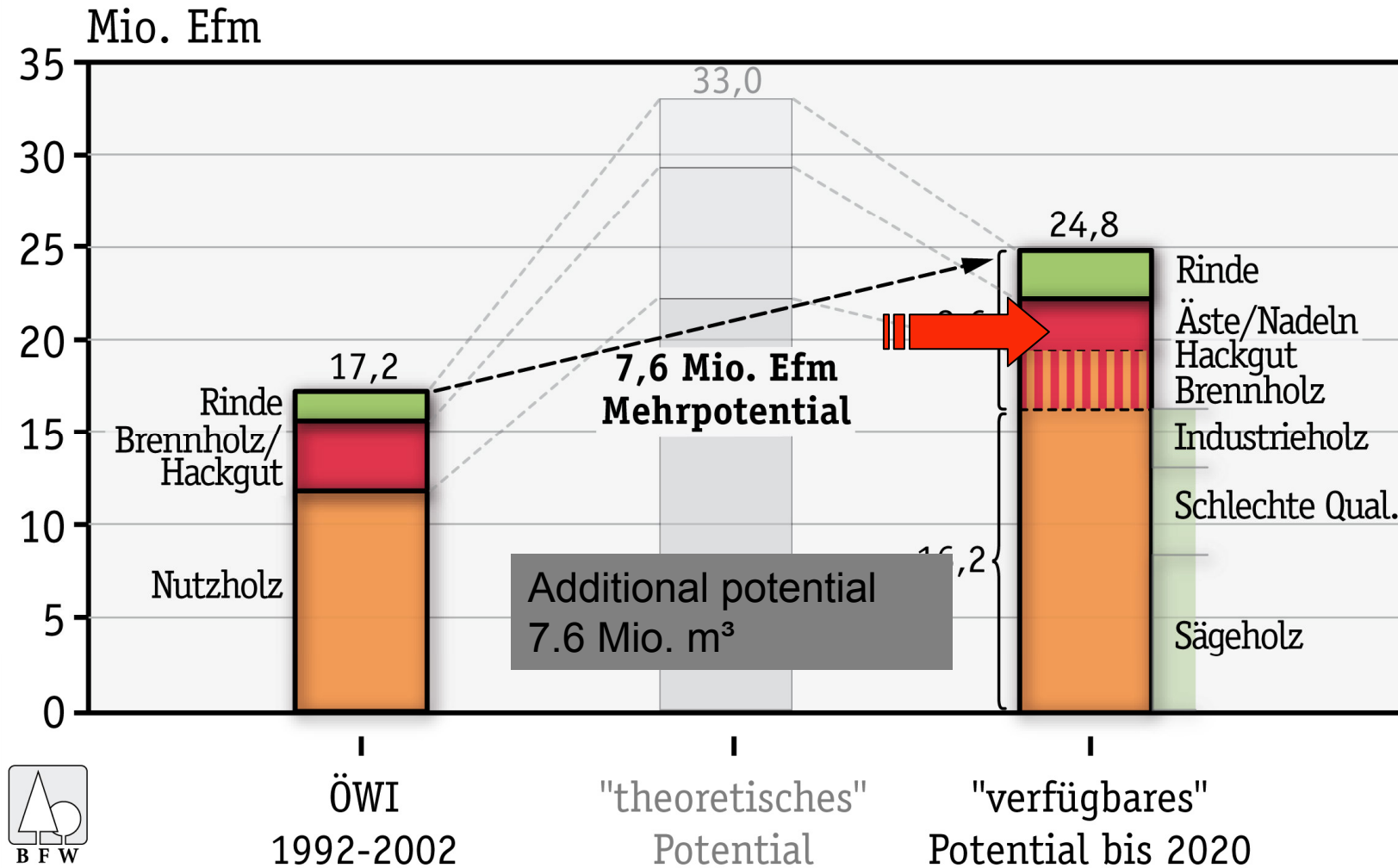
## EU25 biomass production POTENTIAL (mtoe)



Sources: Eurostat (2003) / European Environmental Agency (projections)

Summa, 2008

Austria (47 % forest area) → *Press release by the Minister of Agriculture, Forestry, Environment & Water Management (6th Nov. 2007): the target can be met!*



Utilization of marginal dimensions (branches, leafs...) is expected in this scenarion

# Ansprüche der Gesellschaft an den Wald / *Demands of the society on soil related functions & services of forest ecosystems*

Production



Water



Carbon sequestration



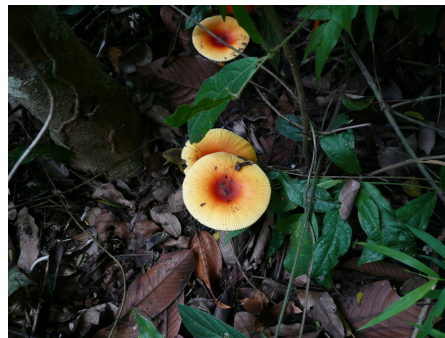
*Kann man die Forstwirtschaft diese Ansprüche befriedigen?  
Is it possible for forestry to meet these demands?*



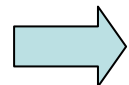
Protection



Biodiversity



*Gleichzeitig auf der  
gleichen Fläche?  
At the same piece of land at  
the same time?*

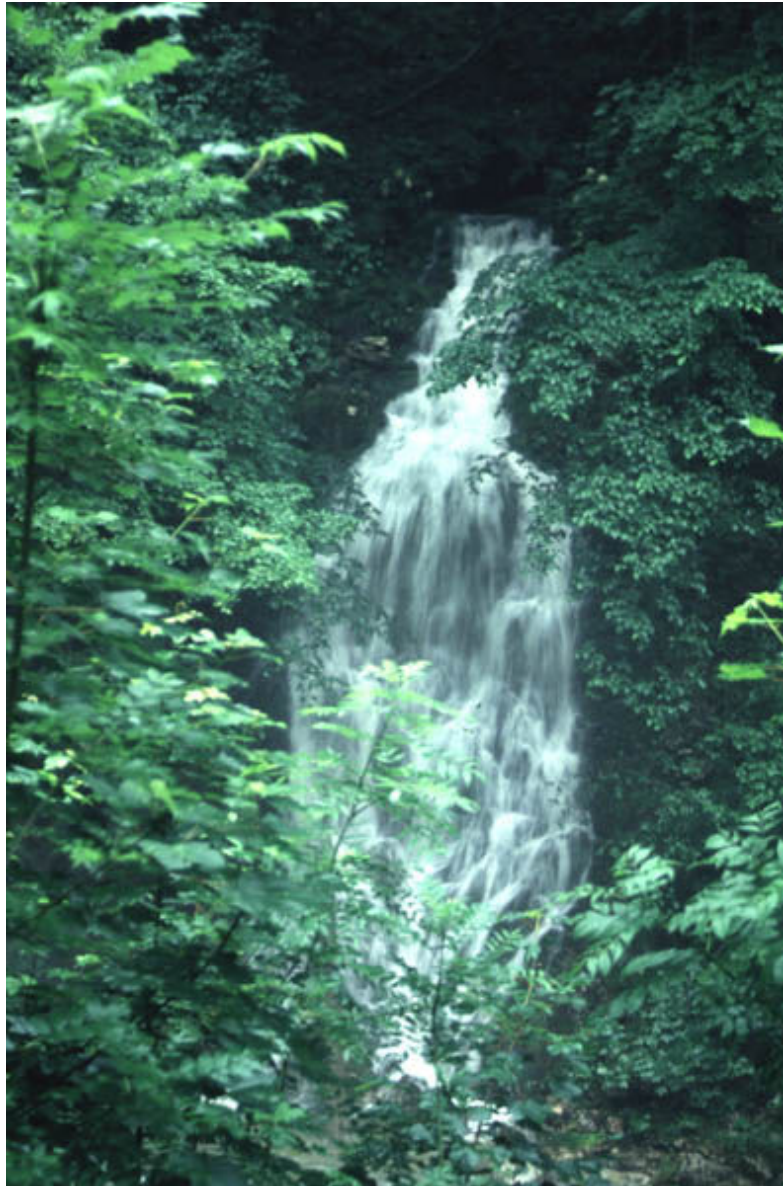


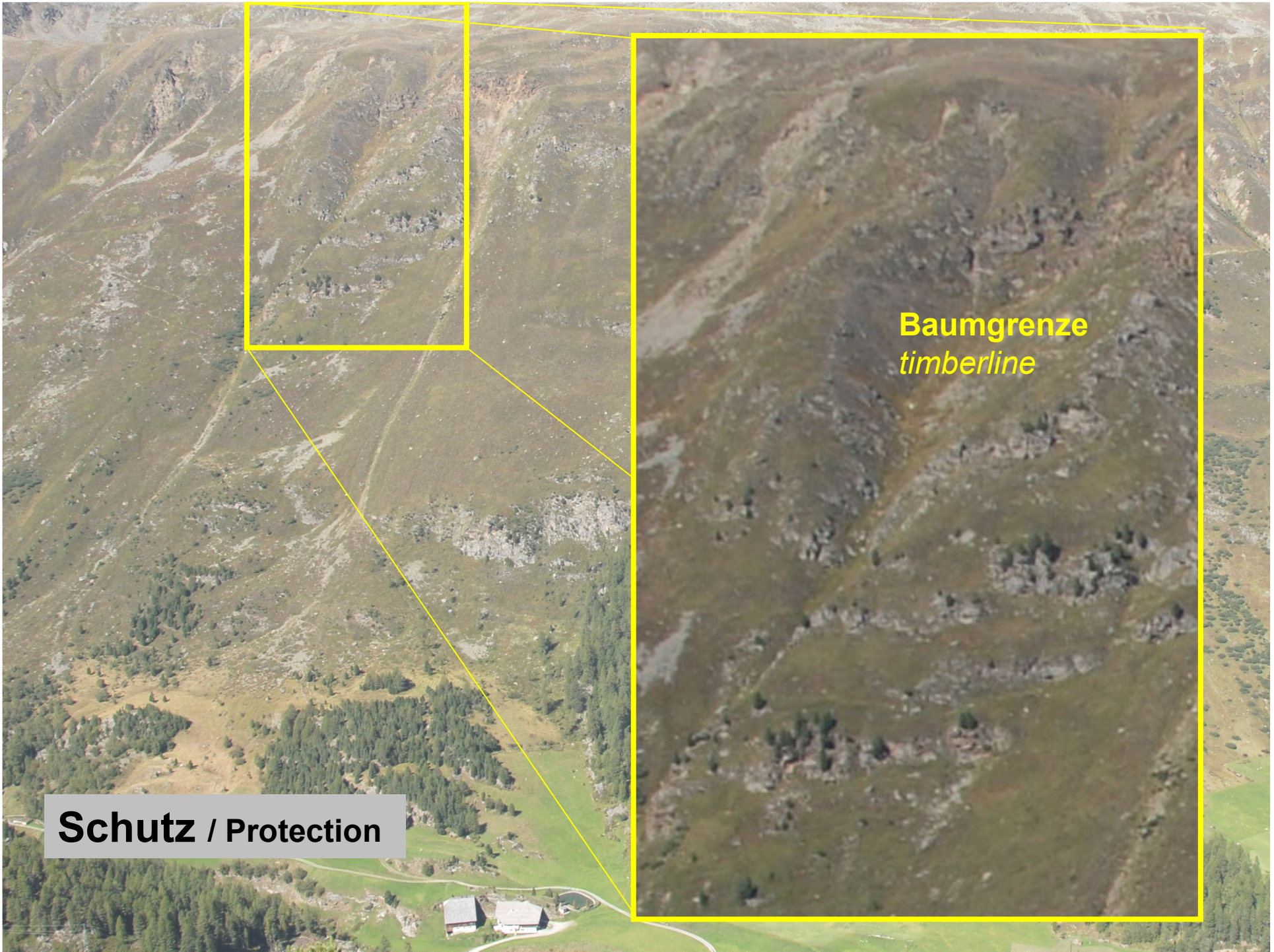
# Produktion / *Production*



# Wasser in zufriedenstellender Quantität und Qualität

*/ water of sufficient quality and quantity*





**Baumgrenze**  
*timberline*

**Schutz / Protection**



## Kohlenstoffsequestrierung/ *Carbon sequestration*



## Sicherung der Biodiversität / *Biodiversity conservation*





Arme Leute, Holz heimtragend. Holzschnitt aus dem  
Buch der Weisheit; Ulm 1483.





Nepal 2008 (©Katzensteiner)



Wurzeln graben /digging roots (Nepal 2008)











Kraft Wärmekopplung / combined heating & power plants  
& biofuels 2<sup>nd</sup> generation

Was wissen wir über die Auswirkungen  
von intensiver Biomassenutzung  
*What do we know about impacts of intensive biomass  
utilization?*

# **Nachhaltigkeit der Nährstoffversorgung**

*Nutritional sustainability*

# Nährstoffgehalte von Derbholz Fichte i.R und Schlagabraum

*Nutrient content timber with bark (Norway spruce) & logging residues*

Nährstoffgehalt [kg]

1 t Holz i.R.

*Stemwood w. bark*

N 0.7

P 0.2

K 0.7

Ca 2.0

Mg 0.3

Nährstoffgehalt [kg]

1 t Reisig mit Nadeln

*Logging residues*

N 6.5

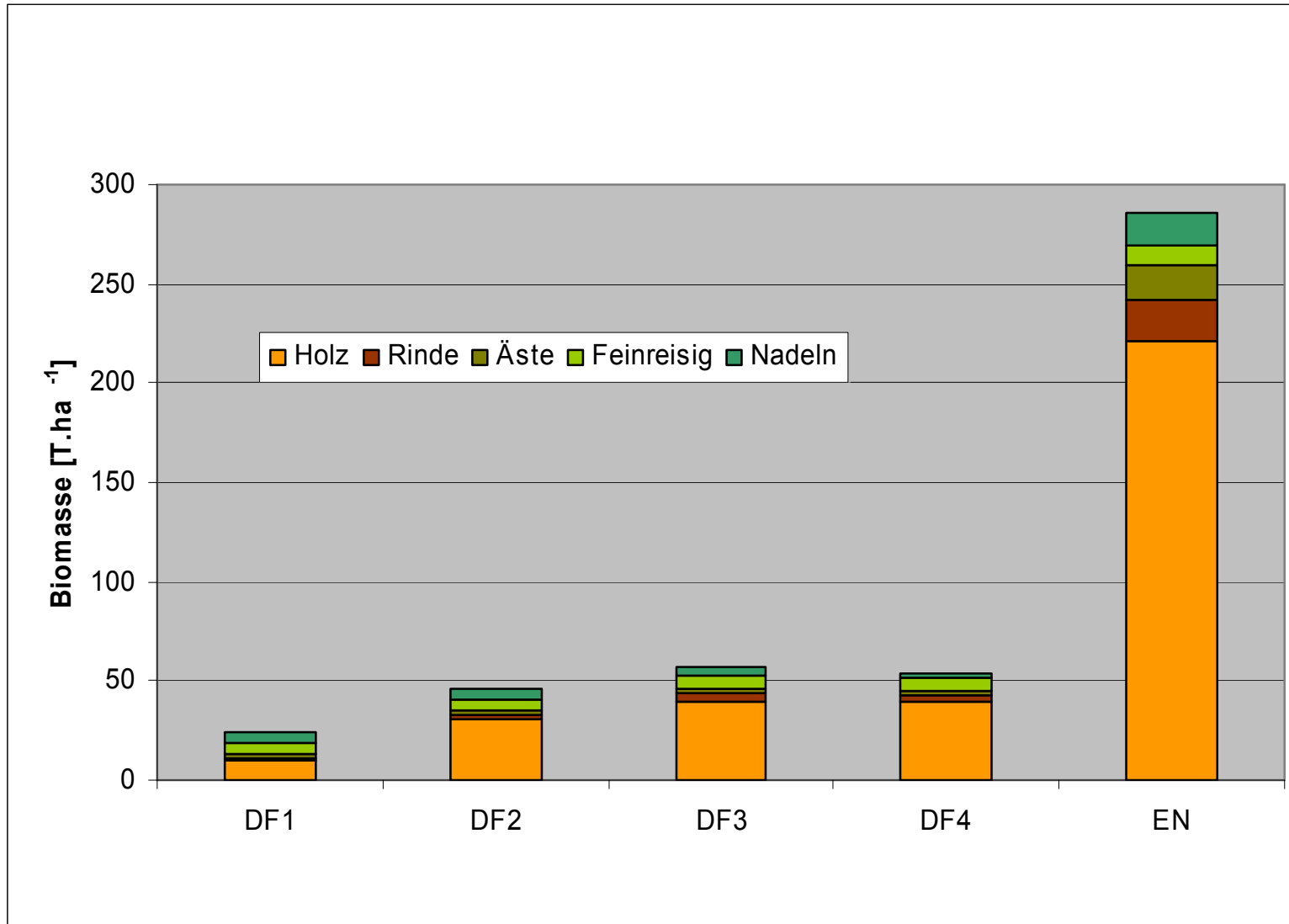
P 0.9

K 3.8

Ca 6.5

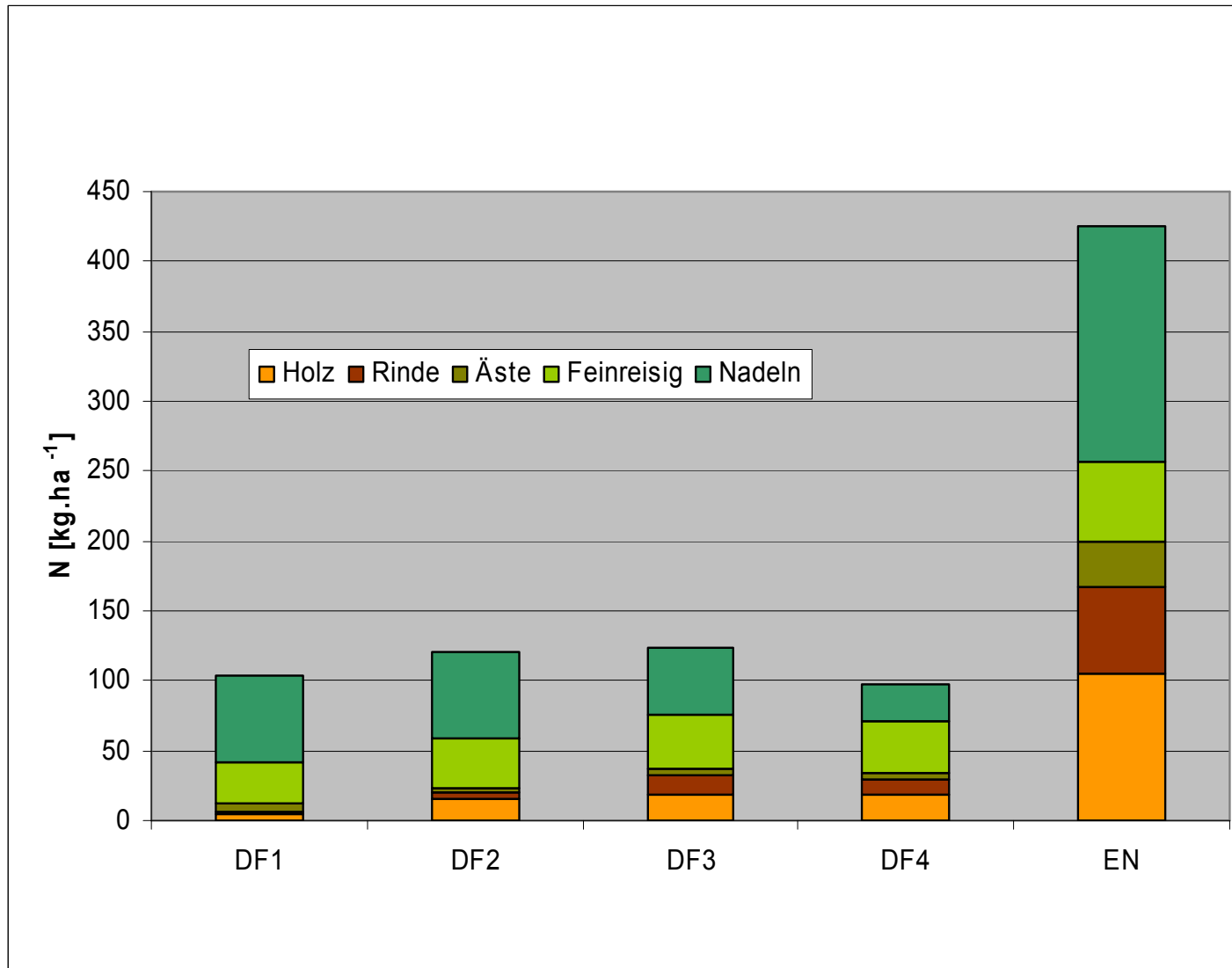
Mg 1.1

# Potentielle Entzüge von Biomasse und Nährstoffen bei Vor- und Endnutzung in einem Fichtenbestand 9. Bonität (Daten n. Englisch, 1987)

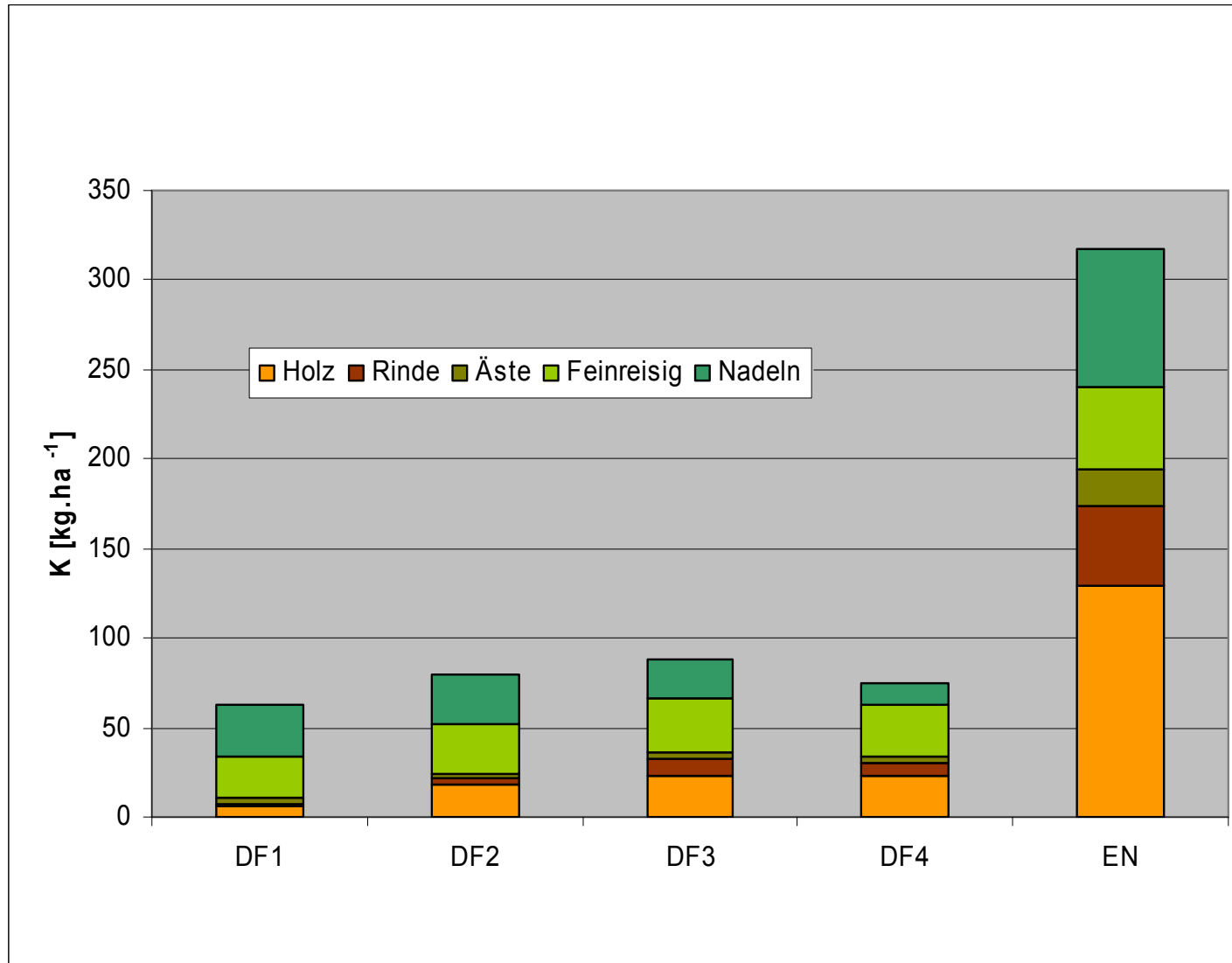


*Above ground biomass & nutrient removal (Norway spruce, 9<sup>th</sup> yield class)*

# Potentielle Entzüge von Biomasse und Nährstoffen bei Vor- und Endnutzung in einem Fichtenbestand 9. Bonität (Daten n. Englisch, 1987)

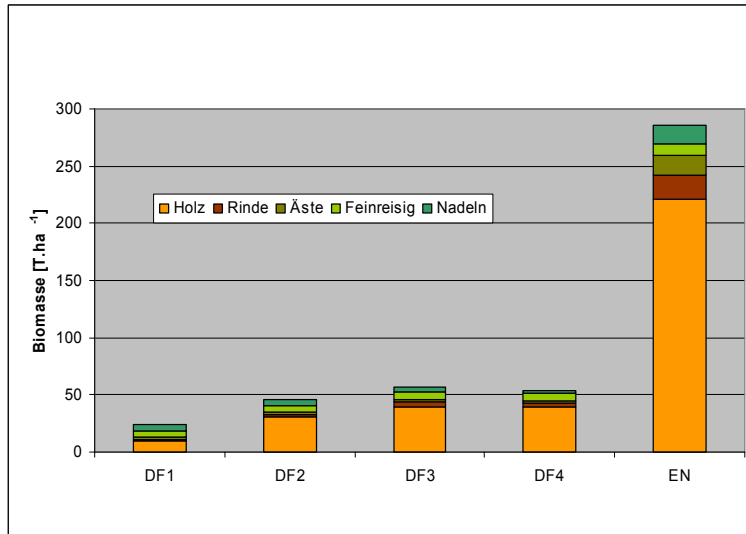


# Potentielle Entzüge von Biomasse und Nährstoffen bei Vor- und Endnutzung in einem Fichtenbestand 9. Bonität (Daten n. Englisch, 1987)

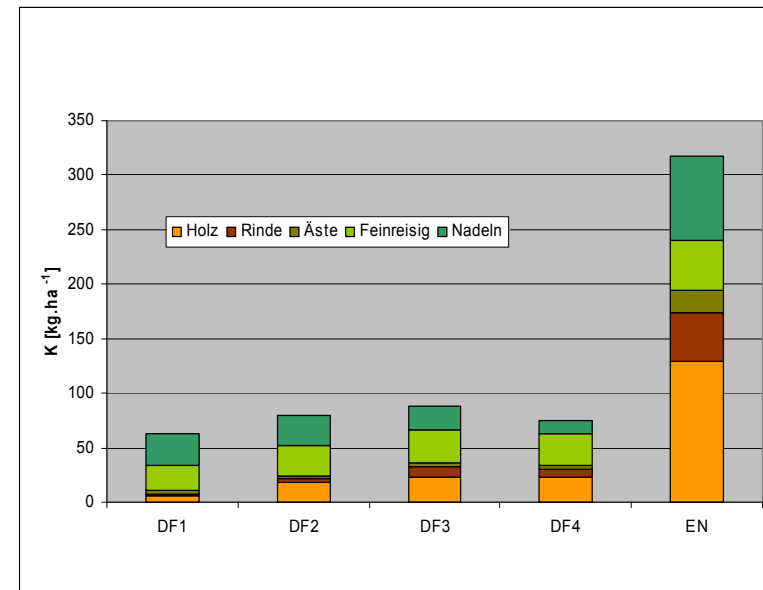
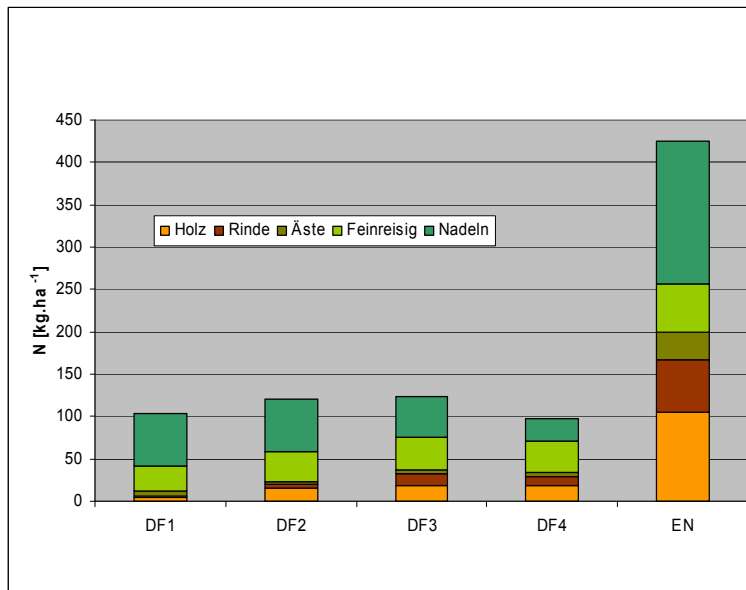


*Above ground biomass & nutrient removal (Norway spruce, 9<sup>th</sup> yield class)*





Potentielle Entzüge von Biomasse und Nährstoffen bei Vor- und Endnutzung in einem Fichtenbestand 9. Bonität (Daten n. Englisch, 1987)



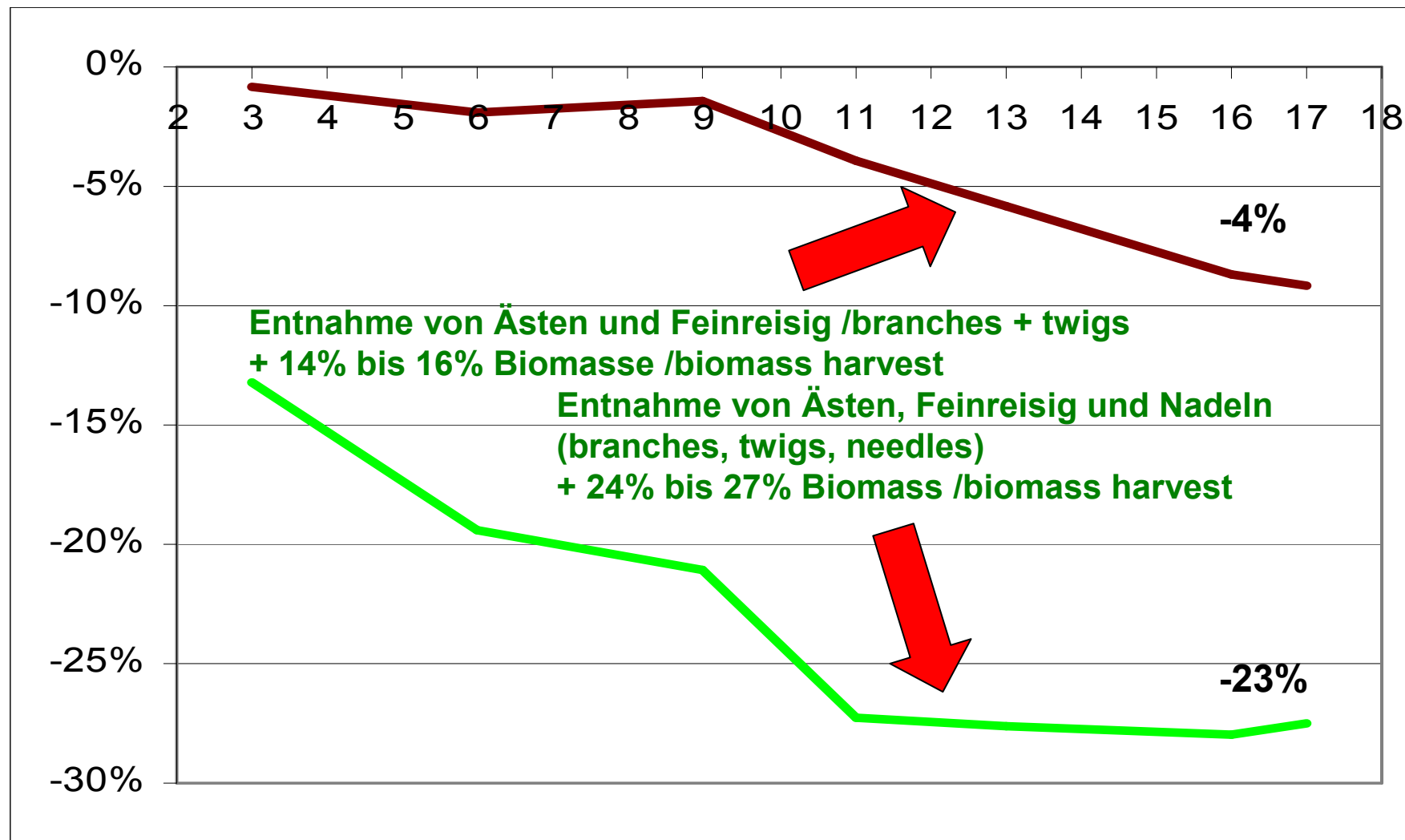
*Above ground biomass & nutrient removal (Norway spruce, 9<sup>th</sup> yield class)*

Düngung ist in der Europäischen Forstwirtschaft nicht üblich  
*Fertilization is not common in Central European forestry*



# Die Konsequenz intensiver Biomassennutzung / *the consequence:* *Zuwachsrückgang* / *Growth reduction!*

*Beispiel frühe Durchforstung* / *example early thinning*



(Mittel aus 3 Versuchsanlagen, Sterba, 2003)

Skandinavische Untersuchungen /Scandinavian examples:

Durchforstung + Entnahme von Schlagabraum gegenüber  
Stammholz i. R.: 5 % (Kiefer) bis 10 % (Fichte) Zuwachsrückgang

Thinning + removal of residual biomass: growth reduction 5 % (pine) to 10 % (spruce)  
*(16 trials, Jacobson et al., 2000)*

Endnutzung, Vollbaum vs. Stammholz i. R. (Kiefer):

Zuwachsunterschied in der Folgegeneration 20 %

Final harvest, whole tree harvesting (pine): 20 % growth difference in the successive generation compared to stemwood only (Egnell & Valinger, 2003)

# Nährstoffbilanzen /nutrient balances

ein Entscheidungswerkzeug für die Nutzungsplanung?  
a management tool?

$\Delta$  **Nährstoffkapital**  $\Delta$  nutrient stock

=

**Eintrag aus der Atmosphäre** input from the atmosphere  
**+ Freisetzung aus Mineralverwitterung** input from mineral weathering  
**+ Düngung** fertilization

**- Austrag mit dem Sickerwasser** losses with seepage  
**- Austrag durch Ernte** losses with harvest

# Nährstoffvorrat Biomasse

*nutrient stocks in the biomass*

→ Oberirdische Biomasse lässt sich gut modellieren  
*above ground biomass is easy to predict with models*

→ Geringe Variabilität der Nährstoffgehalte innerhalb der  
Biomassekompartimente für eine Baumart  
low variability of nutrient concentration within biomass compartments per tree  
species

→ Nährstoffentzüge mit der Biomasse in Abhängigkeit von  
der Nutzungsintensität lassen sich gut vorhersagen  
Nutrient extractions are easy to predict

Koeffizienten der Funktionen zur Berechnung der Biomassen- und Nährstoffvorräte (und damit der potentiellen Entzüge) für Fichte im Versuch Wilhelmsburg (Katzensteiner, 2007)  
*Coefficients for the calculation of biomass & nutrient contents*

$$\ln(X) = \text{intercept} + \ln(\text{BHD}) + \ln(\text{H}) + \ln(1-\text{CRA})$$

Parameter	ln (NTM)	ln (ATM)	ln (N Nadel)	ln (S Nadel)	ln (P Nadel)	ln (K Nadel)	ln (Ca Nadel)	ln (Mg Nadel)
intercept	-7.1060	-5.4505	-4.4744	-6.0766	-6.7707	-5.6986	-3.3547	-5.8798
ln (BHD)	1.2758	1.5898	1.4449	1.3593	1.1676	1.4805	1.4462	1.2052
ln (H)	2.4104	1.8908	2.2999	2.1024	2.3471	2.2536	1.8701	2.1957
ln (1 - CRA)	-1.9884	-3.7874	-2.2071	-2.3180	-1.9918	-1.8349	-2.6776	-2.8263
r <sup>2</sup>	0.9770	0.9700	0.9728	0.9719	0.9730	0.9780	0.9208	0.9724

NTM...Nadel trockenmasse [kg]  
 ATM...Ast/Zweig trockenmasse [kg]  
 N, P, S, K, Ca, Mg...Nährstoffgehalte [kg]  
 BHD...Brusthöhendurchmesser [cm]  
 H.....Baumhöhe [m]  
 CRA...Kronenlänge/Baumhöhe [m.m<sup>-1</sup>]

*needle dry mass*  
*branch dry mass*  
*nutrient contents*  
*dbh*  
*tree height*  
*crown ratio*

# Nährstoffentzug hängt von Baumart, Nutzungsintensität und Standort ab

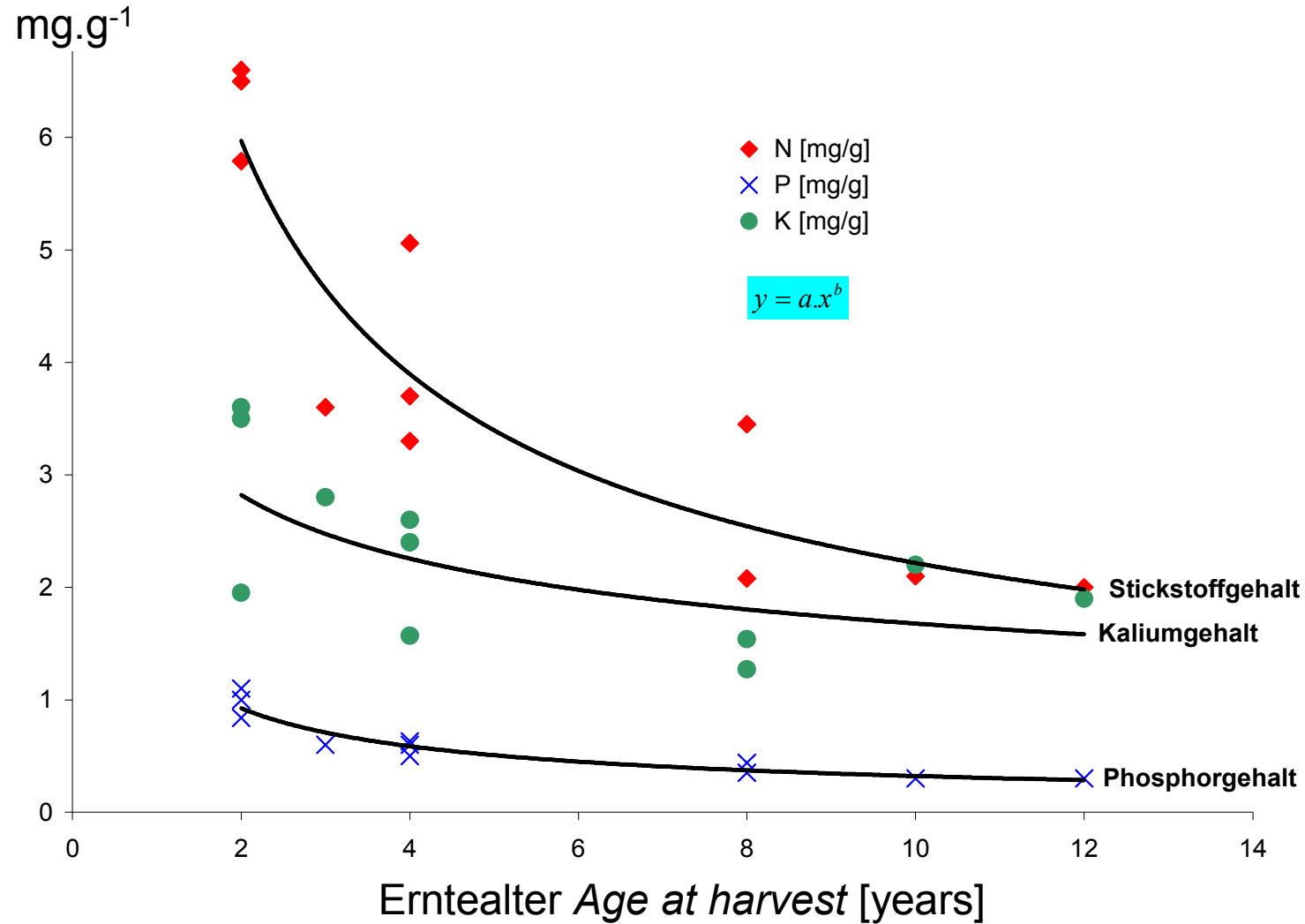
nutrient removal depends on tree species, site & utilization intensity

	Nutrient extraction with logging residues in early thinnings [kg.ha <sup>-1</sup> ] (Jacobsen et al., 2000)				
	<b>Norway spruce</b>			<b>Scots pine</b>	
	Mean	Stdev.		Mean	Stdev.
<b>N</b>	91	21		41	11
<b>P</b>	11	5		4	1
<b>K</b>	34	12		16	4
<b>Ca</b>	68	42		20	5
<b>Mg</b>	10	2		4	1



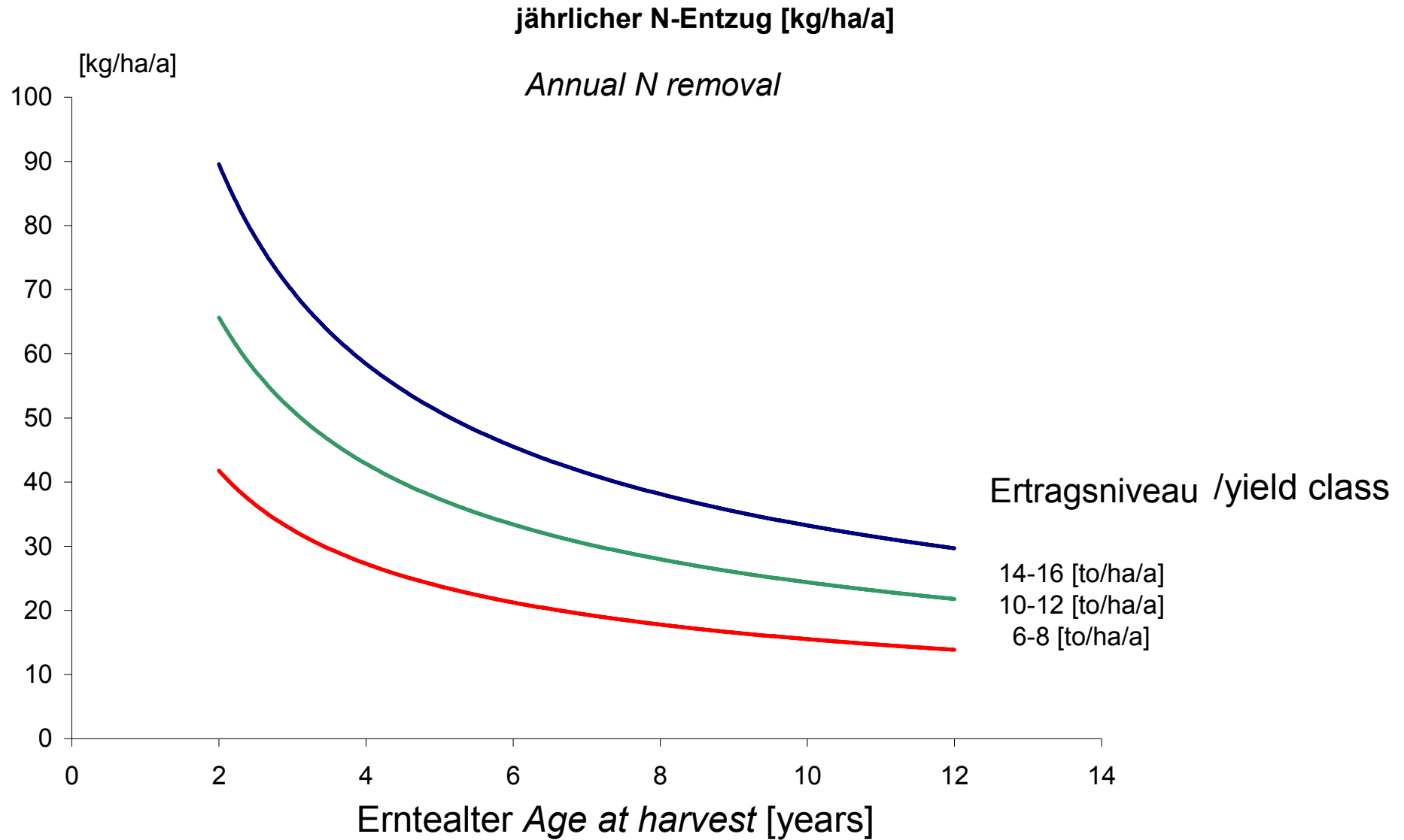
# Nährstoffkonzentration im Erntegut von Kurzumtriebsbeständen

*Nutrient concentration of short rotation woody crops*



# Nährstoffentzüge durch Ernte von Kurzumtriebsbeständen

*Nutrient removal with harvest of SRWC*



Effizienz der Nährstoffnutzung (g Trockenmasse . g<sup>-1</sup> Nährstoff)

*Nutrient use efficiency of energy crops (g dry matter . g<sup>-1</sup> nutrient)*

*Simplified calculation as a ratio of biomass & nutrient content at time of harvest*

(Jorgensen & Schelde 2001)

	N	P	K
Wood chips	143-1000	5000	250-2000
Poplar	145-370	1000-2000	78-556
Willow	152-244	909-1429	323-500
Miscanthus	135-407	526-5000	78-556
Straw	67-333	500-3333	53-500
Corn	66-111	333-556	86-161

Nährstoffvorräte im Boden (*nutrient contents soil*)

→ Hohe Variabilität, Analysen nötig (*high variability, analyses necessary*)

Raten der Mineralverwitterung (*weathering rates*)

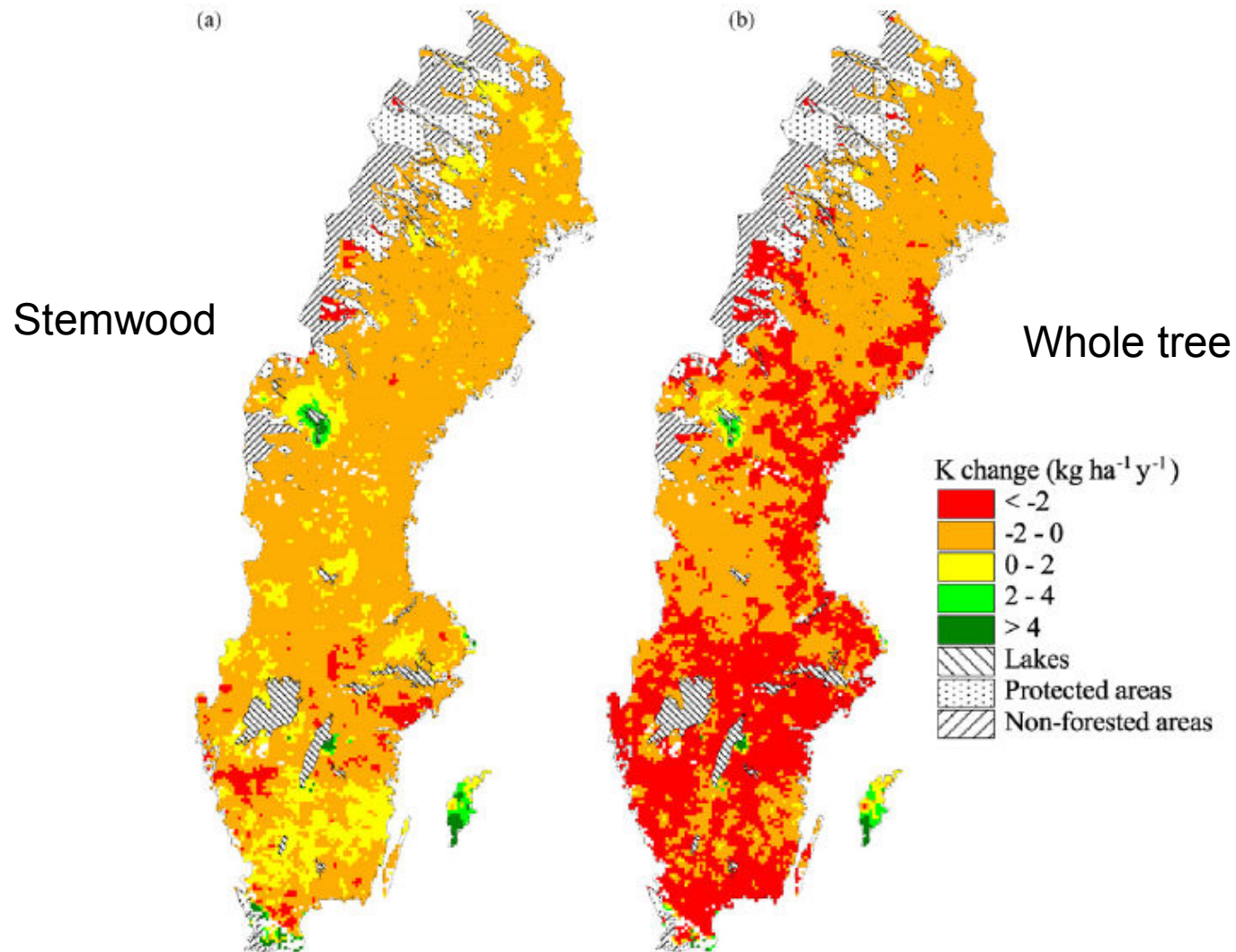
+ **Gute Modelle** (*reliable models*) (Beispiel PROFILE)

Eingangsparameter (*input parameters*):

Klimadaten (*climate data*) → gute Datenbasis (*good data base*)

Mineralogische Daten (*mineralogical data*) → Bodeninformation  
notwendig (*soil information is necessary*)

# Kaliumbilanz *K-balance* für Schweden für unterschiedliche Nutzungsintensitäten (Axelsson et al. 2006)



a. Stammholz i.R.

b. Vollbaum

Für Kurzumtriebsflächen mit hohen Entzugsraten reichen die Raten der Mineralverwitterung und der Eintrag nicht um die pflanzenverfügbaren Nährstoffpools zu erhalten!

*For SRWC the nutrient losses with harvest are too high to be compensated by mineral weathering and atmospheric deposition!*

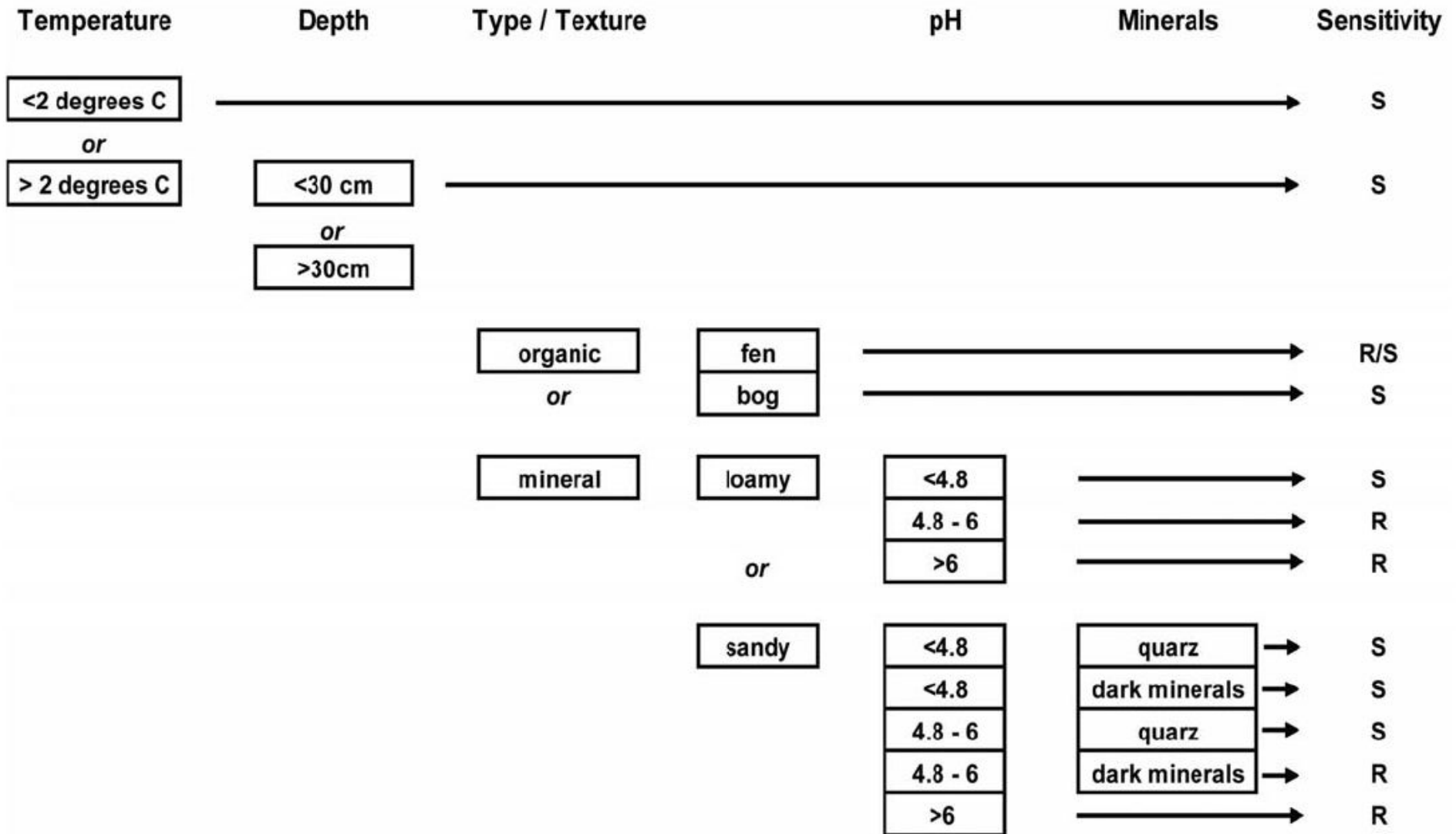
Für Hochwald mit langen Umtriebszeiten fehlen für betriebliche Anwendungen meist die Daten um Nährstoffbilanzen zu rechnen.

*For high forests the data on soil chemistry and mineralogy are frequently not available to calculate nutrient budgets.*

Einfachere Lösungsansätze *simple solutions*

Reiche Standorte haben eine höhere Resilienz  
*Rich sites have a higher resilience*

# Classification of soils as robust or sensitive (Raulund Rasmussen)





# Vorschlag Meiwes et al. 2008:

## *Suggestion*

‚Ampelsystem‘: Anteil der in der Biomasse gespeicherten Nährstoffvorräte an Gesamtvorrat (verfügbare/austauschbare Bodenvorräte + Biomasse) als Entscheidungsbasis für Nutzung

**Traffic light system** utilisation based upon nutrient content of biomass/total nutrient stock biomass + available/exchangeable nutrients in the soil

<b>Anteile der Nährstoffvorräte in der Biomasse am Gesamtvorrat und Nutzungsrestriktionen</b>				
<b>Wertebereich</b>	<b>Anteil an Ca+Mg+K</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>Restriktion</b>
		<b>[%]</b>		
<b>unterer</b>	<b>50-90</b>	<b>25 - 40</b>	<b>60 - 80</b>	<b>hoch</b>
<b>mittlerer</b>	<b>25-50</b>	<b>10 - 25</b>	<b>30 - 60</b>	<b>mittel</b>
<b>oberer</b>	<b>1-25</b>	<b>1 - 10</b>	<b>1 - 30</b>	<b>wenig</b>

red: severe restrictions

yellow: restrictions

green: no restrictions

# Beispiel Ernte empfindlicher Fichtenbestand auf Rendzina

Example harvest of a spruce stand on a lithic leptosol (sensitive site)

(Katzensteiner, 2000):



	N	P	K
<b>Gesamtvorrat [kg.ha] total</b>	<b>3050</b>	<b>180</b>	<b>360</b>
	<b>[%] von Vorrat</b>		
Zweige, Äste, Nadeln	8.9	12.7	16.8
Stammholz i.R.	5.2	8.9	28.7
Bodenvegetation	0.2	0.3	1.2
Flechten	0.7	0.4	0.9
Wurzeln	4.4	6.6	10.1
<b>Biomasse biomass</b>	<b>19.4</b>	<b>28.9</b>	<b>57.7</b>
<b>Boden soil</b>	<b>80.6</b>	<b>71.7</b>	<b>42.3</b>

**Ernte Stammholz in Rinde harvest stemwood only: 25 % des K**

**Auswaschungsverluste in 3 Jahren nach Kahlschlag leaching: 17 % des K**

**Gesamtverluste total losses: 42 % des gesamten K-Vorrates 42 % of the total K stock**

# Ein methodischer Ansatz für die die Entwicklung von betrieblichen Planungsgrundlagen

Standortserkundung (Catena-Prinzip) &

Standortsklassifikation

Chemische/Mineralogische Analyse repräsentativer  
Bodenproben

Upscaling mit Hilfe von digitalem Geländemodell,  
geologischen Hintergrundinformationen, Klimadaten  
= vom Punkt zur Fläche

Verknüpfung mit Bestandesdaten

Errechnung von Nutzungsszenarien mit komplexen  
Nährstoffhaushaltsmodellen

***A methodological approach: site survey & classification + analysis of representative soil profiles → scaling up (models using DTM, geological data, climate data)  
Combination with forest stand information  
→ Scenario calculation using complex nutrient cycling models***

# **Kohlenstoffhaushalt**

*Carbon budgets*

# Plantagen als Alternative zur konventionellen Forstwirtschaft?

*Plantations as an alternative to intensified forest utilization?*

+ gutes Wachstum auf degradierten Agrarflächen

*they grow well on degraded agricultural land*

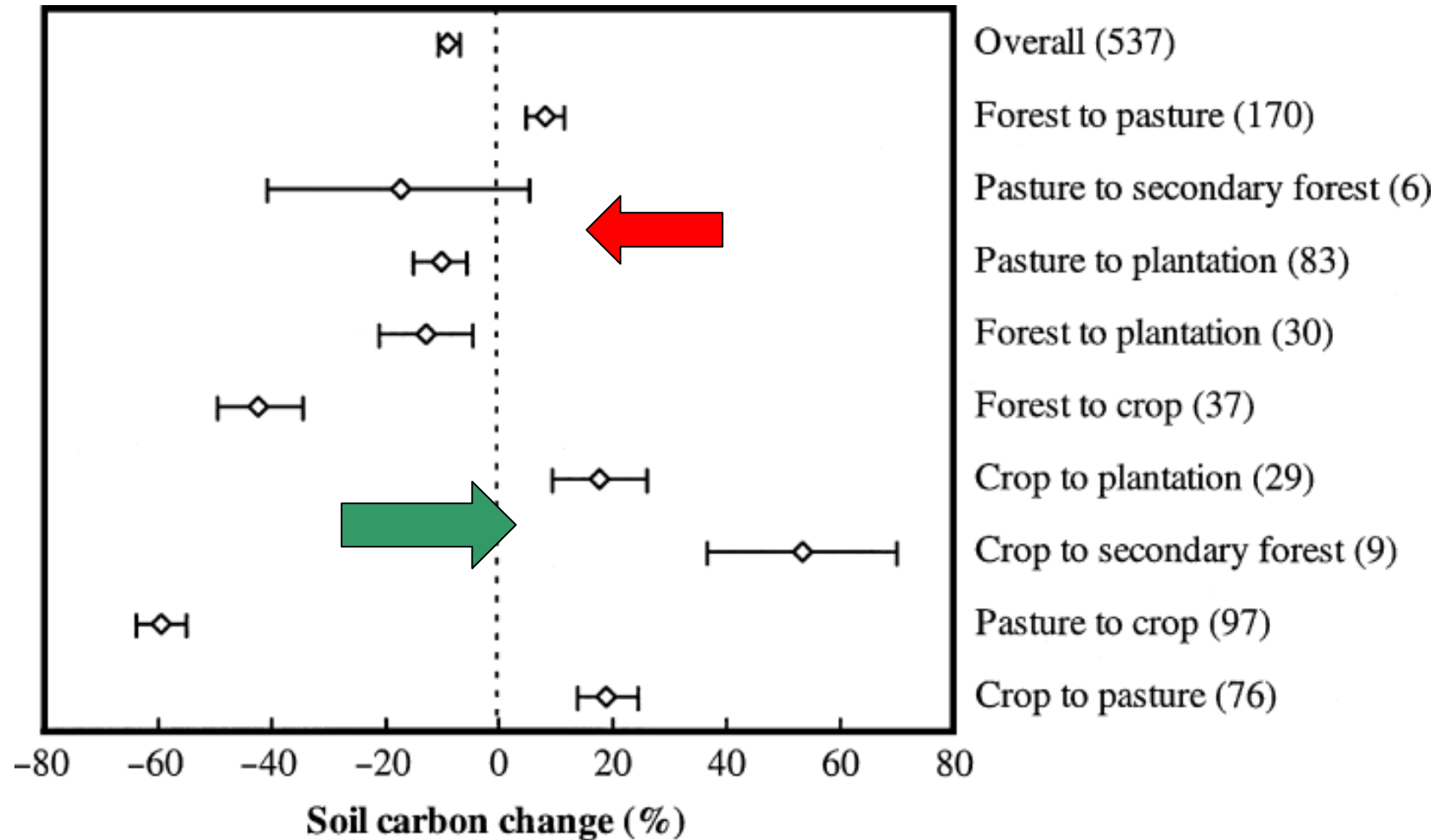


+ Im Fall der Umwandlung von Agrarflächen in Wald positive Auswirkungen auf Kohlenstoffspeicherung im Boden

*in case of conversion from agriculture they may have positive effects on carbon sequestration in soils*

# Änderung der Landnutzung und C-Sequestrierung im Boden

*Land use change and carbon sequestration in forest soils*



Guo and Gifford (2003)

# **Wasserhaushalt**

*Water balance*

## Wassernutzungseffizienz von Energiepflanzen

*Water use efficiency of energy crops*

WUE = g Trockenmasse / kg Wasserverbrauch

WUE = g dry matter production / kg water use

C4 plants ~ 2\*C3 plants

*Miscanthus*: 3.4 – 9.5 g dry matter (above ground) . kg<sup>-1</sup> EIT)

*Salix*: 0.3 to 3.7 g dry matter (stem only) . kg<sup>-1</sup> EIT

*Eucalyptus*: 1.5 to 4.5 g (above ground) . kg<sup>-1</sup> EIT

(Jorgensen & Schelde 2001, Stape et al., 2004)



*Wald ist ein größerer Wasserverbraucher  
als andere Nutzungsarten*

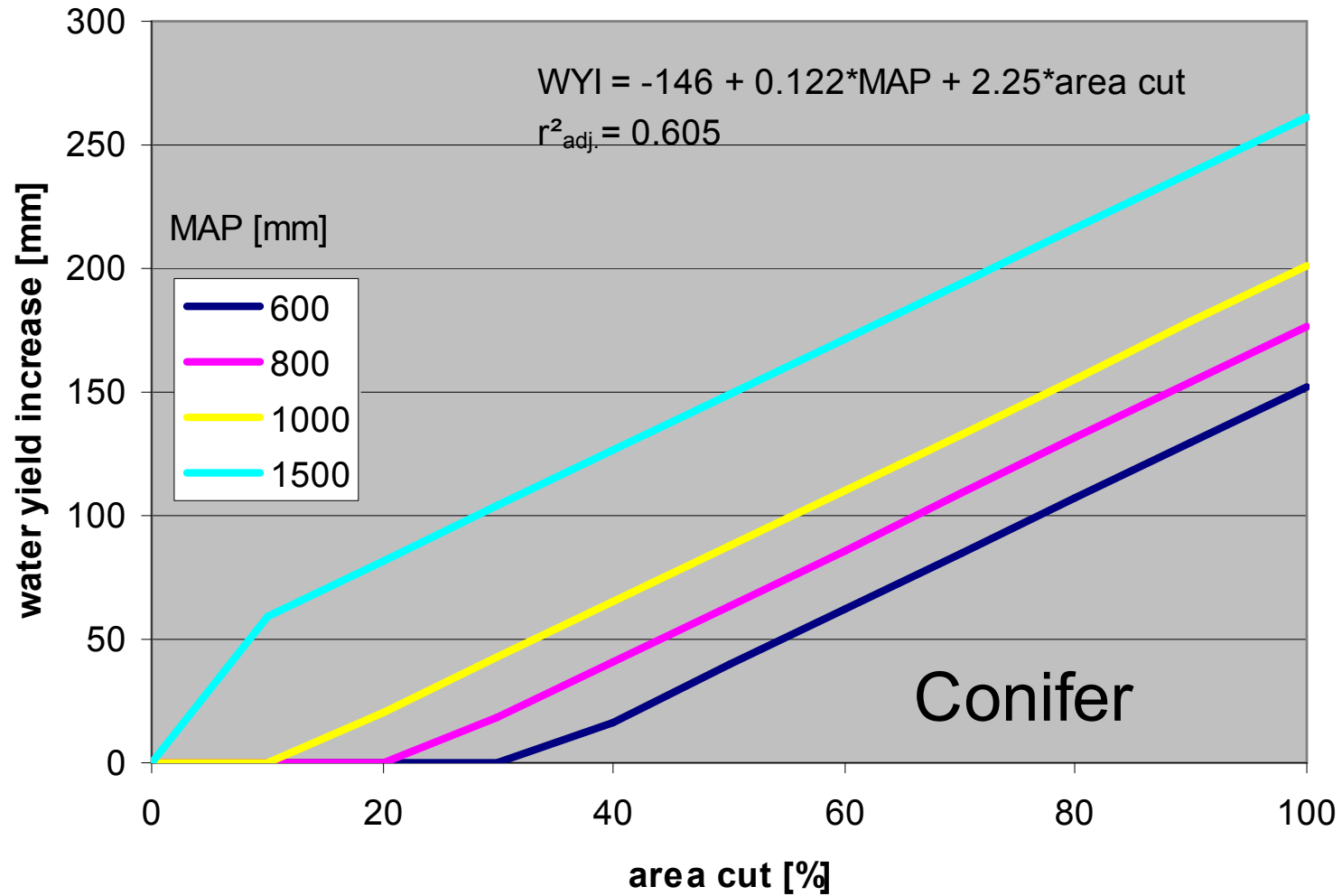
*→ Es besteht ein straffer Zusammenhang  
zwischen Waldflächenanteil und  
Wasserverbrauch*

*Forests have a higher water consumption than other  
vegetation types*

*→ There is a strong relation of forest area and water use*

# Water yield, water use = f (% area cut, species conif/broadl., climate)

Meta analysis → regression based model

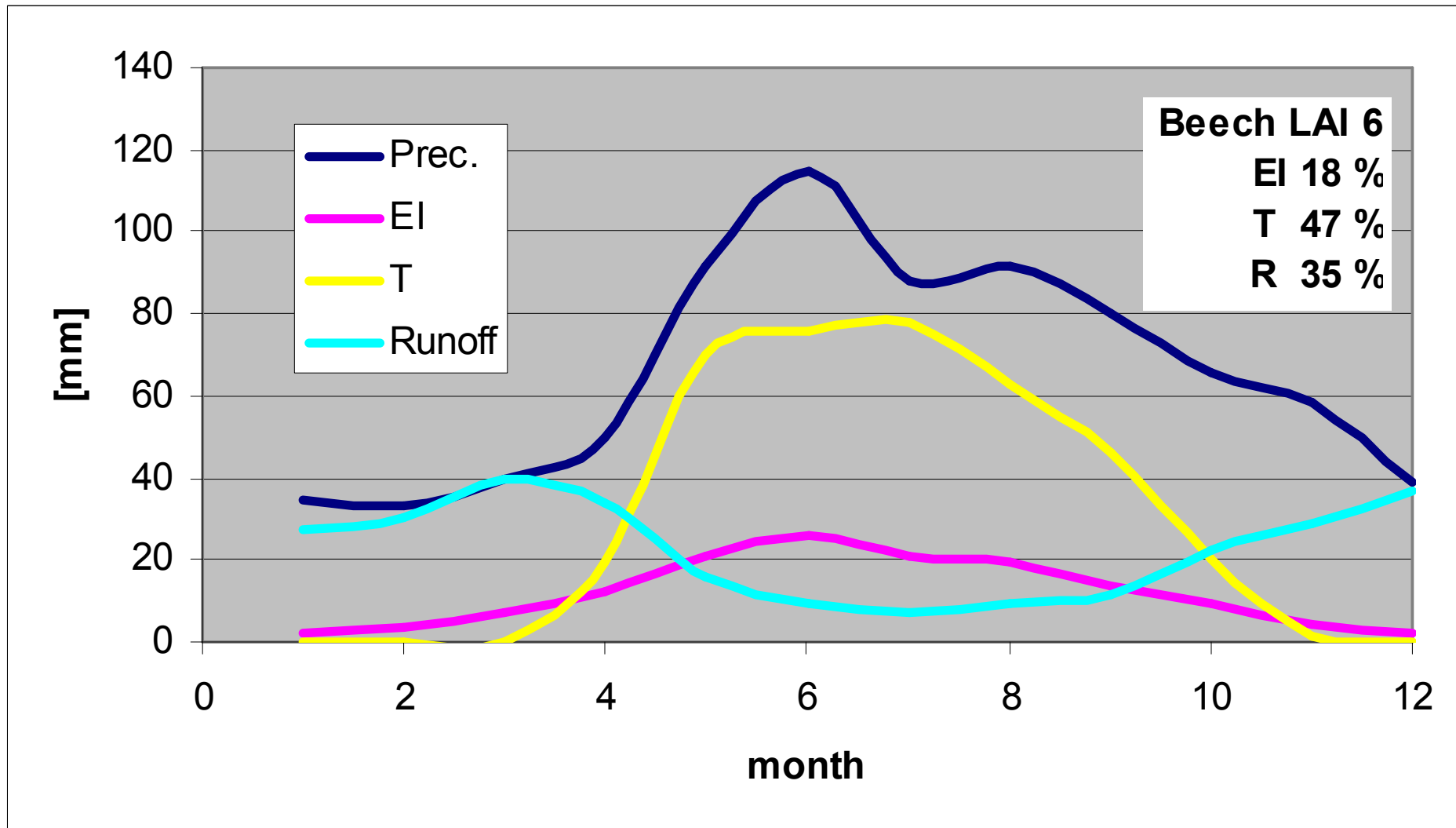


Wir haben gute Modelle um Management-  
einflüsse auf den Wasserverbrauch  
vorherzusagen

We have proper models to predict management effects upon  
water use

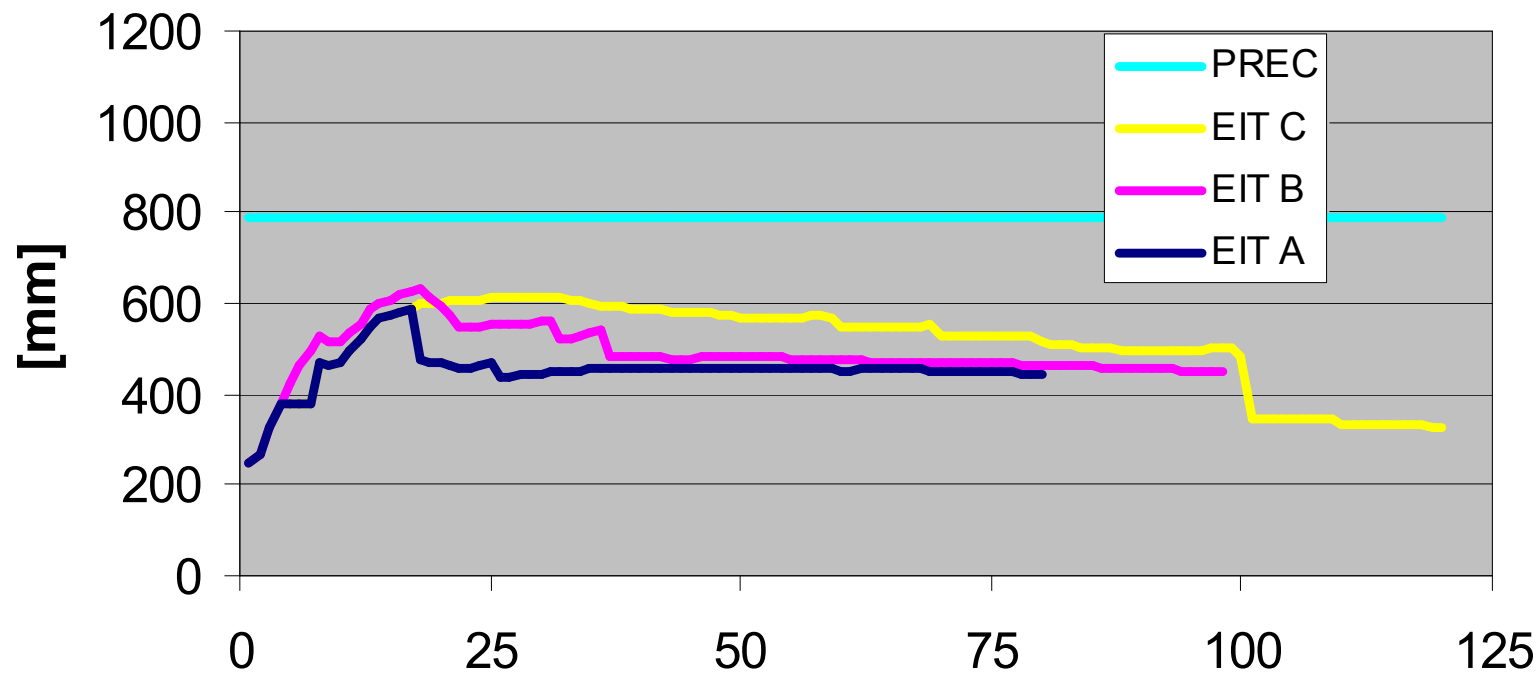
Water use = f (tree species, LAI, site) → Hydrological models

Example: Beech vs. spruce (same site conditions, similar LAI)



Water use = f (tree species, LAI, site) → Hydrological models

Example: spruce, different rotation length (80, 100, 120 yr) & intensity of thinning



Scenario	Minimum			Average			Maximum		
	Precipitation	EIT	Water yield	Precipitation	EIT	Water yield	Precipitation	EIT	Water yield
Spruce A	587	386	153	787	453	335	1148	502	752
Spruce B		416	126		490	298		540	713
Spruce C		425	122		504	284		554	695
Beech		400	162		491	297		570	668

## Schlussfolgerungen / *conclusions*

Gute Konzepte und Modelle zur Abschätzung des Einflusses von Managementmaßnahmen auf Funktionen und Leistungen des Waldes

Proper concepts for the evaluation of management impacts upon functions & services of forests

Verbesserungsbedarf bei der Datenbasis

(adäquate Standortsinformation in hoher räumlicher Auflösung, insbesondere Bodendaten)

The database has to be improved (site classification with adequate soil information in sufficient spatial resolution)

